

1



TEORÍA ATÓMICO-MOLECULAR

Los contenidos de esta unidad pretenden que el alumno conozca los pasos dados hasta el establecimiento de la teoría atómico-molecular: importancia de las medidas de masas y volúmenes de las sustancias intervinientes en dichas reacciones, leyes que se desprenden de los resultados obtenidos y justificación de las mismas en un todo teórico. Contenidos que figuran en el bloque 2 del currículo oficial *Aspectos cuantitativos de la química*.

Por último, en los epígrafes 5 y 6, y recordando las definiciones de masa atómica y molecular estudiadas en la ESO, se llega al concepto de mol y masa molar. Es fundamental que se comprenda bien la unidad de cantidad de sustancia, el mol, ya que la mayoría de los cálculos que se realizan en química están basados en esta unidad. Como aplicaciones al concepto de mol y de masa molar se abordan cálculos de composición centesimal y determinación de fórmulas empíricas y moleculares.

Objetivos

1. Clasificar los cuerpos materiales en mezclas (homogéneas y heterogéneas) y sustancias puras (elementos y compuestos).
2. Comprender y aplicar correctamente las leyes ponderales y volumétricas.
3. Relacionar las leyes ponderales con el concepto de átomo y las volumétricas con el de molécula.
4. Comprender cómo se pueden calcular las masas relativas de los átomos.
5. Utilizar el concepto de mol como unidad de cantidad de sustancia y aplicar dicho concepto de forma operativa en los cálculos químicos y en la determinación de fórmulas químicas.

Relación de la unidad con las competencias clave

Los seis proyectos de investigación que se incluyen van a servir para desarrollar la **competencia lingüística** (en su aspecto gramatical y ortográfico), la **competencia digital**, la **básica en ciencia y tecnología** y el **sentido de iniciativa y espíritu emprendedor**.

La **competencia matemática y la básica en ciencia y tecnología** el alumnado las puede conseguir trabajando y resolviendo las múltiples actividades y tareas propuestas a lo largo de la unidad así como aprehendiendo la información que contienen los distintos epígrafes.

La inclusión de trece ejercicios resueltos (seis en el texto principal y siete en la sección *Estrategias de resolución*), la realización de la práctica de laboratorio propuesta en la sección *Técnicas de trabajo y experimentación*, así como la sección de *Evaluación* del final de la unidad, van a servir para que el alumno vaya examinando la adecuación de sus acciones y la aproximación a la meta, que no es otra que ser capaz de adquirir y asimilar nuevos conocimientos y llegar a dominar capacidades y destrezas propias del ámbito de las ciencias (aplicables, no obstante, a otros ámbitos). De esta forma desarrollará la competencia **aprender a aprender**.

La unidad, al mostrar la evolución del pensamiento científico, proporciona al alumno un conocimiento y actitud sobre la sociedad (en su concepción dinámica, cambiante y compleja), con los que podrá interpretar fenómenos y problemas, elaborar respuestas y tomar decisiones, así como interactuar con otras personas y grupos conforme a normas basadas en el respeto mutuo; en definitiva trabajar la **competencia social y cívica**.

Por último, la unidad, al mostrar la obra de científicos de renombre universal (Lavoisier, Proust, Dalton, Gay-Lussac, Avogadro, etc.), contribuye a que el alumno conozca una manifestación más de la herencia cultural europea (en este caso científica); por otra parte, en la sección *Química, tecnología y sociedad*, al describir el desarrollo de la energía de fusión, va a revelar al alumno la interacción entre la ciencia, la técnica y la sociedad, acrecentando sus conocimientos relacionados con el patrimonio tecnológico mundial, ambos conocimientos pertenecientes a la **competencia conciencia y expresiones culturales**.

Temporalización

Se aconseja dedicar seis sesiones al estudio de la unidad.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Clasificación de la materia. <ul style="list-style-type: none"> ■ Sustancias puras ■ Mezclas 	1. Clasificar cualquier sistema material, bien como mezcla (homogénea o heterogénea) o bien como sustancia pura (elemento o compuesto)	1.1. Saber clasificar los cuerpos materiales en sustancias puras (elementos y compuestos) y mezclas (homogéneas y heterogéneas), así como sus distintas propiedades, en físicas y químicas.	AT: 1-5	CMCCT
Leyes ponderales. <ul style="list-style-type: none"> ■ Ley de conservación de la masa o de Lavoisier ■ Ley de las proporciones definidas o de Proust ■ Ley de las proporciones múltiples o de Dalton 	2. Comprender las tres leyes ponderales de la química: conservación de la masa, proporciones definidas y proporciones múltiples.	2.1. Saber interpretar cuantitativamente las tres leyes ponderales: conservación de la masa, proporciones definidas y proporciones múltiples.	A: 1-5 ER: 1-2 AT: 6-8, 12-15, 23-26	CMCCT CCEC
Teoría atómica de Dalton. <ul style="list-style-type: none"> ■ Dalton justifica las leyes ponderales ■ Enunciado de la teoría atómica ■ Limitaciones a la teoría atómica 	3. Conocer la teoría atómica de Dalton así como las leyes básicas asociadas a su establecimiento.	3.1. Justificar la teoría atómica de Dalton y la discontinuidad de la materia a partir de las leyes fundamentales de la Química ejemplificándolo con reacciones.	A: 6-9 AT: 9, 16 -19	CMCCT AA
Leyes volumétricas. <ul style="list-style-type: none"> ■ Ley de los volúmenes de combinación o de Gay-Lussac ■ La hipótesis de Avogadro ■ La masa de los átomos. 	4. Dominar las equivalencias entre moles, gramos y entidades químicas (moléculas, átomos o iones) existentes en una determinada cantidad de sustancia.	4.1. Realizar correctamente equivalencias entre moles, gramos y entidades químicas (moléculas, átomos o iones) existentes en una determinada cantidad de sustancia	A: 12-14 ER: 3 AT: 10, 11, 20-22	CMCCT
La masa de los átomos. <ul style="list-style-type: none"> ■ Fórmulas químicas ■ Masas atómicas y moleculares 	5. Comprender que para averiguar las masas atómicas relativas, es preciso conocer el número de átomos que integran la molécula y la proporción en masa de cada uno de ellos.	5.1. Calcular masas atómicas relativas y moleculares, a partir del conocimiento del número de átomos que integran la molécula y la proporción en masa de cada uno de ellos.	AT: 17, 18, 27-39	CMCCT
La unidad de cantidad de sustancia: el mol. <ul style="list-style-type: none"> ■ Masa molar ■ Composición centesimal y determinación de la fórmula empírica y molecular de un compuesto 	6. Determinar fórmulas empíricas (a partir de la composición centesimal de una sustancia) y fórmulas moleculares (conociendo la fórmula empírica y la masa molecular de la sustancia).	6.1. Calcular la composición centesimal de cada uno de los elementos que integran un compuesto y saber determinar la fórmula empírica y molecular de un compuesto a partir de su composición centesimal.	A: 15-16 ER: 4-7 AT: 40-46	CMCCT

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Átomos, moléculas y cristales.

Vídeos: 1. Mezclas y sustancias puras; 2. Elementos y compuestos.

Enlace web: Ley de las proporciones definidas.

Vídeos: 1. Ley de conservación de la masa; 2. Ley de las proporciones múltiples.

Vídeo: Teoría atómica de Dalton.

Enlaces web: 1. Ley de los volúmenes de combinación o de Gay-Lussac; 2. Determinación experimental del número de Avogadro; 3. Orden de magnitud del número de Avogadro.

Vídeo: Ley de los volúmenes de combinación e hipótesis de Avogadro.

Vídeo: La masa relativa de los átomos.

Unidad 1: Teoría atómico-molecular

1. Clasificación de la materia

- 1.1. Sustancias puras
- 1.2. Mezclas

2. Leyes ponderales

- 2.1. Ley de conservación de la masa o de Lavoisier
- 2.2. Ley de las proporciones definidas o de Proust
- 2.3. Ley de las proporciones múltiples o de Dalton

3. Teoría atómica de Dalton

- 3.1. Dalton justifica las leyes ponderales
- 3.2. Enunciado de la teoría atómica
- 3.3. Limitaciones a la teoría atómica

4. Leyes volumétricas

- 4.1. Ley de los volúmenes de combinación o de Gay-Lussac
- 4.2. La hipótesis de Avogadro

5. La masa de los átomos

- 5.1. Fórmulas químicas
- 5.2. Masas atómicas y moleculares

Documento: Los patos flotan sin nadar.
Presentación: Clasificación de la materia.

Presentación: Leyes generales que rigen las combinaciones químicas.
Documento: 1. Biografía de Antoine Laurent Lavoisier. El padre de la química; 2. El exilio español de Proust.

Documento: Biografía de John Dalton.

Documento: Para avanzar es necesario organizarse.

BIBLIOGRAFÍA

C, B. y S , J.
Química elemental básica (dos volúmenes). Barcelona: Reverté, 1978.
Texto adecuado para introducirse en los conceptos químicos básicos.

F, M. R. y F , J. A.
Química general. León: Everest, 1992.
Un libro muy completo de química general, válido para Bachillerato, así como para los primeros años universitarios.

F
3000 cuestiones y problemas de física y química. León: Everest, 1996.
Una amplia colección de cuestiones y problemas, explicados y resueltos, presentados en orden de dificultad creciente.

G P , A. et al.
Química Básica. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2013.
Libro asequible para estudiantes que se inician en el estudio de la química.

G Q
Experimentos de química. Madrid: Akal, 1990.
Un pequeño manual de prácticas de química muy bien explicadas.

L P , S.
Química para la prueba de acceso a la Universidad para mayores de 25 años. Cultiva libros, 2009.

Otra forma de enfocar un libro de química: facilitar al alumno exclusivamente los conocimientos necesarios para superar la prueba de acceso, sin perderse en aspectos que le pueden resultar difíciles de comprender.

O' C et al.
Química: experimentos y teorías. Barcelona: Reverté, 1977.
La obra, adecuada para Bachillerato, utiliza el trabajo de laboratorio como base para la explicación y desarrollo de las teorías.

R
Teoría y 611 problemas resueltos de química general. Madrid: McGraw-Hill, 1989 (Serie Shaum).
Buena colección de cuestiones y problemas de química.

Wy
Química general. Madrid: McGraw-Hill, 1996.
Un buen texto de consulta accesible para el alumnado de Bachillerato con desarrollos claros y abundantes datos y tablas.

PARA EL PROFESOR

Enlaces web: 1. Mol y número de Avogadro; 2. Masa molecular y mol; 3. Composición centesimal; 4. Determinación de la fórmula molecular.

Videos: 1. Composición centesimal; 2. Determinación de la fórmula empírica y molecular.

Animación: La diversidad de la materia.

Tests de autoevaluación interactivos

6. La unidad de cantidad desustancia: el mol

- 6.1. Masa molar
- 6.2. Composición centesimal y determinación de la fórmula empírica y molecular de un compuesto

Química, tecnología y sociedad

Los reactores de fusión: la interacción ciencia-técnica

Técnicas de trabajo y experimentación

Determinación de la fórmula de una sal hidratada

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Autoevaluación

Documento: La historia y por fin el mol.

Presentación: Formas de expresar la concentración de una disolución.

Documento: Purificación de sustancias.

Presentaciones:
1. Separación de mezclas heterogéneas;
2. Separación de mezclas homogéneas.

Prácticas de laboratorio:

1. El H_2O es un compuesto. 2. Ley de conservación de la masa. 3. Obtención de H_2 y de O_2 gaseosos.

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

ed@d

<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/>

Página del proyecto ed@d (Enseñanza Digital a Distancia) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para mejorar el aprendizaje autónomo en un entorno tecnológico avanzado.

Fisquiweb

<http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/>

Espacio web dedicado a la enseñanza de la Física y la Química del portal de Educatur.

Radio Televisión Española

<http://www.rtve.es>

Incluye programa sobre Proust y la ley de proporciones definidas.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

TEORÍA ATÓMICA-MOLECULAR

A modo resumen se introduce la unidad con un texto que puede ser comentado en clase.

Sería interesante proponer a los alumnos que visualicen el vídeo introductorio sobre átomos, cristales y moléculas cuyo objetivo sería comprobar que recuerdan los alumnos sobre los mismos.

Vídeo: **ÁTOMOS, CRISTALES Y MOLÉCULAS**

Video sencillo pero muy didáctico sobre los átomos y las uniones entre ellos para formar cristales y moléculas.

PRESENTACIÓN

Presentación en forma de diapositivas de recorrido de la unidad. El profesor la puede utilizar tanto al principio de la unidad como al final.

En el apartado *Conocimientos previos* sería importante preguntar a los alumnos si los recuerdan y que hagan las actividades propuestas en *Comprueba lo que sabes*, para así saber los conocimientos de partida.

1. Clasificación de la materia (página 29)

Debemos comenzar la unidad **clasificando la materia** en dos grandes grupos: sustancias puras y mezclas. Esta clasificación puede plantearse mediante una serie de ejemplos cuya resolución suponga la aplicación de ambos conceptos y de algunas de las técnicas de separación de los integrantes (si los hubiera) de los mismos (estudiadas en cursos anteriores). Así, por ejemplo, si se plantea averiguar la composición de un líquido contenido en un recipiente (puede ser una disolución acuosa de sulfato de cobre (II) en agua), la respuesta al problema conduce a comenzar emitiendo hipótesis (sustancia pura o mezcla) y a una posterior toma de decisiones sobre los pasos que deben seguirse para su comprobación (aquí es necesario aplicar los conocimientos sobre las características de las sustancias puras y de las mezclas, así como las técnicas usuales de separación de estas en sustancias puras).

1.1. Sustancias puras

Conviene recordar al alumnado la diferencia entre sustancia pura y mezcla homogénea, ya vista en cursos anteriores.

Cuando se tengan aisladas las sustancias puras, hay que tratar de diferenciar entre elemento y compuesto; este es un buen momento para comentar que el agua fue una de las primeras sustancias consideradas, erróneamente, como elemento.

1.2. Mezclas

Al tratar las mezclas se repasará, brevemente, las técnicas de separación de sus componentes, diferenciando si se trata de una mezcla heterogénea u homogénea.

Vídeo: **MEZCLAS Y SUSTANCIAS PURAS**

Video en español que muestra la diferencia entre mezclas y sustancias puras.

Vídeo: **ELEMENTOS Y COMPUESTOS**

Video en español que muestra la diferencia entre elementos y compuestos.

Enlace web: **ESTRUCTURA DEL ÁTOMO**

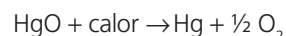
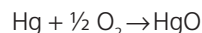
Página web muy completa sobre la estructura de la materia. Incluye animaciones.

2. Leyes ponderales (páginas 30/32)

Los epígrafes 2, 3 y 4 son idóneos para que el alumnado compruebe que la ciencia es producto de la labor de las distintas aportaciones que a lo largo de la historia se van produciendo, y que en su desarrollo pueden generarse ideas erróneas, experiencias geniales, discusiones apasionantes, etc., lo que permite ofrecer una imagen viva de la ciencia. Por ello, el mejor hilo conductor para el desarrollo de estos tres epígrafes es el histórico.

2.1. Ley de conservación de la masa o de Lavoisier

Después de comentar los descubrimientos de los químicos contemporáneos de Lavoisier (además de Scheele, una pléyade de químicos suecos colocaron a su país en el siglo a la vanguardia de la química: en 1730, Brandt descubrió el cobalto; en 1751, Cronsted descubrió el níquel e introdujo el soplete en los laboratorios, lo que permitió realizar análisis de pequeñas muestras; en 1774, Gahn aisló el manganeso, y en 1782, Hjelmski aisló el molibdeno), se debe explicar cómo Lavoisier dedujo **la ley de conservación de la masa** y echó por tierra la idea imperante en la época: los objetos combustibles, ricos en «flogisto», cuando ardían perdían dicha sustancia, que pasaba al aire, y la combustión se detenía cuando el flogisto se agotaba. Con la terminología química actual, podemos comprender los experimentos de Lavoisier:



Un breve comentario sobre la vida de Lavoisier atraerá la atención del alumnado.

Vídeo: **LEY DE CONSERVACIÓN DE LA MASA**

Video en español que demuestra que, para la reacción entre el vinagre (ácido acético) y el carbonato de sodio, se cumple la ley de conservación de la masa.

2.2. Ley de las proporciones definidas o de Proust

Se abordan **la ley de las proporciones definidas** y la de las proporciones múltiples. Es aconsejable proponer a los alumnos que diseñen alguna experiencia encaminada a demostrar la veracidad de ambas leyes y preguntarles sobre los datos que serían necesarios para confirmarlas. Se introducirá la idea de *reactivo limitante*, tan necesaria para abordar problemas estequiométricos.

Enlace web: **LEY DE PROUST**

Tutorial en español sobre la ley de Proust.

2.3. Ley de las proporciones múltiples o de Dalton

Es importante señalar que la ley de las proporciones definidas no está en contradicción con la **ley de las proporciones múltiples**: si bien es verdad que en la primera se afirma que dos elementos deben combinarse en una única proporción fija, y en la segunda, que pueden combinarse en distintas proporciones (cantidades variables de un elemento con una cantidad fija del otro), hay que aclarar que de la primera combinación resulta un único compuesto, mientras que la ley de las proporciones múltiples explica la formación de diferentes compuestos (uno por cada posible combinación).

Vídeo: **LEY DE LAS PROPORCIONES MÚLTIPLES**

Vídeo en español que muestra cómo realizar un ejercicio de comprobación de la ley de las proporciones múltiples (entre el azufre y el oxígeno).

3. Teoría atómica de Dalton (página 33)

Este epígrafe resulta muy útil para explicar al alumnado que el método inductivo (trabajar de lo específico a lo general), a veces, resulta muy útil en ciencia. Efectivamente, a partir de las leyes ponderales, Dalton concluyó que la materia debía estar formada por átomos.

3.1. Dalton justifica las leyes ponderales

Antes de presentar la **teoría atómica de Dalton**, es preciso preguntarse por la posible relación entre los resultados de las leyes ponderales y la estructura íntima de la materia. Esta cuestión se la planteó Dalton, quien, con ayuda del modelo corpuscular de los gases, pudo justificar las mencionadas leyes elaborando lo que conocemos como primera teoría atómica.

3.2. Enunciado de la teoría atómica

En este epígrafe debe intentarse que sea el alumnado, ayudado de su memoria, quien enuncie los postulados de la teoría de Dalton, ya que fueron expuestos en la ESO. Al mencionar los postulados de la teoría atómica de Dalton, se debe preguntar al alumnado acerca de la veracidad de algunos de ellos: *¿son los átomos indivisibles e inalterables?, ¿son iguales todos los átomos de un mismo elemento?*

Vídeo: **TEORÍA ATÓMICA DE DALTON**

Vídeo en español sobre el modelo atómico de John Dalton.

3.3. Limitaciones a la teoría atómica

Debe resaltarse que en la época en la que Dalton elaboró su teoría era inimaginable llegar a conocer la masa absoluta de los átomos, y por esta razón se pensó en la manera de averiguar sus masas relativas, es decir, de comparar las masas de todos con la de un único átomo cuya masa se elige como unidad. Para ello, es preciso aplicar la ley de las proporciones definidas y conocer la fórmula de los compuestos.

Esto hizo que Dalton emitiese otra hipótesis, que se ha llamado de la máxima simplicidad, pues afirmaba que la fórmula más probable de los compuestos binarios era la que tenía la relación más sencilla: 1:1.

Hay que convencer a los estudiantes de que el conocimiento de las masas relativas de los átomos es igual de útil (para el cálculo estequiométrico) que el de sus masas absolutas (conocidas hoy en día), e informarles de que las masas atómicas reflejadas en el sistema periódico son relativas. Por último, aclararemos que en química los términos *masa* y *peso* se utilizan indistintamente, ya que, aunque ambos son conceptos físicos diferentes, entre ellos existe la misma relación numérica.

Documento: **BIOGRAFÍA DE JOHN DALTON**

Datos biográficos sobre John Dalton.

4. Leyes volumétricas (página 34)

Continuando con el hilo histórico, el análisis de los resultados encontrados por Gay-Lussac en el estudio sobre las **relaciones volumétricas entre gases** condujo a la **hipótesis de Avogadro**. Este hecho permite comprobar la evolución de las teorías: la correcta interpretación de estos resultados llevó a modificar alguna de las hipótesis de Dalton, a rectificar fórmulas y, consecuentemente, a corregir la tabla de masas atómicas calculadas a partir de ellas.

4.1. Ley de los volúmenes de combinación o de Gay-Lussac

Una vez expuesta la ley de los volúmenes de combinación, se pondrá al alumnado que intente explicar, con la teoría de Dalton, el hecho experimental de que un volumen de cloro reacciona con un volumen de hidrógeno, en las mismas condiciones de presión y temperatura, para formar dos volúmenes de producto.

La imposibilidad de tal explicación sugiere dos cosas, o que la ley no se cumple siempre o que el átomo no es la parte más pequeña que forma los elementos manteniendo las mismas propiedades que el propio elemento.

Enlace web: **LEY DE LOS VOLÚMENES DE COMBINACIÓN O DE GAY-LUSSAC**

Página web con datos biográficos de Gay-Lussac así como la explicación de la ley, experimentos y actividades.

4.2. La hipótesis de Avogadro

A continuación, puede proponerse que intenten explicar el proceso anterior, pero ahora con ayuda de la hipótesis de Avogadro, que previamente habrá sido enunciada por el profesor.

La solución del proceso anterior permite introducir el concepto de molécula diatómica y el de molécula en general. Se puede comentar el hecho de que las ideas de Avogadro no se aceptaron hasta medio siglo después, ya que Dalton y otros sostenían que los átomos semejantes debían repelerse y no podían combinarse formando moléculas.

El término *molécula* significa «pequeño mol» (pequeña masa) y algunos elementos existen en más de una forma; el oxígeno puede constituir moléculas de O₂ (oxígeno) y de O₃ (ozono); el carbono puede presentarse en dos formas cristalinas diferentes, diamante y grafito, etc. A las formas distintas del mismo elemento se les llama alótropos.

Enlace web: DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL NÚMERO DE AVOGADRO

Página web, en español, que muestra la determinación experimental del número de Avogadro.

Enlace web: ORDEN DE MAGNITUD DEL NÚMERO DE AVOGADRO

Página web interactiva y en español, que muestra el orden de magnitud del número de Avogadro.

Vídeo: LEY DE LOS VOLÚMENES DE COMBINACIÓN E HIPÓTESIS DE AVOGADRO

Vídeo en español que muestra la ley de los volúmenes de combinación y la hipótesis de Avogadro.

5. La masa de los átomos (página 35)

Continuando con el hilo histórico, informaremos a los alumnos que incluso el propio Dalton se atrevió a calcular la masa de los átomos, naturalmente no sus masas absolutas expresadas en gramos, sino las relativas, las que surgen de comparar unos átomos con otros. Para ello solo se necesita saber la proporción en masa en la que se combinan (ley de Proust) y el número de átomos de un tipo que se unen a otro de distinto tipo (ley de Gay-Lussac).

Vídeo: LA MASA RELATIVA DE LOS ÁTOMOS

Vídeo en español que explica de forma clara cuál es la mejor manera de medir la masa relativa de un átomo.

5.1. Fórmulas químicas

El epígrafe 5.1 comienza exponiendo la evolución de los símbolos de los elementos químicos y la definición de fórmula química.

5.2. Masas atómicas y moleculares

A continuación, se explican los diferentes átomos que se han ido eligiendo como patrones para el cálculo de **masas atómicas**, hasta llegar en 1961 a la elección del carbono-12 (base de la actual tabla de masas atómicas), al que se le asignó una masa de 12,0000. El cálculo de la **masa de una molécula** ya lo conocen de la etapa anterior, pero conviene ponerlo en práctica con algunos ejemplos para afianzarlo.

6. La unidad de cantidad de sustancia: el mol (páginas 36/37)

Este epígrafe debemos comenzararlo convenciendo al alumnado de la necesidad de definir una unidad de cantidad de sustancia ligada a la cantidad de partículas que contenga y, como la cantidad mínima de sustancia que se puede medir sin demasiado error en una balanza contiene ya un número muy elevado de átomos o moléculas, es preciso que esa unidad abarque un alto número de esas partículas.

A continuación recordaremos que esa unidad es el mol.

Enlace web: MOL Y NÚMERO DE AVOGADRO

Página web interactiva y en español, sobre el concepto de mol y el número de Avogadro.

6.1. Masa molar

Hay que aclarar que mol no es ni un número ni una masa (hace referencia a una cantidad de sustancia ligada a un determinado número de partículas) y será la masa molar la que represente la masa de un mol de esas partículas.

Uno de los errores más frecuentes es asegurar que la masa de un mol coincide con la masa atómica del elemento (o con la molecular del compuesto). Hay que explicarles que la coincidencia es solo numérica.

Enlace web: MASA MOLAR Y MOL

Página web, en español, sobre el concepto de masa molar y mol.

6.2. Composición centesimal y determinación de la fórmula empírica y molecular de un compuesto

En este epígrafe se afrontará el cálculo de la composición centesimal y la determinación de la fórmula empírica y molecular de un compuesto (para muchas moléculas, la fórmula empírica y la molecular coinciden; por ejemplo: H_2O , CO_2 , CO , NH_3 , etc.). En los ejercicios que se desarrollen para el cálculo de la fórmula molecular, se les dará directamente la masa molecular del compuesto, avisando que en la siguiente unidad (y cuando el compuesto sea un gas ideal) se les explicará una ecuación mediante la cual se podrá averiguar dicha masa molecular.

Vídeo: COMPOSICIÓN CENTESIMAL

Vídeo en español que muestra cómo se lleva a cabo un ejercicio de composición centesimal (glucosa).

Enlace web: DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA MOLECULAR

Tutorial en español que explica como determina la fórmula molecular de un compuesto.

Vídeo: DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA EMPÍRICA Y MOLECULAR DE UN COMPUESTO

Vídeo en español que muestra el modo de resolver un ejercicio de determinación de la fórmula empírica y molecular de un compuesto (butano).

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 28/37)

Comprueba lo que sabes

1. Indica si las siguientes porciones de materia son sustancias puras, mezclas homogéneas o mezclas heterogéneas: hierro, vino, bronce, agua, leche y aire.

Las sustancias puras son el hierro y el agua.

Las mezclas homogéneas son el vino, el bronce y el aire.

La única mezcla heterogénea es la leche.

2. ¿Qué son los átomos? ¿Y un mol?

Los átomos son partículas muy pequeñas constituyentes de los diferentes elementos químicos.

El mol es la cantidad de sustancia tal que contiene tantas partículas, átomos, moléculas, etc., como las que contienen 12 g de carbono-12.

3. A. L. Lavoisier demostró en 1774 que la masa se conserva en cualquier combinación química. Sin embargo, si combinas 40 g de hidrógeno con 40 g de oxígeno, solo se forman 45 g de agua. ¿Qué explicación encuentras para este hecho?

Ocurre que, además de la ley de Lavoisier, se debe cumplir la ley de Proust: «cuando se combinan varios elementos para dar un determinado compuesto, siempre lo hacen en una proporción fija». Y las cantidades de la cuestión no corresponden a esa relación fija, ya que hay exceso de uno de los reactivos. En el supuesto de que la ley de Lavoisier se cumpliera: se forman 45 g de agua y queda un exceso de 35 g de hidrógeno.

Actividades

1. Hacemos reaccionar 20 g de reactivos y solo obtenemos 18 g de productos. ¿Se cumple la ley de conservación de la masa? ¿Por qué no coinciden la masa de las sustancias de partida y las de las finales? Explica tu respuesta.

En toda reacción química, la ley de conservación de la masa siempre ha de cumplirse. Si ocurriera lo que dice el enunciado, es porque los otros dos gramos que faltan a los 18 g para sumar 20 g existen en forma de reactivo en exceso, es decir, no se han utilizado cantidades estequiométricas de reactivo y ha sobrado 2 g de uno de ellos.

2. El hidrógeno y el oxígeno se combinan en una proporción de 1:8 para formar agua. Indica lo que ocurrirá si combinamos 14 g de hidrógeno con 50 g de oxígeno.

Se observa que hay exceso de hidrógeno (14 es una cantidad superior a 50/8); entonces establecemos la relación con el oxígeno (reactivo limitante):

$$\frac{1 \text{ g de hidrógeno}}{8 \text{ g de oxígeno}} = \frac{x \text{ g de hidrógeno}}{50 \text{ g de oxígeno}}$$

$$x = 6,2 \text{ g de hidrógeno}$$

Es decir: 6,2 g de hidrógeno se combinan con 50 g de oxígeno para dar 56,2 g de agua y quedan sin reaccionar

$$14 \text{ g} - 6,2 \text{ g} = 7,8 \text{ g de hidrógeno.}$$

3. ¿Se cumple la ley de las proporciones múltiples en el caso de la tabla 1.1?

Compuesto	Masa de A	Masa de B
1	20 g	15 g
2	35 g	52,5 g
3	50 g	112,5 g

La respuesta es sí. Dado que el compuesto A está en una cantidad fija de 20 g, para hallar las cantidades variables del elemento B que se combina con esta cantidad fija de A debemos conocer la proporción en la que reaccionan A y B, es decir: masa B/masa A.

■ Compuesto 1: $\frac{15}{20} = 0,75$

■ Compuesto 2: $\frac{52,5}{35} = 1,5$

■ Compuesto 3: $\frac{112,5}{50} = 2,25$

Dividiendo todas las relaciones entre la menor, obtenemos otras de números enteros 1, 2 y 3.

Podemos hacerlo de otra manera: manteniendo la masa de A fija (20 g), calculamos las cantidades de B mediante las siguientes proporciones:

$$\frac{35 \text{ g}}{52,5 \text{ g}} = \frac{20 \text{ g}}{x \text{ g}}; x = 30 \text{ g}$$

$$\frac{50 \text{ g}}{112,5 \text{ g}} = \frac{20 \text{ g}}{x \text{ g}}; x = 45 \text{ g}$$

Cuando una de las masas se mantiene constante, la del otro varía según una relación de números enteros sencillos:

$$15 : 30 : 45 = 1 : 2 : 3$$

4. ¿Cómo es posible que dos elementos puedan combinarse en más de una proporción si la ley de Proust afirma que la proporción es única?

La ley de Proust afirma que la proporción en la que se combinan dos elementos es única cuando de ella resulta un solo compuesto.

Por tanto, no excluye que dos elementos se puedan combinar en más de una proporción si como resultado se obtienen varios compuestos distintos.

5. El carbono se combina con oxígeno en dos proporciones en masa, 3:4 y 3:8. Con la primera forma monóxido de carbono (CO), y con la segunda, dióxido de carbono (CO₂). Razona qué afirmaciones son correctas:

a) 12 g de carbono reaccionan con 48 g de oxígeno para dar CO.

b) 12 g de carbono reaccionan con 16 g de oxígeno para dar CO.

c) 12 g de carbono reaccionan con 32 g de oxígeno para dar CO₂.

d) 12 g de carbono reaccionan con 36 g de oxígeno para dar CO_2 .

Son correctas la **b)** y la **c)**, pues $\frac{12}{16} = \frac{3}{4}$ y $\frac{12}{32} = \frac{3}{8}$

- 6 Dalton sabía que la proporción en la que el hidrógeno se combina con el oxígeno es de 1:8, y creía que el agua se formaba por la combinación de un átomo de cada clase. Así que dedujo que el átomo de oxígeno era 8 veces más pesado que el de hidrógeno. ¿Qué masa le correspondería al átomo de oxígeno si Dalton hubiera supuesto que el agua es una combinación de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno?

Si se combinan dos átomos de hidrógeno con uno de oxígeno para formar agua y, al mismo tiempo, ha de mantenerse la proporción de combinación 1:8, la única solución posible es pensar en otra proporción equivalente: 2:16, donde 2 correspondería a la masa de los dos átomos de hidrógeno y 16 a la masa del único átomo de oxígeno.

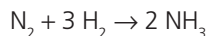
Por tanto, la masa atómica del oxígeno sería 16 (como realmente corresponde).

- 7 Cuando 1 L de dinitrógeno reacciona con 3 L de dihidrógeno, ¿qué volumen de amoníaco se obtiene?:

- a) a) 1 L. c) 4 L.
b) 2 L. d) 3,15 L.

Justifica tu respuesta.

La respuesta correcta es la **b)**. Se llega a esta conclusión teniendo en cuenta las dos leyes volumétricas y que el proceso es el siguiente:



- 8 Teniendo en cuenta la ley de los volúmenes de combinación, la hipótesis de Avogadro y el concepto de molécula, justifica que la molécula de agua esté formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

- Las moléculas de hidrógeno y de oxígeno son diatómicas.
- En volúmenes iguales de gases, en las mismas condiciones de presión y temperatura, hay el mismo número de moléculas.
- Dos volúmenes de hidrógeno reaccionan con un volumen de oxígeno para formar dos volúmenes de agua.

La única solución que explica estos tres hechos a la vez es que la molécula de agua sea H_2O .

- 9 Indica siete sustancias formadas por moléculas homonucleares diatómicas que conozcas.

Por ejemplo: O_2 , H_2 , N_2 , F_2 , Cl_2 , Br_2 , I_2 .

- 10 Comenta la siguiente frase: *La masa atómica del oxígeno es 16 g.*

La frase es incorrecta. Las masas atómicas son números adimensionales ya que resultan de relacionar dos masas y, siempre que se dividen dos magnitudes del mismo tipo, el resultado carece de dimensiones. Por otro lado, el gramo es una unidad extraordinariamente grande como para usarla como referencia para algo tan pequeño como los átomos.

- 11 Calcula las masas moleculares de las siguientes sustancias:

- a) N_2
b) $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$
c) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
a) N_2 : $14 \cdot 2 = 28$
b) $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$: $12 \cdot 9 + 1 \cdot 8 + 16 \cdot 4 = 180$
c) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: $27 \cdot 2 + 32 \cdot 3 + 16 \cdot 12 = 342$

- 12 Calcula la masa en gramos de un átomo de carbono-12.

$$\frac{12 \text{ u}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ u/g}} = 1,99 \cdot 10^{-23} \text{ g}$$

- 13 ¿Cuántos átomos de H, S y O hay en 200 g de ácidos sulfúrico, H_2SO_4 ?

Establecemos la relación:

$$\frac{98 \text{ g de } \text{H}_2\text{SO}_4}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de } \text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{200 \text{ g de } \text{H}_2\text{SO}_4}{x \text{ moléculas de } \text{H}_2\text{SO}_4}$$

$$x = 1,23 \cdot 10^{24} \text{ moléculas}$$

La cantidad de átomos de H será el doble que la de moléculas: $2,46 \cdot 10^{24}$. La cantidad de átomos de S será la misma que la de moléculas: $1,23 \cdot 10^{24}$. La cantidad de átomos de O será el cuádruple que la de moléculas: $4,92 \cdot 10^{24}$. Esto se debe a que tienen que guardar la relación 2 átomos de H:1 átomo de S:4 átomos de O, tal y como indica la fórmula.

- 14 Tenemos 18 g de glucosa, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Calcula:

- a) La cantidad, en mol, de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, de C, de H y de O.
b) El número de partículas de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, de C, de H y de O.

a) $\frac{1 \text{ mol}}{180 \text{ g}} = \frac{x \text{ mol}}{18 \text{ g}}$; $x = 0,1 \text{ mol de } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

En la fórmula se aprecia que en 1 mol de glucosa hay 6 mol de C, 12 mol de H y 6 mol de O. Por tanto:

$$6 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,6 \text{ mol de C}$$

$$12 \cdot 0,1 \text{ mol} = 1,2 \text{ mol de H}$$

$$6 \cdot 0,1 \text{ mol} = 0,6 \text{ mol de O}$$

b) $\frac{1 \text{ mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}} = \frac{0,1 \text{ mol}}{x \text{ moléculas}}$

$$x = 6,022 \cdot 10^{22} \text{ moléculas de } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$$

Como cada molécula de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ contiene 6 átomos de C, 12 de H y 6 de O, tendremos:

$$6 \cdot 6,022 \cdot 10^{22} = 3,613 \cdot 10^{23} \text{ átomos de C}$$

$$12 \cdot 6,022 \cdot 10^{22} = 7,226 \cdot 10^{23} \text{ átomos de H}$$

$$6 \cdot 6,022 \cdot 10^{22} = 3,613 \cdot 10^{23} \text{ átomos de O}$$

- 15 Calcula la composición centesimal del carbonato de sodio, Na_2CO_3 . Datos: masas atómicas: Na = 23; C = 12; O = 16.

Hallamos la masa molar del Na_2CO_3 :

$$23 \text{ g} \cdot 2 + 12 \text{ g} + 16 \text{ g} \cdot 3 = 106 \text{ g}$$

Establecemos las siguientes relaciones:

$$\frac{46 \text{ g de Na}}{106 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3} = \frac{x \text{ g de Na}}{100 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3}$$

$$x = 43,4\% \text{ de Na}$$

$$\frac{12 \text{ g de C}}{106 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3} = \frac{x \text{ g de C}}{100 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3}$$

$$x = 11,3\% \text{ de C}$$

$$\frac{48 \text{ g de O}}{106 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3} = \frac{x \text{ g de O}}{100 \text{ g de Na}_2\text{CO}_3}$$

$$x = 45,3\% \text{ de O}$$

- 16 La composición centesimal de cierto azúcar es: 40 % de C, 6,67 % de H y 53,33 % de O. Si tiene una masa molar de 180 g/mol, ¿cuál es su fórmula molecular?

Hallamos los moles de átomos:

$$\frac{40 \text{ g de carbono}}{12 \text{ g/mol}} = 3,33 \text{ mol de carbono}$$

$$\frac{6,67 \text{ g de hidrógeno}}{1 \text{ g/mol}} = 6,67 \text{ mol de carbono}$$

$$\frac{53,33 \text{ g de oxígeno}}{16 \text{ g/mol}} = 3,33 \text{ mol de oxígeno}$$

Relaciones idénticas a las anteriores, pero de números enteros, son 1 mol de C, 2 mol de H y 1 mol de O. Por tanto, la fórmula empírica será CH_2O , cuya masa molar es:

$$12 \text{ g} + 2 \text{ g} + 16 \text{ g} = 30 \text{ g/mol}$$

Dividiendo las dos masas molares, encontraremos cuántas veces son mayores los coeficientes de la fórmula molecular con respecto a la fórmula empírica:

$$\frac{180 \text{ g/mol}}{30 \text{ g/mol}} = 6$$

La fórmula molecular es $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES QUÍMICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 38)

LOS REACTORES DE FUSIÓN: INTERACCIÓN CIENCIA Y TÉCNICA

Análisis

- 1 ¿Cuál es la diferencia entre las reacciones de fusión y las de fisión nuclear?

Las reacciones de fusión nuclear corresponden a la unión de dos núcleos atómicos ligeros para formar otro más pesado, mientras que la fisión nuclear es lo contrario, la escisión de un núcleo pesado en otros dos de masas parecidas. Las reacciones de fusión nuclear liberan mucha más energía por unidad de masa de átomos reaccionantes que las reacciones de fisión, y además no generan residuos radiactivos de vida larga.

- 2 ¿Qué es el *plasma*?

Es aquel estado en el que se encuentra la materia a muy elevadas temperaturas, caracterizado porque los átomos están totalmente ionizados (una mezcla de iones positivos y electrones moviéndose a altas velocidades) y no pueden ser confinados en ningún tipo de recipiente de material conocido, por lo que hay que recurrir a otro tipo de confinamiento.

- 3 Indica los dos problemas principales a los que se enfrenta la fusión nuclear.

Uno de los problemas lo representa el confinamiento del plasma, actualmente se están ensayando dos tipos de confinamiento: magnético e inercial (utilizando la presión de la radiación); el otro problema son los neutrones liberados (${}^2\text{H} + {}^3\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{n} + \gamma$), ya que si no se controlan pueden ser absorbidos por las paredes del reactor y llegar a debilitarlas y producir fisuras a través de las cuales podrían escapar junto a la radiación gamma, lo que haría de la fusión nuclear una energía no tan limpia.

Propuesta de investigación

- 4 Prepara una presentación sobre la fusión nuclear para exponerla en clase incluyendo: cómo se genera, qué problemas tiene, la posible contaminación que produce así como alguna imagen.

PURIFICACIÓN DE SUSTANCIAS

Como alternativa se puede proponer esta lectura.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 39)

Cuestiones

- 1 **Calcula la fórmula de la sal hidratada y nómbrala.**
El nombre de la sal es sulfato de cobre(II) pentahidratado
- 2 **¿A qué se debe el cambio de color que experimenta la sal cuando se calienta? ¿Por qué llega un momento en que la masa ya no disminuye más?**
El cambio de color se debe a la pérdida del agua de cristalización, que es la que da el intenso color azul a la sal hidratada.
La masa no disminuye más cuando ya ha perdido toda el agua de cristalización.
- 3 **Elabora un informe de la práctica que explique la diferencia entre sales anhidras e hidratadas, si las moléculas de agua son incorporadas o no a la estructura cristalina de la sal hidratada y el método para deshidratarlas.**

Práctica de laboratorio: DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA DE UNA SAL HIDRATADA

El objetivo de esta práctica es determinar el agua de cristalización de una sal.

Enlace web: EL H₂O ES UN COMPUESTO

Como alternativa a la práctica del libro se puede proponer la de la comprobación de que el agua es una sustancia pura.

Práctica de laboratorio: LEY DE CONSERVACIÓN DE LA MASA

Como alternativa a la práctica del libro se puede proponer este experimento para comprobar la ley de Lavoisier.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 42/43)

Sustancias puras y mezclas

- 1 **Indica la diferencia entre mezcla y sustancia pura.**
Una sustancia pura es toda clase de materia que presenta la misma composición y las mismas propiedades en cualquier punto de la misma, sea cual sea su procedencia. Las mezclas son combinaciones de dos o más sustancias puras en las que cada una mantiene su propia composición y propiedades.
- 2 **Define el concepto de elemento químico.**
Un elemento químico es toda sustancia pura que no puede descomponerse en otras sustancias más simples utilizando los métodos químicos habituales. Por ejemplo: Na, O₂, Cl₂, etcétera.
- 3 **Al calentar una sustancia de color rojo, se obtienen un gas incoloro y un sólido de color amarillo. ¿Es la sustancia un elemento químico?**
No, ya que un elemento químico no puede descomponerse en sustancias más simples utilizando los medios químicos habituales, y aquí, al realizar un cambio químico se ha descompuesto en otras sustancias más simples; se trata, por tanto, de un compuesto.
- 4 **Razona si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: «Todas las disoluciones son sistemas homogéneos, pero no todos los sistemas homogéneos son disoluciones».**
Es verdadera. Las sustancias puras son sistemas homogéneos (tienen composición constante) y, sin embargo, no son disoluciones.
- 5 **De estas transformaciones, indica cuáles son físicas y cuáles químicas:**
 - a) Combustión de una cerilla.

- b) Fermentación del mosto.
- c) Evaporación del agua.
- d) Disolución de una sal en agua.
- e) Fusión del hielo.

Transformaciones físicas son **c)**, **d)** y **e)**, pues no hay alteración en la composición de la sustancia que sufre el proceso. Transformaciones químicas son **a)** y **b)**, ya que las sustancias de partida no coincidirán con las que se obtengan al final del proceso.

Primeras leyes de la química

- 6 **Indica la diferencia entre el método experimental seguido por Lavoisier y el empleado por sus predecesores.**
La realización de medidas precisas en procesos químicos es la diferencia fundamental entre el método experimental seguido por Lavoisier y el de los químicos que le precedieron.
- 7 **Si 3,2 g de azufre se combinan totalmente con 20 g de mercurio para dar sulfuro de mercurio, ¿podrían combinarse también totalmente 4 g de S con 20 g de Hg para formar el mismo compuesto? ¿Por qué?**
No, porque existe una única proporción en la que se combinan dos elementos para formar un determinado compuesto. En este caso es 3,2 g de azufre con 20 g de mercurio.
- 8 **La ley de Proust asegura que «cuando dos elementos se combinan, lo hacen en una proporción fija», mientras que la de las proporciones múltiples de Dalton afirma que «dos elementos pueden combinarse entre sí en más de una proporción». ¿Se contradicen las dos leyes? Razona tu respuesta.**

No, la proporción fija de la ley de Proust se da cuando forman un único compuesto, y en el caso de la ley de Dalton, las diferentes proporciones son para formar compuestos distintos (de forma que en cada uno de esos compuestos la proporción es única).

9 ¿Cómo se llegó al concepto de átomo?

A través de la ley de Proust y la de Dalton: si los elementos se combinan únicamente en determinadas proporciones, y con números enteros y sencillos, deben existir unas unidades materiales de combinación: los átomos.

10 ¿Qué dos soluciones aportadas por Avogadro contribuyeron a explicar la ley de los volúmenes de combinación?

La hipótesis «volúmenes iguales de gases diferentes, en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas (moléculas)» y el concepto de molécula, según el cual «las partículas fundamentales de nitrógeno, oxígeno y otros gases no son átomos, sino agrupaciones de varios átomos del elemento». Avogadro llamó moléculas a estas agrupaciones de átomos.

11 Explica las diferencias entre átomo y molécula.

Átomo es la parte más pequeña de un elemento que, manteniendo su identidad, toma parte en las combinaciones químicas. Molécula es la parte más pequeña de un elemento o compuesto que tiene existencia estable e independiente.

12 La combustión de una hoja de papel es un proceso químico. Diseña un experimento para comprobar que se cumple la ley de conservación de la masa.

Pesamos el papel y el aire del recipiente (herméticamente cerrado) donde se va a realizar la combustión. Finalizada esta, volvemos a pesar. Si las medidas han sido bien tomadas, los resultados serán iguales.

13 Si calientas lana de hierro, la masa de la lana aumenta. Se cumple la ley de conservación de la masa?

Sí, debido a que el hierro al calentarlo se ha combinado con el oxígeno del aire, formándose óxido de hierro. Por tanto, esta masa de oxígeno hay que tenerla en cuenta.

14 Se analizan dos muestras con estas composiciones:

■ Muestra A: 39,563 g de Sn y 5,333 g de O.

■ Muestra B: 29,673 g de Sn y 4,000 g de O.

Indica si se trata del mismo o de distintos compuestos.

Se trata del mismo óxido, pues:

$$A: \frac{39,563 \text{ g de Sn}}{5,333 \text{ g de O}} = 7,418$$

$$B: \frac{29,673 \text{ g de Sn}}{4,000 \text{ g de O}} = 7,418$$

Es un ejemplo de la ley de las proporciones definidas. Se puede comprobar que es el óxido de estaño(II), SnO.

15 Se analizan dos muestras con estas composiciones:

■ Muestra X: 19,782 g de Sn y 2,667 g de O.

■ Muestra Y: 23,738 g de Sn y 6,400 g de O.

Indica si se trata del mismo o de distintos compuestos.

Son distintos compuestos, pues:

$$\blacksquare X: \frac{19,782 \text{ g de Sn}}{2,667 \text{ g de O}} = 7,417$$

$$\blacksquare Y: \frac{23,738 \text{ g de Sn}}{6,400 \text{ g de O}} = 3,709$$

Si el primer óxido es SnO, el segundo debe ser SnO₂, ya que la segunda relación es la mitad que la primera.

16 El estaño puede formar con el oxígeno dos tipos de óxidos: en el óxido A, la proporción en masa entre el estaño y el oxígeno es 7,42:1, y en el óxido B, 3,71:1.

a) ¿Se cumple la ley de las proporciones múltiples?

Sí, pues si multiplicamos por 2 la relación 3,71:1, obtenemos 7,42:2, y sigue siendo la misma relación. Pero ahora puede apreciarse mejor, comparándola con la primera (7,42:1), que, mientras la cantidad de uno permanece constante (7,42), la del otro varía con números enteros (1 y 2).

b) Si el óxido A se compone de un átomo de Sn y otro de O, indica la composición del óxido B.

Si tenemos en cuenta que la combinación de átomos, para formar el óxido A, es 1 de Sn con 1 de O, y como la relación en masa es 7,42:1, debemos concluir que un átomo de Sn es 7,42 veces más pesado que un átomo de O. Por otra parte, si la segunda relación es 7,42:2, y un átomo de Sn es 7,42 veces más pesado que un átomo de O, deducimos que deben existir dos átomos de oxígeno, es decir, SnO₂.

17 Un átomo de azufre se combina con dos átomos de hidrógeno según una proporción en masa de 16:1. Indica la masa atómica relativa del S con respecto al H.

Si un átomo de S se combina con dos de H en una relación de 16 g:1 g, podemos deducir que un átomo de S es 16 veces más pesado que dos átomos de H, es decir, un átomo de S será 32 veces más pesado que un átomo de H. Por tanto, la masa atómica del azufre con respecto a la de hidrógeno será 32.

18 Además de la proporción en masa, en la que intervienen varios elementos para formar un compuesto, ¿qué otra combinación es imprescindible conocer para averiguar las masas relativas de los átomos de esos elementos?

El número de átomos de cada uno de los elementos que es necesario combinar para formar el compuesto.

19 En la actualidad se sabe que el compuesto sulfuro de hidrógeno resulta de la unión de dos átomos de H y de un átomo de S. Con esta información, y considerando que la proporción en masa de H y S para formar sulfuro de hidrógeno es de 1:16, calcula la masa relativa del azufre.

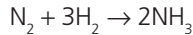
Buscamos una proporción semejante a la 1:16, pero que contenga un 2 en primer lugar (ya que son dos átomos de H los que se combinan). Dicha proporción es: 2:32. Por tanto, como el 2 equivale a la masa de los dos átomos de H, el 32 equivaldrá a la masa de 1 átomo de azufre.

20 Un volumen de dinitrógeno (gas) se combina químicamente con tres volúmenes de dihidrógeno (gas), para formar dos volúmenes de amoníaco (gas). Si las condiciones de *p* y *T* son idénticas para todos ellos, deduce, aplicando las sugerencias de Avogadro, la composición de la molécula de amoníaco.

Sugerencias de Avogadro:

1. Volúmenes iguales de gases diferentes (en las mismas condiciones de p y T) contienen el mismo número de partículas.
2. Las partículas fundamentales de dinitrógeno, oxígeno y otros gases no son átomos, sino agrupaciones de varios átomos del elemento.

Entonces, la composición molecular de cada gas compatible con el número de volúmenes hallados es:



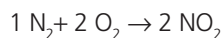
- 21) ¿Es la relación que se da entre los volúmenes de los gases reaccionantes y los de los gases formados igual a la relación con la que se combinan sus moléculas?

Sí, por la hipótesis de Avogadro.

- 22) El dinitrógeno y el oxígeno son gases formados por moléculas diatómicas. Si las posibilidades de combinación de sus volúmenes son 2:1, 1:1 y 1:2:

- a) Determina los volúmenes del gas formado en cada uno de los casos.
- b) Establece la fórmula más sencilla de cada uno de los gases formados.
- c) Escribe las tres combinaciones utilizando la simbología tradicional.

Teniendo en cuenta las posibilidades de combinación de los volúmenes de dinitrógeno y oxígeno, y que ambos gases están formados por moléculas diatómicas, podemos escribir:



Entonces:

- a) En todos los casos la cantidad de gas formado son dos volúmenes.
- b) La fórmula más sencilla para cada uno de los gases formados es N_2O , NO y NO_2 .
- c) Los tres procesos son los descritos anteriormente.

- 23) Se ha comprobado experimentalmente que 4,7 g del elemento A reaccionan por completo con 12,8 g del elemento B para dar 17,5 g de un compuesto. ¿Qué cantidad de compuesto se formará si reaccionan 4,7 g de A con 11,5 g de B?

El reactivo limitante es el B, y el que está en exceso es el A. Establecemos la proporción con el reactivo limitante:

$$\frac{4,7 \text{ g de A}}{12,8 \text{ g de B}} = \frac{x \text{ g de A}}{11,5 \text{ g de B}}$$

$$x = 4,2 \text{ g de A}$$

Entonces, según el principio de conservación de la masa

$$4,2 \text{ g} + 11,5 \text{ g} = 15,7 \text{ g de compuesto y sobraría:}$$

$$4,7 \text{ g} - 4,2 \text{ g} = 0,5 \text{ g de A}$$

- 24) El azufre y el cinc se combinan en la relación 16 g de azufre y 32,7 g de cinc. ¿Qué cantidad de sulfuro de cinc se obtendrá al combinar químicamente 20 g de azufre con 20 g de cinc?

Establecemos la proporción con el reactivo limitante, el Zn:

$$\frac{16 \text{ g de S}}{32,7 \text{ g de Zn}} = \frac{x \text{ g de S}}{20 \text{ g de Zn}}; x = 9,8 \text{ g de S}$$

Entonces, según el principio de conservación de la masa $9,8 \text{ g} + 20 \text{ g} = 29,8 \text{ g}$ de compuesto y sobraría:

$$20 \text{ g} - 9,8 \text{ g} = 10,2 \text{ g de S}$$

- 25) Si la proporción en masa en la que se combinan carbono y oxígeno para dar monóxido de carbono es 3:4, ¿qué cantidad de oxígeno reaccionará totalmente con 12 g de carbono? ¿Qué ocurrirá si deseamos combinar 12 g de carbono con 17 g de oxígeno?

Aplicamos la relación:

$$\frac{3 \text{ g de carbono}}{4 \text{ g de oxígeno}} = \frac{12 \text{ g de carbono}}{x \text{ g de oxígeno}}$$

$$x = 16 \text{ g de oxígeno}$$

Si combinamos 12 g de carbono con 17 g de oxígeno, se formarán: $12 + 16 = 28 \text{ g}$ de CO , y quedará sin reaccionar 1 g de oxígeno.

- 26) Supongamos que reaccionan dos elementos (X e Y) y que las relaciones de sus masas combinadas son:

Experimento	X	Y
Reacción 1	2,50	1,20
Reacción 2	2,50	0,60
Reacción 3	5,00	2,40
Reacción 4	2,50	0,40

A la vista de estos datos, di si las siguientes afirmaciones son verdaderas:

- a) Los datos de las reacciones 1 y 3 justifican la ley de Proust.
- b) Los datos de las reacciones 1, 2 y 4 justifican la ley de las proporciones múltiples.
- c) Los compuestos formados en las reacciones 1 y 2 son iguales.
- d) Los compuestos formados en las reacciones 1 y 3 son iguales.
- a) Verdadera, ya que las relaciones son idénticas.
- b) Verdadera, ya que mientras la cantidad de uno de los elementos (X) permanece constante, la del otro (Y) varía siguiendo una relación de números enteros sencillos:

$$\frac{1,20}{0,60} = 2; \frac{1,20}{0,40} = 3; \frac{0,60}{0,40} = \frac{3}{2}$$

- c) Falsa. El que se ha formado en la reacción 2 tiene la mitad de átomos de Y que el formado en la reacción 1.
- d) Verdadera, ya que las relaciones son idénticas.

Cantidad de materia

- 27) ¿Qué queremos decir al afirmar que «la masa atómica del azufre es 32,06»?

Que la masa promedio de un átomo del elemento azufre es 32,06/12 veces superior a la masa de un átomo de carbono-12.

- 28) Calcula los átomos de azufre que hay en 32,06 g de la sustancia de la actividad anterior.

Como 32,06 g de azufre corresponden a la masa molar del azufre, entonces habrá $6,022 \cdot 10^{23}$ átomos de azufre.

- 29) Define mol de una sustancia pura.

Es la cantidad de sustancia que contiene tantas partículas (átomos o moléculas) como las existentes en 12 g de carbono-12, es decir, $6,022 \cdot 10^{23}$ partículas.

- 30) ¿Qué se entiende por composición centesimal de un compuesto?

Es la expresión del tanto por ciento en masa de cada uno de los elementos que integran el compuesto.

- 31) ¿Cuál de las siguientes muestras contiene mayor número de átomos?

- a) 10 g de Na
b) 10 g de CO_2
c) 2 mol de NH_3

Establecemos las siguientes relaciones:

$$\text{a) } \frac{23 \text{ g de Na}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Na}} = \frac{10 \text{ g de Na}}{x \text{ átomos de Na}}$$

$$x = 2,62 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Na}$$

$$\text{b) } \frac{44 \text{ g de CO}_2}{3 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de C y de O}} = \frac{10 \text{ g de CO}_2}{x \text{ átomos de C y de O}}$$

$$x = 4,1 \cdot 10^{23} \text{ átomos}$$

$$\text{c) } \frac{1 \text{ mol de NH}_3}{4 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de N y de H}} = \frac{2 \text{ mol de NH}_3}{x \text{ átomos de N y de H}}$$

$$x = 4,8 \cdot 10^{24} \text{ átomos}$$

Por tanto: c) > b) > a).

- 32) Un átomo de un determinado elemento tiene una masa de $3,819 \cdot 10^{-23}$ g. ¿Cuánto vale su masa atómica?

Dividiendo la masa del átomo (en gramos) entre el número de gramos que corresponde a una unidad de masa atómica, tendremos la respuesta:

$$\frac{3,819 \cdot 10^{-23} \text{ g}}{1,6 \cdot 10^{-24} \text{ g/u}} = 23 \text{ u}$$

- 33) Sabiendo que la masa molecular relativa del hidrógeno es 2 y la del oxígeno 32, contesta razonadamente las siguientes cuestiones:

- a) ¿Qué tendrá más masa: un mol de hidrógeno o un mol de oxígeno?
b) ¿Dónde habrá más moléculas: en un mol de hidrógeno o en un mol de oxígeno?
a) Un mol de oxígeno (32 g).
b) En ambas porciones de materia existirá el mismo número de moléculas: $6,022 \cdot 10^{23}$.

- 34) Sabiendo que la densidad del H_2O es 1 g/cm^3 , indica cuántos moles son:

- a) 3,42 g de H_2O .
b) 10 cm^3 de H_2O .
c) $1,82 \cdot 10^{23}$ moléculas de H_2O .

$$\text{a) } \frac{1 \text{ mol de agua}}{18 \text{ g de agua}} = \frac{x \text{ mol de agua}}{3,42 \text{ g de agua}}$$

$$x = 0,19 \text{ mol}$$

$$\text{b) } \frac{1 \text{ mol de agua}}{18 \text{ g de agua}} = \frac{x \text{ mol de agua}}{10 \text{ g de agua}}$$

$$x = 0,56 \text{ mol}$$

$$\text{c) } \frac{1 \text{ mol de agua}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}} = \frac{x \text{ mol de agua}}{1,82 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}$$

$$x = 0,3 \text{ mol}$$

- 35) ¿Dónde hay mayor número de moléculas, en 30 g de SO_2 o en 25 g de CO_2 ?

Transformamos los gramos en moles:

$$\frac{30 \text{ g de SO}_2}{64 \text{ g/mol}} = 0,47 \text{ mol de SO}_2$$

$$\frac{25 \text{ g de CO}_2}{44 \text{ g/mol}} = 0,57 \text{ mol de CO}_2$$

Por tanto, hay más moléculas en los 25 g de CO_2 .

- 36) Calcula las moléculas que hay en una gota de H_2O . Datos: 20 gotas de $\text{H}_2\text{O} = 1 \text{ cm}^3$ y $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/cm}^3$.

Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{20 \text{ gotas de agua}}{1 \text{ cm}^3} = \frac{1 \text{ gota de agua}}{x \text{ cm}^3}$$

$$x = 0,05 \text{ cm}^3$$

Como la densidad del H_2O es 1 g/cm^3 , la masa de una gota de agua será 0,05 g.

Establecemos la relación:

$$\frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de agua}}{18 \text{ g de agua/mol}} = \frac{x \text{ moléculas de agua}}{0,05 \text{ g de agua}}$$

$$x = 1,67 \cdot 10^{21} \text{ moléculas de agua}$$

- 37) En una muestra de fósforo hay 10^{24} átomos. Calcula:

- a) La cantidad, en mol, de átomos de fósforo que hay en la muestra.
b) La cantidad, en mol, de moléculas de fósforo que hay en la muestra (la molécula de fósforo es P_4).

- a) Establecemos la relación:

$$\frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de fósforo}}{1 \text{ mol de átomos de fósforo}} = \frac{10^{24} \text{ átomos de fósforo}}{x \text{ mol de átomos de fósforo}}$$

$$x = 1,66 \text{ mol de átomos de fósforo}$$

- b) Hallamos el número de moléculas de P_4 :

$$\frac{10^{24} \text{ átomos}}{4 \text{ átomos/molécula}} = 2,5 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}$$

Establecemos la relación:

$$\frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{1 \text{ mol de moléculas}} = \frac{2,5 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{x \text{ mol de moléculas}}$$

$$x = 0,415 \text{ mol de moléculas de P}_4$$

38 ¿Cuántas moléculas y átomos hay en 10 g de oxígeno?

Para calcular las moléculas existentes en 10 g de oxígeno, establecemos la relación:

$$\frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{32 \text{ g de oxígeno}} = \frac{x \text{ moléculas}}{10 \text{ g de oxígeno}}$$

$$x = 1,88 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de oxígeno}$$

Como cada molécula de oxígeno está formada por dos átomos, entonces los átomos que hay en los 10 g serán:

$$\begin{aligned} 1,88 \cdot 10^{23} \text{ moléculas} \cdot 2 \text{ átomos/molécula} &= \\ &= 3,76 \cdot 10^{23} \text{ átomos de oxígeno} \end{aligned}$$

39 Calcula:

- a) ¿Cuántos moles de átomos de oxígeno hay en 200 g de nitrato de bario, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$?
- b) ¿Cuántos átomos de fósforo hay en 0,15 mol de pentóxido de difósforo, P_2O_5 ?
- c) ¿Cuántos gramos de oxígeno hay en 0,15 mol de trióxido de difósforo, P_2O_3 ?
- d) ¿Cuántos átomos de oxígeno hay en 5,22 g de nitrato de bario, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$?

- a) La masa molar del nitrato es 261,3 g/mol; en esta masa hay 96 g de oxígeno (16 g/mol · 6).

Entonces:

$$\frac{96 \text{ g de oxígeno}}{261,3 \text{ g de nitrato}} = \frac{x \text{ g de oxígeno}}{200 \text{ g de nitrato}}$$

$$x = 73,48 \text{ g de oxígeno}$$

$$\frac{73,48 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 4,59 \text{ mol de átomos de O}$$

$$\text{b) } \frac{1 \text{ mol de } \text{P}_2\text{O}_5}{2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de P}} = \frac{0,15 \text{ mol de } \text{P}_2\text{O}_5}{x \text{ átomos de P}}$$

$$x = 1,807 \cdot 10^{23} \text{ átomos de P}$$

$$\text{c) } \frac{1 \text{ mol de } \text{P}_2\text{O}_3}{48 \text{ g de oxígeno}} = \frac{0,15 \text{ mol de } \text{P}_2\text{O}_3}{x \text{ g de oxígeno}}$$

$$x = 7,2 \text{ g de oxígeno}; \frac{7,2 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 0,45 \text{ mol}$$

$$\text{d) } \frac{261,3 \text{ g de nitrato de bario}}{6 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de O}} = \frac{5,22 \text{ g de nitrato de bario}}{x \text{ átomos de O}}$$

$$x = 7,21 \cdot 10^{22} \text{ átomos de O}$$

40 El azufre, el oxígeno y el cinc forman el sulfato de cinc en la siguiente relación S:O:Zn; 1:1,99:2,04. Calcula la composición centesimal.

La suma de las tres relaciones es:

$$1 + 1,99 + 2,04 = 5,03$$

Establecemos las siguientes proporciones:

$$\frac{5,03}{100\%} = \frac{1}{x}; x = 19,9\% \text{ de S}$$

$$\frac{5,03}{100\%} = \frac{1,99}{y}; y = 39,6\% \text{ de O}$$

$$\frac{5,03}{100\%} = \frac{2,04}{z}; z = 40,5\% \text{ de Zn}$$

41 Tenemos 25 kg de un abono nitrogenado de una riqueza en nitrato de potasio, KNO_3 , del 60 %. Calcula la cantidad de nitrógeno, en kg, que contiene el abono.

Establecemos la relación:

$$\frac{60 \text{ kg de } \text{KNO}_3}{100 \text{ kg de abono}} = \frac{x \text{ kg de } \text{KNO}_3}{25 \text{ kg de abono}}$$

Despejamos x:

$$x = 15 \text{ kg de } \text{KNO}_3 \text{ que contienen los 25 kg de abono}$$

Como 1 mol de KNO_3 es 101 g, tenemos:

$$\frac{14 \text{ kg de nitrógeno}}{101 \text{ kg de } \text{KNO}_3} = \frac{y \text{ kg de nitrógeno}}{15 \text{ kg de } \text{KNO}_3}$$

Despejamos y:

$$y = 14 \text{ kg de nitrógeno} \cdot \frac{15}{101}; y = 2,1 \text{ kg de nitrógeno}$$

42 Calcula la composición centesimal del sulfato de aluminio, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Hallamos la masa molar del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$27 \text{ g/mol Al} \cdot 2 + 32 \text{ g/mol S} \cdot 3 + 16 \text{ g/mol O} \cdot 12 = 342 \text{ g/mol}$$

Establecemos las relaciones:

$$\frac{342 \text{ g/mol de compuesto}}{54 \text{ g/mol de Al}} = \frac{100\% \text{ de compuesto}}{x \% \text{ de Al}}$$

$$x = 15,8\% \text{ de Al}$$

$$\frac{342 \text{ g/mol de compuesto}}{96 \text{ g/mol de S}} = \frac{100\% \text{ de compuesto}}{y \% \text{ de S}}$$

$$y = 28,1\% \text{ de S}$$

$$\frac{342 \text{ g/mol de compuesto}}{192 \text{ g/mol de O}} = \frac{100\% \text{ de compuesto}}{z \% \text{ de O}}$$

$$z = 56,1\% \text{ de O}$$

43 Calcula la composición centesimal del KNO_3 .

Hallamos la masa molar del KNO_3 :

$$39 \text{ g/mol de K} + 14 \text{ g/mol de N} + 16 \text{ g/mol de O} \cdot 3 = 101 \text{ g/mol}$$

Establecemos las relaciones:

$$\frac{101 \text{ g/mol de compuesto}}{39 \text{ g/mol de K}} = \frac{100\% \text{ de compuesto}}{x \% \text{ de K}}$$

$$x = 38,6\% \text{ de K}$$

$$\frac{101 \text{ g/mol de compuesto}}{14 \text{ g/mol de N}} = \frac{100\% \text{ de compuesto}}{x \% \text{ de N}}$$

$$x = 13,9\% \text{ de N}$$

$$\frac{101 \text{ g/mol de compuesto}}{48 \text{ g/mol de O}} = \frac{100\% \text{ de compuesto}}{x \% \text{ de O}}$$

$$x = 47,5\% \text{ de O}$$

Comprobamos que la suma de los tres es el 100%:

$$38,6\% + 13,9\% + 47,5\% = 100\%$$

Determinación de fórmulas

- 44 Indica la diferencia entre fórmula empírica y fórmula molecular.

La fórmula empírica expresa la relación más sencilla en que están combinados los átomos de los diferentes elementos que integran un compuesto.

En cambio, la fórmula molecular refleja el número total de átomos de cada elemento que forman la molécula del compuesto.

- 45 Un óxido de vanadio que pesa 3,53 g se redujo con dihidrógeno, y se obtuvo agua y otro óxido de vanadio que pesaba 2,909 g. Este segundo óxido se volvió a reducir hasta obtener 1,979 g de metal.

- a) ¿Cuáles son las fórmulas empíricas de ambos óxidos?
 b) ¿Cuál es la cantidad total de agua formada en las dos reacciones?
- a) Hallamos la composición centesimal del segundo óxido de vanadio:

$$\frac{2,909 \text{ g de óxido}}{1,979 \text{ g de vanadio}} = \frac{100\% \text{ de óxido}}{x\% \text{ de vanadio}}$$

$$x = 68,03\% \text{ de vanadio}$$

$$y = 100 - 68,03 = 31,97\% \text{ de oxígeno}$$

Calculamos los moles de átomos:

$$\frac{68,03 \text{ g de vanadio}}{51 \text{ g/mol}} = 1,33 \text{ mol de vanadio}$$

$$\frac{31,97 \text{ g de oxígeno}}{16 \text{ g/mol}} = 1,99 \text{ mol de oxígeno}$$

Dividimos entre el menor de ellos, y el resultado lo multiplicamos por 2:

$$\frac{1,33}{1,33} = 1 \text{ mol de vanadio}; 1 \cdot 2 = 2 \text{ mol de vanadio}$$

$$\frac{1,99}{1,33} = 1,5 \text{ mol de oxígeno}; 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ mol de oxígeno}$$

La fórmula empírica del óxido es V_2O_3 .

Determinamos la composición centesimal del primer óxido de vanadio:

$$\frac{3,53 \text{ g de óxido}}{1,979 \text{ g de vanadio}} = \frac{100\% \text{ de óxido}}{x\% \text{ de vanadio}}$$

$$x = 56,06\% \text{ de vanadio}$$

$$y = 100 - 56,06 = 43,94\% \text{ de oxígeno}$$

Hallamos los moles de átomos:

$$\frac{56,06 \text{ g de vanadio}}{51 \text{ g/mol}} = 1,10 \text{ mol de vanadio}$$

$$\frac{43,94 \text{ g de oxígeno}}{16 \text{ g/mol}} = 2,75 \text{ mol de oxígeno}$$

Dividimos entre el menor de ellos, y el resultado lo multiplicamos por 2:

$$\frac{1,10}{1,10} = 1 \text{ mol de vanadio}; 1 \cdot 2 = 2 \text{ mol de vanadio}$$

$$\frac{2,75}{1,10} = 2,5 \text{ mol de oxígeno}; 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ mol de oxígeno}$$

La fórmula empírica del óxido es V_2O_5 .

- b) La cantidad total de oxígeno que contenía el V_2O_5 antes de reducirse era:

$$3,53 \text{ g de óxido} - 1,979 \text{ g de metal} = 1,55 \text{ g de oxígeno}$$

Como todo este oxígeno ha pasado a formar parte de las moléculas de agua, una sencilla proporción nos dará la cantidad total de agua formada:

$$\frac{18 \text{ g de agua}}{x \text{ g de agua}} = \frac{16 \text{ g de oxígeno}}{1,55 \text{ g de oxígeno}}$$

$$x = 1,74 \text{ g de agua}$$

- 46 El análisis de un compuesto de carbono dio los siguientes porcentajes: 30,45% de C, 3,83% de H, 45,69% de Cl y 20,23% de O. Se sabe que la masa molar del compuesto es 157 g/mol. ¿Cuál es la fórmula molecular del compuesto de carbono?

$$\frac{30,45 \text{ g de carbono}}{12 \text{ g/mol}} = 2,537 \text{ mol de carbono}$$

$$\frac{3,83 \text{ g de hidrógeno}}{1 \text{ g/mol}} = 3,83 \text{ mol de hidrógeno}$$

$$\frac{45,69 \text{ g de cloro}}{35,5 \text{ g/mol}} = 1,287 \text{ mol de cloro}$$

$$\frac{20,23 \text{ g de oxígeno}}{16 \text{ g/mol}} = 1,264 \text{ mol de oxígeno}$$

Relaciones idénticas, pero de números enteros, son:

$$2 \text{ mol de C, } 3 \text{ mol de H, } 1 \text{ mol de Cl y } 1 \text{ mol de O}$$

Por tanto, la fórmula empírica será H_3C_2OCl , cuya masa molar es:

$$3 \text{ g} + 24 \text{ g} + 16 \text{ g} + 35,5 \text{ g} = 78,5 \text{ g/mol}$$

Dividiendo las dos masas molares, encontraremos cuántas veces son mayores los coeficientes de la fórmula molecular con respecto a la empírica:

$$\frac{157 \text{ g/mol}}{78,5 \text{ g/mol}} = 2$$

Por tanto, la fórmula molecular es $C_4H_6O_2Cl_2$.

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 45)

1. Si en una reacción química ponemos 10 g de reactivos y solo obtenemos 8 g de producto, ¿se cumple la ley de conservación de la masa? ¿Han desaparecido átomos? Explicalo.

En toda reacción química, la ley de conservación de la masa siempre ha de cumplirse. Si ocurriera lo que dice el enunciado, es porque los otros dos gramos que faltan a los 18 g para sumar 20 g existen en forma de reactivo en exceso, es decir, no se han utilizado cantidades estequiométricas de reactivo y ha sobrado 2 g de uno de ellos.

2. Enuncia la ley de Proust de las proporciones definidas y la de Dalton de las proporciones múltiples e indica por qué conducen a la idea de discontinuidad de la materia.

Ley de las proporciones definidas: cuando se combinan químicamente dos o más elementos para dar un determinado compuesto, siempre lo hacen en una proporción fija, con independencia de su estado físico y forma de obtención.

Ley de las proporciones múltiples: dos elementos pueden combinarse entre sí en más de una proporción para dar compuestos distintos. En ese caso, determinada cantidad fija de uno de ellos se combina con cantidades variables del otro, de modo que las cantidades variables de este último guardan entre sí una relación de números enteros sencillos.

La consecuencia que se deriva de las leyes de las proporciones definidas y de las proporciones múltiples es que la materia es discontinua, es decir, está formada por partículas pequeñísimas, indivisibles e inalterables (átomos).

Efectivamente, si solo existe una proporción posible de combinación entre dos o más elementos para dar un determinado compuesto, es porque, para formarse el compuesto, deben unirse átomos de dichos elementos, aportando cada uno su propia masa para formar la masa total del compuesto. Por ejemplo, si la única combinación posible entre el cloro y el sodio para formar cloruro de sodio es 35,5:23, y suponemos que la unión es un átomo de cloro con un átomo de sodio, es porque la relación entre las masas de los átomos de cloro y sodio es 35,5:23.

La ley de las proporciones múltiples nos informa de que los átomos se unen unos con otros solo si están enteros, de ahí que se extraiga la conclusión de su indivisibilidad.

3. Un óxido de cobre contiene un porcentaje de cobre del 79,87 % de cobre (el resto es oxígeno). Calcula:

a) La masa de cobre que se combina con 8 g de oxígeno.

Si tiene 79,87 % de cobre, tendrá de oxígeno:

$$100\% - 79,87\% = 20,13\%$$

Entonces:

$$\frac{79,87 \text{ g de cobre}}{20,13 \text{ g de oxígeno}} = \frac{x \text{ g de cobre}}{8 \text{ g de oxígeno}}$$

$$x = 31,74 \text{ g de cobre.}$$

b) La masa de óxido que se obtendrá.

Aplicamos la ley de conservación de la masa para hallar la masa que se obtiene de óxido:

$$31,74 \text{ g} + 8 \text{ g} = 39,74 \text{ g de óxido}$$

4. Proust demostró que cualquier carbonato de cobre(II) contiene 5,3 partes de cobre, 1 parte de carbono y 4 partes de oxígeno. Si convencionalmente diéramos al átomo de carbono una masa de 12 (unidades arbitrarias) y al de oxígeno le correspondiera una de 16 y al de cobre otra de 63,6, ¿cuántos átomos de cobre y cuántos de oxígeno se unirían a uno de carbono para formar el carbonato de cobre(II)? ¿Tiene esto algo que ver con la fórmula del compuesto?

Dividimos las «partes» de cada elemento entre la masa de su respectivo átomo para averiguar la relación entre el número de ellos:

$$\frac{5,3}{63,6} = 0,0833 \text{ átomos de Cu.}$$

$$\frac{1}{12} = 0,0833 \text{ átomos de C.}$$

$$\frac{4}{16} = 0,25 \text{ átomos de O.}$$

Buscamos otra relación, idéntica a la anterior, basada en números enteros, para lo cual dividimos los tres valores entre el menor de ellos:

$$\frac{0,0833}{0,0833} = 1 \text{ átomo de Cu}$$

$$\frac{0,0833}{0,0833} = 1 \text{ átomo de C}$$

$$\frac{0,25}{0,0833} = 3 \text{ átomos de O}$$

Todo esto tiene que ver con la fórmula del compuesto, que será CuCO_3 .

5. Halla la composición centesimal del carbonato de cobre(II). Utiliza los datos del ejercicio anterior.

■ Transformamos las «partes» a porcentaje en masa:

■ 5,3 partes de Cu equivalen a $5,3 \cdot 100/10,3 = 51,46\%$ de Cu.

■ 1 parte de C equivale a $1 \cdot 100/10,3 = 9,71\%$ de C.

■ 4 partes de O equivalen a $4 \cdot 100/10,3 = 38,83\%$ de O.

6. Enuncia los postulados de la teoría atómica de Dalton.

1. Los elementos químicos están formados por partículas pequeñísimas, llamadas átomos, que son indivisibles e inalterables.

2. Todos los átomos de un mismo elemento son iguales y, por tanto, tienen la misma masa y propiedades, mientras que los átomos de diferentes elementos tienen distinta masa y propiedades.

3. Los compuestos químicos están formados por la unión de átomos de diferentes elementos, y estos átomos se combinan entre sí en una relación de números enteros sencillos.

4. Los átomos no se crean ni se destruyen en una reacción química, solo se redistribuyen.

7. Si la relación en la que se combinan el carbono y el oxígeno para dar dióxido de carbono es 3:8, indica:

a) La cantidad de dióxido de carbono que se formará cuando pretendamos hacer reaccionar 20 g de carbono con 30 g de oxígeno.

Hallamos la cantidad de C que reacciona con 30 g de O:

$$\frac{3 \text{ de C}}{8 \text{ de O}} = \frac{x \text{ g de C}}{30 \text{ g de O}}$$

$$x = 11,25 \text{ g de C}$$

Por tanto, si reacciona 11,25 g de C con 30 g de O se formará 41,25 g de dióxido de carbono.

b) Si se cumple o no la ley de conservación de la masa. Explicalo.

Sí se cumple la ley de conservación de la masa ya que la masa de reactivos fue de 50 g y hemos obtenido:

41,25 g de dióxido de carbono + 8,75 g de carbono que han quedado sin reaccionar = 50 g.

c) La relación entre ambos elementos cuando se forme monóxido de carbono.

Como el monóxido de carbono tiene un oxígeno menos que el dióxido de carbono, la relación será: $3:(8/2) = 3:4$.

d) Si se cumple o no la ley de las proporciones múltiples. Explicalo.

Sí se cumple, ya que cuando la cantidad de uno de los elementos permanece constante (3 para el C), la del otro (4 y 8 para el O) varía según unos números enteros y sencillos.

8. Si 2 volúmenes de dihidrógeno reaccionan con 1 volumen de oxígeno para dar 2 volúmenes de vapor de agua, ¿se cumple la ley de conservación de la masa? ¿No deberían dar 3 volúmenes de vapor de agua? Razona la respuesta.

La ley de conservación de la masa dice que la masa de toda reacción química se conserva, es decir, que la masa de reactivos coincide con la masa de productos, y en la reacción entre el dihidrógeno y el oxígeno para dar agua también ha de conservarse dicha ley, de lo cual se deduce que la masa de un volumen de dihidrógeno no es la misma que la de un volumen de oxígeno, o dicho de otra manera, la masa de una molécula de dihidrógeno no es la misma que la masa de una molécula de oxígeno

9. Define mol y halla el número de mol que equivale a:

a) 10 g de oxígeno (O_2).

b) $8,751 \cdot 10^{24}$ moléculas de dióxido de carbono.

Datos: masas atómicas: O = 16; C = 12.

El mol es la cantidad de sustancia que contiene tantas partículas (átomos, moléculas, iones, etc.) como las que hay en 0,012 kg (12 g) de carbono-12.

$$a) \frac{32 \text{ g de } O_2}{1 \text{ mol de } O_2} = \frac{10 \text{ g de de } O_2}{x \text{ mol de } O_2}$$

$$x = 0,31 \text{ mol de } O_2$$

$$b) \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de } CO_2}{1 \text{ mol de } CO_2} =$$

$$= \frac{8,751 \cdot 10^{24} \text{ moléculas de } CO_2}{x \text{ mol de } CO_2}$$

$$x = 14,5 \text{ mol de } CO_2$$

10. Determina la fórmula empírica y molecular de la urea sabiendo que tiene la siguiente composición centesimal: 20,00 % de C; 26,67 % de O; 46,66 % de N y 6,67 % de H, y que su masa molecular es 60.

Datos: masas atómicas: O = 16; N = 14; H = 1.

Hallamos los moles de cada uno de los elementos:

$$\frac{20,00 \text{ g}}{12 \text{ g/mol}} = 1,67 \text{ mol de C}$$

$$\frac{26,67 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 1,67 \text{ mol de O}$$

$$\frac{46,66 \text{ g}}{14 \text{ g/mol}} = 3,33 \text{ mol de N}$$

$$\frac{6,67 \text{ g}}{1 \text{ g/mol}} = 6,67 \text{ mol de H}$$

Hallamos una relación de números enteros dividiendo todos ellos entre el menor:

$$\frac{1,67}{1,67} = 1 \text{ mol de C}$$

$$\frac{1,67}{1,67} = 1 \text{ mol de O}$$

$$\frac{3,33}{1,67} = 2 \text{ mol de N}$$

$$\frac{6,67}{1,67} = 4 \text{ mol de H}$$

Por tanto, la fórmula empírica de la urea es $(CON_2H_4)_n$

La masa molecular de la fórmula anterior (para $n = 1$) es 60. Entonces, para hallar la fórmula molecular, aplicamos la siguiente ecuación:

$$60 \cdot n = 60; n = 1.$$

Por tanto, la fórmula molecular de la urea es CON_2H_4

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Saber clasificar los cuerpos materiales en sustancias puras (elementos y compuestos) y mezclas (homogéneas y heterogéneas), así como sus distintas propiedades, en físicas y químicas.	AT: 1-5	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Saber interpretar cuantitativamente las tres leyes ponderales: conservación de la masa, proporciones definidas y proporciones múltiples.	A: 1-5 ER: 1-2 AT: 6-8, 12-15, 23-26	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1. Justificar la teoría atómica de Dalton y la discontinuidad de la materia a partir de las leyes fundamentales de la Química ejemplificándolo con reacciones.	A: 6-9 AT: 9, 16 -19	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Realizar correctamente equivalencias entre moles, gramos y entidades químicas (moléculas, átomos o iones) existentes en una determinada cantidad de sustancia	A: 12-14 ER: 3 AT: 10, 11, 20-22	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Calcular masas atómicas relativas y moleculares, a partir del conocimiento del número de átomos que integran la molécula y la proporción en masa de cada uno de ellos.	AT: 17, 18, 27-39	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1. Calcular la composición centesimal de cada uno de los elementos que integran un compuesto y saber determinar la fórmula empírica y molecular de un compuesto a partir de su composición centesimal.	A: 15-16 ER: 4-7 AT: 40-46	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Indica la diferencia entre las propiedades físicas y químicas de una sustancia. Pon un ejemplo de cada una de ellas.

Son propiedades físicas aquellas que muestran los cuerpos materiales cuando no se altera su composición. Por ejemplo, el color, la densidad, etcétera.

Son propiedades químicas aquellas que solo se ponen de manifiesto cuando unas sustancias se transforman en otras. Por ejemplo, la facilidad o dificultad de sufrir oxidación, de ser atacadas por los ácidos, etcétera.

2. Define sustancia pura y explica las clases de sustancias puras que hay. Pon un ejemplo de cada una de ellas.

Una **sustancia pura** es cualquier clase de materia que presente una composición y unas propiedades fijas en una porción cualquiera de la misma, con independencia de su procedencia. Las sustancias puras se dividen en elementos o compuestos:

■ Un **elemento** es cualquier sustancia pura que no se descompone en otras sustancias más simples, ni siquiera utilizando los métodos químicos habituales. Son ejemplos de elementos cualesquiera de los que vienen recogidos en el sistema periódico: H, Na, Fe, etcétera.

■ Un **compuesto** es cualquier sustancia pura formada por dos o más elementos siempre combinados en una proporción fija y separables únicamente por métodos químicos. Son ejemplos de compuestos el agua (H_2O), el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cloruro de sodio ($NaCl$), la glucosa ($C_6H_{12}O_6$), el óxido de nitrógeno(I) (N_2O) y el agua oxigenada (H_2O_2), entre otros.

3. Explica la ley de las proporciones definidas y realiza el siguiente ejercicio de aplicación:

El dihidrógeno y el oxígeno reaccionan en una proporción de 1:8 para formar agua. Calcula la cantidad de agua que se formará cuando se hagan reaccionar 2 g de dihidrógeno con 8 g de oxígeno.

Ley de las proporciones definidas: cuando se combinan químicamente dos o más elementos para dar un determinado compuesto, siempre lo hacen en una proporción fija, con independencia de su estado físico y forma de obtención.

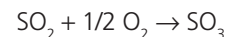
En este ejercicio hay exceso de dihidrógeno; por tanto, los 8 g de oxígeno solo podrán reaccionar con 1 g de dihidrógeno para formar 9 g de agua. Queda 1 g de dihidrógeno sin reaccionar.

4. Enuncia la hipótesis de Avogadro y realiza el siguiente ejercicio de aplicación:

Teniendo en cuenta que las partículas más pequeñas de dióxido de azufre gaseoso son moléculas triatómicas de fórmula SO_2 y que las más pequeñas de oxígeno gaseoso son moléculas diatómicas (O_2), razona el número de volúmenes de oxígeno que deberá reaccionar con un volumen de dióxido de azufre para originar un volumen de trióxido de azufre (SO_3) gaseoso, suponiendo que todos ellos se encuentran en las mismas condiciones de presión y temperatura.

Hipótesis de Avogadro: volúmenes iguales de gases diferentes, en las mismas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de partículas.

En el ejercicio de aplicación, como las condiciones de presión y temperatura son las mismas, si en un volumen de dióxido de azufre gaseoso hay n moléculas de SO_2 , en un volumen de trióxido de azufre también habrá n moléculas de SO_3 . Teniendo en cuenta que en el proceso se ha agregado un átomo de oxígeno a cada molécula de SO_2 y que hay dos átomos de oxígeno por molécula de oxígeno, será necesario tan solo 1/2 volumen de oxígeno gaseoso:



5. En una muestra formada por 100 g de butano (C_4H_{10}), indica:

a) La cantidad de butano en mol.

La masa molecular del C_4H_{10} es $12 \cdot 4 + 1 \cdot 10 = 58$. Por tanto, su masa molar es 58 g/mol.

Establecemos la proporción:

$$\frac{58 \text{ g de } C_4H_{10}}{1 \text{ mol de } C_4H_{10}} = \frac{100 \text{ g de } C_4H_{10}}{x \text{ de } C_4H_{10}}$$

$$x = 1,7 \text{ mol de } C_4H_{10}$$

b) El número de moléculas de C_4H_{10} allí existentes.

Establecemos la proporción:

$$\frac{58 \text{ g de } C_4H_{10}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de } C_4H_{10}} =$$

$$= \frac{100 \text{ g de } C_4H_{10}}{x \text{ moléculas de } C_4H_{10}}$$

$$x = 1,04 \cdot 10^{24} \text{ moléculas de } C_4H_{10}$$

c) El número de átomos de carbono y de hidrógeno que contiene.

Como en cada molécula hay 4 átomos de C y 10 de H, en las $1,04 \cdot 10^{24}$ moléculas habrá $4 \cdot 1,04 \cdot 10^{24} = 4,16 \cdot 10^{24}$ átomos de C y $10 \cdot 1,04 \cdot 10^{24} = 1,04 \cdot 10^{25}$ átomos de H.

6. Calcula la composición centesimal del H_2SO_4 .

Datos: masas atómicas: H = 1; S = 32; O = 16

La masa molecular del H_2SO_4 es 98. Por tanto:

$$\frac{1 \text{ g de H}}{98 \text{ g de } H_2SO_4} = \frac{x \text{ g de H}}{100 \text{ de } H_2SO_4}; x = 1,02\% \text{ de H}$$

Ahora bien, como en la molécula hay dos átomos de H, el porcentaje de H será 2,04% de H.

$$\frac{32 \text{ g de S}}{98 \text{ g de } H_2SO_4} = \frac{x \text{ g de S}}{100 \text{ de } H_2SO_4}; x = 32,65\% \text{ de S}$$

$$\frac{16 \text{ g de O}}{98 \text{ g de } H_2SO_4} = \frac{x \text{ g de O}}{100 \text{ de } H_2SO_4}; x = 16,33\% \text{ de O}$$

Como en la molécula hay cuatro átomos de O, el porcentaje de O será 65,32 % de O.

Comprobamos la suma de porcentajes:

$$2,04 + 32,65 + 65,32 = 100$$

7. Halla la fórmula empírica de un compuesto que contiene un 82,76 % de C y un 17,24 % de H.

Datos: masas atómicas: C = 12; H = 1

Dividiendo los porcentajes entre las masas atómicas, tenemos:

$$\frac{82,76 \text{ g de C}}{12 \text{ g/mol de C}} = 6,90 \text{ mol de C}$$

$$\frac{17,24 \text{ g de H}}{1 \text{ g/mol de H}} = 17,24 \text{ mol de H}$$

Dividiendo entre el menor de los resultados:

$$\frac{6,90}{6,90} = 1 ; \frac{17,24}{6,90} = 2,5$$

Multiplicamos por 2 para obtener números enteros: 2 átomos de C y 5 átomos de H.

Por tanto, la fórmula empírica es C_2H_5 .

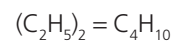
8. Si la masa molecular del compuesto químico anterior es 58, ¿cuál es su fórmula molecular?

La fórmula molecular del compuesto químico será del tipo $(C_2H_5)_n$.

Para hallar el factor n , hacemos:

$$n = \frac{\text{masa molecular real}}{\text{masa molecular empírica}} = \frac{58}{29} = 2$$

Por tanto, la fórmula molecular del compuesto químico es:



PRUEBA DE EVALUACIÓN B

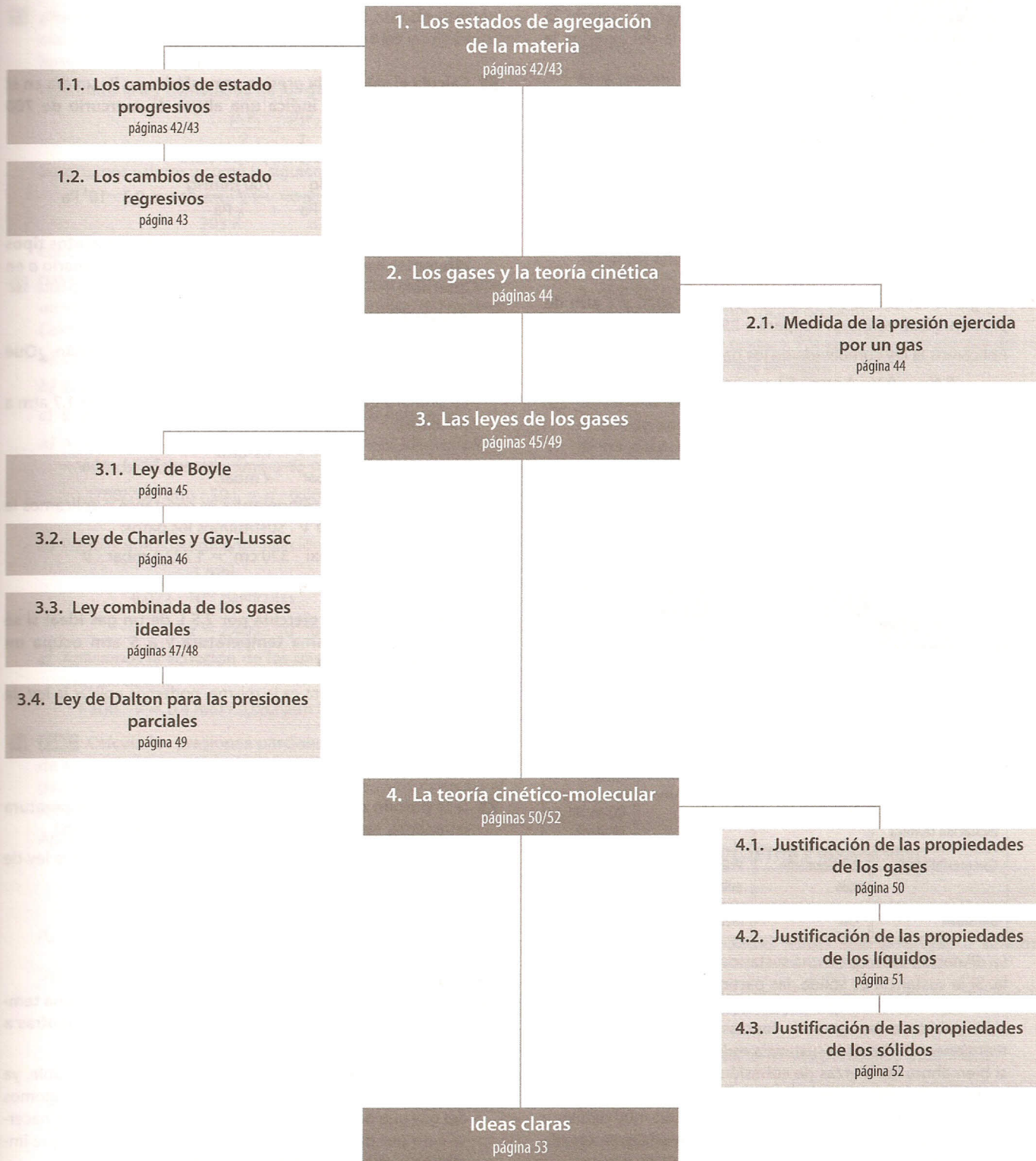
Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

- El hidrógeno, el amoníaco, el cloruro de hidrógeno y el agua son ejemplos de:
 - Elementos químicos.
 - Sustancias puras.
 - Sustancias puras y mezclas.
- La más importante aportación de Lavoisier a la química fue:
 - El descubrimiento del hidrógeno.
 - La ley de las proporciones definidas.
 - Su método de trabajo, basado en la precisión de las mediciones.
- Si queremos combinar químicamente 28 g de nitrógeno con 28 g de hidrógeno, lo más probable es:
 - Que se formen 56 g de amoníaco.
 - Que se formen 34 g de amoníaco y sobren 22 g de nitrógeno.
 - Que se formen 34 g de amoníaco y sobren 22 g de hidrógeno.
- Demócrito especuló con la idea de átomo; sin embargo, para Dalton, el átomo:
 - Es tan pequeño que su masa es despreciable.
 - Es un modelo que permite explicar los resultados experimentales.
 - De un elemento puede combinarse con otro átomo del mismo elemento.
- En 5 L de oxígeno y en 5 L de dióxido de carbono, medidos en las mismas condiciones de p y T :
 - Hay el mismo número de átomos.
 - Hay el mismo número de moléculas.
 - Hay la misma masa.
- Un mol es:
 - $6,022 \cdot 10^{23}$ g de carbono-12.
 - La mínima cantidad de sustancia que se puede obtener.
 - Una cantidad de sustancia con tantas partículas como las que hay en 18 g de agua.
- Dos moles de oxígeno son:
 - 64 g de oxígeno.
 - 32 g de oxígeno.
 - 16 g de oxígeno.
- En 3,51 g de SO_2 existen:
 - $3,30 \cdot 10^{22}$ moléculas de SO_2 .
 - $6,02 \cdot 10^{23}$ moléculas de SO_2 .
 - $3,51 \cdot 10^{23}$ moléculas de SO_2 .
- La composición centesimal del nitrato de sodio (NaNO_3) es:
 - 27,06 % de Na, 16,47 % de N y 56,47 % de O.
 - 28,92 % de Na, 17,52 % de N y 53,56 % de O.
 - 26,76 % de Na, 15,47 % de N y 57,77 % de O.
- La composición centesimal de una sustancia que tiene una masa molar de 78 g/mol es 58,97 % de Na y 41,03 % de O. Por tanto, su fórmula molecular es:
 - Na_2O .
 - NaO_2 .
 - Na_2O_2 .

2

Estados de agregación. Teoría cinética

E S Q U E M A D E L A U N I D A D



Cuestiones previas (página 41)

1. ¿Por qué los gases pueden ser comprimidos tan fácilmente y no así los líquidos o los sólidos?

Porque las moléculas de los gases están muy separadas unas de otras y mediante fuerzas se las puede unir más (disminuir su volumen); sin embargo, las partículas de los líquidos y de los sólidos se encuentran muy cerca unas de otras, con pocos espacios vacíos.

2. ¿La ebullición de una sustancia pura sucede siempre a la misma temperatura?

No, depende del valor de la presión exterior. Cuando la presión de vapor de la sustancia iguale a la del exterior, la sustancia entra en ebullición.

3. ¿A qué se debe la presión que ejercen los gases sobre las paredes de los recipientes que los contienen? ¿Cuáles crees que son los factores que la determinan?

Se debe a los choques de las moléculas del gas con las paredes del recipiente.

Los factores últimos que determinan una mayor o menor presión sobre las paredes del recipiente son la masa de las partículas del gas y la velocidad que llevan.

4. Un gas ideal ocupa un volumen de 5 L a 20 °C y 1 atm de presión. ¿Qué volumen ocupará a 25 °C y 2 atm de presión?

Aplicamos la ley combinada de los gases ideales:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}; \frac{1 \text{ atm} \cdot 5 \text{ L}}{293 \text{ K}} = \frac{2 \text{ atm} \cdot V_2}{298 \text{ K}}; V_2 = 2,5 \text{ L}$$

Actividades (páginas 42/52)

1. Basándote en lo estudiado en años anteriores, da una explicación a la variación en la expansión (dilatación térmica) que muestran los tres estados de la materia (tabla 2.1.).

PROPIEDAD	ESTADOS DE LA MATERIA		
	Sólido	Líquido	Gaseoso
Forma	Propia	Se adapta al recipiente	Se adapta al recipiente
Volumen	Propio	Propio	Ocupa el del recipiente
Rigidez	Rígido (no fluye)	Fluido	Fluido
Expansión o dilatación térmica	Pequeña	Pequeña	Expansión ilimitada
Compresibilidad	Prácticamente nula	Prácticamente nula	Muy elevada
Densidad	Alta	Media	Baja

La dilatación térmica de una sustancia se produce al calentarla. Si la sustancia es sólida, las partículas que la forman aumentan su movilidad pero apenas pueden cambiar de posición debido a las grandes fuerzas de cohesión que las mantienen unidas. Si la sustancia es líquida ocurre lo mismo, si bien ahora las fuerzas de cohesión son algo menores y la sustancia líquida presenta un ligero aumento en su dilatación. En los gases, las fuerzas de cohesión son muy débiles y las partículas que forman el gas adquieren una gran movilidad expandiéndose muy fácilmente.

2. ¿En cuál de los tres estados clasificarías los plásticos, la plastilina, el vidrio?

Se los puede clasificar como sólidos amorfos o como líquidos muy viscosos.

3. Si utilizáramos agua en lugar de mercurio, ¿qué altura mínima debería tener el tubo del experimento de Torricelli para soportar la presión normal de 1 atm?

Sabemos que 1 atm = 101 300 Pa. Por otra parte, según el principio fundamental de la hidrostática:

$$P_{\text{atm}} = \rho h g$$

Despejando h y sustituyendo, tenemos:

$$h = \frac{101\,300 \text{ Pa}}{1\,000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 10,3 \text{ m}$$

4. Calcula el valor de la presión atmosférica en Pa un día en que el barómetro indica una altura de mercurio de 700 mmHg.

Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{760 \text{ mmHg}}{1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = \frac{700 \text{ mmHg}}{x \text{ Pa}}; x = 9,3 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

5. ¿Qué es un manómetro?, ¿cómo funciona?, ¿cuántos tipos diferentes hay? Busca la información en un diccionario o en Internet.

RESPUESTA LIBRE.

6. Cierta gas ocupa 320 cm³ a 1 028 mbar de presión. ¿Qué volumen tendrá a una presión de 1,7 atm?

Lo primero que haremos es convertir la presión de 1,7 atm a milibares:

$$\frac{1 \text{ atm}}{1\,013 \text{ mbar}} = \frac{1,7 \text{ atm}}{x \text{ mbar}}; x = 1\,722,1 \text{ mbar}$$

Suponemos que la temperatura es constante y aplicamos la ley de Boyle: $pV = p'V'$. Sustituimos los datos:

$$1\,028 \text{ mbar} \cdot 320 \text{ cm}^3 = 1\,722,1 \text{ mbar} \cdot V'$$

$$V' = 191 \text{ cm}^3$$

7. Calcula la presión ejercida por 2,5 L de un gas ideal si se sabe que a la misma temperatura y a 5 atm ocupa un volumen de 100 mL.

Como la temperatura es la misma, podemos aplicar la ley de Boyle: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

Sustituimos valores:

$$5 \text{ atm} \cdot 0,1 \text{ L} = p_2 \cdot 2,5 \text{ L}; p_2 = 0,2 \text{ atm}$$

8. Si la presión de 10 L de hidrógeno se triplica a temperatura constante, ¿en qué porcentaje cambiará el volumen?

Como la temperatura es la misma, podemos aplicar la ley de Boyle: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

Sustituimos valores:

$$p_1 \cdot 10 \text{ L} = 3p_1 \cdot V_2; V_2 = 10/3 \text{ L}$$

Es decir, disminuye la tercera parte un 33,3 %.

9. ¿Qué volumen correspondería a un gas que está a una temperatura de -273 °C? ¿Qué significado físico encuentras a ese resultado?

Le correspondería un volumen de 0 L. Eso es imposible, ya que si hemos partido de un número determinado de átomos del gas que ocupan un cierto volumen, este no puede hacerse cero por disminución de su temperatura, puesto que implicaría la desaparición de los átomos.

- 10** A una temperatura de 25 °C una masa de gas ocupa un volumen de 150 cm³. Si a presión constante se calienta hasta 90 °C, ¿cuál será el nuevo volumen?

Aplicamos la ley de Charles y Gay-Lussac:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Sustituimos valores:

$$\frac{150 \text{ cm}^3}{298 \text{ K}} = \frac{V_2}{363 \text{ K}}; V_2 = 182,7 \text{ cm}^3$$

- 11** De un gas conocemos el volumen que ocupa; ¿es suficiente hecho para conocer la cantidad de gas presente?

No. Además, debemos conocer la presión y la temperatura a la que se encuentra.

- 12** ¿Pueden 2 L de un gas ideal, a 20 °C y 2 atm de presión, ocupar un volumen de 3 L si modificamos las condiciones hasta 4 atm y 606 °C?

Aplicamos la ley combinada de los gases ideales:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Sustituimos valores y como la siguiente igualdad es cierta:

$$\frac{2 \text{ atm} \cdot 2 \text{ L}}{293 \text{ K}} = \frac{4 \text{ atm} \cdot 3 \text{ L}}{879 \text{ K}}$$

concluimos que el enunciado si es posible.

- 13** **PAU** Se sabe que cierta cantidad de gas ideal a 20 °C ocupa un volumen de 10 L cuando el manómetro indica 780 mmHg. Calcula:

a) La cantidad de gas en mol.

b) El número de partículas gaseosas allí existentes.

c) El volumen que ocuparía en condiciones normales.

a) Aplicando la ecuación general de los gases ideales, $pV = nRT$, calculamos el número de moles del gas:

$$(780/760) \text{ atm} \cdot 10 \text{ L} = n \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 293 \text{ K}$$

$$n = 0,4 \text{ mol}$$

b) Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{1 \text{ mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ partículas}} = \frac{0,4 \text{ mol}}{x \text{ partículas}}$$

$$x = 2,409 \cdot 10^{23} \text{ partículas}$$

c) Aplicamos la ecuación de los gases: $pV = nRT$ y sustituimos los datos:

$$1 \text{ atm} \cdot V = 0,4 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 273 \text{ K}; V = 9 \text{ L}$$

- 14** **PAU** Calcula las presiones parciales que ejercen cada uno de los gases de una mezcla formada por 4 g de hidrógeno (H₂) y 8 g de oxígeno (O₂) si el manómetro instalado en el recipiente marca 2 atm.

Aplicamos la ley de las presiones parciales de Dalton:

$$p_{H_2} = \frac{n_{H_2} p}{n_T} \quad p_{O_2} = \frac{n_{O_2} p}{n_T}$$

$$n_{H_2} = \frac{4 \text{ g}}{2 \text{ g/mol}} = 2 \text{ mol de H}_2; n_{O_2} = \frac{8 \text{ g}}{32 \text{ g/mol}} = 0,25 \text{ mol de O}_2$$

Sustituimos:

$$p_{H_2} = 2 \text{ mol} \cdot \frac{2 \text{ atm}}{2,25 \text{ mol}} = 1,78 \text{ atm}$$

$$p_{O_2} = 0,25 \text{ mol} \cdot \frac{2 \text{ atm}}{2,25 \text{ mol}} = 0,22 \text{ atm}$$

Se comprueba, así, que la suma de ambas sustancias coincide con la presión total:

$$1,78 \text{ atm} + 0,22 \text{ atm} = 2 \text{ atm}$$

- 15** Según la teoría cinético-molecular, explica por qué todos los gases, a temperatura y presión normales, cumplen las leyes de Boyle y de Charles y Gay-Lussac.

Porque en esas condiciones las moléculas de los gases están muy separadas entre sí y ejercen poca atracción.

A bajas temperaturas, cerca de la licuefacción, disminuye la energía cinética y aumentan las fuerzas de atracción entre las moléculas, estas se unen y hay menos partículas individuales y, por lo tanto, menos choques que los que predice la teoría cinética.

A presiones altas, el gas se encuentra comprimido, y el volumen ocupado por las propias moléculas (despreciado en las leyes) es una parte importante del volumen total.

- 16** Define presión de vapor de un líquido. ¿Es única para cada sustancia? Puedes utilizar Internet para comprobar tu respuesta.

Es la presión de equilibrio ejercida, a una determinada temperatura, por las moléculas del líquido que pasan a la fase de vapor y por las de vapor que pasan a la fase líquida.

Su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes (mientras existan ambos), pero sí depende del tipo de sustancia y de su temperatura.

- 17** ¿Cómo podríamos elevar la temperatura de ebullición del agua por encima de 100 °C? ¿Y hacer que hierva a 60 °C?

- Aumentando la presión. Por ejemplo, dejando salir poco vapor del recipiente (olla a presión).
- Disminuyendo la presión. Por ejemplo, sacando aire del recinto con una bomba de vacío.

- 18** Observa la tabla 2.4 e indica un rango de temperaturas en el que se encuentre la temperatura de ebullición del éter dietílico a presión normal.

	$p_v(0^\circ\text{C})$	$p_v(25^\circ\text{C})$	$p_v(50^\circ\text{C})$	$p_v(100^\circ\text{C})$
Agua	0,006 0	0,031 3	0,217	1,000
Éter dietílico	0,243 4	0,618 4	1,743 4	6,393 4

Entre 25-50 °C y más cerca de 25 que de 50 °C, porque en ese intervalo la presión de vapor alcanza el valor de 1 atm.

- 19** Teniendo en cuenta la teoría cinético-molecular, identifica entre los siguientes modelos realizados por ordenador, cuáles corresponden a las trayectorias seguidas por las partículas de un sólido, de un líquido y de un gas.

La de la izquierda son las trayectorias de las partículas de un gas, las del centro, de un líquido y las de la derecha, de un sólido.

Cuestiones y problemas (páginas 56/57)

Estados de la materia

- 1** Indica tres propiedades físicas que distingan a sólidos, líquidos y gases.

La forma, la densidad, la mayor o menor compresibilidad, la fluidez...

- 2** ¿Cuál es la diferencia entre evaporación y ebullición?

La evaporación es el paso de líquido a gas producido en la superficie libre de los líquidos.

La ebullición es el paso de líquido a gas que sucede en toda la masa de líquido.

3 El término «fluidos» se aplica por igual a líquidos y a gases. Ahora bien, ¿cuál de las dos formas de materia manifiesta una menor tendencia a fluir? ¿Por qué?

Los líquidos, pues en ellos las fuerzas existentes entre sus partículas son mayores.

4 ¿Por qué sentimos frío al salir mojados de la piscina?

El proceso de evaporación consume energía; entonces, la energía cinética media de las moléculas que permanecen en estado líquido desciende, y la temperatura disminuye. Al bajar la temperatura del líquido, este tiene que absorber calor de los alrededores, en este caso de la piel.

5 Si rodeas el bulbo de un termómetro que está marcando la temperatura ambiente con un paño humedecido en agua que también está a temperatura ambiente, ¿marcará lo mismo el termómetro? Razona tu respuesta.

No, pues la evaporación del líquido del paño producirá un enfriamiento del entorno, y la temperatura del termómetro descenderá.

6 Por las mañanas es frecuente observar gotitas de agua (rocío) sobre las hojas de las plantas; ¿cómo se han formado?

Por la condensación del vapor de agua que contiene la atmósfera sobre superficies frías.

7 ¿Cuál es la diferencia entre rocío y escarcha?

El rocío es agua líquida producida por la condensación del vapor de agua que contiene la atmósfera sobre superficies frías. La escarcha es agua congelada producida por la sublimación del vapor de agua de la atmósfera sobre superficies muy frías, inferiores a 0 °C.

Leyes de los gases

8 Explica por qué las variaciones de altura de la columna de mercurio en un barómetro constituyen una medida de la presión atmosférica en ese momento.

Porque, en cada momento, la altura de la columna de mercurio se ajusta para equilibrar la fuerza ejercida por la atmósfera sobre la superficie libre del mercurio de la cubeta.

9 ¿Qué significa que la relación entre la presión de un gas y el volumen que ocupa (cuando la temperatura se mantiene constante) sea hipérbolica?

Que la relación p - V se ajusta a la ecuación de una hipérbola:

$$V = k \frac{1}{p}$$

10 ¿Por qué la gráfica V - T , a presión constante, es una recta?

Porque la relación V - T se ajusta a una ecuación lineal:

$$V = kT$$

donde la constante k representa la pendiente de la recta.

11 ¿Qué significa ley combinada de los gases?

La ley combinada de los gases es aquella que tiene en cuenta las variaciones de p , T y V de un gas ideal, es decir, cuando ninguna de las tres magnitudes permanece constante.

12 ¿Qué se entiende por gas ideal?

Gas ideal es aquel que cumple al 100 % la ley combinada de los gases.

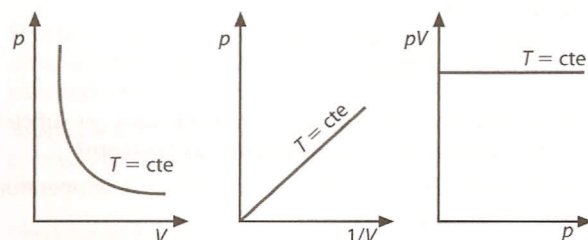
13 ¿Por qué no se puede alcanzar el cero absoluto de temperatura?

14 Porque a esa temperatura, el volumen de una masa inicial de gas se haría cero, es decir, ¡desaparecería!

El manómetro que se utiliza para calcular la presión de los neumáticos de un vehículo, ¿mide la presión absoluta en el interior del neumático?

No, mide la diferencia entre la presión interna y la presión atmosférica externa.

15 ¿Algunas de estas gráficas representa la ley de Boyle?



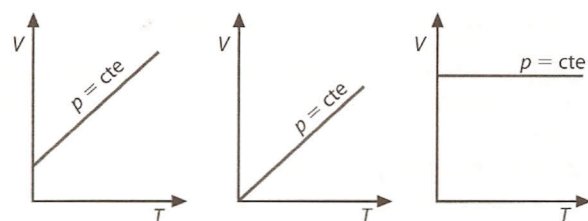
Las tres gráficas representan la ley de Boyle:

$$p = \frac{k}{V}$$

$$p = k \left(\frac{1}{V} \right)$$

$$pV = k$$

16 ¿Algunas de estas gráficas representa la ley de Charles y Gay-Lussac?



Ninguna representa esta ley:

- En la gráfica de la izquierda se observa que a 0 K el gas ocupa un cierto volumen, esto no puede ser, pues a $T = 0$ K; $V = 0$.
- En la siguiente no se ha tenido en cuenta la licuefacción del gas (a menos que pensemos que se trata de un gas ideal que no se licuara). Sabemos que a partir de ese punto no se cumple la ley de Charles.
- En la gráfica de la derecha la recta debe tener pendiente (la presión que corresponda).

17 ¿Se podría usar un gas como sustancia termométrica?

Sí, tanto considerando las variaciones de su volumen como las variaciones de su presión.

18 Indica de forma razonada si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- Si se calienta un gas desde 10 °C hasta 20 °C, a presión constante, el volumen se duplica.
- El volumen se reduce a la mitad si se enfría un gas desde 273 °C hasta 0 °C, a presión constante.
- Si se enfría un gas desde 600 °C hasta 200 °C, a presión constante, el volumen se reduce a la tercera parte.
 - Falsa, pues 283 K (10 °C) no es el doble que 293 K (20 °C).
 - Verdadera, pues 546 K (273 °C) es el doble que 273 K (0 °C).
 - Falsa, pues 873 K (600 °C) no es el triple que 473 K (200 °C).

19 ¿Se puede aumentar el volumen de un gas sin calentarlo? Razona tu respuesta.

Sí, disminuyendo la presión a temperatura constante.

$$pV = p'V'$$

si $V' > V$, entonces $p' < p$.

- 20** Una habitación tiene las siguientes medidas: 10 m de largo, 5 m de ancho y 3 m de alto. Si la temperatura de la misma pasa de 10 °C a 25 °C al encender la calefacción, ¿qué volumen de aire, medido a 25 °C, entrará o saldrá de la habitación por los resquicios de puertas y ventanas?

A presión constante:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow \frac{150 \text{ m}^3}{283 \text{ K}} = \frac{V_2}{298 \text{ K}}$$

con lo que: $V_2 = 158 \text{ m}^3$

Por tanto, saldrá una cantidad de aire de:

$$158 \text{ m}^3 - 150 \text{ m}^3 = 8 \text{ m}^3$$

- 21** Calcula cuántos recipientes de 2 L a 20 °C y 1 atm de presión se pueden llenar con los 50 L de oxígeno que contiene una bombona de este gas a 6 atm y 20 °C.

Como la temperatura es constante: $p_1 V_1 = p_2 V_2$, por lo que, sustituyendo los datos:

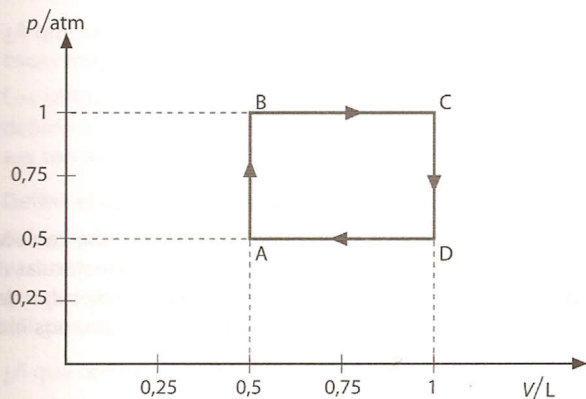
$$6 \text{ atm} \cdot 50 \text{ L} = 1 \text{ atm} \cdot V_2$$

$$V_2 = 300 \text{ L}$$

Luego, el número de recipientes es:

$$\frac{300 \text{ L}}{2 \text{ L (cada recipiente)}} = 150 \text{ recipientes}$$

- 22** La gráfica siguiente muestra las transformaciones sufridas por una masa de gas ideal que inicialmente se encontraba en el punto A a una temperatura de 25 °C. Calcula la temperatura del gas en los puntos B, C y D.



Paso de A a B (proceso a $V = \text{cte}$):

$$\frac{p_A}{T_A} = \frac{p_B}{T_B} \Rightarrow \frac{0,5 \text{ atm}}{298 \text{ K}} = \frac{1 \text{ atm}}{T_B}; T_B = 596 \text{ K} = 323 \text{ °C}$$

Paso de B a C (proceso a $p = \text{cte}$):

$$\frac{V_B}{T_B} = \frac{V_C}{T_C} \Rightarrow \frac{0,5 \text{ L}}{596 \text{ K}} = \frac{1 \text{ L}}{T_C}; T_C = 1192 \text{ K} = 919 \text{ °C}$$

Paso de C a D (proceso a $V = \text{cte}$):

$$\frac{p_C}{T_C} = \frac{p_D}{T_D} \Rightarrow \frac{1 \text{ atm}}{1192 \text{ K}} = \frac{0,5 \text{ atm}}{T_D}; T_D = 596 \text{ K} = 323 \text{ °C}$$

- 23** En un recipiente de 4 L de capacidad hay un gas a la presión de 6 atm. Calcula el volumen que ocuparía si el valor de la presión se duplicase, sin variar la temperatura.

Aplicamos la ley de Boyle, $p_1 V_1 = p_2 V_2$, y sustituimos los datos:

$$6 \text{ atm} \cdot 4 \text{ L} = 12 \text{ atm} \cdot V_2; V_2 = 2 \text{ L}$$

- 24** Un gas ocupa un volumen de 2 L en condiciones normales de presión y temperatura. ¿Qué volumen ocupará la misma masa de gas a 2 atm de presión y 50 °C de temperatura?

Aplicamos la ecuación combinada de los gases ideales y sustituimos los datos:

$$\frac{1 \text{ atm} \cdot 2 \text{ L}}{273 \text{ K}} = \frac{2 \text{ atm} \cdot V_2}{323 \text{ K}}; V_2 = 1,18 \text{ L}$$

- 25** Un gas ocupa un volumen de 80 cm³ a 10 °C y 715 mmHg de presión. ¿Qué volumen ocupará en condiciones normales?

Aplicamos la ecuación combinada de los gases ideales y sustituimos los datos:

$$\frac{715 \text{ mmHg} \cdot 80 \text{ cm}^3}{273 \text{ K}} = \frac{760 \text{ mmHg} \cdot V_2}{283 \text{ K}}$$

$$V_2 = 72,6 \text{ cm}^3$$

- 26** Tenemos 400 cm³ de oxígeno en condiciones normales. ¿Qué presión ejercerá un volumen de 500 cm³ si la temperatura aumenta en 25 °C?

Aplicando la ecuación combinada de los gases y sustituyendo los datos:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{1 \text{ atm} \cdot 400 \text{ cm}^3}{273 \text{ K}} = \frac{p_2 \cdot 500 \text{ cm}^3}{298 \text{ K}}$$

$$p_2 = 0,87 \text{ atm}$$

- 27** Calcula la densidad del ácido clorhídrico (HCl) a 650 mmHg y 70 °C.

Aplicando la ecuación de los gases ideales:

$$p = \frac{n}{V} RT = \frac{m}{\text{masa molar} \cdot V} RT = \frac{\rho}{\text{masa molar}} RT$$

$$\rho = \frac{p \cdot \text{masa molar}}{RT}$$

$$\rho = \frac{(650/760) \text{ atm} \cdot 36,5 \text{ g/mol}}{0,082 \text{ atm L/K mol} \cdot 343 \text{ K}} = 1,11 \text{ g/L}$$

- 28** La densidad de un gas es 1,48 g/L en condiciones normales. ¿Cuál será su densidad a 320 K y 730 mmHg?

Despejamos la masa molar en la ecuación de los gases ideales:

$$\text{masa molar} = \frac{p_1 RT_1}{p_1}$$

$$= \frac{1,48 \text{ g/L} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 273 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 33,13 \text{ g/mol}$$

Calculamos la nueva densidad:

$$\rho_2 = \frac{p_2 \cdot \text{masa molar}}{RT_2}$$

$$= \frac{(730/760) \text{ atm} \cdot 33,13 \text{ g/mol}}{0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 320 \text{ K}} = 1,21 \text{ g/L}$$

- 29** ¿Qué volumen ocupan, en condiciones normales, 14 g de nitrógeno?

Establecemos la relación:

$$\frac{28 \text{ g de nitrógeno}}{22,4 \text{ L}} = \frac{14 \text{ g de nitrógeno}}{x \text{ L}}; x = 11,2 \text{ L}$$

- 30** Se tienen 4 L de un gas en condiciones normales.

a) ¿Qué volumen ocupará a 30 °C y 2 atm de presión?

b) ¿Cuántas partículas de gas hay en la muestra?

a) Aplicamos la ley combinada de los gases y sustituimos:

$$\frac{pV}{T} = \frac{p'V'}{T'}$$

$$\frac{1 \text{ atm} \cdot 4 \text{ L}}{273 \text{ K}} = \frac{2 \text{ atm } V'}{303 \text{ K}}; V' = 2,22 \text{ L}$$

b) Sabemos que 1 mol de gas en condiciones normales ocupa un volumen de 22,4 L y contiene $6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas; por consiguiente:

$$4 \text{ L} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{22,4 \text{ L}} \cdot \frac{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}}{1 \text{ mol}} =$$

$$= 1,075 \cdot 10^{23} \text{ moléculas de gas}$$

31 Se dispone de 45,0 g de metano (CH_4) a 27°C y 800 mmHg. Calcula:

a) El volumen que ocupa en las citadas condiciones.

b) El número de moléculas existente.

a) Aplicando la ecuación de los gases ideales:

$$V = \frac{nRT}{p}$$

$$V = \frac{(45,0 \text{ g}/16 \text{ g/mol}) \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 300 \text{ K}}{(800/760) \text{ atm}} = 66 \text{ L}$$

b) Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{16 \text{ g de metano}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas}} = \frac{45 \text{ g de metano}}{x \text{ moléculas}}$$

$$x = 1,7 \cdot 10^{24} \text{ moléculas de metano (CH}_4\text{)}$$

32 Sabiendo que la densidad media del aire a 0°C y 1 atm de presión es 1,293 g/L, calcula la masa molecular media del aire.

Aprovechando que la densidad está medida en CN, podemos hallar el mol de aire con la siguiente relación:

$$\frac{1,293 \text{ g}}{1 \text{ L}} = \frac{x \text{ g}}{22,4 \text{ L}}$$

$$x = 28,96 \text{ g en 1 mol de aire}$$

Por tanto, la masa molecular del aire será 28,96 u.

33 En un matraz de 1 L están contenidos 0,9 g de un gas a la temperatura de 25°C . Un manómetro acoplado al matraz indica 600 mmHg. Calcula la masa molecular del gas.

Aplicamos la ecuación de los gases ideales para calcular la cantidad de sustancia:

$$n = \frac{pV}{RT}$$

$$n = \frac{(600/760) \text{ atm} \cdot 1 \text{ L}}{0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 298 \text{ K}} = 0,032 \text{ mol}$$

Como esa cantidad de sustancia está en los 0,9 g:

$$\frac{0,032 \text{ mol}}{0,9 \text{ g}} = \frac{1 \text{ mol}}{x \text{ g}}; x = 28,1 \text{ g}$$

Por tanto, la masa molecular del gas será 28,1 u.

34 ¿Qué presión indicará el manómetro anterior si calentamos el gas hasta 80°C ?

Tenemos que aplicar la ecuación combinada de los gases ideales:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Como el volumen es constante, podemos escribir:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{600 \text{ mmHg}}{298 \text{ K}} = \frac{p_2}{353 \text{ K}}; p_2 = 710,7 \text{ mmHg}$$

35 Un recipiente cerrado de 0,75 L contiene CO_2 a la presión de 6 atm y 27°C de temperatura. Calcula:

a) La masa de CO_2 que contiene.

b) La presión cuando la temperatura sea de -173°C .

a) Se calcula el número de moles de CO_2 , aplicando la ecuación de los gases ideales:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{6 \text{ atm} \cdot 0,75 \text{ L}}{0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 300 \text{ K}} = 0,18 \text{ mol}$$

De este modo:

$$m = n \cdot \text{masa molar} = 0,18 \cdot 44 \text{ g/mol} = 7,92 \text{ g}$$

b) Como el recipiente está cerrado, el volumen permanece constante; por consiguiente:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Sustituyendo:

$$\frac{6 \text{ atm}}{300 \text{ K}} = \frac{x \text{ atm}}{100 \text{ K}}$$

$$x = 2 \text{ atm}$$

36 PAU Se sabe que 0,702 g de un gas encerrado en un recipiente de 100 cm^3 ejerce una presión de 700 mmHg cuando la temperatura es de 27°C . El análisis del gas ha mostrado la siguiente composición: 38,4% de C, 4,8% de H y 56,8% de Cl. Calcula su fórmula molecular.

Hallamos n , y con él su masa molecular (requisito imprescindible para posteriormente calcular la fórmula molecular):

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{(700/760) \text{ atm} \cdot 0,1 \text{ L}}{0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 300 \text{ K}} = 0,00374 \text{ mol}$$

Luego, si:

$$\frac{0,702 \text{ g}}{0,00374 \text{ mol}} = \frac{x \text{ g}}{1 \text{ mol}}; x = 187,7 \text{ g/mol}$$

entonces, la masa molecular será 187,8 u.

Hallamos los moles de átomos de cada elemento:

$$\frac{38,4 \text{ g}}{12 \text{ g/mol}} = 3,2 \text{ mol de átomos de carbono}$$

$$\frac{4,8 \text{ g}}{1 \text{ g/mol}} = 4,8 \text{ mol de átomos de hidrógeno}$$

$$\frac{56,8 \text{ g}}{35,5 \text{ g/mol}} = 1,6 \text{ mol de átomos de cloro}$$

Dividiendo entre el menor:

$$\frac{3,2}{1,6} = 2$$

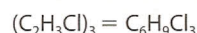
$$\frac{4,8}{1,6} = 3$$

$$\frac{1,6}{1,6} = 1$$

La fórmula empírica es $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$. Como la masa molecular del compuesto es 187,7 u, para hallar la fórmula molecular, dividimos esa masa molecular entre la masa molecular de la fórmula empírica. El resultado es un número que nos indica cuántas veces se repite la fórmula empírica:

$$\frac{187,7 \text{ u}}{62,5 \text{ u}} = 3$$

De este modo, la fórmula molecular será:



37 PAU Una cantidad de 35,2 g de un hidrocarburo ocupa en estado gaseoso 13,2 L medidos a 1 atm y 50°C . Sabiendo que el 85,5% es carbono, calcula su fórmula molecular.

Despejando la masa molar en la ecuación de los gases ideales:

$$\text{masa molar} = \frac{mRT}{pV} = \frac{35,2 \text{ g} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 323 \text{ K}}{1 \text{ atm} \cdot 13,2 \text{ L}} = 70,6 \text{ g/mol}$$

Hallamos la fórmula empírica del hidrocarburo (recordando que un hidrocarburo solo contiene carbono e hidrógeno, por lo que la diferencia desde 85,5 hasta 100 corresponde al tanto por ciento de hidrógeno):

$$\frac{85,5 \text{ g de carbono}}{12 \text{ g/mol}} = 7,125 \text{ mol de carbono}$$

$$\frac{14,5 \text{ g de hidrógeno}}{1 \text{ g/mol}} = 14,5 \text{ mol de hidrógeno}$$

Dividiendo ambos resultados entre 7,125, queda la siguiente relación: 1 mol de carbono y 2 mol de hidrógeno.

Por tanto, la fórmula empírica será CH_2 , de masa molar 14 g/mol. Dividiendo la masa molar del hidrocarburo entre la masa molar de la fórmula empírica (70,6 g/mol/14 g/mol), comprobamos que la fórmula molecular es cinco veces superior a la empírica, es decir, la fórmula molecular es C_5H_{10} .

36 PAU Un recipiente contiene 50 L de un gas de densidad 1,45 g/L. La temperatura a la que se encuentra el gas es de 323 K, y su presión, de 10 atm. Calcula:

a) Los moles que contiene el recipiente.

b) La masa de un mol del gas.

a) Primero hallamos la cantidad de sustancia:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{10 \text{ atm} \cdot 50 \text{ L}}{0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 323 \text{ K}} = 18,87 \text{ mol}$$

b) Despejamos la masa molar en la ecuación de los gases ideales:

$$\text{masa molar} = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1,45 \text{ g/L} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 323 \text{ K}}{10 \text{ atm}} = 3,8 \text{ g/mol}$$

Teoría cinético-molecular

37 ¿Qué es una teoría? Indica lo que explica la teoría cinético-molecular de la materia.

Es un conjunto de leyes que explican un determinado fenómeno. La teoría cinético-molecular explica el comportamiento y propiedades de la materia.

38 ¿A qué se debe que los sólidos formen estructuras geométricas muy ordenadas y los líquidos y gases no?

Los sólidos forman estructuras geométricas muy ordenadas debido a las intensas fuerzas entre sus partículas; estas fuerzas son menores en los líquidos y aún menores en los gases.

39 Define el concepto de presión de vapor.

Es la presión que se obtiene cuando, a una determinada temperatura, existe un equilibrio entre el número de partículas que pasan del estado líquido al gaseoso y el de las que pasan del gaseoso al líquido.

40 ¿A qué temperatura hierve un líquido?

A aquella en la cual la presión de vapor coincide con la presión del aire del recinto.

41 Las moléculas de SO_2 son más pesadas que las de O_2 y, sin embargo, según la teoría cinético-molecular, sus energías cinéticas promedio a la misma temperatura son iguales. ¿Cómo es esto posible?

En la ecuación de la energía cinética ($1/2 mv^2$) podemos observar que una partícula de masa alta moviéndose a una velocidad baja puede tener la misma energía cinética que otra de masa baja moviéndose a velocidad alta.

42 Cuando se abre la llave de una bombona de butano, el líquido de su interior se transforma en gas. ¿Cómo puede ocurrir este cambio de estado si no ha habido suministro de energía?

La presión a la que se encuentra el líquido de la bombona es alta, superior a la atmosférica, por lo que solo algunas partículas de líquido pasan al estado de vapor (y al revés) hasta alcanzar un cierto equilibrio. Pero al abrir la llave disminuye la presión del interior y un número mayor de partículas del líquido puede alcanzar el estado de vapor (al disminuir las fuerzas de atracción entre ellas).

43 La mejor manera de secar la ropa es extenderla al sol y ponerla donde sopla el viento. ¿Por qué?

Al aumentar la superficie, hay mayor número de moléculas en la superficie libre del líquido expuestas a una temperatura más alta. El viento se encarga de arrastrar las moléculas de vapor, con lo que se impide su condensación, y de esta forma aumenta la cantidad de líquido que se evapora.

44 En los pueblos de alta montaña lleva más tiempo cocinar las legumbres en agua hirviendo que en los pueblos de la costa. ¿Por qué?

En las montañas, la presión atmosférica es inferior que al nivel del mar, por lo que el agua hierve a menos de 100 °C, y los alimentos deben estar más tiempo cocinando.

45 ¿Cuál es el fundamento de las ollas a presión?

La presión que existe en el interior de la olla a presión es superior a 760 mmHg, debido a la acumulación del vapor, que apenas puede escapar al exterior; entonces, la temperatura de ebullición del agua aumenta, y, con la mayor temperatura que se logra alcanzar, se incrementa la velocidad de las reacciones químicas que ocurren en la cocción.

46 Comenta la siguiente frase: «Los líquidos con temperaturas de ebullición altas a presiones normales tienen presiones de vapor bajas».

Es verdadera. Por ejemplo, el éter dietílico (véase tabla 2.4 del Libro del alumno) debe hervir, a presión normal, a unos 30 °C.

Eso significa que a 30 °C ya tiene una presión de vapor de 760 mmHg. Sin embargo, el agua hierve a 100 °C (a presión normal), es decir, a 30 °C su presión de vapor es todavía baja.

D 47 ¿Cuál es el aumento de la energía cinética media de las partículas de un gas, si se eleva su temperatura en 10 °C?

La teoría cinético-molecular demuestra que:

$$\bar{E}_c = KT$$

Si aumentamos la temperatura en 10 °C, la nueva energía cinética media de las partículas del gas será:

$$\bar{E}'_c = K(T + 10) = KT + K \cdot 10 = \bar{E}_c + 2,07 \cdot 10^{-22} \text{ J}$$

Es decir, el aumento habrá sido de $2,07 \cdot 10^{-22} \text{ J}$.

D 48 Si la velocidad media de las partículas de un gas se duplica, ¿qué ocurre con su temperatura?

Igualando la ecuación de la cuestión anterior a $\frac{1}{2} mv^2$, tenemos:

$$\bar{E}_c = KT = 1/2 mv^2$$

Si la velocidad se duplica, entonces:

$$\frac{1}{2} m (2v)^2 = KT'; \frac{1}{2} m 4v^2 = KT'$$

Como $\frac{1}{2} mv^2 = E_c = 4\bar{E}_c = KT'$; o lo que es lo mismo:

$$4 \cdot KT = KT'$$

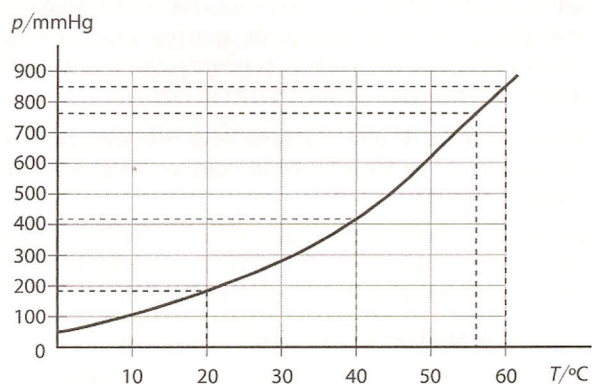
Es decir, $T' = 4 T$. La nueva temperatura se cuadruplica.

49 Construye una curva de p_v - T para la acetona a partir de los siguientes datos:

Temperatura (°C)	Presión (mmHg)
0	50
20	190
40	410
60	850

A partir de la gráfica, indica el punto de ebullición de la acetona en recipientes abiertos (a presión de 1 atm).

La acetona hierve a 56 °C.



52 Con los datos del ejercicio anterior y los de la tabla 2.4, indica cuál de las tres sustancias es más volátil: la acetona, el agua o el éter dietílico. ¿Por qué?

	$p_v(0^\circ\text{C})$	$p_v(25^\circ\text{C})$	$p_v(50^\circ\text{C})$	$p_v(100^\circ\text{C})$
Agua	0,006 0	0,031 3	0,217	1,000
Éter dietílico	0,243 4	0,618 4	1,743 4	6,393 4

En esta tabla 2.4 puede apreciarse cómo el éter dietílico hierve (en recipientes abiertos) a una temperatura comprendida entre 25 °C y 50 °C (ya que en ese intervalo la presión de vapor alcanza el valor de 1 atm), mientras que la gráfica del problema anterior muestra que a 760 mmHg (1 atm) la acetona alcanza la temperatura de ebullición a 56 °C. Por consiguiente, es más volátil el éter dietílico que la acetona.

Evaluación (página 58)

Señala en cada caso la respuesta que consideres correcta:

1. Un litro de aire tiene una masa de 1,29 g, a 0 °C y 1 atm de presión. ¿Qué masa tendrán 2 L de un gas cuya densidad sea el doble que la del aire?

- a) 2,58 g
- ▶ b) 5,16 g
- c) 1,29 g

2. El paso de líquido a sólido:

- ▶ a) Desprende energía.
- b) Es un cambio químico.
- c) Se produce a cualquier temperatura.

3. El paso de líquido a vapor:

- a) Desprende energía.
- b) Es un cambio químico.
- ▶ c) Se produce a cualquier temperatura.

4. Si se aumenta la presión de un gas al doble, su nuevo volumen:

- a) Aumenta el doble.
- b) Disminuye la mitad.
- ▶ c) Depende de la temperatura a la que se haya hecho el proceso.

5. La presión que ejerce una masa de gas a 25 °C en el interior de un recipiente herméticamente cerrado cuando se calienta hasta 50 °C:

- a) Aumenta el doble.
- b) Disminuye la mitad.
- ▶ c) Aumenta 1,084 veces.

6. Un mol de un compuesto cualquiera:

- a) Ocupa un volumen de 22,4 L.
- b) Ocupa un volumen de 22,4 L, solo en condiciones normales.

▶ c) Contiene $6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas de ese compuesto.

7. La masa de 10 L de O₂ medidos a 780 mmHg y 20 °C es:

- ▶ a) 13,7 g
- b) 74,9 g
- c) 50,4 g

8. Los gases ejercen presión sobre todo lo que les rodea debido a:

- a) Que sus moléculas están muy separadas.
- b) Que las colisiones de sus moléculas son elásticas.
- ▶ c) Las colisiones de sus moléculas con el entorno.

9. Las moléculas que se evaporan de la superficie de un líquido contenido en un recipiente no completamente cerrado:

- a) Escapan en su totalidad.
- ▶ b) Pueden chocar unas con otras y retornar al líquido.
- c) Terminan todas por retornar al líquido.

10. El punto de ebullición de un líquido depende:

- a) Únicamente de su presión de vapor.
- b) De su presión de vapor y de la presión atmosférica.
- ▶ c) De la temperatura y de la presión exterior.

3



DISOLUCIONES

Uno de los temas de la química que puede ofrecer mayor interés por sus numerosas aplicaciones prácticas es el de las disoluciones: preparación y cálculo de la concentración de una disolución, así como la determinación experimental de masas molares de solutos no iónicos.

Se ofrece primeramente la definición del término *disolución*, se da nombre a sus componentes, se explican los tipos de disolución que podemos encontrarnos (atendiendo a diversos criterios), se analiza el proceso de disolución (examinando los factores que favorecen la disolución de solutos sólidos) y, por último, las formas de especificar la concentración de una disolución: porcentaje en masa, porcentaje en volumen, molaridad, molalidad y fracción molar.

A continuación se ofrece la definición de solubilidad y sus variaciones con la temperatura y la presión así como el concepto de disolución sobresaturada.

Una vez estudiadas las disoluciones, la unidad trata la cuestión de la influencia que tienen los solutos en la modificación de las propiedades del disolvente. En concreto, se hace referencia a las cuatro propiedades coligativas: presión de vapor, punto de congelación, punto de ebullición y presión osmótica; todas ellas dependen de la concentración del soluto y no de su naturaleza.

Si la disolución es «ideal» (disoluciones diluidas de solutos no iónicos), existen unas leyes que rigen estas propiedades: ley de Raoult, ley del descenso crioscópico, ley del ascenso ebulloscópico y ley de van't Hoff.

A final de la unidad se muestran las diferencias entre las disoluciones verdaderas y las coloidales ya que a veces resulta muy difícil su distinción.

Objetivos

1. Distinguir una disolución de cualquier otro tipo de mezcla.
2. Comprender el proceso de disolución y los factores que favorecen la solubilidad de solutos sólidos.
3. Manejar correctamente las definiciones de las distintas formas de expresar la concentración de una disolución (porcentaje en masa, porcentaje en volumen, molaridad, molalidad y fracción

molar), aplicarlas al cálculo y saber preparar disoluciones de concentración conocida.

4. Comprender el concepto de solubilidad y los factores que la determinan. Distinguir entre disolución saturada y sobresaturada.
5. Saber explicar, con los postulados de la teoría cinética, las variaciones de las propiedades coligativas, calcular numéricamente estas variaciones y aplicarlas al cálculo de masas molares de solutos.
6. Comprender la diferencia entre disolución y dispersión coloidal.

Relación de la unidad con las competencias clave

Los dos proyectos de investigación que se incluyen en la unidad van a servir para desarrollar la **competencia lingüística** (en su aspecto gramatical y ortográfico), la **competencia digital**, la **básica en ciencia y tecnología** y el **sentido de iniciativa y espíritu emprendedor**.

La **competencia matemática** y la **básica en ciencia y tecnología** el alumnado las puede conseguir trabajando y resolviendo las múltiples actividades y tareas propuestas a lo largo de la unidad así como aprehendiendo la información que contienen los distintos epígrafes.

La inclusión de trece ejercicios resueltos (seis en el texto principal y siete en la sección *Estrategias de resolución*), la realización de la práctica de laboratorio de la sección de *Técnicas de trabajo y experimentación*, así como los ejercicios de la sección *Evaluación* del final de la unidad, van a servir para que el estudiante vaya examinando la adecuación de sus acciones y la aproximación a la meta, que no es otra que ser capaz de adquirir y asimilar nuevos conocimientos y llegar a dominar capacidades y destrezas propias del ámbito de las ciencias (aplicables, no obstante, a otros ámbitos). De esta forma desarrollará la competencia **aprender a aprender**.

Temporalización

Se aconseja dedicar ocho sesiones al estudio de la unidad.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Disoluciones <ul style="list-style-type: none"> ■ Definición, componentes y tipos de disoluciones. ■ El proceso de disolución ■ Concentración de una disolución 	1. Realizar los cálculos necesarios para la preparación de disoluciones de una concentración dada y expresarla en cualquiera de las formas establecidas. 2. Preparar correctamente, en el laboratorio, disoluciones de concentración conocida.	1.1. Realiza los cálculos necesarios para preparar disoluciones de una concentración dada y expresarla en cualquiera de las formas establecidas: en porcentaje en masa, porcentaje en volumen, molaridad, molalidad y fracción molar, tanto de solutos sólidos como líquidos (en este caso, sabiendo aplicar los datos de densidad y pureza), así como determina la cantidad de sustancia (en gramos y moles) contenida en un volumen determinado de una disolución. 2.1. Describe el procedimiento de preparación en el laboratorio de una disolución de concentración conocida, partiendo de solutos sólidos o de otras más concentradas cuya molaridad sea conocida o que deba calcularse previamente a partir de los datos contenidos en la etiqueta del producto.	A: 1-8 ER: 1-5 AT: 1-20	CMCCT
Solubilidad <ul style="list-style-type: none"> ■ Variación de la solubilidad con la temperatura ■ Variación de la solubilidad con la presión. 	3. Entender el concepto de solubilidad y los factores que influyen en la solubilidad de una sustancia, distinguiendo entre disolución saturada y sobresaturada.	3.1. Explica la diferente solubilidad de sólidos, líquidos y gases, así como la influencia de la temperatura y la presión en dicha solubilidad.	A: 9-11 AT: 21-30	CMCCT
Propiedades coligativas de las disoluciones <ul style="list-style-type: none"> ■ Presión de vapor ■ Punto de congelación ■ Punto de ebullición ■ Ósmosis 	4. Explicar la variación de las propiedades coligativas entre una disolución y el disolvente puro.	4.1. Explica, a la luz de la teoría cinético-molecular, la variación de las propiedades coligativas entre una disolución y el disolvente puro y relacionarla con algún proceso de interés en nuestro entorno. 4.2. Aplica correctamente las leyes de las propiedades coligativas para el cálculo de masas molares de solutos no iónicos. 4.3. Utilizar el concepto de ósmosis y presión osmótica para describir el paso de iones a través de una membrana semipermeable.	A: 12-22 ER: 6, 7 AT: 31-51	CMCCT CAA
Suspensiones y disoluciones coloidales <ul style="list-style-type: none"> ■ Suspensiones ■ Disoluciones coloidales 	5. Precisar las diferencias existentes entre una disolución verdadera y una disolución coloidal.	5.1. Distingue entre disolución verdadera, suspensión y disolución coloidal.	A: 23	CMCCT

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas

CL: Competencia lingüística; CMCCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: Competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; SIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Disoluciones

Enlaces web:

1. Disoluciones

Vídeos: 1. Disolución de un cristal de cloruro de sodio; 2. Preparación de una disolución; 3. Cálculo de la molaridad de una disolución 4. Ejercicios de disoluciones

Animación: 1. Preparación de disoluciones

Vídeos: 1. Solubilidad del azúcar en agua; 2. Temperatura y solubilidad de un gas; 3. Presión y solubilidad de un gas

Enlaces web: 1. Propiedades coligativas

Vídeos: 1. Descenso crioscópico; 2. Anticongelantes; 3. Aumento ebulloscópico y descenso crioscópico; 4. Ósmosis

Vídeo: 1. Coloides y efecto Tyndall

Unidad 3: Disoluciones

1. Disoluciones

- 1.1. Definición, componentes y tipos de disoluciones
- 1.2. El proceso de disolución
- 1.3. Concentración de una disolución

2. Solubilidad

- 2.1. Variación de la solubilidad con la temperatura
- 2.2. Variación de la solubilidad con la presión

3. Propiedades coligativas de las disoluciones

- 3.1. Presión de vapor
- 3.2. Punto de congelación
- 3.3. Punto de ebullición
- 3.4. Ósmosis

4. Suspensiones y disoluciones coloidales

- 4.1. Suspensiones
- 4.2. Disoluciones coloidales

Presentación

Actividad de refuerzo:

- 1. Cálculo de concentraciones

Documento: No agitar antes de usar

Documento: 1. Los «absorbe-humedades» caseros; 2. Biografía: François Marie Raoult

Documento: La cuchara en las papillas, mejor despacio

BIBLIOGRAFÍA

CANE, B. y SELLWOOD, J.
Química elemental básica (dos volúmenes). Barcelona: Reverté, 1978.
Texto adecuado para introducirse en los conceptos químicos básicos. Para alumnos y alumnas de edades comprendidas entre los once y los quince años.

DAUB, G. W., SEESE, W. y CARRILLO, M.
Química (8ª edición). Pearson Ed. 2005
Un clásico de Química general

FERNÁNDEZ, M. R. y FIDALGO, J. A.
Química general. León: Everest, 1992.
Un libro muy completo de química general, válido para Bachillerato, así como para los primeros años universitarios.

FIDALGO SÁNCHEZ, J. A.
3000 cuestiones y problemas de física y química. León: Everest, 1996.
Una amplia colección de cuestiones y problemas, explicados y resueltos, presentados en orden de dificultad creciente.

GALLEGO PICÓ, A. y otros
Química básica. Madrid: UNED, 2013
Libro asequible para estudiantes que se inician en el estudio de la Química.

LÓPEZ PICAZO, S.
Química para la prueba de acceso a la Universidad para mayores de 25 años. Madrid: Cultiva libros, 2009
Facilita al alumno exclusivamente los conocimientos necesarios para superar la prueba de acceso, sin perderse en aspectos que le pueden resultar difíciles de comprender.

ROSENBERG, J. L.
Teoría y 611 problemas resueltos de química general. Madrid: McGraw-Hill, 1989. (Serie Schaum)
Buena colección de cuestiones y problemas de química.

WHITTEN, K. W., GAILEY, K. D. y DAVIS, R. E.
Química general. Madrid: McGraw-Hill, 1996.
Se trata de un buen texto de consulta con desarrollos claros y abundantes datos y tablas. Óptimo para alumnos y alumnas de los primeros cursos universitarios, pero accesible al alumnado de Bachillerato.

PARA EL PROFESOR

Enlace web: La presión de vapor

Vídeo: La presión de vapor

Animación: Los cambios de estado de la materia

Tests de autoevaluación interactivos

Química, tecnología y sociedad

Desalinización del agua del mar: un reto para el siglo XXI

Técnicas de trabajo y experimentación

Preparación de una disolución

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Documento: 1. Normalidad; 2. Disoluciones salinas

Práctica de laboratorio:
1. Cristalización; 2. Ósmosis; 3. Descenso crioscópico

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

El proceso de disolución

<http://blogdequimica4.blogspot.com.es/2011/05/>

Para estudiar el proceso de disolución desde un punto de vista termodinámico.

Concentración de una disolución

<http://iesalminares.es/esa/sim/disoluciones-preparacion.swf>

Simulación para preparar paso a paso una disolución escogiendo el material de laboratorio adecuado.

Propiedades coligativas de las disoluciones

<http://educacion.tv/archivos/3350>

Breve vídeo del programa televisivo *Tecnópolis* que explica por qué se usa sal para evitar la acumulación de nieve en las carreteras.

<http://www.ehu.es/biomoleculas/agua/>

Página que incluye animaciones, gráficas y explicaciones detalladas de las distintas propiedades coligativas de las disoluciones.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

DISOLUCIONES

A modo resumen se introduce la unidad con un texto que puede ser comentado en clase.

Sería interesante proponer a los alumnos que visualicen el vídeo introductorio sobre disoluciones cuyo objetivo sería comprobar qué recuerdan los alumnos sobre los mismos.

Vídeo: DISOLUCIONES

Vídeo español sobre los principales conceptos relacionados con el tema de las disoluciones.

PRESENTACIÓN

Presentación en forma de diapositivas de recorrido de la unidad. El profesor la puede utilizar tanto al principio de la unidad como al final.

En el apartado *Conocimientos previos* sería importante preguntar a los alumnos si los recuerdan y que hagan las actividades propuestas en *Comprueba lo que sabes*, para así saber los conocimientos de partida.

1. Disoluciones (páginas 65/67)

Comenzamos el epígrafe haciendo ver al alumnado la importancia que tienen las disoluciones (sobre todo las acuosas) tanto en nuestras vidas como en un laboratorio de química.

1.1. Definición, componentes y tipos de disoluciones

En este epígrafe recordaremos la definición de *disolución* y daremos nombre a sus componentes: *soluto* y *disolvente*. Después repasaremos (se dio en la ESO) los tipos de disoluciones que podemos encontrar (las de soluto líquido o sólido en disolvente gaseoso no son disoluciones verdaderas, sino dispersiones o disoluciones coloidales).

1.2. El proceso de disolución

Se analizarán las fuerzas que intervienen en el proceso de disolución así como la mayor o menor influencia de esas fuerzas en el proceso según sea el estado de agregación del soluto. Como siempre, el balance energético determinará si el proceso de disolución se llevará a cabo. También se expondrán las maneras de acelerar el proceso de disolución: pulverizar los solutos sólidos, agitar y calentar la disolución. Es importante advertir que de esta manera no conseguimos aumentar la solubilidad del soluto sino únicamente acelerar el proceso.

Vídeo: DISOLUCIÓN DE UN CRISTAL DE NaCl

Vídeo en inglés que explica el proceso de disolución de un cristal de cloruro de sodio.

Vídeo: PREPARACIÓN DE UNA DISOLUCIÓN

Vídeo en español que muestra cómo preparar una disolución en el laboratorio.

1.3. Concentración de una disolución

El epígrafe trata las formas de indicar la concentración de una disolución: porcentaje en masa, porcentaje en volumen, molaridad, molalidad y fracción molar. Conviene realizar las actividades después de definir cada una de ellas, con objeto de verificar el grado de comprensión de los alumnos. Es conveniente, también, reflejar la diferencia entre masa de disolución (o de disolvente) y volumen de disolución (o de disolvente), ya que muchos alumnos piensan que 1 g de cualquier sustancia ocupa un volumen de 1 cm³. Es el dato de la densidad de la disolución el que permitirá tal transformación.

Debe aclararse al alumnado que cuando el soluto es líquido, suele especificarse el porcentaje de pureza y la densidad de la disolución en la que se encuentra (es decir, que no se trata de un soluto puro). Es importante señalar la diferencia entre la densidad del soluto y la que hace referencia a la disolución que se está preparando (suelen confundirlos). Los problemas resueltos 1, 2 y 3 del apartado *Estrategias de resolución* pueden servir para reforzar estas ideas.

Enlace web: DISOLUCIONES

Tutorial en español con ejercicios prácticos.

Vídeo: CÁLCULO DE LA MOLARIDAD DE UNA DISOLUCIÓN

Vídeo en español que enseña a resolver un ejercicio de molaridad partiendo de un soluto líquido impuro.

Vídeo: EJERCICIOS DE DISOLUCIONES

Vídeo en español con 3 ejercicios resueltos sobre cómo preparar disoluciones así como de las diferentes formas de expresar la concentración de una disolución.

Animación: PREPARACIÓN DE DISOLUCIONES

Aplicación interactiva que muestra cómo preparar una disolución sólido-líquido y líquido-líquido.

2. Solubilidad (página 68)

Comenzaremos este epígrafe definiendo la expresión «disolución saturada», ya que en la definición de solubilidad, que se dará a continuación, se halla implícito este concepto.

Debemos reflejar que la solubilidad de una sustancia no es más que la **concentración** de una disolución «especial» de esa sustancia (la concentración de su disolución saturada).

Se puede realizar una práctica de laboratorio en donde los alumnos calculen, de modo experimental, la solubilidad de diferentes sustancias (dada una misma temperatura).

Vídeo: SOLUBILIDAD DEL AZÚCAR EN AGUA

Vídeo en español sobre el proceso de disolución de un soluto sólido (azúcar) en un disolvente líquido (agua).

2.1. Variación de la solubilidad con la temperatura

Una vez definida la solubilidad, se analizarán los factores de los que depende. En la misma sesión de laboratorio mencionada antes, y con las mismas sustancias, puede proponerse al alumnado que comprueben la influencia de la temperatura en la solubilidad (la sal común, NaCl, se disuelve igual de bien en agua caliente que en agua fría, mientras que el acetato de calcio, $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, es más soluble en frío que en caliente).

Se preguntará al alumnado qué sucede cuando se sobrepasa la saturación. Algunos contestarán, erróneamente, que se forma una disolución sobresaturada con un precipitado en el fondo. Hay que explicarles que, en cualquier disolución (diluida, concentrada, saturada o sobresaturada), no puede haber un precipitado en el fondo, ya que entonces estaríamos ante una mezcla no homogénea y, por lo tanto, no sería disolución. Una disolución es sobresaturada cuando contiene mayor cantidad de soluto que el que puede admitir a esa temperatura; eso se consigue calentando la disolución y saturándola para luego dejarla enfriar lentamente. En esa situación, la disolución se hallará inestable, y por simple agitación o introduciendo alguna «semilla» del propio soluto podemos hacer que precipite el exceso de este.

Vídeo: TEMPERATURA Y SOLUBILIDAD DE UN GAS

Vídeo en español que demuestra como al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad de un gas en un líquido.

2.2. Variación de la solubilidad con la presión

Si el soluto es gaseoso, en su solubilidad, además de la temperatura, influye la presión a la que se encuentre. La relación entre presión y solubilidad se puede expresar mediante la ley de Henry:

$$C_{\text{gas}} = k p_{\text{gas}}$$

donde:

- C_{gas} es la concentración de gas disuelto (expresada generalmente en molaridad).
- k es una constante de proporcionalidad que depende del gas y de la temperatura.
- p_{gas} es la presión que el gas ejerce sobre el líquido.

Si, como suele ocurrir, existen otros gases, entonces p_{gas} se denomina **presión parcial del gas**, que es la que ejercería si él solo ocupara todo el volumen. Deberá advertirse que la explicación de esa ecuación es una consecuencia de la teoría cinética de la materia.

Vídeo: PRESIÓN Y SOLUBILIDAD DE UN GAS

Vídeo en español que demuestra la influencia de la presión en la solubilidad de los gases.

3. Propiedades coligativas de las disoluciones (páginas 69/72)

Este epígrafe analiza la influencia que tienen los solutos (sobre todo los no iónicos) en la modificación de las propiedades del disolvente. En concreto, se hace referencia a cuatro propiedades coligativas: presión de vapor, punto de congelación, punto de ebullición y presión osmótica; todas ellas dependen de la concentración del soluto y no de su naturaleza. Si la disolución es «ideal» (disoluciones diluidas de solutos no iónicos), existen unas leyes que rigen estas propiedades: ley de Raoult, ley del descenso crioscópico, ley del ascenso ebulloscópico y ley de van't Hoff.

Enlace web: PROPIEDADES COLIGATIVAS

Tutorial sobre la disminución de la presión de vapor del disolvente, el descenso crioscópico, el aumento ebulloscópico y el proceso de ósmosis.

3.1. Presión de vapor

Se preguntará al alumnado qué sucede con la presión de vapor de un disolvente cuando disuelve a un soluto: si aumenta, disminuye o no varía, y el por qué. Acertarán aquellos que sugieran que disminuye debido a que las moléculas de soluto, al ocupar un lugar entre las del disolvente, dificultan el escape al estado gaseoso de las moléculas del disolvente. A continuación serán informados de la ley de Raoult, capaz de medir tal disminución.

3.2. Punto de congelación

Una vez enunciada la ley de Raoult, debe hacerse reflexionar al alumnado acerca de la influencia del cambio en la presión de vapor de un disolvente (al añadir un soluto no iónico) sobre sus puntos de congelación y de ebullición. Seguramente les será más sencillo descubrir por sí mismos el ascenso ebulloscópico que el descenso crioscópico. Se les ayudará a que alcancen este descubrimiento explicándoles la gráfica de la figura 3.6 del libro del alumno.

Para disoluciones muy diluidas, la disminución de la presión de vapor del disolvente es proporcional a la molalidad de la disolución, de lo que se deduce que el descenso del punto de congelación de una disolución es proporcional a la molalidad (m) de esta.

Se les preguntará por la función de los anticongelantes y su naturaleza (mezcla de algún alcohol y agua). La realización del *Investiga* también puede servir para analizar más aplicaciones de esta propiedad coligativa.

Vídeo: DESCENSO CRIOSCÓPICO

Vídeo en español que explica por qué se echa sal en las carreteras cuando nieva.

Vídeo: ANTICONGELANTES

Vídeo en español que explica el por qué se usan los anticongelantes en los motores de los coches.

3.3. Punto de ebullición

Este epígrafe se tratará de la misma forma que el anterior.

Animación: AUMENTO EBULLOSCÓPICO Y DESCENSO CRIOSCÓPICO

Esta animación muestra el ascenso ebulloscópico y el descenso crioscópico de diferentes solutos en presencia de distintos disolventes.

3.4. Ósmosis

Puede que algunos estudiantes hayan oído hablar del fenómeno de ósmosis, pero lo más probable es que ninguno conozca su naturaleza exacta. La relación de este fenómeno con la vida y la obtención de agua potable a partir del agua marina (ósmosis inversa), resulta altamente motivadora para mantener su atención.

Es conveniente acabar el epígrafe informando a los alumnos de que una de las aplicaciones más frecuentes de las propiedades coligativas es la determinación de la masa molar de sustancias solubles no iónicas.

Efectivamente, en todas las ecuaciones figura la cantidad (en mol) de soluto, que podremos calcular si conocemos el resto de variables (todas ellas se pueden obtener con medidas directas). Conociendo la cantidad de moles y la masa de soluto añadida al disolvente, se puede determinar su masa molar. De las cuatro propiedades coligativas, la que mejor se presta para conseguir este fin es la presión osmótica; ello se debe a que esta magnitud varía en mucha mayor medida que las otras tres y, por tanto, con pequeñas cantidades de muestra conseguimos un valor apreciable de la presión osmótica, de tal modo que su determinación implicará un menor error. Los ejercicios 6 y 7 de *Estrategias de resolución* pueden ayudar a comprender esto.

Vídeo: ÓSMOSIS

Video en español que explica el proceso de ósmosis.

4. Suspensiones y disoluciones coloidales (página 73)

Se debe mostrar la diferencia entre una disolución verdadera y una coloidal, ya que a veces resulta muy difícil su distinción.

4.1. Suspensiones

Es el tamaño de las partículas disueltas el factor que va a decidir si la mezcla es disolución verdadera, suspensión o disolución coloidal. Si este tamaño es superior a $2 \cdot 10^{-5}$ cm, la mezcla será una suspensión. Se les pedirá que den ejemplos de suspensiones.

4.2. Disoluciones coloidales

A primera vista, algunas mezclas heterogéneas parecen disoluciones (la niebla, las nubes, el humo, la tinta, etc.); incluso al microscopio aparecen claras.

No obstante, si un haz de luz incide sobre ellas de forma perpendicular respecto a la dirección en la que se las observa, descubren su auténtico carácter heterogéneo al difundir o dispersar la luz que les llega (algo que no les ocurre a las disoluciones verdaderas). A estas mezclas se las llama (por su semejanza con las disoluciones) disoluciones coloidales.

Vídeo: COLOIDES Y EFECTO TYNDALL

Video en español que explica el efecto Tyndall.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 46/55)

Comprueba lo que sabes

1. ¿Qué se entiende por concentración de una disolución?

Se llama concentración de una disolución a la relación cantidad de soluto/cantidad de disolución o disolvente.

2. ¿Qué significa que una disolución de alcohol en agua es al 10 % en volumen?

Que por cada 100 mL que se tomen de disolución hay 10 mL de soluto.

3. Calcula la concentración en porcentaje en masa de una disolución formada por 20 g de soluto y 180 g de disolvente.

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje en masa} &= \left(\frac{\text{masa (g) de soluto}}{\text{masa (g) de disolución}} \right) \cdot 100 = \\ &= \left(\frac{20 \text{ g}}{200 \text{ g}} \right) \cdot 100 = 10\% \end{aligned}$$

Actividades

1. Calcula la concentración, en porcentaje en masa, de la disolución obtenida al mezclar 10 g de carbonato de sodio con 100 g de agua destilada.

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje en masa} &= \left(\frac{\text{masa (g) de soluto}}{\text{masa (g) de disolución}} \right) \cdot 100 = \\ &= \left(\frac{10 \text{ g}}{110 \text{ g}} \right) \cdot 100 = 9,1\% \end{aligned}$$

2. La densidad de 200 mL de disolución de yoduro de potasio en agua al 40 % en masa es de 1,2 g/cm³. ¿Qué cantidades de soluto y disolvente se hallan presentes?

Con la densidad hallamos la masa de disolución:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V = 1,2 \text{ g/cm}^3 \cdot 200 \text{ mL} = 240 \text{ g de disolución}$$

Se sustituyen los datos en la ecuación que define la concentración en porcentaje en masa:

$$40\% = \left(\frac{x \text{ g de soluto}}{240 \text{ g de disolución}} \right) \cdot 100; \quad x = 96 \text{ g de soluto}$$

$$240 \text{ g de disolución} - 96 \text{ g de soluto} = 144 \text{ g disolvente}$$

3. Se desea preparar 600 mL de disolución de alcohol en agua al 10 % en volumen. Calcula las cantidades de alcohol y agua destilada que deben mezclarse.

$$\frac{10 \text{ mL de alcohol}}{100 \text{ mL de disolución}} = \frac{x \text{ mL de alcohol}}{600 \text{ mL de disolución}}$$

$$x = 60 \text{ mL de alcohol}$$

Por tanto: 600 – 60 mL = 540 mL de agua

4. ¿Es lo mismo echar en un matraz 5 g de soluto y luego 100 cm³ de agua, que poner la misma cantidad de soluto y, luego, completar con agua hasta 100 cm³? Explica

cómo afectarían ambas opciones al cálculo de la molaridad.

No es lo mismo, en el segundo caso la cantidad añadida de agua es ligeramente inferior. Para calcular la molaridad de la primera disolución necesitaríamos saber el volumen que ocupan los 5 g de soluto (por ejemplo conociendo la densidad del soluto) para, añadidos a los 100 cm³ de agua, calcular el volumen total de disolución. En el segundo caso el volumen de disolución es 100 cm³.

5. Calcula la molaridad de la disolución obtenida al mezclar 15 g de hidróxido de calcio, Ca(OH)₂, con el agua suficiente para enrasar a 0,5 L.

$$M = \frac{n_s}{V} = \frac{\left(\frac{15 \text{ g}}{74 \text{ g/mol}} \right)}{0,5 \text{ L}} = 0,4 \text{ mol/L}$$

6. Se disuelven 5 mL de ácido nítrico comercial del 70 % y de densidad 1,42 g/mL en agua destilada y, posteriormente, se completa con más agua destilada hasta obtener 1 L de disolución. Calcula la molaridad de la misma.

$$m = \rho V$$

$$m = 1,42 \text{ g/mL} \cdot 5 \text{ mL} = 7,1 \text{ g de HNO}_3 \text{ del } 70\%$$

La masa de HNO₃ puro será:

$$\frac{7,1 \text{ g} \cdot 70}{100} = 4,97 \text{ g}$$

La cantidad de HNO₃ en mol es:

$$\frac{4,97 \text{ g}}{63 \text{ g/mol}} = 0,08 \text{ mol}$$

Así la molaridad es:

$$M = \frac{0,08 \text{ mol}}{1 \text{ L de disolución}} = 0,08 \text{ mol/L}$$

7. Determina la molalidad de: a) Una disolución obtenida disolviendo 10 g de hidróxido de sodio, NaOH, en 200 mL de agua. b) Una disolución de KNO₃ al 20 % en masa. Dato: $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/cm}^3$

a) Cantidad de NaOH en mol:

$$\frac{10 \text{ g}}{40 \text{ g}} = 0,25 \text{ mol}$$

Molalidad:

$$m = \frac{0,25 \text{ mol}}{0,2 \text{ Kg de agua}} = 1,25 \text{ mol/Kg}$$

b) Si es al 20 % es que hay 20 g de KNO₃ (20 g/101 g/mol = 0,2 mol) en 100 g de disolución, es decir, mezclado con 80 g de agua.

Por tanto:

$$m = \frac{0,2 \text{ mol}}{0,08 \text{ Kg de agua}} = 2,5 \text{ mol/Kg}$$

- 8 Halla las fracciones molares de los componentes de una disolución que se ha obtenido al disolver 2 g de hidróxido de sodio en 100 mL de agua. Dato: $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/cm}^3$

Calculamos la cantidad, en mol, de soluto y disolvente:

$$n_s = \frac{2 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,05 \text{ mol}$$

$$n_d = \frac{100 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 5,55 \text{ mol}$$

Ahora hallamos las fracciones molares:

$$\chi_s = \frac{0,05 \text{ mol}}{0,05 \text{ mol} + 5,55 \text{ mol}} = 0,0089 \text{ mol}$$

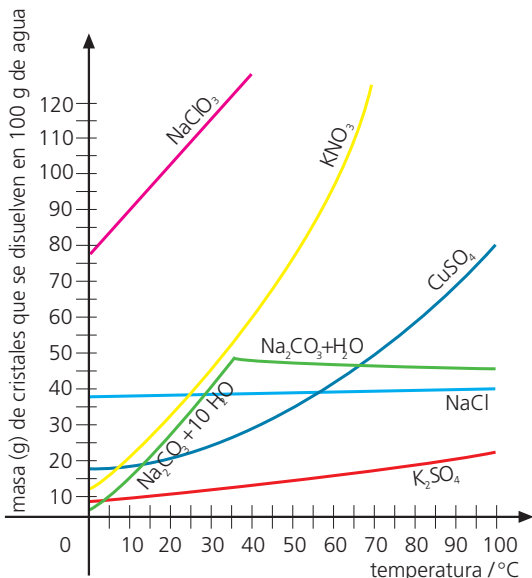
$$\chi_d = \frac{5,55 \text{ mol}}{0,05 \text{ mol} + 5,55 \text{ mol}} = 0,99 \text{ mol}$$

Esta última fracción molar también la podemos hallar así:

$$1 - 0,0089 = 0,99$$

- 9 Observa la figura 3.4 y contesta las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué sustancia de las representadas muestra una elevada solubilidad?
b) ¿En cuál se observa mayor variación de su solubilidad con la temperatura?



- a) NaClO_3
b) KNO_3

- 10 ¿Por qué ascienden burbujas de gas en las copas de cava recién servidas o, en general, en las de cualquier bebida carbónica?

Porque disminuye la presión del gas en el seno de la disolución (al pasar a la presión atmosférica, que es inferior a la que tenía el gas en la botella), como consecuencia, se reduce la solubilidad de este en la misma. Entonces el gas tiende a escapar.

- 11 ¿Por qué crees que se forman muchas más burbujas en las copas de cava si agitamos el contenido con una cucharilla?

Porque las disoluciones gaseosas adquieren fácilmente la condición de sobresaturación y al agitar conseguimos que el exceso de gas escape.

- 12 ¿Qué ocurrirá con la temperatura de ebullición de una disolución con respecto a la de su disolvente puro?

Un disolvente entra en ebullición cuando su presión de vapor iguala a la atmosférica (en recipientes abiertos). Imaginemos que eso sucede a una temperatura T . Al añadir un soluto no volátil a un disolvente, disminuye la presión de vapor de este último; por ello, hay que calentar más ($T' > T$) hasta que la presión de vapor de la disolución iguale a la atmosférica, momento en el que empezará a hervir (T').

- 13 Para que tu bañador se seque antes, ¿lo enjuagarías con agua dulce o salada? ¿Por qué?

En agua dulce, ya que es más volátil que el agua salada porque las sales disueltas en el agua salada hacen disminuir la presión de vapor del disolvente.

- 14 Al añadir 300 g de glucosa, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, a 1,5 L de disolvente, se produce un descenso crioscópico de $2,06^\circ\text{C}$. Halla la K_c del disolvente.

La masa molar de la glucosa es 180 g/mol.

La cantidad de glucosa existente será:

$$n = \frac{300 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = 1,67 \text{ mol}$$

La molalidad es:

$$m = 1,67 \text{ mol}/1,5 \text{ kg de agua} = 1,11 \text{ mol/kg}$$

$$\Delta T_c = K_c m$$

$$K_c = \frac{\Delta T_c}{m} = \frac{2,06^\circ\text{C}}{1,11 \text{ mol/Kg}} = 1,86^\circ\text{C kg/mol}$$

- 15 Calcula la masa molecular de un alcohol sabiendo que una mezcla de 2 L de agua y 0,5 L de ese alcohol, del 96% y densidad de $0,8 \text{ g/cm}^3$, produce un descenso crioscópico de $7,7^\circ\text{C}$.

Aplicamos la ecuación: $\Delta T_c = K_c m$

Sustituimos valores:

$$7,7^\circ\text{C} = \frac{1,86^\circ\text{C} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot n_s}{2 \text{ kg}}$$

$$n_s = 8,3 \text{ mol de alcohol}$$

Hallamos el n.º de gramos de alcohol existente en el 1/2 L:

$$m = \rho V = 0,8 \text{ g/cm}^3 \cdot 500 \text{ cm}^3 = 400 \text{ g de alcohol al } 96\%$$

$$400 \text{ g} \cdot 96/100 = 384 \text{ g de alcohol puro}$$

Como:

$$n_s = \frac{\text{masa}}{\text{masa molar}} \Rightarrow$$

$$\text{masa molar} = \frac{\text{masa}}{n_s} = \frac{384 \text{ g}}{8,3 \text{ mol}} \cong 46 \text{ g/mol}$$

Por tanto, la masa molecular será: 46 u

- 16 ¿Por qué cuando hace mucho frío se echa sal sobre las placas de hielo?

La sal es muy soluble en agua y parte de ella comienza a disolverse en el agua que moja al hielo, formándose una disolución saturada que, por su menor presión de vapor, no puede estar en equilibrio con el hielo. Entonces se funde hielo para diluir la disolución (como la fusión necesita consumir energía, la temperatura desciende); al derretirse más hielo, se disuelve más sal y se alcanza la saturación, con lo que el proceso vuelve a repetirse. De esta forma, la sal va fundiendo el hielo. Para una concentración de sal de 22,4 %, la temperatura puede descender hasta $-21\text{ }^\circ\text{C}$.

- 17 Calcula el ascenso ebulloscópico que sufre 1 kg de agua cuando se disuelven en él 342 g de sacarosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$).

342 g de $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ es justo 1 mol, por tanto:

$$\Delta T_e = K_e m = \frac{0,52\text{ }^\circ\text{C} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 1 \text{ mol}}{1 \text{ kg}} = 0,52\text{ }^\circ\text{C}$$

- 18 ¿Sería también $0,52\text{ }^\circ\text{C}$ el ascenso ebulloscópico si en 1 kg de agua disolviéramos 1 mol de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)? ¿Y 1 mol de urea (CON_2H_4)?

Sí, ya que como en los tres casos se trata de 1 mol de soluto, y hay la misma cantidad de disolvente y este es el mismo, el resultado de la ecuación es idéntico en los tres casos. Por tanto, la propiedad coligativa no depende de la naturaleza del soluto sino de su concentración (como se explicó en el Libro del alumno).

- 19 ¿A qué temperatura hierve una disolución formada por 9,2 g de glicerina, $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$, y 100 g de agua a presión normal?

Hallamos la masa molar del soluto: 92 g/mol.

Como la cantidad disuelta ha sido de 9,2 g; se ha disuelto 0,1 mol de glicerina.

Sustituimos en la ecuación:

$$\Delta T_e = K_e m; \Delta T_e = \frac{0,52\text{ }^\circ\text{C} \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 0,1 \text{ mol}}{0,1 \text{ kg}} = 0,52\text{ }^\circ\text{C}$$

Como $\Delta T_e = T' - T_e \Rightarrow$

$$\Rightarrow T' = \Delta T_e + T_e = 100\text{ }^\circ\text{C} + 0,52\text{ }^\circ\text{C} = 100,52\text{ }^\circ\text{C}$$

- 20 ¿Por qué te deshidratas si bebes agua de mar? Para contestar, puedes buscar información Internet.

Beber agua de mar ocasionaría, por ósmosis, una pérdida de este preciado líquido en nuestros tejidos: cuanta más agua bebemos, más agua perderemos. Es la paradoja de la deshidratación por beber en exceso agua... de mar.

- 21 Trata de explicar por qué la presión osmótica aumenta al incrementarse la temperatura de la disolución.

La causa es que afecta al número de colisiones (por unidad de tiempo) del disolvente con la membrana semipermeable. Un aumento de temperatura incrementa el número de colisiones y, por tanto, la presión.

- 22 ¿Por qué las inyecciones intravenosas deben ser isotónicas con el suero sanguíneo?

Si la presión osmótica de la inyección fuese inferior, los glóbulos rojos se hincharían al pasar agua a su interior por ósmosis y podrían estallar (hemólisis). Si fueran las inyecciones hipertónicas, los glóbulos rojos se arrugarían (plasmólisis), al salir agua de su interior.

- 23 Clasifica los siguientes sistemas como disoluciones, suspensiones o disoluciones coloidales: pegamento, espuma de cerveza, crema batida, calima atmosférica, agua marina, refresco transparente, queso, gelatina, tinta china y una mezcla de agua y alcohol.

Suspensiones: zumo de frutas, calima atmosférica y barro.

Disoluciones coloidales: (del griego *kolla*, pegamento, y *eid* es, con aspecto de) pegamento, espuma de cerveza, crema batida, queso, gelatina, tinta china.

Disoluciones verdaderas: agua marina, refresco transparente y agua con alcohol.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES QUÍMICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 74)

DESALINIZACIÓN DEL AGUA DEL MAR; UN RETO PARA EL SIGLO XXI

Cuando el agua escasea, siempre se piensa en el agua de los océanos, pero antes hay que desalinizarla. Aquí se muestran algunas técnicas para conseguirlo.

Análisis

- 1 Responde a las siguientes preguntas: ¿Qué es la salmuera? ¿En qué consiste la ósmosis inversa?

La salmuera es el líquido sobrante de los procesos desalinizadores, contiene una gran cantidad de sal y con frecuencia se trata con objeto de obtener los minerales que contiene.

La osmosis inversa consiste en obligar al agua de mar, utilizando una presión suficientemente elevada, a pasar a través de una membrana semipermeable. Entonces se consigue un movimiento de agua (prácticamente pura) desde el lado de la disolución (que se irá concentrando en sales) hasta el otro lado de la membrana.

- 2 ¿Crees que la desalinización del agua de mar tiene futuro?

RESPUESTA LIBRE.

- 3 ¿Qué efectos medioambientales producen las técnicas utilizadas para desalinizar el agua del mar? Se te ocurre alguna medida para mitigarlos.

La dificultad para eliminar la salmuera y el resto de los residuos, los productos químicos que se utilizan como aditivos contra las incrustaciones y la corrosión, el impacto visual en el paisaje, el ruido producido y la emisión de gases de efecto invernadero como consecuencia de la energía aportada.

Propuesta de investigación

- 4 Busca información en Internet y elabora un informe para exponerlo en clase sobre los últimos avances en desalinización del agua de mar, los países que más utilizan las plantas desalinizadoras, así como los efectos medioambientales que tales procesos producen.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 75)

Práctica de laboratorio: PREPARACIÓN DE UNA DISOLUCIÓN

El objetivo de esta práctica es conocer la forma experimental de preparación de una disolución de soluto sólido.

Cuestiones

- 1 ¿Qué deberías hacer si en el último paso viertes una cantidad de agua superior a la que marca el enrase? ¿Sería una solución quitar el exceso de agua?

Habría que vaciar la preparación y empezar de nuevo, ya que no sería una solución quitar el exceso de agua pues se llevaría consigo parte del soluto, de forma que la disolución resultante ya no sería 2 M.

- 2 Si el soluto, en lugar de sólido, fuera líquido y no dispusieras de balanza, ¿cómo prepararías la disolución? ¿Y

qué harías si el soluto líquido disponible no fuera puro al 100%?

Calcularía el número de gramos de soluto líquido necesario (de la misma forma que si el soluto fuera sólido) y después, con ayuda de la densidad de dicho soluto líquido, averiguaría el correspondiente volumen, volumen que añadiría al matraz aforado utilizando una bureta.

Si el soluto líquido disponible no fuera puro al 100%, después de calcular el número de gramos del mismo, averiguaría, empleando una simple proporción, el equivalente número de gramos de soluto impuro (siempre sería una cantidad superior a la de soluto puro), luego se continuaría como se ha explicado anteriormente.

- 3 Elabora un informe de la práctica.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 78/79)

Disolución. Tipos de disoluciones

- 1 Explica las diferencias entre soluto, disolvente, disolución y concentración de una disolución.

Una disolución verdadera es una mezcla homogénea de sustancias puras donde las partículas disueltas son iones, moléculas aisladas o agrupaciones muy pequeñas de ellos, por lo que no sedimentan aunque empleemos potentes máquinas centrifugadoras. El disolvente es el medio en el cual los solutos se disuelven. Los solutos suelen ser iones o moléculas y, frecuentemente, se encuentran en proporción menor que el disolvente. Se llama concentración de una disolución a la relación existente entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente o disolución.

- 2 Pon un ejemplo de disolución en la que el disolvente sea gaseoso y el soluto sólido o líquido.

Las disoluciones en las que el disolvente es gaseoso y el soluto sólido o líquido son las disoluciones coloidales. Las partículas de la fase dispersa (similar al soluto en las disoluciones verdaderas) son bastante pequeñas, por lo que la precipitación es despreciable; sin embargo, son bastante grandes como para que dispersen la luz al atravesar el coloide. Ejemplos de estas disoluciones son la niebla, el humo o el aire con polvo o virus.

El proceso de disolución

- 3 Explica el proceso por el cual los solutos se disuelven en los disolventes.

El proceso de disolución sucede cuando las atracciones soluto-soluto y las disolvente-disolvente son relativamente pequeñas, y las atracciones disolvente-soluto, relativamente grandes. Solo así las partículas de soluto abandonarán sus posiciones más o menos fijas en sus antiguas estructuras y se incorporarán a la disolución.

- 4 ¿Cuál es la diferencia entre solvatación e hidratación?

El proceso de disolución se llama solvatación cuando el disolvente no es el agua, e hidratación si el disolvente es el agua.

- 5 ¿Por qué, en general, los líquidos y los gases se disuelven mejor que los sólidos?

Las interacciones soluto-soluto son más fuertes en los sólidos que en los líquidos y gases, y estas interacciones pueden llevar al soluto hidratado, si es sólido, a la fase cristalina, por lo que los sólidos se disuelven peor.

- 6 Indica qué interacciones (soluto-soluto, disolvente-disolvente y soluto-disolvente) son más determinantes para realizar las siguientes operaciones:

- Disolver un sólido en un disolvente líquido.
- Disolver un líquido en un disolvente líquido.
- Disolver un gas en un disolvente líquido.
 - Las interacciones soluto-soluto.
 - Las interacciones soluto-disolvente.
 - Las interacciones soluto-disolvente.

Concentración de una disolución

- 7 Define molaridad y molalidad.

La molaridad de una disolución expresa los moles de soluto existentes en 1 L de disolución. La molalidad expresa los moles de soluto existentes en 1 kg de disolvente.

- 8 ¿Por qué la fracción molar no tiene unidades?

Porque numerador y denominador tienen las mismas unidades.

- 9 Se disuelven 10 g de sacarosa en 250 g de agua. Indica la concentración de la disolución en:

a) Masa (g) soluto/100 g de disolvente.

b) Masa (g) de soluto/100 g de disolución.

$$a) \frac{10 \text{ g de soluto}}{250 \text{ g de disolvente}} = \frac{x \text{ g de soluto}}{100 \text{ g de disolvente}};$$

$$x = 4 \text{ g de soluto}$$

$$b) \frac{10 \text{ g de soluto}}{260 \text{ g de disolvente}} = \frac{x \text{ g de soluto}}{100 \text{ g de disolvente}};$$

$$x = 3,85 \text{ g de soluto}$$

- 10 El agua de mar contiene un 2,8% de cloruro de sodio, NaCl, y tiene una densidad de 1,02 g/cm³ a una cierta temperatura. Calcula el volumen de agua de mar necesario para obtener 1 kg de NaCl.

$$\frac{2,8 \text{ g de NaCl}}{100 \text{ g de disolución}} = \frac{1000 \text{ g de NaCl}}{x \text{ g de disolución}};$$

$$x = 35714,3 \text{ g de disolución}$$

$$V = \frac{m}{\rho}; V = \frac{35714,3 \text{ g}}{1,02 \text{ g/cm}^3} = 35014 \text{ cm}^3 = 35 \text{ L}$$

- 11 Se prepara una disolución con 5 g de NaOH en 25 g de agua destilada. Si el volumen final es de 27,1 cm³, calcula la concentración de la disolución en:

a) Porcentaje en masa c) Molaridad.

b) Masa (g) por litro. d) Molalidad.

a) Concentración en porcentaje (%) en masa:

$$\left(\frac{\text{g de soluto}}{30 \text{ g de disolución}} \right) \cdot 100 = 16,7\%$$

b) Concentración en g/L:

$$\frac{5 \text{ g de soluto}}{0,0271 \text{ L de disolución}} = 184,5 \text{ g/L}$$

c) Hallamos, primero, los moles:

$$n = \frac{5 \text{ g de soluto}}{40 \text{ g/mol}} = 0,125 \text{ mol}$$

$$M = \frac{n_s}{V \text{ (L) de disolución}} =$$

$$= \frac{0,125 \text{ mol}}{0,0271 \text{ L de disolución}} = 4,6 \text{ mol/L}$$

d) Molalidad:

$$m = \frac{n_s}{\text{masa (kg) de disolvente}} = \frac{0,125 \text{ mol}}{0,025 \text{ kg de disolvente}} = 5 \text{ mol/kg}$$

12) **Calcula la fracción molar del soluto del problema anterior.**

Calculamos los moles de soluto y disolvente:

$$n_{\text{NaOH}} = 0,125 \text{ mol y } n_{\text{agua}} = 1,389 \text{ mol}$$

Aplicando la expresión de la fracción molar:

$$\chi_{\text{NaOH}} = \frac{\chi_{\text{NaOH}}}{\chi_{\text{NaOH}} + \chi_{\text{agua}}} = \frac{0,125}{0,125 + 1,389} = 0,083$$

13) **En 100 cm³ de una disolución de ácido clorhídrico, HCl, hay 6 g de dicho ácido. Determina:**

a) La cantidad de esta sustancia en mol.

b) La molaridad de la disolución.

$$\text{a) } n_{\text{HCl}} = \frac{6 \text{ g}}{36,5 \text{ g/mol}} = 0,16 \text{ mol}$$

$$\text{b) } M = \frac{0,16 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 1,6 \text{ mol/L}$$

14) **¿Qué cantidad de ácido sulfúrico puro, H₂SO₄, contienen 100 cm³ de disolución 0,2 M de dicho ácido?**

$$M = \frac{n}{V}; n = MV = 0,2 \text{ mol/L} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,02 \text{ mol de H}_2\text{SO}_4$$

Como:

$$\frac{1 \text{ mol de H}_2\text{SO}_4}{98 \text{ g de H}_2\text{SO}_4} = \frac{0,02 \text{ mol de H}_2\text{SO}_4}{x \text{ g de H}_2\text{SO}_4}$$

Entonces:

$$x = 1,96 \text{ g de H}_2\text{SO}_4$$

15) **Para preparar la disolución del ejercicio anterior disponíamos de H₂SO₄ comercial al 96 % y $\rho = 1,84 \text{ g/cm}^3$. Calcula el volumen de ácido que hubo que incluir para obtener los 100 cm³ de disolución 0,2 M.**

Si el ácido es del 96 %, por cada 100 g de ácido comercial, 96 g son de H₂SO₄; por tanto: x g de ácido comercial contendrán 1,96 g puros.

Si resolvemos la relación:

$$x = 2,04 \text{ g de ácido comercial}$$

Así:

$$V = \frac{m}{\rho}; V = \frac{2,04 \text{ g}}{1,84 \text{ g/cm}^3} = 1,1 \text{ cm}^3$$

16) **Halla la cantidad, en gramos, de nitrato de potasio, KNO₃, y agua destilada necesarios para preparar un volumen de 250 cm³ de disolución al 20 %. Dato: densidad de la disolución = 1,2 g/cm³**

Sabemos que

$$m = \rho V; m = 1/2 \text{ g/cm}^3 \cdot 250 \text{ cm}^3 = 300 \text{ g de disolución}$$

Si la disolución es al 20% y deseamos averiguar los gramos de ácido nítrico, aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{20 \text{ g de soluto}}{100 \text{ g de disolución}} = \frac{x \text{ g de soluto}}{300 \text{ g de disolución}};$$

$$x = 60 \text{ g de KNO}_3$$

Por tanto, 240 g son de agua destilada.

17) **Partiendo de una disolución 2 M de ácido nítrico, HNO₃, indica cómo prepararías 1 L de otra disolución del mismo ácido, pero de concentración 1 M.**

Si se desea preparar 1 L de disolución 1 M, son necesarios:

$$n = MV = 1 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L} = 1 \text{ mol}$$

Al disponer de otra disolución 2 M, debemos sacar un volumen de:

$$V = \frac{n}{M} = \frac{1 \text{ mol}}{2 \text{ mol/L}} = 0,5 \text{ L}$$

Este volumen lo echaríamos en un matraz aforado de 1 L y completaríamos con agua destilada (1/2 L).

18) **Tomamos 10 mL de ácido sulfúrico comercial al 96 % y densidad 1,84 g/cm³, y lo añadimos, con precaución, a un matraz de 0,5 L lleno hasta la mitad de agua destilada. Agitamos la mezcla y vertemos más agua destilada, hasta el nivel de 0,5 L. Indica la molaridad y la molalidad de la disolución así preparada.**

Transformamos los 10 mL de ácido comercial en gramos:

$$m = \rho V; m = 1,84 \text{ g/cm}^3 \cdot 10 \text{ cm}^3 = 18,4 \text{ g de ácido comercial}$$

Para calcular los gramos de ácido puro, hallamos el 96 % de esa cantidad:

$$18,4 \text{ g} \cdot \frac{96}{100} = 17,66 \text{ g de H}_2\text{SO}_4 \text{ puro}$$

Los moles serán:

$$n = \frac{17,66 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} = 0,18 \text{ mol}$$

Entonces:

$$M = \frac{n}{V} = \frac{0,18 \text{ mol}}{0,5 \text{ L}} = 0,36 \text{ mol/L}$$

$$m = \frac{n_s}{\text{masa (kg) de disolvente}} = \frac{0,18 \text{ mol}}{0,49 \text{ kg}} = 0,37 \text{ mol/kg}$$

19) **Queremos preparar 2 L de disolución de HCl, 0,5 M. Calcula el volumen de HCl comercial al 37,5 % y $\rho = 1,19 \text{ g/cm}^3$ que debemos añadir al matraz aforado, así como la cantidad de agua destilada necesaria para completar el volumen de disolución.**

Calculamos los moles de HCl necesarios:

$$n = MV = 0,5 \text{ mol/L} \cdot 2 \text{ L} = 1 \text{ mol}$$

Calculamos los gramos de HCl necesarios:

$$1 \text{ mol} = 36,5 \text{ g}$$

Como el HCl disponible es del 37,5 %, tendremos:

$$36,5 \cdot \frac{100}{37,5} = 97,3 \text{ g de ácido comercial}$$

Pasados a unidades de volumen:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{97,3 \text{ g}}{1,19 \text{ g/cm}^3} = 81,8 \text{ cm}^3$$

La cantidad de agua destilada necesaria para completar el volumen de disolución será:

$$2000 \text{ cm}^3 - 81,8 \text{ cm}^3 = 1918,2 \text{ cm}^3$$

- 20** Mezclamos 400 mL de una disolución 0,5 M de hidróxido de amonio, NH_4OH , con 100 mL de una disolución 2 M de la misma sustancia. ¿Qué molaridad tendrá la disolución resultante?

Calculamos los moles existentes en cada una de las disoluciones y sumamos:

$$n_1 = M_1 V_1 = 0,5 \text{ mol/L} \cdot 0,4 \text{ L} = 0,2 \text{ mol de } \text{NH}_4\text{OH}$$

$$n_2 = M_2 V_2 = 2 \text{ mol/L} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,2 \text{ mol de } \text{NH}_4\text{OH}$$

entonces:

$$n_1 + n_2 = 0,4 \text{ mol de } \text{NH}_4\text{OH}$$

La molaridad es:

$$M = \frac{n}{V} = \frac{0,4 \text{ mol}}{0,5 \text{ L}} = 0,8 \text{ M}$$

Solubilidad

- 21** Define solubilidad e indica sus unidades.

Se denomina solubilidad de una sustancia en un determinado disolvente y a una determinada temperatura a la concentración de su disolución saturada. Es decir, representa la máxima cantidad de soluto que, a una determinada temperatura, puede disolverse en una cantidad fija de disolvente.

La solubilidad suele expresarse en masa (g) de soluto/100 g de disolvente, o en masa (g) de soluto/1 L de disolvente.

- 22** Indica qué factores hacen variar la solubilidad de una sustancia.

La temperatura (para solutos sólidos, líquidos y gaseosos) y la presión (para solutos gaseosos).

- 23** ¿Cómo se puede preparar una disolución para que se considere sobresaturada?

Saturando una disolución a una determinada temperatura y después disminuyendo esta (en los casos de solutos cuya solubilidad aumenta con la temperatura). También, saturando una disolución y a continuación evaporando parte del disolvente.

- 24** ¿Por qué conviene pulverizar lo solutos sólidos y agitados en el seno de la disolución?

Para que se disuelva antes, ya que al pulverizar aumenta el área superficial del soluto y, por tanto, se eleva el número de iones o moléculas de disolvente que entran en contacto y colisionan con él; al agitar, impedimos que la disolución se sature alrededor de los cristales de soluto.

- 25** Comenta las siguientes afirmaciones:

- A temperatura constante no hay límite para la cantidad de sal que se puede disolver en un litro de agua.
 - Una disolución saturada es aquella que contiene la mayor cantidad posible de soluto.
 - Una disolución puede ser saturada y diluida al mismo tiempo.
- Es falsa, dado que sí existe límite en la cantidad de soluto que un disolvente puede admitir.
 - No es del todo correcta ya que falta especificar: a una determinada temperatura. Si el soluto es un gas, también influye la presión.
 - Si definimos disolución diluida como aquella que se encuentra lejos de la saturación, entonces la afirmación sería falsa. Pero si la definimos como la que contiene muy poco soluto respecto a la cantidad existente de disolvente, entonces podría ser cierta si el soluto es poco soluble en el disolvente.

- 26** Cuando el aire está saturado de vapor de agua, se dice que la humedad relativa es del 100 %. ¿A qué se debe la sensación de malestar (calor pegajoso) que experimentamos en un día caluroso de verano

La evaporación del sudor consume calor de la superficie de nuestro cuerpo y produce enfriamiento. Si el aire se encuentra saturado de vapor de agua difícilmente se producirá la evaporación del sudor, con lo que notamos una «atmósfera pesada».

- 27** ¿Cómo explicas la sensación de alivio producida por un ventilador en un día asfixiante de verano?

El aire en contacto con nuestra piel rápidamente se satura de humedad y, en consecuencia, la evaporación se paraliza. El ventilador reparte la humedad por toda la habitación y restablece la evaporación del sudor.

- 28** El fenómeno de *El Niño* es una corriente marina cálida en el océano Pacífico. Una de sus consecuencias al llegar a las frías costas peruanas, pobladas de peces, es que las embarcaciones que allí faenan izan sus redes vacías. ¿A qué crees que se debe esto?

La ausencia de peces se debe a que, al aumentar la temperatura, disminuye la solubilidad del oxígeno disuelto en ella.

- 29** Di si es verdadera o falsa la siguiente afirmación: «Aunque se le considera como una impureza del aire, sin el polvo no habría nubes ni lluvia».

Verdadera. Las partículas de polvo sirven de «semillas» para la condensación del vapor de agua. Sin el polvo, cuando el aire se sobresatura de vapor de agua, esta se depositaría sobre la superficie de cualquier objeto.

- 30** Indica en cuál de estas dos situaciones resulta más dulce un café y por qué:

- A uno frío se le añade un terrón de azúcar y no se agita.

- A uno caliente se le añade azúcar en polvo y se agita.

Un café resultará más dulce siempre en la situación **b)**, ya que el calor aumenta la solubilidad del azúcar. Al triturar el azúcar y al agitar, lo que hacemos es aumentar la velocidad de disolución, pero no la solubilidad del azúcar.

Propiedades coligativas

31 ¿Por qué disminuye la presión de vapor de una disolución con respecto a la del disolvente puro?

Las moléculas de soluto, al ocupar un lugar entre las del disolvente, dificultan el escape al estado gaseoso de las moléculas del disolvente. Entonces, la presión de vapor de este disminuye. La expresión que indica cuantitativamente esta variación es la ley de Raoult.

32 ¿Cuál es la causa por la que disminuye el punto de congelación o aumenta el de ebullición de una disolución con respecto a su disolvente puro?

La causa por la que disminuye el punto de congelación es el descenso de la presión de vapor del disolvente como consecuencia de añadir un soluto. Por ello, hay que enfriar más ($T' > T$) para que la presión de vapor iguale a la de la fase sólida (descenso crioscópico), y hay que calentar más ($T' < T$) para que la presión de vapor de la disolución iguale a la atmosférica (ascenso ebulloscópico).

33 Define ósmosis y presión osmótica.

Ósmosis es el paso de disolvente, a través de una membrana semipermeable, desde la disolución menos concentrada a la más concentrada hasta que las dos disoluciones equilibran sus concentraciones. La presión osmótica, π , es la presión que habría que ejercer sobre la disolución más concentrada para impedir el proceso de ósmosis.

34 ¿Qué son las disoluciones isotónicas?

Son las que tienen la misma presión osmótica.

35 Indica un procedimiento para conocer la masa molar de una sustancia no iónica.

Conociendo que el descenso crioscópico de una disolución formada por a g de soluto disueltos en b kg de disolvente es:

$$\Delta T_c = K_c m = \frac{n K_c}{b}$$

Se hallaría n , los moles, y luego calcularíamos la masa molar:

$$\frac{a \text{ g}}{n \text{ mol}} = \frac{x \text{ g}}{1 \text{ mol}}$$

donde la masa molar es igual a x g/mol.

De forma parecida lo resolveríamos si conociéramos el ascenso ebulloscópico. Conociendo la presión osmótica, que es la propiedad coligativa más fácil de medir, incluso con cantidades muy pequeñas de soluto, hallaríamos n aplicando la ecuación $pV = nRT$, y luego seguiríamos como se ha indicado en los otros dos procedimientos.

36 Si dejamos a la intemperie dos botellas de bebidas refrescantes, una endulzada con sacarosa y la otra con edulcorante artificial, en un día de invierno con una temperatura algo inferior a 0°C , comprobamos que, al cabo de un tiempo, la que tiene sacarosa aún está líquida, y la otra, se ha congelado. ¿Por qué?

Sucede porque los edulcorantes artificiales son solutos iónicos y no actúan como disoluciones ideales; por lo tanto, el descenso crioscópico es poco acusado (la asociación iónica es mayor y se reduce la molalidad efectiva).

37 ¿Qué disolvente de los que figuran en la tabla 3.4 sería el ideal para determinar la masa molar de una sustancia (soluble en todos ellos) por crioscopia?

Disolvente	Temperatura de congelación ($^\circ\text{C}$ a 1 atm)	K_c ($^\circ\text{C kg/mol}$)
Agua	0,00	1,86
Ácido acético	16,6	3,90
Benceno	5,50	5,12
Ciclohexano	6,50	20,2

El ciclohexano, por tener una K_c alta. Efectivamente, como $\Delta T_c = K_c m$, si K_c es alta, ΔT_c es también alto y existirá menos error en su medida.

38 ¿Qué pasaría si se regara con agua salada una planta cultivada en maceta?

La planta se volvería mustia, porque, por ósmosis, el agua de la misma saldría al exterior, donde hay una disolución más concentrada (en sal).

39 ¿Por qué se hinchan las pasas al meterlas en agua?

Se hinchan debido al fenómeno de ósmosis.

40 Teniendo en cuenta que la congelación de un líquido se produce cuando la presión de su vapor iguale a la del disolvente sólido, ¿qué ocurrirá con la temperatura de congelación de una disolución con respecto a la de su disolvente puro?

Cuando se disuelve un soluto no volátil en un disolvente disminuye la presión de vapor del disolvente; por tanto, debemos enfriar más la disolución hasta conseguir que la presión de vapor del líquido iguale a la del sólido y aquel se congele.

41 Calcula la temperatura de congelación de una disolución formada por 9,5 g de etilenglicol (anticongelante usado en los automóviles cuya fórmula es $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CH}_2\text{OH}$) y 20 g de agua.

La masa molar del etilenglicol es de 62 g/mol.

Los moles existentes son:

$$\frac{9,5 \text{ g}}{62 \text{ g/mol}} = 0,153 \text{ mol}$$

La molalidad:

$$m = \frac{0,153 \text{ mol}}{0,02 \text{ kg de agua}} = 7,65 \text{ mol/kg}$$

Entonces:

$$\Delta T_c = K_c m = 1,86^\circ\text{C kg/mol} \cdot 7,65 \text{ mol/kg} = 14,25^\circ\text{C}$$

Sabiendo que $T_c - T' = 14,25^\circ\text{C}$, podemos obtener T' :

$$T' = T_c - 14,25^\circ\text{C} = 0^\circ\text{C} - 14,25^\circ\text{C} = -14,25^\circ\text{C}$$

42 Determina la temperatura de ebullición de la disolución del problema anterior.

El ascenso ebulloscópico es:

$$\Delta T_e = K_e m = 0,52^\circ\text{C kg/mol} \cdot 7,65 \text{ mol/kg} = 3,98^\circ\text{C}$$

Sabiendo que $T' - 100 = 3,98^\circ\text{C}$, entonces, $T' = 103,98^\circ\text{C}$.

43 Se disuelven 2,3 g de un hidrocarburo no volátil en 97,7 g de benceno (C_6H_6). La presión de vapor de la disolución a 20°C es de 73,62 mmHg, y la del benceno es de 74,66 mmHg. Halla la masa molar del hidrocarburo.

Aplicamos la ley de Raoult: $p_0 - p' = p_0 x_s$

$$74,66 \text{ mmHg} - 73,62 \text{ mmHg} =$$

$$= 74,66 \text{ mmHg} \cdot \left(\frac{\frac{2,3 \text{ g}}{\text{masa molar}}}{\frac{2,3 \text{ g}}{\text{masa molar}} + \frac{97,7 \text{ g}}{78 \text{ g/mol}}} \right)$$

$$\text{masa molar} = 129,6 \text{ g/mol}$$

- 44 Suponiendo un comportamiento ideal, ¿cuál sería la presión de vapor de la disolución obtenida al mezclar 500 mL de agua y 90 g de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) si la presión de vapor del agua a la temperatura de la mezcla es de 55,3 mmHg?

Aplicamos la ley de Raoult: $p_o - p' = p_o \chi_s$

$$55,3 \text{ mmHg} - p' =$$

$$= 55,3 \text{ mmHg} \cdot \left(\frac{\frac{2,3 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}}}{\frac{90 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} + \frac{500 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}}} \right)$$

$$p' = 54,32 \text{ mmHg}$$

- 45 Averigua cuál será el punto de ebullición de una disolución que contiene 10,83 g de un compuesto orgánico cuya masa molar es 120 g/mol disuelto en 250 g de ácido acético ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$). Datos: K_e (ácido acético) = 3,07°C kg/mol; T_e (ácido acético) = 118°C

El ascenso ebulloscópico es $\Delta T_e = k_e m$. Sustituimos valores:

$$T' - 118^\circ\text{C} = 3,07^\circ\text{C kg/mol} \cdot \left(\frac{\frac{10,83 \text{ g}}{120 \text{ g/mol}}}{0,25 \text{ kg}} \right)$$

Realizando operaciones: $T' = 119,11^\circ\text{C}$.

- 46 Un cierto compuesto contiene 43,2% de C, 16,6% de N, 2,4% de H y 37,8% de O. La adición de 6,45 g de esa sustancia en 50 mL de benceno (C_6H_6) cuya densidad es 0,88 g/cm³, hace bajar el punto de congelación del benceno de 5,51°C a 1,25°C. Halla la fórmula molecular de ese compuesto.

Dato: K_c (C_6H_6) = 5,02°C kg/mol

Hallamos la fórmula empírica y, para ello primero, calculamos los moles de átomos de cada elemento:

$$\frac{43,2 \text{ g}}{12 \text{ g/mol}} = 3,6 \text{ mol de carbono}$$

$$\frac{16,6 \text{ g}}{14 \text{ g/mol}} = 1,186 \text{ mol de nitrógeno}$$

$$\frac{2,4 \text{ g}}{1 \text{ g/mol}} = 2,4 \text{ mol de hidrógeno}$$

$$\frac{37,8 \text{ g}}{16 \text{ g/mol}} = 2,4 \text{ mol de oxígeno}$$

Al dividir cada uno de los moles entre 1,186 (el valor menor), tenemos esta otra relación de números enteros: 3 mol de carbono, 1 mol de nitrógeno, 2 mol de hidrógeno y 2 mol de oxígeno. La fórmula empírica es $\text{C}_3\text{NO}_2\text{H}_2$, y su masa molar,

de 84 g/mol. Hallamos la masa molar del compuesto mediante la expresión $\Delta t_c = K_c m$. Sustituimos valores:

$$5,51^\circ\text{C} - 1,25^\circ\text{C} = 5,02^\circ\text{C kg/mol} \cdot \left(\frac{\frac{6,45}{\text{masa molar}}}{0,88 \frac{\text{g}}{\text{mL}} \cdot 50 \text{ mL} \cdot 10^{-3} \text{ kg/g}} \right)$$

$$\text{masa molar} = 173 \text{ g/mol}$$

Dividiendo ambas masas molares, observamos que la fórmula molecular es dos veces superior a la empírica; por tanto, la fórmula molecular del compuesto desconocido es $\text{C}_6\text{N}_2\text{O}_4\text{H}_4$.

- 47 Si añadimos 12,5 g de una sustancia no iónica a 100 cm³ de agua, a 25°C, la presión de vapor desciende desde 23,8 mmHg hasta 23,0 mmHg. Calcula la masa molar de la sustancia.

Aplicamos la ley de Raoult: $\Delta p = p^\circ \chi_s$. Despejamos la fracción molar:

$$\chi_s = \frac{p^\circ - p}{p^\circ} = \frac{23,8 \text{ mmHg} - 23,0 \text{ mmHg}}{23,8 \text{ mmHg}} = 0,034$$

Calculamos los moles de agua:

$$n_{\text{agua}} = \frac{100 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 5,6 \text{ mol de agua}$$

Calculamos los moles de sustancia, aplicando la expresión de la fracción molar:

$$\chi_s = 0,034 = \frac{n_s}{n_s + 5,6}$$

$$n_s = 0,2 \text{ mol de sustancia}$$

Hallamos la masa molar de la sustancia:

$$\frac{12,5 \text{ g}}{0,2 \text{ mol}} = \frac{x \text{ g}}{1 \text{ mol}}; x = 62,5 \text{ g}$$

Así, la masa molar es 62,5 g/mol.

- 48 La presión osmótica de una disolución es 4,2 atm a 20°C. ¿Qué presión osmótica tendrá a 50°C?

Dividiendo las dos expresiones de presión osmótica:

$$\frac{\pi_1}{\pi_2} = \frac{CRT_1}{CRT_2}$$

Sustituyendo valores y despejando:

$$\frac{4,2 \text{ atm}}{\pi_2} = \frac{293 \text{ K}}{323 \text{ K}}; \pi_2 = 4,6 \text{ atm}$$

- 49 A 37°C, el plasma sanguíneo, isotónico con sus glóbulos rojos, tiene una concentración 0,3 M. Si lo introducimos en un suero salino hipotónico, de concentración 0,2 M, ¿qué sucederá?

La diferencia entre las dos presiones osmóticas es:

$$\Delta \pi = \Delta cRT = 0,1 \text{ mol/L} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol K}} \cdot 310 \text{ K} = 2,5 \text{ atm}$$

La presión osmótica del suero es 2,5 atm inferior a la de los glóbulos rojos. Entonces pasará agua al interior del glóbulo rojo a través de la membrana celular, con lo que puede estallar.

- 50 Una muestra de 2 g de un compuesto orgánico disuelto en 100 cm³ de disolución se encuentra a una presión de 1,31 atm, en el equilibrio osmótico. Sabiendo que la disolución está a 0°C, calcula la masa molar del compuesto orgánico.

$$\pi = MRT = \frac{n}{V}RT$$

de donde:

$$n = \frac{\pi V}{RT} = \frac{1,31 \text{ atm} \cdot 0,1 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 273 \text{ K}} = 5,85 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Hallamos la masa molar del compuesto orgánico sabiendo que:

$$\text{masa molar} = \frac{\text{masa (g) del compuesto}}{\text{moles del compuesto}} = \frac{2 \text{ g}}{5,85 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}$$

$$\text{masa molar} = 342 \text{ g/mol}$$

- 51 Un litro de disolución acuosa de un compuesto líquido contiene 2,02 g del mismo y ejerce una presión osmótica de 800 mmHg a 20°C. Sabiendo que la combustión de 2,350 g de compuesto produce 2,248 g de CO₂ y 0,920 g de H₂O, calcula su fórmula molecular.

Aplicamos la ecuación de la presión osmótica:

$$n = \frac{\pi V}{RT} = \frac{\left(\frac{800}{760}\right) \text{ atm} \cdot 1 \text{ L}}{0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 293 \text{ K}} = 0,044 \text{ mol}$$

Calculamos la masa molar con la siguiente relación:

$$\frac{2,02 \text{ g}}{0,044 \text{ mol}} = \frac{x \text{ g}}{1 \text{ mol}}; x = 45,9 \text{ g}$$

Entonces, la masa molecular será 45,9 u.

Hallamos las cantidades de C, H y O. Para ello, establecemos las siguientes relaciones:

$$\frac{44 \text{ g de CO}_2}{12 \text{ g de C}} = \frac{2,248 \text{ g de CO}_2}{x \text{ g de C}}; x = 0,613 \text{ g de C}$$

$$\frac{18 \text{ g de agua}}{2 \text{ g de H}} = \frac{0,920 \text{ g de agua}}{y \text{ g de H}}; y = 0,102 \text{ g de H}$$

$$\begin{aligned} \text{masa (g) de oxígeno} &= 2,350 \text{ g de compuesto} - \\ &- (0,613 + 0,102) \text{ g de carbono e hidrógeno} = \\ &= 1,635 \text{ g de oxígeno} \end{aligned}$$

Hallamos los moles de átomos de cada elemento:

$$\frac{0,613 \text{ g de C}}{12 \text{ g/mol de C}} = 0,051 \text{ mol de átomos de C}$$

$$\frac{0,102 \text{ g de H}}{1 \text{ g/mol de H}} = 0,102 \text{ mol de átomos de H}$$

$$\frac{1,635 \text{ g de O}}{16 \text{ g/mol de O}} = 0,102 \text{ mol de átomos de O}$$

Dividiendo entre el menor:

$$\frac{0,051}{0,051} = 1$$

$$\frac{0,102}{0,051} = 2$$

$$\frac{0,102}{0,051} = 2$$

La fórmula empírica es (CH₂O₂)_n, y como:

$$\frac{45,9 \text{ g/mol}}{46 \text{ g/mol}} = 1$$

entonces, la fórmula molecular es CH₂O₂.

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 81)

1. Se disuelven 10 g de NaOH en 100 mL de agua. Calcula:

- a) La molalidad de la disolución.
b) Las fracciones molares de cada componente.

Datos: masas atómicas: Na = 23; O = 16; H = 1; $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/cm}^3$

Hallamos el número de moles de soluto:

$$n_s = \frac{\text{masa soluto}}{\text{masa molar soluto}} = \frac{10 \text{ g}}{40 \text{ g/mol}} = 0,25 \text{ mol}$$

Hallamos la masa de disolvente en kg:

$$m = \rho V; m = 1 \text{ g/mL} \cdot 100 \text{ mL} = 100 \text{ g} = 0,1 \text{ kg}$$

Aplicamos la definición de molalidad y sustituimos:

$$m = \frac{n_s}{\text{masa (kg) de disolvente}} = \frac{0,25 \text{ mol}}{0,1 \text{ kg}} = 2,5 \text{ mol/kg}$$

2. Indica el procedimiento para preparar en el laboratorio 1 L de disolución 0,5 M de H_2SO_4 a partir de otra disolución 2M del mismo ácido.

Primeramente averiguamos cuántos moles de H_2SO_4 necesitamos:

$$n = MV = 0,5 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 1 \text{ L} = 0,5 \text{ mol}$$

Esos moles deben ser tomados de la segunda disolución, por tanto:

$$0,5 \text{ mol} = 2 \text{ mol/L} \cdot V$$

$$V = \frac{0,5 \text{ mol}}{2 \text{ mol/L}} = 0,25 \text{ L} = 250 \text{ mL}$$

Ahora ya podemos prepararla: con ayuda de una probeta medimos 250 mL de la disolución 2M. Utilizando un embudo, echamos el contenido de la probeta en un matraz aforado de 1 L. El resto del volumen (hasta algo menos de 1 L) lo completamos con agua destilada. Las últimas porciones de agua destilada, hasta el enrase de 1 L, las incorporamos al matraz con ayuda de un cuentagotas. Vigilamos el error de paralaje.

3. Se tiene 1 L de disolución acuosa de NaCl al 15% en masa; si la densidad de la misma es 1,02 g/mL, calcula:

- a) La molaridad.
b) La molalidad.

Datos: masas atómicas: Na = 23; Cl = 35,5

Averiguamos la masa de la disolución:

$$m_{\text{disolución}} = \rho_{\text{disolución}} \cdot V_{\text{disolución}} = 1,02 \text{ g/mL} \cdot 1000 \text{ mL} = 1020 \text{ g}$$

Hallamos el número de gramos de soluto existentes en esa cantidad de disolución:

$$m_{\text{solute}} = 15 \cdot \frac{1020 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 153 \text{ g de soluto}$$

Los transformamos a moles:

$$n_s = \frac{\text{masa}}{\text{masa molar}} = \frac{153 \text{ g}}{58,5 \text{ g/mol}} = 2,62 \text{ mol}$$

Aplicamos la definición de molaridad:

$$M = \frac{n_s}{V_{\text{disolución}}} = \frac{2,62 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 2,62 \text{ mol/L}$$

Aplicamos la definición de molalidad:

$$m = \frac{n_s}{\text{masa (kg) de disolvente}} = \frac{2,62 \text{ mol}}{(1,020 - 0,153) \text{ kg}} = \frac{2,62 \text{ mol}}{0,867 \text{ kg}} = 3,02 \text{ mol/kg}$$

4. Calcula la concentración molar del agua pura. Dato: masas atómicas: O = 16; H = 1; $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/mL}$

Elegimos 1 L de agua pura, es decir 1000 g de agua pura y lo transformamos a moles:

$$n_s = \frac{m}{\text{masa molar}} = \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 55,6 \text{ mol}$$

Aplicamos la definición de molaridad:

$$M = \frac{n_s}{V_{\text{disolución}}} = \frac{55,6 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 55,6 \text{ mol/L}$$

5. Calcula el volumen de agua necesario para disolver 10 cm³ de H_2SO_4 comercial del 96% y densidad 1,84 g/cm³ y que la disolución resultante sea 0,5 M en dicho ácido.

Averiguamos la masa de la disolución de H_2SO_4 comercial:

$$m_{\text{disolución}} = \rho_{\text{disolución}} \cdot V_{\text{disolución}} = 1,84 \text{ g/mL} \cdot 10 \text{ mL} = 18,4 \text{ g}$$

Hallamos el número de gramos de soluto existentes en esa cantidad de disolución:

$$\text{masa de soluto} = 96 \cdot \frac{18,4 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 17,66 \text{ g de soluto}$$

Los transformamos a moles:

$$n_s = \frac{m}{\text{masa molar}} = \frac{17,66 \text{ g}}{98 \text{ g/mol}} = 0,18 \text{ mol}$$

Aplicamos la definición de molaridad, despejamos el $V_{\text{disolución}}$ y sustituimos:

$$M = \frac{n_s}{V_{\text{disolución}}}$$

$$V_{\text{disolución}} = \frac{n_s}{M} = \frac{0,18 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol/L}} = 0,36 \text{ L} = 360 \text{ mL de disolución}$$

Como 10 mL eran de H_2SO_4 comercial, habrá que añadir 350 mL de agua.

6. Se sabe que a 40 °C la presión de vapor del agua es 55,4 mmHg. Calcula la presión de vapor de la disolución, supuesta ideal, obtenida al mezclar 1 L de agua con 200 g de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Datos: masas atómicas: C = 12; H = 1; O = 16; $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ g/mL}$

Hallamos la fracción molar del soluto:

$$\chi_s = \frac{n_s}{n_s + n_d} = \frac{\frac{200\text{g}}{342 \text{ g/mol}}}{\frac{200\text{g}}{342 \text{ g/mol}} + \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}}} = 0,01$$

Aplicamos la ley de Raoult y sustituimos valores:

$$\begin{aligned} \Delta p &= p^\circ \chi_s \Rightarrow \\ p^\circ - p' &= p^\circ \chi_s \Rightarrow p^\circ - p' \chi_s = p'; \\ p' &= 55,4 \text{ mmHg} - 55,4 \text{ mmHg} \cdot 0,01 = \\ &= 54,8 \text{ mmHg} \text{ (se observa que ha disminuido)} \end{aligned}$$

7. ¿A qué temperatura se congelará una disolución ideal formada por 1,5 L de agua y 300 g de glucosa ($C_6H_{12}O_6$)? ¿Se podría utilizar dicha disolución en los coches, como anticongelante?

Datos: masas atómicas: C = 12; O = 16; H = 1; K_c del agua = 1,86 °C Kg/mol

La ecuación del descenso crioscópico es:

$$T_c - T' = K_c \frac{n_s}{\text{masa (kg) de disolvente}}$$

Despejamos T' y sustituimos datos:

$$\begin{aligned} T' &= T_c - K_c \frac{n_s}{\text{masa (kg) de disolvente}} = \\ &= 0^\circ\text{C} - 1,86^\circ\text{C kg/mol} \cdot \frac{300 \text{ g}}{180 \text{ g/mol}} = \\ &= 0^\circ\text{C} - 2,07^\circ\text{C} = -2,07^\circ\text{C} \end{aligned}$$

8. El punto de ebullición de una disolución ideal preparada mezclando 50 g de un compuesto orgánico con 500 g de agua es de 100,1 °C. Sabiendo que en ese momento y en ese lugar el agua pura hierve a 99,5 °C, calcula la masa molar del compuesto.

Dato: K_e del agua = 0,52 °C Kg/mol

La ecuación del ascenso ebulloscópico se puede escribir también del siguiente modo:

$$T' - T_e = K_e \frac{n_s}{\text{masa (kg) de disolvente}}$$

Sustituyendo:

$$\begin{aligned} 100,1^\circ\text{C} - 99,5^\circ\text{C} &= 0,52^\circ\text{C kg/mol} \cdot \frac{n_s}{0,5}; \\ n_s &= 0,577 \text{ mol de compuesto orgánico} \end{aligned}$$

Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{0,577 \text{ mol}}{50 \text{ g}} = \frac{1 \text{ mol}}{x}; x = 86,7 \text{ g}$$

por lo que podemos concluir que la masa molar del compuesto orgánico es 86,7 g/mol.

9. Calcula la masa molar de un compuesto orgánico sabiendo que 1,75 g de compuesto disueltos en 150 mL de disolución producen, a 20 °C, una presión osmótica de 623,2 mmHg.

Aplicamos la ecuación de la presión osmótica y sustituimos los datos que disponemos:

$$\pi = MRT; \frac{623,2 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg}} = M \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 293 \text{ K}$$

Despejamos la masa molar:

$$M = \frac{0,82 \text{ atm}}{0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 293 \text{ K}} = 0,034 \text{ mol/L}$$

Por otra parte, como $M = \frac{n_s}{V_{\text{disolución}}}$, tenemos:

$$0,034 \text{ mol/L} = \frac{n_s}{0,15 \text{ L}}; \text{ por tanto: } n_s = 0,005 \text{ mol de soluto.}$$

Por último, y como $n_s = \frac{\text{masa de soluto}}{\text{masa molar}}$, tenemos:

$$\text{masa molar} = \frac{\text{masa de soluto}}{n_s} = \frac{1,75 \text{ g}}{0,005 \text{ mol}} = 350 \text{ g/mol}$$

10. Define ósmosis y presión osmótica.

Se llama ósmosis al fenómeno por el que, al enfrenar dos disoluciones de distinta concentración separadas por una membrana semipermeable, se produce el paso de disolvente desde la menos concentrada a la más concentrada, hasta que ambas equilibran sus concentraciones.

Se denomina presión osmótica (π) a la presión que hay que ejercer sobre la disolución más concentrada para impedir el proceso de ósmosis.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Realizar los cálculos necesarios para preparar disoluciones de una concentración dada y expresarla en cualquiera de las formas establecidas: en porcentaje en masa, porcentaje en volumen, molaridad, molalidad y fracción molar, tanto de solutos sólidos como líquidos (en este caso, sabiendo aplicar los datos de densidad y pureza), así como determinar la cantidad de sustancia (en gramos y moles) contenida en un volumen determinado de una disolución.	A: 1-8 ER: 1-5 AT: 1-20	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Describir el procedimiento de preparación en el laboratorio de una disolución de concentración conocida, partiendo de solutos sólidos o de otras más concentradas cuya molaridad sea conocida o que deba calcularse previamente a partir de los datos contenidos en la etiqueta del producto.		Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1. Explicar la diferente solubilidad de sólidos, líquidos y gases, así como la influencia de la temperatura y la presión en dicha solubilidad.	A: 9-11 AT: 21-30	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Explicar, a la luz de la teoría cinético-molecular, la variación de las propiedades coligativas entre una disolución y el disolvente puro y relacionarla con algún proceso de interés en nuestro entorno. Aplicar correctamente las leyes de las propiedades coligativas para el cálculo de masas molares de solutos no iónicos.	A: 12-22 ER: 6, 7 AT: 31-51	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
4.2. Utilizar el concepto de ósmosis y presión osmótica para describir el paso de iones a través de una membrana semipermeable.		Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Distinguir entre disolución verdadera, suspensión y disolución coloidal.	A: 23	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Se prepara una disolución disolviendo con agua 5 cm^3 de H_2SO_4 del 90 % de riqueza en peso y densidad $1,8 \text{ g/cm}^3$ hasta formar 250 cm^3 de disolución. Calcula:

- a) La cantidad, en gramos, de ácido puro que contiene la disolución.
b) La molaridad de la disolución.

Datos: masas atómicas: H = 1; S = 32; O = 16

- a) La densidad del ácido es $1,8 \text{ g/cm}^3$, y el volumen, 5 cm^3 ; por tanto, la masa de ese ácido sulfúrico es:

$$m = \rho V = 1,8 \text{ g/cm}^3 \cdot 5 \text{ cm}^3 = 9,0 \text{ g}$$

No toda la masa es de ácido sulfúrico puro; tan solo lo son:

$$9,0 \text{ g} \cdot \frac{90}{100} = 8,1 \text{ g}$$

- b) $M = \frac{\text{moles de soluto}}{V \text{ (L) de disolución}} = \frac{8,1 \text{ g}}{0,25 \text{ L}} = 0,3 \text{ M}$

2. Se disuelven 4 g de hidróxido de sodio en 100 g de agua. Determina:

- a) La molalidad de la disolución.
b) Las fracciones molares de cada uno de los componentes de la disolución.

Datos: masas atómicas: H = 1; Na = 23; O = 16

- a) $m = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{masa (kg) de disolvente}} = \frac{4 \text{ g}}{0,1 \text{ kg}} = 1 \text{ mol/kg}$

- b) $\chi_s = \frac{n_s}{n_s + n_d} = \frac{4 \text{ g}}{4 \text{ g} + \frac{100 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}}} = \frac{0,1 \text{ mol}}{0,1 \text{ mol} + 5,6 \text{ mol}} = 0,02$

Como $\chi_s + \chi_d = 1$, entonces:

$$\chi_d = 1 - \chi_s; \chi_d = 1 - 0,02 = 0,98$$

3. Define solubilidad y describe el proceso por el que se disuelve el cloruro de sodio en agua.

Se llama solubilidad de un soluto en un disolvente, a una temperatura dada, a la máxima cantidad en gramos de soluto que se pueden disolver a dicha temperatura en 100 g de disolvente. Se expresa en g de soluto/100 g de disolvente o en g/L.

El proceso de disolución del cloruro de sodio en agua se debe a que las interacciones que se establecen entre el disolvente (H_2O) y el soluto (NaCl) superan a las que hay entre los iones Na^+ y Cl^- en la red iónica. De este modo, las partículas de soluto abandonan las posiciones más o menos fijas que ocupaban en sus estructuras y se incorporan a la disolución. El proceso se denomina hidratación.

4. Indica cuáles son las magnitudes cuyos cambios pueden hacer variar la solubilidad de una sustancia en un cierto disolvente y explica su influencia.

Los cambios en la temperatura y/o en la presión (para solutos gaseosos) pueden variar la solubilidad de la sustancia en un determinado disolvente.

Normalmente, un aumento en la temperatura eleva la solubilidad de solutos sólidos (y la hace disminuir en solutos gaseosos), y un incremento en la presión favorece la solubilidad de gases en disolventes líquidos.

5. ¿Qué es una disolución sobresaturada? Describe una forma de prepararla.

Es aquella en la que la cantidad de soluto de la disolución está por encima de la cantidad máxima admitida en esas condiciones de presión y temperatura. Una manera de prepararla es saturar una disolución a una cierta temperatura y después reducir un poco y de forma lenta esa temperatura. Otra forma consiste en evaporar parte del disolvente.

6. ¿A qué se llama propiedades coligativas de las disoluciones?

Son cuatro propiedades del disolvente (presión de vapor, punto de congelación, punto de ebullición y presión osmótica) que se ven afectadas por la concentración de soluto, pero no por su naturaleza.

7. Al añadir un soluto no volátil a una disolución, ¿aumenta o disminuye su temperatura de congelación? ¿Y su temperatura de ebullición?

El punto de congelación disminuye, y el de ebullición aumenta.

8. Averigua la temperatura, a presión normal, a la que se congelaría 1 L de agua que contiene 100 g de alcohol etílico ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$).

Datos: $K_{c \text{ agua}} = 1,86^\circ\text{C kg/mol}$; masas atómicas: C = 12; H = 1; O = 16

La ecuación que resuelve el problema es $\Delta T_c = k_c m$, o bien

$$T_c - T' = K_c \frac{n_s}{\text{masa (kg) de agua}}$$

Hallamos el número de moles de soluto:

$$n_s = \frac{100 \text{ g}}{46 \text{ g/mol}} = 2,17 \text{ mol}$$

Entonces, la molalidad (m) será:

$$m = \frac{n_s}{\text{masa (kg) de agua}} = \frac{2,17 \text{ mol}}{1 \text{ kg de agua}} = 2,17 \text{ mol/Kg de agua}$$

Sustituyendo, tenemos que:

$$0^\circ\text{C} - T' = 1,86^\circ\text{C kg/mol} \cdot 2,17 \text{ mol/kg}$$

$$T' = 0^\circ\text{C} - 1,86^\circ\text{C kg/mol} \cdot 2,17 \text{ mol/kg}$$

$$T' = 0^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C} = -4^\circ\text{C}$$

9. Halla la masa molar de un alcohol si se sabe que 220 g del mismo disueltos en medio litro de agua hacen aumentar la temperatura de esta en $4,97^\circ\text{C}$.

Datos: $K_{e\text{ agua}} = 0,52^\circ\text{C kg/mol}$

Partiendo de la ecuación $\Delta T_e = K_e m$, o bien

$$\Delta T_e = K_e \frac{n_s}{\text{masa (kg) de agua}} \text{ y despejando:}$$

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{\text{masa (kg) de agua} \cdot \Delta T_e}{K_e} = \\ &= \frac{4,97^\circ\text{C} \cdot 0,5 \text{ kg}}{0,52^\circ\text{C kg/mol}} = 4,78 \text{ mol} \end{aligned}$$

Como

$$n_s = \frac{\text{masa (g)}}{\text{masa molar (g/mol)}};$$

$$\text{masa molar soluto} = \frac{\text{masa (g)}}{n_s} = \frac{220 \text{ g}}{4,78 \text{ mol}} = 46,0 \text{ g/mol}$$

10. Describe el fenómeno de la ósmosis e indica a qué se llama disoluciones coloidales.

Se llama ósmosis el proceso por el cual se produce un paso de disolvente de una disolución menos concentrada a otra más concentrada cuando ambas están separadas solo por una membrana semipermeable. El paso de disolvente continúa hasta que las dos disoluciones equilibran sus concentraciones.

Las disoluciones coloidales son mezclas heterogéneas en las que las partículas del sólido son tan pequeñas que no sedimentan (a diferencia de las suspensiones) y que solo pueden reconocerse cuando reflejan y refractan la luz que incide sobre ellas; además, no pueden atravesar membranas, que únicamente son permeables al disolvente.

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

- Las partículas que forman una disolución:
 - Se pueden ver a través del microscopio.
 - Sedimentan al centrifugar la disolución.
 - Atraviesan todos los filtros.
- Una disolución acuosa de hidróxido de sodio (NaOH) al 10 % contiene:
 - Por cada 100 g de disolución, 10 g de NaOH.
 - Por cada 100 g de agua, 10 g de NaOH.
 - Por cada 100 g de NaOH, 10 g de agua.
- Una disolución acuosa de NaOH 2 M contiene:
 - En 2 L de disolución, 40 g de NaOH.
 - En 1 L de disolución, 80 g de NaOH.
 - En 2 L de disolución, 2 mol de NaOH.
- Una disolución 1 molar contiene un mol de soluto en:
 - 1000 cm³ de disolvente.
 - 1000 g de disolvente.
 - 1000 cm³ de disolución.
- ¿Cuál es la molaridad de una disolución de ácido nítrico (HNO₃) en agua si hay 126 g de ese ácido en 250 cm³ de disolución?
 - 6,3 M
 - 8 M
 - 9,5 M
- Añadiendo 10 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) del 80 % y con una densidad de 1,84 g/cm³ a 990 mL de H₂O, se obtiene una disolución:
 - 0,15 M
 - 0,23 M
 - 0,19 M
- La solubilidad de muchas sustancias sólidas:
 - Depende de la temperatura y de la presión.
 - Depende de lo que se agite.
 - Depende de la temperatura.
- Al añadir azúcar al agua pura:
 - El agua se congela a más de 0°C.
 - Disminuye la presión de vapor del agua.
 - Se favorece la evaporación del agua.
- El punto de ebullición del agua del grifo:
 - Es 100°C a la presión de 1 atm.
 - Es inferior al del agua destilada.
 - Es superior al del agua destilada.
- Una membrana semipermeable separa dos disoluciones: una formada por 0,01 mol de un soluto no iónico disuelto en 1/2 L de disolución y otra formada por 0,01 mol de otro soluto distinto, no iónico y disuelto en 1/2 L de disolución. En esta situación:
 - No aumenta el volumen de disolución en ninguno de los lados.
 - La presión osmótica a 20°C es de 0,48 atm.
 - Se pueden hallar las masas molares de cada soluto.

4

ESTRUCTURA ATÓMICA Y MOLECULAR

En esta unidad, después de repasar la evolución de los distintos modelos atómicos, se estudian los **métodos espectrométricos para calcular masas atómicas, así como los espectroscópicos para el análisis de sustancias**, contenidos ambos que figuran en el bloque 2 del currículo oficial: *Aspectos cuantitativos de la química*. Con objeto de que estas técnicas espectrométricas y espectroscópicas sean asimiladas por el alumnado, se ha creído conveniente diseñar esta unidad específica, donde, además de tratarlas adecuadamente, se muestre la evolución histórica que llevó a su descubrimiento; de esta forma, relacionando los principios en vigor con la evolución histórica del conocimiento científico, se promueve en los alumnos la adquisición de las competencias necesarias para su integración en la sociedad de forma activa.

La unidad comienza señalando cómo **Dalton** afirmaba, en su teoría atómica, que el átomo era indivisible, pero los descubrimientos realizados en los tubos de descarga mostraban otra cosa: los átomos contienen partículas cargadas. A raíz de esta observación, surgió la necesidad de elaborar un modelo que tuviera en cuenta estas partículas. El modelo de **Thomson** contribuyó a encajar a los recién descubiertos electrones dentro de un átomo eléctricamente neutro. El modelo de **Rutherford**, fruto del análisis de uno de los experimentos más grandes de la Ciencia, dividió al átomo en dos grandes zonas (de muy distinto tamaño): el núcleo y la corteza, consiguiendo encajar a electrones, protones e incluso a los neutrones, descubiertos después de que Rutherford elaborara su modelo.

El descubrimiento de los isótopos echó por tierra otro de los postulados de la teoría de Dalton, los átomos de un elemento no tienen por qué ser todos iguales. **Francis W. Aston**, investigando sobre los isótopos, desarrolló el primer espectrógrafo de masas, aparato capaz de medir la masa y abundancia de los isótopos de un elemento y, gracias a esos datos, se pudo averiguar la masa atómica de los elementos.

El descubrimiento de los espectros atómicos en la segunda mitad del siglo XIX y la publicación, a principios del siglo XX, de ciertos trabajos como la hipótesis de Planck y la explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico, tendrían gran repercusión en el conocimiento de la estructura atómica. Rutherford no los tuvo en cuenta, pero **Niels Bohr** sí los utilizó en la elaboración de un nuevo modelo atómico en el que el electrón no podía estar en cualquier región donde únicamente se cumpliera que la fuerza eléctrica de atracción entre el núcleo y el electrón coincidiera con la fuerza centrípeta del electrón al moverse alrededor de dicho núcleo, sino que además debía cumplirse la cuantificación de su momento angular; es decir, las regiones permitidas al electrón están determinadas por los valores de un número cuántico. El texto explica el comienzo de la **era cuántica**, que ha llevado a un concepto de átomo más matemático y probabilístico que el que Rutherford

había supuesto; el modelo de orbitales (que se tratará más a fondo en 2.º de Bachillerato) es el resultado final del átomo cuántico.

Por último, en el epígrafe *Técnicas espectroscópicas de absorción*, se muestra la importancia que en la actualidad tienen estas técnicas, estudiándose dos de ellas, la espectroscopia de absorción atómica y molecular de IR. Su importancia radica en las múltiples aplicaciones que tienen, sobre todo como técnicas de análisis, identificando las sustancias presentes en cualquier tipo de muestras.

Objetivos

1. Conocer y comprender los diferentes modelos atómicos.
2. Entender los conceptos de número atómico y número másico.
3. Comprender lo que son los isótopos.
4. Describir las partes en que se compone un espectrómetro de masas y comprender la utilidad que tienen los espectrogramas de masas para calcular masas atómicas.
5. Diferenciar los tipos de radiaciones electromagnéticas, así como definir correctamente las magnitudes que las caracterizan (longitud de onda, frecuencia y número de onda).
6. Distinguir entre un espectro de emisión y otro de absorción, saber utilizar la ecuación de los espectros y conocer la causa última de las rayas espectrales (explicación de Bohr).
7. Comprender la hipótesis de Planck y la explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico.
8. Conocer el fundamento y las utilidades de la espectroscopia de absorción atómica y la molecular de IR.

Relación de la unidad con las competencias clave

Como el desarrollo de la unidad sigue un orden cronológico y se señalan los científicos que hicieron posible los diferentes hallazgos que se mencionan, se puede conseguir en el alumnado promover la adquisición de las competencias necesarias para su integración en la sociedad de forma activa; también, al tener el alumno acceso a una gran cantidad de información, se le hace sentir la necesidad de clasificarla según criterios de relevancia, lo que permitirá desarrollar en él un cierto **espíritu crítico**. Además de estas dos competencias, **social** y **sentido de iniciativa**, los contenidos de la unidad están relacionados con el resto de competencias clave: **comunicación lingüística, competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología, competencia digital; aprender a aprender y conciencia y expresión cultural**.

Temporalización

Se aconseja dedicar ocho sesiones al estudio de la unidad.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
El átomo divisible ■ Descubrimiento del electrón ■ Descubrimiento del protón ■ Descubrimiento del neutrón ■ Números que identifican a los átomos ■ Isótopos	1. Describir los diferentes modelos atómicos.	1.1. Señala los caracteres que un determinado modelo atómico conserva del anterior así como las nuevas aportaciones.	AT: 1-12, 30-31, 42-43	CMCT
	2. Relacionar el número atómico y el número másico con el número de electrones, protones y neutrones que tiene un átomo o un ion.	2.1. Calcula el número de electrones, protones y neutrones que tiene un átomo o un ion, a partir del conocimiento de su número atómico y su número másico.	A: 1-2, 5, 7 ER: 1 AT: 13-18	CMCT
La espectrometría de masas	3. Utilizar los datos obtenidos mediante técnicas espectrométricas para calcular masas atómicas.	3.1. Calcula la masa atómica de un elemento a partir de los datos espectrométricos obtenidos para los diferentes isótopos del mismo.	A: 6, 8 9 ER: 2,3 AT: 19-25	CMCT
Radiaciones y espectros ■ La radiación electromagnética ■ Espectros atómicos	4. Conocer la causa de las rayas espectrales.	4.1. Indica el origen de las rayas espectrales tanto las de los espectros de emisión como las de los espectros de absorción, así como calcular la longitud de onda y/o la frecuencia a la que aparecen determinadas rayas espectrales debidas a transiciones electrónicas entre niveles.	A: 10 ER: 4,5 AT: 26-28, 32-35, 39, 40	CMCT
Estructura electrónica del átomo ■ Hipótesis de Planck ■ Efecto fotoeléctrico ■ Modelo atómico de Bohr ■ Correcciones al modelo atómico de Bohr ■ De las orbitas a los orbitales	5. Aplicar la hipótesis de Planck y la explicación del efecto fotoeléctrico.	5.1. Realiza cálculos entre longitudes de onda, frecuencias y energías de radiación; así como los que se derivan de la utilización de la expresión matemática del efecto fotoeléctrico.	A: 11-14 ER: 6 AT: 36-38, 41	CMCT
Técnicas espectroscópicas de absorción ■ Espectroscopia de absorción atómica ■ Espectroscopia de absorción molecular infrarroja	6. Reconocer la importancia de las técnicas espectroscópicas que permiten el análisis de sustancias y sus aplicaciones para la detección de las mismas en cantidades muy pequeñas de muestra.	6.1. Señala los fundamentos en los que están basadas las técnicas espectrométricas y las espectroscópicas de absorción atómica e IR, así como describir las aplicaciones de las mismas.	A: 3, 4, 15 ER: 7, 8 AT: 44-53	CMCT CSC

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas

CL: Competencia lingüística; CMC: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: Competencia digital; AA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; SIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Los modelos atómicos
Presentación

Enlaces web: 1. Los tubos de descarga: los tres experimentos de Thomson; 2. El descubrimiento del electrón; 3. Biografía de Robert Millikan; 4. Estructura del átomo; 5. Chadwick y el neutrón; 6. Descubrimiento de electrones, protones y neutrones; 7. Número atómico, másico y los isótopos

Vídeos: 1. Los tubos de descarga; 2. Experimento de Millikan; 3. El experimento de la lámina de oro; 4. Electrones, protones y neutrones; 5. Isótopos

Animaciones: 1. El átomo es divisible; 2. El experimento de Rutherford

Documentos: 1. El experimento de Rutherford, Geiger y Mardsen; 2. El núcleo antes del descubrimiento del neutrón.

Vídeo:
Espectrómetro de masas

Enlaces web: 1. Elementos y magnitudes de una onda; 2. Experimento de Herschel en el IR; 3. Emisión en llama; 4. Fluorescencia y fosforescencia

Vídeos: 1. Diferencia entre onda mecánica y electromagnética; 2. El espectro electromagnético; 3. Espectros de emisión; 4. La ecuación de los espectros atómicos

Simulador: Espectro de todos los elementos

Enlace web: Estructura electrónica del átomo

Vídeos: 1. El efecto fotoeléctrico; 2. Cálculos en el efecto fotoeléctrico; 3. El modelo atómico de Bohr; 4. Explicación de los espectros; 5. Resumen de los modelos atómicos

Simuladores: 1. Factores que influyen en el efecto fotoeléctrico; 2. Saltos electrónicos

Animaciones: 1. Estructura electrónica del átomo; 2. Los modelos atómicos

Documento: Biografía de Max Planck

Unidad 4: Estructura atómica y molecular

1. El átomo divisible

- 1.1. Descubrimiento del electrón
- 1.2. Descubrimiento del protón
- 1.3. Descubrimiento del neutrón
- 1.4. Números que identifican a los átomos
- 1.5. Isótopos

2. La espectrometría de masas

3. Radiaciones y espectros

- 3.1. La radiación electromagnética
- 3.2. Espectros atómicos

4. Estructura electrónica del átomo

- 4.1. Hipótesis de Planck
- 4.2. El efecto fotoeléctrico
- 4.3. Modelo atómico de Bohr
- 4.4. Correcciones al modelo atómico de Bohr
- 4.5. De las órbitas a los orbitales

BIBLIOGRAFÍA

FERNÁNDEZ, M. R. y FIDALGO, J. A.

Química general. León: Everest, 1992

Libro muy completo de química general, válido par Bachillerato, así como para los primeros años universitarios.

FIDALGO SÁNCHEZ, J. A.

3000 cuestiones y problemas de física y química. León: Everest, 1996

Amplia colección de cuestiones y problemas, explicados y resueltos, presentados en orden de dificultad.

GARCÍA QUISMONDO, J.

Experimentos de química. Madrid: Akal, 1990

Pequeño manual de prácticas de química muy bien explicadas.

VINAGRE ARIS, F. MULERO, M. R. y GUERRA, J. F.

Cuestiones curiosas de química. Madrid: Alianza, 1996

Libro que pone en contacto la química con la realidad que rodea a los alumnos y alumnas de la ESO, de Bachillerato y de Universidad, ya que las cuestiones que propone están graduadas según estos tres niveles de dificultad.

PARA EL PROFESOR

WEBGRAFÍA

Estructura del átomo

http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Estructura_atomo/Atomo.htm
Página donde se puede sacar información sobre la estructura del átomo.

Cálculos en el experimento de Millikan

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/_elecmagnet/movimiento/millikan/millikan.html
Página web con actividades. Para ampliar contenidos.

Fundamentos del espectrómetro de masas

http://www.mncn.csic.es/docs/repositorio/es_ES/investigacion/cromatografia/espectrometria_de_masas.pdf

Trabajo sobre espectroscopias de masas.

Espectroscopia de emisión y absorción atómica

<http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>

Trabajo muy interesante sobre la espectroscopia de emisión y absorción atómica.

Enlaces web: 1. Espectroscopia de absorción atómica; 2. Espectroscopia molecular de infrarrojo; 3. Vibraciones moleculares

Videos: 1. Espectrometría de absorción atómica; 2. Espectroscopia de absorción ultravioleta-visible; 3. Vibraciones moleculares; 4. Interpretación de un espectrograma IR; 5. Aplicación de la espectroscopia de absorción molecular IR

Enlace web: Emisión en llama

5. Técnicas espectroscópicas de absorción

- 5.1. Espectroscopia de absorción atómica
- 5.2. Espectroscopia de absorción molecular infrarroja

Química, tecnología y sociedad

Técnicas de trabajo y experimentación

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Práctica de laboratorio: El mechero Bunsen

Prácticas de laboratorio:
1. El experimento de Herschel;
2. Calentamiento de una sustancia

Test de autoevaluación interactiva
Pruebas de evaluación

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

ESTRUCTURA ATÓMICA Y MOLECULAR

A modo resumen se introduce la unidad con un texto que puede ser comentado en clase.

Sería interesante proponer a los alumnos que visualicen el vídeo introductorio sobre los modelos atómicos, cuyo objetivo sería comprobar que recuerdan los alumnos sobre los mismos.

Vídeo: LOS MODELOS ATÓMICOS

Vídeo interesante que hace un recorrido a lo largo del tiempo sobre los diferentes modelos atómicos.

PRESENTACIÓN

Presentación en forma de diapositivas de recorrido de la unidad. El profesor la puede utilizar tanto al principio de la unidad como al final.

En el apartado **conocimientos previos** sería importante preguntar a los alumnos si los recuerdan y que hagan las actividades propuestas en **Comprueba lo que sabes**, para así saber con que conocimientos partimos.

1. El átomo divisible (páginas 87/89)

En este epígrafe hay que hacer un somero repaso de la estructura atómica y los primeros modelos atómicos, que, si bien ya han sido tratados en la Educación Secundaria Obligatoria, aquí deben ser ampliados, mostrando detalles y algunos datos nuevos.

El epígrafe comienza recordando el primer postulado de la teoría atómica de Dalton (UNIDAD 1), según el cual el átomo era indivisible, y cómo el resultado de hechos experimentales (flujos de corriente en los tubos de descarga) ocurridos a finales del siglo XIX ponía en entredicho esta afirmación: los átomos contienen partículas cargadas.

1.1. Descubrimiento del electrón

Surgió, entonces, la necesidad de elaborar un modelo de átomo que tuviera en cuenta estas partículas.

El modelo de J. J. Thomson (premio Nobel y presidente de la *Royal Society Británica* durante muchos años) contribuyó a encajar a los recién descubiertos electrones dentro de un átomo eléctricamente neutro, pero hoy, el principal valor de este modelo solo es el histórico.

Animación: EL ÁTOMO ES DIVISIBLE

Animación sobre los experimentos en tubos de descarga para comprobar la existencia de electrones y de sus características: viajan en línea recta, tienen masa y tienen carga negativa.

También se incluye el tubo de descarga para la detención de protones.

Enlace web: LOS TUBOS DE DESCARGA: LOS TRES EXPERIMENTOS DE THOMSON

Página web sobre noticias y artículos de astronomía, astrofísica, física y ciencia general. En este caso se pueden ver los tres experimentos de Thomson.

Enlace web: EL DESCUBRIMIENTO DEL ELECTRÓN

En esta página web el alumno puede encontrar información de los pasos que se siguieron hasta descubrir el electrón.

Enlace web: BIOGRAFÍA DE MILLIKAN

Página web donde se cuenta la biografía de Robert Millikan y su experimento de la gota de aceite.

Enlace web: ESTRUCTURA DEL ÁTOMO

Página web muy completa sobre la estructura de la materia. Incluye animaciones.

Vídeo: LOS TUBOS DE DESCARGA

Vídeo con textos en inglés que muestra experiencia reales con los tubos de descarga de gases.

Vídeo: EXPERIMENTO DE MILLIKAN

Vídeo de la serie «El Universo mecánico» que muestra cómo Millikan descubrió la carga del electrón.

1.2. Descubrimiento del protón

Por otra parte, Ernest Rutherford (discípulo de Thomson y premiado, en 1908, con el Nobel de Química), extrayendo conclusiones del experimento de la lámina de oro (uno de los experimentos más grandes de la ciencia), dividió al átomo en dos grandes zonas, de muy distinto tamaño, el núcleo y la corteza, consiguiendo encajar a electrones y protones (incluso a los neutrones, descubiertos después de que Rutherford elaborara su modelo).

Este es un momento excelente para hacer ver a los alumnos y alumnas la enorme diferencia entre los tamaños del núcleo de un átomo y el propio átomo. Un buen ejercicio es que dibujen a escala y en su cuaderno un átomo (les informaremos que, aproximadamente, el diámetro del átomo es 10.000 veces superior al de su núcleo y les aconsejaremos que primero dibujen el átomo; enseguida se darán cuenta que no pueden dibujar el núcleo).

Documento: EL EXPERIMENTO DE RUTHERFORD, GEIGER Y MARDEN

Imprimible donde se detalla cómo fue el experimento de Rutherford y sus discípulos. Se proponen al alumno actividades para analizar el contenido que han leído.

Animación: EL EXPERIMENTO DE RUTHERFORD

Con esta animación el alumno puede visualizar en forma de movimiento el experimento de Rutherford y ver el comportamiento de las partículas positivas cuando son lanzados contra un átomo.

Vídeo: EL EXPERIMENTO DE LA LÁMINA DE ORO

Vídeo que muestra de forma esquemática el experimento de la lámina de oro así como el modelo de átomo que lo explica.

1.3. Descubrimiento del neutrón

Seguidamente se relata en este epígrafe el descubrimiento del neutrón, que sirve para que el alumnado comprenda otro hecho significativo de cómo se consiguen los avances científicos: antes del hallazgo del hecho científico, se puede teorizar sobre su existencia. Efectivamente, para dar explicación a la estabilidad que tienen los núcleos, Rutherford postuló la existencia de otra partícula nuclear (además del protón) y 12 años más tarde se consiguió su detección experimental. Otras veces sucede al contrario: se descubre un hecho científico y surge la necesidad de hacerlo encajar en una teoría (como se verá en el epígrafe 3 con el descubrimiento de los espectros atómicos).

Documento: EL NÚCLEO ANTES DEL DESCUBRIMIENTO DEL NEUTRÓN

Imprimible sobre cómo Rutherford llegó a la conclusión de que debía existir otra partícula en el núcleo del átomo.

Enlace web: CHADWICK Y EL NEUTRÓN

Interesante biografía de Chadwick cuando ingresa en la universidad de Manchester.

Enlace Web: DESCUBRIMIENTO DE ELECTRONES, PROTONES Y NEUTRONES

En esta página web se resume los descubrimientos de las tres partículas subatómicas y, además, se proporcionan enlaces a tres vídeos sobre los mismos.

1.4. Números que identifican a los átomos

El modelo atómico de Rutherford permite introducir en este epígrafe los conceptos de número atómico y número másico. Es fácil comprender que, tal y como se han definido, ambos números tienen que ser enteros. Por otra parte, sabemos que la masa del protón y la del neutrón es 1 u. Entonces, y teniendo en cuenta la afirmación de Dalton de que los elementos están formados por átomos iguales, se puede plantear al alumno la cuestión: *¿por qué las masas atómicas de los elementos no son números enteros sino decimales?*

Vídeo: ELECTRONES, PROTONES Y NEUTRONES

En este vídeo se resumen las ideas de Thomson y Rutherford sobre la constitución del átomo, así como el descubrimiento del neutrón y los conceptos de número atómico y número másico.

1.5. Isótopos

El descubrimiento de los isótopos echó por tierra la idea de Dalton ya que los átomos de un elemento no tienen por qué ser todos iguales, tan solo unos pocos elementos tienen un único isótopo natural, como por ejemplo el F-19, el Na-23, el P-31, el Au-197..., aunque se pueden producir artificialmente isótopos de estos elementos.

Francis W. Aston, investigando sobre los isótopos, desarrolló el primer espectrógrafo de masas, aparato capaz de medir la masa y abundancia de los isótopos de un elemento, y con ello la masa atómica del elemento, que es la media ponderada de las masas atómicas de los isótopos que contienen.

Como final del epígrafe y en relación a la abundancia de los diferentes isótopos que integran un cierto elemento químico, se

resalta el hecho de que es variable, dependiendo del origen del elemento y que, por ello, puede deducirse la historia química del elemento.

Conviene que los alumnos (tal vez divididos en grupos) realicen los dos proyectos de investigación que contiene el epígrafe: el experimento de la gota de aceite de Millikan y el descubrimiento del neutrón debido a Chadwick.

Enlace web: NÚMERO ATÓMICO, MÁSCO Y LOS ISÓTOPOS

Página web que se exponen los conceptos clave como: número atómico, número másico e isótopos. Incluye ejercicios resueltos y sin resolver.

Vídeo: ISÓTOPOS

Vídeo que explica el concepto *isótopo* y pone como ejemplo los tres isótopos del hidrógeno.

2. La espectrometría de masas (páginas 90/91)

El epígrafe comienza señalando la importancia de esta técnica en el análisis, tanto cualitativo como cuantitativo, de los isótopos, elementos y compuestos existentes en una determinada muestra. A continuación se debe explicar los componentes de un espectrómetro de masas, así como los fundamentos físico-químicos en los que se basa su operatividad, aunque y dado que hasta el curso de Física de 2.º de Bachillerato no se puede comprender por qué dos campos, eléctrico y magnéticos, superpuestos a los iones les obliga a describir círculos de radio $r = mv/QB$, se puede obviar gran parte de la demostración y adelantar tan solo el final de la misma: $r = 1/B \sqrt{2V m/Q}$.

Hay que mostrar al alumnado varios espectrogramas de masas de diversos elementos y enseñarles a extraer la suficiente información como para que, con ella, puedan calcular la masa atómica del elemento. El ejercicio resuelto puede servir para tal fin.

Conviene que realicen el proyecto de Investigación que contiene el epígrafe sobre las aplicaciones de algunos isótopos radiactivos, ya que permitirá que los alumnos comprendan la utilidad que tiene la Química y la Física en la vida de las personas.

Vídeo: ESPECTRÓMETRO DE MASAS

Vídeo que explica el funcionamiento y utilidad de un espectrómetro de masas.

3. Radiaciones y espectros (páginas 92/94)

Este epígrafe contiene una amplia información dirigida hacia la comprensión de cómo se sitúan los electrones dentro del átomo y para entender el fundamento de las técnicas espectroscópicas. Se inicia estudiando (ligeramente ya que se tratará más a fondo en 2.º de Bachillerato) la radiación electromagnética, los tipos que hay y las magnitudes que las caracterizan, haciendo principal hincapié en la radiación visible. A continuación se expone el descubrimiento de los espectros atómicos, emisión y absorción, así como la ecuación que, de forma empírica, justificaba (que no explicaba) las series de rayas espectrales observadas (tema que se ampliará en Química de 2.º de Bachillerato).

El docente debe considerar que el alumnado de 1.º de Bachillerato se enfrenta por primera vez con estas cuestiones, siempre

difíciles de entender y que requieren, a su vez, la comprensión de los conceptos de longitud de onda, frecuencia y número de onda. El propio docente reflexionará sobre el grado de profundidad que quiere dar a estas cuestiones, que se volverán a tratar en 2.º de Bachillerato.

Enlace web: ELEMENTOS Y MAGNITUDES DE UNA ONDA

Página web sobre las magnitudes que describen una onda.

Enlace web: EXPERIMENTO DE HERSCHEL EN EL IR

En esta página web se explica el experimento de Herschel donde se descubren el IR de manera casera.

Simulador: ESPECTRO DE TODOS LOS ELEMENTOS

Tabla periódica interactiva, al pulsar sobre uno de los elementos químicos aparece su espectro atómico de absorción y emisión.

Enlace web: EMISIÓN EN LLAMA

Página web con diferentes vídeos explicativos de experimentos sobre emisión a la llama.

Enlace web: FLUORESCENCIA Y FOSFORESCENCIA

Página web que contiene vídeos sobre los fenómenos de fluorescencia y fosforescencia.

Vídeo: DIFERENCIA ENTRE ONDA MECÁNICA Y ONDA ELECTROMAGNÉTICA

Vídeo que muestra las diferencias entre una onda mecánica y otra electromagnética.

Vídeo: EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Vídeo que trata de forma general sobre el conjunto de radiaciones electromagnéticas existentes.

Vídeo: ESPECTROS DE EMISIÓN

Vídeo que explica cómo se producen los espectros de emisión.

Vídeo: LA ECUACIÓN DE LOS ESPECTROS

Vídeo con textos que enseña el manejo de la ecuación de los espectros.

4. Estructura electrónica del átomo

(páginas 95/97)

Este epígrafe debe comenzarse explicando al alumno que se van a abordar algunas cuestiones que permitieron iniciar el camino de una nueva física, la Física Cuántica, de gran importancia en la actualidad por sus numerosas aplicaciones.

La hipótesis de Planck y la explicación del efecto fotoeléctrico deberán tratarse someramente, teniendo en cuenta que son objeto de estudio en 2.º de Bachillerato. Posteriormente, se indicará al alumnado la importancia que tuvieron esos dos hechos en la creación del modelo atómico de Bohr, modelo con el que se

podían explicar las rayas de los espectros atómicos. En este modelo se afirma que el electrón no puede estar en cualquier región del átomo donde solo cumpla que la fuerza eléctrica de atracción nuclear coincide con la centrípeta causada al girar alrededor de dicho núcleo, sino que además requiere la introducción de un número cuántico, cuyos valores determinan distintos niveles de energía para el electrón, siendo los saltos electrónicos entre niveles los que explican las rayas espectrales.

El desdoblamiento que después se observó de esas rayas, obligó a realizar unas correcciones al modelo de Bohr, introduciéndose otros tres números cuánticos más.

El principio de dualidad onda-corpúsculo de De Broglie y el de incertidumbre de Heisenberg, exigió la creación de un nuevo modelo atómico: **modelo de orbitales**, que ha llevado a la idea de un átomo más matemático y probabilístico, que se tratará más a fondo en Química de 2.º de Bachillerato.

Animación: LOS MODELOS ATÓMICOS

Se muestra la comparación entre los modelos atómicos de Thomson, Rutherford y Bohr.

Animación: ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DEL ÁTOMO

Esta animación recoge un resumen sobre el espectro de radiaciones electromagnéticas, las series espectrales, la evolución de los espectros y la forma de los orbitales.

Enlace web: ESTRUCTURA ELECTRÓNICA DEL ÁTOMO

Página web muy completa sobre la estructura del átomo.

Vídeo: EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

Vídeo que explica cómo se producen los espectros de emisión, mostrando el espectro de emisión de algunos elementos.

Simulador: FACTORES QUE INFLUYEN EN EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

Aplicación interactiva que muestra cómo varía la energía cinética de los electrones arrancados a un metal al cambiar el tipo de metal, la longitud de onda de la luz empleada, su intensidad y la diferencia de potencial aplicada.

Vídeo: CÁLCULOS EN EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

Vídeo que enseña a resolver algunos problemas basados en el efecto fotoeléctrico.

Vídeo: EL MODELO ATÓMICO DE BOHR

Vídeo perteneciente a la serie «Grandes genios e inventos de la humanidad» que repasa los distintos modelos atómicos haciendo más hincapié en el modelo atómico de Niels Bohr.

Simulador: SALTOS ELECTRÓNICOS

Aplicación interactiva que muestra cómo dependiendo de la energía del fotón incidente, el único electrón del átomo de hidrógeno puede promocionar a órbitas superiores y luego caer a órbitas de inferior energía.

Vídeo: EXPLICACIÓN DE LOS ESPECTROS

Vídeo que muestra las variadas formas que puede adoptar la nube electrónica que rodea al núcleo y da una explicación a las rayas de los espectros, tanto de emisión como de absorción.

Vídeo: RESUMEN DE LOS MODELOS ATÓMICOS

Vídeo que resume todos los modelos atómicos habidos a lo largo del tiempo.

Documento: BIOGRAFÍA DE MAX PLANCK

Texto biográfico sobre Max Planck. Al alumno se le proporcionan actividades de análisis.

5. Técnicas espectroscópicas de absorción (páginas 98/101)

Este es uno de los epígrafes del currículo de Física y Química de 1.º de Bachillerato (junto al de la espectrometría de masas) más novedoso, la idea de su impartición es familiarizar al alumnado con unas técnicas que están al orden del día en todos los laboratorios químicos del mundo, mostrándole una visión general (que no detallada) de los métodos de análisis basados en la espectroscopia atómica y molecular: fundamentos, instrumentos y aplicaciones. Así mismo, debemos familiarizar al alumnado con los espectrogramas resultantes de la aplicación de estas técnicas, enseñándole a distinguir en ellos algunos grupos sencillos; de esta forma, tal vez, inculcaremos en él una afición por la ciencia y sus métodos, que le anime a proseguir estudios científicos.

Vídeo: ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Vídeo que describe el método de la espectrometría de absorción atómica.

Vídeo: ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN UV-VISIBLE

Vídeo que explica los fundamentos de la espectroscopia de absorción UV-visible.

Vídeo: VIBRACIONES MOLECULARES

Vídeos que explican las distintas vibraciones de una molécula cuando absorbe radiación de determinada energía.

Vídeo: INTERPRETACIÓN DE UN ESPECTROGRAMA IR

Vídeo que explica cómo se interpreta el espectrograma de absorción molecular IR del agua.

Vídeo: APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN MOLECULAR IR

Vídeo que trata sobre una aplicación que tiene la espectroscopia de absorción molecular IR.

Enlace web: ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Página web de contenido relacionado con la espectroscopia de absorción atómica.

Enlace web: ESPECTROSCOPIA MOLECULAR DE INFRARROJOS

Trabajo muy completo sobre espectroscopia molecular de infrarrojos.

Enlace web: VIBRACIONES MOLECULARES

Página dedicada al estudio de la espectroscopia IR y a las vibraciones moleculares.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 86/101)

Comprueba lo que sabes

1. ¿Es el átomo una esfera de materia homogénea y maciza? Explicalo.

No; así lo creía Dalton, e incluso Thomson, si bien este último introdujo en esa esfera (cargada de electricidad de signo positivo) a los recién descubiertos electrones (cargados negativamente).

Fue el experimento ideado por Rutherford el que probaría que alrededor de un núcleo esférico, el resto del átomo, una extensa región denominada, corteza, está prácticamente vacío.

2. Indica la diferencia entre masa atómica de un isótopo y masa atómica de un elemento.

La masa atómica de un elemento es la media ponderada de las masas atómicas de los isótopos que contiene.

3. ¿Por qué la mayoría de las masas atómicas se expresan en números decimales?

La causa principal de que las masas atómicas de los elementos sean números decimales se debe a que son medias ponderadas de las masas atómicas de los isótopos que contienen.

Además, la masa atómica de un isótopo es algo menor que la debida al conjunto de sus protones y neutrones, cuya causa es la pérdida de masa que se libera en forma de energía al constituirse el núcleo.

Actividades

1. Calcula el número de protones, neutrones y electrones que existen en los siguientes elementos e iones: Al, Al³⁺, O y O²⁻, sabiendo que sus números másicos son 27 para el Al y 16 para el O, y sus números atómicos, 13 y 8, respectivamente.

Al: n.º protones = 13; n.º electrones = 13; n.º neutrones = 14
 Al³⁺: n.º protones = 13; n.º electrones = 10; n.º neutrones = 14
 O: n.º protones = 8; n.º electrones = 8; n.º neutrones = 8
 O²⁻: n.º protones = 8; n.º electrones = 10; n.º neutrones = 8

2. Completa la tabla 4.3 e indica los posibles isótopos existentes.

Isótopos	Z	A	N.º de protones	N.º de neutrones	N.º de electrones
¹¹ ₅ B	5	11	5	6	5
¹⁷ ₈ O	8	17	8	9	8
³⁷ ₁₇ Cl	17	37	17	20	17
²³⁵ ₉₂ U	92	235	92	143	92
¹⁶ ₈ O	8	16	8	8	8
¹³ ₆ C	6	13	6	7	6
¹⁰⁹ ₄₇ Ag	47	109	47	62	47
²⁰ ₁₀ Ne	10	20	10	10	10
³⁵ ₁₇ Cl	17	35	17	18	17

Hay dos series de isótopos, dos pertenecientes al elemento oxígeno y otros dos pertenecientes al elemento cloro.

3. Indica cómo serán los radios de las circunferencias que describen dos iones de distinta masa y con la misma carga, si entran con igual velocidad en una región donde existe un campo magnético uniforme perpendicular a su movimiento.

A igualdad de carga (Q), intensidad de campo magnético (B) y velocidad (v), cuanto mayor sea la masa (m) del ion mayor será el radio que describe. Esto es lo que se deduce de la

$$\text{expresión: } r = \frac{mv}{QB}$$

4. Completa la siguiente frase incluyendo *menor* o *mayor* según corresponda:

«Cuanto mayor sea la relación m/Q , mayor será el radio que describen los iones al atravesar el campo magnético».

5. Indica cuáles de los siguientes átomos son isótopos del mismo elemento:

a) ²⁸₁₄A b) ¹⁴₂₈B c) ¹⁴₂₉C d) ³⁰₁₄D e) ¹⁴₃₀E

²⁸₁₄A y ³⁰₁₄D

6. ¿Por qué las masas atómicas de la mayoría de los elementos se expresan en números decimales?

Porque son medias ponderadas de las masas atómicas de los isótopos que contienen.

7. Indica el número de electrones, de protones y de neutrones de las siguientes especies químicas: a) Ag-107 b) ³²S²⁻ c) ²⁷Al³⁺

Ag-107: n.º electrones = 47; n.º protones = 47; n.º neutrones = 107 - 47 = 60

³²S²⁻: n.º electrones = 18; n.º protones = 16; n.º neutrones = 32 - 16 = 16

²⁷Al³⁺: n.º electrones = 10; n.º protones = 13; n.º neutrones = 27 - 13 = 14

8. La plata natural está constituida por una mezcla de dos isótopos de números másicos 107 y 109, de abundancia 56 % y 44 %, respectivamente. Calcula la masa atómica de la plata natural.

La masa de 100 átomos de Ag, incluidos los dos isótopos, es:

$$m = 107 \text{ u} \cdot 56 + 109 \text{ u} \cdot 44 = 10788 \text{ u}$$

La masa promedio de un átomo de Ag será:

$$\frac{10788 \text{ u}}{100} = 107,88 \text{ u}$$

9. En la naturaleza se encuentran dos isótopos del bromo, ⁷⁹Br y ⁸¹Br. Deduce la proporción en que ambos isótopos forman parte del bromo natural, sabiendo que la masa atómica del elemento es de 79,9.

La media ponderada de los isótopos es de 79,9. Por tanto, llamando x al porcentaje del primer isótopo, tenemos:

$$79,9 = \frac{79x + 81(100 - x)}{100}$$

$$7990 = 79x + 8100 - 81x; 2x = 110; x = 55\%$$

Es decir, el isótopo ⁷⁹Br abunda un 55 % y el ⁸¹Br un 45 %.

- 10 Calcula la longitud de onda y la frecuencia de la tercera raya de la serie de Balmer.

Aplicamos la ecuación hallada por Balmer:

$$\nu = R_c \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 6,91 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Como $\lambda = \frac{c}{\nu}$; sustituyendo:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{6,91 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 4,34 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

- 11 Calcula el cuanto de una luz de frecuencia $4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$.

Aplicamos la ecuación que permite hallar el cuanto de energía:

$$E_0 = h\nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 2,65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

- 12 Si un átomo emite luz con una frecuencia de $4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$, ¿cuáles de los siguientes valores coinciden con los cuantos que emite?

- a) $2,65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 b) $3,19 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 c) $5,30 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 d) $4,24 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Aplicamos la ecuación del cuanto de energía:

$$E_0 = h\nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 2,65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Por consiguiente, son correctas las respuestas a) y c), puesto que ambas son múltiplos del resultado anterior.

- 13 ¿Cuál es la energía cinética máxima de los electrones arrancados del bario cuando es iluminado con una luz de longitud de onda de 350 nm, si la energía de extracción del bario es 2,50 eV?

Dato: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

La ecuación del efecto fotoeléctrico es $h\nu = E_0 + E_c$; luego:

$$E_c = h\nu - E_0$$

Hallamos la frecuencia de la luz incidente:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{3,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 8,5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Expresamos E_0 en julios:

$$2,5 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 4,0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Por último, hallamos la energía cinética:

$$E_c = h\nu - E_0 = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 8,5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} - 4,0 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,68 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,05 \text{ eV}$$

- 14 Elabora un breve informe (para ello puedes buscar en Internet) que explique que «el efecto fotoeléctrico es la base de la producción de energía eléctrica por radiación solar».

RESPUESTA LIBRE.

- 15 Averigua si las siguientes moléculas absorberán luz IR debido a sus movimientos vibracionales internos: a) H_2 ; b) O_3 ; c) Br_2 ; d) CCl_4 y e) NO .

Todas absorberán luz IR excepto el H_2 y el Br_2 ya que al ser moléculas diatómicas homonucleares y, por tanto, no polares, la tensión del único enlace (única vibración posible) no puede alterar el momento dipolar, que de por sí ya es nulo.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES QUÍMICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 102)

Análisis

- 1 ¿Qué se persigue con el trabajo de laboratorio?

El objetivo del trabajo en el laboratorio es desentrañar los componentes atómicos y moleculares de las muestras que se reciben, y todo por el bienestar de las personas, para conocer sus enfermedades, descubrir los fármacos adecuados para paliar sus dolencias, medir la pureza del aire que respiran, el agua que beben, la tierra de sus cultivos, indagar sobre la calidad de los alimentos y bebidas que consumen, los productos y materiales que utilizan e incluso las causas de su propio fallecimiento.

- 2 ¿Por qué son importantes las normas de seguridad en un laboratorio químico? ¿Por qué es imprescindible mantener limpio y ordenado el laboratorio?

Por riesgos químicos, biológicos y físicos, así como, por riesgo de incendio o explosión. A este respecto, el personal de laboratorio debe conocer y acatar las normas del mismo, tener organizados unos equipos de seguridad y emergencias, de primeros auxilios, etcétera.

- 3 ¿Qué se hace en los laboratorios con los residuos peligrosos? ¿Se pueden verter en el desagüe si son cantidades pequeñas? ¿Por qué?

Se llevan a contenedores especiales. Nunca se deben verter en el desagüe por muy pequeñas que sean las cantidades porque, entre otras razones, pueden reaccionar con el agua y producir reacciones violentas.

Práctica de laboratorio: EL MECHERO BUNSEN

El objetivo de esta práctica es conocer el fundamento del mechero Bunsen.

Propuesta de investigación

- 4 Busca información sobre los diversos instrumentos y aparatos de laboratorio que aquí se mencionan y elabora un informe, en una presentación de diapositivas, que incluya imágenes de los mismos e información de su utilidad.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 103)

Cuestiones

- 1 ¿El color de la llama se debe al elemento metálico o al halógeno? ¿Qué ensayo de los realizados te ha conducido a esa conclusión?

El color de la llama se debe al elemento metálico. El ensayo que ha conducido a esta conclusión ha sido al quemar KBr, en él se ha observado el mismo color de llama que al quemar KCl. Si el causante del color fuera el halógeno, debería haber dado diferente color de llama (uno para el Cl y otro para el Br).

- 2 ¿A qué se debe el color de cada llama? ¿Por qué es necesario limpiar el hilo después de cada prueba?

La llama excita los átomos del metal promocionando a los electrones del nivel exterior a niveles superiores (que están vacíos). En seguida el electrón desciende, bien directamente o a través de saltos intermedios, hasta regresar al nivel de partida. En cada salto el átomo emite el fotón correspondiente a la diferencia de niveles de energía. El color en la llama es causada por estas emisiones de radiación, que al ser de baja frecuencia, por corresponder a diferencias de energía entre niveles bastantes alejados del núcleo, se encuentran en la zona del visible o muy próxima a él, de ahí que se «vea» el color.

Hay que limpiar el hilo después de cada prueba para que no contamine el ensayo siguiente.

- 3 Elabora un informe de la práctica.

RESPUESTA LIBRE.

Práctica de laboratorio: EL EXPERIMENTO DE HERSCHEL

Como alternativa a la práctica del libro se puede proponer la del experimento de Herschel.

Práctica de laboratorio: CALENTAMIENTO DE UNA SUSTANCIA

Como alternativa a la práctica del libro se puede proponer la del funcionamiento de un mechero Bunsen.

Enlace web: EMISIÓN EN LLAMA

Página web con diferentes vídeos explicativos de experimentos sobre emisión a la llama.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 106/107)

Modelo de Thomson y Rutherford

- 1 ¿Cómo se descubrieron los electrones? ¿Y los protones?

Se descubrieron en los tubos de descarga: los electrones como rayos negativos que surgían del cátodo, y los protones como rayos positivos que surgían del ánodo cuando el gas existente en el tubo era el hidrógeno.

- 2 ¿Cómo se explica que cuando el tubo de Goldstein contenía un gas distinto al hidrógeno, los rayos canales producidos no eran protones?

Hoy sabemos que los rayos canales se deben a los choques de los rayos catódicos con los átomos del gas del tubo, a los que consiguen arrancar algunos de sus electrones y los convierten en iones positivos: $X \rightarrow X^+ + 1 e^-$, de ahí que cuando el gas es hidrógeno, solo le pueden arrancar un electrón (el único que posee), siendo la especie H^+ un protón.

- 3 ¿Qué significa era nuclear?

La «Era nuclear» o «Era atómica» fue una expresión usada en la década de los años 50 del siglo pasado, en la que se pensaba que las fuentes de energía del futuro serían nucleares; es decir, basadas en la descomposición artificial de determinados núcleos atómicos.

La fecha del comienzo de la tal «Era nuclear» se estableció el 2 de diciembre de 1942, cuando un equipo de físicos dirigidos por el italiano **Enrico Fermi**, con la intención de aplicar por primera vez la energía nuclear a la fabricación de una bomba, ponía en marcha la primera reacción nuclear en cadena.

El 6 y el 9 de agosto de 1945, se lanzaron dos bombas nucleares, sobre Hiroshima y Nagasaki. En 1953, entró en funcionamiento el reactor del primer submarino nuclear, el Nautilus.

Ese mismo año, el presidente norteamericano Eisenhower expuso en las Naciones Unidas su programa «Atoms for Peace», por el que se liberaron una serie de conocimientos científicos y tecnológicos que permitieron la posterior explotación comercial (en forma de centrales nucleares) de la energía nuclear. Los expertos predijeron que gracias a las centrales nucleares del futuro, la electricidad sería tan barata como el agua, o incluso más, y que los contadores de consumo eléctrico serían eliminados. El accidente de Three Mile Island de 1979 y el de Chernóbil de 1986, condujeron al rechazo público de esta fuente de energía.

Hoy, según Greenpeace, la energía nuclear no es una alternativa de producción energética frente al cambio climático; crea residuos nucleares peligrosos para la salud y el medio ambiente que tardan cientos de años en degradarse y los accidentes nucleares arruinan grandes regiones.

- 4 ¿Cómo se llegó a la conclusión de que debían existir los neutrones?

En 1920, Rutherford sugirió la existencia de un tercer tipo de partícula que, sin carga, tendría una masa parecida a la del protón y estabilizaría el núcleo. Propuso llamarle neutrón. Además, en el espectrógrafo de masas se comprobó que la masa de un elemento era superior a la de su carga nuclear.

- 5 ¿Cómo se puede saber si los rayos catódicos viajan del cátodo al ánodo o viceversa? Demuestra que los rayos catódicos tienen masa y carga.

Porque producen luminiscencia en la pantalla de sulfuro de cinc, ZnS, que se encuentra al lado del ánodo.

- 6 Calcula la carga que transporta 1 mol de electrones.

En la UNIDAD 1 se vio que 1 mol de electrones son $6,022 \cdot 10^{23}$ electrones. Como la carga de uno de ellos es $1,602 \cdot 10^{-19}$ C, la de todos será:

$$6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} = 96500 \text{ C}$$

- 7 ¿Cuántos electrones son necesarios para llevar una carga de 1 C?

Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{1 \text{ e}^-}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = \frac{x \text{ e}^-}{1 \text{ C}}; x = 6,22 \cdot 10^{18} \text{ electrones}$$

- 8 Si la carga nuclear del cobre es $4,646 \cdot 10^{-18}$ C, calcula el número de cargas nucleares que contiene el núcleo del átomo de cobre.

Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{4,646 \cdot 10^{-18} \text{ C}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C/protón}} = 29 \text{ protones}$$

- 9 Considerando que la masa de un átomo de Li (6,015 u) reside totalmente en su núcleo, que el diámetro del núcleo es 10000 veces menor al del átomo, y sabiendo que el radio del átomo de Li (suponiendo que sea esférico) es 0,15 nm, calcula la densidad del núcleo de dicho átomo. Comenta el resultado.

$$r_{\text{núcleo}} = r_{\text{átomo}}/10000 = 0,15 \cdot 10^{-7} \text{ cm}/10000 = 0,15 \cdot 10^{-11} \text{ cm}$$

Suponiendo que el núcleo es una esfera perfecta:

$$V_{\text{núcleo}} = 4/3 \pi r^3 = 4/3 \pi (0,15 \cdot 10^{-11})^3 = 1,414 \cdot 10^{-35} \text{ cm}^3$$

Entonces, la densidad será:

$$\rho = m/V = 6,015 \text{ u} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g/u} / 1,414 \cdot 10^{-35} \text{ cm}^3 = 7,06 \cdot 10^{11} \text{ g/cm}^3$$

¡Se trata de una densidad altísima!

- 10 Halla la densidad de un átomo de Li y compara el resultado con el del ejercicio anterior.

Suponiendo una esfera perfecta como forma del átomo:

$$V_{\text{átomo}} = 4/3 \pi r^3 = 4/3 \pi (0,15 \cdot 10^{-7})^3 = 1,414 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3$$

La densidad será:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{6,015 \text{ u} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g/u}}{1,414 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3} = 0,706 \text{ g/cm}^3$$

Se trata de un valor muy inferior a la densidad del núcleo (un billón de veces más pequeño).

Números que identifican a los átomos. Isótopos. Determinación de masas atómicas

- 11 ¿Qué representa el número atómico de un elemento? ¿Y el número másico de un isótopo?

El número atómico de un elemento representa su carga nuclear, es decir, el número de protones que contiene.

- 12 ¿Qué son los isótopos, iones, elementos, moléculas, átomos de distintos elementos o átomos diferentes del mismo elemento?

Los isótopos son átomos diferentes del mismo elemento.

- 13 Di si es verdadera o falsa la siguiente afirmación:

«Todos los átomos con igual número atómico, cualquiera que sea su masa, pertenecen al mismo elemento químico».

Verdadera, todos los átomos de un mismo elemento tienen el mismo número de protones.

- 14 Di si es verdadera o falsa la siguiente afirmación:

«Un átomo con 6 protones y 6 neutrones tiene un número atómico 6 y un número másico 6».

Un átomo con 6 protones y 6 neutrones tiene un número atómico de 6 y un número másico de 12, ya que, el número másico es la suma del número de protones y el número de neutrones, por lo tanto, la afirmación es falsa.

- 15 ¿Cuál es la diferencia entre número másico y masa atómica de un isótopo?

El número másico es siempre un número entero (ya que es el resultado de la suma de otros dos números enteros: número de protones más número de neutrones).

La masa atómica del isótopo es un número decimal inferior al anterior, debido a la pérdida de masa (transformada en energía) sufrida al formarse el núcleo.

- 16 ¿Cuál es la diferencia entre masa atómica de un isótopo y masa atómica del elemento que contiene el isótopo?

La masa atómica de un elemento es la media ponderada de las masas atómicas de los isótopos que contiene.

- 17 Como unidad de masa atómica se ha elegido la doceava parte de la masa del isótopo C-12. ¿Por qué la masa atómica del carbono es, entonces, 12,011 u?

Porque el elemento carbono tiene isótopos y la media ponderada de las masas atómicas de los isótopos que contiene resulta un número decimal.

- 18 El Li (masa atómica 6,941 u) tiene dos isótopos de masas atómicas 6,015 y 7,016, respectivamente. Determina la abundancia de cada uno.

El promedio de la masa de 100 átomos es:

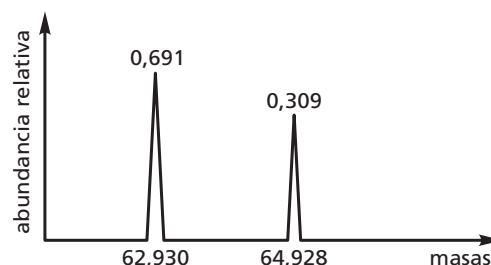
$$6,941 \cdot 100 = x \cdot 6,015 + (100 - x) \cdot 7,016$$

Resolviendo la ecuación anterior, obtenemos:

$$x = 7,5 \%$$

El isótopo de masa 6,015 abunda un 7,5 %, y el isótopo de masa 7,016, un 92,5 %.

- 19 La figura muestra el espectrograma de masas de dos iones divalentes de un determinado elemento. ¿De qué elemento se trata?

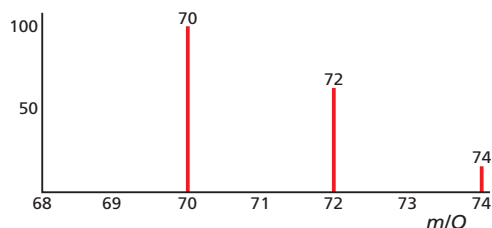


Con los datos de abundancia relativa y masas atómicas, hallamos el promedio:

$$\text{Masa atómica} = 62,930 \cdot 0,691 + 64,928 \cdot 0,309 = 63,548 \text{ u}$$

El valor obtenido corresponde al átomo de cobre (Cu).

- 20 El espectrómetro de masas revela que el Cl tiene dos isótopos, el ^{35}Cl (más abundante) y el ^{37}Cl ; entonces, ¿cómo es posible que el espectrograma de masas del dicloro, además de mostrar picos a 35 y 37, muestre estos tres de la figura?



El cloro molecular (Cl_2) es el resultado de la unión covalente entre dos átomos de cloro, y como hay dos tipos de átomos de cloro, el Cl-35 (más abundante) y el Cl-37, existirán tres posibles combinaciones:

- 1.ª) $^{35}\text{Cl} - ^{35}\text{Cl}$ de masa molecular 70, y el más abundante por contener al isótopo de mayor proporción.
- 2.ª) $^{35}\text{Cl} - ^{37}\text{Cl}$ de masa 72 y de abundancia más o menos intermedia.
- 3.ª) $^{37}\text{Cl} - ^{37}\text{Cl}$ de masa 74 y el menos abundante por contener a los dos isótopos menos abundantes.

La abundancia relativa de las tres moléculas se puede explicar teniendo en cuenta la proporción en la que se encuentran los dos isótopos.

- 21 El magnesio tiene tres isótopos naturales. La abundancia y la masa de cada uno se han determinado por espectrometría de masas y es la que aparece en la tabla 4.6. Calcula la masa atómica del magnesio.

Isótopo	Abundancia	Masa (u)
^{24}Mg	78,99	23,98504
^{25}Mg	10,00	24,98584
^{26}Mg	11,01	25,98259

$$\text{Masa atómica Mg} = 0,7899 \cdot 23,98504 \text{ u} + 0,1000 \cdot 24,98584 \text{ u} + 0,1101 \cdot 25,98259 \text{ u} = 18,946 \text{ u} + 2,4986 \text{ u} + 2,8607 \text{ u} = 24,30 \text{ u} \text{ (con cuatro cifras significativas).}$$

Los dos isótopos más pesados contribuyen menos que el otro debido a que la mayor parte de los átomos de magnesio (el 79%) corresponden al isótopo más ligero.

Los espectros. Hipótesis de Planck. Efecto fotoeléctrico. Modelo de Bohr

- 22 Define los conceptos de longitud de onda, número de onda y frecuencia de una radiación.

La **longitud de onda** es la distancia (en m, cm, Å, etc.) entre dos puntos consecutivos de una onda que se hallan en el mismo estado de vibración. El **número de onda** es la inversa de la longitud de onda (se mide en cm^{-1} , m^{-1} , etc.). La **frecuencia** es el número de ondas que pasan por un punto en la unidad de tiempo; se mide en s^{-1} o, lo que es lo mismo, en hertzios, Hz (en honor de Heinrich Rudolf Hertz).

- 23 ¿Qué es el espectro visible? ¿En qué rango de frecuencias se encuentra?

El espectro visible es la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir.

No hay límites exactos en el espectro visible, pues unas personas perciben una región más ancha y otras, menos ancha, no obstante se ha establecido entre unas longitudes de onda de 400 a 700 nm.

- 24 ¿Qué diferencia hay entre el espectro de la luz visible y el de la luz que emite una sustancia cuando arde o un gas cuando se le excita?

El espectro de la luz visible es continuo, mientras que el que emite una sustancia cuando arde (o un gas cuando se le excita mediante descargas) es discontinuo o de rayas.

- 25 ¿Qué afirma la hipótesis de Planck?

Véase el epígrafe 4.1 del *Libro del alumno*.

- 26 ¿Cómo explica el modelo atómico de Bohr los espectros atómicos? ¿Por qué hubo que hacer correcciones a este modelo?

Al calentar un elemento gaseoso o cuando se le aplica una descarga eléctrica, los electrones de sus átomos promocionan a niveles superiores, con lo que su situación se torna inestable, ya que existe un alto contenido energético; por ello, cuando se retire la fuente energética, los electrones volverán a su estado fundamental, emitiendo el exceso de energía en forma de radiación que, pasada a través de un polarímetro, dará lugar al espectro.

- 27 Si un gas excitado mediante calor o descargas eléctricas deja una raya roja a 668 nm, ¿por qué cuando, sin estar excitado, se interpone en el camino de un haz de luz blanca, deja una raya negra a 668 nm sobre el fondo de los siete colores?

En el primer caso emite luz roja de $\lambda = 668 \text{ nm}$ (espectro de emisión), mientras que en el segundo absorbe luz roja (de 668 nm) de la blanca que le llega (espectro de absorción).

- 28 ¿Cuáles de las siguientes líneas espectrales se encuentra en la región visible del espectro: 300 nm, 500 nm, 700 nm o 900 nm?

La de 500 nm (verde) y la de 700 nm (rojo).

- 29 ¿Qué son las microondas?

Las microondas son radiaciones electromagnéticas de baja energía, frecuencia y, por tanto, alta longitud de onda.

- 30 Si excitamos todos los electrones de una muestra de átomos de hidrógeno hasta el nivel 4, al volver a estados de energía inferiores, ¿cuántas líneas aparecerán en el espectro de emisión resultante?

Sin tener en cuenta la estructura fina del espectro, serían 6 grandes líneas las que aparecerían en el espectro de emisión, las correspondientes a las transiciones:

$$n = 4 \rightarrow n = 3; n = 4 \rightarrow n = 2; n = 4 \rightarrow n = 1; n = 3 \rightarrow n = 2; n = 3 \rightarrow n = 1; n = 2 \rightarrow n = 1.$$

- 31 Averigua la longitud de onda de la radiación de frecuencia $4,8 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$.

Aplicamos la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{4,8 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}} = 6,258 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

- 32) Calcula la energía del fotón correspondiente a una radiación de frecuencia $6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$. Determina la longitud de onda de esa radiación.

Aplicamos la ecuación para hallar el cuanto de energía:

$$E = h\nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Calculamos la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{6 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 500 \text{ nm}$$

- 33) Los rayos X tienen una longitud de onda que oscila entre 10^{-3} nm y 10 nm . Halla la energía correspondiente e intenta averiguar por qué se llama penetrantes a los primeros y blandos a los segundos.

Aplicamos la ecuación que permite calcular el cuanto de energía:

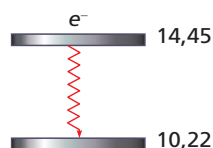
$$E_1 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{10^{-3} \text{ nm} \cdot 10^{-9} \text{ m/nm}} = 1,99 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Aplicamos de nuevo la ecuación anterior para el otro valor de la banda:

$$E_2 = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{10 \text{ nm} \cdot 10^{-9} \text{ m/nm}} = 1,99 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

Estos últimos son menos energéticos que los anteriores (se los denomina blandos).

- 34) Calcula la frecuencia de la radiación electromagnética que emite un electrón cuando realiza en un átomo el salto mostrado en la figura. ¿En qué parte del espectro electromagnético dejará marca?



Aplicamos la ecuación que permite hallar la variación de energía correspondiente a un salto electrónico:

$$\Delta E = h\nu$$

Despejando la frecuencia y sustituyendo los datos:

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{(14,45 - 10,22) \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}} = 1,02 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

Calculamos la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1,02 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}} = 2,94 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 294 \text{ nm}$$

Pertenece a la región del ultravioleta.

- 35) Calcula la frecuencia y longitud de onda del fotón emitido por el tránsito del electrón del átomo de hidrógeno del nivel 3 al nivel 2, sabiendo que entre ellos hay una diferencia de energía de $1,89 \text{ eV}$.

Dato: $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

La diferencia de energía en julios será:

$$1,89 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 3,02 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

La energía del fotón emitido coincide con esta diferencia de energía entre niveles. Puesto que $E = h\nu$ y $\lambda\nu = c$:

$$\nu = E/h = 3,02 \cdot 10^{-19} \text{ J} / 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} = 4,56 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\lambda = c/\nu = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1} / 4,56 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 6,58 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

La frecuencia cae dentro del rango del visible, entre el amarillo y el rojo.

- 36) Calcula la longitud de onda (en nm) que debe tener una luz para que, al iluminar con ella una placa de metal, esta emita electrones a una velocidad de $6,83 \cdot 10^5 \text{ m/s}$. Datos: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $\nu_0 \text{ metal} = 8 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1}$.

Aplicamos la ecuación del efecto fotoeléctrico:

$$h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2} m v^2$$

Sustituimos:

$$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot \nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 8 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1} + \frac{1}{2} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (6,83 \cdot 10^5 \text{ m/s})^2$$

Despejamos ν : $\nu = 4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$, que transformada a longitud de onda:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{4 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 7,5 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 750 \text{ nm}$$

- 37) Realiza un resumen de los distintos modelos atómicos (ideas introducidas, hechos que explica y hechos que no explica).

Modelo	Ideas introductorias	Hechos que explican	Hechos que no explican
De Thomson	El átomo contiene electrones.	La naturaleza de los rayos catódicos.	La existencia de otras partículas. Los espectros atómicos.
De Rutherford	Un núcleo en el átomo, donde se encuentran los protones.	La gran fuerza de desviación de una pequeña región del átomo al incidir partículas α .	Que los electrones se puedan mantener girando alrededor del núcleo. Los espectros atómicos
De Bohr	Los electrones solo pueden encontrarse en determinadas zonas del átomo.	Los espectros atómicos.	La estructura fina del espectro y la naturaleza ondulatoria de los electrones.
De los orbitales	Naturaleza ondulatoria de los electrones. Factores de probabilidad.	El principio de Heisenberg y la naturaleza ondulatoria de los electrones.	¿Por qué hay tantas partículas elementales? ¿Qué partículas son auténticamente elementales?

- 38) ¿Cuál es la diferencia entre órbita y orbital?

La órbita es aquella región circular donde unas partículas, llamadas electrones, giraban a unas ciertas distancias del núcleo. Las distancias de las órbitas al núcleo podían ser medibles con precisión. Sin embargo, la naturaleza ondulatoria del electrón y el principio de incertidumbre de Heisenberg obligan a hablar de densidad de carga negativa en el átomo. Por otro lado, un orbital es la región del espacio en la que hay una alta probabilidad (entre el 90 % y el 99 %) de encontrar un electrón de determinada energía.

Técnicas espectroscópicas

39 ¿Cuál es el fundamento de la espectroscopia de absorción atómica?

La espectroscopia de absorción atómica se fundamenta en la propiedad que tienen los átomos de absorber radiación a longitudes de onda muy específicas, esas para las cuales la diferencia de energía entre los niveles electrónicos del átomo coincide con la energía del fotón incidente. La cantidad de absorción va a estar relacionada con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda que contiene la muestra.

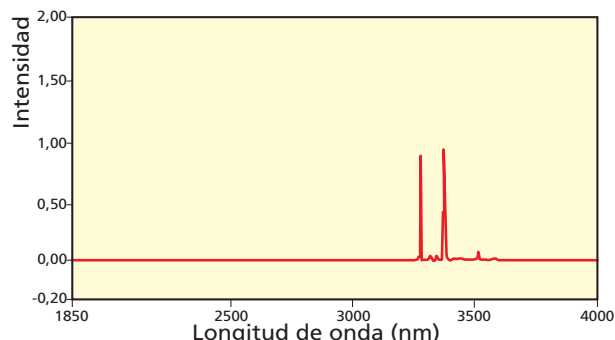
40 En un espectrómetro de absorción atómica, ¿cuál es la función del atomizador? ¿Y la del detector?

El **nebulizador-atomizador** pulveriza la muestra hasta llevarla a su forma atómica. Puede servir la llama originada por un sistema combustible/oxidante (acetileno/aire o acetileno/ N_2O). El **detector** capta la señal lumínica procedente del monocromador y la transforma en señal eléctrica. Se usan mucho los fotomultiplicadores y los detectores de estado sólido CCD (*Charge Coupled Device*, Dispositivo de Carga Acoplada).

41 ¿Se puede usar la espectroscopia de absorción atómica para determinar el tipo de moléculas contenidas en una muestra?

Aunque sí puede utilizarse, la espectroscopia de absorción atómica se usa casi exclusivamente para átomos. Para las moléculas existe la espectroscopia de absorción molecular UV-visible e IR.

42 En un barrido espectral para determinar la longitud de onda máxima a la que absorbe un analito, se obtuvo el espectrograma de la figura.



Indica la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

a) El analito está formado por dos compuestos distintos, de abundancia similar.

La absorción atómica determina fundamentalmente átomos, por tanto esta afirmación solo podría ser verdadera si los dos compuestos estuvieran formados, entre los dos, por tan solo dos tipos distintos de átomos y que absorberan a la longitud de onda que muestra el espectrograma.

b) El analito está formado por un solo elemento constituido por moléculas diatómicas homonucleares.

Podría ser verdadera solo en el caso de que el único elemento que forma la molécula (homonuclear) contenga dos isótopos de abundancia similar y que absorban a la longitud de onda que muestra el espectrograma. Lo cual restringe mucho las posibilidades de que sea verdadera.

c) El analito contiene, mayoritariamente, dos tipos de átomos de abundancia similar.

Verdadera, y por la cercanía de la absorción, serán isótopos.

43 Explica el fundamento de la espectroscopia IR.

Cuando se hace pasar radiación IR a través de una muestra, la energía absorbida por la muestra está relacionada con la frecuencia de vibración de los enlaces covalentes de las moléculas que la forman. Cuando la frecuencia de vibración de un enlace coincide con alguna de las frecuencias de la radiación incidente, se produce absorción. Como cada molécula tiene modos de vibración específicos, los picos vienen a ser como las «impresiones» que han dejado en el espectro IR los diferentes enlaces de la molécula. De esta forma, analizando las longitudes de onda (o números de onda) a las que absorbe una muestra, podemos obtener información acerca de las moléculas que la componen.

44 ¿Qué se entiende por «modo de vibración» de una molécula? Indica las diferencias existentes entre vibración de tensión y vibración de flexión.

Los modos de vibración de una molécula son los movimientos específicos del conjunto de átomos que conforman la molécula. Se distinguen por las frecuencia (o números de onda) de vibración de los enlaces covalentes que la componen. A pesar de que las vibraciones son colectivas (vibra la molécula entera), es posible distinguir dos formas básicas de vibración: **tensión** (*stretching*) y **flexión** (*bending*).

Las vibraciones de **tensión** o **alargamiento** se deben a cambios en la distancia interatómica a lo largo del eje del enlace entre dos átomos, mientras que las de **flexión** se deben a cambios en el ángulo que forman dos enlaces.

45 Indica el número de modos de vibración de las siguientes moléculas: a) CO b) SH_2 c) O_3 d) NH_3

a) Modos de vibración de CO: uno (de tensión).

b) SH_2 : $3n - 6 = 3 \cdot 3 - 6 = 3$ modos de vibración.

c) O_3 : $3n - 6 = 3 \cdot 3 - 6 = 3$ modos de vibración.

d) NH_3 : $3n - 6 = 3 \cdot 4 - 6 = 6$ modos de vibración.

46 Razona si las siguientes moléculas absorberán luz infrarroja debido a sus movimientos vibracionales internos:

a) CCl_4 b) CO c) Cl_2 d) H_2 e) NO f) O_3

Todas absorberán luz infrarroja excepto H_2 y Cl_2 , que al ser diatómicas homonucleares, y por tanto no polares, la tensión del único enlace (única vibración posible) no puede alterar el momento dipolar, que de por sí ya es nulo.

47 Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

a) Un espectro IR es la representación gráfica de la absorción de energía (por parte de una muestra después de incidir sobre ella un haz de luz IR) frente a la frecuencia, longitud de onda o número de onda de dicha luz.

Verdadera.

b) Cuando la frecuencia de la luz incidente es resonante con la frecuencia de la vibración de un enlace, la luz es absorbida.

Verdadera. Aquí *resonante* es sinónimo de *coincidente*.

c) Puede haber dos moléculas distintas cuyos espectros IR sean idénticos.

Falso. Pues cada molécula tiene modos de vibración específicos. Se le puede decir a los alumnos que hay una excepción: dos enantiómeros sí pueden tenerlos, como podrán comprobar en la UNIDAD 8.

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 109)

1. Describe el modelo atómico de Bohr indicando las características que conserva con respecto al modelo de Rutherford y las aportaciones específicas que realizó Bohr.

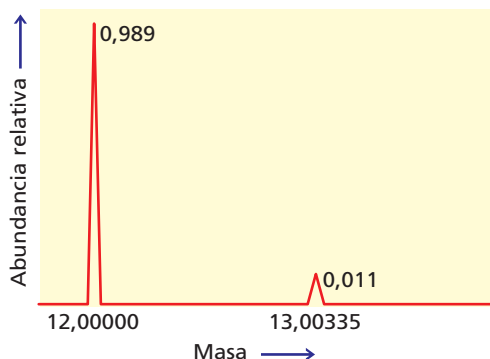
El modelo de Rutherford entraba en contradicción con las ecuaciones de Maxwell que predecían que una carga eléctrica acelerada debía emitir energía en forma de radiación electromagnética, de esta forma el electrón tendría que acabar estrellado contra el núcleo. Tampoco explicaba los espectros atómicos de los gases a baja presión. Bohr solucionó estas cuestiones enunciando tres postulados:

- Los electrones giran en torno al núcleo solo en ciertas órbitas circulares estables donde al moverse no irradian energía (órbitas estacionarias).
- De todas las órbitas que cumplen que $F_{\text{eléctrica}} = F_{\text{centrípeta}}$ solo están permitidas aquellas cuya energía adopte unos valores, y no otros, determinados por un número cuántico n ($n = 1, 2, 3, \dots$).
- Un electrón solo emite radiación cuando salta de una órbita permitida de mayor energía a otra de menor energía, y la absorbe cuando salta de una de menor a otra de mayor energía. En ambos tránsitos emite o absorbe un fotón cuya energía es la diferencia de energía entre ambos niveles ($\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$).

2. Indica el número de protones, neutrones y electrones existentes en: ${}^{120}_{50}\text{Sn}^{2+}$, ${}^{32}_{16}\text{S}^{2-}$, ${}^{39}_{19}\text{K}$.

- ${}^{120}_{50}\text{Sn}^{2+}$: n.º de protones = 50; n.º de neutrones = 70; n.º de electrones = 48
- ${}^{32}_{16}\text{S}^{2-}$: n.º de protones = 16; n.º de neutrones = 16; n.º de electrones = 18
- ${}^{39}_{19}\text{K}$: n.º de protones = 19; n.º de neutrones = 20; n.º de electrones = 19

3. Calcula la masa atómica del carbono a partir de los datos de la figura.



$$\text{Masa atómica del C} = 0,989 \cdot 12,00000 \text{ u} + 0,011 \cdot 13,00335 \text{ u} = 11,868 + 0,143 = 12,011 \text{ u}$$

4. La masa atómica del oxígeno es 15,99937. Sabiendo que el oxígeno tiene tres isótopos: ${}^{16}_8\text{O}$, con masa atómica 15,99491 u y abundancia 99,75 %, ${}^{17}_8\text{O}$, con masa atómica 16,99914 u y abundancia 0,037 %; y ${}^{18}_8\text{O}$, ¿cuál es la masa atómica del tercer isótopo?

$$\text{Masa atómica del O} = 15,99937 \text{ u} = 0,9975 \cdot 15,99491 \text{ u} + 0,00037 \cdot 16,99914 \text{ u} + 0,00204 \cdot x$$

$$x = \text{masa atómica } {}^{18}_8\text{O} = \frac{[15,99937 \text{ u} - (15,995636 + 0,00629)]}{0,00204} = 18,00000$$

5. Dos propiedades del ${}^{39}\text{K}$ son: reacciona violentamente con el agua desprendiendo hidrógeno y tiene una masa de 38,9637 u. ¿Cuál de esas dos propiedades será válida también para el ${}^{40}\text{K}$?

Solo la primera ya que el ${}^{39}\text{K}$ y el ${}^{40}\text{K}$ son isótopos, por tanto son átomos del mismo elemento y como consecuencia tendrán las mismas propiedades químicas pero diferente masa.

6. Explica la diferencia entre los espectros atómicos de emisión y los de absorción.

El **espectro de emisión** es el conjunto de rayas o líneas coloreadas separadas por espacios oscuros (en la zona del visible), que aparecen cuando una sustancia es calentada hasta la incandescencia y su luz se hace pasar a través de un prisma óptico o rejilla de difracción. Mientras que el **espectro de absorción** es el conjunto de rayas negras que deja una sustancia sobre una banda coloreada (en la zona del visible) después de absorber la radiación proporcionada por una fuente luminosa externa.

7. Calcula la velocidad del electrón emitido por el átomo de Cs al iluminarlo con una radiación de $\lambda = 600 \text{ nm}$. Datos: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$; $m_{e^-} = 9,107 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $W_{\text{extracción del Cs}} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Transformamos 600 nm a metros: $6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$

Calculamos la frecuencia de la luz incidente:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}}{6 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

Aplicamos la ecuación del efecto fotoeléctrico:

$$h\nu = W_{\text{extracción}} + E_c$$

Sustituimos:

$$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 5 \cdot 10^{14} \text{ s}^{-1} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J} + E_c$$

$$3,3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J} + E_c$$

Despejamos:

$$E_c = 0,1 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Como $E_c = \frac{1}{2} mv^2$, entonces:

$$\nu = \sqrt{2 E_c / m} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \cdot 10^{-20} \text{ J}}{9,107 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 1,49 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

8. Calcula la longitud de onda, la frecuencia, el número de onda y la energía de la radiación emitida por un electrón situado en el nivel $n = 2$ al caer al nivel $n = 1$.

Dato: $R = 109677,6 \text{ cm}^{-1}$

Para el cálculo de la longitud de onda, aplicamos la ecuación de Rydberg:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Si sustituimos, $n_2 = 2$ y $n_1 = 1$, obtenemos el número de onda:

$$\nu = 1/\lambda = 82\,258,2 \text{ cm}^{-1}$$

Por tanto:

$$\lambda = 1,22 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 1,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Para calcular la frecuencia empleamos esta expresión:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 2,46 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

Ahora ya es posible calcular la energía de la radiación emitida recurriendo a la ecuación de Planck:

$$E = h\nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J s} \cdot 2,46 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1} = 1,63 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

9. ¿Cuál es la diferencia entre la espectroscopia de absorción atómica y la molecular?

La espectroscopia de absorción atómica se fundamenta en la propiedad que tienen los **átomos** de absorber radiación a longitudes de onda muy específicas, esas para las cuales la diferencia de energía entre los niveles electrónicos del átomo coincide con la energía del fotón incidente. La cantidad de absorción va a estar relacionada con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda que contiene la muestra.

Cuando se hace pasar radiación IR a través de una muestra, la energía absorbida por la muestra está relacionada con la frecuencia de vibración de los enlaces covalentes de las moléculas que la forman.

La espectroscopia de absorción molecular se fundamenta en la propiedad que tienen las **moléculas** de absorber radiación a longitudes de onda muy específicas, esas para las cuales la frecuencia de vibración de un enlace coincide con alguna de las frecuencias de la radiación incidente. De esta forma, analizando las longitudes de onda (o números de onda) a las que absorbe una muestra, podemos obtener información acerca de las moléculas que la componen.

10. Indica algunas de las aplicaciones que tienen las espectroscopias del ejercicio anterior.

Aplicaciones de la espectroscopia de absorción atómica: determinaciones de metales en muestras de aguas, análisis de suelos, contaminación ambiental, toxicología, bioquímica, farmacia, medicina, control de calidad en la industria, en alimentación, etcétera.

Aplicaciones de la espectroscopia de absorción molecular: en las industrias farmacéutica, alimentaria, construcción, petroquímica, etc., así como en investigación científica, para controlar la calidad de alimentos y bebidas, para medir las sustancias tóxicas existentes en el organismo, para analizar cualitativa y cuantitativamente los contaminantes del aire, del agua y del suelo, para buscar nuevos catalizadores, en síntesis orgánica siguiendo el mecanismo de aquellas reacciones en las que tiene lugar una transformación de grupos funcionales observables en IR, análisis de pigmentos y materiales en obras pictóricas, etcétera.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Señala los caracteres que un determinado modelo atómico conserva del anterior así como las nuevas aportaciones.	AT: 1-12, 30-31, 42-43	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Calcula el número de electrones, protones y neutrones que tiene un átomo o un ion, a partir del conocimiento de su número atómico y su número másico.	A: 1-2, 5, 7 ER: 1 AT: 13-18	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1. Calcula la masa atómica de un elemento a partir de los datos espectrométricos obtenidos para los diferentes isótopos del mismo.	A: 6, 8, 9 ER: 2, 3 AT: 19-25	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Indica el origen de las rayas espectrales tanto las de los espectros de emisión como las de los espectros de absorción, así como calcula la longitud de onda y/o la frecuencia a la que aparecen determinadas rayas espectrales debidas a transiciones electrónicas entre niveles.	A: 10 ER: 4, 5 AT: 26-28, 32-35, 39, 40	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones. Resuelve correctamente todas las actividades.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones. Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Realiza cálculos entre longitudes de onda, frecuencias y energías de radiación; así como los que se derivan de la utilización de la expresión matemática del efecto fotoeléctrico.	A: 11-14 ER: 6 AT: 36-38, 41	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1. Señala los fundamentos en los que están basadas las técnicas espectrométricas y las espectroscópicas de absorción atómica e IR, así como describe las aplicaciones de las mismas.	A: 3, 4, 15 ER: 7, 8 AT: 44-53	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Razona a cuál de las dos partículas atómicas, protón o electrón, le corresponde una mayor relación carga/masa.

Le corresponde una mayor relación carga/masa al electrón. Como $Q_e = Q_p$, y $m_e \ll m_p$, entonces:

$$Q_e/m_e \gg Q_p/m_p$$

2. El espectrograma de masas del estroncio muestra que está formado por cuatro isótopos:

- ^{84}Sr , de masa atómica 83,913 u y abundancia 0,56 %.
- ^{86}Sr , de masa atómica 85,909 u y abundancia 9,86 %.
- ^{87}Sr , de masa atómica 86,909 u y abundancia 7,02 %.
- ^{88}Sr , de masa atómica 87,906 u y abundancia 82,56 %.

Calcula la masa atómica del Sr.

Hay que averiguar la media ponderada de las masas de los cuatro isótopos, es decir, la media de sus masas teniendo en cuenta, a la vez, la abundancia de cada isótopo. Para ello, multiplicamos la fracción de cada isótopo (porcentaje dividido entre 100) por su masa y sumamos los valores obtenidos:

$$\text{Masa atómica del Sr} = 0,0056 \cdot 83,913 \text{ u} + 0,0986 \cdot 85,909 \text{ u} + 0,0702 \cdot 86,909 \text{ u} + 0,8256 \cdot 87,906 \text{ u} = 0,470 \text{ u} + 8,471 \text{ u} + 6,101 \text{ u} + 72,575 \text{ u} = 87,617 \text{ u}$$

3. ¿Qué son los espectros atómicos? ¿Cómo se explican?

Son una serie de líneas que aparecen, a distintas frecuencias, al descomponer la luz emitida por elementos gaseosos que han sido calentados a altas temperaturas o al aplicar descargas eléctricas en el interior de tubos que contienen esos elementos gaseosos a baja presión.

La explicación es la siguiente: al calentar un elemento gaseoso, o cuando se le aplica una descarga eléctrica, los electrones absorben energía y promocionan a niveles superiores (estado excitado). Cada una de las transiciones electrónicas deja una marca en el espectro a la frecuencia correspondiente.

Puesto que en una muestra de un elemento cualquiera hay billones de átomos, en el espectro estarán representadas todas las posibles transiciones entre niveles y, por consiguiente, aparecerán varias rayas. Dado que algunas de las diferencias de energía entre niveles se corresponden con energías de la luz visible, las transiciones electrónicas correspondientes dejarán rayas coloreadas que pueden ser observadas a simple vista. Las zonas oscuras entre rayas se deben a transiciones prohibidas.

4. ¿En qué consiste el efecto fotoeléctrico? ¿Cómo se explica?

Se denomina efecto fotoeléctrico la emisión de electrones por parte de ciertos metales cuando sobre ellos incide una luz de pequeña longitud de onda (alta frecuencia).

El efecto fotoeléctrico fue interpretado en 1905 por **Albert Einstein**, que se basó para ello en la hipótesis de Planck: cada partícula que compone la luz (fotón) lleva una energía cuantizada ($h\nu$). De este modo, al chocar contra un electrón del metal, consigue arrancarlo. Vence, así, la fuerza de atracción del núcleo, y el exceso de energía se invierte en poner en movimiento al electrón (energía cinética). Es decir:

$$h\nu = h\nu_0 + 1/2 m v^2$$

5. Explica el modelo atómico de Bohr. ¿Cuál es la diferencia entre órbita y orbital?

Los electrones giran en torno al núcleo solo en ciertas órbitas circulares estables (órbitas estacionarias) en las que este movimiento no implica pérdida de energía. No todas las órbitas son posibles; solo lo son aquellas cuya energía adopta unos valores determinados por los de un número cuántico (n). Cuanto más alejada esté la órbita (o nivel) del núcleo, mayor será su energía.

Un electrón puede saltar de una órbita más energética a otra emitiendo el exceso de energía en forma de radiación (o absorbiendo el defecto de energía, si el salto se produce de una órbita menos energética a otra más energética).

Descubrimientos posteriores al modelo atómico de Bohr, como fueron la doble naturaleza de los electrones (partículas y ondas), el principio de Heisenberg (según el cual no es posible localizar con precisión y exactitud a un electrón de determinada energía) o las soluciones de la ecuación de Erwin Schrödinger (los cuatro números cuánticos), entre otros muchos, hicieron que careciera de sentido hablar de órbitas (regiones planas donde la probabilidad de encontrar al electrón era del 100 %) y hubiera que sustituir dicho concepto por el de orbitales, esto es, regiones del espacio (cuya forma puede ser determinada empleando ecuaciones ondulatorias) donde la probabilidad de encontrar el electrón esté comprendida entre un 90 % y un 99 %.

6. Calcula la velocidad a la que salen los electrones arrancados a los átomos de sodio cuando son iluminados con una luz cuya longitud de onda es de 400 nm. Datos: energía de extracción del Na: 2,3 eV; $m_e = 9,11 \cdot 10^{-28}$ kg; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J s; 1 eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J

Aplicando la ecuación del efecto fotoeléctrico $h\nu = E_0 + 1/2 m v^2$, y teniendo en cuenta la relación que existe entre frecuencia y longitud de onda, tenemos que:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (h\nu - E_0)}{m}} = 16829 \text{ m/s}$$

7. ¿Cuál es la causa de la aparición de los diferentes «picos» en un espectrograma de absorción molecular infrarrojo?

Cada pico corresponde a la fracción de radiación infrarroja que ha sido absorbida por la muestra. Esta fracción de radiación absorbida está relacionada con la frecuencia de vibración de los enlaces covalentes de las moléculas que la forman. Cuando la frecuencia de vibración de un enlace coincide con alguna de las frecuencias de la radiación incidente, se produce absorción.

8. Indica los modos de vibración molecular que tiene:

- a) Una molécula diatómica homonuclear. Ninguno.
- b) Una molécula diatómica heteronuclear. Uno (de tensión).
- c) Una molécula poliatómica angular. $3n - 6$ (donde « n » es el número de átomos que tiene la molécula).
- d) Una molécula poliatómica lineal. $3n - 5$.

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

1. La lámina metálica del experimento dirigido por Rutherford:
 - a) Desviaba fuertemente la mayoría de las partículas.
 - b) Desviaba ligeramente muy pocas partículas.
 - c) Desviaba fuertemente muy pocas partículas.
2. Sabiendo que la masa atómica del N es 14, la masa de su ion N^{3-} es:
 - a) 17
 - b) 11
 - c) 14
3. Los núcleos $^{127}_{52}X$ y $^{127}_{53}Y$:
 - a) Pertenecen a átomos que son isótopos.
 - b) Pertenecen a elementos que están colocados uno al lado del otro del sistema periódico.
 - c) No existen.
4. Es lo mismo decir masa atómica de un elemento que:
 - a) Masa atómica de uno de sus átomos.
 - b) Masa promedio de las masas atómicas de los isótopos que contiene.
 - c) Masa de todos sus protones, neutrones y electrones.
5. El fotón emitido en una transición electrónica entre dos niveles cuya diferencia de energía es $2,09 \cdot 10^{-18}$ J:
 - a) Deja una marca en el espectro a una frecuencia de $3,16 \cdot 10^{16} \text{ s}^{-1}$.
 - b) Deja una marca coloreada.
 - c) Deja una marca en el espectro a una longitud de onda de $9,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}$.
6. El Na se convierte en Na^+ al perder un e^- . En consecuencia, si la masa atómica promedio del Na es 23 u, la de su ion es:
 - a) 22 u
 - b) 23 u
 - c) 24 u
7. Los átomos $^{13}_{14}X$ y $^{14}_{15}Y$:
 - a) Son isótopos.
 - b) Están colocados uno al lado del otro en el sistema periódico.
 - c) No existen.
8. El fotón emitido en una transición electrónica entre dos niveles cuya diferencia de energía es $4,8 \cdot 10^{-19}$ J:
 - a) Deja una marca en el espectro a una frecuencia de $7,24 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$.
 - b) Deja una marca en el espectro a una longitud de onda de 414 nm.
 - c) Deja una marca coloreada.

5

ESTEQUIOMETRÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

En la UNIDAD 1 se manejó el concepto de reacción química ligado a la transformación de unas sustancias en otras, justificando el hecho por la reordenación de los átomos. En el primer epígrafe de esta unidad se repasa el concepto de reacción química, así como la forma de representarlas (ecuaciones químicas) y las técnicas de ajuste de las ecuaciones químicas.

En el epígrafe 2 se tratan en profundidad los cambios materiales, estudiando por separado los diversos casos que se pueden presentar: reactivo limitante, reactivos impuros, reactivos en disolución y rendimiento de una reacción.

El dominio por parte del alumnado de todos los cálculos estequiométricos relacionados con las reacciones químicas (determinación de cantidades que reaccionan y/o que se forman) resulta esencial para comprender los estudios posteriores de química. Es conveniente seleccionar el número de ejercicios y problemas para evitar la memorización en su resolución.

Por último, el epígrafe 3 intenta dar una visión somera de los principales tipos de reacciones químicas, atendiendo al tipo de transformación que tiene lugar (combinación, descomposición, sustitución, etc.) y al tipo de partícula transferida (reacciones ácido-base y reacciones de óxido-reducción).

Objetivos

1. Comprender el significado de las ecuaciones químicas, como expresión de las reacciones, en su aspecto estequiométrico.
2. Saber ajustar ecuaciones químicas, haciendo figurar en ellas, de modo correcto, las fórmulas de las sustancias.
3. Aplicar un método sistemático, basado en el concepto de mol, para resolver problemas de cálculos estequiométricos.
4. Clasificar las reacciones químicas en función de la transformación ocurrida y de la partícula transferida.
5. Reconocer las reacciones de combustión como un caso especial de reacciones de óxido-reducción.

Relación de la unidad con las competencias clave

Los dos proyectos de investigación que se incluyen en la unidad van a servir para desarrollar la **competencia lingüística** (en su aspecto gramatical y ortográfico), la **competencia digital**, la **básica en ciencia y tecnología** y el **sentido de iniciativa y espíritu emprendedor**.

El alumnado puede conseguir la **competencia matemática** y la **básica en ciencia y tecnología** trabajando y resolviendo las múltiples actividades y tareas propuestas a lo largo de la unidad así como aprehendiendo la información que contienen los distintos epígrafes.

La inclusión de diez ejercicios resueltos (cuatro en el texto principal y seis en la sección *Estrategias de resolución*), la realización de la práctica de laboratorio propuesta en la sección *Técnicas de trabajo y experimentación*, así como los ejercicios de la sección *Evaluación del final de la unidad*, van a servir para que el estudiante vaya examinando la adecuación de sus acciones y la aproximación a la meta, que no es otra que ser capaz de adquirir y asimilar nuevos conocimientos y llegar a dominar capacidades y destrezas propias del ámbito de las ciencias (aplicables, no obstante, a otros ámbitos). De esta forma desarrollará la competencia **aprender a aprender**.

La sección *Química, tecnología y sociedad*, al describir las dos caras de la química (a través de la obra del químico alemán Fritz Haber), proporciona al alumno un conocimiento y actitud sobre la sociedad (en su concepción dinámica, cambiante y compleja), con los que podrá interpretar fenómenos y problemas, elaborar respuestas y tomar decisiones, así como interactuar con otras personas y grupos conforme a normas basadas en el respeto mutuo; en definitiva trabajar las competencias **social y cívica** y **conciencia y expresiones culturales**.

Temporalización

Se aconseja dedicar seis sesiones al estudio de la unidad.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Reacciones y ecuaciones químicas. <ul style="list-style-type: none"> ■ Reacción química ■ Ecuación química ■ Ajuste de ecuaciones químicas 	1. Formular y nombrar correctamente las sustancias que intervienen en una reacción química dada. 2. Ajustar correctamente las ecuaciones químicas.	1.1. Escribir y ajustar ecuaciones químicas sencillas de distinto tipo: neutralización, oxidación, síntesis, etc. 2.1. Ajustar ecuaciones químicas sencillas de distinto tipo: neutralización, oxidación, síntesis, etc.	A: 1-4, 16-18 ER: 6 AT: 1-4	CMCCT CCL
Estequiometría. <ul style="list-style-type: none"> ■ Diferentes lecturas de las ecuaciones químicas ■ Sistematización de los cálculos ■ Reactivo limitante ■ Reactivos impuros ■ Reactivos en disolución ■ Rendimiento de una reacción 	3. Interpretar las reacciones químicas y resolver problemas en los que intervengan reactivos limitantes, reactivos impuros y cuyo rendimiento no sea completo.	3.1. Interpretar una ecuación química en términos de cantidad de materia, masa, número de partículas o volumen para realizar cálculos estequiométricos en la misma.	A: 5,6 ER: 1-5 AT: 5-9	CMCCT
		3.2. Realizar cálculos estequiométricos, aplicando la ley de conservación de la masa, a distintas reacciones en las que intervengan compuestos en estado sólido, líquido o gaseoso, o en disolución en presencia de un reactivo limitante o un reactivo impuro.	A: 7-12 ER: 1-5 AT: 10-31	
		3.3. Considerar el rendimiento de una reacción en la realización de cálculos estequiométricos.	A: 13-15 ER: 5 AT: 10, 32-35	
Tipos de reacciones químicas. <ul style="list-style-type: none"> ■ En función de la transformación que tiene lugar ■ En función de la partícula transferida 	4. Clasificar las reacciones químicas en función de la transformación ocurrida y de la partícula transferida.	4.1. Distinguir reacciones de combinación, descomposición, sustitución, ácido-base y redox.	A: 15-17 ER: 6 AT: 36-38	CMCCT

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CCL: comunicación lingüística

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Tipos de reacciones químicas.
Presentación

Enlaces web: 1. Ajuste de ecuaciones químicas.
Vídeos: 1. Ajuste por tanteo; 2. Ajuste por el método algebraico.
Práctica de laboratorio: Los iones existen

Enlace web: 1. Estequiometría
Vídeos: 1. Lectura de ecuaciones químicas; 2. Reactivo limitante; 3. Riqueza o % en masa; 4. Reactivos en disolución; 5. Rendimiento de una reacción
Animación: 1. Cálculos estequiométricos
Práctica de laboratorio: 1. Fórmulas y modelos moleculares; 2. Estequiometría de una reacción

Enlace web: 1. Reacciones ácido-base: indicadores; 2. Reacciones redox
Vídeos: 1. Clasificación de las reacciones químicas; 2. Reacción de neutralización
Animación: Reacción química de descomposición
Práctica de laboratorio: 1. Grupos polares y no polares; 2. Propiedades de sustancias con diferentes tipos de enlaces

Unidad 5: Estequiometría de las reacciones químicas

1. Reacciones y ecuaciones químicas

- 1.1. Reacción química
- 1.2. Ecuación química
- 1.3. Ajuste de ecuaciones químicas

2. Estequiometría

- 2.1. Diferentes lecturas de las ecuaciones químicas
- 2.2. Sistematización de los cálculos
- 2.3. Reactivo limitante
- 2.4. Reactivos impuros
- 2.5. Reactivos en disolución
- 2.6. Rendimiento de una reacción

3. Tipos de reacciones químicas

- 3.1. En función de la transformación que tiene lugar
- 3.2. En función de la partícula transferida

Presentación: Ajuste de ecuaciones químicas
Documento: 1. La naturaleza del enlace químico; 2. Tipos de enlace y propiedades

Presentación: Métodos de cálculos estequiométricos
Documento: 1. Ingeniería cristalina; 2. Los enlaces de hidrógeno en la estructura del ADN

Actividades de ampliación: Teoría sobre la disociación electrolítica
Documento: Sherlock Holmes y la tecnología del ADN

BIBLIOGRAFÍA

LÓPEZ PICAZO, S.
Química para la prueba de acceso a la Universidad para mayores de 25 años: Cultiva libros, 2009

Otra forma de enfocar un libro de química: facilitar al alumno exclusivamente los conocimientos necesarios para superar la prueba de acceso, sin perderse en otros aspectos.

FERNÁNDEZ, M. R. y FIDALGO, J. A.
Química general: Everest, 1992. León

Un libro muy completo de química general, válido para Bachillerato, así como los primeros cursos universitarios.

FIDALGO SÁNCHEZ, J. A.
3000 cuestiones y problemas de física y química: Everest, 1996. León. Una amplia colección de cuestiones y problemas, explicados y resueltos, presentados en orden de dificultad creciente.

GALLEGO PICÓ, A. *et al.*
Química Básica: Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2013
Libro asequible para estudiantes que se inician en la Química.

GARCÍA QUISMONDO, J.
Experimentos de química: Akal, 1990. Madrid
Un pequeño manual de prácticas de química muy bien explicadas.

SANTOS BEADE, E.
Estequiometría de las reacciones químicas: Ejercicios resueltos: Bubok, 2008

Una amplia colección de ejercicios de estequiometría.

CABALLERO HURTADO, A.
Cómo resolver problemas de estequiometría: Filarias, 2004
Explicaciones sencillas y útiles sobre cómo resolver problemas de estequiometría.

O'CONNOR, P. R. *et al.*
Química, manual para profesores: Reverté, 1972. Barcelona
Corresponde al proyecto inglés *Química básica Nuffield* para alumnos y alumnas de catorce a dieciséis años. Utiliza algunos términos que ya están obsoletos, pero el texto sigue teniendo un gran valor formativo.

ROSENBERG, J.L.
Teoría y 611 problemas resueltos de química general: McGraw-Hill, 1989 (Serie Shaum). Madrid
Buena colección de cuestiones y problemas de química.

WHITTEN, K. W., GAILEY, K.D. y DAVIS, R. E.
Química general: McGraw-Hill, 1996. Madrid
Se trata de un buen texto de consulta con desarrollos claros y abundantes datos y tablas. Óptimo para alumnos y alumnas de los primeros cursos universitarios pero accesibles al alumnado de Bachillerato.

PARA EL PROFESOR

Química, tecnología y sociedad

Fritz Haber: las dos caras de la química

Técnicas de trabajo y experimentación

Lluvia de oro

Estrategias de resolución y actividades y tareas**Síntesis de la unidad y Autoevaluación****Práctica de laboratorio:**

Electrolisis

Documento: Biografía de Svante August Arrhenius**Práctica de laboratorio:** Una

reacción catalizada

Test de autoevaluación interactiva**Pruebas de evaluación****WEBGRAFÍA****Reacciones químicas**<http://educacion.tv/archivos/2046>

Vídeo breve de Canal Sur Tv que presenta dos reacciones químicas sencillas.

<http://www.educaplus.org/play-69-Ajuste-de-reacciones.html>

Aplicación para ajustar ecuaciones químicas. Se puede acceder a otros contenidos de química.

Estequiometría<http://www.eis.uva.es/~qgintro/esteq/esteq.html>

Recurso muy completo de la Universidad de Valladolid con contenidos teóricos y pruebas de evaluación sobre diversos aspectos de estequiometría.

Reacciones redoxhttp://www.profesorenlinea.cl/Quimica/oxido_reduccion.htm

Descripción teórica sobre los procesos de oxidación-reducción acompañada de algunas cuestiones.

Simulador sobre indicadores ácido-base<http://aulaenred.ibercaja.es/apartado/contenidos-didacticos/>

Recurso del programa Aula en red, de Ibercaja, donde se pueden realizar virtualmente dos prácticas para determinar el pH de diversas sustancias utilizando indicadores.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

ESTEQUIOMETRÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

A modo resumen se introduce la unidad con un texto que puede ser comentado en clase.

Sería interesante proponer a los alumnos que visualicen el vídeo introductorio sobre cuyo objetivo sería comprobar qué recuerdan los alumnos.

Vídeo: TIPOS DE REACCIONES QUÍMICAS

Vídeo de 12 min. de una serie clásica norteamericana, que muestra prácticas de laboratorio y modelos para describir los distintos tipos de reacciones químicas.

PRESENTACIÓN

Presentación en forma de diapositivas de recorrido de la unidad. El profesor la puede utilizar tanto al principio como al final de la unidad.

En el apartado *Conocimientos previos* sería importante preguntar a los alumnos si los recuerdan y que hagan las actividades propuestas en *Comprueba lo que sabes*, para así saber los conocimientos de partida.

1. Reacciones y ecuaciones químicas

(páginas 107/108)

En este epígrafe el profesor deberá recordar a sus alumnos la diferencia entre mezcla y reacción química ya que existe bastante confusión al respecto así como la que existe entre reacción y ecuación química.

1.1. Reacción química

Se explicará que una reacción química no es una simple mezcla, sino un proceso de cambio: unas sustancias de partida (reactivos) se transforman en otras nuevas (productos). Se preguntará al alumnado que indiquen ejemplos de reacciones químicas en el hogar, en la calle y en el laboratorio.

1.2. Ecuación química

La ecuación química es la forma de plasmar (en el papel o en la pizarra) una reacción química. Hay que tranquilizarles al respecto de utilizar indistintamente ambos conceptos ya que se demuestra que no es grave el equívoco.

1.3. Ajuste de ecuaciones químicas

En este epígrafe haremos hincapié en que es la ley de conservación de la masa la que obliga a ajustar las ecuaciones químicas y que el método más rápido es el de tanteo; no obstante, siempre se podrá explicar el método algebraico (que no falla nunca aunque es muy lento). La resolución de las actividades 1, 2, 3 y 4 puede servir para ejercitar el ajuste de ecuaciones químicas.

Enlace web: AJUSTE DE ECUACIONES QUÍMICAS

Página web interactiva para el ajuste de ecuaciones químicas donde se va aumentando, progresivamente, la dificultad.

Vídeo: AJUSTE POR TANTEO

Tutorial en español que muestra el ajuste de ecuaciones químicas por el método de tanteo y que permite enlazar con otros vídeos que muestran el ajuste de ecuaciones químicas por otros métodos como por ejemplo el método algebraico.

Vídeo: AJUSTE POR EL MÉTODO ALGEBRAICO

Tutorial en español que muestra el ajuste de ecuaciones químicas por el método algebraico.

Presentación: AJUSTE DE ECUACIONES QUÍMICAS

Documento: LA NATURALEZA DEL ENLACE QUÍMICO TIPOS DE ENLACE Y PROPIEDADES

2. Estequiometría (páginas 109/111)

Se les debe recordar a los alumnos (ya lo han estudiado en la ESO) el significado del término *estequiometría*.

En este epígrafe es necesario realizar un número conveniente de ejercicios y problemas numéricos en los que se contemplen todas las relaciones cuantitativas que se pueden deducir de una ecuación química: situaciones en las que aparezcan la masa, el volumen en gases y las concentraciones en disoluciones, solo así se podrá abordar con éxito la mayor parte de los contenidos de la química que se estudia en este curso y en el próximo.

Enlace web: ESTEQUIOMETRÍA

Tutorial y ejercicios sobre estequiometría.

2.1. Diferentes lecturas de las ecuaciones químicas

Hay que enseñar al alumnado a interpretar cuantitativamente una ecuación química, explicando las distintas formas de «leerla»: en moléculas, en moles, en masa y en volumen (si la sustancia es gaseosa).

Vídeo: LECTURA DE ECUACIONES QUÍMICAS

Vídeo en español que muestra, experimentalmente, el significado de una ecuación química.

Presentación: MÉTODOS DE CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS

Actividades de refuerzo: PROBLEMAS DE ESTEQUIOMETRÍA

2.2. Sistematización de los cálculos

Resulta muy útil señalar los pasos a seguir (están explicados en el libro del alumno) para realizar cálculos estequiométricos sencillos, del tipo «dato» y «problema». Si el profesor lo considera conveniente, puede sugerir a sus alumnos que los cálculos los hagan siempre en moles, convirtiendo los gramos, el volumen de gas o el volumen de disolución de concentración conocida en moles.

Animación: CALCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS

Animación con ajuste y cálculos estequiométricos en reacciones de combustión de diferentes gases.

2.3. Reactivo limitante

Posteriormente debemos indicar que, de acuerdo con la ley de las proporciones definidas, el primer paso para resolver un problema de estequiometría es encontrar el reactivo limitante, es decir, el reactivo que limita la cantidad de producto que se va a obtener (hay que advertir que no siempre es el que está en menor cantidad). La proporción estequiométrica deberá realizarse con él y no con el reactivo que esté en exceso.

Conocidas las cantidades en gramos de dos reactivos, la forma más sencilla de hallar el reactivo limitante es convertir los gramos a moles y, posteriormente, comparar esos moles con los estequiométricos.

Vídeo: REACTIVO LIMITANTE

Vídeo en español que muestra cómo llevar a cabo un ejercicio de estequiometría en el que debemos encontrar el reactivo limitante.

2.4. Reactivos impuros

Es un hecho muy frecuente que los reactivos utilizados sean impuros. Una simple operación de tanto por ciento nos permitirá obtener la cantidad de sustancia pura que contienen.

Vídeo: RIQUEZA O TANTO POR CIENTO EN MASA

Vídeo en español que muestra cómo llevar a cabo un ejercicio de estequiometría con reactivos impuros.

2.5. Reactivos en disolución

Si el reactivo está en disolución y de la misma se conoce el volumen y la concentración, se puede calcular fácilmente el número de moles de dicho reactivo ($n = MV$), una vez calculado, con él (siempre que sea el reactivo limitante) se harán los cálculos.

Vídeo: REACTIVOS EN DISOLUCIÓN

Vídeo en español que muestra cómo llevar a cabo un ejercicio de estequiometría con reactivos en disolución.

Documento:

INGENIERÍA CRISTALINA LOS ENLACES DE HIDRÓGENO EN LA ESTRUCTURA DEL ADN

2.6. Rendimiento de una reacción

Variadas son las causas por las que al llevar a cabo una reacción química se obtiene menor cantidad de producto de lo que teóricamente cabría esperar: reacciones colaterales, reacciones se-

cundarias, pérdidas de producto, la reacción es muy lenta y la detenemos antes de que finalice del todo, etc. La realización del *Investiga* servirá al alumno para entender cuáles son estas causas.

Vídeo: RENDIMIENTO DE UNA REACCIÓN

Vídeo en español que muestra cómo llevar a cabo un ejercicio de estequiometría en el que el rendimiento de la reacción no es del 100%.

3. Tipos de reacciones químicas

(páginas 112/113)

Se comenzará este epígrafe exponiendo que, debido a la multitud de reacciones químicas existentes, es conveniente clasificarlas, siendo posible establecer diferentes clasificaciones en función de diversos criterios elegidos, por ejemplo, atendiendo al tipo de transformación, al tipo de partícula transferida, etc. incluso, una misma reacción puede pertenecer a más de un tipo dentro de una misma clasificación.

Vídeo: CLASIFICACIÓN DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

Vídeo en español que muestra los principales tipos de reacciones químicas.

3.1. En función de la transformación que tiene lugar

Esta clasificación puede que la conozca el alumno de cursos anteriores. Es importante, después de definir el tipo de reacción, pedir al alumno que de un ejemplo.

Conviene aclarar que no todas las reacciones de combinación son de formación, tan solo aquellas en las que se forma un mol de compuesto a partir de sus elementos en estado natural.

3.2. En función de la partícula transferida

Este epígrafe se ocupa, brevemente, de las reacciones de transferencia de protones (ácido y base) y de las reacciones de transferencia de electrones (oxidación y reducción), de esta forma se irá preparando el terreno para abordar la química del próximo curso.

Al final del epígrafe se estudia un caso especial de reacción de oxidación-reducción: la combustión, donde además de poder aplicar las relaciones entre masas y volúmenes en gases, se puede abordar la utilidad energética de la misma (de gran trascendencia en la evolución del ser humano). El análisis de la gran cantidad de combustiones que se producen en la vida cotidiana permitirá reflexionar sobre la enorme cantidad de gases que diariamente se vierten a la atmósfera, con las consecuencias que esto tiene sobre el medio ambiente, especialmente el aumento del efecto invernadero provocado por el CO_2 .

Enlace web: REACCIONES ACIDO-BASE: INDICADORES

Aplicación interactiva sobre los indicadores en reacciones ácido-base.

Enlace web: REACCIONES REDOX

Tutorial con conceptos básicos sobre la resolución de problemas con reacciones redox.

Vídeo: **REACCIÓN DE NEUTRALIZACIÓN**

Animación:
REACCIÓN QUÍMICA DE DESCOMPOSICIÓN

Documento:
SHERLOCK HOLMES Y LA TECNOLOGÍA DEL ADN

Actividades de ampliación:
TEORÍA SOBRE LA DISOCIACIÓN ELECTROLÍTICA

Práctica de laboratorio:
**GRUPOS POLARES Y NO POLARES
PROPIEDADES DE SUSTANCIAS CON DIFERENTES
TIPOS DE ENLACES**

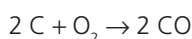
SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 106/113)

Comprueba lo que sabes

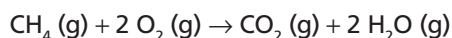
1. ¿Qué es una reacción química? ¿Cómo se produce?

Es aquel proceso por el que unas sustancias (reactivos) se transforman en otras nuevas (productos) mediante rupturas y formaciones de enlaces. Se produce por los choques eficaces de las moléculas reactivas.

2. Ajusta la siguiente ecuación química: $C + O_2 \rightarrow CO$



3. Calcula el volumen de CO_2 , medido en condiciones normales, que se formará al quemar 2 mol de metano según la ecuación química:

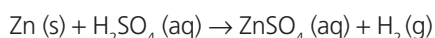


Establecemos la siguiente proporción:

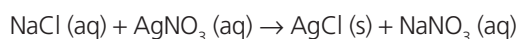
$$\frac{1 \text{ mol de } CH_4}{22,4 \text{ L de } CO_2} = \frac{2 \text{ mol de } CH_4}{x \text{ L de } CO_2} ; x = 44,8 \text{ L de } CO_2$$

Actividades

- 1 Escribe la ecuación química que representa el siguiente proceso: el cinc sólido reacciona con una disolución acuosa de ácido sulfúrico para originar sulfato de cinc (que queda en la disolución) y hidrógeno gaseoso.



- 2 A una disolución acuosa de cloruro de sodio se le añade otra de nitrato de plata, resultando un precipitado blanco de cloruro de plata. Escribe la ecuación química que representa la reacción que ha tenido lugar.

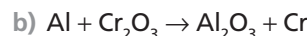


- 3 ¿Están ajustadas estas ecuaciones químicas? Ajustalas si no lo están.

- $CH_4 + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$
- $NH_3 + O_2 \rightarrow NO + H_2O$
- $Al(NO_3)_3 + Na_2S \rightarrow Al_2S_3 + NaNO_3$
- $Mg_3N_2 + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2 + NH_3$
- $KNO_3 \rightarrow O_2 + KNO_2$
- $2 FeS + 7 O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 2 SO_2$
- $CaCO_3 + 2 HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$
- $Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \rightarrow NaOH + CaCO_3$

- $CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$
- $2 NH_3 + 5/2 O_2 \rightarrow 2 NO + 3 H_2O$
- $2 Al (NO_3)_3 + 3 Na_2S \rightarrow Al_2S_3 + 6 NaNO_3$
- $Mg_3N_2 + 6 H_2O \rightarrow 3 Mg (OH)_2 + 2 NH_3$
- $2 KNO_3 \rightarrow O_2 + 2 KNO_2$
- $2 FeS + 7/2 O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 2 SO_2$
- Está ajustada.
- $Na_2CO_3 + Ca (OH)_2 \rightarrow 2 NaOH + CaCO_3$

- 4 Ajusta por el método algebraico estas ecuaciones:

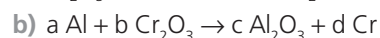
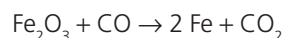


$$Fe: 2a = c$$

$$O: 3a + b = 2d$$

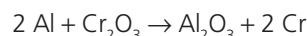
$$C: b = d$$

Suponemos $a = 1$; entonces: $c = 2$; También: $3 + d = 2d$;
 $d = 1$, y por tanto: $b = 1$

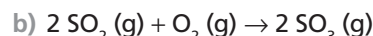
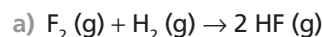


$$Al: a = 2c \quad Cr: 2b = d \quad O: 3b = 3c$$

Suponemos $a = 2$; entonces: $c = 1$; $b = 1$ y: $d = 2$



- 5 Lee de todas las formas posibles las siguientes reacciones:



- a) 1 mol de difluor gaseoso reacciona con 1 mol de hidrógeno gaseoso para dar 2 mol de fluoruro de hidrógeno gaseoso; 38 g de difluor gaseoso reacciona con 2 g de hidrógeno gaseoso para dar 40 g de fluoruro de hidrógeno gaseoso; 22,4 L de difluor gaseoso reacciona con 22,4 L de hidrógeno gaseoso para dar 44,8 L de fluoruro de hidrógeno gaseoso.

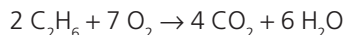
- b) 2 mol de óxido de azufre(IV) gaseoso reaccionan con 1 mol de oxígeno gaseoso para dar 2 mol de óxido de azufre(VI) gaseoso; 128 g de óxido de azufre(IV) gaseoso reaccionan con 32 g de oxígeno gaseoso para dar 160 g de óxido de azufre(VI) gaseoso; 44,8 L de óxido de azufre(IV) gaseoso reaccionan con 22,4 L de oxígeno gaseoso para dar 44,8 L de óxido de azufre(VI) gaseoso.

Todo ello si las condiciones son normales.

6 Se hacen arder, en atmósfera de oxígeno, 30 g de etano (C_2H_6). Calcula:

- El volumen necesario de oxígeno en CN.
- El volumen necesario de oxígeno a $p = 1,5 \text{ atm}$ y $T = 60^\circ \text{C}$.
- El volumen de CO_2 que se ha obtenido en CN.

La ecuación que describe el proceso es:



- Calculamos la masa molar del etano: 30 g/mol.

$$\frac{2 \cdot 30 \text{ g de } C_2H_6}{7 \text{ mol de } O_2} = \frac{30 \text{ g de } C_2H_6}{x \text{ mol de } O_2}; x = 3,5 \text{ mol de } O_2$$

Aplicando la ecuación de los gases ideales y sustituyendo:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{3,5 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 273 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 78,4 \text{ L}$$

- Aplicando la ecuación de los gases ideales y sustituyendo:

$$V' = \frac{nRT'}{p'} = \frac{3,5 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 333 \text{ K}}{1,5 \text{ atm}} = 63,7 \text{ L}$$

- Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{2 \cdot 30 \text{ g de } C_2H_6}{4 \text{ mol de } CO_2} = \frac{30 \text{ g de } C_2H_6}{y \text{ mol de } CO_2}; y = 2 \text{ mol de } CO_2$$

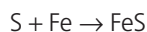
Aplicando la ecuación de los gases ideales y sustituyendo:

$$V'' = \frac{n'RT}{p} = \frac{2 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 273 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 44,8 \text{ L}$$

7 Se hacen reaccionar, a altas temperaturas, 6,4 g de azufre con 6,5 g de hierro, y se obtiene sulfuro de hierro(II).

- ¿Cuál es el reactivo limitante?
- ¿Qué cantidad de producto se ha formado?
- ¿Qué cantidad de reactivo en exceso ha quedado al final de la reacción?

La ecuación que describe el proceso es:



- Relación, en masa, en la que reaccionan el S y el Fe:

$$\frac{32,1 \text{ g de S}}{55,8 \text{ g de Fe}} = 0,58$$

Entonces, para que reaccionen en su totalidad los 6,4 g de azufre sería necesario una cantidad de hierro de:

$$\frac{6,4 \text{ g}}{x} = 0,58; x = \frac{6,4 \text{ g}}{0,58} = 11,0 \text{ g de hierro}$$

Cantidad superior a la que disponemos. Por tanto, el reactivo limitante es el hierro y quien está en exceso es el S.

- Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{32,1 \text{ g de S}}{55,8 \text{ g de Fe}} = \frac{x \text{ g de S}}{6,5 \text{ g de Fe}};$$

$$x = 3,7 \text{ g de S reaccionó}$$

La cantidad de producto formado es:

$$3,7 \text{ g de S} + 6,5 \text{ g de Fe} = 10,2 \text{ g de FeS}$$

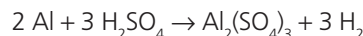
- 6,4 g – 3,7 g = 2,7 g de S sobrante.

8 Se introducen 13,5 g de Al en 500 mL de una disolución 1,7 M de H_2SO_4 . Sabiendo que uno de los productos es dihidrógeno gaseoso, calcula:

La cantidad de H_2SO_4 que queda sin reaccionar.

El volumen de gas obtenido a 27°C y 2 atm.

La ecuación que describe el proceso es:



- Averiguamos cuál es el reactivo limitante:

Sabemos que 54 g de Al reaccionan con 294 g de H_2SO_4 ; entonces, 13,5 g de Al reaccionarán con 73,5 g de H_2SO_4 .

Veamos cuántos gramos de H_2SO_4 contiene la disolución:

$$m = MV \cdot \text{masa molar}$$

$$m = 1,7 \text{ mol/L} \cdot 0,5 \text{ L} \cdot 98 \text{ g/mol} = 83,3 \text{ g de } H_2SO_4$$

Como esta cantidad supera los 73,5 g, el H_2SO_4 está en exceso en 9,8 g y, por tanto, el reactivo limitante es el Al.

- Con el aluminio establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{54 \text{ g de Al}}{3 \text{ mol de } H_2} = \frac{13,5 \text{ g de Al}}{x \text{ mol de } H_2}$$

$$x = 0,75 \text{ mol de } H_2 \text{ gaseoso}$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales:

$$V = \frac{nRT}{p}$$

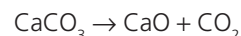
$$V = \frac{0,75 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 300 \text{ K}}{2 \text{ atm}} = 9,23 \text{ L}$$

9 El carbonato de calcio ($CaCO_3$) de las rocas calizas se descompone, al ser calentado, en óxido de calcio (CaO) y dióxido de carbono (CO_2). Calcula:

- La cantidad de CaO que se puede obtener a partir de la descomposición de 1 kg de roca caliza que contiene un 70 % de $CaCO_3$.

- El volumen de CO_2 obtenido a 17°C y 740 mmHg de presión.

La ecuación que describe el proceso es:



- En 1 kg de piedra caliza hay $\frac{1 \cdot 70}{100} = 0,7 \text{ kg}$ de $CaCO_3$.

Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{0,100 \text{ kg de } CaCO_3}{0,056 \text{ kg de CaO}} = \frac{0,7 \text{ kg de } CaCO_3}{x \text{ kg de CaO}}$$

$$x = 0,392 \text{ kg de CaO}$$

b) Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{100 \text{ g de CaCO}_3}{1 \text{ mol de CO}_2} = \frac{700 \text{ g de CaCO}_3}{x \text{ mol de CO}_2}$$

$$x = 7 \text{ mol de CO}_2$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales:

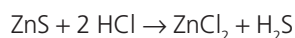
$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{7 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 290 \text{ K}}{\frac{740}{760}} = 171 \text{ L}$$

10 Se desea obtener 45 g de cloruro de cinc haciendo reaccionar un exceso de sulfuro de cinc con la cantidad suficiente de ácido clorhídrico:

a) ¿Qué cantidad de ácido clorhídrico del 30 % se consumirá?

b) ¿Qué volumen de sulfuro de dihidrógeno obtendremos, en condiciones normales?

La ecuación química que representa el proceso es:



a) $\text{ZnS} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{S}$

(2 mol) → (1 mol)

73 g → 136,4 g

x g → 45 g

Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{73 \text{ g de HCl}}{x \text{ g de HCl}} = \frac{136,4 \text{ g de ZnCl}_2}{45 \text{ g de ZnCl}_2}$$

$$x = 24,1 \text{ g de HCl puro}$$

La cantidad necesaria de HCl del 30 % será superior a 24,1 g. Se calcula así:

$$\frac{24,1 \text{ g puros} \cdot 100 \text{ g del } 30\%}{30 \text{ g puros}} =$$

$$= 80,3 \text{ g de HCl del } 30\%$$

b) $\text{ZnS} + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{S}$

136,4 g 22,4 L (en CN)

45 g x L (en CN)

Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{136,4 \text{ g de ZnCl}_2}{45 \text{ g de ZnCl}_2} = \frac{22,4 \text{ L de H}_2\text{S}}{x \text{ L de H}_2\text{S}}$$

$$x = 7,4 \text{ L de H}_2\text{S}$$

11 Al calentar 13,5 g de NH_4HCO_3 impuro se obtienen, además de NH_3 y H_2O , 3,4 L de CO_2 medido en CN. Halla la pureza del NH_4HCO_3 .

La ecuación química que representa el proceso es:



79 g → 22,4 L

x g → 3,4 L

$$\frac{79 \text{ g de NH}_4\text{HCO}_3}{x \text{ g de NH}_4\text{HCO}_3} = \frac{22,4 \text{ L de CO}_2}{3,4 \text{ L de CO}_2}$$

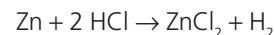
$$x = 12 \text{ g de NH}_4\text{HCO}_3 \text{ puro}$$

$$\frac{12 \text{ g de NH}_4\text{HCO}_3 \text{ puro} \cdot 100 \text{ g del } x \%}{x \text{ g puro } (\%)} = 13,5 \text{ g};$$

$$x = 88,9\%$$

12 Calcula la cantidad mínima de mineral de cinc del 20 % de pureza que se necesita para que reaccione totalmente con 0,5 L de disolución 1 M de HCl. Los productos de la reacción son cloruro de cinc y dihidrógeno.

La ecuación que describe el proceso es:



Hallamos la masa de HCl contenida en la disolución:

$$N = MV = 1 \text{ mol/L} \cdot 0,5 \text{ L} = 0,5 \text{ mol}$$

que equivale a:

$$0,5 \text{ mol} \cdot 36,5 \text{ g/mol} = 18,3 \text{ g de HCl}$$

Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{65,4 \text{ g de Zn}}{73 \text{ g de HCl}} = \frac{x \text{ g de Zn}}{18,3 \text{ g de HCl}}$$

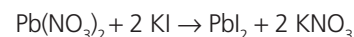
$$x = 16,4 \text{ g de Zn deben reaccionar}$$

Por tanto:

$$\frac{16,4 \text{ g de Zn} \cdot 100}{20 \text{ g de mineral}} = 82 \text{ g de mineral}$$

13 Al reaccionar 500 g de nitrato de plomo(II) con 920 g de yoduro de potasio se obtienen 600 g de yoduro de plomo(II), así como nitrato de potasio. Determina el rendimiento de la reacción y establece cuál de los reactivos está en exceso.

La ecuación que describe el proceso es:



Para el cálculo del rendimiento, previamente se necesita conocer cuál es el reactivo que está en exceso o bien el reactivo limitante; para ello, hacemos uso de la siguiente relación:

$$\frac{331,2 \text{ g de Pb}(\text{NO}_3)_2}{2 \cdot 166 \text{ g de KI}} = \frac{500 \text{ g de Pb}(\text{NO}_3)_2}{x \text{ g de KI}}$$

$$x = 501,2 \text{ g de KI}$$

Como partimos de 920 g de KI, tendremos un exceso de $920 - 501,2 = 418,8 \text{ g}$, que son los gramos de KI que quedan sin reaccionar. Conocido el reactivo limitante, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, se calcula la cantidad de PbI_2 que se obtendría teóricamente:

$$\frac{500 \text{ g de Pb}(\text{NO}_3)_2}{x \text{ g de PbI}_2} = \frac{331,2 \text{ g de Pb}(\text{NO}_3)_2}{461,2 \text{ g de PbI}_2}$$

$$x = 696 \text{ g de PbI}_2 \text{ teóricos}$$

Por tanto, el rendimiento será:

$$\text{rendimiento } (\%) =$$

$$= \frac{\text{masa de producto obtenido realmente}}{\text{masa de producto obtenido teóricamente}} \cdot 100 =$$

$$= \frac{600}{696} \cdot 100 = 86,2\%$$

14 A 100 cm³ de una disolución de NaCl 0,5 M, añadimos exceso de nitrato de plata. a) Escribe la ecuación química ajustada que describe el proceso. b) Averigua la masa de cloruro de plata que obtendremos si el rendimiento es del 55 %.



b) Hallamos la masa de NaCl contenida en la disolución:

$$n = MV = 0,5 \text{ mol/L} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,05 \text{ mol}$$

que equivale a:

$$0,05 \text{ mol} \cdot 58,5 \text{ g/mol} = 2,9 \text{ g de NaCl}$$

Establecemos la siguiente proporción:

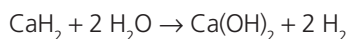
$$\frac{58,5 \text{ g de NaCl}}{143,5 \text{ g de AgCl}} = \frac{2,9 \text{ g de NaCl}}{x \text{ g de AgCl}}$$

$x = 7,1 \text{ g de AgCl}$ se deberían obtener si el rendimiento fuera del 100 %, pero como es del 55 %, se obtendrá:

$$\frac{7,1 \text{ g} \cdot 55}{100} = 3,9 \text{ g de AgCl}$$

15 Al reaccionar 50 g de hidruro de calcio con suficiente agua, se forma dihidrógeno e hidróxido de calcio. Si el rendimiento de la reacción es del 60 %, calcula: a) La cantidad de hidróxido de calcio que se forma. b) El volumen de H₂ obtenido a 780 mmHg y 35°C.

a) La ecuación química que representa el proceso es:



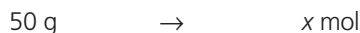
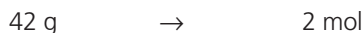
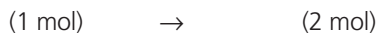
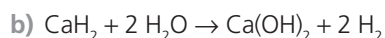
Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{42 \text{ g de CaH}_2}{50 \text{ g de CaH}_2} = \frac{74 \text{ g de Ca(OH)}_2}{x \text{ g de Ca(OH)}_2}$$

$$x = 88,1 \text{ g de Ca(OH)}_2$$

Como el rendimiento del proceso es del 60 %:

$$\frac{88,1 \text{ g} \cdot 60}{100} = 52,9 \text{ g de Ca(OH)}_2$$



Establecemos la siguiente proporción:

$$\frac{42 \text{ g de CaH}_2}{50 \text{ g de CaH}_2} = \frac{2 \text{ mol de H}_2}{x \text{ mol de H}_2}$$

$$x = 2,4 \text{ mol de H}_2$$

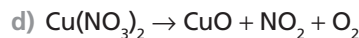
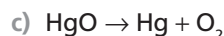
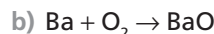
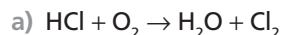
Puesto que el rendimiento del proceso es del 60 %:

$$\frac{2,4 \text{ mol} \cdot 60}{100} = 1,44 \text{ mol de H}_2$$

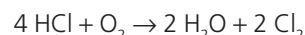
Aplicamos la ecuación de los gases ideales:

$$V = \frac{nRT}{p} = \frac{1,44 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{atm L}}{\text{mol K}} \cdot 308 \text{ K}}{\frac{780}{760}} = 35,4 \text{ L H}_2$$

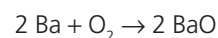
16 Ajusta e indica el tipo de transformación que, en cada caso, ha tenido lugar:



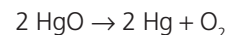
a) De sustitución simple:



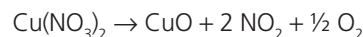
b) De combinación:



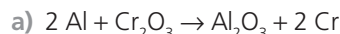
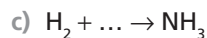
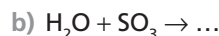
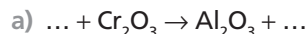
c) De descomposición:



d) De descomposición:



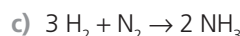
17 Completa estas reacciones, ajústalas y especifica a qué tipo pertenecen:



Es una reacción de sustitución.

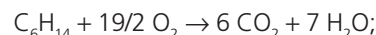


Es una reacción de combinación.

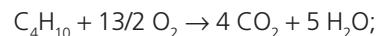


Es una reacción de combinación.

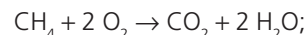
18. Escribe y ajusta la ecuación química que representa la combustión del hexano (C₆H₁₄). ¿Por qué dicha combustión desprende más CO₂ que, por ejemplo, la del butano (C₄H₁₀)? ¿Cuál es el hidrocarburo que menos CO₂ expulsa?



por cada mol de C₆H₁₄ (86 g) se desprende 6 mol de CO₂ (264 g).



por cada mol de C₄H₁₀ (58 g) se desprende 4 mol de CO₂ (176 g).



por cada mol de CH₄ (16 g) se desprende 1 mol de CO₂ (44 g).

Si se quemaran 16 g de C₆H₁₄, C₄H₁₀ y CH₄, se desprenderían, respectivamente, 49,1 g de CO₂, 48,6 g de CO₂ y 44 g de CO₂. Por tanto, este último hidrocarburo es el menos contaminante.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 114)

Análisis

- 1 Explica por qué resultaba tan difícil producir cantidades significativas de amoníaco a partir de dinitrógeno y dihidrógeno. ¿Cómo resolvieron esas dificultades Haber y Bosch?

Porque se necesitaban altas temperaturas (500°C), altas presiones (200 atm) y el empleo de catalizadores desconocidos hasta entonces.

- 2 ¿Qué supuso para la humanidad la síntesis del amoníaco por el procedimiento de Haber?

La fabricación barata de fertilizantes y, con ello, la producción masiva de alimentos.

- 3 ¿Qué es la guerra química?

Es aquella contienda donde se usa las propiedades químicas tóxicas de sustancias químicas para matar, herir o incapacitar al enemigo.

Propuesta de investigación

- 4 Prepara una presentación sobre los aspectos positivos y negativos del desarrollo y utilización de la química. Para ello, puedes tomar como referencia la síntesis del amoníaco por el método de Haber, la tragedia de Bhopal o cualquier otro episodio que conozcas.

RESPUESTA LIBRE.

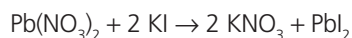
Documento:

BIOGRAFÍA DE SVANTE AUGUST ARRHENIUS

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 115)

Cuestiones

- 1 Escribe la ecuación química que representa la reacción que se ha producido al mezclar las dos disoluciones. ¿Qué le ocurre al nitrato de potasio formado en el proceso?



El nitrato de potasio formado queda disuelto (en forma iónica) en la disolución.

- 2 ¿Cómo influye la temperatura en la solubilidad del PbI_2 ?

Al aumentar la temperatura aumenta la solubilidad de PbI_2 , lo demuestra el hecho de que el precipitado se disuelve al calentar.

- 3 Las variedades alotrópicas, ¿presentan las mismas propiedades físicas y químicas?

Las variedades alotrópicas presentan diferentes propiedades debido a que poseen diferente estructura (diferente disposición espacial de sus átomos).

- 4 Elabora un informe de la práctica.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 118/119)

Reacción y ecuación química

- 1 ¿Cuál es la diferencia entre mezcla y reacción química?

Las mezclas son combinaciones de dos o más sustancias puras que no están químicamente unidas, por lo que cada una mantiene su propia composición y propiedades. Una reacción química es un proceso en el que una o más sustancias (reactivos) se transforman en otra u otras sustancias de distinta naturaleza (productos).

- 2 ¿Por qué hay que ajustar las ecuaciones químicas? Ajusta las siguientes:

- a) $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
 b) $\text{HBF}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + \text{HF}$
 c) $\text{C}_4\text{H}_{10} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 d) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{CuO} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$
 e) $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaSiO}_3 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
 f) $\text{BCl}_3 + \text{P}_4 + \text{H}_2 \rightarrow \text{BP} + \text{HCl}$
 g) $\text{HClO}_4 + \text{P}_4\text{O}_{10} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Cl}_2\text{O}_7$
 h) $\text{KI} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{PbI}_2$

Ajustar una ecuación química es encontrar unos coeficientes que, colocados delante de las fórmulas, consigan que se verifique la ley de conservación de la masa o de Lavoisier. Es necesario hacerlo para poder calcular estequiométricamente las cantidades de sustancias.

- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2 \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{HBF}_4 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + 4 \text{HF}$
- $\text{C}_4\text{H}_{10} + 13/2 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2\text{O}$
- $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{CuO} + 2 \text{NO}_2 + 1/2 \text{O}_2$
- $2 \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CaSiO}_3 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
- $4 \text{BCl}_3 + \text{P}_4 + 6 \text{H}_2 \rightarrow 4 \text{BP} + 12 \text{HCl}$
- $12 \text{HClO}_4 + \text{P}_4\text{O}_{10} \rightarrow 4 \text{H}_3\text{PO}_4 + 6 \text{Cl}_2\text{O}_7$
- $2 \text{KI} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow 2 \text{KNO}_3 + \text{PbI}_2$

3 Escribe las ecuaciones ajustadas que representan las siguientes reacciones químicas:

- Al calentar carbonato de amonio se liberan amoníaco, dióxido de carbono y agua.
- Al calentar óxido de mercurio(II) sólido, este se descompone y produce mercurio líquido y oxígeno gas.
- El cloruro de hierro(III) reacciona con el cloruro de estaño(II) para producir cloruro de hierro(II) y cloruro de estaño(IV).

- $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow 2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $2 \text{HgO} (\text{s}) \rightarrow 2 \text{Hg} (\text{l}) + \text{O}_2 (\text{g})$
- $2 \text{FeCl}_3 + \text{SnCl}_2 \rightarrow 2 \text{FeCl}_2 + \text{SnCl}_4$

4 Completa y ajusta las reacciones entre:

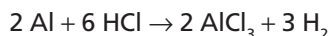
- El ácido clorhídrico y el hidróxido de calcio.
 - El ácido fluorhídrico y el hidróxido de aluminio.
- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{HF} \rightarrow \text{AlF}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$

Estequiometría

5 ¿Qué se entiende por estequiometría?

Estequiometría son todos aquellos cálculos aritméticos que se han de realizar en el estudio de una reacción química.

6 «Lee» en gramos la siguiente reacción:



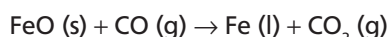
54 g de aluminio reaccionan con 219 g de cloruro de hidrógeno para dar 267 g de cloruro de aluminio y 6 g de hidrógeno.

7 «Lee» en moles la reacción del ejercicio anterior.

2 mol de aluminio reaccionan con 6 mol de cloruro de hidrógeno para dar 2 mol de cloruro de aluminio y 3 mol de hidrógeno.

8 El óxido de hierro(II) (s) reacciona con el monóxido de carbono (g) para originar hierro (l) y dióxido de carbono (g). Ajusta la ecuación y contesta las siguientes preguntas:

- ¿Qué cantidad de CO_2 se forma por cada 5 mol de hierro que se originan?
- ¿Qué cantidad de CO se necesita para producir 15 mol de hierro?



- Por cada mol de Fe se forma 1 mol de CO_2 ; entonces, por cada 5 mol de Fe se formarán 5 mol de CO_2 .
- Se necesita 1 mol de CO para formar 1 mol de Fe; entonces, 15 mol de Fe necesitarán 15 mol de CO.

9 El hierro y el azufre reaccionan mediante calentamiento para formar sulfuro de hierro(III).

- Escribe y ajusta la ecuación que representa el proceso.
 - Calcula los átomos de hierro que reaccionan con un mol de átomos de azufre.
 - ¿A cuántos gramos de hierro equivalen esos átomos?
- $2 \text{Fe} + 3 \text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3$
 - Establecemos la siguiente proporción:

Si 3 mol de átomos de S reaccionan con $2 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}$ átomos de Fe, con 1 mol de átomos de S reaccionarán x átomos de Fe:

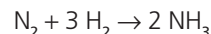
$$x = 2/3 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Fe} = 4,01 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Fe}$$

- Si 1 mol de Fe equivale a $6,022 \cdot 10^{23}$ átomos de Fe, $4,01 \cdot 10^{23}$ átomos de Fe equivaldrán a 0,666 mol de Fe; entonces:

$$\frac{1 \text{ mol de Fe}}{56 \text{ g de Fe}} = \frac{0,666 \text{ mol de Fe}}{x \text{ g de Fe}}$$

$$x = 37,3 \text{ g de Fe}$$

10 Calcula la masa de NH_3 que puede obtenerse con 10 L de H_2 (medidas en CN) y con exceso de N_2 , si el rendimiento de la reacción es del 70 %.



Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{3 \cdot 22,4 \text{ L de H}_2}{2 \cdot 17 \text{ g de NH}_3} = \frac{10 \text{ L de H}_2}{x \text{ g de NH}_3}$$

$$x = 5,06 \text{ g de NH}_3$$

Pero como el rendimiento de la reacción es del 70 %, entonces $5,06 \text{ g} \cdot 70/100 = 3,5 \text{ g de NH}_3$.

11 Sea la reacción química representada por la siguiente ecuación sin ajustar: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HBr} \rightarrow \text{SO}_2 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$; si reaccionan 2 mol de HBr, calcula:

- La masa mínima de H_2SO_4 necesaria para ello.
 - La masa de Br_2 obtenida.
 - El volumen de SO_2 , medido a 20°C y 1 atm, que se desprende.
- $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2 \text{HBr} \rightarrow \text{SO}_2 + \text{Br}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$.
La estequiometría entre H_2SO_4 y HBr es 1:2; es decir, reacciona 1 mol de H_2SO_4 con 2 mol de HBr. Por tanto la solución es: 1 mol de H_2SO_4 , o lo que es lo mismo, 98 g de H_2SO_4 .
 - Por cada 2 mol de HBr se produce 1 mol de Br_2 ; por tanto esta es la solución, o lo que es lo mismo: 160 g.
 - Por cada 2 mol de HBr se produce 1 mol de SO_2 ; aplicando la ecuación de los gases ideales:

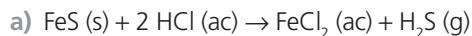
$$PV = nRT$$

$$1 \text{ atm} \cdot V = 1 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} / \text{mol K} \cdot 293 \text{ K}$$

$$V = 24,03 \text{ L}$$

12 El sulfuro de hidrógeno se puede obtener tratando ácido clorhídrico con sulfuro de hierro(II):

- a) Escribe y ajusta la ecuación química correspondiente.
 b) Calcula el volumen de sulfuro de hidrógeno que se obtendrá en condiciones normales si se hacen reaccionar 176 g de sulfuro de hierro(II).

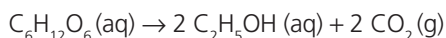


b) Planteamos la siguiente relación:

$$\frac{88 \text{ g de FeS}}{176 \text{ g de FeS}} = \frac{1 \text{ mol de H}_2\text{S}}{x \text{ mol de H}_2\text{S}}$$

$$x = 2 \text{ mol, que equivalen a } 44,8 \text{ L en condiciones normales.}$$

13 La fermentación de glucosa, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (aq), produce etanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (aq), y dióxido de carbono (g). ¿Cuántos gramos de etanol se pueden producir a partir de 100 g de glucosa?



planteamos la siguiente relación:

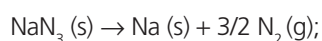
$$\frac{180 \text{ g de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{100 \text{ g de C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = \frac{92 \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH}}{x \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH}}$$

$$x = 51,1 \text{ g}$$

14 La azida de sodio (NaN_3) es un sólido blanco que, al descomponerse, produce sodio y gas dinitrógeno. Su uso en los *airbags* de los automóviles se debe a que su descomposición es muy rápida y el dinitrógeno liberado infla la bolsa elástica que nos protegerá del choque. El calor necesario para la descomposición de la azida se consigue gracias a unos sensores que, cuando detectan el choque, encienden una mezcla formada por B y KNO_3 .

Sabiendo que la azida se descompone en su totalidad en 40 ms, calcula el volumen de N_2 , medido a 20°C y 1 atm, que es capaz de liberar 30 g de azida.

La ecuación que describe el proceso es:



establecemos la relación:

$$\frac{65 \text{ g de NaN}_3}{30 \text{ g de NaN}_3} = \frac{1,5 \text{ mol de N}_2}{x \text{ mol de N}_2}$$

$$x = 0,69 \text{ mol de N}_2$$

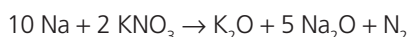
Aplicamos $PV = nRT$;

$$1 \text{ atm} \cdot V = 0,69 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L/mol K} \cdot 293 \text{ K}$$

$$V = 16,6 \text{ L de N}_2$$

15 En la reacción anterior, el Na producido reacciona con el KNO_3 según la reacción sin ajustar: $\text{Na} + \text{KNO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{N}_2$. Calcula la masa de KNO_3 necesaria para reaccionar completamente con 2 g de Na.

La ecuación del proceso:



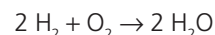
Establecemos la relación:

$$\frac{230 \text{ g de Na}}{2 \text{ g de Na}} = \frac{202 \text{ g de KNO}_3}{x \text{ g de KNO}_3}$$

$$x = 1,76 \text{ g de KNO}_3$$

Reactivo limitante

16 ¿Cuántas moléculas de agua se formarán si se hacen reaccionar 1000 moléculas de H_2 con otras 1000 de O_2 ? ¿Y si se hacen reaccionar 15 mol de H_2 con 5 mol de O_2 ? ¿Y si reaccionan 10 g de H_2 con 10 g de O_2 ?

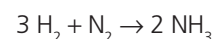


Como la estequiometría entre el H_2 y el O_2 es 2:1, se tiene que:

- a) 1000 moléculas de H_2 reaccionan con 500 moléculas de O_2 (quedando sin reaccionar las otras 500 moléculas de O_2) originando 1000 moléculas de H_2O .
 b) 10 mol de H_2 reaccionarán con 5 mol de O_2 originando 10 mol de H_2O (quedando sin reaccionar 5 mol de H_2).
 c) 1,25 g de H_2 reaccionan con 10 g de O_2 originando 11,25 g de H_2O (quedando sin reaccionar 8,75 g de H_2).

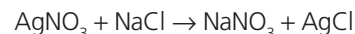
17 Se hacen reaccionar 20 g de H_2 con 100 g de N_2 . Calcula la masa de NH_3 que se obtendrá.

La ecuación que representa el proceso es:



la relación entre el H_2 y el N_2 es: 6 g de H_2 con 28 g de N_2 , o lo que es lo mismo: 20 g de H_2 con 93,3 g de N_2 , originando 113,3 g de NH_3 (quedando sin reaccionar 6,7 g de N_2).

18 Se mezclan dos disoluciones, una de AgNO_3 y otra de NaCl , cada una de las cuales contiene 20 g de cada sustancia. Halla la masa de AgCl que se forma.



Hay que encontrar el reactivo limitante. Para ello, establecemos la siguiente relación estequiométrica:

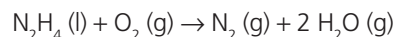
170 g de AgNO_3 reaccionan con el NaCl suficiente para dar 143,5 g de AgCl .

20 g de AgNO_3 reaccionarán con una cantidad inferior a 20 g de NaCl para dar x g de AgCl :

$$x = 16,9 \text{ g de AgCl}$$

El reactivo limitante es, pues, el AgNO_3 .

19 La reacción de combustión de la hidracina, $\text{NH}_2\text{-NH}_2$ (l), utilizada como combustible en los cohetes espaciales, proporciona N_2 (g) y H_2O (g). Calcula el volumen de N_2 , medido en CN, que se formarán a partir de 1 kg de hidracina y 1,5 kg de oxígeno.



La relación entre N_2H_4 y O_2 es: 32 g de N_2H_4 reaccionan con 32 g de O_2 , o lo que es lo mismo: 1000 g de N_2H_4 reaccionan con 1000 g de O_2 , siendo la hidracina el reactivo limitante. Planteamos la siguiente relación:

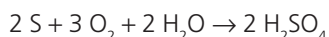
$$\frac{32 \text{ g de N}_2\text{H}_4}{1000 \text{ g de N}_2\text{H}_4} = \frac{1 \text{ mol de N}_2}{x \text{ mol de N}_2}$$

$$x = 31,25 \text{ mol; es decir: } 22,4 \text{ L/mol} \cdot 31,25 \text{ mol} = 700 \text{ L}$$

Reactivos impuros

20 La ecuación sin ajustar que resume el proceso de obtención de H_2SO_4 es: $\text{S} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$

¿Qué masa de H_2SO_4 se podrá obtener a partir de 1 kg de un azufre del 98 % de pureza?



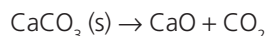
La cantidad de azufre puro es: $1000 \text{ g} \cdot 0,98 = 980 \text{ g}$; con esta cantidad establecemos la siguiente relación:

$$\frac{64 \text{ g de S}}{980 \text{ g de S}} = \frac{196 \text{ g de H}_2\text{SO}_4}{x \text{ g de H}_2\text{SO}_4}$$

$$x = 3001,25 \text{ g}$$

- 21) Calcula la masa de cal viva (CaO) que se obtiene al calentar 100 kg de piedra caliza que contiene un 80% de CaCO_3 .

La ecuación que describe el proceso es:



Masa molar $_{\text{CaCO}_3} = 100 \text{ g}$; masa molar $_{\text{CaO}} = 56 \text{ g}$.

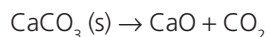
Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{100 \text{ kg de CaCO}_3}{80 \text{ kg de CaCO}_3} = \frac{56 \text{ kg de CaO}}{x \text{ kg de CaO}}$$

$$x = 44,8 \text{ kg}$$

- 22) Determina la pureza de un mineral de carbonato de calcio si con 500 g del mismo, al descomponerse térmicamente en óxido de calcio y CO_2 , podemos obtener 20 L de CO_2 en condiciones normales.

La ecuación que describe el proceso es:



Masa molar $_{\text{CaCO}_3} = 100 \text{ g}$.

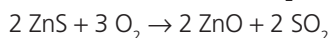
Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{100 \text{ g de CaCO}_3}{x \text{ g de CaCO}_3} = \frac{22,4 \text{ L de CO}_2}{20 \text{ L de CO}_2}$$

$$x = 89,3 \text{ g}$$

Por tanto: $\frac{89,3 \text{ g} \cdot 100}{500 \text{ g}} = 17,86 \%$

- 23) Un mineral contiene un 80% de sulfuro de cinc. Calcula la masa de O_2 necesaria para que reaccionen 445 g de mineral (se forman óxido de cinc y SO_2).



Calculamos la masa de ZnS que contiene el mineral:

$$445 \text{ g} \cdot \frac{80}{100} = 356 \text{ g de ZnS}$$

Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{2 \cdot 97,4 \text{ g de ZnS}}{3 \cdot 32 \text{ g de O}_2} = \frac{356 \text{ g de ZnS}}{x \text{ g de O}_2}$$

$$x = 175,4 \text{ g de O}_2$$

- 24) El clorato de potasio se descompone en cloruro de potasio y oxígeno. ¿Qué volumen de oxígeno a 300 K y 770 mmHg se obtendrá por descomposición de 500 g de un clorato de potasio del 90% de pureza?



$$500 \text{ g} \cdot 0,9 = 450 \text{ g de KClO}_3 \text{ puro.}$$

Establecemos la relación:

$$\frac{122,5 \text{ g de KClO}_3}{450 \text{ g de KClO}_3} = \frac{1,5 \text{ mol de O}_2}{x \text{ mol de O}_2}$$

$$x = 5,51 \text{ mol de O}_2$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales:

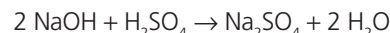
$$PV = nRT$$

$$\frac{770}{760} \text{ atm} \cdot V = 5,51 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 300 \text{ K}$$

$$V_{\text{O}_2} = 133,8 \text{ L}$$

Reactivos en disolución

- 25) ¿Qué volumen de disolución de H_2SO_4 0,1 M se necesita para neutralizar 10 mL de disolución 1 M de NaOH?



$$n(\text{NaOH}) = VM = 0,01 \text{ L} \cdot 1 \text{ mol/L} = 0,01 \text{ mol de NaOH}$$

Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{2 \text{ mol de NaOH}}{1 \text{ mol de H}_2\text{SO}_4} = \frac{0,01 \text{ mol de NaOH}}{x \text{ mol de H}_2\text{SO}_4}$$

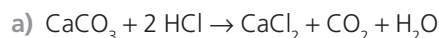
$$x = 0,005 \text{ mol de H}_2\text{SO}_4$$

$$\text{Como } V = \frac{n}{M'} = \frac{0,005 \text{ mol}}{0,1 \text{ mol/L}} = 0,05 \text{ L} = 50 \text{ mL}$$

- 26) Se tratan 200 g de carbonato de calcio con una disolución 4 M de ácido clorhídrico. Determina:

a) El volumen de disolución necesario para que reaccione todo el carbonato.

b) El volumen de CO_2 obtenido a 15°C y 750 mmHg.



$$\frac{100 \text{ g de CaCO}_3}{73 \text{ g de HCl}} = \frac{200 \text{ g de CaCO}_3}{x \text{ g de HCl}}$$

$$x = 146 \text{ g de HCl}$$

Entonces:

$$n = \frac{146 \text{ g}}{36,5 \text{ g/mol}} = 4 \text{ mol de HCl}$$

Como $M = \frac{n}{V}$, entonces, el volumen es:

$$V = \frac{n}{M} = \frac{4 \text{ mol}}{4 \text{ mol/L}} = 1 \text{ L de disolución}$$

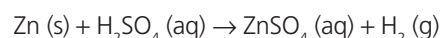
$$\text{b) } \frac{100 \text{ g de CaCO}_3}{1 \text{ mol de CO}_2} = \frac{200 \text{ g de CaCO}_3}{x \text{ mol de CO}_2}$$

$$x = 2 \text{ mol de CO}_2$$

Como entonces, el volumen será: $V = nRT/p$; sustituimos datos:

$$V = \frac{2 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 288 \text{ K}}{\frac{750}{760} \text{ atm}} = 47,86 \text{ L}$$

- 27) Calcula la masa de sulfato de cinc obtenida al reaccionar 100 g de Zn con 150 mL de H_2SO_4 1 M. ¿Sobrarán algo de alguno de los reactivos? ¿De cuál?



Lo primero que hacemos es averiguar el número de moles de cada especie:

$$n_{\text{Zn}} = 100 \text{ g} / 65,4 \text{ g/mol} = 1,53 \text{ mol}; n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = MV = 1 \cdot 0,15 = 0,15 \text{ mol.}$$

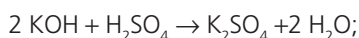
Como la estequiometría en ambos compuestos es 1:1 quiere decir que 0,15 mol de Zn reaccionarán completamente con 0,15 mol de H_2SO_4 produciendo 0,15 mol de $ZnSO_4$, que equivale a una masa de: $0,15 \text{ mol} \cdot 161,4 \text{ g/mol} = 24,21 \text{ g}$ de $ZnSO_4$

El reactivo que está en exceso es el Zn, sobrará:

$$1,53 \text{ mol} - 0,15 \text{ mol} = 1,38 \text{ mol}.$$

- 28** Calcula la molaridad de una disolución de KOH sabiendo que son necesarios 0,5 L de la misma para neutralizar 500 mL de una disolución de H_2SO_4 0,5 M.

La ecuación que representa esa reacción es la siguiente:



Se observa que la estequiometría entre la base y el ácido es 2:1; por tanto:

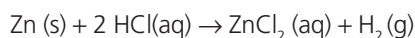
$$2 M_1 V_1 = M_2 V_2;$$

Sustituyendo:

$$2 M_1 \cdot 0,5 \text{ L} = 0,5 \text{ mol/L} \cdot 0,5 \text{ L}; M_1 = 0,25 \text{ mol/L}$$

- 29** Una muestra de 5 g de un mineral de Zn necesita 10 mL de HCl comercial del 37 % de riqueza, en peso y densidad 1,19 g/mL, para reaccionar totalmente. Halla:

- La masa de cinc que contenía la muestra.
- La pureza del mineral de cinc.
- La presión que ejercerá el hidrógeno recogido en un recipiente de 2 L y a una temperatura de 20°C.



- a) Hallamos la masa de HCl puro existente en los 10 ml:

$$m_{\text{disolución}} = \rho V = 1,19 \text{ g/mL} \cdot 10 \text{ mL} = 11,9 \text{ g de HCl del } 37 \%;$$

por tanto:

$$11,9 \text{ g} \cdot 0,37 = 4,4 \text{ g de HCl puro},$$

que equivalen a:

$$4,4 \text{ g} / 36,5 \text{ g/mol} = 0,12 \text{ mol de HCl}$$

Establecemos la relación: $65,4 \text{ g de Zn} / x \text{ g de Zn} = 2 \text{ mol de HCl} / 0,12 \text{ mol de HCl}$; $x = 3,92 \text{ g de Zn}$.

- b) La pureza del mineral será: $3,92 \text{ g} \cdot 100 / 5 \text{ g} = 78,4 \%$

- c) Establecemos la relación:

$$2 \text{ mol de HCl} / 0,12 \text{ mol de HCl} = 1 \text{ mol de H}_2 / x \text{ mol de H}_2;$$

$$x = 0,06 \text{ mol de H}_2,$$

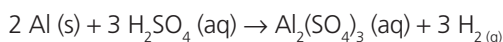
Aplicamos la ecuación de los gases ideales:

$$pV = nRT;$$

$$p \cdot 2 \text{ L} = 0,06 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 293 \text{ K}; p = 0,72 \text{ atm}$$

- 30** Se tratan 10 g de aluminio en polvo con 100 mL de disolución 9 M de H_2SO_4 . Calcula:

- El reactivo que está en exceso.
 - La cantidad de sulfato de aluminio que se producirá.
 - El volumen de H_2 gaseoso que se obtendrá en la reacción, medido a 1,1 atm y 25°C.
- a) La ecuación del proceso principal es:



Lo primero que hacemos es averiguar el número de moles de cada especie:

$$n_{\text{Al}} = 10 \text{ g} / 27 \text{ g/mol} = 0,37 \text{ mol};$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = MV = 9 \cdot 0,1 = 0,9 \text{ mol}.$$

Como la estequiometría en ambos compuestos es 2:3 quiere decir que 0,37 mol de Al reaccionarán completamente con $0,37 \cdot 3/2 = 0,556 \text{ mol}$ de H_2SO_4 (está en exceso el H_2SO_4) produciendo $0,37 \text{ mol} / 2 = 0,185 \text{ mol}$ de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y $0,56 \text{ mol}$ de H_2 .

- b) Los 0,185 mol de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ equivalen a una masa de: $0,185 \text{ mol} \cdot 342 \text{ g/mol} = 63,3 \text{ g}$ de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

- c) Aplicamos: $PV = nRT$;

$$1,1 \text{ atm} \cdot V = 0,556 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atmL/mol K} \cdot 298 \text{ K};$$

$$V = 12,4 \text{ L}$$

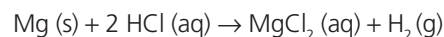
Nota: El proceso descrito anteriormente es el principal, pero también se da el siguiente:



- 31** Se añaden 100 mL de una disolución de HCl 0,25 M a magnesio en exceso. Calcula:

- La masa de magnesio que podrá ser atacada.
- El volumen de H_2 desprendido, medido a 25°C y 760 mmHg de presión.

La ecuación que describe el proceso es:



Hallamos el número de moles iniciales de HCl:

$$n = MV = 0,25 \text{ mol/L} \cdot 0,1 \text{ L} = 0,025 \text{ mol}$$

- a) Establecemos la relación:

$$\frac{24,3 \text{ g de Mg}}{x \text{ g de Mg}} = \frac{2 \text{ mol de HCl}}{0,025 \text{ mol de HCl}}$$

$$x = 0,30 \text{ g}$$

- b) Establecemos la relación:

$$\frac{2 \text{ mol de HCl}}{0,025 \text{ mol de HCl}} = \frac{1 \text{ mol de H}_2}{x \text{ mol de H}_2}$$

$$x = 0,0125 \text{ mol}$$

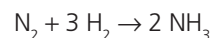
Aplicamos la ecuación de los gases ideales: $PV = nRT$;

$$1 \text{ atm} \cdot V = 0,0125 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atmL/mol K} \cdot 298 \text{ K};$$

$$V = 0,31 \text{ L}$$

Rendimiento de una reacción

- 32** Calcula la masa de NH_3 que puede obtenerse con 10 L de H_2 , medidos en CN y con exceso de N_2 , si el rendimiento de la reacción es del 70 %.



Aplicamos la siguiente relación:

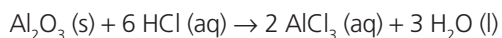
$$\frac{3 \cdot 22,4 \text{ L de H}_2}{2 \cdot 17 \text{ g de NH}_3} = \frac{10 \text{ L de H}_2}{x \text{ g de NH}_3}$$

$$x = 5,06 \text{ g de NH}_3$$

Pero como el rendimiento de la reacción es del 70 %, entonces $5,06 \text{ g} \cdot 70/100 = 3,5 \text{ g}$ de NH_3 .

- 33** Al reaccionar 10 g de óxido de aluminio con exceso de ácido clorhídrico se obtienen 24,12 g de cloruro de aluminio. Calcula el rendimiento de la reacción.

La ecuación del proceso es:



La relación:

$$\frac{102 \text{ g de Al}_2\text{O}_3}{10 \text{ g de Al}_2\text{O}_3} = \frac{267 \text{ g de AlCl}_3}{x \text{ g de AlCl}_3}$$

$$x = 26,18 \text{ g de AlCl}_3$$

Como tan solo se obtienen 24,12 g, el rendimiento de la reacción es:

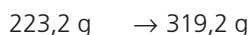
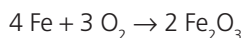
$$24,12 \text{ g} \cdot 100/26,18 \text{ g} = 92,1 \%$$

- 34 En la oxidación de 80 g de hierro con el suficiente O_2 se obtienen 95 g de óxido de hierro(III). Calcula:

a) El rendimiento de la reacción.

b) La cantidad de hierro que no se ha oxidado.

a) La ecuación que describe el proceso es:



$$\frac{223,2 \text{ g de Fe}}{80 \text{ g de Fe}} = \frac{319,2 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3}{x \text{ g de Fe}_2\text{O}_3}$$

$$x = 114,4 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3$$

Como tan solo se obtienen 95 g de Fe_2O_3 , el rendimiento será:

$$\frac{114,4 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3}{100 \%} = \frac{95 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3}{x \%}$$

$$x = 83 \%$$

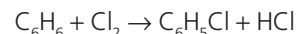
b) $4 \text{Fe} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3$



$$\frac{223,2 \text{ g de Fe}}{x \text{ g de Fe}} = \frac{319,2 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3}{95 \text{ g de Fe}_2\text{O}_3}$$

$$x = 66,4 \text{ g de Fe}$$

- 35 El clorobenceno, $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, se obtiene a partir de la siguiente reacción: $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{Cl} + \text{HCl}$. Averigua la cantidad de benceno (C_6H_6) necesaria para obtener 1 kg de $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$, si el rendimiento es del 70 %.



Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{78 \text{ g de C}_6\text{H}_6}{112,5 \text{ g de C}_6\text{H}_5\text{Cl}} = \frac{x \text{ g de C}_6\text{H}_6}{\left(1000 \cdot \frac{100}{70}\right) \text{ g de C}_6\text{H}_5\text{Cl}}$$

$$x = 990,5 \text{ g de C}_6\text{H}_6$$

Tipos de reacciones químicas

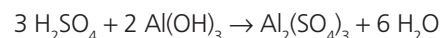
- 36 ¿Qué tipos de reacciones químicas conoces?

- Reacciones de formación o de síntesis.
- Reacciones de descomposición.
- Reacciones de sustitución.
- Reacciones de neutralización.
- Reacciones de oxidación-reducción.

- 37 ¿Qué es un ácido? ¿Qué es una base? ¿Qué significa reducción? ¿Y oxidación?

Ácido es toda sustancia que disuelta en agua se disocia liberando iones H^+ . Base es toda sustancia que disuelta en agua se disocia liberando iones OH^- . Todo proceso en el que se ganan electrones se llama reducción. Y si se pierden electrones se llama oxidación.

- 38 Escribe la ecuación química (ajustada) correspondiente a la neutralización del ácido sulfúrico y el hidróxido de aluminio.

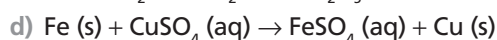
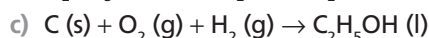
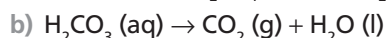
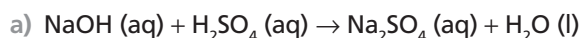


SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 121)

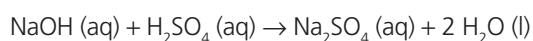
1. ¿Cuál es la diferencia entre reacción y ecuación química? Pon un ejemplo que lo muestre.

Una reacción química es un proceso por el que unas sustancias se transforman en otras distintas y ecuación química es la representación simbólica de dicho proceso.

2. Ajusta y después clasifica las siguientes reacciones químicas:



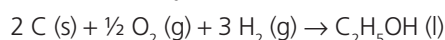
- a) Reacción de doble sustitución y también ácido-base:



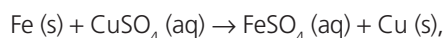
- b) Reacción de descomposición:



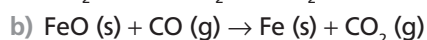
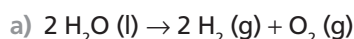
- c) Reacción de formación y también redox:



- d) Reacción sustitución y también redox:



3. Interpreta, en términos de mol, masa, número de partículas y volumen, las ecuaciones siguientes:



- a) 2 mol de H_2O líquida se descomponen originando 2 mol de H_2 gaseoso y 1 mol de O_2 gaseoso; 36 g de H_2O líquida se descomponen originando 4 g de H_2 gaseoso y 32 g de O_2 gaseoso; $12,04 \cdot 10^{23}$ moléculas de H_2O se descomponen originando $12,04 \cdot 10^{23}$ moléculas de H_2 y $6,02 \cdot 10^{23}$ moléculas de O_2 ; 2 mol de H_2O líquida se descomponen originando 44,8 L de H_2 gaseoso medido en CN y 22,4 L de O_2 gaseoso medido en CN.

- b) 1 mol de FeO sólido reacciona con 1 mol de CO gaseoso para dar 1 mol de Fe sólido y 1 mol de CO_2 gas; 71,8 g de FeO sólido reaccionan con 28 g de CO gaseoso para dar 55,8 g de Fe sólido y 44 g de CO_2 gas; $6,02 \cdot 10^{23}$ partículas de FeO reaccionan con $6,02 \cdot 10^{23}$ moléculas de CO para dar $6,02 \cdot 10^{23}$ átomos de Fe y $6,02 \cdot 10^{23}$ moléculas de CO_2 ; 1 mol de FeO sólido reacciona con 22,4 L de CO gaseoso medido en CN para dar 1 mol de Fe sólido y 22,4 L de CO_2 gas medido en CN.

4. El peróxido de bario (sólido) se descompone a temperaturas altas en óxido de bario (sólido) y oxígeno (gas). Calcula la presión que ejercerá el oxígeno liberado, recogido en un recipiente de 0,5 L y a una temperatura de 20°C, por la descomposición de 6 g de peróxido de bario.



Establecemos la relación:

$$\frac{169,3 \text{ g de BaO}_2}{6 \text{ g de BaO}_2} = \frac{0,5 \text{ mol de O}_2}{x \text{ mol de O}_2}$$

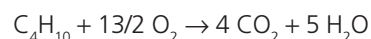
$$x = 0,018 \text{ mol}$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales:

$$pV = nRT; p \cdot 0,5 \text{ L} = 0,018 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atmL/molK} \cdot 293 \text{ K};$$

$$p = 0,86 \text{ atm}$$

5. Calcula el volumen de CO_2 , medido a 25°C y 755 mmHg, que se obtendrá en la combustión completa de 5 kg de gas butano (C_4H_{10}).



Aplicamos la relación:

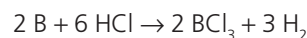
$$\frac{58 \text{ g de C}_4\text{H}_{10}}{5000 \text{ g de C}_4\text{H}_{10}} = \frac{4 \text{ mol de CO}_2}{x \text{ mol de CO}_2}$$

$$x = 344,83 \text{ mol}$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales, $pV = nRT$;
 $755/760 \text{ atm} \cdot V = 344,83 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atmL/molK} \cdot 298 \text{ K}$;
 $V = 8482,1 \text{ L}$

6. A 6,5 g de boro se le añaden 75 mL de un ácido clorhídrico comercial del 37 % de riqueza en peso y densidad 1,19 g/mL, y se obtienen en el proceso tricloruro de boro y dihidrógeno. Calcula el volumen de dihidrógeno que se obtendrá a 20°C y 700 mmHg.

La ecuación que describe el proceso es:



Número de moles de HCl en los 75 mL de disolución:

$$n_{\text{HCl}} = \frac{m}{\text{Masa molar}} = \frac{75 \text{ mL} \cdot 1,19 \text{ g/mL} \cdot 0,37}{36,5 \text{ g/mol}}$$

$$= \frac{33,02 \text{ g}}{36,5 \text{ g/mol}} = 0,90 \text{ mol de HCl}$$

21,6 g de B reaccionan con 6 mol de HCl , o lo que es lo mismo, 3,26 g de B con 0,90 mol de HCl . Es decir, el reactivo limitante es el HCl , con él establecemos la siguiente relación:

$$\frac{6 \text{ mol de HCl}}{0,90 \text{ mol de HCl}} = \frac{3 \text{ mol de H}_2}{x \text{ mol de H}_2} \Rightarrow x = 0,45 \text{ mol}$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales: $PV = nRT$;

$$\frac{700 \text{ mmHg}}{760 \text{ mmHg/atm}} \cdot V = 0,45 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atmL/molK} \cdot 293 \text{ K};$$

$$V = 11,74 \text{ L}$$

7. Calcula la masa de óxido de aluminio que se obtendrá al calentar 2 kg de hidróxido de aluminio de una pureza del 90 %. En la reacción también se produce agua.

La ecuación que describe el proceso es:



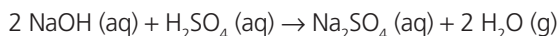
Averiguamos la cantidad de hidróxido de aluminio (puro):
 $2000 \text{ g} \cdot 0,9 = 1800 \text{ g}$

Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{156 \text{ g de Al(OH)}_3}{1800 \text{ g de Al(OH)}_3} = \frac{102 \text{ g de Al}_2\text{O}_3}{x \text{ g de Al}_2\text{O}_3}$$

$$x = 1176,92 \text{ g}$$

8. Se hacen reaccionar 200 mL de una disolución 0,25 M de hidróxido de sodio con 100 mL de una disolución 0,5 M de ácido sulfúrico. Determina si ambos reactivos reaccionan completamente. En el caso de que no sea así, calcula la cantidad del reactivo en exceso que no reacciona.



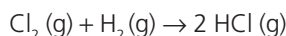
Hallamos el número de mol inicial de cada uno de los reactivos:

$$n_{\text{NaOH}} = MV = 0,2 \cdot 0,25 = 0,05; n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = M_2V_2 = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05$$

Por otra parte, se observa que la estequiometría entre la base y el ácido es 2:1; eso quiere decir que 0,05 mol de NaOH reaccionan completamente con $0,05 \text{ mol}/2 = 0,025 \text{ mol}$ de H_2SO_4 , siendo este el reactivo que está en exceso. Quedan sin reaccionar 0,025 mol de H_2SO_4 , eso supone una masa de: $0,025 \text{ mol} \cdot 98 \text{ g/mol} = 2,45 \text{ g}$.

9. La reacción entre el Cl_2 (g) y el H_2 (g) para dar HCl (g) sucede con un rendimiento del 60%. Calcula el volumen de HCl (g) que se obtendrá si se tratan 10 L de Cl_2 con H_2 en exceso.

La ecuación que describe el proceso:



Calculamos lo que se obtendría teóricamente:

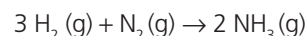
$$\frac{V \text{ de Cl}_2}{10 \text{ L de Cl}_2} = \frac{2V \text{ de HCl}}{x \text{ L de HCl}}$$

$$x = 20 \text{ L de HCl}$$

Pero como el rendimiento es del 60%, realmente se obtendrá: $20 \text{ L} \cdot 0,6 = 12 \text{ L}$.

10. Calcula el rendimiento de la reacción entre el N_2 (g) y el H_2 (g) para formar NH_3 (g) si al reaccionar 140 g de N_2 y 26 g de H_2 se forman 36,83 g de NH_3 .

La ecuación que representa el proceso es:



La relación entre el H_2 y el N_2 es: 6 g de H_2 reaccionan con 28 g de N_2 , o lo que es lo mismo: 26 g de H_2 con 121,33 g de N_2 . Es decir, el reactivo limitante es el H_2 ; con él establecemos la siguiente relación:

$$\frac{6 \text{ g de H}_2}{26 \text{ g de H}_2} = \frac{34 \text{ g de NH}_3}{x \text{ g de NH}_3}$$

$$x = 147,33 \text{ g de NH}_3$$

Esta es la cantidad que debería formarse, pero como solo se ha formado 36,83 g, representa un rendimiento del 25%.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1 Escribir ecuaciones químicas sencillas de distinto tipo: neutralización, oxidación, síntesis, etc.	A: 1-8 ER: 1-5 AT: 1-20	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1 Ajustar ecuaciones químicas sencillas de distinto tipo: neutralización, oxidación, síntesis, etc.	A: 1-8 ER: 1-5 AT: 1-20	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1 Interpretar una ecuación química en términos de cantidad de materia, masa, número de partículas o volumen para realizar cálculos estequiométricos en la misma.	A: 5,6 ER: 1-5 AT: 5-9	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.2 Realizar cálculos estequiométricos, aplicando la ley de conservación de la masa, a distintas reacciones en las que intervengan compuestos en estado sólido, líquido o gaseoso, o en disolución en presencia de un reactivo limitante o un reactivo impuro	A: 7-12 ER: 1-5 AT: 10-31	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.3 Considerar el rendimiento de una reacción en la realización de cálculos estequiométricos.	A: 13-15 ER: 5 AT: 10, 32-35	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1 Distinguir reacciones de combinación, descomposición, sustitución, ácido-base y redox.	A: 15-17 ER: 6 AT: 36-38	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

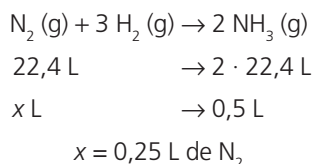
PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Ajusta las siguientes ecuaciones químicas:

- a) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 b) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 c) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow 2 \text{NaCl} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 d) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2 \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{NH}_3 + 2 \text{H}_2\text{O}$

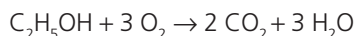
2. Se desea obtener 0,5 L de amoníaco gaseoso a partir de sus componentes, también gaseosos, hidrógeno y dinitrógeno. Si el proceso tiene lugar en condiciones normales de presión y temperatura, calcula el volumen de hidrógeno y dinitrógeno necesario para ello.

La ecuación química que representa este proceso es:



El volumen de hidrógeno necesario es el triple: 0,75 L (ver estequiometría).

3. ¿Qué masa de oxígeno se necesita para quemar 30 g de etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)? ¿Qué volumen de dióxido de carbono se desprende en condiciones normales?



Establecemos las siguientes relaciones:

$$\frac{46 \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH}}{96 \text{ g de O}_2} = \frac{30 \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH}}{x \text{ g de O}_2}; x = 62,6 \text{ g de O}_2$$

$$\frac{46 \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH}}{2 \cdot 22,4 \text{ L de CO}_2} = \frac{30 \text{ g de C}_2\text{H}_5\text{OH}}{x \text{ L de CO}_2}; x = 29,2 \text{ L de CO}_2$$

4. Se quiere formar cloruro de plata y nitrato de aluminio a partir de 15,3 g de nitrato de plata y 26,7 g de cloruro de aluminio. Indica la cantidad de cloruro de plata que se forma.

La ecuación que describe el proceso es: $3 \text{AgNO}_3 + \text{AlCl}_3 \rightarrow 3 \text{AgCl} + \text{Al}(\text{NO}_3)_3$

Las masas molares son:

$$M_{\text{AgNO}_3} = 170 \text{ g/mol}; M_{\text{AlCl}_3} = 133,5 \text{ g/mol}$$

El número de moles de partida son:

$$\frac{15,3 \text{ g de AgNO}_3}{170 \text{ g/mol de AgNO}_3} = 0,09 \text{ mol de AgNO}_3;$$

$$\frac{26,7 \text{ g de AlCl}_3}{133,5 \text{ g/mol de AlCl}_3} = 0,2 \text{ mol de AlCl}_3$$

La proporción estequiométrica es:

$$\frac{3 \text{ mol de AgNO}_3}{1 \text{ mol de AlCl}_3} = \frac{0,09 \text{ mol de AgNO}_3}{x \text{ mol de AlCl}_3};$$

$$x = 0,03 \text{ mol de AlCl}_3$$

Como 0,03 mol de $\text{AlCl}_3 < 0,2 \text{ mol AlCl}_3$, eso quiere decir que el AlCl_3 está en exceso, o sea, el reactivo limitante es AgNO_3 . Con él hallamos la cantidad de AgCl formada:

$$\frac{3 \text{ mol de AgNO}_3}{3 \text{ mol de AgCl}} = \frac{0,09 \text{ mol de AgNO}_3}{x \text{ mol de AgCl}};$$

$$x = 0,09 \text{ mol de AgCl}$$

Como $M_{\text{AgCl}} = 143,5 \text{ g/mol}$; los moles anteriores corresponden a una masa de:

$$0,09 \text{ mol} \cdot 143,5 \text{ g/mol} = 12,92 \text{ g}$$

5. Calcula el volumen de dióxido de carbono gaseoso formado en la combustión completa de 100 g de un mineral cuya riqueza en carbono es del 80 %, cuando:

a) El volumen de los gases se mide en condiciones normales de presión y temperatura.

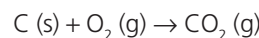
b) Los gases están a 25 °C y 2 atm de presión.

Datos: masa atómica del C = 12

La sustancia pura que se quema es el carbono, pero no 100 g:

$$\frac{100 \text{ g} \cdot 80}{100} = 80 \text{ g}$$

a) Escribimos la ecuación química ajustada y hacemos la lectura más conveniente (en masa para el carbono y en volumen para el dióxido de carbono):



$$12 \text{ g} \qquad \qquad \rightarrow 22,4 \text{ L (en CN)}$$

$$80 \text{ g} \qquad \qquad \rightarrow x \text{ L (en CN)}$$

Establecemos la correspondiente proporción:

$$\frac{12 \text{ g de C}}{80 \text{ g de C}} = \frac{22,4 \text{ L de CO}_2}{x \text{ L de CO}_2}; x = 149,3 \text{ L de CO}_2$$

b) La ecuación de los gases ideales para una masa dada de gas es $p_1 V_1/T_1 = p_2 V_2/T_2$; así pues, y si consideramos como situación (1) la equivalente a las condiciones normales, tenemos:

$$\frac{1 \text{ atm} \cdot 149,3 \text{ L}}{273 \text{ K}} = \frac{2 \text{ atm} \cdot V_2}{298 \text{ K}}$$

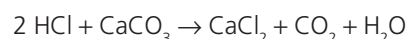
Por tanto, V_2 será:

$$V_2 = 81,5 \text{ L}$$

6. ¿Qué volumen de disolución de ácido clorhídrico 2 M se necesita para que 10 g de carbonato de calcio (CaCO_3) reaccionen totalmente y formen cloruro de calcio (CaCl_2), dióxido de carbono y agua?

Datos: masas atómicas: Ca = 40; C = 12; O = 16

La ecuación química que describe el proceso es:



$$2 \text{ mol} \quad 100 \text{ g}$$

$$x \text{ mol} \quad 10 \text{ g}$$

$$x = 0,2 \text{ mol}$$

Aplicando la definición de molaridad, $M = n/V$; tenemos que:

$$V = \frac{n}{M} = \frac{0,2 \text{ mol}}{2 \text{ mol/L}} = 0,1 \text{ L} = 100 \text{ mL de disolución}$$

7. Las cantidades necesarias para que dos reactivos, A y B, puedan originar una determinada cantidad de producto a través de una reacción química que transcurre con un rendimiento del 100 %, son 3 g de A y 5 g de B. ¿Qué cantidades se precisarían para obtener la misma cantidad de producto si el rendimiento del proceso fuera del 40 %?

La relación es inversa, es decir, cuanto menor sea el rendimiento, mayor cantidad de reactivos necesitaremos.

Por tanto:

$$\frac{3 \text{ g} \cdot 100}{40} = 7,5 \text{ g de A}$$

$$\frac{5 \text{ g} \cdot 100}{40} = 12,5 \text{ g de B}$$

8. Clasifica, en función de la transformación que ha tenido lugar, las siguientes reacciones químicas:
- a) $\text{Zn (aq)} + \text{CuSO}_4 \text{ (aq)} \rightarrow \text{ZnSO}_4 \text{ (aq)} + \text{Cu (s)}$
 - b) $\text{S (s)} + \text{Fe (s)} \rightarrow \text{FeS (s)}$
 - c) $\text{CH}_4 \text{ (g)} + 2 \text{O}_2 \text{ (g)} \rightarrow \text{CO}_2 \text{ (g)} + 2 \text{H}_2\text{O (g)}$
 - d) $2 \text{HgO (s)} \rightarrow 2 \text{Hg (s)} + \text{O}_2 \text{ (g)}$
- a) Sustitución simple.
 - b) Combinación (formación).
 - c) Combustión.
 - d) Descomposición.

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

- Las reacciones químicas se producen siempre que:
 - Se mezclan dos sustancias distintas.
 - Tienen lugar choques entre las moléculas de los reactivos.
 - Se consiguen romper los enlaces de las moléculas de los reactivos.
- De las siguientes ecuaciones químicas, indica cuáles están ajustadas:
 - $\text{HCl} + 2 \text{Zn} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2$
 - $2 \text{Fe} + 3 \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$
 - $\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 2 \text{HNO}_3$
- La masa de oxígeno necesaria para que 15 g de monóxido de nitrógeno se transformen totalmente en dióxido de nitrógeno es:
 - 16 g
 - 8 g
 - 32 g
- En condiciones normales, el volumen de hidrógeno que se requiere para formar un mol de amoníaco es:
 - 33,6 L
 - 22,4 L
 - 44,8 L
- El volumen de oxígeno, a 25 °C y 0,9 atm, que hace falta para formar 243 g de óxido de magnesio a partir de un exceso de magnesio es:
 - 81,45 L
 - 2,23 L
 - 40,52 L
- Se hace reaccionar 11,6 g de butano (C_4H_{10}) con 32 g de oxígeno. El volumen de CO_2 desprendido en condiciones normales es:
 - 2,5 L
 - 15,4 L
 - 13,8 L
- Se mezcla 100 cm³ de disolución de ácido sulfúrico 2 M con otros 100 cm³ de disolución de hidróxido de sodio 2 M. Cuando la reacción se completa, queda sin neutralizar:
 - 0,1 mol de NaOH
 - 0,1 mol de H_2SO_4
 - Nada, la neutralización es completa
- Al reaccionar 20 g de metano con exceso de vapor de agua se produce 79,8 L de H_2 medidos en condiciones normales, eso quiere decir que el rendimiento de la reacción es:
 - 95 %
 - 80 %
 - 79,8 %
- Las siguientes ecuaciones representan tres reacciones químicas diferentes, indica la que es de formación:
 - $\text{CO} (\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2 (\text{g})$
 - $\text{H}_2 (\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (\text{g})$
 - $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_6\text{O} + 2 \text{CO}_2$
- Señala la respuesta correcta:
 - Siempre que añades un ácido a una base se produce neutralización total.
 - Una disolución es ácida si la concentración de H^+ es inferior a la de OH^- .
 - La oxidación es aquel proceso químico por el que una especie química cede electrones.

6



TERMODINÁMICA Y ESPONTANEIDAD DE REACCIÓN

La termodinámica es la ciencia que estudia las variaciones de energía que acompañan a los procesos físicos y químicos, siendo la termoquímica la parte que se dedica al estudio termodinámico de las reacciones químicas.

En relación con los aspectos energéticos, la unidad está destinada a que los alumnos comprendan que los procesos químicos transcurren con un intercambio energético, generalmente en forma de calor, que se justifica al aplicar el principio de conservación de la energía al modelo de reacción: para romper enlaces es necesario aportar energía, mientras que en su formación se desprende. El balance global de este intercambio energético provocará que algunas reacciones necesiten absorber energía para poder producirse (endotérmicas), mientras que otras la desprenden (exotérmicas). En otras ocasiones los procesos químicos ocurren con intercambio de trabajo, relacionado con las expansiones o compresiones de los gases que en ellas intervienen.

El primer principio de la termodinámica, que relaciona el calor y el trabajo intercambiado, no es más que una reformulación del principio de conservación de la energía: si se entrega calor a un sistema este calor no se pierde, se transforma por entero en trabajo o bien queda almacenado en el sistema o bien las dos cosas a la vez. A continuación, se señala cómo se puede incluir el efecto energético dentro de la ecuación química (el signo y el valor numérico de la energía absorbida o desprendida en la reacción). En aquellos procesos que sucedan a presión constante (la mayoría de las reacciones químicas) esta inclusión se realiza a través de la variación de entalpía de la reacción, que se puede calcular de diferentes maneras según cuáles sean los datos disponibles. La energía de los reactivos, la de los productos y la variación de entalpía de la reacción pueden representarse gráficamente constituyendo los diferentes diagramas entálpicos. El segundo principio sirve para entender hacia dónde evolucionan los procesos espontáneos (por ejemplo, las reacciones químicas irreversibles): hacia un mayor desorden molecular interno, es decir, aumentan la entropía del universo. La energía libre de Gibbs es la magnitud que permite averiguar si una determinada reacción química va a transcurrir de manera espontánea o es imposible que suceda.

Por último, la unidad trata las consecuencias sociales y medioambientales de las reacciones de combustión: degradación de la energía, incremento del efecto invernadero y lluvia ácida.

Objetivos

1. Comprender el concepto de calor como método para transferir energía entre cuerpos en desequilibrio térmico o en proceso de cambio de estado. Conocer el equivalente mecánico del calor.
2. Relacionar el calor con los conceptos de trabajo y energía mecánica.

3. Aplicar el primer principio de la termodinámica a procesos de distinta naturaleza.
4. Interpretar una ecuación termoquímica.
5. Saber calcular la variación de entalpía de una reacción (utilizando la ley de Hess, conociendo las entalpías de formación o las energías de enlace)
6. Conocer la imposibilidad de transformar todo el calor en energía mecánica.
7. Entender el concepto de entropía aplicado a las reacciones químicas.
8. Entender el concepto de energía libre de Gibbs y su relación con la espontaneidad de las reacciones.
9. Conocer las consecuencias sociales y medioambientales de las reacciones de combustión, así como proponer actitudes sostenibles relacionadas con la minoración de sus efectos.

Relación de la unidad con las competencias clave

Los proyectos de investigación que se incluyen en la unidad van a servir para desarrollar la **competencia lingüística**, la **competencia digital**, la **básica en ciencia y tecnología** y el **sentido de iniciativa y espíritu emprendedor**.

La **competencia matemática** y la **básica en ciencia y tecnología** el alumnado las puede conseguir trabajando y resolviendo las múltiples actividades y tareas propuestas a lo largo de la unidad así como aprehendiendo la información de los distintos epígrafes.

La inclusión de trece ejercicios resueltos, la realización de la práctica de laboratorio propuesta así como la *Evaluación* del final de la unidad, van a servir para que el estudiante vaya examinando la adecuación de sus acciones y la aproximación a la meta: ser capaz de adquirir y asimilar nuevos conocimientos y llegar a dominar capacidades y destrezas propias del ámbito de las ciencias (aplicables, no obstante, a otros ámbitos); de esta forma desarrollará la *competencia aprender a aprender*.

La sección de *Química, tecnología y sociedad*, al describir dos aplicaciones inmediatas de las reacciones químicas, proporciona al alumno un conocimiento y actitud sobre la sociedad (dinámica, cambiante y compleja), con los que podrá interpretar fenómenos y problemas, elaborar respuestas y tomar decisiones, así como interactuar con otras personas y grupos conforme a normas basadas en el respeto mutuo; en definitiva trabajar las **competencias social y cívica y conciencia y expresiones culturales**.

Temporalización

Se aconseja dedicar diez sesiones al estudio de la unidad.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
El sistema termodinámico: calor y trabajo. <ul style="list-style-type: none"> ■ El sistema termodinámico. ■ Variables del sistema termodinámico. ■ Clasificación de los procesos termodinámicos. ■ Procesos con intercambio de calor. ■ Procesos con intercambio de trabajo. 	1. Reconocer la unidad del calor en el Sistema Internacional y su equivalente mecánico y saber clasificar a las variables termodinámicas en «variables de estado» o «variables de transferencia». 2. Realizar cálculos en procesos con intercambio de calor y de trabajo.	1.1. Explica razonadamente el procedimiento para determinar el equivalente mecánico del calor y conocer la unidad de calor, en el sistema internacional. 1.2. Sabe clasificar a las variables termodinámicas en «variables de estado» o «variables de transferencia». 2.1. Sabe calcular el calor y el trabajo en procesos sencillos.	A: 1-7 ER: 1,2 AT: 3-11	CMCCT
Primer principio de la termodinámica. <ul style="list-style-type: none"> ■ Energía interna. ■ Aplicación a diversos procesos termodinámicos. 	3. Interpretar el primer principio de la termodinámica como el principio de conservación de la energía en sistemas en los que se producen intercambios de calor y trabajo.	3.1. Interpreta el primer principio de la termodinámica como el principio de conservación de la energía en sistemas en los que se producen intercambios de calor y trabajo	A: 8-13 ER: 3.4 AT: 12-17	CMCCT
Entalpía. Ecuaciones termoquímicas. <ul style="list-style-type: none"> ■ Entalpía y variación de entalpía. ■ Ecuación termoquímica. Diagramas entálpicos. ■ Determinación de ΔH de una reacción química. 	4. Interpretar ecuaciones termoquímicas y distinguir entre reacciones endotérmicas y exotérmicas y conocer las posibles formas de calcular la entalpía de una reacción química.	4.1. Interpreta ecuaciones termoquímicas, (con sus diagramas entálpicos), distingue entre reacciones endotérmicas y exotérmicas y conoce las posibles formas de calcular la entalpía de una reacción química.	A: 14-19 ER: 5, 6 AT: 18-27	CMCCT
Entropía. Segundo principio de la termodinámica. <ul style="list-style-type: none"> ■ Concepto de entropía. ■ El segundo principio de la termodinámica. ■ Degradación de la energía. ■ Espontaneidad y segundo principio. 	5. Dar respuesta a cuestiones conceptuales sencillas sobre el segundo principio de la termodinámica en relación a los procesos espontáneos. Predecir, de forma cualitativa y cuantitativa, la espontaneidad de un proceso químico en determinadas condiciones a partir de la energía de Gibbs.	5.1. Predice la variación de entropía en una reacción química. 5.2. Da respuesta a cuestiones conceptuales sencillas sobre el segundo principio de la termodinámica, en relación con los procesos espontáneos y predecir, de forma cualitativa y cuantitativa, la espontaneidad de un proceso químico en determinadas condiciones a partir de la energía de Gibbs.	A: 21, 24-28 ER: 7, 8 AT: 28, 29, 31-34	CMCCT CSC
Energía libre de Gibbs. <ul style="list-style-type: none"> ■ Energía libre y espontaneidad de un proceso. ■ Cálculo de la variación de la energía libre de las reacciones químicas. ■ Procesos reversibles e irreversibles. 	6. Distinguir los procesos reversibles e irreversibles y su relación con la entropía y el segundo principio de la termodinámica.	6.1. Distingue los procesos reversibles e irreversibles y su relación con la entropía.	A: 20 AT: 30	CMCCT
Consecuencias sociales y medioambientales de las reacciones de combustión. <ul style="list-style-type: none"> ■ Reacciones de combustión. ■ Consecuencias de las reacciones de combustión. 	7. Analizar la influencia de las reacciones de combustión a nivel social, industrial y medioambiental y sus aplicaciones.	7.1. Comprende la importancia de las reacciones de combustión y sus consecuencias.	A: 29	CMCCT CSC

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

CCL: Competencia lingüística; CMCCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: Competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales.

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Las leyes de la termodinámica en 5 minutos

Presentación

Enlaces web: 1. Experimento de Joule; 2. Quimioluminiscencia; 3. Variables termodinámicas y funciones de estado; 4. Cambios de temperatura y de estado

Vídeo: James Prescott Joule & William Thomson: el descubrimiento de la energía

Animaciones: 1. Expansión isobárica; 2. Transformación isocora; 3. Expansión isotérmica

Vídeo: Primer principio de la termodinámica-Energía interna

Animación: Primer principio de la termodinámica

Enlaces web:

Segundo principio de la termodinámica.

Vídeo: Entropía

Enlaces web: 1. Concepto de entalpía; 2. Ley de Hess-Ejercicios

Vídeos: 1. Ley de Hess para la entalpía de formación del etanol; 2. Entalpía de formación; 3. Cálculo de la variación de entalpía; 4. Entalpía de enlace

Enlaces web: Energía libre de Gibbs

Vídeo: Espontaneidad de una reacción química

Unidad 6: Termodinámica y espontaneidad de reacción

1. El sistema termodinámico: calor y trabajo

- 1.1. El sistema termodinámico
- 1.2. Variables del sistema termodinámico
- 1.3. Clasificación de los procesos termodinámicos
- 1.4. Procesos con intercambio de calor
- 1.5. Procesos con intercambio de trabajo

2. Primer principio de la termodinámica

- 2.1. Energía interna
- 2.2. Aplicación a diversos procesos termodinámicos

3. Entalpía. Ecuaciones termoquímicas

- 3.1. Entalpía y variación de entalpía
- 3.2. Ecuación termoquímica. Diagramas entálpicos
- 3.3. Determinación de ΔH de una reacción química

4. Entropía. Segundo principio de la termodinámica

- 4.1. Concepto de entropía
- 4.2. El segundo principio de la termodinámica
- 4.3. Degradación de la energía
- 4.4. Espontaneidad y segundo principio

5. Energía libre o de Gibbs

- 5.1. Energía libre y espontaneidad de un proceso
- 5.2. Cálculo de la variación de la energía libre de las reacciones químicas
- 5.3. Procesos reversibles e irreversibles

Práctica de laboratorio: Calores específicos de sólidos y determinación de su masa molar

Presentación: Calor y trabajo en procesos termodinámicos.

Documento: Termodinámica y meteorología (I, II y III)

Presentación: Primer principio de termodinámica

Práctica de laboratorio: Investigaciones curiosas para casa y el laboratorio (I)

Presentación: Energía de las reacciones químicas

Práctica de laboratorio: Investigaciones curiosas para casa y el laboratorio (II)

BIBLIOGRAFÍA

CANE, B. y SELWOOD, J. *Química elemental básica (dos volúmenes)*. Madrid: Reverté, 1978. Texto adecuado para introducirse en los conceptos químicos básicos.

FIDALGO SÁNCHEZ, J. A. *3000 cuestiones y problemas de física y química*. León: Everest, 1996. Una amplia colección de cuestiones y problemas, explicados y resueltos, presentados en orden de dificultad creciente.

GALLEGO PICÓ, A. et al. *Química Básica*. Madrid: UNED, 2013. Libro asequible para estudiantes que se inician en la Química.

RAJADELL, F. y MOVILLA, J. L. *Termodinámica química*. Castelló de la Plana: U. Jaume I, 2005. Su alta calidad científica y didáctica viene asegurada por una amplia y cuidadosa selección de problemas y una no menos extensa e inmejorable relación de cuestiones, siempre con solución, que incluye ayudas e indicaciones cuando ello es aconsejable.

ROSENBERG, J. L. *Teoría y 611 problemas resueltos de química general*. Madrid: McGraw-Hill, 1989 (Serie Shaum). Buena colección de cuestiones y problemas de Química.

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

WHITTEN, K. W., GAILEY, K. D. y DAVIS, R. E.

Química general. Madrid: McGraw-Hill, 1996.

Se trata de un buen texto de consulta con desarrollos claros y abundantes datos y tablas. Óptimo para alumnos y alumnas de los primeros cursos universitarios y también accesible al alumnado de bachillerato.

6. Consecuencias sociales y medioambientales de las reacciones de combustión

- 6.1. Reacciones de combustión
- 6.2. Consecuencias de las reacciones de combustión

Química, tecnología y sociedad

Dispositivos que generan frío y calor

Técnicas de trabajo y experimentación

Entalpía de neutralización

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Autoevaluación

Documento: Biografía de Jöns Jacob Berzelius

Test de autoevaluación interactiva
Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

<http://apuntescientificos.org/conceptos-ibq.html>

Tutorial en español que explica diversos conceptos termodinámicos.

<http://www.elortegui.org/ciencia/datos/2BACHQUM/ejer/resueltos/Ejercicios%20termoquimica%20con%20solucion.pdf>

Tutorial en español que incluye varios ejercicios resueltos relacionados con la termodinámica.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/joule/joule.htm>

Aplicación interactiva en español sobre el experimento de Joule.

<http://aulaenred.ibercaja.es/contenidos-didacticos/calor/#ver>

Aplicación interactiva en español: cambios de temperatura y cambios de estado.

<http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo1p/trabajo.html>

Tutorial en español que explica los procesos en los que hay intercambio de trabajo.

<http://www.quimitube.com/videos/termodinamica-teoria-7-concepto-entalpia-transferencia-calor-presion-constante>

Tutorial y vídeo en español relacionado con el concepto de entalpía.

http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4847/html/21_aplicando_la_ley_de_hess.html

Tutorial en español sobre la ley de Hess.

<http://ejercicios-fyq.com/?Termoquimica-Entalpia-de-reaccion>

Tutorial en español que muestra, mediante un ejercicio resuelto, el cálculo de la entalpía de una reacción a partir de las entalpías de enlace.

<http://definicion.de/entropia/>

Tutorial en español: la entropía de diversos ámbitos.

<http://www.educaplus.org/play-76-Energ%C3%ADa-libre-de-Gibbs.html>

Aplicación interactiva en español: energía libre y espontaneidad de las reacciones químicas.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

TERMODINÁMICA Y ESPONTANEIDAD DE REACCIÓN

A modo resumen se introduce la unidad con un texto que puede ser comentado en clase.

Sería interesante proponer a los alumnos que visualicen el vídeo introductorio sobre las leyes de la termodinámica para ir entrando en materia.

Vídeo: **LAS LEYES DE LA TERMODINÁMICA EN 5 MINUTOS**

Vídeo en español que resume los principios básicos de la termodinámica.

PRESENTACIÓN

Presentación en forma de diapositivas de recorrido de la unidad. El profesor la puede utilizar tanto al principio como al final de la unidad.

En el apartado *Conocimientos previos* sería importante preguntar a los alumnos si los recuerdan y que hagan las actividades propuestas en *Comprueba lo que sabes*, para así saber los conocimientos de partida.

1. El sistema termodinámico: calor y trabajo (página 123)

En este epígrafe se clarifican algunos conceptos estudiados en la ESO pero que, al ser difíciles de comprender, aquí se vuelven a repasar, aprendiendo a diferenciarlos; por otra parte, también se estudian nuevos conceptos.

1.1. El sistema termodinámico

Debemos comenzar definiendo sistema termodinámico, para pasar a continuación a clasificar los distintos sistemas termodinámicos en función de la transferencia de materia y/o energía.

Al ser el calor y el trabajo dos de esas variables, se diferenciará entre ambas magnitudes: calor y trabajo no son «algo» que posean los cuerpos, sino «algo» que entre ellos se intercambian.

Se explicará el experimento de Joule (o se esperará a la exposición que los alumnos hagan del *Investiga*) que permitió establecer la equivalencia entre calor y trabajo: $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$.

Enlace web: **EXPERIMENTO DE JOULE**

Página en español con la explicación del experimento de Joule y ejercicios.

Enlace web: **QUIMIOLUMINISCENCIA**

Tutorial y vídeos en español, que muestran como algunas reacciones químicas, en lugar de desprender calor, desprenden luz (que es otra forma de energía).

Vídeo: **JAMES PRESCOTT JOULE & WILLIAM THOMSON: EL DESCUBRIMIENTO DE LA ENERGÍA**

Vídeo, en español, que muestra la obra de Joule, y de científicos anteriores a él, conducentes a resolver el enigma de ¿qué es el calor?

1.2. Variables del sistema termodinámico

Hay que indicar cuáles son las variables que definen un sistema termodinámico, así como su clasificación en variables de estado o de transferencia. En este punto no nos detendremos demasiado, señalando a los alumnos que más adelante (en el epígrafe 1.5) entenderán por qué el calor y el trabajo no son variable de estado.

A continuación se definirá «proceso termodinámico».

Enlace web: **VARIABLES TERMODINÁMICAS Y FUNCIONES DE ESTADO**

Tutorial y vídeo en español, que trata sobre las variables que definen un sistema termodinámico.

1.3. Clasificación de los procesos termodinámicos

Se clasificarán los procesos según dos criterios: si transcurren o no en un único sentido (irreversibles y reversibles) o si alguna de las variables termodinámicas permanece constante (isobáricos, isocóricos e isotérmicos). Los procesos adiabáticos se incluirán dentro de la segunda clasificación si bien, son procesos aparte. También se indicará que en este curso todos los procesos químicos estudiados van a ser irreversibles.

1.4. Procesos con intercambio de calor

Se recordará al alumnado la ecuación que relaciona el calor agregado a una sustancia y su calor específico así como las diferentes unidades en las que debe expresarse uno u otro (calorías o julios). También se les evocará la forma de hallar el calor suministrado o extraído a un cuerpo que sufre un cambio de estado, explicándoles el concepto de calor latente de cambio de estado.

Se harán ejercicios referentes a procesos en los que se intercambie calor (con y sin variación de temperatura).

Enlace web: **CAMBIOS DE TEMPERATURA Y DE ESTADO**

Simuladores sobre los cambios de temperatura y los procesos de cambios de estado.

1.5. Procesos con intercambio de trabajo

Hay que comenzar el epígrafe obteniendo la ecuación que permite hallar el trabajo realizado por un gas al expandirse, explicándoles que puede ser positivo o negativo según el criterio de signos que se adopte. En este libro se ha optado por el que parece más fácil de recordar: lo que entra al sistema (Q o W) será de signo positivo y lo que sale, negativo.

A continuación se les puede proponer que resuelvan cómo quedaría dicha ecuación si el proceso fuese isobárico y luego isócoro.

En un proceso isoterma, el cálculo es más difícil y no disponen de las herramientas matemáticas para resolverlo por sí mismos, por lo que se optará por indicárselo sin más (en el libro del alumno figura la demostración, apareciendo integrales). Es importante aclarar que en este curso se calculará numéricamente el trabajo solo en procesos isobáricos, siendo una idealización de los procesos cuasiestáticos, como se aclara en el texto con el ejemplo del montoncillo de arena.

Es muy conveniente que el profesor realice en clase el ejercicio resuelto 1, u otro similar, con objeto de enseñarles la técnica de resolución de este tipo de ejercicios y además, es aquí donde se va a comprobar que el trabajo no es una variable de estado.

Animación: EXPANSIÓN ISOBÁRICA

Animación sobre la expansión de un gas a presión constante.

Animación: TRANSFORMACIÓN ISOCORA

Animación sobre una transformación a volumen constante.

Animación: TRANSFORMACIÓN ISOTÉRMICA

Animación sobre la expansión de un gas a temperatura constante.

2. Primer principio de la termodinámica

(página 127)

Si el epígrafe 1 ha mostrado cómo los sistemas intercambian calor y trabajo, en este analizaremos cómo esos intercambios afectan a la energía del sistema.

2.1. Energía interna

Una vez definido el concepto de energía interna de un sistema, se pasará a convencerles de que es una función de estado y que es imposible determinar con exactitud dicha magnitud, pero sí es posible determinar sus variaciones.

A continuación se enunciará el primer principio de la termodinámica, escribiéndose la ecuación matemática que lo resume (que con el criterio de signos adoptados en este libro para Q y W , resultará fácil de recordar). Hay que explicarles que la formulación de Clausius de esta primera ley de la termodinámica constituye el enunciado general de la conservación de la energía, y avala el papel que desarrollan el calor y el trabajo como «métodos» para variar la energía interna de un sistema.

Vídeo: PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA- ENERGÍA INTERNA

Vídeo que muestra la expresión del primer principio de la termodinámica y explica lo que es la energía interna de un sistema.

2.2. Aplicación a diversos procesos termodinámicos

El profesor puede proponer a sus alumnos que analicen cómo se resume la formulación del primer principio de la termodinámica si el proceso es isotérmico (aclararemos que considerar $\Delta U = 0$ en estos procesos solo es rigurosamente cierto en el caso de los gases ideales o los cristales paramagnéticos ideales, en el resto la energía interna no solo depende de la temperatura; sin embargo, para

los cometidos que se persiguen en este nivel, podemos considerar perfectamente válida e ilustrativa la aproximación que se hace), isocórico, isobárico o adiabático.

La idea de proceso adiabático, su importancia y sus implicaciones en el comportamiento de la atmósfera escapan a los objetivos de este nivel. Sin embargo, en este epígrafe se dan a conocer procesos cuasiadiabáticos a través de situaciones conocidas o cotidianas para los alumnos y alumnas.

Como ampliación, puede citarse también un hecho que quizá les resulte familiar si tienen bombonas de gas en el exterior de las viviendas: en invierno se forma escarcha en la bombona, que sirve de indicativo del nivel del gas que queda en su interior. La razón es que al expandirse el gas camino de las tuberías hacia el interior de la vivienda, disminuye la energía interna del gas de la bombona, y este se enfría, con lo que se posibilita la formación de escarcha alrededor del nivel del gas. Es otro ejemplo de proceso cuasiadiabático.

La idea que se ha seguido en este epígrafe ha sido la de ilustrar los distintos procesos con numerosos ejemplos cotidianos. La experiencia nos dice que, de lo contrario, los alumnos y alumnas no entienden el significado de los distintos procesos, al no asociarlos a su experiencia diaria.

3. Entalpía. Ecuaciones termoquímicas

(página 129)

El epígrafe 3 constituye una aplicación de la termodinámica a la química (termoquímica). Efectivamente, las reacciones químicas son buenos ejemplos de sistemas termodinámicos. Y como la mayoría de las reacciones químicas se desarrollan en recipientes abiertos, son procesos isobáricos. Entonces conviene definir una magnitud que tenga en cuenta la variación de energía que se dan en las reacciones químicas, esa magnitud es la entalpía.

Enlace web: CONCEPTO DE ENTALPIA

Tutorial y vídeo en español, que trata sobre el concepto de entalpía.

3.1. Entalpía y variación de entalpía

Una vez definido el concepto de entalpía e indicado sus unidades, se mostrará al alumnado que, al igual que ocurría con la energía libre, la entalpía de un sistema es una función de estado imposible de medir; sin embargo, sí pueden medirse sus variaciones (que serán independientes del camino seguido para llevar al sistema de la situación inicial a la final) y que coinciden con el calor medido a presión constante.

Enlace web: LEY DE HESS-EJERCICIOS

Página web, en español, con ejercicios resueltos sobre el cálculo de la variación de entalpía en diferentes reacciones aplicando la ley de Hess.

Vídeo: LEY DE HESS PARA LA ENTALPIA DE FORMACIÓN DEL ETANOL

Vídeo en español, que muestra los pasos a seguir para resolver un ejercicio de cálculo de la variación de entalpía de una reacción utilizando la ley de Hess.

Vídeo: ENTALPIA DE FORMACIÓN

Vídeo en español, que explica el concepto de entalpía de formación.

Vídeo: CALCULO DE LA VARIACIÓN DE ENTALPIA

Vídeo en español, que muestra cómo se calcula la variación de entalpía de una reacción conocidos los valores de entalpías de formación de todos y cada uno de los compuestos que la integran.

Vídeo: ENTALPIA DE ENLACE

Vídeo en español, que muestra el concepto de entalpía de enlace.

3.2. Ecuación termoquímica. Diagramas entálpicos

El conocimiento de la variación de entalpía es fundamental para entender por qué unas reacciones absorben calor (endotérmicas) y otras lo desprenden (exotérmicas).

Se explicará al alumnado lo que son los diagramas entálpicos: gráficos que ofrecen información sobre el estado energético de los reactivos, de los productos y, por ende, de la reacción.

3.3. Determinación de ΔH de una reacción química

Este epígrafe se abordará desde el punto de vista práctico, realizando todos aquellos ejercicios que sean necesarios hasta lograr la comprensión del método indicado.

Para ello se les explicará el método experimental, la ley de Hess, el de los calores de formación (definiendo otros como el de combustión y el de hidrogenación) y el de las energías de enlace. El que se utilice uno u otro dependerá del enunciado del problema. El epígrafe contiene tres ejercicios resueltos para que el alumno, de manera autónoma, aprenda el camino a seguir ante un problema de cualquiera de los tres tipos anteriores.

4. Entropía. Segundo principio de la termodinámica (página 133)

Este epígrafe intenta dejar clara la idea de que, en la naturaleza, no todas las transformaciones energéticas son posibles de forma indiscriminada, que la naturaleza marca una dirección en todos los procesos y que todo el trabajo mecánico puede convertirse en calor (una piedra que cae al fondo de un río), pero no todo el calor puede convertirse en trabajo mecánico (¿una piedra que saltara desde el fondo de un río?).

4.1. Concepto de entropía

Este concepto es uno de los más difíciles de comprender. Lo mejor es compararla con el calor (la entropía fluye de unos cuerpos a otros) y la temperatura (la entropía de un sistema aumenta con el grado de desorden molecular del mismo), si bien hay diferencias que se reflejan en el libro del alumno.

Se debe explicar que, a diferencia de la energía interna y la entalpía, sí puede medirse la entropía de un sistema a una temperatura y presión determinadas. Así mismo, al ser una función de estado, también puede hallarse su variación cuando el sistema pase de una situación inicial a otra final. Si se trata de una reacción química: $\Delta S^{\circ}_{\text{reacción}} = \sum n^{\circ}_{\text{productos}} S^{\circ} - \sum n^{\circ}_{\text{reactivos}} S^{\circ}$.

Cualitativamente, si los productos presentan un mayor desorden molecular (por ejemplo, son gases) que los reactivos (líquidos o sólidos), la variación de entropía de la reacción es positiva ($\Delta S > 0$). Para indicarles las unidades de esta nueva magnitud (J/K), se hará uso de la definición de Clausius: $\Delta S \geq Q/T$.

Vídeo: ENTROPIA

Vídeo en español, que explica el difícil concepto de la entropía.

4.2. El segundo principio de la termodinámica

Las reflexiones anteriores obligan a enunciar el segundo principio de la termodinámica. En el libro del alumno se recogen los enunciados técnicos de Kelvin y Clausius y una versión «popular» o divulgativa del enunciado físico de Boltzmann.

La realización del *Investiga* producirá en el alumnado curiosidad sobre el concepto de entropía.

Enlace web: SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

Tutorial en español sobre el segundo principio de la termodinámica.

4.3. Degradación de la energía

La entropía es uno de los conceptos de la física que más se presta a un debate en relación con el medio ambiente y la necesidad de conservarlo, pues de ello va a depender el futuro del desarrollo humano y de la vida en nuestro planeta en general. Cuánto más entropía creemos, mayor será la porción de energía no útil para realizar trabajo (energía degradada).

La sociedad debe evolucionar con una menor producción de entropía, para ello hay que potenciar una conciencia contraria al derroche energético.

4.4. Espontaneidad y segundo principio

Este epígrafe pone de manifiesto que es posible averiguar si un proceso determinado ocurrirá de manera espontánea o, por el contrario, será imposible que suceda. Para ello hay que conocer la variación de entropía del proceso y la del entorno; si ambas consiguen que $\Delta S_{\text{universo}} > 0$, entonces el proceso será espontáneo.

5. Energía libre o de Gibbs (página 137)

Se debe empezar el epígrafe explicando que a J.W. Gibbs se le ocurrió definir una magnitud cuya variación (aplicada exclusivamente al sistema) sirviera para averiguar la espontaneidad de un proceso, de esta forma no habría que calcular nada relacionado con el entorno (cálculo que sí hay que hacer si utilizamos la variación de entropía como único recurso).

Enlace web: ENERGÍA LIBRE DE GIBBS

Tutorial en español con ejercicios resueltos.

5.1. Energía libre y espontaneidad de un proceso

Conocido el signo de $\Delta G_{\text{sistema}}$, donde $\Delta G_{\text{sistema}} = \Delta H_{\text{sistema}} - T\Delta S_{\text{sistema}}$, se podrá saber si el proceso va a transcurrir de manera espontánea (será espontáneo si $\Delta G_{\text{sistema}} < 0$).

Vídeo: ESPONTANEIDAD DE UNA REACCIÓN QUÍMICA

Vídeo en español que explica, de forma cualitativa, como averiguar la espontaneidad de una reacción química.

5.2. Cálculo de la variación de la energía libre de las reacciones químicas

Puesto que G es una función de estado, se puede averiguar $\Delta G_{\text{reacción}}$ de la siguiente forma:

$$\Delta G_{\text{reacción}}^{\circ} = \sum n \Delta G_{\text{f productos}}^{\circ} - \sum n' \Delta G_{\text{f reactivos}}^{\circ}$$

Se harán ejercicios relacionados con este cálculo.

5.3. Procesos reversibles e irreversibles

Con el desarrollo de este epígrafe se hará comprender al alumno que conociendo el signo de $\Delta G_{\text{reacción}}$, se podrá saber si la reacción química es irreversible, reversible o no sucederá.

En algunos casos tal estimación se puede hacer de forma cualitativa (actividad 27) y en otros, se deben realizar los cálculos pertinentes (actividad 28).

6. Consecuencias sociales y medioambientales de las reacciones de combustión (página 139)

Este epígrafe también se presta al debate indicado anteriormente, esta vez desde la perspectiva de las reacciones de combustión.

6.1. Reacciones de combustión

Debemos comenzar este epígrafe informando al alumno de que la quema de combustibles fósiles para obtener energía es el método más antiguo que el ser humano ha desarrollado para obtener energía.

A continuación, definiremos este tipo de reacciones (sobre todo aplicado a los hidrocarburos).

6.2. Consecuencias de las reacciones de combustión

Los alumnos deben comprender los problemas que se derivan de la combustión de combustibles fósiles: lluvia ácida y aumento del efecto invernadero, así como proponer alternativas a ello.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 122/139)

Comprueba lo que sabes

1. Indica si los siguientes enunciados son verdaderos o falsos:

- Los cuerpos que están a mayor temperatura contienen más calor.
- El calor es una sustancia que se transmite de unos cuerpos a otros.
- El calor es una energía en tránsito que produce en los cuerpos cambios de temperatura o cambios de estado.

Es interesante ver qué ideas previas tienen los alumnos acerca del concepto de calor, pues los errores referidos a él están muy extendidos. La idea de que es algo contenido en los cuerpos está demasiado arraigada. Uno de los objetivos de esta unidad es que entiendan que solo tiene sentido hablar de calor como consecuencia de una interacción entre dos cuerpos o sistemas a diferente temperatura, que se manifestará en forma de transferencia de energía en las fronteras de ambos cuerpos o sistemas. De las tres preguntas que se plantean en el texto, la verdadera es la c).

2. ¿A qué se llama equivalente mecánico del calor?

A la relación entre el calor y el trabajo mecánico: 1 cal = 4,18 J.

3. ¿Qué es el calor específico de una sustancia? ¿Y el calor latente de cambio de estado?

El calor específico (c_e) de una sustancia es la relación entre el calor agregado a su unidad de masa y la variación de temperatura que en ella se produce.

El calor latente de cambio de estado (L_{fus} o L_{vap}) es la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia pura para que, sin variar su temperatura, cambie de estado.

Actividades

1 Para calentar 300 g de cierta sustancia desde 15 °C hasta 35 °C, se requieren 25 000 cal. ¿Cuál es el calor específico de dicha sustancia?

El calor específico será:

$$c_e = Q/m\Delta T = 25\,000 \text{ cal}/300 \text{ g} \cdot (35 - 15)^\circ\text{C} = 4,16 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

2 ¿Cuánto calor debe suministrarse a 10 g de plata a 22 °C para fundirlos completamente? Expresa el resultado en calorías y en julios. Datos: calor latente de fusión de la plata (L_f) = 21,1 cal/g; temperatura de fusión de la plata = 961 °C

En la tabla 6.1 vemos que el calor específico de la plata es

$$c_e = 0,056 \text{ cal/g}^\circ\text{C}.$$

Por otro lado, para fundir los 10 g de plata, lo primero será llevarlos a la temperatura necesaria para que esto ocurra, esto es, desde los 22 °C hasta los 961 °C.

Para ello necesitaremos:

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q = 10 \text{ g} \cdot 0,056 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \cdot (961 - 22)^\circ\text{C} = 525,84 \text{ cal}$$

Ahora tendremos que hallar la cantidad de calor necesaria para, sin variar de temperatura, cambiar de estado a la plata sólida y que pase a fase líquida:

$$Q_{lf} = mL = 10 \text{ g} \cdot 21,1 \text{ cal/g} = 211 \text{ cal}$$

Sumando ambas cantidades:

$$211 \text{ cal} + 525,84 \text{ cal} = 736,8 \text{ cal}$$

3 Si 3 L de gas se calientan a una presión constante de 1,5 atm hasta que su volumen se duplica, ¿cuál es, en julios, el trabajo realizado por el gas?

$$W = -p\Delta V = -p(V_f - V_o) = -1,5 \text{ atm} \cdot (6 - 3) \text{ L} = -4,5 \text{ atm L} = -4,5 \text{ atm L} \cdot 101,3 \text{ J/atm L} = -455,85 \text{ J}$$

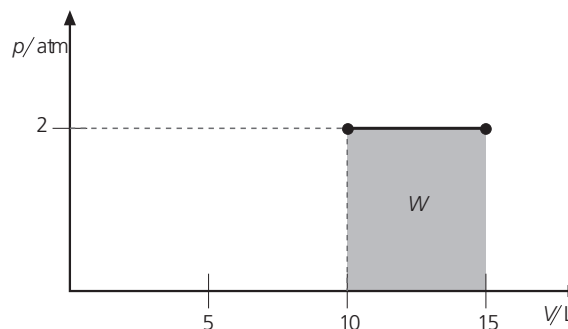
4 Un gas ideal ocupa un volumen de 10 L a una temperatura de 300 K. Si se calienta hasta 450 K, a una presión constante de 2 atm, ¿cuál es el trabajo realizado por el gas en la expansión? Representalo en un diagrama p-V.

Aplicando la ley de Charles al proceso, podemos conocer el volumen final:

$$V_f = \frac{V_o T_f}{T_o} = 15 \text{ L}$$

Por tanto, el trabajo realizado en el proceso será:

$$W = -p\Delta V = -p(V_f - V_o) = -2 \text{ atm} \cdot (15 - 10) \text{ L} = -10 \text{ atm L} = -10 \text{ atm L} \cdot 101,3 \text{ J/atm L} = -1\,013 \text{ J}$$



5 Sea un sistema, formado por 0,5 mol de agua líquida a 100 °C y 1 atm de presión, que se calienta hasta alcanzar una temperatura de 150 °C. Suponiendo que, en esas condiciones, el vapor de agua se comporta como un gas ideal y que el calentamiento se realiza a presión constante, calcula el trabajo de expansión. Dato: $\rho_{\text{agua líquida}} = 1 \text{ g/cm}^3$.

Hallamos el volumen inicial de agua líquida:

$$V_1 = m/\rho = 9 \text{ g}/1 \text{ g/cm}^3 = 9 \text{ cm}^3 = 0,009 \text{ dm}^3$$

Hallamos el volumen final de vapor de agua:

$$V_2 = nRT/p = 0,5 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 423 \text{ K}/1 \text{ atm} = 17,343 \text{ L}$$

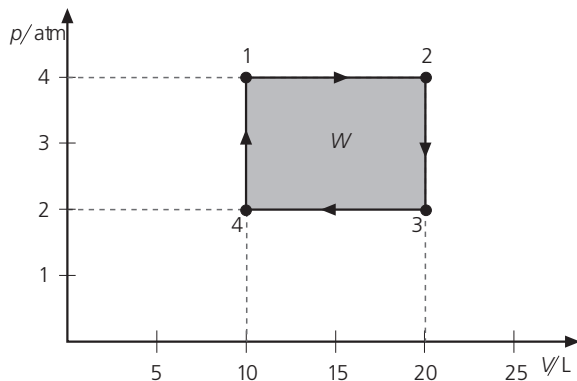
Aplicamos la ecuación del trabajo para los procesos isobáricos:

$$W = -p\Delta V = -1 \text{ atm} (17,343 \text{ L} - 0,009 \text{ L}) = -17,334 \text{ atm L} = -17,334 \text{ atm L} \cdot 101,3 \text{ J/atm L} = -1\,755,9 \text{ J}$$

- 6 Sometemos 10 L de un gas inicialmente a 4 atm a este proceso cíclico:
- Se calienta a presión constante hasta que el volumen se duplica.
 - Se enfría a volumen constante hasta que la presión es de 2 atm.
 - Se comprime por enfriamiento a presión constante hasta que el volumen se iguala con respecto al inicial.
 - Se calienta a V constante hasta que la presión aumenta y alcanza el valor inicial.

Calcula, por métodos gráficos, el trabajo realizado en todo el proceso.

El diagrama p - V correspondiente al proceso citado en cuatro etapas sería:



El trabajo realizado en todo el proceso es el área sombreada en el diagrama y matemáticamente será:

$$W = 2 \text{ atm} \cdot 101300 \text{ Pa/1 atm} \cdot 0,01 \text{ m}^3 = 2026 \text{ J}$$

- 7 Sea un sistema formado por 0,5 mol de dinitrógeno a una presión de 1 atm y una temperatura de 25 °C. Calcula el trabajo transferido en los siguientes casos:

- Se enfría a volumen constante hasta una presión de 0,8 atm y luego se calienta a presión constante hasta ocupar un volumen de 14,22 L.
- Se calienta a presión constante hasta ocupar un volumen de 14,22 L y luego se enfría a volumen constante hasta que su presión es de 0,8 atm.

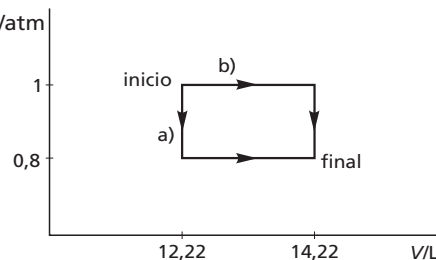
Construye los diagramas p - V correspondientes y explica por qué el trabajo no es una función de estado.

Hallamos el volumen inicial de dinitrógeno: $V_1 = nRT/p = 0,5 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 298 \text{ K}/1 \text{ atm} = 12,22 \text{ L}$, entonces:

- $W_{1 \rightarrow 2} = W_{1 \rightarrow 3}$ (proceso isócoro) + $W_{3 \rightarrow 2}$ (proceso isobárico)
 $= 0 + (-p\Delta V) = -0,8 \text{ atm} (14,22 \text{ L} - 12,22 \text{ L}) = -1,6 \text{ atm L} = -162,8 \text{ J}$ (como $W < 0$, se trata de una expansión)
- $W_{1 \rightarrow 2} = W_{1 \rightarrow 4}$ (proceso isobárico) + $W_{4 \rightarrow 2}$ (proceso isócoro)
 $= -p\Delta V + 0 = -1 \text{ atm} (14,22 \text{ L} - 12,22 \text{ L}) = -2 \text{ atm L} = -202,6 \text{ J}$ (como $W < 0$, se trata de una expansión).

Si el trabajo fuera una función de estado, ambos valores deberían haber coincidido.

Diagrama p - V :



- 8 ¿Cuánto vale la variación de energía interna en los sistemas aislados? ¿Por qué?

En los sistemas aislados solo se puede intercambiar energía en forma de trabajo ($\Delta U = W$), pues los sistemas aislados no puede intercambiar calor con el exterior ($Q = 0$).

- 9 ¿Qué relación hay entre el calor y el trabajo en un proceso isotérmico?

Si el proceso es isotérmico $\Delta U = 0$, entonces $Q = -W$. Hay que aclarar que esto solo es rigurosamente cierto en el caso de los gases ideales o los cristales paramagnéticos ideales. En el resto, la energía interna no solo depende de la temperatura. Sin embargo, para los cometidos que se persiguen en este nivel, podemos considerar perfectamente válida e ilustrativa la aproximación que se hace.

- 10 ¿Puede un sistema realizar trabajo sin que se le suministre calor?

Sí, pues $\Delta U = W$, pero a costa de disminuir su energía interna, de forma que cuando se le acabe la energía interna ya no podrá hacer ningún trabajo. Un ejemplo lo constituye la alimentación de los seres vivos; si no nos alimentáramos, durante un tiempo podríamos hacer trabajos (respirar, mover el corazón...) a costa de disminuir nuestra energía interna, pero como esta no es ilimitada, llegaría un momento en que no podríamos realizar ninguno de los trabajos anteriores y sobrevendría la muerte.

- 11 ¿Por qué es recomendable abrigarse después de haber hecho ejercicio?

Porque de esa manera, al aumentar la frontera entre el sistema y el entorno, disminuimos la transferencia de calor desde nuestro cuerpo (sistema de volumen constante durante el proceso) hacia el entorno o ambiente y evitamos una excesiva pérdida de energía interna que podría acarrear serios problemas.

- 12 Una oblea de silicio de 5 g de la celda de un panel solar, expuesta al sol, aumenta su temperatura desde 20 °C hasta 110 °C a la presión atmosférica. Si se desprecian los efectos de dilatación, ¿qué tipo de proceso tiene lugar? ¿Cuál es la variación, en julios, de la energía interna? Dato: calor específico del silicio = 0,168 cal/g °C

Según el primer principio, la oblea, al calentarse, está aumentando su energía interna, U , en la misma cantidad que el calor que acumula, dado que al no haber dilatación, $W = 0$.

$$\Delta U = \Delta Q = mc\Delta T = 5 \text{ g} \cdot 0,168 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \cdot (110 - 20)^\circ\text{C} = 75,6 \text{ cal} = 316,3 \text{ J}$$

13) Calcula la variación de energía interna del sistema en los siguientes casos:

a) Se suministran 5000 cal al sistema, y este realiza un trabajo de 32340 J.

b) Se disminuye la temperatura de 1,5 kg de agua líquida desde 20°C hasta 4°C.

a) Aplicando el primer principio de la termodinámica:

$$\Delta U = Q + W, \text{ tenemos: } \Delta U = 5000 \text{ cal} \cdot 4,184 \text{ J/cal} + (-32340 \text{ J}) = -11420 \text{ J}$$

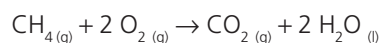
b) Puesto que no hay variación de volumen, $W = 0$, por lo que $\Delta U = Q$.

$$\Delta U = mc \Delta T = 1,5 \text{ kg} \cdot 4184 \text{ J/kg}^\circ\text{C} (-16^\circ\text{C})$$

$$\Delta U = -100416 \text{ J}$$

14) En el proceso de combustión de 1 mol de metano (gas) para dar dióxido de carbono (gas) y agua líquida, la variación de entalpía a 25°C es -890,8 kJ. Calcula el calor liberado cuando el proceso tenga lugar a volumen constante y a 25°C.

La ecuación química es la siguiente:



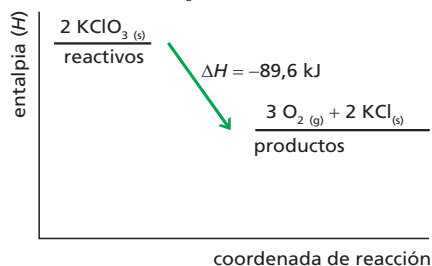
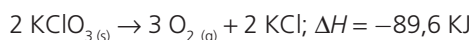
En dicha ecuación se cumple que:

$$\Delta n_{(\text{g})} = n_{\text{productos}} - n_{\text{reactivos}} = 1 - (1+2) = -2$$

Como $\Delta H = Q_v + (\Delta n)RT$, entonces:

$$Q_v = \Delta H - (\Delta n)RT = -890800 \text{ J} - (-2 \text{ mol} \cdot 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K} \cdot 298 \text{ K}) = -890800 \text{ J} + 4953 \text{ J} = -885847 \text{ J} = -885,8 \text{ kJ}$$

15) En la descomposición de 2 mol de clorato de potasio sólido se obtienen 3 mol de oxígeno gaseoso y 2 mol de cloruro de potasio sólido. Sabiendo que el proceso anterior desprende 89,6 kJ, escribe la ecuación termoquímica que lo representa, haz el diagrama entálpico y calcula la energía desprendida al descomponer 112,5 g de KClO_3 .

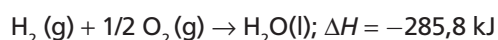
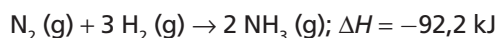


Establecemos la relación:

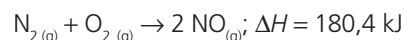
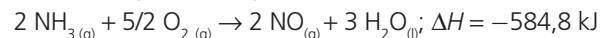
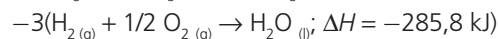
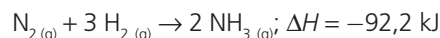
$$\frac{2 \text{ mol} \cdot 122,5 \text{ g/mol de } \text{KClO}_3}{89,6 \text{ kJ}} = \frac{112,5 \text{ g de } \text{KClO}_3}{x};$$

$$x = 41,1 \text{ kJ}$$

16) Calcula la variación de entalpía de la reacción de formación de 1 mol de $\text{NO}(\text{g})$ sabiendo que:



Aplicamos la ley de Hess:



Entonces para 1 mol: $\Delta H = 90,2 \text{ kJ}$

17) Utilizando los datos de la tabla 6.2, calcula la variación de entalpía estándar del proceso de combustión del etano (C_2H_6) y comprueba tu resultado con el que viene en la tabla 6.3 de la página siguiente.

La ecuación que describe el proceso es:



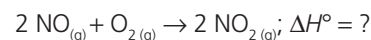
Aplicamos:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \Delta H_{\text{f productos}}^\circ - \sum \Delta H_{\text{f reactivos}}^\circ = \\ &= (2 \cdot \Delta H_{\text{f CO}_2(\text{g})}^\circ + 3 \cdot \Delta H_{\text{f H}_2\text{O}(\text{l})}^\circ) - \Delta H_{\text{f C}_2\text{H}_6(\text{g})}^\circ + 0 = \\ &= [2(-393,5 \text{ kJ}) + 3(-285,8 \text{ kJ}) - (-84,7 \text{ kJ}) + 0 \text{ kJ}] = \\ &= (-787 \text{ kJ} - 857,4 \text{ kJ}) - (-84,7 \text{ kJ}) = \\ &= -787 \text{ kJ} - 857,4 \text{ kJ} + 84,7 \text{ kJ} = \\ &= -1559,7 \text{ kJ} \end{aligned}$$

El valor es similar al reflejado en la tabla 6.3.

18) Utilizando los datos de la tabla 6.2, calcula la variación de entalpía estándar de la reacción entre el monóxido de nitrógeno gaseoso y el oxígeno cuando originan dos moles de dióxido de nitrógeno gaseoso.

La ecuación que describe el proceso es:

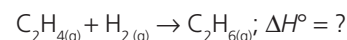


Aplicamos:

$$\begin{aligned} \Delta H &= \Delta H_{\text{f productos}}^\circ - \sum \Delta H_{\text{f reactivos}}^\circ = \\ &= (2 \cdot \Delta H_{\text{f NO}_2(\text{g})}^\circ) - (2 \cdot \Delta H_{\text{f NO}(\text{g})}^\circ) + 0 = \\ &= 2(33,2 \text{ kJ}) - 2(90,2 \text{ kJ}) + 0 \text{ kJ} = -114 \text{ kJ} \end{aligned}$$

19) Utilizando los datos de la tabla 6.5, calcula la variación de entalpía estándar del proceso de hidrogenación del eteno (C_2H_4) y comprueba tu resultado con el reflejado en la tabla 6.4.

La ecuación que describe el proceso es:



Enlaces rotos: $4_{\text{C-H}}$, $1_{\text{C=C}}$ y $1_{\text{H-H}}$;

enlaces formados: $6_{\text{C-H}}$ y $1_{\text{C-C}}$.

Entonces:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \sum \Delta H_{\text{enlaces rotos}} - \sum \Delta H_{\text{enlaces nuevos}} = \\ &= (4 \cdot 412 + 612 + 436) \text{ kJ} - (6 \cdot 412 + 348) \text{ kJ} = -124 \text{ kJ} \end{aligned}$$

La tabla 6.4 refleja un valor de: -137 kJ, de lo cual se deduce que el entorno atómico alrededor de un enlace es importante a la hora de establecer el valor de la entalpía de dicho enlace.

20) Calcula la variación de entropía que experimenta 1 mol de hielo cuando de manera reversible funde a 0°C y a la presión de 1 atm. Datos: $L_f = 334400 \text{ J/kg}$.

Para fundir 1 mol de hielo se necesita:

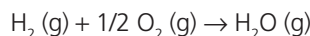
$$334400 \text{ J/kg} \cdot 0,018 \text{ kg/mol} = 6019,2 \text{ J/mol}$$

Entonces:

$$\Delta S = Q/T = 6019,2 \text{ J/mol}/273 \text{ K} = 22,05 \text{ J/mol K}$$

- 21 Utilizando los datos de la tabla 6.6, calcula la variación de entropía estándar de la reacción de formación de $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$.

Escribimos la ecuación que describe el proceso:



Aplicamos la ecuación:

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{reacción}}^{\circ} &= \sum n S_{\text{productos}}^{\circ} - \sum n' S_{\text{reactivos}}^{\circ} = \\ &= (1 \cdot S_{\text{H}_2\text{O}(\text{g})}^{\circ}) - (1 \cdot S_{\text{H}_2(\text{g})}^{\circ} + 1/2 \cdot S_{\text{O}_2(\text{g})}^{\circ}) = \\ &= (1 \text{ mol} \cdot 188,8 \text{ J/mol K}) - (1 \text{ mol} \cdot 130,7 \text{ J/mol K} \\ &\quad + 1/2 \text{ mol} \cdot 205,1 \text{ J/mol K}) \\ &= 188,8 \text{ J/K} - 233,3 \text{ J/K} = -44,5 \text{ J/K} \end{aligned}$$

- 22 Una máquina térmica realiza 120 J de trabajo con una eficiencia del 35%. ¿Cuánto calor absorbe en cada ciclo de la operación? ¿Cuánto calor expelle en cada ciclo?

En una máquina térmica, el rendimiento es:

$$e = \frac{W}{Q_c}$$

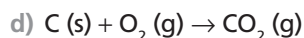
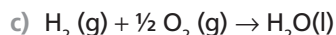
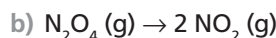
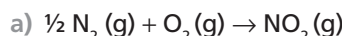
Luego:

$$0,35 = \frac{120 \text{ J}}{Q_c} \Rightarrow Q_c = 342,86 \text{ J}$$

Por otro lado,

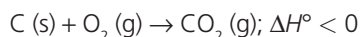
$$e = \frac{Q_c - Q_f}{Q_c} \Rightarrow 0,35 = \frac{342,86 \text{ J} - Q_f}{342,86 \text{ J}} \Rightarrow Q_f = 222,86 \text{ J}$$

- 23 Observando el estado físico de las sustancias y su complejidad, predice el signo que tendrá la variación de entropía de los siguientes procesos:



- a) Se pasa de 1,5 mol de dos reactivos gaseosos a 1 mol de un solo producto gaseoso, entonces podemos concluir que aumenta el orden, por tanto: $\Delta S < 0$.
- b) Como se pasa de tener 1 mol de reactivo gaseoso a tener 2 mol de producto gaseoso, podemos concluir que aumenta el desorden, por tanto: $\Delta S > 0$.
- c) Como se pasa de 1,5 mol de dos reactivos gaseosos a 0 mol de producto gaseoso, podemos concluir que aumenta el orden, por tanto: $\Delta S < 0$.
- d) Como se pasa de 1 mol de un reactivo gaseoso de una cierta complejidad a 1 mol de un producto gaseoso de mayor complejidad (mayor número de enlaces), podemos concluir que aumenta el desorden, por tanto: $\Delta S > 0$.

- 24 La combustión del carbono (grafito) produce dióxido de carbono gaseoso y es exotérmica. Escribe la ecuación termoquímica correspondiente y razona en qué condiciones será espontánea.

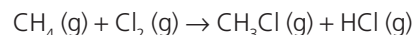


Como se pasa de 1 mol de un reactivo gaseoso de una cierta complejidad a 1 mol de un producto gaseoso de mayor complejidad (mayor número de enlaces), podemos concluir que aumenta el desorden, por tanto: $\Delta S_{\text{sistema}} > 0$.

Por otro lado sabemos que $\Delta H^{\circ} < 0$, con lo que aumenta la entropía del entorno: $\Delta S_{\text{entorno}} > 0$

Teniendo en cuenta que $\Delta S_{\text{universo}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{entorno}}$, y los dos razonamientos anteriores, podemos concluir que $\Delta S_{\text{universo}}$ siempre será mayor que cero, es decir, la reacción siempre será espontánea.

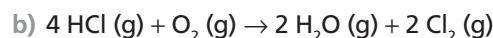
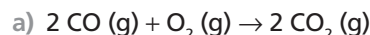
- 25 El ΔH° de la reacción entre el CH_4 y el Cl_2 para dar CH_3Cl y HCl es -114 kJ/mol . Sabiendo que la variación de entropía estándar es $11,1 \text{ J/mol K}$, escribe la ecuación química que representa el proceso, calcula ΔG° , a 25°C , e indica si el proceso será o no espontáneo en esas condiciones.



Utilizamos la ecuación $\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$ y sustituimos:

$$\begin{aligned} \Delta G^{\circ} &= -114 \text{ kJ/mol} - 298 \text{ K} \cdot 11,1 \cdot 10^{-3} \text{ kJ/mol K} = \\ &= -117,3 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

- 26 A partir de los datos de la tabla 6.8, calcula la variación de energía libre estándar de las siguientes reacciones:



En los dos apartados aplicaremos:

$$\Delta G_{\text{reacción}}^{\circ} = \sum n \Delta G_{\text{productos}}^{\circ} - \sum n' \Delta G_{\text{reactivos}}^{\circ}$$

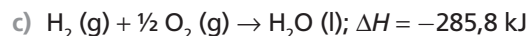
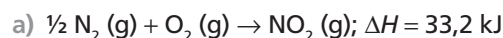
a)

$$\begin{aligned} \Delta G_1^{\circ} &= (2 \Delta G_{\text{fCO}_2(\text{g})}^{\circ}) - (2 \Delta G_{\text{fCO}(\text{g})}^{\circ} + \Delta G_{\text{fO}_2(\text{g})}^{\circ}) = \\ &= 2 \text{ mol} \cdot (-394,4 \text{ kJ/mol}) - [2 \text{ mol} \cdot (-137,28 \text{ kJ/mol}) + 0 \text{ kJ}] = \\ &= (-788,8 \text{ kJ}) - (-274,56 \text{ kJ}) = -514,24 \text{ kJ} \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} \Delta G_2^{\circ} &= (2 \Delta G_{\text{fH}_2\text{O}(\text{g})}^{\circ} + 2 \Delta G_{\text{fCl}_2(\text{g})}^{\circ}) - (4 \Delta G_{\text{fHCl}(\text{g})}^{\circ} + \Delta G_{\text{fO}_2(\text{g})}^{\circ}) = \\ &= [2 \text{ mol} \cdot (-228,6 \text{ kJ/mol}) + 0 \text{ kJ}] - \\ &\quad - [4 \text{ mol} \cdot (-95,3 \text{ kJ/mol}) + 0 \text{ kJ}] = \\ &= (-457,2 \text{ kJ}) - (-381,2 \text{ kJ}) = -76 \text{ kJ} \end{aligned}$$

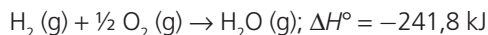
- 27 Sin hacer ningún cálculo, evalúa la espontaneidad de los siguientes procesos:



- a) Como $\Delta H > 0$ y $\Delta S < 0$ (pues aumenta el orden), entonces $\Delta G > 0$ y nunca será espontánea.
- b) Como $\Delta H > 0$ y $\Delta S > 0$ (pues aumenta el desorden), será espontánea si $T > |\Delta H|/|\Delta S|$.
- c) Como $\Delta H < 0$ y $\Delta S < 0$ (pues aumenta el orden), será espontánea si $T < |\Delta H|/|\Delta S|$.
- d) Como $\Delta H < 0$ y $\Delta S > 0$ (pues aumenta el desorden) entonces $\Delta G < 0$ y, por tanto, será espontánea siempre.

- 28 A partir de las tablas 6.2 y 6.6, determina la temperatura a la que deja de ser espontánea la reacción de formación estándar del H_2O (g).

Escribimos la ecuación que refleja el proceso:



Hallamos $\Delta S^\circ_{\text{reacción}}$:

$$\begin{aligned} \Delta S^\circ_{\text{reacción}} &= \sum n S^\circ_{\text{productos}} - \sum n' S^\circ_{\text{reactivos}} = \\ &= 1 \cdot \Delta S^\circ_{f, \text{H}_2\text{O}(\text{g})} - \left(1 \cdot S^\circ_{\text{H}_2(\text{g})} + \frac{1}{2} \cdot S^\circ_{\text{O}_2(\text{g})} \right) = \\ &= 1 \text{ mol} \cdot 188,8 \text{ J/mol K} - (1 \text{ mol} \cdot 130,7 \text{ J/mol K} + \\ &+ \frac{1}{2} \text{ mol} \cdot 205,1 \text{ J/mol K}) = 188,8 \text{ J/K} - 233,25 \text{ J/K} = \\ &= -44,45 \text{ J/K} = -0,044 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$

Para que deje de ser espontánea ha de cumplirse: $\Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \geq 0$; es decir:

$$-241,8 \text{ kJ} + T \cdot 0,044 \text{ kJ/K} \geq 0; T \geq 241,8 \text{ kJ} / 0,044 \text{ kJ K}^{-1}; T \geq 5495,5 \text{ K}$$

- 29 **Elabora un resumen sobre los efectos para el medio ambiente que tienen las reacciones de combustión.**

La lluvia ácida y el incremento del efecto invernadero (ver libro del alumno).

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 140)

Lectura: DISPOSITIVOS QUE GENERAN FRÍO Y CALOR

Lectura sobre los dispositivos que generan frío y calor.

Análisis

- 1 ¿Por qué se echa sal a las carreteras heladas?

La sal tiende a disolverse lentamente en el agua formada al fundirse el hielo pero como el proceso es endotérmico (deben vencerse las fuerzas que unen a los iones de Na^+ y de Cl^- y después conseguir su hidratación) necesita absorber calor, el cual obtiene del agua y del hielo que la rodean, de esta forma el punto de congelación del hielo disminuye hasta unos -10°C (ver Unidad 3); entonces, al existir una diferencia térmica entre el ambiente (que estará, por ejemplo a -5°C) y la disolución (que estará a -10°C), se derretirá más

nieve, y así sucesivamente hasta que se igualen las dos temperaturas (hecho que será difícil que ocurra, a menos que el ambiente esté excesivamente frío, por ejemplo a -10°C).

- 2 Si queremos producir frío, ¿qué tipo de reacción química emplearemos, endotérmica o exotérmica?

Emplearemos una reacción endotérmica.

- 3 ¿Y si lo que queremos es producir calor?

Emplearemos una reacción exotérmica.

Propuesta de investigación

- 4 Prepara una presentación sobre los dispositivos que generan frío y calor y preséntala en clase.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 141)

Práctica de laboratorio: ENTALPIA DE NEUTRALIZACIÓN

El objetivo de esta práctica es determinar el equivalente en agua de un calorímetro y, posteriormente, medir el calor de neutralización de un ácido fuerte (HCl) con una base fuerte (NaOH).

Cuestiones

- 1 ¿Coincide el valor calculado de ΔH con el que dan las tablas? Si hay alguna diferencia, ¿a qué puede deberse?

Lo más seguro es que no coincida, el error puede deberse a varias causas, entre las que citamos:

- Las concentraciones de las disoluciones no son exactamente 1 M.
- El hidróxido de sodio tiene impurezas.

■ A efecto de calor específico y densidad hemos supuesto que las dos disoluciones son iguales y están formadas exclusivamente por agua pura.

■ El calorímetro tiene fugas de calor.

- 2 Si utilizáramos otros ácidos u otras bases, ¿se obtendría el mismo resultado?

Sí, siempre que sean fuertes, ya que si empleamos ácidos o bases débiles parte del calor de neutralización se va a emplear en disociar la base o el ácido débil. Por ello, los valores del calor de neutralización de ácidos o bases débiles frente a bases o ácidos fuertes, dan valores inferiores al de formación del agua a partir de sus iones ($\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$).

- 3 Elabora un informe de la práctica.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 144/145)

El sistema termodinámico. Calor y trabajo

- 1 ¿Qué tipo de sistema es: una célula viva, una botella de vidrio cerrada, una planta, el cuerpo humano, la atmósfera terrestre, el universo?

Una célula viva, una planta, el cuerpo humano y la atmósfera terrestre son sistemas abiertos que pueden intercambiar materia y energía con el entorno. Por el contrario, una botella de vidrio cerrada es un sistema cerrado, solo intercambia energía. El universo es un sistema aislado, al no tener entorno no puede intercambiar ni materia ni energía.

- 2 ¿Es el calor una forma de energía, como lo son la energía potencial o la cinética?

No, el calor es un método o forma de transferir energía entre dos cuerpos.

- 3 Si la cubeta de Joule contiene 3 L de agua y se deja caer una pesa de 25 kg desde una altura de 5 m, ¿cuánto aumentará la temperatura del agua?

La energía potencial inicial de la pesa acaba siendo transferida en forma de calor a la cubeta de agua, lo que produce un aumento de la temperatura de esta. Así:

$$mgh = m_{aq} c_e \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{mgh}{m_{aq} c_e} = 0,098^\circ\text{C}$$

Para ello, hemos expresado la energía potencial de la pesa en calorías y se ha considerado que $c_e = 4184 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$.

- 4 ¿Desde qué altura deberían descender dos pesas de 30 kg cada una si la cubeta de Joule contiene 0,75 L de agua y se desea elevar su temperatura en 1°C ?

El calor necesario para elevar un grado la temperatura de 0,75 L de agua ($m = 750 \text{ g}$) es:

$$Q = mc\Delta T = 750 \text{ cal} = 3138 \text{ J}$$

Esa debe ser, pues, la energía potencial inicial de ambas pesas, por lo que:

$$2m'gh = 3138 \text{ J}$$

Despejando la altura, resulta:

$$h = \frac{3138 \text{ J}}{2 \cdot 30 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} = 5,3 \text{ m}$$

- 5 Al calentar 800 g de cierta sustancia, la temperatura se eleva de 15°C a 35°C . Si el proceso ha requerido 11 200 cal, ¿cuál es el calor específico de dicha sustancia? ¿Y la capacidad calorífica de esos 800 g?

El calor específico de dicha sustancia será:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = 0,7 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$$

La capacidad calorífica de esa cantidad de sustancia es:

$$C = mc = 800 \text{ g} \cdot 0,7 \text{ cal/g}^\circ\text{C} = 560 \text{ cal}^\circ\text{C}$$

- 6 ¿Por qué presentan los climas costeros menos variación de temperatura entre el día y la noche?

Ello es debido al elevado calor específico del agua, que actúa de regulador térmico, absorbiendo calor del ambiente durante el día y cediéndolo al ambiente durante la noche.

De ese modo, la temperatura del ambiente no suele tener los contrastes tan altos como en zonas del interior.

- 7 El helio líquido ebulle a $4,2 \text{ K}$, y su calor latente de vaporización es de $4,99 \text{ cal/g}$. Se pretende evaporar 20 L de He líquido mediante un calefactor eléctrico sumergido de 15 W de potencia. Si la densidad del helio líquido es $0,125 \text{ g/cm}^3$, ¿cuánto tiempo se empleará en el proceso de evaporación?

La masa del helio que pretendemos evaporar es:

$$m = \rho V = 0,125 \text{ g/cm}^3 \cdot 20 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 = 2500 \text{ g}$$

Cantidad de calor que necesitamos para evaporarla:

$$Q = mL_v = 2500 \text{ g} \cdot 4,99 \text{ cal/g} = 12475 \text{ cal} \cdot 4,18 \text{ J/cal} = 52 \text{ kJ}$$

Por otro lado,

$$t = \frac{W}{P} = \frac{52000 \text{ J}}{15 \text{ W}} = 3467 \text{ s} = 58 \text{ min}$$

- 8 Cuando un sistema pasa de un estado a otro, ¿el trabajo realizado solo depende de cuáles sean dichos estados? Pon ejemplos que ilustren tu respuesta.

No. Depende de la trayectoria seguida, como se explica en el libro del alumno.

- 9 Un mol de gas ideal es sometido al proceso reversible en tres etapas que se detallan a continuación:

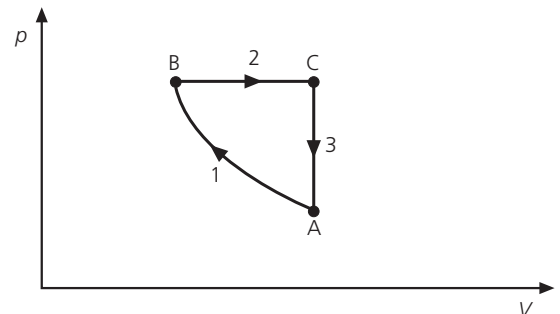
1. Compresión isotérmica.
2. Calentamiento a $p = \text{cte}$.
3. Enfriamiento a $V = \text{cte}$ hasta el estado inicial.

Representa el proceso en un diagrama p - V .

Etapas: 1: aumenta p y disminuye $V \Rightarrow pV$ constante.

Etapas: 2: aumenta el volumen sin variar la presión.

Etapas: 3: disminuye la presión sin variar el volumen.

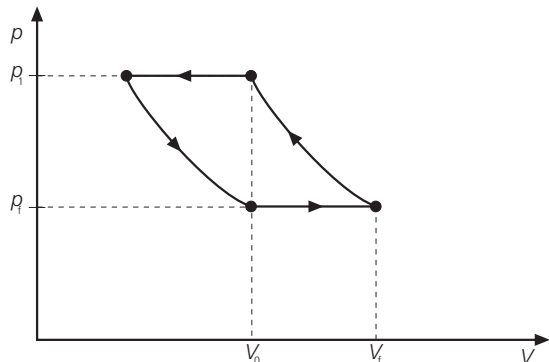


- 10 Un mol de gas ideal se somete a las siguientes transformaciones:

- a) Expansión isotérmica.
- b) Calentamiento isobárico.
- c) Compresión isotérmica hasta el volumen final de la etapa a).
- d) Enfriamiento isobárico hasta el estado inicial.

Representa el proceso global en un diagrama p - V .

- Expansión isotérmica: aumenta V y disminuye p , según $pV = \text{constante}$.
- Calentamiento isobárico: aumenta V y p se mantiene constante.
- Compresión isotérmica: aumenta p y disminuye V , según $pV = \text{constante}$.
- Enfriamiento isobárico: disminuye V a presión constante hasta el estado inicial.



- 11 Un gas ideal ocupa un volumen de 32 L a una temperatura de 310 K y una presión de 1,8 atm. ¿Qué trabajo se realiza si se aumenta la temperatura hasta 390 K manteniendo constante la presión?

Por aplicación de la ley de Charles y Gay-Lussac, podemos determinar el volumen final:

$$V' = \frac{VT'}{T} = 40,26 \text{ L}$$

Por tanto: $\Delta V = 8,26 \text{ L} = 0,00826 \text{ m}^3$

Así pues, el trabajo realizado es:

$$\begin{aligned} W &= -p\Delta V = \\ &= -1,8 \text{ atm} \cdot 101300 \text{ Pa/1 atm} \cdot 0,00826 \text{ m}^3 = \\ &= -1506,13 \text{ J} \end{aligned}$$

- 12 ¿Por qué el aire que escapa por el pinchazo de una colchoneta parece más frío que el del ambiente?

Dado que el proceso es lo suficientemente rápido como para poder suponer que no hay transferencia de calor, podemos considerarlo como adiabático, por lo que el trabajo de expansión (positivo) del aire que escapa supone una disminución de la energía interna y, por tanto, un enfriamiento.

- 13 ¿Qué tipo de proceso ocurre en una olla a presión? ¿Qué fundamento puede tener la válvula de la olla?

Es un proceso a presión constante. La válvula permite que la presión se mantenga constante cuando la olla está en pleno funcionamiento.

- 14 Un cilindro contiene 1 mol de O_2 a una temperatura de 27°C y una presión de 1 atm. Se calienta el gas a $p = \text{cte}$ hasta que su temperatura es de 127°C :

- Dibuja el proceso en un diagrama p - V .
- ¿Qué trabajo realiza el gas en este proceso?
- ¿Cuál es la variación de energía interna del gas?
- ¿Qué calor se le ha transferido?

Dato: c_v del $\text{O}_2 = 5,04 \text{ cal/mol}^\circ\text{C}$

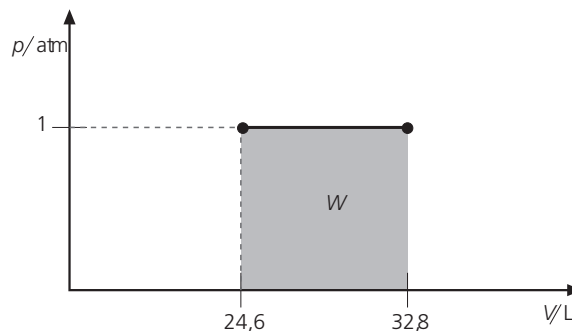
El volumen inicial se obtiene a partir de la ecuación de los gases ideales:

$$V = \frac{nRT}{p} = 24,6 \text{ L}$$

Y el volumen final podemos obtenerlo por la ley de Charles y Gay-Lussac:

$$V' = \frac{VT'}{T} = 32,8 \text{ L}$$

- a) El proceso, en un diagrama p - V , será:



- b) Así pues:

$$W = -p(V' - V) = -101300 \text{ Pa} \cdot 0,0082 \text{ m}^3 = -830,66 \text{ J}$$

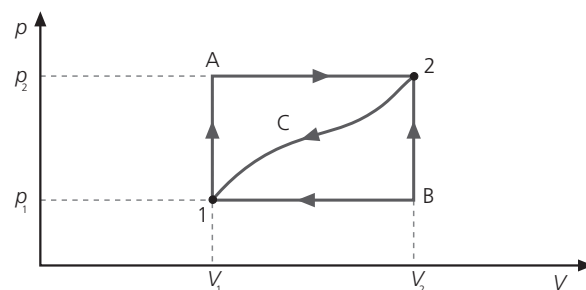
- c) La variación de energía interna es:

$$\Delta U = nc_v T = 504 \text{ cal} = 2108,7 \text{ J}$$

- d) En consecuencia:

$$Q = \Delta U - W = 2939,4 \text{ J}$$

- 15 Al pasar del estado 1 al 2 siguiendo la trayectoria A de la figura, se le transfiere al sistema 500 cal y este realiza un trabajo de 800 J, mientras que siguiendo la trayectoria B se le transfiere 360 cal.



- ¿Cuánto vale el trabajo en el recorrido B?
- Si en la transformación inversa de 2 a 1 a través de C se realiza sobre el sistema un trabajo de 400 J, ¿cuánto vale el calor transferido en este proceso?

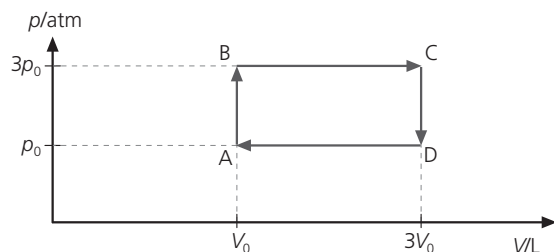
- a) En el trayecto A: $Q = 500 \text{ cal} = 2092 \text{ J}$, mientras que $W = -800 \text{ J}$, por lo que $\Delta U = Q + W = 2092 \text{ J} - 800 \text{ J} = 1292 \text{ J}$.

La energía interna es función de estado y su variación no depende de la trayectoria seguida, luego:

$$W_B = \Delta U - Q_B = 1292 \text{ J} - 360 \text{ cal} \cdot 4,184 \text{ J/cal} = -214,24 \text{ J}$$

- b) En la transformación inversa: $\Delta U = -1292 \text{ J}$, mientras que $W = 400 \text{ J}$, por lo que $Q = \Delta U - W = -1292 \text{ J} - 400 \text{ J} = -1692 \text{ J}$.

- 16 Un gas ideal, cuyas condiciones iniciales son: p_0 , T_0 y V_0 , es sometido a un proceso cíclico como el que se muestra.



Calcula:

- El trabajo neto realizado por el gas en cada ciclo.
- El calor transferido al sistema en cada ciclo.
- Obtén un valor numérico para el trabajo realizado por ciclo para 2 mol de gas inicialmente a 10°C .

a) El proceso A-B tiene lugar a volumen constante, luego no hay trabajo, $W_{B\rightarrow C} = -p\Delta V = -3p_0 \cdot (3V_0 - V_0) = -6p_0V_0$; $W_{C\rightarrow D} = 0$ (proceso isocoro); $W_{D\rightarrow A} = -p\Delta V = -p_0 \cdot (V_0 - 3V_0) = 2p_0V_0$

Trabajo total: $W_{ABCD} = -4p_0V_0$

- Al tratarse de un proceso cíclico, $\Delta U = 0$, por lo que $Q = -W$ e igual a $4p_0V_0$.
- Tenemos 2 mol de gas y una $T_0 = 283\text{ K}$, entonces: $W_{\text{total}} = -4p_0V_0 = -4nRT = -18,8\text{ kJ}$

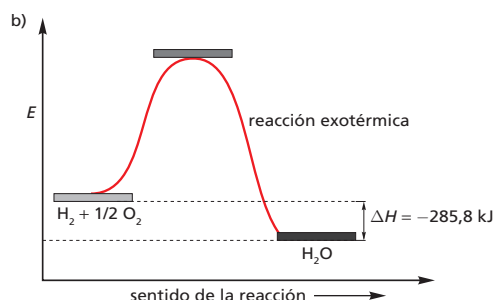
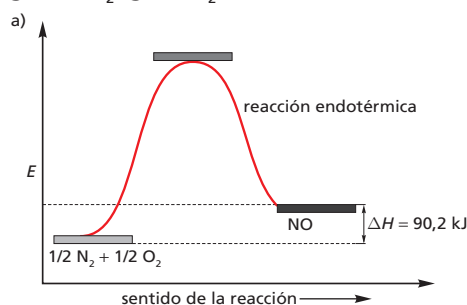
- 17 En una reacción química entre gases ideales a 300°C disminuye el número de moles de los gases en 0,2; si la variación de energía interna es de 6,2 Kcal, ¿cuál es la variación de entalpía de la reacción?

Sabemos que: $\Delta H = \Delta U + RT\Delta n = 25916\text{ J} + 8,31\text{ J/mol K} \cdot 573\text{ K} \cdot 0,2\text{ mol} = 26868,3\text{ J} = 26,9\text{ kJ}$

Entalpía. Ecuaciones termoquímicas

- 18 Representa las siguientes ecuaciones termoquímicas en diagramas de entalpía:

- $\frac{1}{2}\text{N}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}(\text{g}); \Delta H = 90,2\text{ kJ}$
- $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -285,8\text{ kJ}$



- 19 Cuando se disuelven 0,5 mol de ácido sulfúrico en 1 L de agua, se observa un incremento de la temperatura de 20°C a $30,9^\circ\text{C}$. Considerando que el calor específico de la disolución es igual al del agua, calcula la entalpía de disolución del ácido.

0,5 mol de H_2SO_4 equivale a 49 g de H_2SO_4 , por tanto la masa de disolución es:

$$1000\text{ g de agua} + 49\text{ g de H}_2\text{SO}_4 = 1,05\text{ kg}$$

Aplicamos: $Q = mc_s\Delta T = 1,05\text{ kg} \cdot 4180\text{ J/kg}^\circ\text{C} (30,9^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 47840\text{ J}$; eso es para 0,5 mol, entonces para 1 mol será el doble: 95680 J; por tanto:

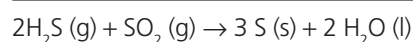
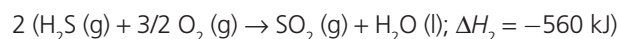
$$\Delta H = -95,7\text{ kJ/mol}$$

- 20 Sean las siguientes ecuaciones termoquímicas:

- $\text{S}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g}); \Delta H = -297\text{ kJ}$
- $\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 3/2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}); \Delta H = -560\text{ kJ}$

Calcula la variación de entalpía de la reacción entre el sulfuro de hidrógeno (gas) y el dióxido de azufre (gas) que permite obtener azufre (s) y agua (l).

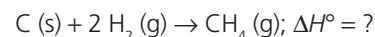
Aplicamos la ley de Hess:



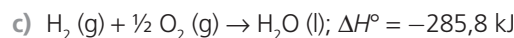
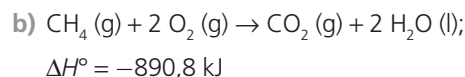
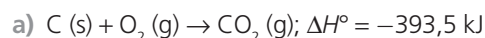
$$\Delta H = -3(-297) + 2(-560) = -229\text{ kJ}$$

- 21 Sabiendo los calores de combustión del C (grafito) y del $\text{CH}_4(\text{g})$, y el de formación del $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$, averigua el calor de formación del metano.

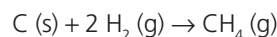
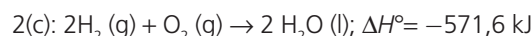
Aplicamos la ley de Hess. Primero escribimos la ecuación problema:



Ahora las ecuaciones dato:

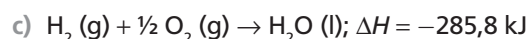
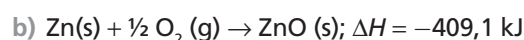
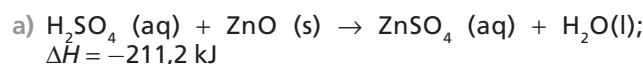


Realizamos los siguientes cambios en las ecuaciones dato y sumamos:



$$\Delta H^\circ = -393,5 + 890,8 + (-571,6) = -74,3\text{ kJ}$$

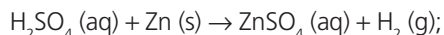
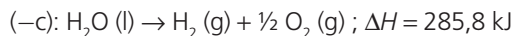
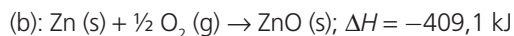
- 22 Calcula la variación de entalpía correspondiente a la reacción entre el ácido sulfúrico y el cinc, conociendo las siguientes ecuaciones termoquímicas:



Aplicamos la ley de Hess. Primero escribimos la ecuación química problema:



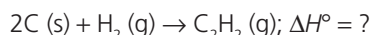
Ahora modificamos la tercera ecuación dato hasta que su-
mada a las otras se origine la problema:



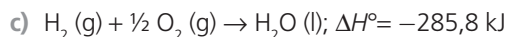
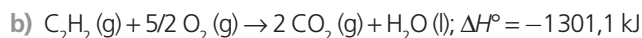
$$\Delta H = -211,2 + (-409,1) + 285,8 = -334,5 \text{ kJ}$$

- 23** A partir de las tablas citadas en la unidad, calcula la entalpía de formación estándar del etino o acetileno (C_2H_2) sabiendo las entalpías de combustión del C (s), del etino (g) y la de formación del agua (l).

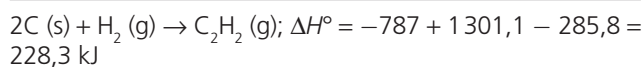
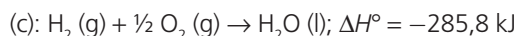
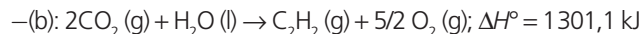
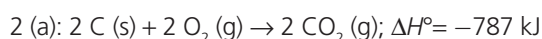
Aplicamos la ley de Hess, primero escribimos la ecuación química problema:



Ahora las ecuaciones químicas dato:



Modificamos la primera (multiplicándola por dos) y la segunda (invirtiendo el signo):



- 24** A partir de las siguientes variaciones de entalpía:

$$\Delta H_{f, \text{CH}_4(\text{g})}^\circ = -74,8 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{f, \text{CO}_2(\text{g})}^\circ = -393,5 \text{ kJ}$$

$$\Delta H_{f, \text{H}_2\text{O}(\text{g})}^\circ = -285,8 \text{ kJ}$$

calcula la variación de entalpía de combustión estándar del metano y comprueba que utilizando la ley de Hess se obtiene el mismo resultado.

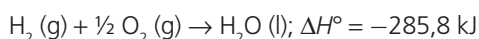
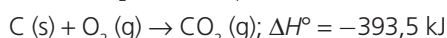
Primero escribimos la ecuación problema:



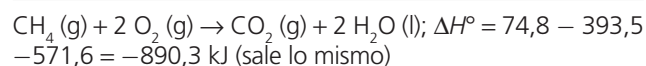
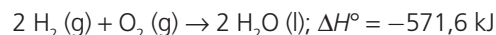
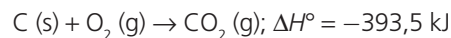
- a)** Dado que todas las entalpías dato son de formación, aplicamos la ecuación:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \sum n \cdot \Delta H_{f, \text{productos}}^\circ - \sum n' \cdot \Delta H_{f, \text{reactivos}}^\circ = \\ &= (\Delta H_{f, \text{CO}_2(\text{g})}^\circ + 2 \cdot \Delta H_{f, \text{H}_2\text{O}(\text{l})}^\circ) - (\Delta H_{f, \text{CH}_4(\text{g})}^\circ + 2 \cdot \Delta H_{f, \text{O}_2(\text{g})}^\circ) = \\ &= [(-393,5 \text{ kJ}) + 2(-285,8 \text{ kJ})] - [(-74,8 \text{ kJ}) + 0 \text{ kJ}] = \\ &= -393,5 \text{ kJ} - 571,6 \text{ kJ} + 74,8 \text{ kJ} = -890,3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- b)** Aplicando la ley de Hess. Escribimos las ecuaciones químicas dato:

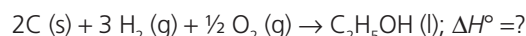


Modificamos la primera (invirtiendo el signo) y la tercera (multiplicándola por dos):

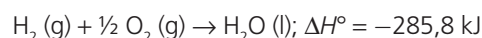
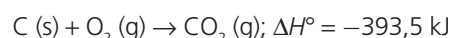
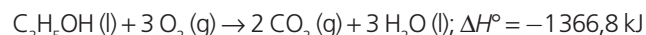


- 25** Calcula el calor de formación estándar del alcohol etílico sabiendo que su calor de combustión estándar es de $-1366,8 \text{ kJ/mol}$, el del carbono (grafito) es $-393,5 \text{ kJ/mol}$ y el calor de formación estándar del agua líquida es $-285,8 \text{ kJ/mol}$.

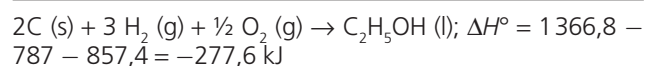
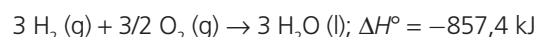
Aplicamos la ley de Hess. Primero escribimos la ecuación química problema:



Ahora las ecuaciones químicas dato:

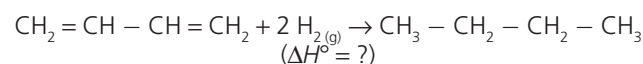


Modificamos la primera (invirtiendo el signo), la segunda (multiplicándola por dos) y la tercera (multiplicándola por tres):



- 26** Sabiendo (ver tablas) las entalpías estándar de enlace, calcula la variación de entalpía para la reacción de hidrogenación del 1,3-butadieno.

Primero se escribe la ecuación termoquímica «problema»:

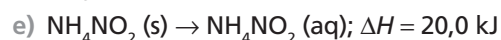
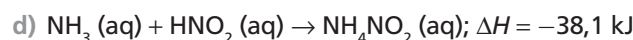
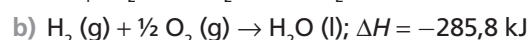
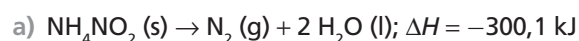


Se observa, enlaces rotos: 2 C = C y 2 H - H, enlaces formados: 2 C-C y 4 C-H.

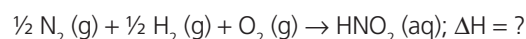
Entonces:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \sum \Delta H_{\text{enlaces rotos}} - \sum \Delta H_{\text{enlaces nuevos}} = \\ &= (2 \cdot 612 \text{ kJ} + 2 \cdot 436 \text{ kJ}) - (2 \cdot 348 + 4 \cdot 412) = \\ &= 1224 + 872 - (696 + 1648) = 2096 - 2344 = -248 \text{ kJ} \end{aligned}$$

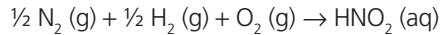
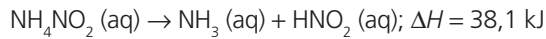
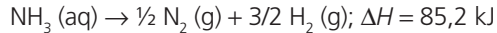
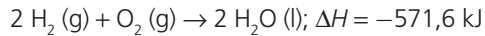
- 27** Calcula la entalpía de formación del ácido nitroso conociendo las siguientes ecuaciones termoquímicas a 25°C :



Aplicamos la ley de Hess. Primero escribimos la ecuación química problema:



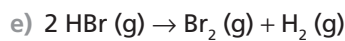
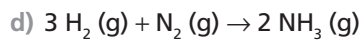
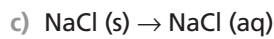
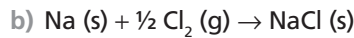
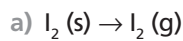
Modificamos convenientemente las ecuaciones químicas dato:



$$\Delta H = 300,1 - 571,6 + 85,2 + 38,1 + 20,0 = -128,2 \text{ kJ}$$

Entropía. Segundo principio de la termodinámica

28 Razona el signo que cabe esperar para la variación de entropía de los siguientes procesos:



a) $\Delta S > 0$, pues $\Delta n_{(\text{gas})} = 1$ (aumenta el desorden).

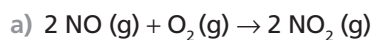
b) $\Delta S < 0$, pues $\Delta n_{(\text{gas})} = -1/2$ (aumenta el orden).

c) En el $\text{NaCl}(\text{s})$ los iones Na^+ y Cl^- se encuentran perfectamente ordenados dentro de la red cristalina iónica, sin embargo, en disolución ambos iones se encuentran hidratados $\text{Na}^+(\text{aq})$ y $\text{Cl}^-(\text{aq})$ moviéndose por toda la disolución; es decir se pasa de una situación ordenada a otra más desordenada, por tanto $\Delta S > 0$.

d) La variación del número de moles de sustancias gaseosas es: $\Delta n_{\text{gas}} = -2$, es decir, se pasa de una situación más desordenada a otra algo más ordenada, por tanto $\Delta S < 0$.

e) $\Delta n_{\text{gas}} = 0$; en este caso no disponemos de suficientes datos para poder predecir el signo de ΔS .

29 Sabiendo la entropía molar estándar de las sustancias que intervienen en las siguientes reacciones, calcula la variación de entropía de ambas reacciones:



Aplicamos la ecuación: $\Delta S_{\text{reacción}}^{\circ} = \sum n \cdot S_{\text{productos}}^{\circ} - \sum n' \cdot S_{\text{reactivos}}^{\circ}$

a)

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{reacción}}^{\circ} &= (2 \cdot S_{\text{NO}_2(\text{g})}^{\circ}) - (2 \cdot S_{\text{NO}(\text{g})}^{\circ} + 1 \cdot S_{\text{O}_2(\text{g})}^{\circ}) = \\ &= (2 \cdot 240,1) - (2 \cdot 210,8 + 205,1) = \\ &= 480,2 - 626,7 = -146,5 \text{ J/K} \end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{reacción}}^{\circ} &= (1 \cdot S_{\text{Hg}(\text{l})}^{\circ} + \frac{1}{2} \cdot S_{\text{O}_2(\text{g})}^{\circ}) - (1 \cdot S_{\text{HgO}(\text{g})}^{\circ}) = \\ &= (76 + \frac{1}{2} \cdot 205,1) - (1 \cdot 70,3) = \\ &= 178,6 - 70,3 = 108,3 \text{ J/K} \end{aligned}$$

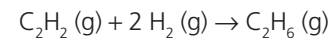
Energía libre de Gibbs. Espontaneidad

30 ¿Qué ocurre con la variación de entropía del universo en una reacción espontánea?

Si $\Delta G < 0$ entonces: $\Delta S_{\text{universo}} > 0$.

31 Conociendo las energías libres de formación estándar de las sustancias que intervienen en la reacción de hidrogenación del etino para dar etano, calcula la variación de energía libre de dicha reacción.

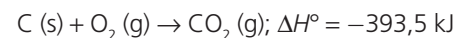
Escribimos la ecuación química problema:



Aplicamos la ecuación: $\Delta G_{\text{reacción}}^{\circ} = \sum n \cdot \Delta G_{\text{productos}}^{\circ} - \sum n' \cdot \Delta G_{\text{reactivos}}^{\circ} = (-32,8) - (209,6 + 2 \cdot 0) = -242,4 \text{ kJ}$

32 Utilizando los valores de entropía de la tabla 6.6 y sabiendo que, en condiciones estándar, la combustión total de 1 mol de carbono desprende 393,5 kJ, calcula, a 25°C, el ΔG° de dicho proceso e indica si para esa temperatura la reacción es espontánea.

Escribimos la ecuación química problema:



Ahora hallamos $\Delta S_{\text{reacción}}^{\circ}$:

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{reacción}}^{\circ} &= \sum n \cdot S_{\text{productos}}^{\circ} - \sum n' \cdot S_{\text{reactivos}}^{\circ} = (S_{\text{CO}_2(\text{g})}^{\circ}) - (S_{\text{C}(\text{s})}^{\circ} + S_{\text{O}_2(\text{g})}^{\circ}) \\ &= 213,7 - (5,7 + 205,1) = 2,9 \text{ J/K} = 0,003 \text{ kJ/K} \end{aligned}$$

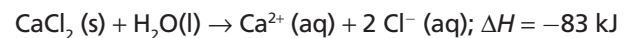
Aplicamos la ecuación: $\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ} = -393,5 \text{ kJ} - 298 \text{ K} \cdot 0,003 \text{ kJ/K} = -394,4 \text{ kJ}$

Al ser $\Delta G^{\circ} < 0$ la reacción será espontánea.

33 ¿Por qué muchas reacciones endotérmicas transcurren espontáneamente a altas temperaturas?

Sabemos que $\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T\Delta S^{\circ}$; si como consecuencia de las altas temperaturas: $|T\Delta S^{\circ}| > |\Delta H^{\circ}|$, entonces $\Delta G^{\circ} < 0$

34 El proceso que ocurre en las llamadas «bolsas de calor» es el siguiente:



Indica la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

a) El proceso solo es espontáneo si $T < |\Delta H|/|\Delta S|$.

b) El proceso siempre será espontáneo.

La solución correcta es la b), pues en $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, ΔG va a ser siempre menor que cero ya que $\Delta H < 0$ y $\Delta S > 0$, pues aumenta el desorden.

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 147)

1. ¿Qué masa total debería colgarse en el dispositivo de Joule si deseamos aumentar en un grado la temperatura de 5 L de agua y la altura de caída es de 10 m?

Calculamos la masa a partir de la ecuación:

$$m = \frac{m_{aq} \cdot c_e \cdot \Delta T}{gh} = \frac{5 \text{ kg} \cdot 4184 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot 1^\circ\text{C}}{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m}} = 213,5 \text{ kg}$$

2. ¿Qué ocurre, desde el punto de vista termodinámico, cuando nos frotamos las manos para calentárnoslas?

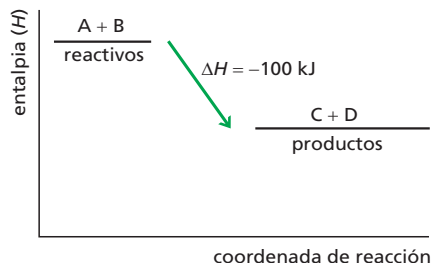
El trabajo de rozamiento se transforma en calor, lo que produce un aumento de energía interna y la consiguiente elevación de temperatura.

3. ¿Cómo podemos aumentar la temperatura de un gas ideal encerrado en un recipiente con un émbolo móvil?

Calentándolo ($Q > 0$) o comprimiéndolo ($W < 0$) o mediante ambos procesos a la vez.

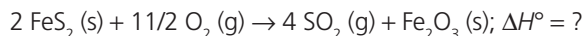
4. En el diagrama entálpico de la reacción: $A + B \rightarrow C + D$, $|\Delta H| = 100 \text{ kJ}$, se observa que los productos tienen un contenido energético inferior a los reactivos. Dibuja dicho diagrama indicando el valor y signo de ΔH y señala si la reacción es endotérmica o exotérmica.

Es exotérmica.



5. Calcula la variación de entalpía que acompaña a la reacción entre el FeS_2 (s) y el O_2 (g) para formar SO_2 (g) y Fe_2O_3 (s). Datos: $\Delta H_{f\text{FeS}_2}^\circ = -296,4 \text{ kJ}$; $\Delta H_{f\text{SO}_2}^\circ = -296,1 \text{ kJ}$; $\Delta H_{f\text{Fe}_2\text{O}_3}^\circ = -822,2 \text{ kJ}$

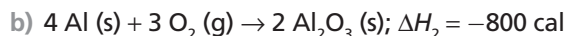
Escribimos la ecuación que representa a la reacción problema y la ajustamos:



Aplicamos la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= \sum n \cdot \Delta H_{f\text{productos}}^\circ - \sum n' \cdot \Delta H_{f\text{reactivos}}^\circ = \\ &= \left(4 \cdot \Delta H_{f\text{SO}_2(\text{g})}^\circ + \Delta H_{f\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})}^\circ \right) - \left(2 \cdot \Delta H_{f\text{FeS}_2(\text{g})}^\circ + \frac{11}{2} \cdot \Delta H_{f\text{O}_2(\text{g})}^\circ \right) = \\ &= [4 \cdot (-296,1) + (-822,2)] - [2 \cdot (-296,4)] = -1413,8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

6. Conociendo las siguientes ecuaciones termoquímicas:

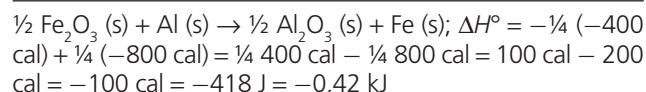
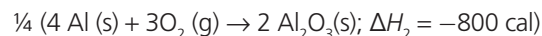
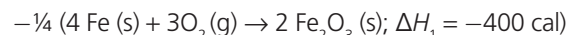


Calcula, en kJ, la entalpía de la reacción por la que se obtiene un mol de hierro a partir de óxido de hierro(III) (s) y aluminio (s). La reacción también produce óxido de aluminio sólido.

Escribimos la ecuación que representa a la reacción problema y la ajustamos:



Aplicamos la ley de Hess, realizando los siguientes cambios en las ecuaciones dato y sumando:



7. Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a) Las reacciones exotérmicas en las que la entropía aumenta son imposibles a cualquier temperatura.
b) Las reacciones endotérmicas que se producen con aumento de entropía del sistema pueden ser espontáneas a temperaturas suficientemente bajas.
c) Las bajas temperaturas favorecen a las reacciones exotérmicas que hacen disminuir la entropía del universo.

Todas son falsas.

8. Las entropías molares estándar del $\text{NaCl} (\text{s})$ y (aq) son $72,5 \text{ J/K}$ y $115,5 \text{ J/K}$, respectivamente, y la variación de energía libre molar estándar del proceso de disolución a 25°C es $-8,9 \text{ kJ}$. Halla la variación de entalpía estándar del proceso de disolución y señala si será reversible o irreversible.



$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S; \Delta H = \Delta G + T\Delta S = -8900 \text{ J} + 298 \text{ K} (115,5 \text{ J/K} - 72,5 \text{ J/K}) = 3914 \text{ J}$$

Como $\Delta G < 0$, el proceso será espontáneo y, por tanto, irreversible.

9. Indica la utilidad de las reacciones de combustión y explica sus consecuencias medioambientales.

Las reacciones de combustión, primero de la madera, luego del carbón, después del gas natural y, por último (en el siglo xx y principios del xxi) del petróleo y sus derivados, se han venido utilizando como forma de obtener energía. El carácter exotérmico de estas reacciones unido al hecho de la existencia de una compleja organización industrial (la petroquímica) dedicada exclusivamente a la obtención de estos combustibles fósiles y que mueve grandes capitales, explica la importancia de las mismas, tanto a nivel social como industrial.

Pero su uso plantea dos problemas: son **recursos no renovables**, es decir, la humanidad los está utilizando a un ritmo superior al que la naturaleza los forma, por lo que terminarán por agotarse; y sus **repercusiones medioambientales**: lluvia ácida e incremento del efecto invernadero.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Actividades del LA	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Explica razonadamente el procedimiento para determinar el equivalente mecánico del calor y conocer la unidad de calor en el sistema internacional.	AT: 3, 4, 5-11 A: 1-7 ER: 1, 2	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
1.2. Sabe clasificar a las variables termodinámicas en «variables de estado» o «variables de transferencia».		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con algunos fallos.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Sabe calcular el calor y el trabajo en procesos sencillos.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con algunos fallos.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1 Interpreta el primer principio de la termodinámica como el principio de conservación de la energía en sistemas en los que se producen intercambios de calor y trabajo.	A: 8-13 ER: 3, 4 AT: 12-17	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Interpreta ecuaciones termoquímicas (con sus diagramas entálpicos) y distinguir entre reacciones endotérmicas y exotérmicas y conocer las posibles formas de calcular la entalpía de una reacción química.	A: 14-19 ER: 5, 6 AT: 18-27	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Predice la variación de entropía en una reacción química.	A: 21, 24-28 ER: 7, 8	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.2. Da respuesta a cuestiones conceptuales sencillas sobre el segundo principio de la termodinámica, en relación con los procesos espontáneos y predecir, de forma cualitativa y cuantitativa, la espontaneidad de un proceso químico en determinadas condiciones a partir de la energía de Gibbs.	AT: 28, 29, 31-34	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1. Distingue los procesos reversibles e irreversibles y su relación con la entropía.	A: 20 AT: 30	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.1. Comprende la importancia de las reacciones de combustión y sus consecuencias.	A: 29	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Razona la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

- El calor es la energía interna que tienen los cuerpos en función de su temperatura.
- La temperatura es la medida del calor contenido en un cuerpo.
- La cantidad de calor necesaria para elevar un grado la temperatura de 10 kg de agua es la misma que la que necesitaríamos con 1 kg.

- Falso. El calor es la energía térmica (cinética) transferida entre dos cuerpos en desequilibrio térmico.
- Falso. Los cuerpos no contienen calor, del mismo modo que no contienen trabajo. La temperatura es una medida de la energía cinética media (energía térmica) de las partículas de la sustancia.
- Falso. Como se deriva del concepto de capacidad calorífica o de las propias unidades en que se mide el calor específico de las sustancias, la cantidad necesaria para aumentar un grado la temperatura de 10 kg de agua es diez veces mayor.

2. ¿Qué proceso crees que requiere más cantidad de calor: fundir un kilogramo de hielo a 0 °C o aumentar 50 °C la temperatura de 1 kg de agua?

Datos: $L_{\text{fus}}(\text{H}_2\text{O}) = 334,4 \text{ kJ/kg}$; $c(\text{H}_2\text{O}) = 4184 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

Requiere más cantidad de calor fundir 1 kg de hielo, dado el elevado valor del calor de fusión del agua. Lo podemos comprobar comparando estos dos resultados:

$$Q_{\text{fus}} = mL_{\text{fus}} = 334400 \text{ J}$$

$$Q = mc_e\Delta T = 209200 \text{ J}$$

3. ¿Sabrías citar dos maneras de comprimir un gas? ¿Y dos maneras de expandirlo?

Podemos comprimir un gas enfriándolo, haciendo que transfiera calor, o aumentando la presión al realizar un trabajo sobre él. Por el contrario, podemos expandirlo invirtiendo los procesos, es decir, transfiriéndole calor o disminuyendo la presión.

4. Razona si las siguientes proposiciones son verdaderas o falsas:

- Cuando un sistema pasa de un estado inicial, A, a otro final, B, la cantidad de calor transferida en el cambio es siempre la misma, independientemente del proceso seguido.
- Cuando un sistema pasa de un estado inicial, A, a otro final, B, el trabajo realizado en la transformación es siempre el mismo, independientemente del proceso seguido.
- Cuando un sistema pasa de un estado inicial, A, a otro final, B, la variación de energía interna es siempre la misma, independientemente del proceso seguido.

Las proposiciones **a)** y **b)** son falsas, pues tanto el calor como el trabajo son «funciones de trayectoria» que dependen del proceso seguido para pasar de un estado a otro. Por el con-

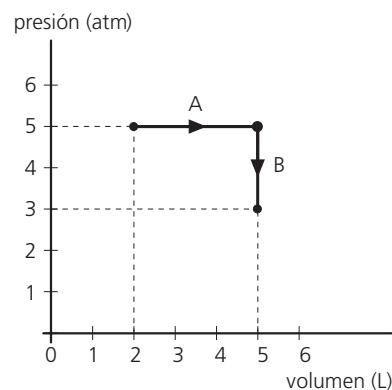
trario, la proposición **c)** es cierta, pues la energía interna sí es una función de estado.

5. Un mol de gas ideal cuyas condiciones iniciales son $p_0 = 5 \text{ atm}$, $V_0 = 2 \text{ L}$ y $U_0 = 512 \text{ J}$ es sometido al siguiente proceso:

- Expansión a presión constante hasta que su volumen es de 5 L.
- Enfriamiento a volumen constante hasta una presión final de 3 atm.

Si la energía interna final, U , es de 975 J:

- Dibuja el proceso total en un diagrama p - V .
 - Determina el trabajo realizado en el proceso, especificando quién lo realiza (el gas o el entorno).
 - Calcula el calor transferido en el proceso, indicando si el gas lo absorbe o lo desprende.
- a) El diagrama p - V es el que se muestra en la figura.



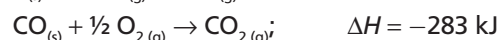
b) El trabajo puede calcularse a partir del área encerrada en la gráfica, o bien a partir del desarrollado en el proceso A (en el proceso B es nulo):

$$W = -p \Delta V = -1519,5 \text{ J}$$

Al ser una expansión, es el propio gas el que lo realiza.

c) El calor transferido en el proceso es $Q = \Delta U - W = 1982,5 \text{ J}$. Dado que es positivo, es absorbido por el gas.

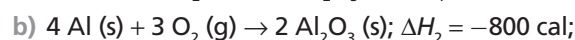
6. Calcula la variación de entalpía de la reacción de formación de 1 mol de $\text{CO}_2(\text{g})$ conociendo estas reacciones:



Sumamos las dos reacciones dato y obtenemos la reacción problema: $\text{C}_{(\text{s})} + \text{O}_{2(\text{g})} \rightarrow \text{CO}_{2(\text{g})}$.

$$\Delta H = -110,5 \text{ kJ} + (-283 \text{ kJ}) = -393,5 \text{ kJ}$$

7. Las reacciones siguientes, ¿transcurren con un aumento de la entropía del sistema?:



No, las dos transcurren con una disminución de la entropía ya que en los reactivos hay gases y en los productos no. Además, se pasa de un cierto desorden (un metal sólido reaccionando con un gas) a un cierto orden (un compuesto sólido).

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

- En un sistema cerrado:
 - La energía se conserva siempre.
 - No hay intercambio de materia con el entorno.**
 - El volumen no puede variar.
- Del calor y del trabajo puede decirse que:
 - Son formas de energía intercambiables.
 - Son dos métodos de transferir energía.**
 - Todo el calor puede convertirse en trabajo, pero no todo el trabajo puede convertirse en calor.
- Las sustancias con menor calor específico:
 - Tardan más en calentarse que las de mayor calor específico a igualdad de calor transferido.
 - Se calientan más rápidamente, pero también se enfrían antes.**
 - Varían poco su temperatura frente a las transferencias de calor.
- Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final:
 - El calor transferido solo depende de los estados inicial y final.
 - El calor transferido depende de la trayectoria o proceso seguido.**
 - El calor transferido siempre es una función de estado.
- Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final:
 - El trabajo realizado solo depende de los estados inicial y final.
 - El trabajo realizado depende de la trayectoria o proceso seguido.**
 - El trabajo realizado siempre es una función de estado.
- Cuando un sistema pasa de un estado inicial a otro final:
 - La variación de energía interna es la misma, independientemente de las etapas intermedias.**
 - La variación de energía interna depende del número de etapas intermedias.
 - La variación de energía interna depende de si el proceso es a presión o a volumen constantes.
- Sabiendo que para la reacción $\text{H}_2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H = -196 \text{ kJ}$, el calor desprendido cuando se descompone 5 g de peróxido de hidrógeno es:
 - 34 kJ
 - 98 kJ
 - 28,8 kJ**
- La variación de entropía de la reacción entre el litio sólido y el cloro gas para dar cloruro de litio sólido es:
 - Positiva.
 - Cero.
 - Negativa.**
- A pesar de que el proceso de disolución del nitrato de amonio sólido en agua es endotérmico, a temperatura ambiente ocurre de manera espontánea. Eso es porque:
 - La variación de entropía del proceso es menor que cero y $T > |\Delta H|/|\Delta S|$.
 - La variación de entropía del proceso es mayor que cero y $T < |\Delta H|/|\Delta S|$.
 - La variación de entropía del proceso es mayor que cero y $T > |\Delta H|/|\Delta S|$.
- El proceso de disolución del nitrato de amonio sólido en agua necesita absorber 26,2 kJ/mol; sabiendo que las entropías molares estándar del nitrato de amonio sólido y acuoso son 151,1 J/K y 259,8 J/K, respectivamente, entonces la variación de energía libre estándar a 25 °C correspondiente a la disolución del nitrato de amonio (s) es:
 - 6,2 kJ.**
 - 16,5 kJ.
 - 0,5 kJ.

7



QUÍMICA E INDUSTRIA

Esta unidad didáctica muestra al estudiante la forma que tiene la química de producir a gran escala. La masa de producto obtenido en un laboratorio de química no es suficiente para satisfacer las necesidades de la sociedad, hay que pasar del laboratorio a la industria, y de ello se encarga la rama de la química denominada *química industrial*.

La unidad comienza mostrando las diferencias entre materia prima y producto de consumo.

A continuación se explica a qué se dedica la industria química, a la vez que clasifica las distintas industrias químicas en dos grupos: de base y de transformación y nos informa de cómo se desarrolla el proceso químico industrial.

Los epígrafes 3 y 4 exponen dos ejemplos de industrias químicas de base, la del amoníaco y sus derivados (ácido nítrico y abonos nitrogenados) y la del ácido sulfúrico y sus derivados (fertilizantes e insecticidas), así como del impacto medioambiental que ambas ocasionan.

El siguiente epígrafe muestra varios ejemplos de industrias químicas de transformación: la industria farmacéutica y la de los nuevos materiales.

Por último, el epígrafe 6 explica una industria metalúrgica: la siderurgia o producción de acero, uno de los materiales que más ha contribuido a construir la edad moderna.

Objetivos

1. Comprender las diferencias entre química industrial y química de laboratorio así como las implicaciones de la química industrial en la sociedad actual.
2. Conocer algunas reacciones químicas que, por su importancia biológica, industrial o repercusión ambiental, tienen mayor interés en nuestra sociedad, así como el papel que debe ejercer la química en la construcción de un futuro sostenible.

Relación de la unidad con las competencias clave

Los cuatro proyectos de investigación que se incluyen la unidad van a servir para desarrollar la **competencia lingüística** (en su

aspecto gramatical y ortográfico), la **competencia digital**, la **básica en ciencia y tecnología** y el **sentido de iniciativa y espíritu emprendedor**.

La **competencia matemática** y la **básica en ciencia y tecnología** el alumnado las puede conseguir trabajando y resolviendo las múltiples actividades y tareas propuestas a lo largo de la unidad así como aprehendiendo la información que contienen los distintos epígrafes.

La inclusión de seis ejercicios resueltos (los seis en la sección *Estrategias de resolución*), la realización de la práctica de laboratorio propuesta en la sección *Técnicas de trabajo y experimentación*, así como la sección de *Evaluación* del final de la unidad, van a servir para que el estudiante vaya examinando la adecuación de sus acciones y la aproximación a la meta, que no es otra que ser capaz de adquirir y asimilar nuevos conocimientos y llegar a dominar capacidades y destrezas propias del ámbito de las ciencias (aplicables, no obstante, a otros ámbitos). De esta forma desarrollará la **competencia aprender a aprender**.

La unidad, al mostrar la evolución en la forma de transformar las materias primas en productos de consumo, haciendo uso de maquinaria y recursos humanos, proporciona al alumno un conocimiento y actitud sobre la sociedad (en su concepción dinámica, cambiante y compleja), con los que podrá interpretar fenómenos y problemas, elaborar respuestas y tomar decisiones; en definitiva trabajar la **competencia social y cívica**.

Por último, la unidad, al mostrar la obra de científicos de renombre universal (Haber, Bosch, Bessemer, etc.), contribuye a que el alumno conozca una manifestación más de la herencia cultural europea (en este caso científica); por otra parte, y unido a la sección *Química, tecnología y sociedad*, al describir las industrias químicas más importantes hoy en día, va a revelar al estudiante la interacción entre la ciencia, la técnica y la sociedad, acrecentando sus conocimientos relacionados con el patrimonio tecnológico mundial, ambos conocimientos pertenecientes a la **competencia conciencia y expresiones culturales**.

Temporalización

Se aconseja dedicar seis sesiones al estudio de la unidad.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Materia prima, industria y producto de consumo	1. Conocer la diferencia entre materia prima y producto de consumo.	1.1. Sabe explicar la diferencia entre materia prima y producto de consumo.	A: 1, 2 ER: 1 AT: 5	CMCCT CSC
La industria química ■ Clases de industrias químicas ■ El proceso químico industrial ■ Industrias químicas de especial relevancia	2. Definir industria química, clasificar las distintas industrias químicas y relatar los pasos del proceso químico industrial.	2.1. Conoce el objetivo de la industria química, saber clasificar a las industrias químicas y describir pormenorizadamente los pasos a seguir en todo proceso químico industrial.	A: 3-7 AT: 1-4, 6	CMCCT CSC
La industria del amoníaco y sus derivados ■ Obtención de amoníaco por el método de Haber- Bosch ■ Propiedades y aplicaciones del amoníaco ■ Obtención del ácido nítrico ■ Propiedades y aplicaciones del ácido nítrico ■ Abonos nitrogenados ■ Impacto medioambiental de la industria del amoníaco	3. Identificar las reacciones químicas implicadas en la obtención del amoníaco y sus derivados.	3.1. Describe el proceso de obtención del amoníaco por el método de Haber-Bosch, analizando su interés industrial.	A: 8-12 ER: 2,3 AT: 7-16	CMCCT CSC CCEC
La industria del ácido sulfúrico y sus derivados ■ Obtención de ácido sulfúrico ■ Propiedades y aplicaciones del ácido sulfúrico ■ Impacto medioambiental	4. Identificar las reacciones químicas implicadas en la obtención del ácido sulfúrico y sus derivados.	4.1. Describe el proceso de obtención del ácido sulfúrico por el método de contacto, analizando su interés industrial.	A: 13,14 ER: 4 AT: 17-26	CMCCT CSC CCEC
Las industrias químicas de transformación ■ La industria farmacéutica ■ Nuevos materiales	5. Dar ejemplos de algunas industrias químicas de transformación. 6. Valorar la importancia de la investigación científica en el desarrollo de nuevos materiales con aplicaciones que mejoren la calidad de vida.	5.1. Conoce ejemplos de industrias químicas de transformación. 6.1. Analiza la importancia y la necesidad de la investigación científica aplicada al desarrollo de nuevos materiales y su repercusión en la calidad de vida a partir de fuentes de información científica.	A: 15	CMCCT CSC
La siderurgia ■ El proceso siderúrgico ■ Clases de aceros y sus aplicaciones	7. Conocer los procesos básicos de la siderurgia así como las aplicaciones de los productos resultantes.	7.1. Explica los procesos que tienen lugar en un alto horno escribiendo y justificando las reacciones químicas que en él se producen. 7.2. Argumenta la necesidad de transformar el hierro de fundición en acero, distinguiendo entre ambos productos según el porcentaje de carbono que contienen. 7.3. Relaciona la composición de los distintos tipos de acero con sus aplicaciones.	A: 16, 17 ER: 5, 6 AT: 27-41	CMCCT CSC CMCCT CSC CMCCT CSC

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: Competencia lingüística; CMCCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: Competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales.

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Así se hace la pasta de dientes
Presentación

Vídeos: 1. El ingrediente del que están hechos los sueños;
2. Economía sostenible gracias al reciclaje

Enlaces web: Reactores químicos
Vídeo: Producción de biodiesel

Vídeos: 1. Proceso de Haber-Bosch;
2. Fertilizantes con nitrógeno directamente asimilable.

Vídeo: Obtención industrial de ácido sulfúrico

Vídeos: 1. Los antibióticos; 2. Las algas en la industria farmacéutica;
3. Nanomateriales;
4. Microrobots médicos;
5. Oro nanoporoso.

Unidad 7: Química e Industria

1. Materia prima, industria y producto de consumo

2. La industria química

- 2.1. Clases de industrias químicas
- 2.2. El proceso químico industrial
- 2.3. Industrias químicas de especial relevancia

3. La industria del amoníaco y sus derivados

- 3.1. Obtención por el método de Haber-Bosch
- 3.2. Propiedades y aplicaciones del amoníaco
- 3.3. Obtención del ácido nítrico
- 3.4. Propiedades y aplicaciones del ácido nítrico
- 3.5. Abonos nitrogenados
- 3.6. Impacto medioambiental de la industria del amoníaco

4. La industria del ácido sulfúrico y sus derivados

- 4.1. Obtención de ácido sulfúrico
- 4.2. Propiedades y aplicaciones del ácido sulfúrico
- 4.3. Impacto medioambiental

5. Las industrias químicas de transformación

- 5.1. La industria farmacéutica
- 5.2. Nuevos materiales

Documento: Catalizadores industriales

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

CANE, B. y SELWOOD, J.

Química elemental básica (dos volúmenes). Madrid: Reverté, 1978.
Texto adecuado para introducirse en los conceptos químicos básicos.

VIAN ORTUÑO, A. et al.

Introducción a la química industrial. Madrid: Reverté, 1999.

Trata del aprovechamiento de las materias primas esenciales (aire, agua, litosfera, etc.). Esta edición ha contado con la aportación de 14 prestigiosos profesores universitarios.

LEYENSETTER, A.

Tecnología de los oficios metalúrgicos. Madrid: Reverté, 2006.

Para conocer la forma en la que se desarrollan los trabajos metalúrgicos.

PARKER, A.

Contaminación del aire por la industria. Madrid: Reverté, 2006.

Ayuda a conocer, para así poder solucionar, la contaminación general del aire (procedente de procesos industriales) en zonas urbanas y rurales.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

Industria química inorgánica de gran volumen de producción (amoníaco, ácidos y fertilizantes). Mejores técnicas disponibles de referencia europea: documento BREF. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2009.

GONZÁLEZ SÁNCHEZ G. y VARA BLANCO, A.

Mejores técnicas disponibles de referencia europea industria química de gran volumen de producción (amoníaco, ácidos y fertilizantes). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2007. Madrid. Permite conocer las técnicas de prevención y control de la contaminación producida por la industria química.

GARCÍA, D. J.

La industria química y el ingeniero químico. Murcia: Editum (Universidad de Murcia), 1998.

Libro que sitúa, frente a frente, al ingeniero químico con la industria en la que trabaja.

Videos: 1. Extracción del hierro; 2. Alto horno; 3. El acero

Práctica de laboratorio: Sustitución de Cu por Ag

Práctica de laboratorio: 1. Una reacción catalizada; 2. Electrolisis

6. La siderurgia

- 6.1. El proceso siderúrgico
- 6.2. Clases de aceros y sus aplicaciones

Química, tecnología y sociedad

El mundo nano

Técnicas de trabajo y experimentación

Obtención de amoníaco

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Autoevaluación

Documento:

- 1. La reacción de combustión;
- 2. Nanotubos de carbono; 3. Las propiedades del agua y la mala suerte del Titanic

Test de autoevaluación interactiva
Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

<https://www.youtube.com/watch?v=QX8QsDkC86E>
Vídeo de la UNED: «El auge de la industria química».

<https://www.youtube.com/watch?v=jcsY2lqYaSs>
Serie de vídeos en español acerca de las materias primas.

<https://www.youtube.com/watch?v=XkwHd3Q1-84>
Vídeo en español (del canal Discovery) que trata sobre el proceso industrial.

<http://www.aulafacil.com/calidad-empresa/curso/Lecc-22.htm>
Tutorial en español acerca del control de calidad.

http://www.llegarasalto.com/docs/manuales_pr1/MANUAL_QUIMICA_Q.pdf
Manual de riesgos y prevención de accidentes en la industria química.

<https://www.youtube.com/watch?v=TixVXNDaUIU>
Vídeo en español sobre la fabricación del amoníaco por el método Haber-Bosch.

<http://educacion.tv/archivos/701>
Vídeo en español: enocosmética.

<https://www.youtube.com/watch?v=7NP8Fw67NUU>
Vídeo mudo: aplicaciones de la nanotecnología.

<https://www.youtube.com/watch?v=u9H9a5j1GZw>
Vídeo en español sobre corrosión: acero al carbono e inoxidable.

<http://www.sabelotodo.org/metalurgia/acero.html>
Tutorial en español sobre el acero.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

QUÍMICA E INDUSTRIA

A modo resumen se introduce la unidad con un texto que puede ser comentado en clase.

Sería interesante proponer a los alumnos que visualicen el vídeo introductorio sobre cómo se fabrica la pasta de dientes cuyo objetivo sería que visualicen como se realiza un proceso industrial de un producto cotidiano.

Vídeo: ASÍ SE HACE LA PASTA DE DIENTES

Vídeo en español, fragmento del documental ¿Cómo lo hacen?, emitido por el canal Discovery.

PRESENTACIÓN

Presentación en forma de diapositivas de recorrido de la unidad. El profesor la puede utilizar tanto al principio como al final de la unidad.

En el apartado *Conocimientos previos* sería importante preguntar a los alumnos si los recuerdan y que hagan las actividades propuestas en *Comprueba lo que sabes* para así saber los conocimientos de partida.

1. Materia prima, industria y producto de consumo (página 179)

En este epígrafe hay que definir materia prima y clasificar las materias primas en función de su origen; luego definiremos industria y estableceremos su clasificación. Puede resultar interesante pedir al alumnado que de un ejemplo de cada tipo de industria, explicando cuáles de ellas se encuentran en su localidad.

Vídeo: EL INGREDIENTE DEL QUE ESTÁN HECHOS LOS SUEÑOS

Vídeo mudo patrocinado por la unión europea, con texto en español, que muestra la importancia de las materias primas.

Vídeo: ECONOMÍA SOSTENIBLE GRACIAS AL RECICLAJE

Vídeo en español que muestra como el reciclaje puede ser muy útil en la recuperación de materias primas.

2. La industria química (páginas 150/152)

Para motivar a los estudiantes y que estos comprendan la importancia de la industria química, se puede empezar este epígrafe solicitándoles que describan cómo sería la vida si no existieran muchos de los productos que elabora esta industria. A continuación se les dará la definición de industria química.

2.1. Clases de industrias químicas

Una vez definido el concepto de industria química, se hará una clasificación de todas ellas (incluida la petroquímica), justificando la obligatoriedad de sufrir meticulosas inspecciones con objeto de comprobar que la emisión de partículas contaminantes está dentro de los márgenes que marca la ley.

2.2. El proceso químico industrial

A continuación, describiremos las etapas del proceso químico industrial explicando a los estudiantes que dicho proceso comienza en el laboratorio, lugar donde se comprueba la viabilidad de las reacciones, continúa en la planta piloto, un modelo a escala de la futura planta industrial y por último, finaliza en la fábrica o planta industrial, donde las medidas de seguridad dependerán de la peligrosidad de las operaciones y del tipo de productos utilizados. Una vez obtenido el producto, este ha de pasar severos controles de calidad. También se evaluará el propio proceso de producción.

Para afianzar este epígrafe, el profesor puede considerar si realiza con sus alumnos una visita a un laboratorio importante de su localidad o a una fábrica.

Enlace web: REACTORES QUÍMICOS

Tutorial en español, que explica qué es un reactor químico, sus funciones principales así como los diferentes tipos que existen.

2.3. Industrias químicas de especial relevancia

Es necesario que los estudiantes conozcan algunas de las empresas químicas más importantes del mundo, también las españolas, haciendo referencia a si fabrican productos inorgánicos u orgánicos. Se les puede pedir que realicen una investigación sobre este asunto.

Vídeo: PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Vídeo en español, que muestra el proceso seguido para fabricar biodiesel.

3. La industria del amoníaco y sus derivados (páginas 153/155)

Es imprescindible comenzar informando que el amoníaco es el segundo producto químico sintético de mayor producción mundial, después del ácido sulfúrico, y ello se debe, sobre todo, a que es la base de la producción de abonos nitrogenados, sin los cuales no habría alimentos para la actual población mundial.

3.1. Obtención de amoníaco por el método de Haber- Bosch

Debemos comenzar este epígrafe anunciando que todo el amoníaco que hoy se fabrica se hace según el método inventado por Haber y Bosch. A continuación se expondrá dicho método, explicando cómo se obtienen las materias primas que lo conforman (N_2 y H_2), las condiciones de presión y temperatura, termodinámica de la reacción, etcétera.

Vídeo: PROCESO DE HABER-BOSCH

Vídeo en inglés que muestra el proceso seguido para fabricar amoníaco a partir de N_2 e H_2 .

3.2. Propiedades y aplicaciones del amoníaco

Mucha gente cree que el amoníaco, a temperatura y presión ambientales, es líquido, debemos explicar a nuestros alumnos que eso no es cierto, que es un gas, y que lo que ocurre es que la

gente confunde amoníaco con disolución amoniacal (al igual que confunde cloro con hipoclorito de sodio, como sustancia que se añade al agua de las piscinas).

A continuación se enumerarán las aplicaciones que tiene el amoníaco, destacando la de fabricación de ácido nítrico y abonos nitrogenados.

3.3. Obtención del ácido nítrico

Comenzaremos indicando cómo el amoníaco, obtenido a partir de las materias primas N_2 e H_2 , es a su vez materia prima para fabricar otro compuesto muy importante: el ácido nítrico. Así lo hizo Ostwald en 1902 (unos años antes de que Haber y Bosch descubrieran la forma barata de obtener amoníaco), desarrollando un proceso en tres etapas que serán explicadas al estudiante.

Se comentará que es muy difícil obtener ácido nítrico de concentración 100 %, de ahí la importancia que tiene el saber realizar cálculos con disoluciones de ácido nítrico.

3.4. Propiedades y aplicaciones del ácido nítrico

Una vez expuestas las propiedades del ácido nítrico (debemos explicar a qué se debe la tonalidad amarilla que adquiere cuando se expone a la acción de la luz), se analizarán las principales aplicaciones de este ácido destacando entre ellas la fabricación de explosivos y el agua regia.

3.5. Abonos nitrogenados

Abordaremos este epígrafe indicando que sin los fertilizantes nitrogenados no se podría dar de comer a una población mundial tan numerosa; sin embargo, y como se verá en el epígrafe siguiente, muchos de ellos resultan dañinos para el medio ambiente.

Vídeo: FERTILIZANTES CON NITRÓGENO DIRECTAMENTE ASIMILABLE

Vídeo en español que muestra la utilidad de los fertilizantes.

3.6. Impacto medioambiental de la industria del amoníaco

Este epígrafe está relacionado con «la cara mala de la química» es decir, los efectos que sobre el medio ambiente tiene la producción de amoníaco y sus derivados, así como el uso abusivo de fertilizantes. Se les propondrá una reflexión sobre el asunto, sugiriendo, posibles soluciones (férreas inspecciones en las fábricas, conciencia ciudadana sobre su uso, ilegalizar los más dañinos, etc.).

4. La industria del ácido sulfúrico y sus derivados (páginas 156/157)

Este epígrafe se desarrollará de igual modo que el anterior. Para captar la atención del alumno, se comenzará diciendo que el ácido sulfúrico es el producto químico de mayor producción mundial, siendo España el segundo productor europeo de este ácido.

4.1. Obtención de ácido sulfúrico

A continuación se expondrán las tres etapas del método de obtención de ácido sulfúrico denominado «de contacto», el único que hoy se utiliza, haciendo hincapié en la importancia que tiene el catalizador usado en la segunda etapa (óxido de vanadio).

Al igual que el ácido nítrico, el ácido sulfúrico tampoco se puede producir puro al 100 %.

Vídeo: OBTENCIÓN INDUSTRIAL DE ÁCIDO SULFÚRICO

Vídeo en español que muestra el proceso de obtención de este ácido.

4.2. Propiedades y aplicaciones del ácido sulfúrico

Luego de explicar las propiedades de este ácido (hay que recordar las precauciones que hay que tomar en su manipulación), se mostrará a los estudiantes algunas de sus muchas aplicaciones, como por ejemplo la fabricación de fertilizantes e insecticidas, generando en la clase una discusión sobre los peligros de estos productos.

4.3. Impacto medioambiental

Al igual que se hizo al tratar la industria del amoníaco, terminaremos el epígrafe señalando el negativo impacto medioambiental que tiene la industria del ácido sulfúrico y sus derivados. Se les pedirá que aporten soluciones.

5. Las industrias químicas de transformación (página 158)

Como ejemplos representativos de las muchas industrias químicas de transformación, en este libro se analizarán (si bien someramente) dos: la industria farmacéutica y la de los nuevos materiales.

5.1. La industria farmacéutica

Una vez indicado a qué se dedica la industria farmacéutica, se explicará los pasos a seguir en la fabricación de un fármaco, apuntando que, una vez aprobado por la autoridad sanitaria competente, para compensar los gastos de la investigación, dicha autoridad permite a la empresa farmacéutica descubridora del fármaco, patentar este durante un mínimo de 20 años, y cobrar al público el precio oportuno.

Una vez comercializado, la empresa farmacéutica vigilará a lo largo de varios años la seguridad y eficacia del medicamento. Si se observan reacciones adversas, el fármaco deberá ser retirado y si no, será aceptado por el mercado.

Este epígrafe se presta a una reflexión y debate sobre las garantías que ofrecen las autoridades sanitarias en la comercialización de medicamentos (garantías nulas si se ofertan a través de Internet), así como si el enorme volumen de capital que mueven las industrias farmacéuticas no es el resultado de crear en la población un miedo inexistente a contraer enfermedades. Sobre el primer asunto se puede señalar el problema que ocasionó la *talidomida*, y sobre el segundo se puede comentar la famosa frase de Henry Gadsten, director hace años de la compañía farmacéutica Merck, que dijo que su sueño era producir medicamentos para las personas sanas y así vender a todo el mundo.

Enlace web: LOS ANTIBIÓTICOS

Tutorial en español sobre los antibióticos y su correcto uso.

Vídeo: LAS ALGAS EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA

Vídeo en español que muestra el uso que se le puede dar a las algas en la industria farmacéutica.

5.2. Nuevos materiales

Al describir los nuevos materiales el profesor intentará causar entre sus alumnos la suficiente motivación para que ellos solos (o a través del *Investiga*) sientan la curiosidad de profundizar más sobre el asunto y realicen un informe que luego expondrán en clase.

Vídeo: MICROROBOTS MÉDICOS

Vídeo en español que muestra el uso de la nanotecnología en medicina.

Vídeo: NANOMATERIALES

Vídeo en español sobre las aplicaciones de los nanomateriales.

Vídeo: ORO NANOPOROSO

Vídeo en español sobre el oro nanoporoso.

Documento: CATALIZADORES INDUSTRIALES

6. La siderurgia (páginas 159/161)

Debemos comenzar explicando que la siderurgia es una rama de la metalurgia que se dedica exclusivamente a la obtención de acero, un material que ha servido para construir la edad moderna.

6.1. El proceso siderúrgico

Se explicará que el proceso siderúrgico comienza en la mina, donde se extrae el mineral de hierro, y cómo después este mineral se comprime hasta formar unos perdigones o *pellets* para facilitar su transporte hasta el alto horno. Así mismo se hablará del otro material que también entrará en el alto horno: el coque, que se obtiene a partir de la materia prima denominada hulla.

Luego se describirá un alto horno: partes que lo constituyen, materias primas que se utilizan, reacciones que tienen lugar y productos obtenidos (arrabio o hierro de primera fundición y escoria).

A continuación se deberá mostrar el proceso que ocurre en el convertidor u horno especialmente adaptado para transformar el arrabio en acero, señalando la diferencia entre ellos: el primero contiene un elevado porcentaje de carbono (superior al 2 %) y otras impurezas, y en el acero, el contenido de carbono es inferior al 2 % y, además, contiene otros elementos que se añaden para potenciar determinadas cualidades.

Vídeo: EXTRACCIÓN DEL HIERRO

Vídeo en español, del canal Historia, que muestra los trabajos de extracción y preparación del mineral de hierro antes de ser llevado al alto horno.

Vídeo: ALTO HORNO

Vídeo en español que muestra el funcionamiento de un alto horno.

Práctica de laboratorio: SUSTITUCIÓN DE Cu POR Ag

6.2. Clases de aceros y sus aplicaciones

Por último, hay que exponer los diferentes tipos de aceros (según la proporción de carbono, el contenido de otros elementos, etc.) y sus principales aplicaciones.

Un objetivo es que el alumno comprenda que la palabra acero no se refiere a una sustancia pura, sino a una mezcla homogénea (disolución) de composición variable, de ahí que existan diferentes aceros.

Vídeo: EL ACERO

Vídeo en español que muestra los trabajos de fabricación y posterior acabado del acero, donde se le dan diversas formas y tamaños para su posterior comercialización.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 148/161)

Comprueba lo que sabes

1. ¿A qué se dedica la industria química? ¿Cuándo empezó a desarrollarse?

La industria química se dedica a introducir cambios en la composición de las materias primas naturales con el fin de obtener productos útiles para otras industrias o para la vida cotidiana.

Las primeras industrias creadas por el hombre (en el Neolítico) fueron de tipo químico: la salazón, la cerámica, la metalurgia, los colorantes, etcétera.

2. ¿En qué aspectos de la vida corriente mejora esta industria la calidad de vida de las personas? ¿Qué hace para proteger el medio ambiente?

Remedia muchas enfermedades mediante la investigación y el desarrollo de fármacos, ayuda al aseo y limpieza (tanto personal como en el hogar), procura alimentos a la población (conservación, fertilizantes, etc.), evita plagas de insectos (plaguicidas, insecticidas), protege del sol (cremas protectoras), fabrica aleaciones muy útiles para la construcción y elaboración de herramientas (como el acero), crea combustibles (gasolinas, gas-oil, etc.), entre otros.

Para proteger el medioambiente la industria química sufre fuertes inspecciones analizándose los vertidos (al aire, al agua y al suelo) y comprobando que se hallan dentro de unos parámetros fijados por ley.

3. Nombra algunas áreas nuevas de la industria química.

La química verde (diseña nuevos procesos con los que obtener los mismos o mejores productos químicos, reduciendo o eliminando el uso y producción de sustancias que pueden dañar la salud de las personas o el medio ambiente), los nuevos materiales (grafeno, fullereno y nanotubos de carbono), la nanotecnología, la biotecnología, etcétera.

Actividades

1. ¿Es lo mismo recurso natural que materia prima?

No, no es lo mismo aunque en muchos casos coincide. Recurso natural es todo bien o servicio proporcionado por la naturaleza sin alteraciones por parte del ser humano.

Esta definición engloba tanto a los bienes materiales (arcilla, minerales, etc.) como a los servicios que se derivan de estos bienes (la fuerza del viento que mueve las aspas de un molino, la fuerza de las mareas, el calor del sol, etc.), mientras que materia prima es el recurso natural (del primer tipo) que utiliza la industria en su proceso para ser transformado en un producto nuevo.

2. ¿De qué materias primas se surte la industria química inorgánica? ¿Y la orgánica? ¿Utilizan ambas las mismas fuentes de energía? ¿Cuáles?

La química inorgánica se surte, sobre todo, de materias primas de origen mineral que se encuentran en el suelo (diversos minerales), aire (oxígeno, nitrógeno, etc.) y agua (hidrógeno, diversas sales, etc.).

La química orgánica se surte, principalmente, de petróleo, gas natural, carbón y materias vegetales (caucho, madera,

algas, etc.) y animales (sobre todo para la industria de la alimentación).

El tipo de energía que utilizan ambas es básicamente el mismo: energía térmica, eléctrica y solar.

3. Distingue entre empresa química, industria química y planta química.

La empresa química es una organización que tiene responsabilidades jurídicas y cuyo objetivo es obtener una remuneración por el intercambio de bienes y servicios.

La industria química es el conjunto de procesos y actividades que tienen como finalidad transformar masivamente unas materias primas en productos elaborados.

La fábrica o planta química es el lugar físico donde se desarrollan, producen o crean los productos elaborados mencionados anteriormente. Se caracteriza por el empleo de máquinas y recursos humanos para elaborar los productos.

4. En el control de calidad, ¿a qué se llama «inspección por muestreo»? Puedes buscar información en Internet.

El muestreo es un proceso de evaluación que restringe la inspección a una serie de artículos o productos elegidos aleatoriamente (si bien se siguen ciertas reglas basadas en probabilidad y estadística, por ejemplo, un artículo de cada lote, dos artículos de cada lote, un artículo de cada dos lotes, etc.), a fin de aceptar o rechazar todo el lote. La principal ventaja del muestreo, frente a la inspección 100 %, es la economía, porque se inspecciona sólo una parte del lote.

5. ¿Qué es el coque? ¿Para qué se utiliza?

El coque o carbón de coque es un mineral artificial con una concentración muy alta en carbono. Se obtiene en las plantas de coquización, calentando la hulla (un mineral que contiene entre un 45 % y un 85 % de carbón) en unos hornos con revestimiento refractario (calor indirecto y sin oxígeno alcanzándose temperaturas de 500 a 1 000 °C), con objeto de que el mineral pierda sus componentes volátiles (alquitrán, gases y agua que se procesan y recuperan para ser utilizados como combustibles) y, consecuentemente, aumente su concentración en carbono.

Se utiliza en los altos hornos para producir primero hierro y después, acero.

6. ¿Qué aplicaciones tienen las sustancias alginato, carragenina y agar, extraídas de las algas?

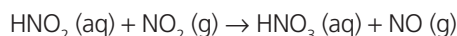
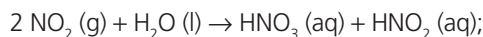
Los tres, debido a sus funciones de gelificación, espesamiento, estabilización de emulsiones, estabilización de proteínas, suspensión de partículas, control de fluidez y retención de agua, se usan en la industria alimentaria: productos lácteos (helados, flanes, pudines, crema de leche, yogures, postres cremosos, quesos, postres en polvo, leche de coco, etc.), dulces y confituras (gelatina, jaleas, dulces en pasta, caramelos de goma, merengues, etc.), productos cárnicos (jamón, mortadela, hamburguesa, patés, etc.), bebidas (clarificación y refinación de zumos, cervezas, vinos y vinagres, jarabes, zumos de fruta en polvo, etc.), panificación (coberturas de tartas, rellenos de tortas, masas de pan, etc.), salsas y sopas, etc., y también en la industria de la pasta dentífrica, odoríficos para aire, cosméticos, pinturas, emulsiones, etcétera.

7 ¿Qué es la nanotecnología? ¿Y la biotecnología?

La nanotecnología es la manipulación de la materia a escala atómica y molecular (del orden de 10^{-7} a 10^{-9} m).

La biotecnología es toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos.

8 Si en el tercer paso del método de Ostwald se empleara agua fría, se producirían ácido nítrico y ácido nitroso, y posteriormente este último se descompondría, en presencia de NO_2 , en ácido nítrico y NO . Escribe las ecuaciones químicas (ajustadas) que representan ambos procesos y comprueba que su suma equivale a utilizar agua caliente.



9 Indica las materias primas a partir de las cuales se obtiene el HNO_3 .

Amoníaco y oxígeno gaseosos y agua caliente. A su vez, el amoníaco se obtiene de nitrógeno e hidrógeno gaseosos.

10 ¿Conviene que las plantas industriales del HNO_3 y el NH_3 estén próximas? ¿Por qué?

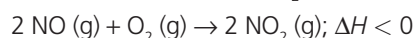
Porque al ser el NH_3 una materia prima para obtener HNO_3 si las dos plantas están próximas se evita un gasto añadido, el transporte del NH_3 .

11 Haz un esquema del método de Ostwald.

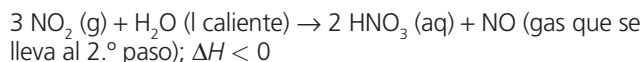
1°. Oxidación catalítica (Pt-Rh) de amoníaco (800°C – 900°C):



2°. Los gases generados se llevan a intercambiadores de calor, donde se transforma el NO en NO_2 :



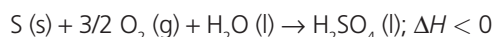
3°. Los gases se enfrían y el calor liberado se utiliza para calentar agua que se pone en contacto con NO_2 para producir HNO_3 y NO :



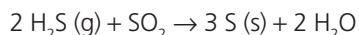
12 ¿Por qué el ácido nítrico (líquido incoloro) se guarda en recipientes de vidrio de color topacio?

El ácido nítrico, por efecto de la luz y del calor, se descompone y genera dióxido de nitrógeno (de color pardo rojizo) y agua, otorgando a la disolución un color amarillento.

13 Escribe la reacción resumen de obtención de ácido sulfúrico por el método de contacto.



14 Escribe la reacción entre el sulfuro de hidrógeno (g) y el dióxido de azufre (g) para formar S (s).



15 Uno de los mayores retos a los que se enfrentan los ensayos clínicos es la escasez de voluntarios. ¿Estarías dispuesto a ser uno de ellos? ¿Por qué?

RESPUESTA LIBRE.

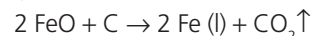
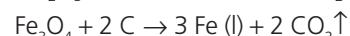
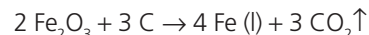
16 De abajo (zona de etalajes) a arriba (parte alta de la cuba), describe las reacciones químicas que ocurren en un alto horno.

- En la zona de etalajes, una corriente de aire precalentado ($\sim 800^\circ\text{C}$), introducido a través de las toberas, entra en contacto con el coque incandescente y produce la combustión del carbono y la posterior reducción del CO_2 formado a monóxido de carbono:



Los gases que no han reaccionado (N_2 , H_2 , CO , CO_2) escapan por el pantalón (dos tubos que salen del tragante).

- En el vientre o zona de fusión ($\sim 1500^\circ\text{C}$) ocurre la reducción directa de los óxidos de hierro:

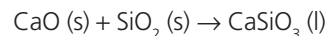


En esta zona también tiene lugar la formación posterior de una mezcla líquida constituida por arrabio (coque y hierro) y escoria (residuo formado por ganga, carbón de coque y fundente).

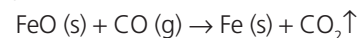
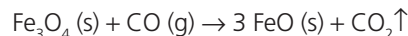
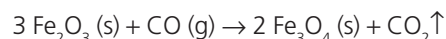
- En la parte media o zona de absorción de calor ($\sim 1200^\circ\text{C}$) el fundente, supongamos caliza, se descompone:



El óxido formado se combina con la ganga (supongamos, sílice) originando la escoria:



En la parte alta de la cuba o zona de reducción indirecta ($\sim 700^\circ\text{C}$) ocurre la reducción de los óxidos de hierro por el CO formado en la zona de etalajes:



17 Haz una tabla-resumen de las clases de aceros y sus aplicaciones.

Tipo de acero	Aplicaciones
Aceros no aleados	En la ingeniería de construcción (edificios, puentes colgantes, etc.) y automoción (trenes, coches, barcos, aviones, etc.).
Aceros aleados	Fabricación de tornillos, rodamientos, herramientas, tubos, engranajes, núcleos de transformadores, construcción metálica, aparatos de presión, para aplicaciones eléctricas, etcétera.
Aceros inoxidables	Depósitos de agua, cámaras frigoríficas, instrumentos quirúrgicos, prótesis osteoarticulares, material doméstico (cuberterías, cuchillerías, pequeños electrodomésticos), etcétera.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES QUÍMICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 162)

Aprovechando que en la nanoescala los materiales alteran sus propiedades y que ya se puede trabajar a esa escala, cabe pensar en un horizonte casi infinito de nuevas aplicaciones.

Análisis

1 ¿Qué es la nanotecnología?

La nanotecnología es la manipulación de la materia a escala atómica y molecular (del orden de 10^{-7} a 10^{-9} m).

2 ¿Por qué en la nanoescala los materiales tienen propiedades diferentes a las que poseen en la macroescala?

Porque a esa escala adquieren mucha importancia los fenómenos de superficie (frente a los de volumen, que son los que caracterizan a la materia en estado masivo). Eso es así porque en la nanoescala el movimiento de los electrones está más limitado y los átomos de la superficie tienen menos enlaces que los átomos del interior o son de otra naturaleza y se sabe que el tipo de enlace determina las propiedades del material.

3 Indica dos aplicaciones de los nanomateriales en medicina, óptica y electrónica.

En medicina: seguimiento del rastro de una proteína en el interior de la célula, fabricación de nanosensores capaces de abrir nanocápsulas rellenas de fármacos, etcétera.

En óptica: pantallas LCD de gran formato y a la vez delgadas y flexibles, cámaras de visión nocturna, sensores de incendios o de productos contaminantes, células solares, etcétera.

En electrónica: dispositivos informáticos integrados en pantallas ultradelgadas o en gafas, interruptores moleculares utilizados en ordenadores moleculares, etcétera.

Propuesta de investigación

4 Busca información (estructura, propiedades y aplicaciones) sobre tres derivados del grafito: el grafeno, los fullerenos y los nanotubos de carbono y prepara una presentación para exponerla en clase.

RESPUESTA LIBRE.

Lectura: LA REACCIÓN DE COMBUSTIÓN

Explicación de en que consiste una reacción de combustión, así como tipos de combustibles y comburentes entre otros aspectos relacionados con el tema.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 163)

El objetivo de esta práctica es obtener amoníaco a partir de cloruro de amonio e hidróxido de sodio y reconocerlo por su olor.

Cuestiones

1 ¿A qué huele el gas? Escribe la reacción que ha tenido lugar.

El olor del amoníaco es acre, muy fuerte y desagradable.

La reacción que ha tenido lugar es:



2 Si ha habido cambio de color en el papel indicador, ¿a qué se debe?

Sí hay cambio de color en el papel indicador, pasa de anaranjado a azul. Se debe a que el amoníaco es una sustancia básica, sus disoluciones tienen $\text{pH} > 7$.

3 Realiza un informe de la práctica.

RESPUESTA LIBRE.

Práctica de laboratorio: UNA REACCIÓN CATALIZADA

El objetivo de esta práctica es observar el efecto de un catalizador sobre la velocidad de reacción.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 166/167)

La industria química

- 1 Cita algunas industrias químicas que estén implantadas en tu ciudad.

RESPUESTA LIBRE.

- 2 Si el análisis de un agua natural muestra la presencia de nitritos, ¿qué tipo de actividad se desarrolla en sus cercanías?

Actividad industrial y doméstica. Las aguas residuales doméstica (fecales) llevan nitritos, siendo el valor máximo permitido de 0,5 mg/L.

La peligrosidad de los nitritos reside en la posibilidad de formación de nitrosaminas, productos con acción cancerígena demostrada, pero estos compuestos no se forman de manera automática en cualquier circunstancia, pues requieren unas determinadas condiciones: pH ácido, calor y tiempo.

- 3 ¿Qué diferencias hay entre llevar a cabo una reacción química en el laboratorio y hacerlo en una planta industrial? ¿Qué es una planta piloto?

En el laboratorio se trabaja con pequeñas cantidades de materias primas, las sustancias residuales se eliminan fácilmente, las energías implicadas (al ser bajas las cantidades usadas) también son pequeñas, las presiones son las mismas que las de la fábrica (de ahí que se usen reactores capaces de soportarlas si bien más pequeños) y las medidas de seguridad y protección son las usuales de todo laboratorio (no hay que hacer ningún estudio especial de riesgos para la población de los alrededores, a menos que se opere con sustancias muy contaminantes o con virus peligrosos).

En una planta industrial todo es a lo grande pues se trabaja con grandes cantidades de materias primas.

Una planta piloto es una instalación continua, de tamaño reducido, que representa un modelo a escala de la planta industrial. Es aquí donde se prueba el proceso industrial.

- 4 Clasifica las siguientes industrias como de base o de transformación: a) detergentes, b) pinturas y barnices, c) abonos, d) hierro y acero y e) amoníaco.

- a) De transformación.
b) De transformación.
c) De transformación.
d) De base.
e) De base.

- 5 Las menas de oro suelen contener un 0,02 % en peso de oro. Calcula la masa de mena necesaria para obtener 200 g de oro.

$$\frac{100 \text{ g de mena}}{0,02 \text{ g de oro}} = \frac{x \text{ g de mena}}{200 \text{ g de oro}};$$

$$x = 1\,000\,000 \text{ g} = 1\,000 \text{ kg de mena}$$

- 6 En el laboratorio se obtiene O_2 descomponiendo $KClO_3$. ¿Por qué en la industria no se hace así?

Por el coste, es más barato extraerlo del aire.

Industria del amoníaco

- 7 El nitrato de Chile ($NaNO_3$) se obtiene de los depósitos de guano de las aves en las islas de la costa chilena. ¿Qué cantidad de nitrógeno aporta a la tierra 1 kg de este fertilizante?

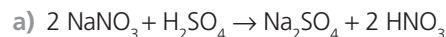
Masa molar $NaNO_3 = 85 \text{ g/mol}$; entonces:

$$\frac{85 \text{ g de } NaNO_3}{14 \text{ g de N}} = \frac{1\,000 \text{ g de } NaNO_3}{x \text{ g de N}};$$

$$x = 164,7 \text{ g de N}$$

- 8 Antes de la Primera Guerra Mundial, el HNO_3 se obtenía tratando nitrato de Chile (suponer 100 % en $NaNO_3$) con ácido sulfúrico concentrado (el proceso también origina sulfato de sodio).

- a) Escribe la ecuación química (ajustada) que representa al proceso.
b) Suponiendo un rendimiento del 80 %, ¿qué cantidad de nitrato de Chile se necesitará para preparar 1000 L de HNO_3 del 68 % de riqueza y $\rho = 1,4 \text{ g/cm}^3$?



- b) Los 1000 L de HNO_3 del 68 % tienen una masa de 1400 kg; de ellos: $1\,400 \text{ kg} \cdot 0,68 = 952 \text{ kg}$ son de HNO_3 puro.

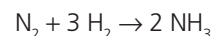
Como la estequiometría entre $NaNO_3$ y HNO_3 es 1:1 y el rendimiento de la reacción es del 80 %, tenemos que:

$$\frac{85 \text{ g de } NaNO_3}{63 \cdot 0,8 \text{ g de } HNO_3} = \frac{x \text{ kg de } NaNO_3}{952 \text{ kg } HNO_3};$$

$$x = 1\,605,6 \text{ kg}$$

- 9 Una planta de obtención de amoníaco produce 1500 toneladas de este compuesto al día. Calcula:

- a) La masa de aire (77 % de masa de N_2 y 23 % de masa de O_2) y de metano que consume diariamente.
b) La masa de ácido nítrico del 60 % de riqueza en peso que se puede fabricar con esas 1500 t de amoníaco, si el rendimiento general es del 90 %.
- a) La reacción de obtención de amoníaco:



Para producir 1500 t de NH_3 necesitamos:

$$\frac{28 \text{ g de } N_2}{34 \text{ g de } NH_3} = \frac{x \text{ t de } N_2}{1\,500 \text{ t de } NH_3}; x = 1\,235,29 \text{ t de } N_2$$

Por tanto, de aire:

$$\frac{1\,235,29 \text{ t de } N_2 \cdot 100 \text{ t aire}}{77 \text{ t } N_2} = 1\,604,3 \text{ t de aire}$$

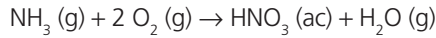
Hallamos la masa necesaria de H_2 :

$$1\,500 \text{ t} - 1\,235,29 \text{ t} = 264,71 \text{ t de } H_2$$

Ese H_2 se obtiene del metano (CH_4):

$$\frac{16 \text{ g de } CH_4}{4 \text{ g de } H_2} = \frac{x \text{ t de } CH_4}{264,71 \text{ t de } H_2}; x = 1\,058,84 \text{ t de } CH_4$$

- b) La reacción resumen de obtención del ácido nítrico a partir de amoníaco (método de Ostwald) es:



Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{17 \text{ g de NH}_3}{63 \text{ g de HNO}_3} = \frac{1500 \text{ t de NH}_3}{x \text{ t de HNO}_3}; x = 5558,82 \text{ t}$$

de HNO_3 si el rendimiento del proceso hubiese sido del 100 %, pero como ha sido del 90 %, en realidad se obtendrán:

$$5558,82 \text{ t} \cdot 0,9 = 5002,94 \text{ t de HNO}_3$$

Es decir:

$$\frac{5002,94 \text{ t de HNO}_3 \cdot 100 \text{ t de HNO}_3 \text{ del } 60\%}{60 \text{ t de HNO}_3} = 8338,23 \text{ t}$$

de HNO_3 del 60 %

- 10 Se mezclan 40 mL de gas H_2 con otros 40 mL de aire (suponer que está formado solo por O_2 y N_2) en las mismas condiciones de presión y temperatura. Se hace saltar una chispa eléctrica y, tras la reacción, queda un volumen de 54,80 mL entre H_2 sobrante y N_2 , medido en las condiciones anteriores. Calcula la composición volumétrica del aire.

Del enunciado se desprenden las siguientes ecuaciones:

$$(1) 40 \text{ mL} = V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2}$$

$$(2) 40 \text{ mL} = V_{\text{H}_2}$$

Por otra parte y como reacciona doble volumen de H_2 que de O_2 para formar H_2O , y de O_2 no queda nada después de la reacción, ha de cumplirse:

$$(3) V_{\text{H}_2} = 2V_{\text{O}_2} + V'_{\text{H}_2} \text{ (siendo } V'_{\text{H}_2} \text{ el volumen sobrante de este gas).}$$

De (1), (2) y (3) se cumple:

$$V_{\text{O}_2} + V_{\text{N}_2} = 2V_{\text{O}_2} + V'_{\text{H}_2}; \text{ es decir:}$$

$$V_{\text{N}_2} = V_{\text{O}_2} + V'_{\text{H}_2} \text{ y como } V_{\text{O}_2} = 40 \text{ mL} - V_{\text{N}_2}, \text{ tenemos que:}$$

$$V_{\text{N}_2} = 40 \text{ mL} - V_{\text{N}_2} + V'_{\text{H}_2}, \text{ o lo que es lo mismo:}$$

$$(4) 2V_{\text{N}_2} = 40 \text{ mL} + V'_{\text{H}_2}$$

Por otra parte:

$$54,80 \text{ mL} = V_{\text{N}_2} + V'_{\text{H}_2}; V'_{\text{H}_2} = 54,80 \text{ mL} - V_{\text{N}_2} \text{ que sustituido en (4) queda:}$$

$$2V_{\text{N}_2} = 40 \text{ mL} + 54,80 \text{ mL} - V_{\text{N}_2};$$

es decir: $3V_{\text{N}_2} = 94,80 \text{ mL}; V_{\text{N}_2} = 31,60 \text{ mL}$, que frente a los 40 mL totales de aire, representa: $31,60 \cdot 100/40 = 79\%$ de N_2 , y por tanto: 21 % de O_2 .

- 11 El nitrógeno es muy abundante en la atmósfera terrestre. ¿Por qué entonces la cantidad de compuestos de nitrógeno en la corteza terrestre es tan baja?

Porque para que se formen los compuestos de nitrógeno se tienen que romper los tres enlaces covalentes (enlace triple) que unen a los dos átomos de nitrógeno ($\text{N}\equiv\text{N}$), con la elevada energía que ello supone.

- 12 El nitrógeno hace uso de muchos estados de oxidación. Indica cuál utiliza en los siguientes compuestos: a) amoníaco; b) ácido nítrico; c) nitruro de litio; d) dióxido de nitrógeno; e) monóxido de dinitrógeno; f) monóxido de nitrógeno; g) hidracina (N_2H_4); h) hidroxilamina (NH_2OH) e i) nitrato de sodio.

a) -3

b) +5

c) -3

d) +4

e) +1

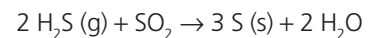
f) +2

g) -2

h) -1

i) +5

- 13 Una forma de conseguir eliminar el H_2S que acompaña al gas natural (materia prima para obtener H_2) es hacer que reaccione (el H_2S) con dióxido de azufre, con lo que se obtienen azufre y agua. Si se han obtenido 4286 g de azufre, calcula el volumen de gas natural, con un contenido en H_2S del 1 % en volumen, que se ha tratado en condiciones normales.



$$\frac{44,8 \text{ L de H}_2\text{S}}{96 \text{ g de S}} = \frac{x \text{ L de H}_2\text{S}}{4286 \text{ g de S}}; x = 2000 \text{ L de H}_2\text{S}$$

eso representa:

$$\frac{2000 \text{ L de H}_2\text{S} \cdot 100 \text{ L de gas natural}}{1 \text{ L de H}_2\text{S}} = 200000 \text{ L de gas natural} = 200 \text{ m}^3 \text{ de gas natural}$$

- 14 Se quiere fabricar nitrato de amonio. Para ello se hacen reaccionar 2 t de amoníaco con 2 m³ de ácido nítrico puro de densidad 1520 kg/m³. Halla:

a) La cantidad de nitrato que se obtendrá.

b) La superficie de terreno que se podrá abonar con el nitrato del apartado anterior, sabiendo que el terreno necesita 100 kg de N/ha.



Primeramente hallamos la masa de HNO_3 que equivale a los 2 m³ de HNO_3 :

$$m = \rho V = 1520 \text{ kg/m}^3 \cdot 3 \text{ m}^3 = 4560 \text{ kg de HNO}_3$$

Ahora averiguamos quién es el reactivo limitante:

$$\frac{17 \text{ g de NH}_3}{63 \text{ g de HNO}_3} = \frac{x \text{ kg de NH}_3}{4560 \text{ kg de HNO}_3}; x = 1230,48 \text{ kg de NH}_3$$

(sobran 769,52 kg de NH_3)

b) El reactivo limitante es el HNO_3 , con él establecemos la siguiente relación:

$$\frac{63 \text{ g de HNO}_3}{80 \text{ g de NH}_4\text{NO}_3} = \frac{4560 \text{ kg de HNO}_3}{x \text{ kg de NH}_4\text{NO}_3};$$

$$x = 5790,48 \text{ kg de NH}_4\text{NO}_3$$

Calculamos la masa de nitrógeno contenida en la cantidad anterior:

$$\frac{80 \text{ g de NH}_4\text{NO}_3}{28 \text{ g de N}} = \frac{5790,48 \text{ kg de NH}_4\text{NO}_3}{x \text{ kg de N}};$$

$$x = 2026,7 \text{ kg de N},$$

lo que equivale a abonar una superficie de: $2027,7 \text{ kg N}/100 \text{ kg N/hectárea} = 20,28 \text{ hectáreas}$.

- 15** Calcula el porcentaje de saturación de una disolución acuosa de nitrato de sodio al 30 % en peso y a una temperatura de 50 °C. Dato: solubilidad del nitrato de sodio a 50 °C = 114 g/100 g de H₂O

Una disolución acuosa de NaNO₃ al 30 % en peso, significa que contiene 30 g de NaNO₃ en 70 g de H₂O o lo que es lo mismo 42,86 g de NaNO₃ en 100 g de H₂O.

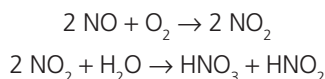
Por tanto:

$$\frac{42,86 \text{ g de NaNO}_3 \cdot 100\%}{114 \text{ g de NaNO}_3} = 37,6\%$$

- 16** Nombra las actividades humanas implicadas en la emisión de óxidos de nitrógeno a la atmósfera. ¿Por qué estos óxidos están implicados en la lluvia ácida? ¿Qué otros óxidos también lo están? ¿Por qué «el problema de la lluvia ácida es transfronterizo»?

La generación y posterior emisión a la atmósfera de óxidos de nitrógeno proviene de la combustión de combustibles fósiles en vehículos de motor, centrales eléctricas (sobre todo térmicas) y fábricas de fertilizantes.

Estos óxidos están implicados en la lluvia ácida porque, combinados con el oxígeno y el vapor de agua de la atmósfera, generan ácido nítrico y ácido nitroso:



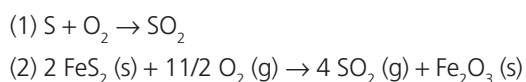
Los óxidos de azufre SO₂ y SO₃ también están implicados.

El problema de la lluvia ácida es transfronterizo, es decir que trasciende fronteras. Por ejemplo, puede suceder que la fábrica que contamina esté ubicada en un cierto país y, debido al viento, ser otro país quien sufra el problema.

Industria del ácido sulfúrico

- 17** A igualdad de rendimiento, ¿qué es mejor para obtener ácido sulfúrico por el método de contacto, quemar azufre de una pureza del 100 % o tostar piritita, también con un 100 % de riqueza en FeS₂? Razona la respuesta.

Las dos reacciones planteadas en el enunciado del problema son:



La estequiometría de ambas indica que en la reacción (1) 32 g de S permiten obtener 64 g de SO₂, mientras que con la misma cantidad de piritita en la (2):

$$\frac{32 \text{ g de FeS}_2}{x \text{ g SO}_2} = \frac{2 \text{ mol} \cdot 120 \text{ g/mol de FeS}_2}{4 \text{ mol} \cdot 64 \text{ g/mol de SO}_2};$$

$$x = 34,13 \text{ g de SO}_2$$

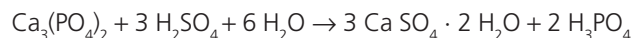
Es decir, utilizando azufre se obtiene casi el doble de SO₂ que utilizando la misma cantidad de piritita por tanto, es mejor quemar azufre.

- 18** El H₂SO₄ es un agente deshidratante. ¿Se puede utilizar para eliminar el indeseable vapor de agua que suele acompañar, en su obtención, al amoníaco gaseoso?

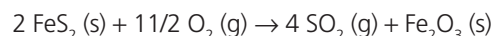
No, pues reaccionaría con él originando sulfato de amonio. Es preferible utilizar Cl₂.

- 19** Indica tres propiedades del ácido sulfúrico que expliquen sus muchas aplicaciones.

El ácido sulfúrico es un gran agente deshidratante (puede erradicar el agua de muchos ambientes e incluso de compuestos, como por ejemplo la glucosa reduciéndola a carbón); es un oxidante fuerte, capaz de oxidar a muchos metales como el cobre, el cinc y el hierro, disolviéndolos en forma de sulfatos (al oro no lo disuelve) y es un ácido fuerte capaz de desplazar a otros ácidos menos fuertes de sus sales:



- 20** Calcula el volumen de SO₂ generado, medido a 25 °C y 1 atm, al tostar 1 t de piritita con un contenido en FeS₂ del 60 %. En la tostación también se produce óxido de hierro(III).



Primero hallamos el FeS₂ que contiene la tonelada de piritita:

$$1000 \text{ kg} \cdot 0,6 = 600 \text{ kg de FeS}_2$$

Ahora establecemos la siguiente relación:

$$\frac{2 \text{ mol} \cdot 120 \text{ g/mol de FeS}_2}{4 \text{ mol de SO}_2} = \frac{600000 \text{ de FeS}_2}{x \text{ mol de SO}_2};$$

$$x = 10000 \text{ mol de SO}_2$$

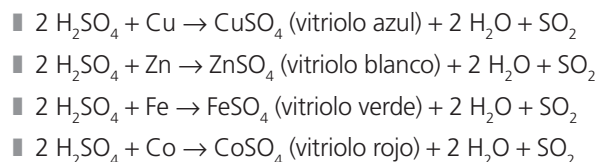
Aplicamos la ecuación de estado de los gases ideales:

$$pV = nRT; 1 \text{ atm} \cdot V = 10000 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atmL/molK} \cdot 298 \text{ K}$$

$$V = 244,36 \text{ m}^3 \text{ de SO}_2$$

- 21** En la Edad Media, se conocía al ácido sulfúrico como aceite de vitriolo (*aceite*, por su aspecto oleaginoso, y *vitriolo*, por la apariencia cristalina de sus sales). Escribe las ecuaciones químicas que representan las reacciones entre el aceite de vitriolo y los metales siguientes: cobre, cinc, hierro y cobalto. En el proceso se obtienen vitriolo azul, vitriolo blanco, vitriolo verde y vitriolo rojo, así como H₂O y SO₂.

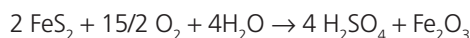
Las ecuaciones químicas son:



Como las reacciones son de oxidación, siendo el H₂SO₄ el agente oxidante, el metal que mejor reacciona será el más reductor, es decir, el que esté más a la izquierda y abajo en el sistema periódico (el de menor energía de ionización o mejor pierda los electrones), o sea, el Fe.

- 22) ¿Qué cantidad de H_2SO_4 se puede obtener por el método de contacto partiendo de la cantidad de pirita del ejercicio anterior? El rendimiento global del proceso es del 85 %.

La reacción resumen es la siguiente:



Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{2 \text{ mol} \cdot 120 \text{ g/mol de FeS}_2}{4 \text{ mol} \cdot 98 \text{ g/mol de H}_2\text{SO}_4} = \frac{600 \text{ kg de FeS}_2}{x \text{ kg de H}_2\text{SO}_4}; x = 980 \text{ kg}$$

de H_2SO_4 si el rendimiento hubiera sido del 100 %, pero como ha sido del 85 %, se obtendrá: $980 \text{ kg} \cdot 0,85 = 833 \text{ kg}$ de H_2SO_4 .

- 23) Observa la etiqueta de la botella y contesta:

- ¿Qué indica el símbolo de la parte superior?
- ¿Qué pasaría si unas gotas de ese ácido nos cayeran en la mano? ¿Cómo tendríamos que actuar?
- ¿Qué volumen de ese ácido habría que tomar para preparar 1 L de disolución 0,1 M?



- El símbolo indica que se trata de una sustancia corrosiva.
- Debido a que el ácido sulfúrico es muy deshidratante, si nos cayera en la mano y no reaccionáramos rápidamente nos produciría una quemadura, ya que destruiría los tejidos que entrasen en contacto con el ácido. Tendríamos que reaccionar rápidamente y echarnos abundante agua sobre la piel y colocarnos un emplastro de bicarbonato de sodio para neutralizar la acidez.
- $n = MV$; $n = 0,1 \text{ mol/L} \cdot 1 \text{ L} = 0,1 \text{ mol}$ de H_2SO_4 . Es decir:

$$0,1 \text{ mol} \cdot 98 \text{ g/mol} = 9,8 \text{ g de H}_2\text{SO}_4 \text{ puro}$$

$$9,8 \text{ g de H}_2\text{SO}_4 \cdot \frac{100 \text{ g H}_2\text{SO}_4 \text{ del 98\%}}{98 \text{ g H}_2\text{SO}_4} = 10 \text{ g de H}_2\text{SO}_4 \text{ del 98\%}$$

que equivale a un volumen:

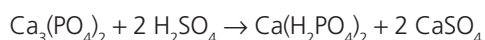
$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{10 \text{ g}}{1,844 \text{ g/cm}^3} = 5,4 \text{ cm}^3 \text{ de H}_2\text{SO}_4 \text{ del 98\%}.$$

- 24) Halla la cantidad de superfosfato $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2]$ que se obtendrá al tratar una tonelada de roca fosfática, del 90 % de riqueza en fosfato de calcio, con ácido sulfúrico.

El contenido en $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ de la tonelada de roca fosfática es:

$$1000 \text{ kg} \cdot 0,9 = 900 \text{ kg}$$

La reacción ajustada es:



Planteamos la siguiente relación:

$$\frac{1 \text{ mol} \cdot 310 \text{ g/mol de Ca}_3(\text{PO}_4)_2}{1 \text{ mol} \cdot 234 \text{ g/mol de Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2} = \frac{900 \text{ kg de Ca}_3(\text{PO}_4)_2}{x \text{ kg de Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2}$$

$$x = 679,35 \text{ kg de Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$$

- 25) El H_2SO_4 neutraliza al hidróxido de sodio originando una sal y agua. Calcula la masa de sal que se obtendrá al hacer reaccionar 100 mL de disolución de ácido sulfúrico del 20 % y densidad 1,14 g/cm³, con 200 mL de disolución de hidróxido de sodio 2 M.

Primero hay que descubrir cuál es el reactivo limitante, para ello hallamos los gramos de ácido añadidos:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{ del 20\%} = \rho V = 1,14 \text{ g/cm}^3 \cdot 100 \text{ cm}^3 = 114 \text{ g de H}_2\text{SO}_4 \text{ del 20\%}$$

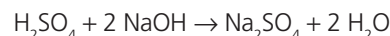
Por tanto:

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 114 \text{ g} \cdot 0,2 = 22,8 \text{ g de H}_2\text{SO}_4 \text{ puro}$$

Calculamos los mol de hidróxido de sodio añadidos:

$$n_{\text{NaOH}} = VM = 0,2 \text{ L} \cdot 2 \text{ M} = 0,4 \text{ mol}$$

La reacción de neutralización es la siguiente:



Se observa que 2 mol de NaOH reaccionan con 98 g de H_2SO_4 , por tanto 0,4 mol de NaOH reaccionarán con 19,6 g de H_2SO_4 (sobrando 3,2 g de H_2SO_4); siendo, por tanto, el NaOH el reactivo limitante, con él planteamos la siguiente relación:

$$\frac{1 \text{ mol de NaOH}}{142 \text{ g de Na}_2\text{SO}_4} = \frac{0,4 \text{ mol de NaOH}}{x \text{ g de Na}_2\text{SO}_4}$$

$$x = 56,8 \text{ g de Na}_2\text{SO}_4$$

- 26) Un recipiente de 20 L contiene 300 g de SO_3 a 25°C. Suponiendo un comportamiento ideal:

- ¿Qué presión ejerce el gas?
- ¿Cuántas moléculas de N_2 , a la misma temperatura y en el mismo volumen, harían falta para ejercer la misma presión?
- ¿Qué masa de dióxido de azufre puede obtenerse de la descomposición de los 300 g de trióxido de azufre si el rendimiento es del 80 %?

- a) Hallamos el número de moles de SO_3 :

$$n = \frac{300 \text{ g}}{80 \text{ g/mol}} = 3,75 \text{ mol}$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales:

$$pV = nRT; p \cdot 20 \text{ L} = 3,75 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atm L/mol K} \cdot 298 \text{ K}$$

$$p = 4,58 \text{ atm}$$

- b) Un número igual de moles de gases distintos, en las mismas condiciones de p y T , ejercen la misma presión; por tanto se necesitarían 3,75 mol de N_2 o lo que es lo mismo: $3,75 \text{ mol} \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ moléculas/mol} = 2,26 \cdot 10^{24} \text{ moléculas}$



Establecemos la relación:

$$\frac{1 \text{ mol} \cdot 80 \text{ g/mol de } \text{SO}_3}{1 \text{ mol} \cdot 64 \text{ g/mol de } \text{SO}_2} = \frac{300 \text{ g de } \text{SO}_3}{x \text{ g de } \text{SO}_2};$$

$$x = 240 \text{ g de } \text{SO}_2$$

Se obtendrían 240 g si el rendimiento fuera del 100 %, pero como ha sido del 80 %, se obtendrá:

$$240 \text{ g} \cdot 0,8 = 192 \text{ g de } \text{SO}_2$$

Siderurgia

- 27) Define los siguientes términos: mineral, mena, ganga, metalurgia, alto horno y siderurgia.

Mineral: sustancia natural, de origen inorgánico, homogénea, de composición química más o menos fija y que corrientemente exhibe una estructura de cristal.

Mena: parte del mineral del que se puede extraer el elemento químico que se está buscando, ya que lo contiene en cantidad suficiente para poderlo aprovechar.

Ganga: materia que acompaña a los minerales y que, a diferencia de la mena, se separa de ellos como inútil.

Metalurgia: conjunto de industrias, en particular las pesadas, dedicadas a la elaboración de metales.

Alto horno: horno de cuba muy alargada, destinado a reducir los minerales de hierro por medio de CO y carbón, y con auxilio de aire precalentado e impelido con gran fuerza.

Siderurgia: conjunto de técnicas metalúrgicas aplicadas a la extracción del hierro y su posterior transformación en acero.

- 28) ¿Por qué suele concentrarse la mena antes de comenzar los trabajos en el alto horno?

Porque se ahorra reactivo y energía.

- 29) Indica algunos metales cuyas menas más corrientes sean sulfuros.

Plata (argentita, Ag_2S)

Mercurio (cinabrio, HgS)

Plomo (galena, PbS)

Molibdeno (molibdenita, MoS_2)

Hierro (pirita, FeS_2)

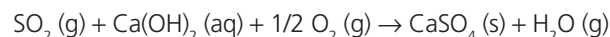
Cinc (blenda, ZnS)

- 30) ¿Por qué el H_2 y el N_2 se encuentran entre los gases que salen por la chimenea de un alto horno?

Porque esos elementos están contenidos en el carbón de coque ya que los lleva la hulla debido a que lo poseen los vegetales antes de convertirse en carbón.

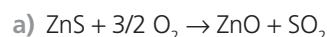
- 31) ¿Qué se puede hacer para evitar la producción de SO_2 cuando se quema carbón o se tuesta un sulfuro?

Tratar el SO_2 , por ejemplo, con CaCl_2 o bien con CaO o Ca(OH)_2 que retienen al azufre en forma de sulfato:



- 32) Se tuestan 100 kg de blenda cuya riqueza en sulfuro de cinc es del 70 %. Calcula:

- a) La masa de óxido de cinc obtenida.
 b) La masa de monóxido de carbono necesario para reducir todo el óxido anterior.
 c) El volumen de CO_2 que en condiciones normales se producirá en la reducción anterior.



La cantidad de ZnS que se va a tostar es:

$$100 \text{ kg} \cdot 0,7 = 70 \text{ kg}$$

Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{97,4 \text{ g de ZnS}}{81,4 \text{ g de ZnO}} = \frac{70 \text{ kg de ZnS}}{x \text{ kg de ZnO}};$$

$$x = 58,5 \text{ kg de ZnO}$$



Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{81,4 \text{ g de ZnO}}{28 \text{ g de CO}} = \frac{58,5 \text{ kg de ZnO}}{x \text{ kg de CO}};$$

$$x = 20,1 \text{ kg de CO}$$

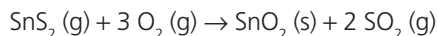
- c) Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{81,4 \text{ g de ZnO}}{22,4 \text{ L de CO}_2} = \frac{58,5 \text{ kg de ZnO}}{x \text{ m}^3 \text{ de CO}_2};$$

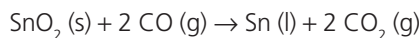
$$x = 16,1 \text{ m}^3 \text{ de CO}_2$$

- 33** Describe cómo, a partir de casiterita (mineral con un alto contenido en SnO_2), se puede obtener estaño.

Se tritura y muele el mineral. A continuación se separa la mena de la ganga (puede utilizarse agua: el mineral de estaño suele pesar más y por decantación lo separamos de la ganga). La mena, así concentrada, se tuesta en un horno para que se oxiden los posibles sulfuros de estaño que contenga:



Concentrada toda la mena en forma de SnO_2 , se la trata en un horno de reverbero, donde el monóxido de carbono (producido al quemar carbón) reduce el óxido a estaño:



Al estaño así obtenido se le puede someter después a una electrolisis para obtenerlo más puro.

- 34** Haz los cálculos necesarios para averiguar cuál de los siguientes compuestos de hierro es más rico en ese metal: FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y FeCO_3 .

Hay que hallar el % de Fe que contiene cada uno:

$$\text{FeO: } \frac{56}{72} \cdot 100 = 77,8\% \text{ de Fe}$$

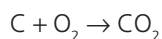
$$\text{Fe}_2\text{O}_3: \frac{112}{160} \cdot 100 = 70\% \text{ de Fe}$$

$$\text{Fe}_3\text{O}_4: \frac{168}{232} \cdot 100 = 72,4\% \text{ de Fe}$$

$$\text{FeCO}_3: \frac{56}{116} \cdot 100 = 48,3\% \text{ de Fe}$$

Por tanto, el compuesto más rico en Fe es el FeO .

- 35** Calcula el volumen de aire necesario para quemar, en condiciones normales, 1 t de carbón de coque de 95 % de riqueza. Se sabe que el aire contiene un 21 % en volumen de O_2 .



Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{12 \text{ g de C}}{22,4 \text{ L de O}_2} = \frac{950 \text{ kg de C}}{x \text{ m}^3 \text{ de O}_2};$$

$$x = 1773,3 \text{ m}^3 \text{ de O}_2$$

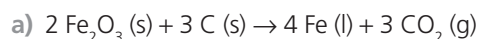
O lo que es lo mismo:

$$\frac{1773,3 \text{ m}^3 \text{ de O}_2 \cdot 100 \text{ m}^3 \text{ de aire}}{21 \text{ m}^3 \text{ de O}_2} =$$

$$= 8444,4 \text{ m}^3 \text{ de aire}$$

- 36** Una siderurgia produce 12000 t de arrabio diarias con una riqueza en hierro del 96 %, para lo cual emplea una hematita con una riqueza en Fe_2O_3 del 80 %. Calcula:

- a) La cantidad de hematita que, como mínimo, se necesita al día.
 b) La cantidad de carbón de coque del 95 % de contenido en carbono necesario para ello.
 c) El volumen de CO_2 a 20°C y 1 atm de presión que libera la combustión anterior.



Primeramente hallamos la cantidad de hierro puro que se produce al día:

$$12000 \text{ t} \cdot 0,96 = 11520 \text{ t de Fe}$$

A continuación establecemos la siguiente relación:

$$\frac{2 \text{ mol} \cdot 160 \text{ g/mol de Fe}_2\text{O}_3}{4 \text{ mol} \cdot 56 \text{ g/mol de Fe}} =$$

$$= \frac{x \text{ t de Fe}_2\text{O}_3}{11520 \text{ t de Fe}}; x = 16457,14 \text{ t Fe}_2\text{O}_3$$

Por tanto, la hematita necesaria será de:

$$\frac{16457,14 \text{ t de Fe}_2\text{O}_3 \cdot 100 \text{ t hematita}}{80 \text{ t de Fe}_2\text{O}_3} =$$

$$= 20571,43 \text{ t de hematita}$$

- b) Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{3 \text{ mol} \cdot 12 \text{ g/mol de C}}{4 \text{ mol} \cdot 56 \text{ g/mol de Fe}} = \frac{x \text{ t de C}}{11520 \text{ t de Fe}};$$

$$x = 1851,43 \text{ t de C}$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{1851,43 \text{ t de C} \cdot 100 \text{ t de carbón de coque}}{95 \text{ t de C}} =$$

$$= 1948,87 \text{ t de carbón de coque}$$

c) Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{4 \text{ mol} \cdot 56 \text{ g/mol de Fe}}{3 \text{ mol de CO}_2} = \frac{11,52 \cdot 10^9 \text{ g de Fe}}{x \text{ mol de CO}_2};$$

$$x = 1,54 \cdot 10^8 \text{ mol de CO}_2$$

Aplicamos la ecuación de los gases ideales. $pV = nRT$;

$$1 \text{ atm} \cdot V = 1,54 \cdot 10^8 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ atmL/molK} \cdot 293 \text{ K};$$

$$V = 3,7 \cdot 10^9 \text{ L} = 3,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{ de CO}_2$$

37 ¿Qué diferencia hay entre hierro de fundición, hierro dulce y acero?

El hierro de primera fusión o hierro de fundición es una aleación de hierro y carbono (> 2%), obtenida directamente del alto horno que, al contener muchas impurezas (S, P, Si, etc.), resulta demasiado frágil y apenas tiene aplicaciones, salvo para ser convertido en hierro dulce o en acero.

El acero es una aleación de hierro con un contenido en carbono inferior al 2%. Existe una gran variedad de aceros.

El hierro dulce es el hierro más puro que aparece en la naturaleza, de las tres aleaciones de hierro, es la que contiene un menor porcentaje de carbono, hasta el 0,1%. Es bastante blando, de elevada resistencia a la corrosión y muy dúctil. Se emplea en la fabricación de tuberías, remaches, placas metálicas y en la fabricación de electroimanes.

38 De las siguientes cualidades: dureza, elasticidad, plasticidad, tenacidad (capacidad de absorber energía frente a esfuerzos bruscos exteriores antes de romperse o deformarse), ductilidad y maleabilidad, indica cuál (o cuáles) debe tener el acero utilizado en la fabricación de:

- a) Cuchillos de cocina.
- b) Muelles.
- c) Rodamientos de bolas.
- d) Reactores para la industria.
- e) Instrumental quirúrgico
- f) Martillos.
- g) Ruedas de tren.
- a) Dureza y maleabilidad.
- b) Elasticidad y tenacidad.
- c) Dureza y tenacidad.
- d) Dureza y tenacidad.
- e) Dureza, tenacidad y maleabilidad.
- f) Dureza y tenacidad.
- g) Dureza y tenacidad.

39 ¿Qué ventajas tiene utilizar oxígeno puro en lugar de aire en el convertidor?

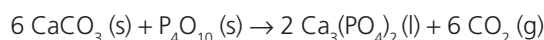
La principal ventaja es que se logra temperaturas más altas.

40 Un hierro de fundición contiene un 1% de P_4 , halla la cantidad mínima de $CaCO_3$ que debe echarse al convertidor para eliminar todo el P_4 existente en 2 t de fundición.

Primeramente hallamos la cantidad de P_4 que lleva el hierro de fundición:

$$2 \text{ t} \cdot 0,01 = 0,02 \text{ t de } P_4 = 20 \text{ kg de } P_4$$

La reacción a producir en el convertidor es la siguiente:



Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{6 \text{ mol} \cdot 100 \text{ g/mol de CaCO}_3}{124 \text{ g de } P_4} = \frac{x \text{ kg de CaCO}_3}{20 \text{ kg de } P_4};$$

$$x = 96,77 \text{ kg de CaCO}_3$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 169)

1. Escribe las reacciones implicadas en los diversos procesos industriales de obtención del NH_3 , del HNO_3 y del H_2SO_4 . Indica también las condiciones óptimas en las que ha de verificarse cada una de ellas.

- a) $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$; temperatura de 500°C , una presión de 200 atm y el empleo de catalizadores (diversos óxidos metálicos).
- b) $\text{NH}_3(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$; la oxidación del amoníaco se realiza a $800^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$ y en presencia de catalizadores (Pt-Rh).
- c) $\text{S}(\text{s}) + 3/2\text{O}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{g})$; se usa pentaóxido de divanadio (V_2O_5) sólido como catalizador (catálisis heterogénea).

2. Indica las propiedades y aplicaciones del amoníaco y del ácido sulfúrico.

A temperatura ambiente el NH_3 es un gas incoloro, de olor desagradable, muy soluble en agua (con la que forma NH_4OH) y de marcado carácter básico. Aplicaciones: se utiliza en la fabricación de plásticos, fibras, explosivos, hidracina, productos farmacéuticos, etc., aunque su principal aplicación es la fabricación de ácido nítrico y abonos nitrogenados (el 80 % de su producción se destina a ello).

El ácido sulfúrico es un líquido incoloro, aceitoso, denso ($1,84\text{ g/cm}^3$) y muy soluble en agua. Es un ácido fuerte que reacciona con los metales más activos desprendiendo H_2 . Es un poderoso oxidante (aunque menos que el HNO_3) y un buen agente deshidratante, que puede carbonizar tejidos animales y vegetales. Aplicaciones: se emplea en la fabricación de abonos y fertilizantes, en el refinado del petróleo, la fabricación de explosivos, colorantes, plásticos, fibras textiles, pinturas y pigmentos, acumuladores, baterías de automóviles, insecticidas, etcétera.

3. En las tierras de cultivo se suele aumentar el contenido de nitrógeno añadiendo fertilizantes. Si el precio del kilogramo de nitrato de sodio, nitrato de amonio y amoníaco fueran el mismo, ¿cuál de los tres resultaría más rentable?

Datos: masas atómicas: N = 14; O = 16; Na = 23; H = 1

Como lo que interesa es el contenido de nitrógeno, resultará más rentable el que tenga mayor porcentaje de este elemento. Las masas molares de los tres compuestos son:

masa molar $_{\text{NaNO}_3} = 85\text{ g}$; masa molar $_{\text{NH}_4\text{NO}_3} = 80\text{ g}$;

masa molar $_{\text{NH}_3} = 17\text{ g}$.

Establecemos las siguientes relaciones:

$$\frac{85\text{ g de NaNO}_3}{14\text{ g de N}} = \frac{100\text{ g de NaNO}_3}{x\text{ g de N}};$$

$$x = 16,5\text{ g de N}$$

$$\frac{80\text{ g de NH}_4\text{NO}_3}{28\text{ g de N}} = \frac{100\text{ g de NH}_4\text{NO}_3}{x\text{ g de N}};$$

$$x = 35\text{ g de N}$$

$$\frac{17\text{ g de NH}_3}{14\text{ g de N}} = \frac{100\text{ g de NH}_3}{x\text{ g de N}};$$

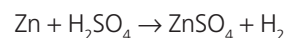
$$x = 82,4\% \text{ de N}$$

Por tanto, es más rentable el NH_3 .

4. El ácido sulfúrico reacciona con el cinc para dar sulfato de cinc y hidrógeno gaseoso. Escribe la ecuación química que describe el proceso y calcula los gramos de cinc que deben ser tratados con exceso de ácido sulfúrico diluido para obtener 20 L de hidrógeno, medidos en condiciones normales.

Datos: masas atómicas: Zn = 65,4

La reacción es:



Establecemos la siguiente relación:

$$\frac{65,4\text{ g de Zn}}{22,4\text{ L de H}_2} = \frac{x\text{ g de Zn}}{20\text{ L de H}_2};$$

$$x = 58,4\text{ g de Zn}$$

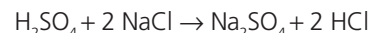
5. El ácido sulfúrico reacciona con el cloruro de sodio para dar sulfato de sodio y ácido clorhídrico. Si se añaden 65 mL de ácido sulfúrico del 98 % en peso y densidad $1,844\text{ g/cm}^3$ sobre una muestra de 100 g de cloruro de sodio, y se supone que la reacción es completa:

- a) ¿Qué reactivo es el limitante y cuántos moles sobran del otro?

- b) ¿Qué masa de sulfato de sodio se obtiene en la reacción?

Datos: masas atómicas: Cl = 35,5; S = 32; O = 16; Na = 23; H = 1

La ecuación que explica el proceso es:



- a) Hallamos el número de gramos de ácido sulfúrico del 98 % en peso añadidos:

$$m = \rho V = 1,844\text{ g/cm}^3 \cdot 65\text{ cm}^3 = 119,86\text{ g}$$

De estos, son puros: $119,86\text{ g} \cdot 0,98 = 117,46\text{ g de H}_2\text{SO}_4$.

Como la estequiometría de la reacción informa que 98 g de H_2SO_4 reaccionan con $2\text{ mol} \cdot 58,5\text{ g/mol}$ de NaCl, quiere decir que 83,76 g de H_2SO_4 reaccionarán con 100 g de NaCl, siendo el reactivo imitante el NaCl, y sobran:

$$117,46\text{ g} - 83,76\text{ g} = 33,70\text{ g de H}_2\text{SO}_4,$$

que equivalen a:

$$33,70\text{ g}/98\text{ g/mol} = 0,34\text{ mol de H}_2\text{SO}_4$$

- b) Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{2\text{ mol} \cdot 58,5\text{ g/mol de NaCl}}{142\text{ g de Na}_2\text{SO}_4} = \frac{100\text{ g de NaCl}}{x\text{ de Na}_2\text{SO}_4};$$

$$x = 121,4\text{ g de Na}_2\text{SO}_4$$

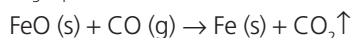
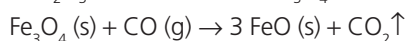
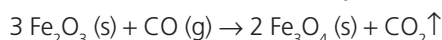
6. ¿Qué es la nanotecnología? Indica algunos materiales que la nanotecnología permite fabricar y sus aplicaciones.

La nanotecnología es la manipulación de la materia a escala atómica y molecular (del orden de 10^{-7} a 10^{-9} m). Gracias a esta técnica puede manipularse cualquier material convencional introduciendo en su microestructura partículas metálicas, nanopartículas, microfibras, etc., para mejorar las propiedades físicas del mismo.

Con la nanotecnología se pueden fabricar: materiales cerámicos, como la circonia estabilizada con itria y magnesia, que se emplea en la fabricación de mecanismos a usar en ambientes corrosivos; materiales metálicos estructurales, como los nuevos aceros (TRIP, TWIP) que, además de Fe y C, contienen Si, Al, Mg, Cr, Mn, etc., y poseen numerosas aplicaciones debido a su alta resistencia y ductilidad; las aleaciones de aluminio (con Cu, Mn, Si, Mg, Zn), por su baja densidad y resistencia a la rotura, se usan mucho en la industria aeroespacial; superaleaciones, sobre todo las de Ni (muy resistentes a la fatiga) y Ti, muy útiles en prótesis osteoarticulares; nanomateriales, entre ellos se encuentran los nanotubos, los nanohilos, las nanocapas y los nanocompositos, todos ellos con interesantes aplicaciones biomédicas; polímeros; materiales magnéticos; biomateriales; láseres, etcétera.

7. Describe los procesos que tienen lugar en un alto horno, escribiendo las reacciones químicas que se producen en la parte alta de la cuba, en la parte baja, en el vientre y en la zona de etalajes.

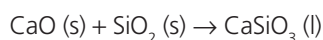
■ En la parte alta de la cuba o zona de reducción indirecta ($\sim 700^\circ\text{C}$) ocurre la reducción de los óxidos de hierro por el CO formado en la zona de etalajes:



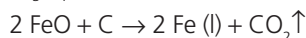
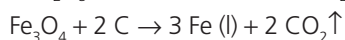
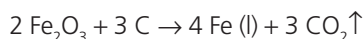
■ En la parte media o zona de absorción de calor ($\sim 1200^\circ\text{C}$) el fundente, supongamos caliza, se descompone:



El óxido formado se combina con la ganga (supongamos, sílice) originando la escoria:



■ En el vientre o zona de fusión ($\sim 1500^\circ\text{C}$) ocurre la reducción directa de los óxidos de hierro:



En esta zona también tiene lugar la formación posterior de una mezcla líquida constituida por arrabio (coque y hierro) y escoria (residuo formado por ganga, carbón de coque y fundente).

■ En la zona de etalajes, una corriente de aire precalentado ($\sim 800^\circ\text{C}$), introducido a través de las toberas, entra en contacto con el coque incandescente y produce la com-

bustión del carbono y la posterior reducción del CO_2 formado a monóxido de carbono:



Los gases que no han reaccionado (N_2 , H_2 , CO , CO_2) escapan por el pantalón (dos tubos que salen del tragante).

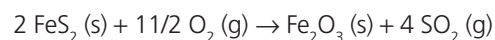
8. Al tostar la pirita se forman óxido de hierro(III) y dióxido de azufre gaseoso.

a) Escribe la ecuación ajustada que describe el proceso.

b) Halla el volumen de dióxido de azufre, medido en condiciones normales, que se obtiene al tostar 10 t de pirita de 95 % de riqueza en FeS_2 .

Datos: masas atómicas: S = 32; Fe = 56

a) La ecuación que describe el proceso es:



b) La cantidad de FeS_2 que contiene la pirita utilizada es:

$$10 \text{ t} \cdot 0,95 = 9,5 \text{ t} = 9,5 \cdot 10^6 \text{ g de FeS}_2$$

Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{2 \text{ mol} \cdot 120 \text{ g/mol de FeS}_2}{4 \text{ mol} \cdot 22,4 \text{ L/mol de SO}_2} = \frac{9,5 \cdot 10^6 \text{ g de FeS}_2}{x \text{ L de SO}_2};$$

$$x = 3,55 \cdot 10^6 \text{ L de SO}_2$$

9. ¿Qué diferencia hay entre hierro de fundición y acero? ¿Por qué es más útil el acero que el hierro de fundición?

El hierro de fundición, arrabio o hierro de primera fusión, es el material que sale del alto horno, contiene muchas impurezas (4 % de C así como S, P, Si entre otras), lo que hace que resulte demasiado frágil y, por ende, apenas tiene aplicación, salvo para ser convertido en hierro dulce o en acero.

El acero es una aleación de hierro y carbono donde el contenido de este segundo elemento es inferior al 2 %. Además, posee más elementos y pueden añadirse otros que mejoren su dureza, maleabilidad, corrosión, soldadura, etc., de ahí que exista una gran variedad de aplicaciones.

10. Indica las clases de aceros que conoces, así como sus diversas aplicaciones.

Tipo de acero	Aplicaciones
Acero no aleado	En la ingeniería de construcción: edificios, puentes colgantes, etc., y automoción: trenes, coches, barcos, aviones, etcétera.
Acero aleado	Fabricación de tornillos, rodamientos, herramientas, tubos, engranajes, núcleos de transformadores, construcción metálica, aparatos de presión, para aplicaciones eléctricas, etcétera.
Acero inoxidable	Depósitos de agua, cámaras frigoríficas, instrumentos quirúrgicos, prótesis osteoarticulares, material doméstico (cubiterías, cuchillerías, pequeños electrodomésticos), etcétera.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Saber explicar la diferencia entre materia prima y producto de consumo.	A: 1, 2 ER: 1 AT: 5	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Conocer el objetivo de la industria química, saber clasificar a las industrias químicas y describir pormenorizadamente los pasos a seguir en todo proceso químico industrial.	A: 3-7 AT: 1-4, 6	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1. Describir el proceso de obtención del amoniaco por el método de Haber-Bosch, analizando su interés industrial.	A: 8-12 ER: 2,3 AT: 7-16	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Describir el proceso de obtención del ácido sulfúrico por el método de contacto, analizando su interés industrial.	A: 13,14 ER: 4 AT: 17-26	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Conocer ejemplos de industrias químicas de transformación.	A: 15	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1. Analizar la importancia y la necesidad de la investigación científica aplicada al desarrollo de nuevos materiales y su repercusión en la calidad de vida a partir de fuentes de información científica.	A: 15	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
7.1. Explicar los procesos que tienen lugar en un alto horno escribiendo y justificando las reacciones químicas que en él se producen.	A: 16 ER: 5 AT: 27-36	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.2. Argumentar la necesidad de transformar el hierro de fundición en acero, distinguiendo entre ambos productos según el porcentaje de carbono que contienen.	ER: 6 AT: 37, 39, 40	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.3. Relacionar la composición de los distintos tipos de acero con sus aplicaciones.	A: 17 AT: 38, 41	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Distingue entre:

- a) **Materia prima natural y materia prima sintética.** Pon dos ejemplos de cada una.
- b) **Industria pesada e industria ligera.** Pon dos ejemplos de cada una.
- c) **Industria química de base e industria química de transformación.**

a) Materia prima natural es aquella que se obtiene de la naturaleza, como por ejemplo el aire y el agua. Materia prima sintética es aquella que se ha elaborado a partir de las naturales, por ejemplo el amoníaco y el ácido sulfúrico.

b) Industria pesada: aquella que maneja grandes cantidades de materia prima, por ejemplo la industria del amoníaco, la siderúrgica, etcétera.

Industria ligera: es aquella que maneja pequeños volúmenes de materia prima, por ejemplo la industria textil, la industria del calzado, etcétera.

c) Industria química de base es la que utiliza grandes cantidades de materias primas naturales y, con ellas, fabrica productos sencillos. La industria química de transformación convierte los productos sencillos anteriores (o también materias primas de recuperación) en productos más elaborados.

2. Describe las etapas del proceso químico industrial

En el laboratorio: aquí se realiza un estudio de la viabilidad de las reacciones, es decir, se determinan cuáles son las mejores condiciones (p , T , catalizadores, etc.) para obtener el máximo rendimiento en el menor tiempo posible. Se trabaja con pequeñas cantidades de materias primas, las sustancias residuales se eliminan fácilmente, las energías implicadas son pequeñas y las presiones son las mismas que las de la fábrica, de ahí que se usen reactores capaces de soportarlas, si bien más pequeños.

En la planta piloto: se trata de una instalación continua, de tamaño reducido, que representa un modelo a escala de la planta industrial. Aquí es donde el ingeniero químico se enfrenta a los problemas técnicos que entrañará la aplicación posterior del proceso en la fábrica y fija los parámetros óptimos de dicho proceso. Una vez resueltos, diseña la planta a escala industrial.

En la planta química: la serie de operaciones que en el laboratorio se realizan de forma independiente (trituration, molienda, lavado, destilación, filtración, cristalización, etc.), aquí se hacen de manera continua, en un proceso denominado cadena o línea de producción, de ahí que se requieren grandes superficies para realizar las tareas (si la industria es pesada se precisan amplios contenedores para almacenar las enormes cantidades de materia prima que van a ser transformadas) y un alto índice de automatización.

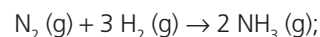
3. Indica dos ejemplos de industrias químicas que fabriquen productos inorgánicos y otros dos que fabriquen productos orgánicos.

Industrias de productos inorgánicos: industria del amoníaco y sus derivados e industria del ácido sulfúrico y sus derivados

Industrias de productos orgánicos: industria petroquímica, industria de detergentes.

4. Explica cómo se obtiene industrialmente el amoníaco. Escribe la ecuación que describe la reacción e indica las condiciones de presión y temperatura a la que se lleva a cabo.

El amoníaco se obtiene por el método de Haber-Bosch, partiendo de las materias primas N_2 (que se obtiene por licuefacción indirecta del aire) e H_2 (que se obtiene por reformado con vapor del gas natural). La ecuación que describe el proceso es:



$$\Delta H^\circ = -92,2 \text{ kJ}; \Delta S^\circ = -0,199 \text{ kJ/K}; \Delta G^\circ = -32,9 \text{ kJ}$$

Las condiciones del proceso son las siguientes: temperatura de 500°C , presión de 200 atm y el empleo de catalizadores (diversos óxidos metálicos).

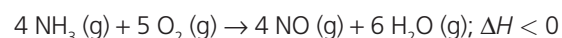
5. De los tres fertilizantes amoniacales siguientes: nitrato de amonio, fosfato de amonio y sulfato de amonio, indica cuál de ellos, al descomponerse explosivamente, no es conveniente utilizarlo como abono y cuál de ellos es el más efectivo al aportar dos de los tres nutrientes esenciales que necesitan las plantas.

El nitrato de amonio se descompone por el calor y la reacción genera gases explosivos (N_2O). En relación con su peso, el nitrato de amonio aporta más volumen de gas que cualquier otro explosivo.

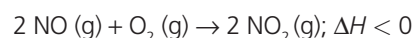
El fosfato de amonio suministra un doble aporte de nutrientes: aporta nitrógeno y fósforo.

6. Escribe las ecuaciones que describen las tres etapas del proceso de Ostwald de fabricación de ácido nítrico y calcula la entalpía de la reacción de oxidación de un mol de monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno (segundo paso del método de Ostwald). Se sabe que las entalpías de formación del monóxido y del dióxido de nitrógeno son $+90,4$ y $+33,2$ kJ/mol, respectivamente.

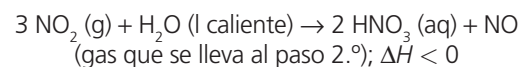
1.º Oxidación catalítica (Pt-Rh) de NH_3 ($800^\circ\text{C} - 900^\circ\text{C}$):



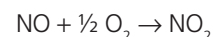
2.º Los gases generados se llevan a intercambiadores de calor, donde se transforma el NO en NO_2 :



3.º Los gases se enfrían y el calor liberado se utiliza para calentar agua, que se pone en contacto con NO_2 para producir HNO_3 y NO:



La reacción problema es:



Mediante las entalpías de formación calculamos la variación de entalpía:

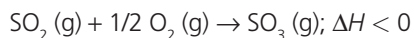
$$\Delta H = \sum \Delta H_{f \text{ productos}} - \sum \Delta H_{f \text{ reactivos}} = 33,2 - (90,4 + 0) = -57,2 \text{ kJ/mol}$$

7. Explica cómo se obtiene industrialmente el ácido sulfúrico.

Siguiendo el método de contacto, en tres etapas:

1ª Obtención de SO_2 (g): se realiza en hornos, bien quemando azufre ($\text{S} (\text{s}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2 (\text{g}); \Delta H < 0$) bien tostando piritas ($2 \text{FeS}_2 (\text{s}) + 11/2 \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 4 \text{SO}_2 (\text{g}) + \text{Fe}_2\text{O}_3 (\text{s}); \Delta H < 0$).

2ª Conversión de SO_2 (g) en SO_3 (g): primero se depura el SO_2 (g) hasta conseguir una pureza del 12 %; luego se refrigera hasta los 400°C y se le hace pasar al convertidor, donde se pone en contacto con el catalizador, V_2O_5 (s). La reacción global es:



El rendimiento de esta reacción supera el 98 %.

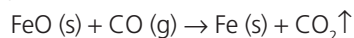
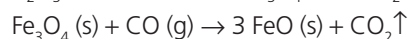
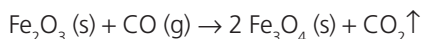
3ª Absorción de SO_3 (g): una vez enfriado hasta los 180°C , el SO_3 (g) se trata con H_2O (l): $\text{SO}_3 (\text{g}) + \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 (\text{l}); \Delta H < 0$. Esta operación se realiza en columnas de relleno.

8. ¿Qué es un alto horno? ¿Para qué sirve?

Es un horno de cuba, de gran altura y pequeño diámetro, que sirve para transformar el mineral de hierro en arrabio o hierro de primera fusión que, al contener muchas impurezas (4 % C, S, P, Si, etc.), resulta demasiado frágil y apenas tiene aplicación, salvo para ser convertido en hierro dulce o en acero.

9. De arriba abajo, describe las reacciones químicas que ocurren en un alto horno.

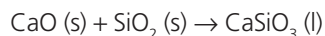
■ En la parte alta de la cuba o zona de reducción indirecta ($\sim 700^\circ\text{C}$) ocurre la reducción de los óxidos de hierro por el CO formado en la zona de etalajes:



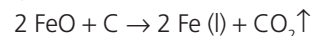
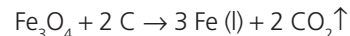
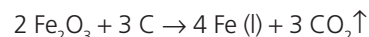
■ En la parte media o zona de absorción de calor ($\sim 1200^\circ\text{C}$) el fundente, supongamos caliza, se descompone:



El óxido formado se combina con la ganga (supongamos, sílice) originando la escoria:

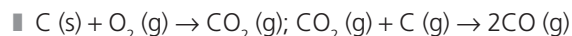


■ En el vientre o zona de fusión ($\sim 1500^\circ\text{C}$) ocurre la reducción directa de los óxidos de hierro:



En esta zona también tiene lugar la formación posterior de una mezcla líquida constituida por arrabio (coque y hierro) y escoria (residuo formado por ganga, carbón de coque y fundente).

■ En la zona de etalajes, una corriente de aire precalentado ($\sim 800^\circ\text{C}$), introducido a través de las toberas, entra en contacto con el coque incandescente y produce la combustión del carbono y la posterior reducción del CO_2 formado a monóxido de carbono:



■ Los gases que no han reaccionado (N_2 , H_2 , CO , CO_2) escapan por el pantalón (dos tubos que salen del tragante).

10. ¿Qué es el acero? ¿Cuántos tipos hay?

El acero es una aleación de hierro, carbono (< 2 %) y otros elementos. Hay muchos tipos de acero que podemos englobar en tres: acero aleado, acero no aleado y acero inoxidable.

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

1. La industria química de base:
 - a) Trabaja con productos semielaborados.
 - b) Fabrica productos sencillos, tanto inorgánicos como orgánicos
 - c) Trabaja con materias primas de recuperación.
2. En la planta piloto:
 - a) Se usan amplios contenedores para almacenar las enormes cantidades de materia prima que van a ser transformadas.
 - b) Se realiza un estudio de la viabilidad de las reacciones químicas que permiten obtener la máxima cantidad de producto en el menor tiempo posible.
 - c) Se ensaya el proceso industrial.
3. El proceso de Haber-Bosch de fabricación del amoníaco:
 - a) Utiliza como materias primas aire y metano.
 - b) Es un proceso irreversible.
 - c) Necesita temperaturas y presiones no muy altas.
4. Actualmente, la mayor parte del ácido nítrico se obtiene:
 - a) Descomponiendo NaNO_3 con ácido sulfúrico.
 - b) Oxidando amoníaco.
 - c) Por el llamado «método de contacto».
5. La mayor parte del amoníaco y del ácido nítrico producidos, se utilizan para fabricar:
 - a) Plásticos.
 - b) Explosivos.
 - c) Abonos nitrogenados.
6. El ácido sulfúrico:
 - a) Es un líquido incoloro, de olor desagradable y reductor.
 - b) Es muy soluble en agua.
 - c) Se obtiene por el método de las cámaras de plomo, ya que se trata de un método que apenas daña al medio ambiente.
7. El SO_2 y SO_3 son gases:
 - a) De efecto invernadero.
 - b) Responsables de la lluvia ácida.
 - c) Que se obtienen principalmente a partir de ácido sulfúrico.
8. En el alto horno:
 - a) Se utiliza carbón de coque y mineral de hierro para obtener «pellets».
 - b) Se utiliza carbón de coque, mineral de hierro y fundente para obtener acero.
 - c) Se utiliza carbón de coque, mineral de hierro y fundente para obtener arrabio.
9. La zona de etalajes:
 - a) Se encuentra en la parte alta del alto horno.
 - b) Es el lugar donde se reduce el mineral de hierro.
 - c) Es el lugar donde se forma el CO.
10. El acero:
 - a) Es una sustancia pura.
 - b) Es una mezcla formada principalmente por hierro y donde el contenido de carbono es inferior al 2 %.
 - c) Inoxidable contiene, al menos, un 10,5 % de Mn.

8

QUÍMICA DEL CARBONO

Esta unidad comienza poniendo de manifiesto la existencia de un número muy elevado de compuestos que contienen carbono; luego pasa a explicar la causa de ello, que no es otra que la especial distribución electrónica de este átomo que permite la existencia de enlaces sencillos, dobles y triples, formando largas cadenas carbonadas.

Además de carbono, los compuestos orgánicos contienen hidrógeno, este hecho permite introducir los hidrocarburos. La naturaleza del enlace C–H explica los bajos puntos de fusión y de ebullición que presenta este grupo de compuestos, así como su marcada insolubilidad en agua.

Seguidamente se aborda el estudio (nomenclatura, propiedades y obtención) de compuestos con otra función orgánica: halogenuros de alquilo, alcoholes, fenoles, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, aminas y amidas. La formulación se introduce de forma gradual a lo largo de la unidad, según se van estudiando los diferentes tipos de compuestos, evitándose la utilización de compuestos complicados.

Al introducir cada uno de los diferentes compuestos orgánicos, se procurará relacionarlos con sustancias conocidas por su aplicación en la vida cotidiana. Analizados todos estos grupos de compuestos orgánicos, resulta ahora sencillo entender una de las propiedades que manifiestan: la isomería. A continuación, se realiza un estudio sobre la principal fuente de obtención de los compuestos orgánicos: el petróleo y el gas natural, tanto en su aspecto químico, como en el medioambiental y económico. Después se hace referencia a los nuevos materiales, derivados de algunas de las formas alotrópicas del carbono: grafeno, fullereno y nanotubos de carbono, de gran repercusión en un futuro no muy lejano.

Por último, se atiende a la repercusión que la química del carbono tiene en nuestras vidas, analizando los compuestos orgánicos responsables de las funciones vitales de los seres vivos así como aquellos otros que, por su repercusión medioambiental, pueden dañar a esos mismos seres vivos, estimulando al alumnado a evitarlo, adoptando medidas para disminuir dicho impacto medioambiental.

Objetivos

1. Dar razones de tipo químico acerca del número tan elevado de compuestos de carbono.
2. Reconocer los grupos funcionales de los compuestos orgánicos más representativos, así como sus nombres y fórmulas.
3. Conocer las propiedades (físicas y químicas) más representativas de cada uno de los grupos de compuestos orgánicos.
4. Aplicar el concepto de isomería a los compuestos que la posean, reconociendo y nombrando los isómeros de un determinado compuesto.
5. Conocer aspectos fundamentales del petróleo y del gas natural, así como de las industrias relacionadas con ellos.

6. Reconocer las cinco formas alotrópicas del carbono, sus estructuras, propiedades y aplicaciones.

7. Entender la repercusión que tiene la química del carbono en nuestras vidas, tanto por las funciones que los compuestos orgánicos desempeñan en nuestro organismo como por su influencia negativa en el medioambiente.

Relación de la unidad con las competencias clave:

Los siete proyectos de investigación que se incluyen la unidad van a servir para desarrollar la **competencia lingüística** (en su aspecto gramatical y ortográfico), la **competencia digital**, la **básica en ciencia y tecnología** y el **sentido de iniciativa y espíritu emprendedor**.

La **competencia matemática y la básica en ciencia y tecnología** el alumnado las puede conseguir trabajando y resolviendo las múltiples actividades y tareas propuestas así como aprehendiendo la información que contienen los distintos epígrafes.

La inclusión de cuatro ejercicios resueltos en el apartado «Estrategias de resolución», la realización de la práctica de laboratorio propuesta en «Técnicas de trabajo y experimentación», así como la «Evaluación» del final de la unidad, van a servir para que el estudiante vaya examinando la adecuación de sus acciones y la aproximación a la meta, que no es otra que ser capaz de adquirir y asimilar nuevos conocimientos y llegar a dominar capacidades y destrezas propias del ámbito de las ciencias (aplicables, no obstante, a otros ámbitos). De esta forma desarrollará la competencia «**Aprender a aprender**»

La unidad, al mostrar en los epígrafes 7, 8 y 9 la influencia de la química del carbono en la sociedad, va a proporcionar al alumno un conocimiento y actitud sobre la sociedad (en su concepción dinámica, cambiante y compleja), con los que podrá interpretar fenómenos y problemas, elaborar respuestas y tomar decisiones; en definitiva trabajar la competencia **social y cívica**.

Por último, la unidad muestra las múltiples posibilidades que tienen los nuevos materiales basados en algunas de las formas alotrópicas del carbono, contribuyendo a que el alumno conozca una manifestación más de la herencia cultural europea (en este caso científica); y unido al apartado «Química, tecnología y sociedad», al describir uno de estas formas alotrópicas (el grafeno), va a revelar al estudiante la interacción entre la ciencia, la técnica y la sociedad, acrecentando sus conocimientos relacionados con el patrimonio tecnológico mundial, ambos conocimientos pertenecientes a la competencia «**Conciencia y expresiones culturales**».

Temporalización

El número de sesiones que se aconseja dedicar a la unidad es de unas diez.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Enlaces del átomo de carbono <ul style="list-style-type: none"> ■ El átomo de carbono ■ Enlaces de carbono ■ Representación de las moléculas orgánicas ■ Grupo funcional y serie homóloga 	1. Conocer la causa de que existan tantos compuestos de carbono, las formas de representar los compuestos orgánicos y la diferencia entre grupo funcional y serie homóloga.	1.1. Describir los tipos de enlace que puede dar el carbono y los ángulos que establecen.	AT: 1-6, 12	CMCCT CD AA
Hidrocarburos <ul style="list-style-type: none"> ■ Alcanos ■ Alquenos y alquinos ■ Hidrocarburos de cadena cerrada ■ Hidrocarburos aromáticos de cadena cerrada 	2. Reconocer hidrocarburos saturados, insaturados y aromáticos, relacionándolos con compuestos de interés biológico e industrial.	2.1. Formular y nombrar según las normas de la IUPAC: hidrocarburos de cadena abierta y cerrada y derivados aromáticos.	A: 1 – 8 ER: 1-2 AT: 7-15	CMCCT AA
Compuestos halogenados	3. Identificar compuestos orgánicos que contengan funciones halogenadas.	3.1. Formular y nombrar según las normas de la IUPAC derivados halogenados.	A: 9 – 10 ER: 1-2	CMCCT AA
Compuestos oxigenados <ul style="list-style-type: none"> ■ Alcoholes y fenoles ■ Éteres ■ Aldehídos y cetonas ■ Ácidos carboxílicos ■ Esteres 	4. Identificar compuestos orgánicos que contengan funciones oxigenadas	4.1. Formular y nombrar según las normas de la IUPAC compuestos orgánicos sencillos con una función oxigenada.	A: 11 – 20 ER: 1-2 AT: 7-9, 16-25	CMCCT AA
Compuestos nitrogenados <ul style="list-style-type: none"> ■ Aminas ■ Amidas 	5. Identificar compuestos orgánicos que contengan funciones nitrogenadas.	5.1. Formular y nombrar según las normas de la IUPAC compuestos orgánicos sencillos con una función nitrogenada.	A: 21-22 ER: 1-2 AT: 8,9, 26	CMCCT AA
Isomería <ul style="list-style-type: none"> ■ Isomería plana o estructural ■ Isomería espacial o estereoisomería 	6. Representar los diferentes tipos de isomería.	6.1. Representar los diferentes isómeros de un compuesto orgánico.	A: 23-28 ER: 3-4 AT: 27-33	CMCCT AA
El petróleo y el gas natural <ul style="list-style-type: none"> ■ Origen, localización y composición ■ Industria del petróleo ■ Industria del gas natural ■ Repercusión medioambiental 	7. Explicar los fundamentos químicos relacionados con la industria del petróleo y del gas natural.	7.1. Explicar la utilidad de las diferentes fracciones del petróleo. 7.2. Describir el proceso de obtención del gas natural y de los diferentes derivados del petróleo a nivel industrial y su repercusión medioambiental.	A: 29 AT: 34, 36 y 38 LA: 30 AT: 35 y 37	CMCT CSC CMCCT CSC
Los nuevos materiales <ul style="list-style-type: none"> ■ Formas alotrópicas del carbono 	8. Diferenciar las diferentes estructuras que presenta el carbono en el grafito, diamante, grafeno, fullereno y nanotubos relacionándolo con sus aplicaciones.	8.1. Identificar las formas alotrópicas del carbono relacionándolas con las propiedades físico-químicas y sus posibles aplicaciones.	AT: 39-42	CMCT CSC CCEC
La química del carbono en nuestras vidas <ul style="list-style-type: none"> ■ Moléculas orgánicas ■ Contaminantes orgánicos. Adopción de actitudes medioambientales sostenibles 	9. Valorar el papel de la química del carbono en nuestras vidas y reconocer la necesidad de adoptar actitudes y medidas medioambientalmente sostenibles.	9.1. Relacionar las reacciones de condensación y combustión con procesos que ocurren a nivel biológico. 9.2. A partir de una fuente de información, elaborar un informe en el que se analice y justifique a la importancia de la química del carbono y su incidencia en la calidad de vida.	AT: 43 A: 31 AT: 44 y 45	CMCT CSC CMCCT CSC

CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Video: La química en nuestras vidas

Video: 1. El carbono. 2. El concepto de grupo funcional. 3. Grupos funcionales

Video: Alcanos, alquenos y alquino

Video: Compuestos halogenados

Videos: 1. Alcoholes. 2. Éteres. 3. Aldehídos y cetonas. 4. Ácidos carboxílicos. 5. Esteres

Video: 1. Aminas. 2. Amidas

Unidad 8: Química del carbono

1. Enlaces del átomo de carbono

- 1.1. El átomo de carbono
- 1.2. Enlaces del carbono
- 1.3. Representación de las moléculas orgánicas
- 1.4. Grupo funcional y serie homóloga

2. Hidrocarburos

- 2.1. Alcanos y alquinos
- 2.2. Alquenos y alquinos
- 2.3. Hidrocarburos de cadena cerrada (no aromáticos)
- 2.4. Hidrocarburos aromáticos de cadena cerrada

3. Compuestos halogenados

4. Compuestos oxigenados

- 4.1. Alcoholes y fenoles
- 4.2. Éteres
- 4.3. Aldehídos y cetonas
- 4.4. Ácidos carboxílicos
- 4.5. Esteres

5. Compuestos nitrogenados

- 5.1. Aminas
- 5.2. Amidas

Documento: Biografía de August Kekulé

Presentación

Documento: Alcohol y alcoholismo (I, II y III)

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

CAREY, F. A.

Química orgánica. McGraw-Hill, 2006.

Un libro excelente para el estudio de la química orgánica que puede usarse como libro de consulta y ampliación en 1.º de Bachillerato.

MORRISON, R. T. y BOYD, R. N.

Química orgánica. Pearson Educación, 1998

Un clásico de la Química orgánica. Puede resultar excesivo para las pretensiones de 1.º de Bachillerato, pero no deja de ser un buen libro de consulta.

PARKER, A.

Contaminación del aire por la industria. Madrid: Reverté, 2006.

Ayuda a conocer, para así poder solucionar, la contaminación general del aire (procedente de procesos industriales) en zonas urbanas y rurales.

ROGER PETERSON, W.

Formulación y nomenclatura química orgánica. Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Eunibar, 1982.

Para resolver todas las dudas sobre formulación orgánica.

SANZ BERZOSA, I.

Formulación en química orgánica. Universidad Politécnica de Valencia, 2002.

Enseña a formular y nombrar los compuestos orgánicos.

WEININGER, S. J. y STERMITZ F. R.

Química orgánica. Madrid: Reverté, 1988.

Ofrece una introducción amplia, moderna y comprensible a la química orgánica tanto para los profesores y para los alumnos. Al final del texto se incluyen respuestas breves para muchos de los problemas intercalados en los capítulos y en el final de los mismos, para comprobación inmediata.

Video: 1. Isomería estructural de cadena. 2. Isomería estructural de posición. 3. Isomería estructural de función. 4. Isomería espacial.

Video: Procesos en la industria del petróleo y gas.

Video: 1. Fullerenos. 2. Grafeno, el material del futuro. 3. Grafeno dentro de 50 años. 4. ¿Qué es un nanotubo? 5. Usos de los nanotubos

Video: 1. Biomoléculas. 2. Compuestos orgánicos persistentes.

Actividades interactivas

Tests de autoevaluación interactivos

6. Isomería

- 6.1. Isomería plana o estructural
- 6.2. Isomería espacial o estereoisomería

7. El petróleo y el gas natural

- 7.1. Origen, localización y composición
- 7.2. Industria del petróleo
- 7.3. Industria del gas natural
- 7.4. Repercusión medioambiental

8. Los nuevos materiales

- 8.1. Formas alotrópicas del carbono

9. La química del carbono en nuestras vidas

- 9.1. Moléculas orgánicas
- 9.2. Contaminantes orgánicos. Adopción de actitudes medioambientales sostenibles

Química, tecnología y sociedad

El grafeno, el material del futuro.

Técnicas de trabajo y experimentación
Formación de un espejo de plata.

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Documento: Los combustibles fósiles
Documento: Los materiales plásticos

Documento: La química combinatoria revoluciona la búsqueda de nuevos productos

Prácticas de laboratorio: 1. Fórmulas y modelos moleculares. 2. Reacción entre el ácido acético y el cobre. 3. Obtención de un jabón.

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

Norma de seguridad en el laboratorio

<https://goo.gl/sd8llh>

Vídeo realizado por el Departamento de Química Orgánica de la Universidad Complutense de Madrid que describen las operaciones básicas en un laboratorio tales como la destilación, cromatografía, recristalización, entre otros.

Área de Ciencias

<http://www.areaciencias.com>

Recursos para el estudio de las Ciencias y las Ciencias Naturales como, por ejemplo, tutoriales sobre la química orgánica, el gas natural o aminoácidos y proteínas.

Think Big

<http://blogthinkbig.com/>

Blog del Proyecto Think Big de la Fundación Telefónica que incluye un interesante artículo sobre la producción del grafeno en España

Grupo Lentiscal de Didáctica de la Física y Química

<http://www.gobiernodecanarias.org/educacion/3/Usrn/lentiscal>

Recopilación de applets, animaciones y actividades, entre otros, sobre la química del carbono.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

QUÍMICA DEL CARBONO

A modo de resumen se introduce la unidad con un texto que puede ser comentado en clase. Sería interesante proponer a los alumnos que visualicen el vídeo introductorio para verificar si son conscientes de los usos tan extendidos del carbono en la vida cotidiana.

Vídeo:
LA QUÍMICA EN NUESTRAS VIDAS

Vídeo mudo que informa al público en general que la química está presente en todo lo que nos rodea, cubriendo las necesidades del mundo y construyendo nuestro futuro. El vídeo se hizo para conmemorar el centenario de la entrega del Premio Nobel a Madame Curie y también destaca la importancia de las mujeres en la Ciencia en general y en la Química en particular.

PRESENTACIÓN

Presentación en forma de diapositivas de recorrido de la unidad. El profesor la puede utilizar tanto al principio de la unidad como al final.

1. Enlaces del átomo de carbono

Se comenzará comentando la analogía entre las expresiones «química orgánica» y «química del carbono». La tradición conserva la primera expresión, si bien la segunda resulta mucho más indicativa de lo que estudia esta rama de la química.

1.1. El átomo de carbono

El epígrafe debemos comenzar preguntando al alumnado que intente averiguar la causa de que existan más de seis millones de compuestos orgánicos frente a unas pocas decenas de miles de inorgánicos. Una pista que podemos ofrecer es la situación estratégica del átomo de carbono en el sistema periódico.

1.2. Enlaces del carbono

En este epígrafe se retoman conocimientos de cursos anteriores relacionados con el enlace entre átomos. La causa de que exista un número tan elevado de compuestos de carbono es la especial configuración electrónica de este átomo, que le permite unirse a otros muchos, incluso a nuevos átomos de carbono, utilizando para ello enlaces sencillos, dobles y triples; Por lo que hay que dar las características de estos enlaces: ángulos, posibilidad de libertad de giro alrededor del enlace, distinción entre compuestos saturados e insaturados, etc.

1.3. Representación de las moléculas orgánicas

Aquí debe resaltarse la importancia que tiene el realizar una correcta representación de las moléculas orgánicas. La mayoría de ellas tienen una forma tridimensional, imposible de plasmar en el plano del papel o de la pizarra. Los modelos moleculares facilitan esta visión tridimensional de las moléculas. En su ausencia, se utilizarán las llamadas fórmulas semidesarrolladas o, cuando interese hacer notar un determinado detalle molecular, las desarrolladas.

1.4. Grupo funcional y serie homóloga

De los dos conceptos: grupo funcional y serie homóloga, el más importante es el primero. Una vez definido, informaremos a nuestros alumnos que, a excepción de los hidrocarburos (que no tienen grupo funcional), el resto de compuestos orgánicos van a pertenecer a series caracterizadas por un determinado grupo funcional.

Vídeo: **EL CARBONO**

Vídeo en español que muestra el porqué de la existencia de tantos compuestos de carbono.

Vídeo: **EL CONCEPTO DE GRUPO FUNCIONAL.**

Vídeo en inglés que explica el concepto de grupo funcional y la gran variedad que hay de ellos.

Vídeo: **GRUPOS FUNCIONALES**

Vídeo en español que explica el concepto de grupo funcional y la gran variedad que hay de ellos.

Documento: **BIOGRAFÍA DE AUGUST KEKULÉ**

Breve biografía sobre el químico orgánico alemán.

2. Hidrocarburos

Debemos comenzar el epígrafe explicando qué se entiende por hidrocarburo y estableciendo su clasificación: alcanos, alquenos, alquinos, alicíclicos y aromáticos. A continuación se abordará cada uno de ellos, siguiendo en todos los casos el mismo desarrollo:

- Nomenclatura. En este libro de texto, se ha optado por nombrar los compuestos orgánicos según la nomenclatura sistemática de 1979 y para algunos compuestos se han utilizado, además, las normas y recomendaciones elaboradas entre 1993 y 1994 por la IUPAC (esta última aparece con el nombre en cursiva y entre paréntesis). La diferencia entre ambas nomenclaturas consiste básicamente en que en las normas y recomendaciones elaboradas entre 1993 y 1994 se colocan los números localizadores, que indican la posición del grupo funcional más importante, inmediatamente delante de la terminación del nombre y detrás del prefijo (que indica el número de átomos de carbono de la cadena principal). Este número localizador se coloca entre guiones.
- Propiedades físicas, propiedades químicas y aplicaciones.

2.1. Alcanos

En el caso de los alcanos, el apartado referente a la nomenclatura tiene que ser necesariamente más exhaustivo que en el resto de hidrocarburos, porque al ser el primero cuya nomenclatura se va a tratar, es donde se explican las reglas que servirán para los demás (y también para otros tipos de compuestos orgánicos). Lo mismo sucede al tratar la cuestión de las propiedades físicas de los alcanos: muchas de ellas servirán de base para los otros hidrocarburos.

2.2. Alquenos y alquinos

La nomenclatura de alquenos sirve para continuar enunciando reglas que se aplicarán en lo sucesivo. Entre los métodos de obtención de alquenos debemos primar las reacciones de eliminación, como una manera de poder crear insaturaciones. La reacción contraria se denomina adición, y es el tipo de reacción más frecuente que dan los alquenos.

En los alquinos se debe comentar la importancia del etino, pues es la base para obtener otros muchos alquinos. Comentaremos que al etino se le conoce por otro nombre (que no sigue las reglas pero que es muy utilizado): acetileno, haciendo notar a los alumnos y alumnas que este segundo nombre puede confundirles, ya que la terminación *-eno* parece indicar que pertenece al grupo de los alquenos.

2.3. Hidrocarburos de cadena cerrada (no aromáticos)

A este epígrafe no le dedicaremos excesivo tiempo, basta con que demos las reglas de nomenclatura, pongamos unos pocos ejemplos y corriamos las actividades que vienen en el libro del alumno.

2.4. Hidrocarburos aromáticos de cadena cerrada

Al tratar los hidrocarburos aromáticos, lo primero que debemos hacer es explicar el porqué de su nombre, lo que servirá para abordar la cuestión de la gran estabilidad del más importante de todos: el benceno (base del resto). A continuación, expondremos las reglas para nombrar los derivados del benceno. En las propiedades físicas debe destacarse su insolubilidad en agua (explicada por la naturaleza del enlace C—H). Por último, se proporcionan algunos métodos de obtención y, en el apartado de reactividad, se tratan algunas reacciones de sustitución en el anillo bencénico (como las de nitración, halogenación y alquilación).

Vídeo: COMPUESTOS HALOGENADOS

Vídeo en español que enseña las reglas generales de formulación de hidrocarburos.

3. Compuestos halogenados

Informaremos que con este nombre (o el de halogenuros de alquilo) se hace referencia a compuestos orgánicos que contienen átomos de alguno de los halógenos. El apartado más interesante es el que corresponde a las propiedades físicas y aplicaciones, ya que en él se mencionan compuestos cuyo descubrimiento ha influido en nuestra calidad de vida, la mayoría de las veces mejorándola.

Vídeo: ALCANOS, ALQUENOS Y ALQUINO

Vídeo en español que enseña las reglas de formulación de los derivados halogenados.

4. Compuestos oxigenados

Es este un amplio epígrafe que se dedica al estudio de compuestos carbonados tan importantes como los alcoholes y fenoles, los éteres, los aldehídos y cetonas, los ácidos carboxílicos, y los ésteres, de reactividad muy diferente dependiendo del grupo funcional.

4.1. Alcoholes y fenoles

En este apartado debemos resaltar la formación de enlaces de hidrógeno, lo que explica los elevados puntos de ebullición que

presentan estos compuestos en comparación con hidrocarburos de parecida masa molar. Esta es la causa de que, en condiciones ambientales de presión y temperatura, se presenten en forma líquida y sólida, siendo muchos de ellos solubles en agua.

4.2. Éteres

Los éteres se tratarán brevemente, ya que de todos los compuestos oxigenados son los menos importantes.

4.3. Aldehídos y cetonas

En este apartado hay que hacer especial mención a la estructura del grupo carbonilo, enseñando al estudiante que la diferencia entre ambos radica en si dicho grupo se halla en un carbono terminal o en otro secundario.

Haremos hincapié en el segundo nombre del metanal, conocido habitualmente (sobre todo en biología) como *formaldehído* y de la propanona, conocida habitualmente como *acetona*.

4.4. Ácidos carboxílicos

El término carboxilo (nombre del grupo funcional que caracteriza a los ácidos carboxílicos) resulta muy fácil de explicar pues resulta de la unión de los dos estudiados anteriormente: **carbonilo+hidroxilo**. Se hará hincapié en el segundo nombre del ácido etanoico: ácido acético, ya que incluso se utiliza mucho más. Al tener enlaces de hidrógeno y formar dímeros, los ácidos carboxílicos poseen puntos de ebullición superiores a los alcoholes de parecida masa molar.

Entre los métodos de obtención se dará prioridad a la oxidación de alcoholes; y en la reactividad, a la esterificación.

4.5. Esteres

Precisamente la reacción de esterificación (vista en el epígrafe anterior) servirá de introducción al último de los compuestos oxigenados: los ésteres. En el apartado de nomenclatura, enseñaremos la importancia que tiene el dividir en dos partes la fórmula semidesarrollada del éster (la línea de división debe estar en el O unido al segundo resto alquilo): R-COO | R'.

Al abordar las propiedades físicas, comentaremos la naturaleza de grasas y aceites, así como la reacción de saponificación (que sirve para obtener jabón y glicerina).

Vídeo: ALCOHOLES

Vídeo en español que enseña a formular alcoholes.

Vídeo: ÉTERES

Vídeo en español que enseña a formular éteres.

Vídeo: ALDEHÍDOS Y CETONAS

Vídeo en español que enseña a formular aldehídos y cetonas.

Vídeo: ÁCIDOS CARBOXÍLICOS

Vídeo en español que enseña a formular ácidos carboxílicos.

Vídeo: ESTERES

Vídeo en español que enseña a formular ésteres.

Documentos: **ALCOHOL Y ALCOHOLISMO**

Interesante documento para concienciar a los alumnos.

5. Compuestos nitrogenados

Este epígrafe analiza solo dos de estos compuestos: las aminas y las amidas, dejando para estudios posteriores los nitrilos.

5.1. Aminas

La mejor forma de explicar la estructura de las aminas es considerarlas derivadas del amoniaco, donde se ha sustituido uno, dos o sus tres H por radicales alquílicos. En la nomenclatura, haremos hincapié en el segundo nombre de la fenilamina: *anilina*, ya que se utiliza en muchas ocasiones. En las propiedades, a destacar su utilidad en la fabricación de colorantes.

5.2. Amidas

La estructura de las amidas puede considerarse derivada de la de los ácidos carboxílicos, sin más que sustituir el grupo hidroxilo de estos (-OH) por un grupo amino (-NH₂) o por diversos radicales amino sustituidos. Entre las propiedades destacaremos su facilidad de polimerización, poniendo como ejemplo al nailon, resultado de la policondensación de un diácido (normalmente ácido hexanodioico) con una diamina (1,6-diaminohexano).

Vídeo: AMINAS

Vídeo en español que enseña a formular aminas.

Vídeo: AMIDAS

Vídeo en español que enseña a formular amidas.

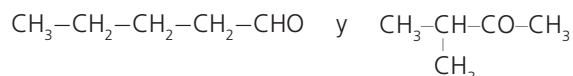
6. Isomería

Empezaremos este epígrafe comentando una de las propiedades que pueden presentar dos o más compuestos orgánicos: la de poseer la misma fórmula molecular, pero distinta distribución espacial en sus átomos, propiedad conocida como isomería, recalcando el hecho de que los isómeros son especies químicas diferentes, cada uno con sus particulares propiedades físicas y químicas.

Debemos estar preparados por si el alumno preguntara si también existen entre los compuestos inorgánicos algunos con la misma propiedad. La respuesta es sí, se trata de los compuestos de coordinación, comúnmente llamados complejos, que pueden presentar una diferente disposición espacial de sus ligandos alrededor del ion metálico central. Lo que ocurre es que, dada su complejidad, no se abordan en el bachillerato.

6.1. Isomería plana o estructural

Cuando la isomería se pueda poner de manifiesto con fórmulas planas, diremos que pertenecen al tipo denominado isomería plana. Hay que distinguir tres tipos de esta isomería: de cadena, de posición y de función. Avisando que algunos compuestos pueden tener, a la vez, más de una de ellas. Por ejemplo:



6.2. Isomería espacial o estereoisomería

Debido a que los enlaces covalentes del carbono son direccionales, existirán isómeros que presenten la misma fórmula molecular y estructura, pero difieran en la orientación espacial de sus átomos. Este tipo de isomería se denomina espacial o estereoisomería.

A continuación, abordaremos la geométrica o cis-trans que, aunque es típica de los alquenos, no todos la poseen. Una vez explicada, se puede pedir al alumnado que de ejemplos de alquenos que sí la poseen y ejemplos de alquenos que no la tienen.

Una vez explicada la isomería óptica, diremos a los alumnos que, por su dificultad, ni este curso ni el que viene se identificará con un nombre distintivo cada isótopo óptico; es suficiente con que conozcan que a uno se le conoce como «dextro» y al otro como «levo».

Vídeo: ALCANOS, ALQUENOS Y ALQUINO

Vídeo en español que enseña las reglas de formulación de los derivados halogenados.

Vídeo: ISOMERÍA ESTRUCTURAL DE CADENA

Vídeo en español que muestra el concepto de isomería estructural de cadena.

Vídeo: ISOMERÍA ESTRUCTURAL DE POSICIÓN.

Vídeo en español que muestra el concepto de isomería estructural de posición.

Vídeo: ISOMERÍA ESTRUCTURAL DE FUNCIÓN

Vídeo en español que muestra el concepto de isomería estructural de función.

Vídeo: ISOMERÍA ESPACIAL

Vídeo en español que muestra el concepto de isomería espacial o estereoisomería.

7. El petróleo y el gas natural

Este epígrafe trata de informar al alumnado de que estas dos mezclas, petróleo y gas natural, son las principales materias primas de los compuestos orgánicos. Sin embargo, esta importante aplicación no resultó de interés hasta mediados del siglo XIX; a partir de esa fecha se inició la búsqueda y explotación a gran escala del llamado «oro negro» y del gas natural.

7.1. Origen, localización y composición

Debemos comenzar explicando el posible origen del petróleo y gas natural a partir de la descomposición anaerobia del microplancton acumulado durante millones de años en el fondo de lagos y otras cuencas sedimentarias, haciendo saber al estudiante que hay otras hipótesis.

Después de tratar el tema de la localización y extracción, abordaremos el de las propiedades de estas dos mezclas (desterrando de la mente del estudiante que se traten de sustancias puras).

7.2. Industria del petróleo

A continuación, abordaremos la industria del petróleo, comenzando con el proceso de refinado, mediante el cual se obtiene

hidrocarburos tan interesantes como la gasolina y el gasóleo, hay que hacer hincapié en que el 90 % del petróleo crudo se utiliza para ser quemado y obtener energía. Al mismo tiempo, resaltaremos la significación que gasolinas y gasóleos han tenido, y tienen, en el desarrollo de la calidad de vida de los hombres y mujeres de los siglos xx y xxi.

7.3. Industria del gas natural

Seguidamente se expone la industria del gas natural, abarcando desde su extracción hasta la llegada a los hogares. Se puede generar un debate relacionado con el almacenamiento de gas natural en depósitos subterráneos de acuíferos salinos, minas de sal o yacimientos agotados de gas o petróleo, y la proliferación de pequeños terremotos.

A continuación, debe explicarse a qué se dedica la industria petroquímica (elaboración de olefinas e hidrocarburos aromáticos a partir de hidrocarburos saturados que salen de la planta de refinado) Hay que resaltar la destacada contribución que ha tenido, y tiene, esta importante rama de la química en la producción barata de compuestos básicos: etileno, butadieno, benceno, tolueno, etc., productos que, a su vez, sirven de materia prima para obtener otros compuestos: polietileno, PVC, nailon, colorantes, detergentes, explosivos, disolventes, medicamentos, etc., que tanto han influido en nuestra forma de vida.

7.4. Repercusión medioambiental

Por último, debemos destacar la negativa repercusión medioambiental que conllevan los trabajos de extracción de petróleo y gas natural, su transporte, refinado y uso, y cómo se está intentando encontrar otras materias primas con una menor repercusión medioambiental.

Vídeo: PROCESOS EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y GAS

Vídeo en español que muestra los procesos seguidos en la industria del petróleo y gas natural.

Documento: LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Documento: LOS MATERIALES PLÁSTICOS

8. Los nuevos materiales

Este epígrafe también podía haber sido llamado: *Formas alotrópicas del carbono*, ya que trata, fundamentalmente, de tres de ellas: fullerenos, grafenos y nanotubos de carbono. Sin embargo, con el nombre de «nuevos materiales», se quiere resaltar la importancia de estos derivados del carbono en la fabricación de materiales, inexistentes hasta hace poco, que van resultar vitales en el futuro inmediato.

8.1. Formas alotrópicas del carbono

Después de repasar brevemente la estructura, propiedades y aplicaciones del diamante y grafito (ya han sido abordados en cursos anteriores), hay que detenerse a explicar la estructura, propiedades y aplicaciones de fullerenos, grafeno y nanotubos, resaltando la potencialidad de los mismos en un sinfín de aplicaciones que ya se empiezan a vislumbrar.

Vídeo: FULLERENOS

Vídeo en español que muestra la estructura, las propiedades y las aplicaciones de los fullerenos.

Vídeo: GRAFENO, EL MATERIAL DEL FUTURO

Vídeo en español que muestra la estructura, las propiedades y las aplicaciones del grafeno.

Vídeo: GRAFENO DENTRO DE 50 AÑOS

Vídeo en español que muestra las aplicaciones del grafeno.

Vídeo: ¿QUÉ ES UN NANOTUBO?

Vídeo en español que muestra lo que son los nanotubos de carbono.

Vídeo: USOS DE LOS NANOTUBOS

Vídeo en español que muestra las propiedades y aplicaciones de los nanotubos de carbono.

9. La química del carbono en nuestras vidas

Este epígrafe muestra al alumnado la importancia que tiene la química del carbono en los procesos biológicos, formando parte de todos ellos, y, en contrapartida, el efecto negativo que su uso tiene sobre el medio ambiente.

9.1. Moléculas orgánicas

Este epígrafe pretende dar al estudiante una visión general del tipo de moléculas orgánicas que forman parte de la vida en la Tierra (actualmente no se conoce ninguna otra): aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, hidratos de carbono y lípidos. La misión principal del profesor de física y química a lo largo del epígrafe es mostrar la importancia que tiene los conocimientos químicos en otra rama del saber, la biología.

9.2. Contaminantes orgánicos. Adopción de actitudes medioambientales sostenibles

La idea general al tratar este epígrafe es mostrar al alumnado que «no es oro todo lo que reluce», es decir, muchos de los compuestos orgánicos de síntesis, además de ser útiles y hacer la vida más cómoda, también dañan el medio ambiente y la salud de las personas, bien por su ingesta o inhalación. Se enumerarán algunos de ellos y, por último, se animará al alumnado a que adopte medidas (las pueden consensuar entre ellos), tales como la disminución de su consumo, la reutilización de las materias primas y los envases, el mal uso del plástico, etc., conducentes a disminuir ese impacto sobre el medio ambiente.

Vídeo: BIOMOLÉCULAS

Vídeo en español que muestra lo que son las biomoléculas.

Vídeo: COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES

Vídeo en español que muestra lo nocivo que puede resultar el uso de determinados compuestos orgánicos.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 170/195)

Comprueba lo que sabes

1. Escribe la fórmula de los siguientes compuestos: etano, propeno, etanol y ácido acético.

Etano: CH_3-CH_3

Propeno: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$

Etanol: $\text{CH}_3-\text{CH}_2\text{OH}$

Ácido acético: CH_3-COOH

2. Nombra: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$, CH_3-CHO , $\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_3$
1-buteno

Etanal

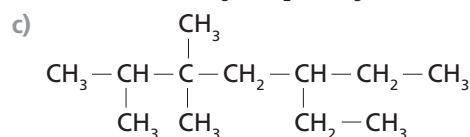
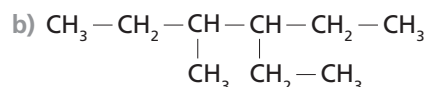
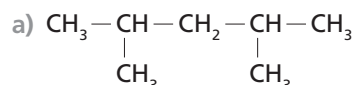
2-propanol

3. ¿Cuántos compuestos orgánicos distintos de fórmula molecular C_5H_{12} pueden existir?

Pueden existir tres: n-pentano, metilbutano y dimetilpropano.

Actividades

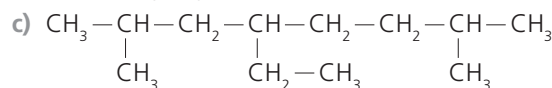
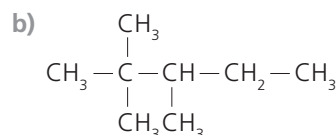
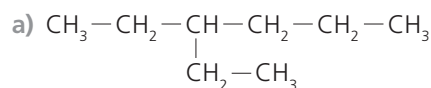
- 1 Nombra los siguientes compuestos:



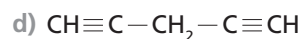
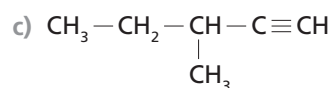
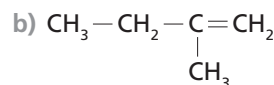
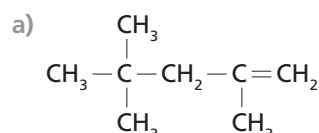
- a) 2,4-dimetilpentano.
b) 3-etil-4-metilhexano.
c) 5-etil-2,3,3-trimetilheptano.

- 2 Formula los siguientes compuestos:

- a) 3-etilhexano.
b) 2,2,3-trimetilpentano.
c) 4-etil-2,7-dimetiloctano.



- 3 Nombra estos compuestos:



- a) 2,4,4-trimetil-1-penteno (2,4,4-trimetilpent-1-eno).
b) 2-metil-1-buteno (2-metilbut-1-eno).
c) 3-metilpentino (3-metilpent-1-ino).
d) 1,4-pentadiino (pent-1,4-diino).

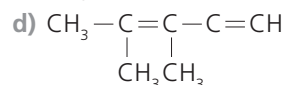
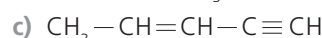
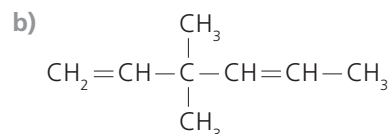
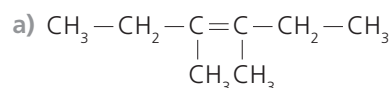
- 4 Formula estos compuestos:

a) 3,4-dimetil-3-hexeno (3,4-dimetilhex-3-eno).

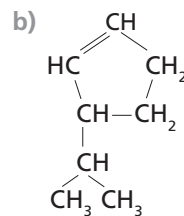
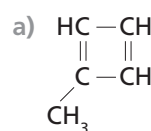
b) 3,3-dimetil-1,4-hexadieno (3,3-dimetilhexa-1,4-dieno).

c) 2-penten-4-ino (pent-2-en-4-ino).

d) 2,3-dimetil-2-penten-4-ino (2,3-dimetilpent-2-en-4-ino).



- 5 Nombra estos compuestos:

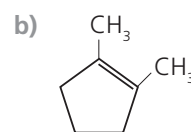
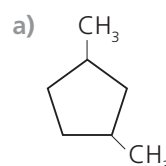


- a) 1-metil-1,3-ciclobutadieno (1-metilciclobuta-1,3-dieno).
b) 3-isopropil-1-ciclopenteno (3-isopropilciclopent-1-eno).

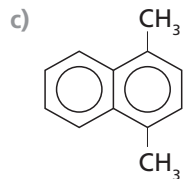
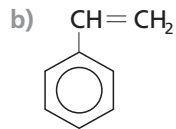
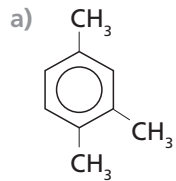
- 6 Formula los siguientes compuestos:

a) 1,3-dimetilciclopentano.

b) 1,2-dimetilciclopenteno.



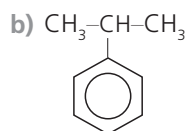
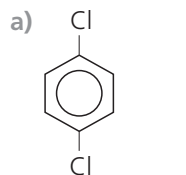
7 Nombra estos compuestos:



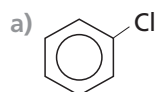
- a) 1,2,4-trimetilbenceno.
 b) Etilenbenceno o fenileno o vinilbenceno.
 c) 1,4-dimetilnaftaleno.

8 Formula los siguientes compuestos:

- a) p-diclorobenceno.
 b) Fenilpropano o isopropilbenceno.



9 Nombra estos compuestos:



- b) $\text{ClCH}=\text{CHCl}$
 a) Clorobenceno.
 b) 1,2-dicloroeteno.

10 Formula los siguientes compuestos:

- a) 1,2-dicloroetano.
 b) 1,1-dicloroeteno.
 a) $\text{ClCH}_2-\text{CH}_2\text{Cl}$
 b) $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CH}_2$

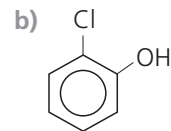
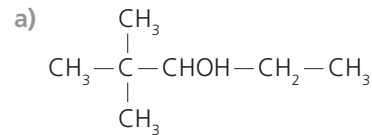
11 Nombra estos compuestos:

- a) $\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CHOH}-\text{CH}_3$
 b) $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CHOH}-\text{CH}_3$
 c) $\text{CH}_2\text{OH}-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CHOH}-\text{CH}_3$

- a) 2,3-butanodiol (*butano-2,3-diol*).
 b) 3-metil-2-butanol (*3-metilbutan-2-ol*).
 c) 2-metil-1,3-butanodiol (*2-metilbutan-1,3-diol*).

12 Formula los siguientes compuestos:

- a) 2,2-dimetil-3-pentanol (*2,2-dimetilpentan-3-ol*).
 b) o-clorofenol.
 c) 1,2-propanodiol (*propano-1,2-diol*).

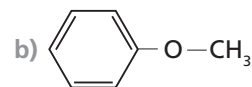
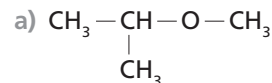


- c) $\text{CH}_2\text{OH}-\text{CHOH}-\text{CH}_3$

13 Nombra estos compuestos:

- a) Metoxipentano.
 b) Etoxibutano.
 c) Butil metil éter.
 a) $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
 b) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
 c) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3$

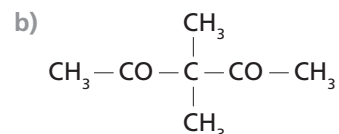
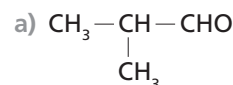
14 Formula los siguientes compuestos:



- c) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

- a) Isopropil metil éter.
 b) Metoxibenceno (*fenil metil éter*).
 c) Etoxieteno (*etil vinil éter*).

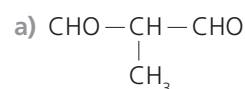
15 Nombra estos compuestos:



- a) Metilpropanal.
 b) 3,3-dimetilpentanodiona.

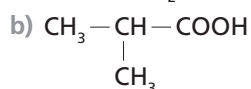
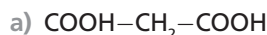
16 Formula los siguientes compuestos:

- a) Metilpropanodial.
 b) 2-pentanona (*pentan-2-ona*).



- b) $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

17 Nombra estos compuestos:

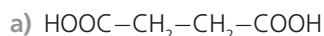


- a) Ácido propanodioico.
b) Ácido metilpropanoico.

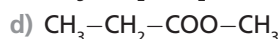
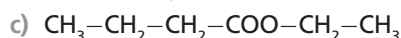
18 Formula los siguientes compuestos:

a) Ácido butanodioico.

b) Ácido hidroxietanoico.



19 Nombra estos compuestos:



- a) Etanoato de etilo.
b) Metanoato de metilo.
c) Butanoato de etilo.
d) Propanoato de metilo.

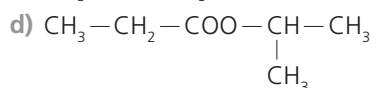
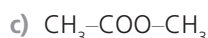
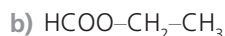
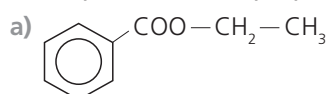
20 Formula los siguientes compuestos:

a) Benzoato de etilo.

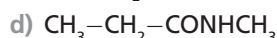
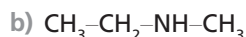
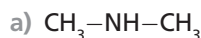
b) Metanoato de etilo.

c) Acetato de metilo.

d) Propanoato de isopropilo.



21 Nombra estos compuestos:



- a) Dimetilamina.
b) Etilfenilmetilamina.
c) Metanoamida.
d) N-metilpropanoamida.

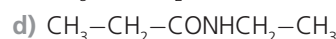
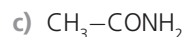
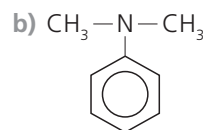
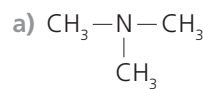
22 Formula los siguientes compuestos:

a) Trimetilamina.

b) Dimetilfenilamina.

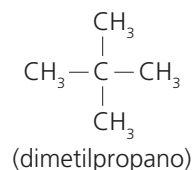
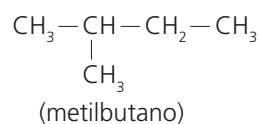
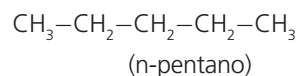
c) Acetamida.

d) N-etilpropanoamida.

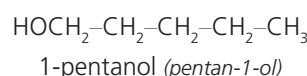
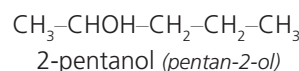
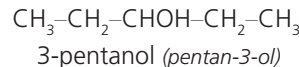


23 Escribe y nombra todos los isómeros del n-pentano.

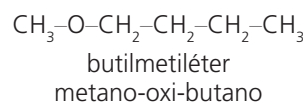
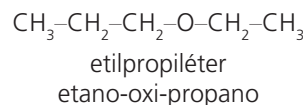
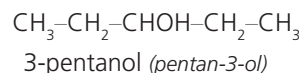
Solo presenta isómeros de cadena:



24 Escribe y nombra dos isómeros de posición del 3-pentanol (pentan-3-ol).



25 Escribe y nombra dos isómeros de función del compuesto de la actividad anterior.



26 Justifica cuál de los siguientes compuestos presenta isomería cis-trans:

a) 1,1-dibromoetano.

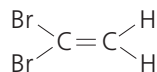
b) 1,1-dibromoeteno.

c) 1,2-dibromoetano.

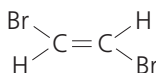
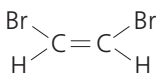
d) 1,2-dibromoeteno.

a) No, porque no tiene doble enlace.

b) No, porque aunque tiene doble enlace, los grupos se repiten en los dos carbonos.



- c) No, porque no tiene doble enlace.
 d) Sí, porque presenta doble enlace, y cada grupo está en un carbono diferente.



cis-1,2-dibromoeteno trans-1,2-dibromoeteno

27 ¿Qué clase de isomería presenta el ácido 2-hidroxi-propanoico?

Al ácido 2-hidroxi-propanoico ($\text{CH}_3\text{—CHOH—COOH}$) se le conoce también como ácido láctico. Puede presentar dos tipos de isomería:

- Plana, de posición, con la existencia, además del 2-hidroxi-propanoico, del isómero: ácido 3-hidroxi-propanoico ($\text{CH}_2\text{OH—CH}_2\text{—COOH}$).
- Espacial, enantiomería, debido a que la molécula presenta un carbono asimétrico (el segundo), con la existencia de dos isómeros ópticos: ácido dextraláctico y ácido levuláctico.

28 ¿Posee isómeros ópticos el ácido 3-hidroxi-propanoico? Dibújalos.

El ácido 3-hidroxi-propanoico ($\text{CH}_2\text{OH—CH}_2\text{—COOH}$), no tiene ningún carbono asimétrico (cuatro átomos o grupos de átomos distintos unidos a él). Por tanto, carece de este tipo de isomería.

29 Con la ayuda de Internet, ordena, de mayor a menor producción, los distintos productos que se obtienen en las refineras de petróleo, así como sus aplicaciones.

RESPUESTA LIBRE.

30 Describe el proceso de obtención del gas natural y las aplicaciones de este gas en:

- a) El hogar, el comercio y la industria.
 b) La producción de energía eléctrica.

El primer paso para obtenerlo es detectar su presencia en el subsuelo. Luego hay que recopilar datos (profundidad de la bolsa, volumen aproximado, propiedades de las rocas que lo rodean, etc.) para decidir si el yacimiento merece ser explotado. En caso positivo, se extrae mediante bombeo. Después se transporta a la refinera donde se procesa: se eliminan los gases ácidos, el agua, el mercurio y el nitrógeno que pueda llevar asociados.

- a) En el hogar y comercio se utiliza como combustible para obtener energía calorífica (quema sin desprender cenizas y otros productos contaminantes), en la industria, además de lo anterior, como fuente para extraer los distintos gases que lleva.
 b) En la producción de energía eléctrica se utiliza como combustible para calentar agua hasta transformarla en vapor. Este mueve una turbina asociada a unos imanes que, al rotar sobre bobinas de cobre, produce corriente eléctrica alterna.

31 De la siguiente lista de productos y materiales orgánicos de síntesis, elige los que, a tu juicio, son los más importantes, y reflexiona sobre cómo sería tu vida si no existieran: ropa sintética, materiales plásticos, insecticidas, plaguicidas, termiticidas, explosivos, detergentes, champús, desodorantes, perfumes, combustibles, pinturas, barnices, disolventes, medicinas y papel.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIONES DE LA ACTIVIDADES QUIMICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 196)

Análisis

1 ¿En base a qué se tomó la decisión de dar la terminación -eno al grafeno?

En el grafeno cada carbono dispone de un doble enlace, uno localizado y otro deslocalizado, lo que le obliga a comportarse como una molécula aromática; este doble enlace es el responsable de su nombre: grafeno (sustitución del sufijo *-ito*, de grafito, por el sufijo *-eno*, propio de los dobles enlaces).

2 Indica siete propiedades del grafeno.

El grafeno es un material semiconductor, prácticamente transparente, ligero, maleable, alta conductividad térmica y eléctrica y es más fuerte que el acero.

3 Señala dos aplicaciones del grafeno en la industria electrónica.

El grafeno puede usarse como sensor y transistor en los circuitos integrados permitiendo la construcción de procesadores mucho más rápidos que los actuales, como parte de los cables de fibra óptica, integrado en la tecnología OLED

(Diodo Orgánico de Emisión de Luz) para la fabricación de pantallas táctiles flexibles, para fabricación de audífonos y micrófonos ultrasensibles, en cámaras fotográficas mucho más sensibles que las actuales que utilizan tecnologías CMOS o CCD o en la creación de baterías de larga duración y carga ultrarrápida, entre otras aplicaciones.

Propuesta de investigación

4 Investiga y elabora un informe sobre las instituciones españolas (públicas y privadas) punteras en la investigación y comercialización del grafeno y sus derivados, los materiales que están desarrollando y sus futuras aplicaciones.

RESPUESTA LIBRE.

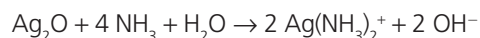
Documento:
LA QUÍMICA COMBINATORIA REVOLUCIONA LA BÚSQUDA DE NUEVOS PRODUCTOS

SOLUCIONES DE LA ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 197)

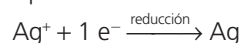
Cuestiones

1 Escribe la ecuación química que se ha producido.

La disolución de AgNO_3 contiene iones Ag^+ y NO_3^- . Al principio se produce un precipitado blanco de AgOH , que rápidamente pasa a pardo, de Ag_2O , soluble en exceso de reactivo por la tendencia del catión a formar complejos amoniacales:



La plata del ion complejo puede ser fácilmente reducida al estado metálico por la acción de diversas sustancias orgánicas reductoras. Así, los azúcares, tartratos, ácido fórmico, etc., en determinadas condiciones de temperatura y pH, depositan espejos metálicos de plata en las soluciones de este catión:



2 ¿Qué tipo de compuesto químico podría disolver la plata formada?

Si un reductor ha sido capaz de reducir Ag^+ a Ag^0 ; empleando un oxidante (por ejemplo HNO_3) podremos realizar el proceso inverso: oxidar Ag^0 a Ag^+ .

3 Elabora un informe de la práctica.

RESPUESTA LIBRE.

Prácticas de laboratorio

1. Fórmulas y modelos moleculares.
2. Reacción entre ácido acético y el cobre.
3. Obtención de un jabón.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 200/201)

El carbono y sus enlaces

1 ¿Qué estudia la química orgánica?

Las propiedades físicas y químicas de los compuestos que contienen carbono (excepto los óxidos y los carbonatos).

2 ¿De cuántos enlaces, como máximo, puede rodearse un átomo de carbono?

Debido a que posee cuatro electrones de valencia, como máximo podrá rodearse de cuatro enlaces covalentes simples.

3 ¿Por qué existen tantos compuestos de carbono?

Por la especial configuración electrónica del átomo de carbono, que permite la unión entre sí de muchos otros átomos de carbono.

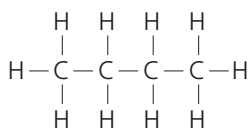
4 ¿Qué se entiende por compuesto saturado y compuesto insaturado?

Se entiende por compuesto saturado aquel en el que todos sus enlaces C-C son covalentes sencillos, y por compuesto insaturado el que presenta dobles y/o triples enlaces.

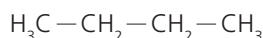
Representación de moléculas orgánicas

5 Escribe la fórmula desarrollada y la semidesarrollada del n-butano.

Fórmula desarrollada:

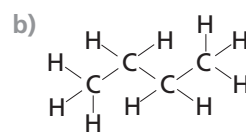


Fórmula semidesarrollada:



6 ¿Cuál de estas dos formas de escribir el n-butano aporta más información? ¿Por qué?

a) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

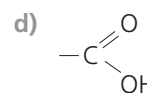
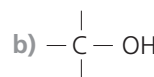
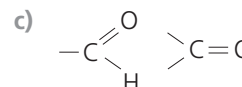
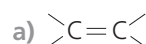


La respuesta correcta es la b), porque indica la naturaleza de todos y cada uno de los enlaces y desarrolla los ángulos de enlace.

Grupos funcionales y formulación orgánica

7 Indica el grupo funcional de:

- Alquenos.
- Alcoholes.
- Aldehídos y cetonas.
- Ácidos carboxílicos.



8 Formula los siguientes compuestos e indica a qué serie homóloga de compuestos pertenecen:

- 2-metil-2-butanol (*2-metilbutan-2-ol*).
- Etilfeniléter.
- 1,4-ciclohexanodiona (*ciclohexano-1,4-diona*).
- 4-etil-4-metilheptano.
- 2,4-octadieno (*octa-2,4-dieno*).
- 3-etil-1,5-octadieno (*3-etilocta-1,5-diino*).
- 3-penten-1-ino (*pent-3-en-1-ino*).

h) 2-etil-3-metil-1,3-heptadien-6-ino (2-etil-3-metilhepta1,3-dien-6-ino).

i) Ciclohexino.

j) 1,3-ciclopentadieno (ciclopenta-1,3-dieno).

k) m-dimetilbenceno.

l) 2-metil-1,3-butanodiol (2-metilbutano-1,3-diol).

m) 3-metil-2-pentenal (3-metilpent-2-enal).

n) 4-fenil-2-pentanona (4-fenilpentan-2-ona).

ñ) 3,3-dimetilpentanodiona.

o) Ácido 2-pentenoico (ácido pent-2-enoico).

p) Ácido 2-pentenodioico (ácido pent-2-enodioico).

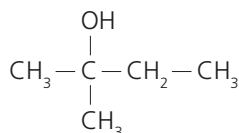
q) Acetato de etilo.

r) Butanamida.

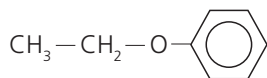
s) Benzamida.

t) 1,4-butanodiamina (butano-1,4-diamina).

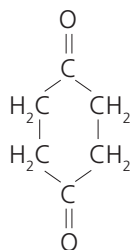
a) Es un alcohol.



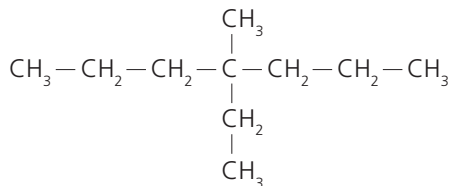
b) Es un éter.



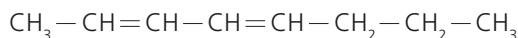
c) Es una dicetona.



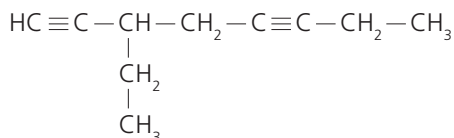
d) Es un hidrocarburo saturado (alcano).



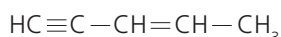
e) Es un hidrocarburo no saturado (alqueno).



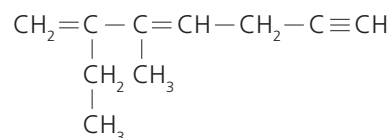
f) Es un hidrocarburo no saturado (alquino).



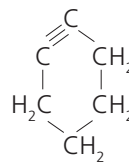
g) Es un hidrocarburo no saturado.



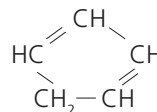
h) Es un hidrocarburo no saturado.



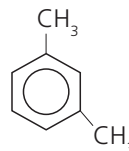
i) Es un hidrocarburo no saturado de cadena cerrada (cicloalquino).



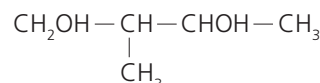
j) Es un hidrocarburo no saturado de cadena cerrada (cicloalqueno).



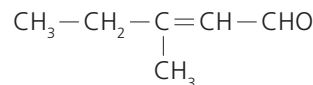
k) Es un hidrocarburo aromático.



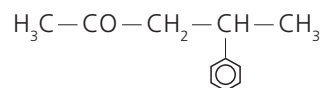
l) Es un dialcohol.



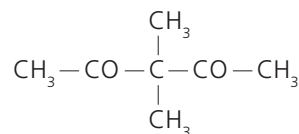
m) Es un aldehído.



n) Es una cetona.



ñ) Es una cetona.



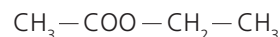
o) Es un ácido carboxílico insaturado.



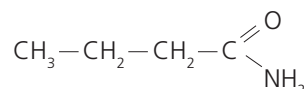
p) Es un ácido carboxílico insaturado.



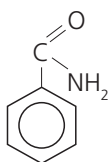
q) Es un éster.



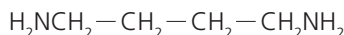
r) Es una amida.



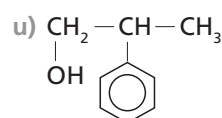
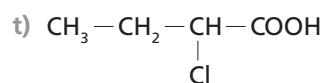
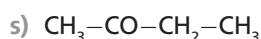
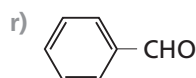
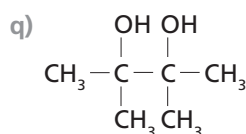
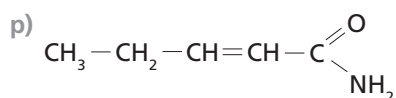
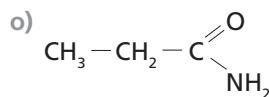
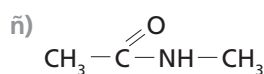
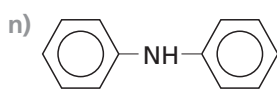
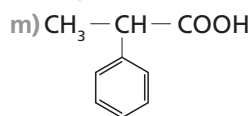
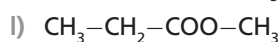
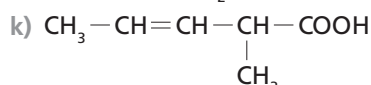
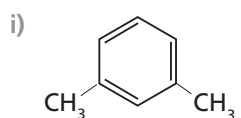
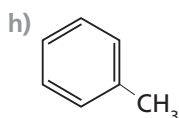
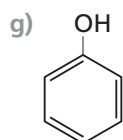
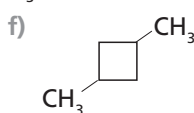
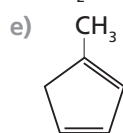
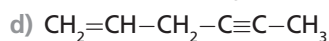
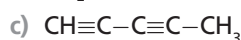
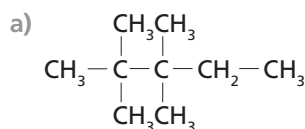
s) Es una amida aromática.



t) Es una amina.



9 Nombra los siguientes compuestos e indica a qué serie homóloga pertenecen:



a) Es un alcano: 2,2,3,3-tetrametilpentano.

b) Es un alqueno: 1,3-butadieno (buta-1,3-dieno).

c) Es un alquino: 1,3-pentadieno (penta-1,3-diino).

d) Es un hidrocarburo insaturado: 1-hexen-4-ino (hex-1-en-4-ino).

e) Es un hidrocarburo alicíclico: 1-metil-1,3-ciclopentadieno (1-metilciclopenta-1,3-dieno).

f) Es un hidrocarburo alicíclico: 1,3-dimetilciclobutano.

g) Es un fenol: fenol.

h) Es un derivado bencénico: metilbenceno o tolueno.

i) Es un derivado bencénico: m-dimetilbenceno.

j) Es un aldehído insaturado: 2-pentinal (pent-2-inal).

k) Es un ácido carboxílico insaturado: ácido 2-metil-3-pentenoico (ácido 2-metilpent-3-enoico).

l) Es un éster: propanoato de metilo.

m) Es un ácido carboxílico: ácido 2-fenilpropanoico.

n) Es una amina: difenilamina.

ñ) Es una amida: N-metilacetamida o N-metil-etanoamida.

o) Es una amida: propanoamida.

p) Es una amida: 2-pentenamida (pent-2-enamida).

q) Es un alcohol: 2,3-dimetil-2,3-butanodiol (2,3-dimetilbutano-2,3-diol).

r) Es un aldehído aromático: benzaldehído.

s) Es una cetona: butanona.

t) Es un ácido carboxílico halogenado: ácido 2-clorobutanoico.

u) Es un alcohol: 2-fenil-1-propanol (2-fenilpropan-1-ol).

Hidrocarburos

10 ¿Qué grupo de hidrocarburos destaca por su estabilidad e inercia química?

Los alcanos.

11 ¿Por qué un hidrocarburo aromático es más estable que un alqueno de igual número de átomos de carbono?

Porque los electrones que participan en los dobles enlaces de un hidrocarburo aromático se encuentran deslocalizados por todo el conjunto molecular, a diferencia de los alquenos, que se encuentran localizados entre dos carbonos.

12 Indica qué afirmación o afirmaciones son correctas con respecto a los alquenos:

a) Son hidrocarburos saturados.

b) Su fórmula general es C_nH_{2n} .

c) Solo pueden tener un doble enlace en la cadena.

d) Presentan ángulos de enlace $\text{H}-\text{C}=\text{C}$ próximos a 109° .

e) Poseen un enlace doble que es menos reactivo que el enlace sencillo.

f) Dan isómeros geométricos.

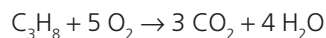
- a) Falsa.
b) Verdadera.
c) Falsa.
d) Falsa.
e) Falsa.
f) Verdadera.

13 ¿Por qué el eteno es un compuesto de alto interés para la industria?

Porque sirve de materia prima para la obtención de productos de alto interés industrial: plásticos, detergentes, alcoholes...

14 ¿Qué masa de CO_2 se arroja a la atmósfera por cada metro cúbico de propano que se quema por completo, medido en condiciones normales?

La ecuación que representa la reacción de combustión es:



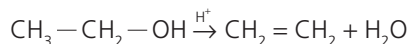
Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{22,4 \text{ L de } \text{C}_3\text{H}_8}{3 \cdot 44 \text{ g de } \text{CO}_2} = \frac{1000 \text{ L de } \text{C}_3\text{H}_8}{x \text{ g de } \text{CO}_2}$$

$$x = 5893 \text{ g de } \text{CO}_2$$

15 ¿Qué volumen de eteno se obtendrá, en condiciones normales, al deshidratar (con H_2SO_4) 20 g de un alcohol que contiene un 95 % de alcohol etílico?

La ecuación que representa la reacción es:



Calculamos la masa de etanol que tiene el alcohol:

$$20 \text{ g} \cdot \frac{95}{100} = 19 \text{ g de etanol}$$

Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{46 \text{ g de etanol}}{22,4 \text{ L de eteno}} = \frac{19 \text{ g de etanol}}{x \text{ L de eteno}}$$

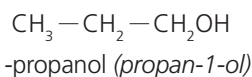
$$x = 9,25 \text{ L de eteno}$$

Compuestos oxigenados y nitrogenados

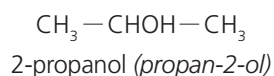
16 Formula y nombra tres alcoholes: uno primario, otro secundario y un último terciario.

Por ejemplo:

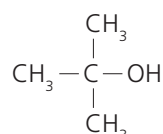
Alcohol primario:



Alcohol secundario:



Alcohol terciario:



metil-2-propanol (*metilpropan-2-ol*)

17 ¿Por qué los aldehídos son más reactivos que los alcoholes?

Por el carácter no saturado del grupo carbonilo, $\text{C}=\text{O}$, lo que facilita la adición al doble enlace o la sustitución del átomo de oxígeno por radicales divalentes. El grupo alcohol no presenta dobles enlaces.

18 ¿Qué diferencia existe entre alcoholes y fenoles?

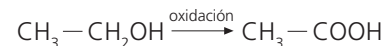
Los fenoles son alcoholes bencénicos.

19 ¿Por qué no se puede apagar con agua un frasco de éter que se acaba de inflamar?

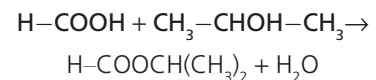
Porque, al ser líquidos no miscibles, el éter flotaría en el agua y continuaría ardiendo.

20 ¿Qué proceso ocurre en el vino cuando se avinagra?

El etanol que contiene se oxida a ácido acético:



21 Completa la siguiente reacción:



22 ¿Por qué escuece el roce con las ortigas?

Porque, al rozar la ortiga, rompemos los «pelillos» de la superficie de sus hojas, que en su interior contienen ácido fórmico.

23 ¿Cómo ejerce el jabón su función limpiadora?

La parte hidrófila del jabón se adhiere al agua, y la parte hidrófoba, a las grasas. En el proceso de lavado, el jabón arrastra las pequeñas gotas de grasa.

24 El análisis de una cetona demuestra que tiene un 62,1 % de carbono y un 10,3 % de hidrógeno. Deduce su fórmula semidesarrollada y su nombre.

Hallamos los moles de átomos:

$$\frac{62,1 \text{ g de C}}{12 \text{ g/mol}} = 5,2 \text{ mol de C}$$

Por otra parte:

$$\frac{10,3 \text{ g de H}}{1 \text{ g/mol}} = 10,3 \text{ mol de H}$$

El resto, hasta 100 %, será de O:

$$100 - (62,1 + 10,3) = 27,6 \% \text{ de O}$$

Entonces:

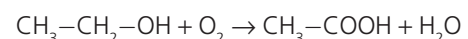
$$\frac{27,6 \text{ g de O}}{16 \text{ g/mol}} = 1,7 \text{ mol de O}$$

Relaciones idénticas a las anteriores, pero de números enteros, son 3 mol de C, 6 mol de H y 1 mol de O. Por tanto, la fórmula empírica será $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$. La fórmula empírica semidesarrollada es:



25 Una botella que contiene 1 kg de vino de 8° (8 % en masa) se ha dejado destapada durante varios días. Calcula la cantidad de ácido acético que se formará si el rendimiento de la reacción es del 50 %.

La ecuación que representa la reacción es:



Primero calculamos la cantidad de etanol que hay en la botella de vino:

$$1000 \text{ g} \cdot \frac{8}{100} = 80 \text{ g de etanol}$$

Aplicamos la siguiente relación:

$$\frac{46 \text{ g de etanol}}{60 \text{ g de ácido acético}} = \frac{80 \text{ g de etanol}}{x \text{ g de ácido acético}}$$

$$x = 104,35 \text{ g}$$

Ahora bien, como el rendimiento de la reacción es del 50 % tenemos:

$$104,35 \cdot \frac{50}{100} = 52,17 \text{ g de ácido acético}$$

- 26 Nombra y formula dos compuestos orgánicos nitrogenados con grupos funcionales distintos.

RESPUESTA LIBRE.

Isomería

- 27 ¿Qué se entiende en química orgánica por isomería?

Es la propiedad que tienen ciertos compuestos de poseer la misma fórmula molecular, pero distinta fórmula estructural.

- 28 Indica los tipos de isomería que existen.

■ Isomería plana o estructural:

- De cadena.
- De posición.
- De función.

■ Isomería espacial o estereoisomería:

- Geométrica o cis-trans
- Óptica o enantiomería.

- 29 Nombra todos los isómeros del diclorodifluoretano e indica el tipo de isomería que presentan.

$\text{Cl}_2\text{HC}-\text{CHF}_2$: 1,1-dicloro-2,2-difluoretano.

$\text{Cl}_2\text{FC}-\text{CH}_2\text{F}$: 1,1-dicloro-1,2-difluoretano.

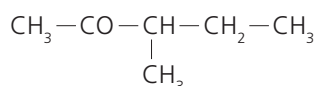
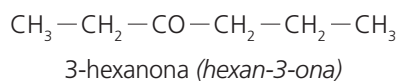
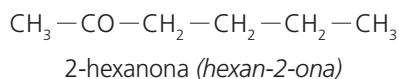
$\text{ClH}_2\text{C}-\text{CF}_2\text{Cl}$: 1,2-dicloro-2,2-difluoretano.

$\text{ClFHC}-\text{CHFCl}$: 1,2-dicloro-1,2-difluoretano.

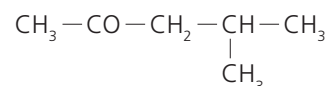
El tipo de isomería de todos ellos es isomería de posición.

- 30 Escribe y nombra todas las cetonas que tengan seis átomos de carbono.

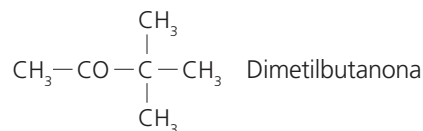
Monocetonas saturadas:



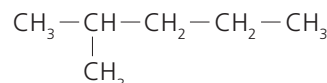
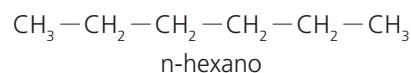
3-metil-2-pentanona (*3-metilpentan-2-ona*)



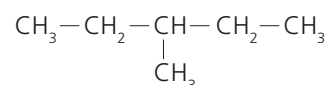
4-metil-2-pentanona (*4-metilpentan-3-ona*)



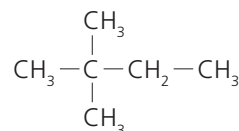
- 31 Escribe y nombra todos los isómeros de fórmula general C_6H_{14} . ¿Qué tipo de isomería presentan?



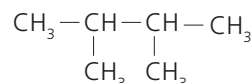
2-metilpentano



3-metilpentano



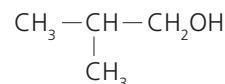
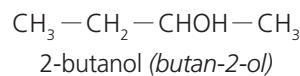
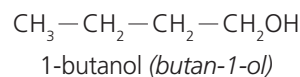
2,2-dimetilbutano



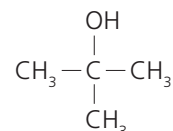
2,3-dimetilbutano

Presentan isomería de cadena.

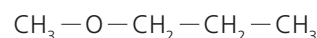
- 32 Nombra todos los isómeros de fórmula general sea $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$. ¿Presenta alguno de ellos isomería óptica?



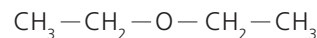
metil-1-propanol (*metilpropan-1-ol*)



metil-2-propanol (*metilpropan-2-ol*)

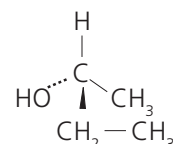


metil-propiléter o metano-oxi-propano



dietiléter o etano-oxi-etano

El único que presenta isomería óptica es el 2-butanol (*butan-2-ol*).



33 Justifica cuáles de los siguientes compuestos pueden presentar isomería cis-trans:

- a) $\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_2\text{OH}$ c) $\text{ClCH}=\text{CHCl}$
 b) $\text{H}_3\text{C}-\text{C}(\text{H}_3)=\text{CH}-\text{CH}_3$ d) $\text{ClCH}=\text{CH}-\text{CH}_3$

- a) No la puede presentar porque es un alquino.
 b) No la presenta porque el primero de los carbonos del doble enlace soporta dos grupos iguales.
 c) Sí la presenta.
 d) Sí la presenta.

El petróleo y el gas natural

34 ¿Qué son el petróleo y el gas natural? ¿Cómo se forman? ¿Cómo se extraen? ¿Cómo se transportan?

El petróleo y el gas natural son mezclas homogéneas de distintos hidrocarburos y otros compuestos. Se cree que proceden de la descomposición anaerobia del microplancton acumulado durante millones de años en el fondo de lagos y otras cuencas sedimentarias.

Si el gas está mezclado con petróleo, la explotación del yacimiento es más sencilla, ya que la mezcla brota de forma natural; en caso contrario es necesario utilizar bombas mecánicas.

Se transporta mediante barcos especiales y/o a través de gasoductos.

35 ¿Es posible almacenar gas natural? ¿Cómo se hace?

Se suele almacenar en depósitos subterráneos de acuíferos salinos (el gas inyectado desplaza el agua que rellena los poros de la roca almacén), minas de sal o yacimientos agotados de gas o petróleo.

36 ¿En qué se diferencia la gasolina del gasoil?

La gasolina es una mezcla líquida, homogénea, formada por hidrocarburos líquidos de 6 a 11 átomos de carbono, mientras que el gasóleo es una mezcla líquida de alcanos de entre 10 y 15 átomos de carbono, de ahí su mayor punto de ebullición, densidad ($0,832 \text{ g/cm}^3$), carácter aceitoso y menor volatilidad que la gasolina.

El gasóleo presenta dos ventajas frente a la gasolina: tiene un mejor rendimiento en km/L (los motores de gasolina solo aprovechan el 23 % de la energía, mientras que los diésel superan el 35 %) y resulta más económico, porque para obtener diésel se requiere menos energía en su proceso de refinación. La desventaja de este combustible es que es más contaminante.

37 ¿Qué ventajas ofrece el gas natural frente a otros combustibles fósiles?

Utilizado como combustible, su rendimiento energético es superior al de cualquier otro combustible fósil. Además, la expansión de las redes y sistemas de distribución y la limpieza de su combustión (quema sin desprender cenizas y otros productos contaminantes), hacen que cada vez se use más en todo el mundo.

38 ¿A qué se dedican las industrias petroquímicas? Describe la repercusión medioambiental de esta industria.

Se dedican a la elaboración de productos (polietileno, ácido acético, cloruro de vinilo, polipropileno, benceno, tolueno, xileno, etc.) en fases posteriores al refinado del petróleo. Para ello existen dos procesos: pirólisis y *reforming*.

Los nuevos materiales

39 Describe las estructuras de los cinco alótropos del carbono. ¿Qué ventajas tiene el incorporar otros átomos distintos al carbono en las estructuras de alguno de ellos?

En la estructura del **diamante**, cada átomo de carbono está unido a otros cuatro mediante fuertes enlaces covalentes, formando tetraedros.

El **grafito** está formado por láminas. En cada lámina, un átomo de carbono está unido a otros tres (mediante fuertes enlaces covalentes) formando anillos hexagonales, y el cuarto se une (mediante débiles fuerzas intermoleculares) a otro carbono de una lámina vecina.

En los **fullerenos** cada átomo de carbono está unido a otros tres, como en el grafito, pero a diferencia de este, los tres enlaces no son rectos sino que se curvan hacia el mismo lado, originando cierta tensión entre ellos que se compensa por la elevada simetría de la molécula. El cuarto enlace está deslocalizado por toda la estructura. En realidad, los fullerenos son monocapas de grafito que se pliegan, cerrándose sobre sí mismas.

El **grafeno** está formado por una lámina bidimensional, de grosor monoatómico, compuesta de átomos de carbono que forman anillos hexagonales, donde tres de los cuatro electrones de valencia que tiene el carbono establecen otros tantos enlaces covalentes simples; el cuarto, alojado en un orbital de tipo *p* (perpendicular al plano de la lámina), origina un débil enlace intermolecular deslocalizado por toda la lámina.

Los **nanotubos de carbono** son estructuras cilíndricas, de bases abiertas o cerradas (en este último caso, con medias esferas de fullerenos), constituidas por átomos de carbono unidos entre sí formando anillos hexagonales (a la manera del grafeno). Su diámetro es de unos pocos nanómetros (de ahí su nombre), mientras que su longitud puede alcanzar los varios miles de nanómetros.

Las ventajas que tiene el incorporar otros átomos distintos al carbono en las estructuras de estos alótropos es que abre la puerta a la creación de un sinfín de nuevos materiales con mejores propiedades que los actuales.

40 Indica las propiedades del diamante y del grafito. ¿Por qué son tan diferentes?

El diamante es muy duro, puede ser tallado, es transparente, tiene un punto de fusión elevado y no conduce la electricidad (pues no dispone de electrones libres, todos están *localizados* en los enlaces).

El grafito es blando, fácilmente exfoliable (las láminas se pueden separar) y conduce la corriente eléctrica.

A pesar de tener la misma composición (átomos de carbono), la diferente estructura de uno y otro explica las diferentes propiedades que tienen: la simetría de la estructura del diamante, unido a la fortaleza de todos los enlaces (covalentes), explican las propiedades señaladas anteriormente para el diamante; mientras que las débiles uniones entre láminas (de tipo de Van der Waals, debidas a la presencia de electrones *deslocalizados*) explican las del grafito.

41 Indica las propiedades y principales aplicaciones del grafeno.

El grafeno es uno de los materiales más duros (superior al diamante), fino, ligero, elástico, flexible, resistente y con mayor conductividad (es semiconductor) que existe; apenas se

recalienta al paso de la electricidad; produce el efecto fotoeléctrico, es impermeable al agua, es capaz de autorepararse, reacciona con diversas sustancias produciendo compuestos con propiedades muy interesantes, etc.

Alguna de sus aplicaciones son:

- En electrónica: como sensor y transistor en los circuitos integrados permitiendo la construcción de procesadores mucho más rápidos que los actuales, como parte de los cables de fibra óptica, integrado en la tecnología OLED (Diodo Orgánico de Emisión de Luz), en la fabricación de pantallas táctiles flexibles, audífonos y micrófonos ultrasensibles, cámaras fotográficas mucho más sensibles que las actuales que utilizan tecnologías CMOS o CCD, creación de baterías de larga duración y carga ultrarrápida, etc.
- En la industria del blindaje: la gran dureza de este material, junto a su ligereza y capacidad de moldearse, lo hace idóneo para ser empleado en esta industria.
- En la industria automovilística: como aditivo de los combustibles para mejorar el rendimiento y disminuir el consumo de los motores.
- En el tratamiento de aguas: desalinización del agua de mar, con la fabricación de filtros más eficientes que las actuales membranas usadas en el proceso de ósmosis inversa.
- En medicina y biomedicina: para mejorar los tratamientos contra el cáncer, fabricación de implantes neuronales, oculares, musculares y óseos, etc.

42 ¿Cuál es el grosor de los nanotubos de carbono?

Los primeros nanotubos (aislados en 1991) se componían de hasta 20 tubos concéntricos, con diámetros comprendidos entre 3 y 30 nm y cerrados en sus extremos por medias esferas de fullerenos.

La química del carbono en nuestras vidas

43 En química orgánica, ¿qué se entiende por reacción de condensación? ¿Qué importancia tienen estas reacciones en biología?

Es la unión de dos moléculas, con eliminación de otra muy pequeña (generalmente agua), para formar un único producto.

La importancia de estas reacciones en biología radica en que forman parte de muchos procesos biológicos catalizados por enzimas: formación de ácidos nucleicos, obtención de proteínas, rotura de moléculas complejas, etc.

44 Indica cuatro ejemplos de sustancias orgánicas que formen parte de la vida.

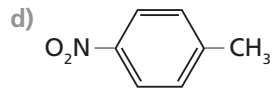
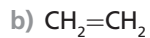
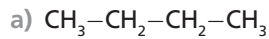
RESPUESTA LIBRE.

45 ¿Qué son los COP?

Los COP (contaminantes orgánicos persistentes) son compuestos muy resistentes a los procesos de degradación natural y, por tanto, muy estables y persistentes en el medio ambiente, es decir, muy contaminantes. La lista de COP incluye insecticidas y pesticidas: aldrina, clordano, dieldrina, endrina, heptacloro, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno y bifenilos policlorados (BPC) (se recomienda su eliminación total); DDT (se propone restringir su uso); y dioxinas: dibenzoparadioxinas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/PCDF).

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 203)

1. Nombra los siguientes hidrocarburos y clasifícalos como saturados, insaturados o aromáticos.



a) Butano (hidrocarburo saturado); b) Eteno (insaturado); c) Etino o acetileno (insaturado); d) p-nitrometilbenceno, o también: p-nitrotolueno (aromático).

2. Formula:

a) 2,3,4,5-tetrametilhexano.

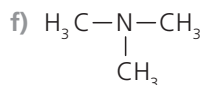
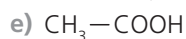
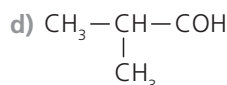
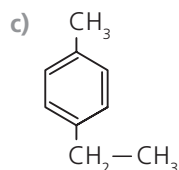
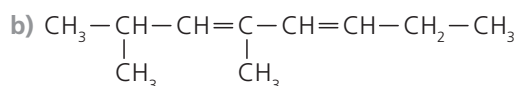
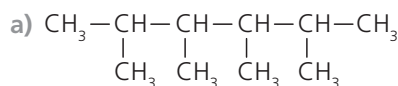
b) 2,4-dimetil-3,5-octadieno.

c) p-etilmetilbenceno.

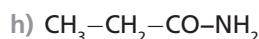
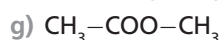
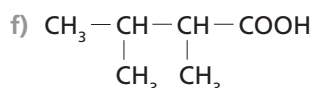
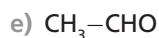
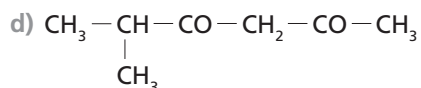
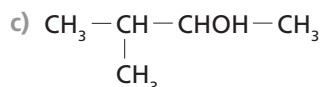
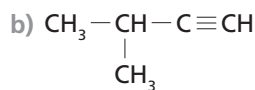
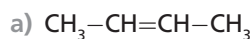
d) Metilpropanal.

e) Ácido etanoico (acético).

f) Trimetilamina.



3. Nombra:



a) 2-buteno

b) metilbutino

c) 3-metil-2-butanol

d) 5-metil-2,4-hexanodiona

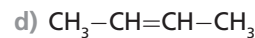
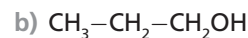
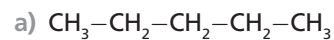
e) etanal

f) ácido 2,3-dimetilbutanoico

g) etanoato de metilo

h) propanoamida

4. Indica la clase de isomería que presentan los siguientes compuestos. Formula y nombra todos los isómeros (a excepción de los ópticos).

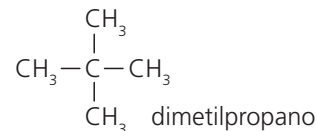
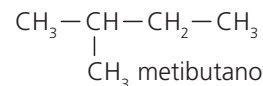
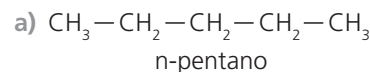


a) De cadena.

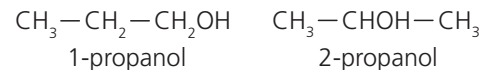
b) De posición y de función.

c) De cadena, posición, función y óptica.

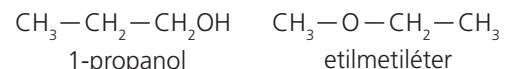
d) de cadena, posición y cis-trans.



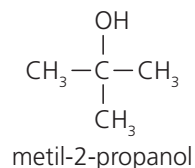
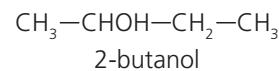
b) Isómeros de posición:



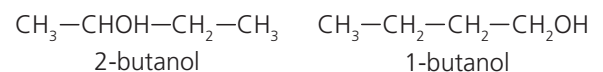
Isómeros de función:



c) Isómeros de cadena:



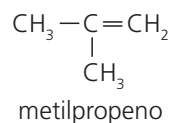
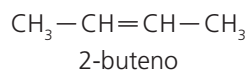
Isómeros de posición:



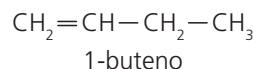
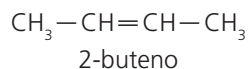
Isómeros de función:



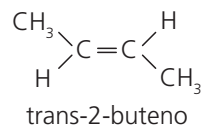
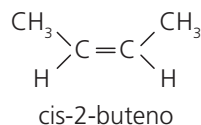
d) Isómeros de cadena:



Isómeros de posición:



Isómeros geométricos:



5. ¿Qué son el petróleo y el gas natural? ¿Cómo se obtienen? ¿Qué manipulaciones sufren hasta que llegan al consumidor? Indica la estructura, propiedades físico-químicas y posibles aplicaciones de cada una de las formas alotrópicas del carbono.

El petróleo y el gas natural proceden de la descomposición anaerobia del microplancton acumulado durante millones de años en determinadas cuencas sedimentarias. El **petróleo** es un líquido oleoso de color variable, formado por una mezcla de hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos junto con diversas impurezas. El **gas natural** es incoloro, inodoro, y su composición incluye diversos hidrocarburos gaseosos con predominio de metano (90 – 95 %), algo de etano (2 – 6 %) y trazas de propano, N_2 , CO_2 , H_2S , etc. Utilizado como combustible, el rendimiento energético del gas natural es superior al de cualquier otra fuente combustible.

El petróleo o crudo es refinado, es decir, es sometido a una destilación fraccionada para extraer de él sus partes más útiles. Durante el proceso de refinado el crudo se calienta hasta unos 400°C y se vaporiza. El petróleo vaporizado va pasando por sucesivas torres de condensación en cada una de las cuales se deposita el componente de mayor punto de ebullición existente en la fracción que circula por la torre:

- Hasta 75°C : gases, metano, propano, butano...
- De 75°C a 200°C : naftas y gasolinas (hidrocarburos de seis a once átomos de carbono).
- De 200°C a 300°C : queroseno (petróleo de arder).
- Hasta 400°C : gasóleo.
- Por encima de 400°C : lubricantes.
- Los residuos no evaporados (alquitrán, asfalto y coque) se sacan por la parte inferior de la torre.

Posteriormente, cada una de estas fracciones es sometida a diversos tratamientos químicos y físicos (pirólisis, *reforming*, etc.) para mejorar sus propiedades.

El gas natural recibe este nombre porque llega a su punto de consumo sin prácticamente haber experimentado ninguna alteración química; basta con eliminar el agua y las impurezas (azufre, CO_2 , etc.), separar el gas seco de los hidrocarburos líquidos que le acompañan y odorizarlo (se añaden mercaptanos), para que llegue al consumidor de forma segura. También es tratado mediante pirólisis y *reforming* para extraer de él los hidrocarburos que lo componen.

En la estructura del **diamante**, cada átomo de carbono está unido a otros cuatro átomos de carbono mediante fuertes

enlaces covalentes, formando tetraedros. La gran simetría del conjunto, unido a la fortaleza de todos los enlaces, explica sus **propiedades**: es el mineral más duro que existe, puede ser tallado, es transparente, tiene un punto de fusión elevado, no conduce la electricidad (pues no dispone de electrones libres, todos están *localizados* en los enlaces), etc. Se usa para cortar vidrio y todo tipo de piedras, pulido de herramientas, perforar pozos petroleros, etc.

El **grafito** está formado por láminas de color negro opaco. En cada lámina, un átomo de carbono está unido a otros tres, formando anillos hexagonales, mediante fuertes enlaces covalentes, y el cuarto se emplea para unirse débilmente (fuerzas intermoleculares) con otro carbono de una lámina vecina. Las débiles uniones entre láminas, de tipo Van der Waals debidas a electrones *deslocalizados*, explican sus propiedades: es blando, fácilmente exfoliable (las láminas se pueden separar) y conduce la corriente eléctrica. Se utiliza para hacer la mina de los lápices, lubricantes, ladrillos, crisoles, electrodos, discos microsurcos, como moderador de neutrones en las centrales nucleares, para obtener grafeno, etc.

En los **fullerenos**, cada átomo de carbono está unido a otros tres, como en el grafito, pero a diferencia de este, los tres enlaces no son rectos sino que se curvan hacia el mismo lado, originando cierta tensión entre ellos, que se compensa por la elevada simetría de la molécula. El cuarto enlace está deslocalizado por toda la estructura. Alguna de sus propiedades son la elevada resistencia, forman agregados de dimensiones variables, se pueden introducir átomos de diferentes elementos en el hueco de la estructura, no son solubles en agua pero sí en benceno, tolueno y cloroformo, etc. Sus aplicaciones son diversas, por ejemplo, en nanomedicina son usados como antivirales, por su capacidad para incorporarse a los virus y desactivarlos; en la administración de fármacos a nivel celular son útiles por su capacidad para ligarse a proteínas y otras moléculas; en electrónica, para fabricación de células fotovoltaicas, fotodetectores de rayos X, células solares; también como catalizadores químicos, etc.

El **grafeno** está formado por una lámina bidimensional, de grosor monoatómico, compuesta de átomos de carbono que forman anillos hexagonales en donde tres de los cuatro electrones de valencia que tiene el carbono establecen otros tantos enlaces covalentes simples, y el cuarto, alojado en un orbital de tipo *p* (perpendicular al plano de la lámina), origina un débil enlace intermolecular deslocalizado por toda la lámina. Las **propiedades** del grafeno son la extraordinaria dureza, siendo uno de los materiales más duros (superior al diamante), fineza, ligereza, elasticidad, flexibilidad, resistencia y con la mayor conductividad que existe (es semiconductor). El grafeno apenas se recalienta al paso de la electricidad, produce el efecto fotoeléctrico, es impermeable al agua, es capaz de autorepararse, reacciona con diversas sustancias produciendo compuestos con propiedades muy interesantes, etc. Entre sus **aplicaciones** destacamos su uso en:

- Electrónica: en los circuitos integrados (sensor y transistor), permitiendo la construcción de procesadores mucho más rápidos que los actuales, formando parte de los cables de fibra óptica, integrado en la tecnología OLED (Diodo Orgánico de Emisión de Luz), en la fabricación de pantallas táctiles flexibles, audífonos y micrófonos ultrasensibles, en cámaras fotográficas mucho más sensibles que las actuales que utilizan tecnologías CMOS o CCD, en la creación de baterías de larga duración y carga ultrarrápida, etc.

- **Industria del blindaje:** la gran dureza de este material, junto a su ligereza y capacidad de moldearse, lo hace idóneo para ser empleado en esta industria.
- **Combustible:** como aditivo para mejorar el rendimiento y menor consumo de los motores.
- **Tratamiento de aguas:** desalinización del agua de mar, con la fabricación de filtros más eficientes que las actuales membranas usadas en el proceso de ósmosis inversa.
- **En medicina y biomedicina:** para mejorar los tratamientos contra el cáncer, fabricación de implantes neuronales, oculares, musculares y óseos, etc.

Los **nanotubos de carbono** son estructuras cilíndricas, de bases abiertas o cerradas (en este caso con medias esferas de fullerenos), constituidas por átomos de carbono unidos entre sí formando anillos hexagonales (a la manera del grafeno). Su diámetro es de unos pocos nanómetros (de ahí su nombre), mientras que su longitud puede llegar a varios miles de nanómetros. Las **propiedades** son similares a las del grafeno con la particularidad de que dependiendo del tipo de cierre del tubo resultan ser aislantes, semiconductores, conductores o superconductores. Se disuelven mal en disolventes orgánicos, para aumentar esa solubilidad se incorpora a la estructura determinados grupos funcionales. Alguna de sus **aplicaciones** son: la fabricación de transistores y memorias electrónicas; como refuerzo estructural de los materiales actuales (plásticos y metales); en celdas de combustible, células solares, fabricación de baterías de iones de litio para ordenadores portátiles y teléfonos móviles, en biomedicina, etc.

6. **Explica por qué es importante la química del carbono en nuestras vidas, así como la necesidad de tomar actitudes y medidas para disminuir el impacto medioambiental de algunos compuestos orgánicos, indicando cuáles de esas medidas puedes adoptar tú mismo en tu vida diaria.**

Las moléculas orgánicas forman parte de la vida, siendo números los compuestos del carbono que forman parte de los procesos biológicos, participando en múltiples reacciones que sostienen a la propia vida.

Por otra parte, el tiempo ha ido demostrando que muchos de los compuestos orgánicos de síntesis (no de tipo biológico) poseen propiedades que dañan el medio ambiente y, a tra-

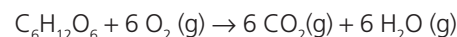
vés de este o bien directamente por su ingesta o inhalación, también dañan a la salud de las personas. De ahí que sea preciso fijar unas normas de utilización de dichos productos o incluso prohibir su uso. Entre las medidas que cada uno de nosotros puede adoptar para disminuir el impacto de estos compuestos sobre el medioambiente se encuentran las siguientes: evitar el consumo innecesario, tanto de productos como de energía, con lo que disminuirá la generación de residuos; reutilizar las materias primas y los envases, depositando cada residuo en el lugar correspondiente (contenedores, punto limpio, etc.); no abusar del plástico, papel de aluminio, materiales de usar y tirar como servilletas, platos, vasos de papel o plástico, etc.; prescindir de limpiadores que contengan sustancias no biodegradables o de alta agresividad ambiental, rechazando aquellos que se transforman en residuos peligrosos al final de su uso, como los PVC y CFC; evitar el uso de aerosoles; no verter al desagüe los reactivos y disoluciones resultantes de las prácticas de laboratorio, pues deterioran la red de saneamiento y pueden resultar muy contaminantes; entre otras.

7. **Define reacción de condensación y de combustión y explica la importancia que tienen estas reacciones en los procesos biológicos.**

Una reacción se dice de **condensación** cuando varias moléculas orgánicas se unen para formar otra mayor con pérdida de algunas moléculas pequeñas, normalmente H_2O . En biología, estas reacciones son muy importantes ya que gracias a ellas se forman las proteínas (condensación de varios aminoácidos), los ácidos nucleicos (condensación de varios nucleótidos), los polisacáridos (condensación de monosacáridos), etc., todos ellos compuestos esenciales para la vida.

Se entiende por reacción de **combustión** todo proceso por el que una sustancia (usualmente formada por átomos de carbono e hidrógeno) llamada **combustible** reacciona con el oxígeno o sustancia que contenga oxígeno, llamada **comburente**, produciendo energía.

En biología, la **respiración celular** puede ser vista como un proceso de combustión de un carbohidrato, por ejemplo glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), que es la energía desprendida que utiliza el ser vivo para mantener sus funciones vitales:



RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Aplicar el concepto de momento lineal como característica del estado de movimiento de un cuerpo.	A: 1, 2 ER: 5, 6 AT: 9	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Interpretar y resolver situaciones cotidianas utilizando las leyes del movimiento.	A: 3-13 ER: 1, 2, 3, 4 AT: 1-5	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1. Representar todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, obteniendo la resultante, y extrayendo consecuencias sobre su estado de movimiento.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.2. Identificar correctamente los pares acción-reacción en situaciones cotidianas.		Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Aplicar las leyes de Newton para resolver las distintas magnitudes cinemáticas.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Explicar el movimiento de dos cuerpos en casos prácticos como colisiones y sistemas de propulsión mediante el principio de conservación del movimiento lineal.	A: 14-16 ER: 5, 6 AT: 6-18	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.2. Resolver problemas de conservación del momento lineal en una y dos dimensiones.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1. Establece la relación entre impulso mecánico y momento lineal aplicando la segunda ley de Newton.	A: 17-20 AT: 19-22	Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Explica por qué existen tantos compuestos de carbono.

La causa de que existan tantos compuestos de carbono radica en la situación de este átomo en el sistema periódico y, por tanto, en su configuración electrónica. Su tetravalencia permite la formación de cuatro enlaces covalentes (entre sencillos, dobles y triples) energéticamente muy fuertes, lo cual, a su vez, permite la unión entre sí de muchos otros átomos de carbono, con lo que se consiguen moléculas muy estables. La vida ha elegido el carbono para cimentar su estructura.

2. Define:

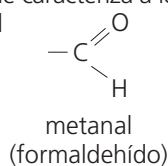
a) Grupo funcional.

b) Aldehído.

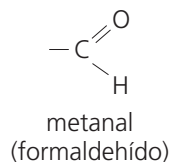
c) Amina.

d) Isomería.

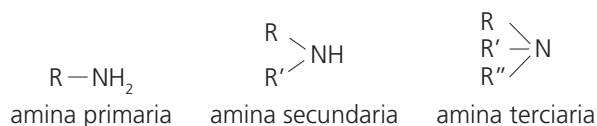
a) El grupo funcional es el átomo o grupo de átomos que confieren propiedades peculiares a una serie homóloga y, por tanto, es su característica principal. Así, el grupo funcional que caracteriza a los alcoholes es el -OH, y a los aldehídos, el



b) Los aldehídos son compuestos orgánicos oxigenados que se caracterizan por tener como grupo funcional el grupo carbonilo:

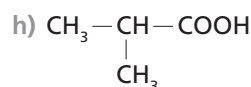
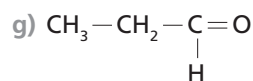
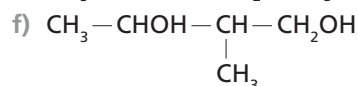
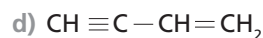
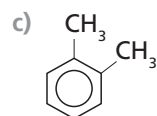
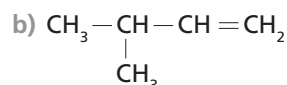
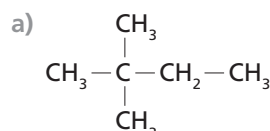


c) Las aminas se pueden considerar derivados del amoníaco (NH_3), que se obtienen al sustituir uno, dos o sus tres hidrógenos por radicales. Cuando es un hidrógeno el que es reemplazado por un radical, se forman aminas primarias; secundarias, si son dos, y terciarias, al sustituir los tres hidrógenos:



d) Se conoce como isomería la propiedad que tienen ciertos compuestos de poseer la misma fórmula molecular, pero distinta fórmula estructural, presentando, por tanto, propiedades físicas y químicas diferentes. A estos compuestos se los llama isómeros.

3. Nombra los siguientes compuestos:



a) 2,2-dimetilbutano.

b) 3-metil-1-buteno (*3-metilbut-1-eno*).

c) o-dimetilbenceno.

d) 1-buten-3-ino (*but-1-en-3-ino*).

e) 2-butanol (*butan-2-ol*).

f) 2-metil-1,3-butanodiol (*2-metilbutan-1,3-diol*).

g) Propanal.

h) Ácido metilpropanoico.

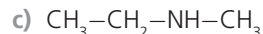
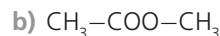
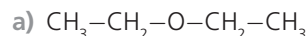
4. Formula los siguientes compuestos:

a) Dietiléter.

b) Acetato de metilo (etanoato de metilo).

c) Etilmetilamina.

d) N-etilpropanoamida.



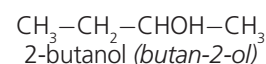
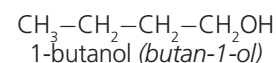
5. Escribe la fórmula e indica el tipo de isomería que presenta cada una de las siguientes parejas de compuestos:

a) 1-butanol (butan-1-ol) y 2-butanol (butan-2-ol).

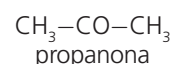
b) Propanona y propanal.

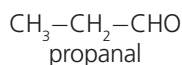
c) n-pentano y 2-metilbutano.

a) Presentan isomería plana de posición:

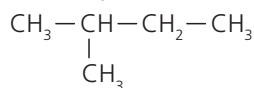
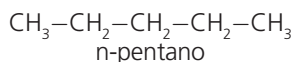


b) Presentan isomería plana de función:





c) Presentan isomería plana de cadena:



metibutano

6. Contesta las siguientes preguntas:

a) ¿Qué es el petróleo? ¿Y el gas natural?

b) Explica en qué consiste el refinado y el cracking del petróleo.

a) El **petróleo** procede de la descomposición anaerobia (en ausencia de aire) del microplancton acumulado durante millones de años en el fondo de lagos y otras cuencas sedimentarias. Las bacterias anaerobias actúan sobre las grasas de los microorganismos y las convierten en ácidos grasos, que por ciclación, condensación, escisión y deshidratación, dan lugar a los hidrocarburos del petróleo. El proceso es muy lento, como confirma el hecho de que no se encuentra petróleo en sedimentos recientes.

El **gas natural** es una mezcla de hidrocarburos gaseosos con predominio (90-95%) de metano (CH_4), algo de etano (2-6%) y trazas de propano, N_2 , CO_2 , H_2S , etc. Se utiliza como combustible.

b) El refinado se basa en someter el petróleo a una destilación fraccionada consistente en calentar el crudo hasta unos 400°C y vaporizarlo. El petróleo vaporizado va pasando por sucesivas torres de condensación, en cada una de las cuales se deposita el componente de mayor punto de ebullición existente en la fracción que circula por la torre.

El cracking es una fase posterior al refinado que consiste en romper las cadenas de los compuestos de más de doce átomos de carbono (calentando a 500°C y 12 atm) en cadenas más cortas (productos más útiles). A continuación se destila para recuperar las distintas fracciones.

7. Indica el nombre de las cinco formas alotrópicas del carbono y describe la composición, propiedades y aplicaciones del grafeno.

Las cinco formas alotrópicas del carbono son: el diamante, el grafito, los fullerenos, el grafeno y los nanotubos de carbono.

El grafeno está formado por una lámina bidimensional de átomos de carbono que forman anillos hexagonales, donde tres de los cuatro electrones de valencia que tiene el carbono establecen otros tantos enlaces covalentes simples y el cuarto, alojado en un orbital de tipo p (perpendicular al plano de la lámina), origina un débil enlace intermolecular deslocalizado por toda la lámina.

El grafeno es un material muy duro, fino, ligero, elástico, flexible, resistente y con elevada conductividad (es semiconductor); produce el efecto fotoeléctrico, es impermeable al agua y capaz de autorepararse (si se rompe su estructura, nuevos átomos de carbono suplen a los ausentes); reacciona con diversas sustancias produciendo compuestos con propiedades muy interesantes.

El grafeno se emplea, entre otras aplicaciones, para formar parte de los circuitos integrados (sensor y transistor) permitiendo la construcción de procesadores mucho más rápidos que los actuales; como parte de los cables de fibra óptica; en la fabricación de pantallas táctiles flexibles, audífonos y micrófonos ultrasensibles, cámaras fotográficas muy sensibles que utilizan tecnologías CMOS o CCD; también forma parte de las baterías de larga duración y carga ultrarrápida. Además de las aplicaciones en el campo de la electrónica, sus usos se extienden a la industria del blindaje, en los combustibles (como aditivo para mejorar el rendimiento y consumo de los motores), en el tratamiento de aguas (desalinización del agua de mar, permitiendo la fabricación de filtros más eficientes que las actuales membranas usadas en la ósmosis inversa), en medicina y biomedicina (para mejorar el tratamiento contra el cáncer, en la fabricación de implantes neuronales, oculares, musculares y óseos), etc.

8. Explica la influencia de los compuestos orgánicos en nuestra vida.

Los alumnos han de mencionar su importancia en los procesos biológicos, su utilidad en la vida diaria (medicinas, plásticos, detergentes...) y la repercusión que tienen sobre el medio ambiente.

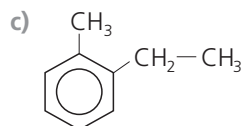
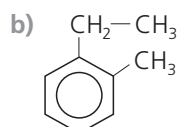
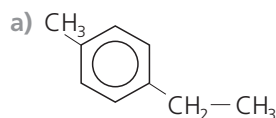
PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta de cada uno de los ejercicios:

1. El nombre correcto de $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-\text{CH}=\underset{\text{CH}_3}{\text{C}}-\text{CH}_3$ es:

- 2,5-dimetilhexadieno.
- 2,5-dimetil-2,3-hexadieno (2,5-dimetilhexa-2,3-dieno).
- 2,5-dimetil-3,4-hexadieno (2,5-dimetilhexa-3,4-dieno).

2. La fórmula del p-etilmetilbenceno es:



Es la a).

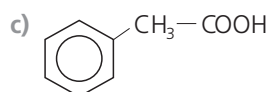
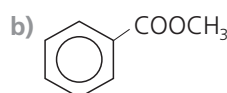
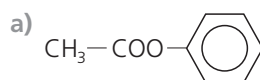
3. Como sabes, el término *alcohol* engloba a una serie de compuestos caracterizados por tener el grupo $-\text{OH}$. Sin embargo, cuando pides alcohol en la farmacia o en la droguería te dan:

- Alcohol etílico.
- Alcohol metílico.
- Fenol.

4. El nombre de  es:

- Acetofenona.
- Benzoato de fenilo.
- Difenilcetona.

5. La fórmula del acetato de fenilo es:



Es la b).

6. Los jabones son:

- Ésteres naturales.
- Salas de ácidos grasos.
- Ácidos carboxílicos.

7. Los compuestos $\text{CH}_3-\text{CHOH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ y $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CHOH}-\text{CH}_3$ son:

- Isómeros de cadena.
- El mismo compuesto.
- Isómeros de función.

8. El gas natural es:

- Una mezcla de hidrocarburos gaseosos, líquidos y sólidos.
- Una sustancia pura.
- Una mezcla de hidrocarburos gaseosos con predominio de metano.

9. El grafeno está formado por anillos:

- Pentagonales donde cada carbón, en su unión con otros carbonos, utiliza tres enlaces covalentes ligeramente curvados hacia el mismo lado, estando el cuarto enlace deslocalizado por toda la estructura.
- Hexagonales donde cada carbón utiliza tres enlaces covalentes rectos, estando el cuarto deslocalizado por toda la estructura.
- Hexagonales donde cada carbón utiliza tres enlaces covalentes ligeramente curvados, estando el cuarto deslocalizado por toda la estructura.

10. La química del carbono participa en nuestras vidas:

- Posibilitando la fabricación de fertilizantes.
- Facilitando la mayoría de los procesos biológicos.
- Favoreciendo el medio ambiente.

9



DESCRIPCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS: CINEMÁTICA

Para iniciar la parte de física, al igual que en ediciones anteriores, se ha creído conveniente mantener una unidad específica dedicada al conocimiento en cierta profundidad de las magnitudes cinemáticas que posteriormente, se usarán en las descripciones de otros movimientos.

Para ello, consideramos un requisito necesario e ineludible haber trabajado previamente la unidad de *Herramientas matemáticas de la física*, haciendo especial énfasis en el cálculo vectorial y en el cálculo diferencial.

En la presente unidad se hace un uso riguroso de la notación vectorial en la definición de las tres magnitudes cinemáticas: posición, velocidad y aceleración. En general, los alumnos que acceden a este nivel arrastran ciertos vicios derivados de un uso indulgente del carácter vectorial de dichas magnitudes en cursos anteriores, de modo que difícilmente conciben que un cuerpo pueda haberse movido y no haberse desplazado o que la velocidad media de un cuerpo en movimiento haya podido ser cero en un intervalo de tiempo. Tampoco conciben que un cuerpo cuya velocidad, en módulo, permanezca constante pueda estar acelerado. Así pues, encontraremos al principio de este nivel una gran renuencia por parte del alumnado a emplear correctamente el carácter vectorial de las magnitudes cinemáticas. Es importante pues, desmontar esos vicios citados y conseguir que tengan clara la distinción entre la «magnitud vectorial» y su «valor o módulo». En aras a simplificar las expresiones, de modo que no parezcan demasiado engorrosas, en el presente texto se ha optado por usar el símbolo de la magnitud sin flecha vectorial cuando nos referimos al valor o módulo y usar el símbolo con flecha cuando hablamos del vector en notación vectorial cartesiana. Debemos intentar que el alumnado sea igualmente riguroso en ese sentido y emplear la simbología adecuada al respecto, según esté determinando la magnitud vectorial en toda su extensión o tan solo su módulo.

Otra de las características de esta unidad, y del resto de unidades de física, es el empleo del concepto de derivada a la hora de tratar con magnitudes instantáneas. Para ello se ha reforzado notablemente este concepto, tanto en sus propiedades como en ejercicios resueltos, en la unidad de *Herramientas matemáticas de la física*.

Debemos tener presente que, como ya sucedía en currículos anteriores, la cinemática no figura en la programación de física de

2º de Bachillerato, de modo que necesariamente debemos garantizar una adecuada formación en la destreza del uso del cálculo diferencial en este nivel, pues será una herramienta que se considerará asumida por parte del alumnado cuando éste acceda a asignaturas de física en titulaciones universitarias.

Objetivos

1. Comprender el concepto de posición en un plano y en el espacio como magnitud vectorial y extraer toda la información a partir de la notación vectorial de la posición.
2. Distinguir entre magnitudes medias e instantáneas.
3. Obtener magnitudes instantáneas por el procedimiento de incrementos muy pequeños.
4. Aplicar el cálculo diferencial a la obtención de magnitudes instantáneas.
5. Utilizar correctamente la notación vectorial en las magnitudes cinemáticas.
6. Reconocer las componentes intrínsecas de la aceleración.

Relación de la unidad con las competencias clave

La competencia lingüística está presente en la correcta interpretación del texto y los enunciados de los problemas y cuestiones propuestos, así como en la exposición oral y escrita de las propuestas de *Investiga*. La competencia matemática y en ciencia y tecnología está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La competencia digital se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *investiga* y de la sección de *Física, tecnología y sociedad*. La competencia de aprender a aprender es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado en caso de baja.

Temporalización

Se aconseja dedicar ocho sesiones lectivas al estudio de la unidad.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
El problema del movimiento	1. Asociar el movimiento de los cuerpos a la elección del sistema de referencia.	1.1. Analiza el movimiento de un cuerpo en función del sistema de referencia elegido.	A: 1	CMCCT
La posición de los cuerpos ■ La ecuación de posición de un cuerpo en movimiento ■ Desplazamiento, trayectoria y espacio recorrido	2. Describir correctamente la posición de un cuerpo a partir del vector de posición en función de sus componentes y viceversa. 3. Calcular el desplazamiento y diferenciarlo del espacio recorrido.	2.1. Describe el movimiento de un cuerpo a partir de su vector de posición en función del tiempo.	A: 2-10 ER: 1 AT: 1-3, 21, 22, 23	CMCCT
La velocidad de los cuerpos ■ Velocidad media y velocidad instantánea ■ La velocidad instantánea como derivada de la posición ■ Características vectoriales de la velocidad instantánea	4. Calcular velocidades medias e instantáneas a partir de las ecuaciones vectoriales de posición en función del tiempo. 5. Relacionar gráficamente la posición con la velocidad en función del tiempo.	4.1. Obtiene las ecuaciones de la velocidad a partir de las de posición en función del tiempo.	A: 11-19 ER: 1-4 AT: 4-8, 17-24	CMCCT
La aceleración de los cuerpos ■ La aceleración instantánea ■ La aceleración instantánea como derivada de la velocidad ■ La aceleración tangencial y la aceleración centrípeta	6. Determinar la aceleración media e instantánea a partir de las ecuaciones de posición. 7. Resolver cuestiones que requieran la comprensión del concepto de aceleración en toda su extensión. 8. Calcular las componentes intrínsecas a partir de la ecuación de posición de un móvil en función del tiempo.	6.1. Describe el movimiento de un cuerpo a partir de su vector de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo. 7.1. Obtiene las ecuaciones de la aceleración a partir de las de posición y velocidad en función del tiempo.	A: 20-24 ER: 1,4 AT: 9-16, 19-24	CMCCT

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas; CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Video: El bólido de Cheliábinsk
Presentación

Enlace web: Movimiento y sistemas de referencia
Simuladores: 1. Paralajes estelares; 2. Sistemas de referencia

Enlace web: El vector de posición

Enlace web: Rapidez y velocidad
Video: Velocidad media y velocidad instantánea
Animación: La velocidad de los cuerpos

Enlace web: La aceleración instantánea
Simulador: Tipos de movimiento
Animación: La aceleración de los cuerpos

Unidad 9: Descripción de los movimientos: cinemática

1. El problema del movimiento

2. La posición de los cuerpos

- 2.1. La ecuación de posición de un cuerpo en movimiento
- 2.2. Desplazamiento, trayectoria y espacio recorrido

3. La velocidad de los cuerpos

- 3.1. Velocidad media y velocidad instantánea
- 3.2. La velocidad instantánea como derivada de la posición
- 3.3. Características vectoriales de la velocidad instantánea

4. La aceleración de los cuerpos

- 4.1. La aceleración instantánea
- 4.2. La aceleración instantánea como derivada de la velocidad
- 4.3. La aceleración tangencial y la aceleración centrípeta

Documento: Biografía de Galileo Galilei
Presentación: Desplazamiento paraláctico

Presentación

Documento: Magnitudes cinemáticas en un lanzamiento horizontal
Presentación: Posición de los cuerpos: coordenadas

Documento: Aproximación a la determinación de la velocidad de un cometa a partir de sus posiciones en el cielo
Presentación: Movimiento rectilíneo uniforme

Documento: Caída libre: gráficas
Actividades de ampliación: La aceleración y los límites humanos
Presentación: 1. Ecuaciones del movimiento rectilíneo con aceleración constante; 2. La caída libre

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

TIPLER, P. A.

Física. Editorial Reverté (3ª edición), Barcelona: 1995. Clásico de referencia obligada.

HOLTON, G.

Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. Editorial Reverte, Barcelona: 1989. Manual obligado para conocer la aparición y evolución de los conceptos desde el punto de vista histórico.

EISBERG, R. M. y LERNER, L. S.

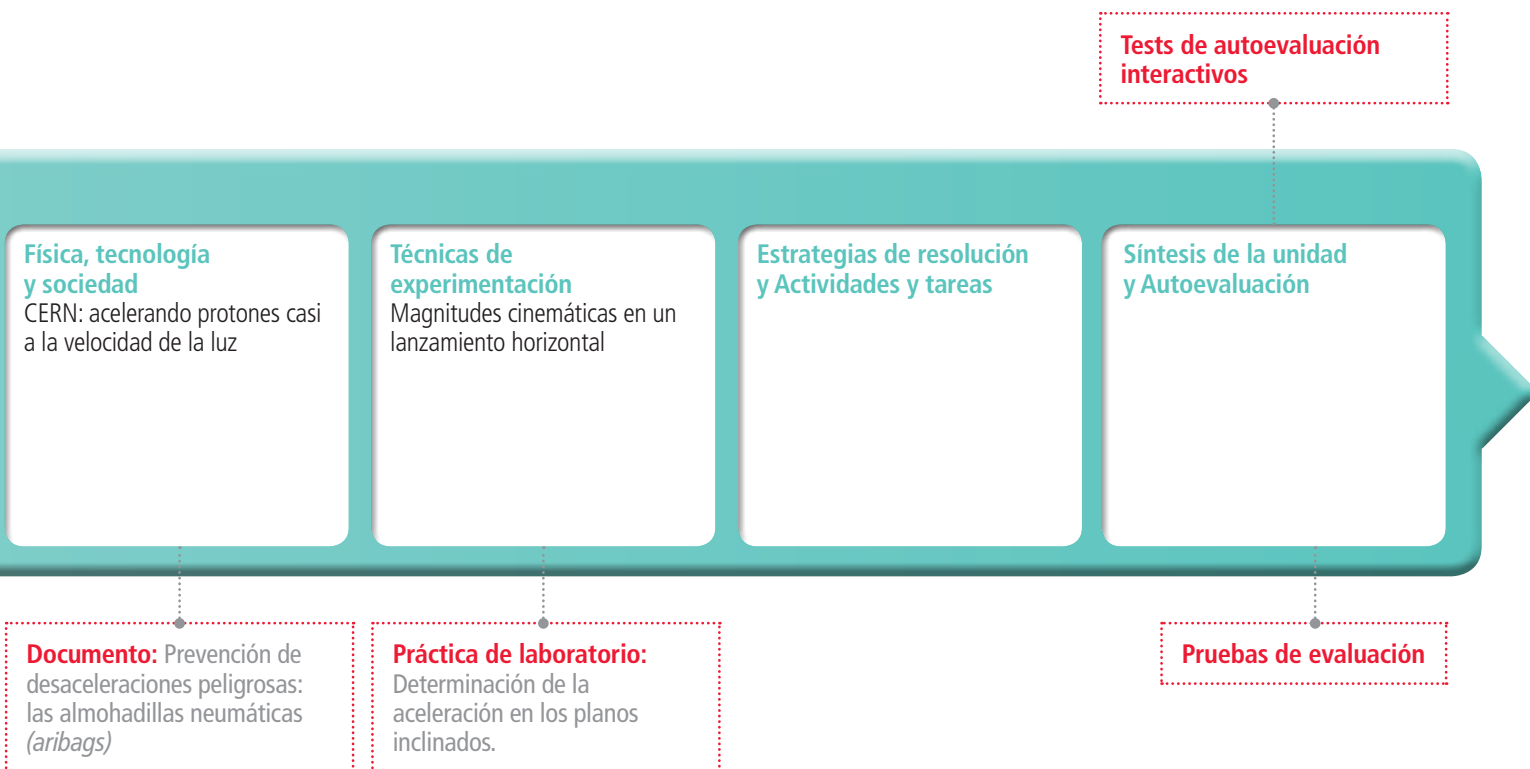
Física: fundamentos y aplicaciones. McGraw Hill, Madrid: 1983. Se trata de un libro escrito con gran claridad y rigurosidad en los tratamientos. Lugar donde acudir a resolver esas dudas que de vez en cuando nos asaltan.

KANE, J.W. y STERNHEIM, M.M.

Física. Editorial Reverté, Barcelona: 1989. Multitud de ejemplos relacionados con las ciencias de la vida y de la salud.

ALONSO, M. y FINN, E. J.

Física. Addison-Wesley Longman: México, 2000. Clásico de referencia en cualquier tema de física.



WEBGRAFÍA

ed@d

<http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/>

Página del proyecto ed@d (Enseñanza Digital a Distancia) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para mejorar el aprendizaje autónomo en un entorno tecnológico avanzado.

Fisquiweb

<http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/>

Espacio web dedicado a la enseñanza de la Física y la Química del portal de Educastur.

Física con ordenador

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/>

Sitio web del profesor Ángel Franco García que incluye un nutrido conjunto de simulaciones de sistemas físicos, prácticas de laboratorio, experiencias de gran relevancia histórica, problemas interactivos, problemas-juego... Interesante el apartado de Cinemática.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

DESCRIPCIÓN DE LOS MOVIMIENTOS: CINEMÁTICA

¿Por qué estudiar cinemática? ¿Qué interés puede tener conocer con precisión la posición de un cuerpo en movimiento, así como sus otras magnitudes cinemáticas? Esa es una buena pregunta con la que iniciar el tema, indagando en las respuestas de los alumnos. Para acompañar ese pequeño debate introductorio, nada más apropiado que hacerlo con la lectura del texto introductorio y el video referido a la explosión del bólido de Cheliábinsk.

Vídeo: EL BÓLIDO DE CHELIÁBINSK

Información y filmación del bólido y su posterior onda de choque el 15 de febrero de 2013.

La conclusión que debe sacarse es que el estudio y conocimiento de los movimientos de los cuerpos no es un mero capricho intelectual, sino tan solo el inicio de un estudio más profundo que nos permita, por ejemplo, conocer y predecir las trayectorias de cometas o asteroides potencialmente peligrosos para la Tierra.

1. El problema del movimiento (página 217)

Este epígrafe sirve para reflexionar acerca de la necesidad de establecer claramente un sistema de referencia con respecto al cual poder determinar si un cuerpo está en movimiento o no, así como para discutir los propios movimientos dependiendo de cuál sea el sistema elegido.

El ejemplo más elocuente que puede servir para ilustrar esa dificultad es el de la propia determinación de los movimientos de la Tierra: ¿rota la Tierra o se mueven los demás astros en torno a nosotros? Esa fue la cuestión que le llevó siglos a la humanidad poder responder con pruebas irrefutables. Una de esas pruebas irrefutables del movimiento de traslación de la Tierra es la paralaje estelar, que puede entenderse de un modo muy claro a través del siguiente simulador.

Simulador: PARALAJES ESTELARES

Simulación interactiva que permite comprender la dificultad de medir paralajes estelares.

Enlace web: MOVIMIENTO Y SISTEMAS DE REFERENCIA

Enlace interesante sobre sistemas de referencia y movimiento.

Simulador: SISTEMAS DE REFERENCIA

Otro enlace interesante sobre sistemas de referencia y movimiento con simuladores.

Documento: BIOGRAFÍA DE GALILEO GALILEI

Imprimible donde se detallan datos biográficos de Galileo Galilei.

2. La posición de los cuerpos (página 218)

En este epígrafe se ha pretendido introducir en el texto el rigor de la notación vectorial que se debe haber trabajado convenientemente en la unidad de Herramientas matemáticas.

Si los alumnos han realizado la actividad 1 acerca de la localización del CERN en el plano, se habrán dado cuenta de que necesitan dos coordenadas para definir su posición. De ese modo, les resultará más fácil entender la existencia de dos componentes vectoriales.

Asimismo, al hablar de coordenadas cartesianas y polares (o esféricas en el espacio), debe mencionarse que las coordenadas terrestres (latitud y longitud) son un ejemplo de coordenadas esféricas (la tercera coordenada, que no se menciona, sería el radio terrestre), así como las coordenadas astronómicas *ascensión recta* y *declinación*.

Enlace web: EL VECTOR DE POSICIÓN

Tutorial sobre el vector de posición con ejercicios propuestos (y resueltos) con distinto nivel de dificultad.

2.1. La ecuación de posición de un cuerpo en movimiento

Debe recalcar a los alumnos algo que puede parecer obvio, pero que a ellos les entraña cierta dificultad; aquella coordenada en la que aparece el factor tiempo t es la coordenada que varía y, en consecuencia, el movimiento transcurre justamente en esa dirección. Si solo afecta a una componente, el movimiento es en una dirección. Si afecta a dos, el movimiento es en un plano.

2.2. Desplazamiento, trayectoria y espacio recorrido

Debe trabajarse especialmente la diferencia entre desplazamiento y espacio recorrido. Tanto el ejercicio resuelto 2 como la actividad 10 de desarrollo son de gran utilidad para este cometido.

3. La velocidad de los cuerpos (página 222)

En este epígrafe se ha tratado de relacionar íntimamente la notación matemática con el lenguaje empleado, a fin de ilustrar al alumnado acerca de la sencillez y elegancia del lenguaje matemático y su concreción en una expresión simple y compacta.

Así, se ha empezado aclarando lo que se entiende por *rapidez* y su traducción al lenguaje matemático, de modo que puedan definir matemáticamente las magnitudes enunciadas en la actividad 11 sin necesidad de haberlas visto previamente.

3.1. Velocidad media y velocidad instantánea

En lo referente al concepto de velocidad media, es muy conveniente deshacer el error que suelen cometer numerosos alumnos y alumnas de confundir *velocidad media* y *velocidad promedio* (en el sentido de hallar la media aritmética simple de dos velocidades). Resulta muy conveniente realizar en este apartado la "Estrategia de resolución nº2" para aclarar esa diferencia.

Al trabajar el cálculo de la velocidad instantánea por el método de incrementos muy pequeños, como se hace en este apartado, se pretende aproximar al alumnado al cálculo diferencial, pero también se le hace ver lo engorroso que podría ser hacerlo de esta manera, en contraposición a lo sencillo que resulta resolverlo por derivadas, como se propone en el siguiente apartado.

Video: VELOCIDAD MEDIA Y VELOCIDAD INSTANTÁNEA

Divertido vídeo en inglés acerca de la diferencia entre velocidad media e instantánea, sin entrar en desarrollos matemáticos complejos.

3.2. La velocidad instantánea como derivada de la posición

La presente obra no elude el rigor matemático, pero tampoco lo expone sin una clara explicación previa. Por ello es absolutamente necesario que el alumnado haya trabajado y se haya familiarizado con el concepto de derivada y su cálculo en diferentes casos, en la unidad de Herramientas matemáticas. A tal fin, en la presente edición se ha ampliado notablemente el apartado dedicado al cálculo diferencial, con numerosos ejemplos y ejercicios. Haberlo hecho nos facilitará enormemente la tarea en adelante.

A la hora de resolver las actividades referidas a este apartado, debemos incidir en la diferencia entre las preposiciones *en* y *a*, de modo que sepan distinguir claramente entre “velocidad en los dos primeros segundos” y “velocidad a los dos segundos”. Es decir, que sepan distinguir cuándo se les pide “velocidad media en un intervalo de tiempo” y cuándo “velocidad en un instante”.

Enlace web: RAPIDEZ Y VELOCIDAD

En este enlace hay un apartado de “gráfica $v-t$ ” muy interesante para trabajar el concepto de velocidad media e instantánea mediante un bonito simulador.

3.3. Características vectoriales de la velocidad instantánea

Es muy probable que cuando se imparta esta unidad, no hayan trabajado en matemáticas la interpretación gráfica de la derivada como la pendiente de la tangente a la función en un punto.

A partir de la figura 9.19 queda claro que el vector velocidad instantánea, como tal, tiene la dirección de la tangente a la trayectoria en cada punto, aspecto muy importante a la hora de comprender el concepto de aceleración centrípeta.

4. La aceleración de los cuerpos (página 226)

Es muy importante recalcar en este epígrafe que existe aceleración siempre que cambie algún atributo del vector velocidad. Cuando el alumnado accede a este nivel, suelen asociar exclusivamente aceleración a aumento de velocidad (o, en el mejor de los casos, también a disminución de velocidad), como se habrá podido comprobar seguramente en la actividad 2 de la sección de *Comprueba lo que sabes*. Por ello, es fundamental deshacer a lo largo de este apartado esa idea mal preconcebida.

4.1. La aceleración instantánea como derivada de la velocidad

Al acabar este epígrafe, el alumnado debe ser capaz de resolver la aceleración a partir de la ecuación de posición.

Enlace web: LA ACELERACIÓN INSTANTÁNEA

Enlace sobre la aceleración media e instantánea.

4.2. La aceleración tangencial y centrípeta

En la presente obra, al igual que se hizo en las ediciones anteriores, se sigue considerando que éste es el momento más adecuado para introducir las llamadas componentes intrínsecas de la aceleración, dando así una visión completa de conjunto.

Es habitual encontrar textos que introducen la aceleración centrípeta cuando se aborda el estudio de los movimientos circulares. Sin embargo, debemos dejar bien claro que la aceleración centrípeta aparece en cualquier movimiento curvilíneo.

En la presente edición, en consonancia con la ampliación del tratamiento del concepto de derivada en la unidad de Herramientas Matemáticas, se proponen problemas ligeramente más complejos de cálculo de aceleraciones centrípetas, derivando el módulo de la velocidad. Ello supone haber adquirido una mínima destreza en el desarrollo de derivadas de raíces cuadradas en la unidad de Herramientas Matemáticas. En cualquier caso, el profesor deberá considerar hasta qué nivel de desarrollo desea llegar.

Simulador: TIPOS DE MOVIMIENTOS

Sitio web que incluye un laboratorio virtual de cinemática.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 216/229)

Comprueba lo que sabes

1. ¿Puede un cuerpo haber recorrido 500 m y no haberse desplazado?

Se pretende comprobar si los alumnos conocen la diferencia entre desplazamiento y espacio recorrido. La respuesta es que sí podría ser cero el desplazamiento, pese a haber recorrido un espacio, siempre que la posición final coincida con la inicial.

2. Discute la veracidad o falsedad del siguiente enunciado: siempre que un cuerpo está sometido a aceleración su velocidad aumenta.

En este caso se trata de verificar que el alumnado accede a este nivel con la idea, demasiado arraigada, de que solo existe aceleración cuando cambia el valor de la velocidad. Suelen asociar «acelerar» con «pisar el acelerador» y, por tanto, aumentar la velocidad. Es uno de esos conceptos que debemos trabajar en este nivel con especial ahínco para que, al final, saquen la conclusión correcta; hay aceleración siempre que se modifique cualquiera de los atributos del vector velocidad.

En consonancia con la anterior cuestión, la respuesta mayoritaria de nuestros alumnos suelen decir que el enunciado es falso. Pese a que la aceleración centrípeta se haya estudiado en 4º de la ESO, no acaban de comprender del todo su significado; es decir, no entienden el hecho de que un cuerpo esté sometido a aceleración sin que varíe el valor de su velocidad.

3. Si un objeto se desplaza siempre a 10 m/s, ¿podría estar acelerado?

Esta cuestión nos sirve justamente para introducir el primer apartado del tema; la percepción del movimiento según el sistema de referencia elegido. Esa percepción no solo se refiere al hecho de que un cuerpo pueda estar en reposo para un observador y en movimiento rectilíneo uniforme para otro, sino también a la propia descripción de la trayectoria de dicho movimiento.

En este caso, la respuesta es afirmativa; para un primer observador un cuerpo puede tener, por ejemplo, un movimiento rectilíneo uniforme; mientras que si un segundo observador se encuentra en un sistema de referencia que se desplaza respecto del primero con la misma velocidad y en la misma dirección que el objeto, a la vez que rota alrededor de un eje perpendicular al de la dirección del movimiento, describirá el movimiento del objeto como circular.

Actividades

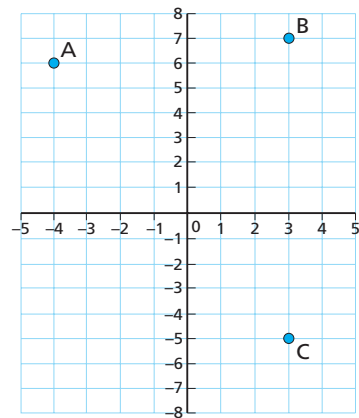
1. A partir del mapa de la figura 9.3, determina con la mayor exactitud posible la posición del Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN).



¿Qué tipo de coordenadas has usado? ¿Dónde estaría situado el origen del sistema de referencia utilizado?

La actividad va encaminada a entender que la posición de un punto en un plano requiere de dos coordenadas, en este caso la latitud y la longitud, y de un sistema de referencia, donde el punto (0,0) sería el punto de corte del meridiano de Greenwich (longitud 0) con el ecuador terrestre (latitud 0). Las coordenadas del CERN en este sistema de referencia son 46,23° N en latitud y 6,05° E en longitud.

2. Haciendo uso de la notación vectorial expresa los vectores de posición correspondientes a los puntos A, B y C de la figura 9.7.



- a) ¿A qué distancia del origen se encuentra cada punto?
b) Determina las coordenadas polares de cada uno de los puntos.

Los vectores de posición de cada punto (x, y) con respecto a un origen (x_o, y_o) se obtienen siempre de la siguiente manera:

$$\vec{r} = (x - x_o)\vec{i} + (y - y_o)\vec{j}$$

de modo que:

$$\vec{OA} = -4\vec{i} + 6\vec{j}$$

$$\vec{OB} = 3\vec{i} + 7\vec{j}$$

$$\vec{OC} = 3\vec{i} - 5\vec{j}$$

- a) La distancia al origen es el módulo de cada uno de los vectores:

$$d_A = \sqrt{(-4)^2 + 6^2} = 7,2$$

$$d_B = \sqrt{3^2 + 7^2} = 7,6$$

$$d_C = \sqrt{6^2 + (-5)^2} = 7,8$$

Expresadas en las unidades de distancia correspondientes.

- b) Las coordenadas polares son:

■ punto A: $r_A = 7,2$; $\theta_A = 123,7^\circ$

■ punto B: $r_B = 7,6$; $\theta_B = 66,8^\circ$

■ punto C: $r_C = 7,8$; $\theta_C = -39,8^\circ$

En los tres casos el ángulo se resuelve mediante la tangente como: $\text{tg } \theta = y/x$

- 3 El vector de posición de un cuerpo con respecto a un punto de referencia es:

$$\vec{r} = 3\vec{i} + 5\vec{j} \text{ m/s}^2$$

Determina sus coordenadas polares.

Las coordenadas polares buscadas son r y θ , donde r es el módulo del vector de posición.

Así pues:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = 5,83$$

Por otra parte, si elegimos como coordenada θ el ángulo que forma el vector de posición con el eje X, entonces:

$$\text{tg } \theta = \frac{y}{x} = \frac{5}{3}$$

Este valor de la tangente corresponde a un ángulo de 59° . Por tanto, las coordenadas polares que corresponden al vector de posición dado son:

$$r = 5,83; \theta = 59^\circ$$

- 4 Las coordenadas polares de posición de un cuerpo con respecto a un punto de referencia son $r = 10 \text{ m}$ y $\theta = 30^\circ$. Determina el vector de posición del cuerpo con respecto a dicho punto.

Al ofrecerse dos coordenadas polares, se desprende que estamos hablando de la posición en un plano. Suele ser costumbre que, salvo indicación contraria, el ángulo θ sea el que forma el vector con el eje X.

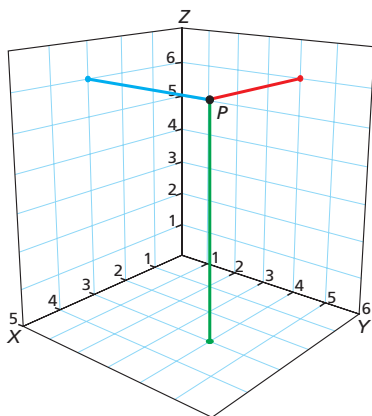
Por tanto:

$$x = r \cos \theta = 10 \cos 30^\circ = 8,66$$

$$y = r \sin \theta = 10 \sin 30^\circ = 5$$

- 5 Observa la figura 9.9 y calcula:

- El vector de posición del punto P de la figura del margen.
- Sus coordenadas esféricas r , α y β (considera α y β los ángulos definidos en la figura 9.8).



- a) Como puede comprobarse en la figura, las coordenadas del punto P son (3, 4, 6). Dado que el origen está situado en O (0,0,0), entonces:

$$r = \sqrt{3^2 + 4^2 + 6^2} = 7,81$$

- b) Considerando los ángulos definidos en la figura 9.8, las coordenadas esféricas son:

$$\text{sen } \alpha = \frac{z}{r} \Rightarrow \alpha = 50,2^\circ$$

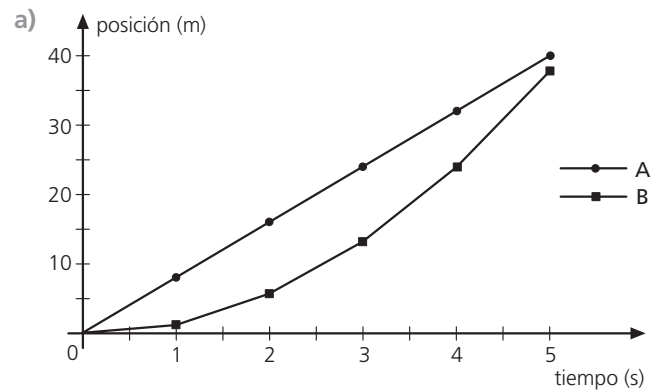
$$\text{tg } \beta = \frac{y}{x} \Rightarrow \beta = 53,13^\circ$$

En consecuencia, el vector de posición que corresponde a las coordenadas polares ofrecidas es:

$$\vec{r} = 8,66\vec{i} + 5\vec{j}$$

- 6 Dos cuerpos, A y B, se mueven en la dirección del eje X según las ecuaciones $x_A = 8t$ y $x_B = 1,5t^2$.

- Representa en una misma gráfica las posiciones de A y de B desde $t = 0 \text{ s}$ hasta $t = 5 \text{ s}$.
- ¿Quién llega antes a los 100 m?
- ¿Al cabo de cuánto tiempo se encuentran los dos en la misma posición?
- ¿Quién alcanza antes los 300 m?
- ¿Qué diferencias encuentras entre el movimiento de A y el de B?



- b) ¿Quién llega antes a los 100 m?
Calculando los tiempos que ambos tardan en recorrer los 100 m, se obtiene:

$$t_A = \frac{100}{8} = 12,5 \text{ s}$$

$$t_B = \sqrt{\frac{100}{1,5}} = 8,16 \text{ s}$$

Por tanto, el cuerpo B alcanza antes los 100 m.

- Igualando las posiciones de ambos, y despejando el tiempo, se obtiene $t = 5,3 \text{ s}$.
- Operando del mismo modo que en el apartado b) se aprecia que el cuerpo B alcanza antes los 300 m.
- Como se aprecia por la gráfica comparada y por las ecuaciones, el movimiento de A transcurre con velocidad constante ($\vec{v} = d\vec{r}/dt$) de $8\vec{i}$, mientras que el B tiene una velocidad variable igual a $3t\vec{j} \text{ m/s}$ y una aceleración constante de $3\vec{i} \text{ m/s}^2$.

- 7 ¿Podría ser mayor el desplazamiento que el espacio recorrido?

Dado que el valor del desplazamiento equivale a la distancia medida en línea recta entre la posición inicial y la final, el espacio recorrido será siempre mayor o, como mínimo, igual al desplazamiento. Coincidirán ambos valores cuando se trate de un movimiento rectilíneo. En los demás casos, el espacio recorrido siempre será mayor que el desplazamiento.

- 8 ¿Pueden ser equivalentes el espacio recorrido y el desplazamiento? ¿En qué caso?

Dado que el valor del desplazamiento equivale a la distancia medida en línea recta entre la posición inicial y la final, el espacio recorrido será siempre mayor o, como mínimo, igual al desplazamiento. Coincidirán ambos valores cuando se trate de un movimiento rectilíneo. En los demás casos, el espacio recorrido siempre será mayor que el desplazamiento.

- 9 ¿Crees que un cuerpo puede haber recorrido un espacio si el desplazamiento es cero?

Efectivamente, si la posición inicial y final coinciden, como sería el caso de un movimiento cíclico (circular, oscilatorio, etc.) o de ida y vuelta, entonces el desplazamiento neto sería cero; sin embargo, sí ha habido movimiento y, por tanto, se ha recorrido un espacio.

- 10 Un péndulo de 1 m de longitud se separa 20° de su posición de equilibrio y se deja oscilar. Calcula:

- El desplazamiento y el espacio recorrido de un extremo al otro.
 - El desplazamiento y el espacio recorrido en una oscilación completa.
- a) Considerando que el péndulo en su movimiento describe un arco de circunferencia de 40° y dado que πr es el arco correspondiente a 180° , entonces el espacio recorrido de un extremo al otro es:

$$s = \frac{20 \cdot \pi r}{180} = 0,698 \text{ m}$$

Mientras que el desplazamiento entre los dos extremos es:

$$d = 2x = 2L \sin 20 = 0,684 \text{ m}$$

- b) Obviamente en una oscilación completa el desplazamiento es cero, mientras que el espacio recorrido es el doble del caso anterior, es decir 1,396 m.

- 11 Teniendo en cuenta lo explicado en el texto, lee las definiciones y expresa matemáticamente las cuatro magnitudes.

- Aceleración: es la rapidez con que cambia la velocidad.
- Fuerza: es la rapidez con que cambia el momento lineal (\vec{p}) de un cuerpo.
- Potencia (P): es la rapidez con que se realiza un trabajo (W).
- Velocidad de una reacción química: es la rapidez con que cambia la concentración de un reactivo (c).

La expresión matemática de las magnitudes pedidas sería:

- Aceleración: $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$
- Fuerza: $\vec{F} = \Delta\vec{p}/\Delta t$
- Potencia: $P = \Delta W/\Delta t$
- Velocidad de reacción: $v_r = \Delta c/\Delta t$

- 12 Un cuerpo se desplaza en una recta según la siguiente ecuación: $\vec{r} = 5t\vec{i} + 2t\vec{j}$

¿Cuál es su velocidad en los cinco primeros segundos?

Aplicando la definición general de velocidad, la velocidad (media) en los cinco primeros segundos será:

$$\vec{v} = \frac{\vec{r}(5) - \vec{r}(0)}{5 - 0}$$

Dada la ecuación de posición:

$$\vec{r}(5) = 5 \cdot 5\vec{i} + 2 \cdot 5\vec{j} = 25\vec{i} + 10\vec{j} \text{ m}$$

$$\vec{r}(0) = 5 \cdot 0\vec{i} + 2 \cdot 0\vec{j} = 0\vec{i} + 0\vec{j} \text{ m}$$

Entonces: $\vec{v} = 5\vec{i} + 2\vec{j} \text{ m/s}$

- 13 ¿Qué clase de movimiento realiza un cuerpo que se desplaza con velocidad constante? ¿Cómo sería la representación gráfica de la velocidad frente al tiempo?

Dado que la velocidad es un vector, su constancia supone que es constante en módulo, dirección y sentido. Al ser constante en dirección, el movimiento es rectilíneo, y al ser constante en módulo, es uniforme. Así pues, el movimiento es rectilíneo y uniforme.

Si representamos gráficamente la velocidad frente al tiempo, obtendremos una recta horizontal.

- 14 Un cuerpo se mueve según esta ecuación de posición:

$$\vec{r} = 5\vec{i} + (3t^2 - 1)\vec{j} \text{ m}$$

- ¿Qué desplazamiento ha realizado en los diez primeros segundos? ¿En qué dirección se mueve?
 - Calcula su velocidad en dicho intervalo de tiempo.
- a) El desplazamiento en los diez primeros segundos es:

$$\begin{aligned} \vec{r}(10) - \vec{r}(0) &= \\ &= [5\vec{i} + (3 \cdot 10^2 - 1)\vec{j}] - [5\vec{i} + (3 \cdot 0^2 - 1)\vec{j}] = 300\vec{j} \end{aligned}$$

Es decir, se ha desplazado 300 metros en el sentido positivo del eje Y.

- b) Su velocidad en los diez primeros segundos será:

$$\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{300\vec{j} \text{ m}}{10 \text{ s}} = 30\vec{j} \text{ m/s}$$

Es decir, se desplaza 30 m cada segundo en la dirección Y positiva.

- 15 Repite el procedimiento del ejemplo anterior eligiendo como intervalo de tiempo $\Delta t = 0,000001 \text{ s}$. ¿A qué valor exacto crees que tiende la serie?

El valor así obtenido es la velocidad instantánea.

En este caso:

$$\begin{aligned} x_f &= x(t + \Delta t) = 3(2,000001)^2 - 4(2,000001) = \\ &= 4,000008 \text{ m} \end{aligned}$$

$$x_0 = 3 \cdot 2^2 - 4 \cdot 2 = 4 \text{ m}$$

$$v = \frac{x_f - x_0}{\Delta t} = \frac{4,000008 - 4}{0,000001} = 8 \text{ m/s}$$

Al elegir intervalos de tiempo más pequeños, se obtiene el valor exacto de la velocidad instantánea.

- 16 Un cuerpo se mueve en una dirección determinada según la ecuación de posición:

$$\vec{r} = (4t^3 - t)\vec{i} + 3t^2\vec{j} \text{ m}$$

Calcula:

- a) Su velocidad media en los diez primeros segundos.

b) Su velocidad instantánea en $t = 5$ s y en $t = 10$ s.

a) Su velocidad media la podemos calcular según:

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{r}(10) - \vec{r}(0)}{10} = \frac{(4 \cdot 10^3 - 10)\vec{i} + 3 \cdot 10^2 \vec{j} - (4 \cdot 0^3 - 0)\vec{i} + 3 \cdot 0^2 \vec{j}}{10} = 399\vec{i} + 30\vec{j} \text{ m/s}$$

Y su módulo:

$$|\vec{v}_m| = \sqrt{399^2 + 30^2} = 400 \text{ m/s}$$

b) Su velocidad en los diez primeros segundos será:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{300\vec{j} \text{ m}}{10 \text{ s}} = 300\vec{j} \text{ m/s}$$

Es decir, se desplaza 30 m cada segundo en la dirección Y positiva.

17 Un cuerpo se mueve a lo largo del eje X según la siguiente ecuación $x = 5 \cos(\pi t + \pi/2)$ cm. Determina:

- a) Su posición inicial y entre qué posiciones se mueve.
- b) La expresión de su velocidad en función del tiempo.
- c) Calcula los valores de la posición y la velocidad para los instantes $t = 0$ s, $t = 0,5$ s, $t = 1$ s, $t = 1,5$ s y $t = 2$ s.
- d) A la vista de los resultados obtenidos en el apartado anterior, describe las características de este tipo de movimiento.

a) La posición inicial en $t = 0$ es $5 \cos \pi/2 = 0$ cm.

Dado que los valores del coseno oscilan entre +1 y -1, el cuerpo se mueve entre las posiciones +5 y -5 cm.

b) La velocidad se obtiene derivando la ecuación de posición respecto del tiempo, de modo que:

$$v = \frac{dx}{dt} = -5\pi \operatorname{sen}\left(\pi t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm/s}$$

c) Representando los resultados en forma de tabla:

Tiempo (s)	0	0,5	1	1,5	2
Posición (cm)	0	-5	0	+5	0
Velocidad (cm/s)	-5π	0	+5π	0	-5π

Este ejercicio sirve para introducir al alumnado a los movimientos periódicos que repiten posiciones y velocidades en intervalos regulares de tiempo. Es el caso de los movimientos oscilatorios que se estudiarán en la unidad 15.

18 ¿Existe algún movimiento en el que la velocidad media y la instantánea sean iguales en todo momento? En caso afirmativo, di cuál.

En el movimiento rectilíneo y uniforme, la velocidad media y la instantánea son iguales en todo momento.

19 Un cuerpo se mueve según la ecuación:

$$\vec{r} = (2t^2 + 5t)\vec{i} + t^3\vec{j} - 5t\vec{k} \text{ m}$$

Determina la ecuación de su velocidad instantánea en función del tiempo. Después, expresa dicha velocidad en $t = 2$ s y halla su valor en dicho instante.

Como la velocidad instantánea es la derivada del vector de posición:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = (4t + 5)\vec{i} + 3t^2\vec{j} - 5\vec{k} \text{ m/s}$$

Para obtener la expresión para $t = 2$ s, no hay más que sustituir:

$$\vec{v}_2 = 13\vec{i} + 12\vec{j} - 5\vec{k}$$

El módulo será:

$$|\vec{v}_2| = \sqrt{169 + 144 - 25} = 18,38 \text{ m/s}$$

20 A partir de la figura 9.20, y haciendo uso de las marcas de posición y la regla de referencia (graduada en cm), determina las velocidades medias entre cada par de marcas consecutivas si los intervalos de tiempo son de 1/30 s. Traza una gráfica velocidad-tiempo con los datos obtenidos. ¿Cuánto vale la aceleración media correspondiente a dicho movimiento?

El alumnado debe observar que la velocidad aumenta de manera uniforme a lo largo de los instantes de tiempo, es decir, la velocidad media es constante en cada intervalo temporal.

Al representar los valores deberá obtener una recta con pendiente positiva, cuyo valor se corresponderá con el de la aceleración de caída de la bola de billar, aceleración en este caso constante e igual a la aceleración de la gravedad, g.

21 Determina según el procedimiento empleado en el apartado 3.1. de esta unidad, la aceleración instantánea en $t = 3$ s de un móvil cuya velocidad varía según la expresión:

$$v = 2t^2 + t \text{ m/s}$$

a) ¿Se diferencia ese valor de la aceleración media durante los tres primeros segundos? ¿Por qué?

b) ¿Qué dependencia del tiempo debería mostrar la ecuación para que ambos valores fuesen iguales?

a) De acuerdo con el procedimiento descrito, tomaremos un intervalo de tiempo muy pequeño, por ejemplo, $\Delta t = 0,000001$ s, con lo que:

$$v_f = 2(t + \Delta t)^2 + (t + \Delta t) = 2 \cdot 3,000001^2 + 3,000001 = 21,000013 \text{ m/s}$$

Para la velocidad inicial, no tenemos más que sustituir en la ecuación el tiempo por su valor (t_3 s), luego:

$$v_i = 21 \text{ m/s}$$

Sustituyendo en la expresión para la aceleración:

$$a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{21,000013 - 21}{0,000001} = 13 \text{ m/s}^2$$

Pasemos ahora a calcular la aceleración media:

$$a = \frac{v_3 - v_0}{t} = \frac{21 - 0}{3} = 7 \text{ m/s}^2$$

En un movimiento con aceleración variable lo normal es que la aceleración media y la calculada para un instante determinado no coincidan.

b) Para que la aceleración media y la instantánea coincidan en todo momento, esta magnitud debería ser constante, lo que ocurriría si la expresión de la velocidad fuese una ecuación de primer grado (movimiento uniformemente acelerado).

22) La posición de un cuerpo viene determinada por la ecuación: $\vec{r} = -3t^2\vec{i} + 2t^3\vec{j} + 4t\vec{k}$ m

a) Determina las componentes de su aceleración. ¿Es esta constante?

b) Calcula el valor de la aceleración a los 2 s.

a) La aceleración se obtiene derivando dos veces la ecuación de posición, con lo que resulta: $\vec{a} = -6\vec{i} + 12t\vec{j}$ m/s²

Dado que depende del tiempo, no es constante.

b) A los 2 s, la aceleración es $\vec{a} = -6\vec{i} + 24\vec{j}$ m/s² y su valor es 24,7 m/s².

23) Un cuerpo se mueve en el plano XY según la ecuación de posición: $\vec{r} = 2t^2\vec{i} + 6t\vec{j}$ m

a) Determina la expresión de su aceleración instantánea en función del tiempo.

b) ¿En qué dirección se acelera?

c) ¿Varía su aceleración con el tiempo?

a) Para obtener la aceleración instantánea, hay que hacer la segunda derivada de la ecuación de posición: $\vec{a} = 4\vec{i}$ m/s²

b) El cuerpo se acelera en la dirección del eje X⁺.

c) No, su aceleración es constante con el tiempo.

24) Un cuerpo describe círculos de 10 m de radio con una velocidad cuyo valor varía con el tiempo según $v = 2t^2$ m/s. Determina:

a) Su aceleración tangencial en función del tiempo y su valor a los 3 s.

b) Su aceleración centrípeta en función del tiempo y su valor a los 3 s.

c) El módulo de la aceleración total en función del tiempo y su valor en los tiempos $t = 1$ s y $t = 3$ s.

Derivando dos veces la ecuación de posición obtenemos la aceleración, de modo que:

$$\vec{a} = 4\vec{i} \text{ m/s}^2$$

La aceleración es constante, puesto que no depende del tiempo y se acelera en la dirección del eje X⁺.

a) Puesto que la aceleración tangencial se obtiene derivando el módulo de la velocidad respecto del tiempo, entonces:

$$a_t = 4t \text{ m/s}^2$$

De modo que a los 3 s su aceleración tangencial vale 12 m/s².

b) La aceleración centrípeta en función del tiempo se obtiene a partir de:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{4t^4}{10} = 0,4t^4 \text{ m/s}^2$$

siendo su valor a los 3 s de 32,4 m/s².

c) La aceleración total es:

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{a_t^2 + a_c^2} = \sqrt{0,16t^8 + 16t^2} = \\ &= 4t \sqrt{0,01t^6 + 1} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Sustituyendo los tiempos citados se obtienen los valores de 4,02 m/s² para $t = 1$ s y de 34,5 m/s² para $t = 3$ s.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 230)

Lectura: CERN: ACELERANDO PROTONES CASI A LA VELOCIDAD DE LA LUZ

Texto sobre los aceleradores de partículas.

Análisis

- 1 Describe cómo funciona un acelerador lineal mediante cavidades de radiofrecuencia y por qué deben producir polaridad variable.

Los aceleradores lineales que funcionan mediante cavidades de radiofrecuencia consisten esencialmente en un tubo de vacío construido en línea recta por el que circulan las partículas. En el interior del tubo existen cavidades cilíndricas a las que se conecta el voltaje alterno de radiofrecuencia (generalmente de microondas). El potencial aplicado produce una aceleración de los protones, de modo que la velocidad en la cavidad n ésima viene dado por:

$$v_n = \sqrt{\frac{2 n e V}{m}}$$

siendo e y m la carga y masa del protón respectivamente, V el potencial aplicado y n el número de cavidad correspondiente. Dado que la velocidad aumenta, la longitud de las cavidades debe hacerlo de manera similar, según la expresión:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_n}{f}$$

siendo f la frecuencia aplicada. Este es, esencialmente, el principio de un LINAC.

- 2 ¿Por qué una mayor energía de colisión es sinónimo de posibles nuevas partículas? Busca información acerca de una famosa ecuación de Einstein de equivalencia entre masa y energía que te ayudará a responder a la pregunta.

Se trata de que los alumnos indaguen acerca de la relación masa energía plasmada en la expresión $E = \Delta mc^2$.

- 3 ¿En cuántos puntos se hacen colisionar los haces de protones?

Se hacen colisionar en cuatro puntos, donde están situados los 4 detectores CMS, ATLAS, ALICE y LHCb.

Propuesta de investigación

- 4 Busca información sobre qué es exactamente el bosón de Higgs y por qué es tan importante para la física de partículas. ¿Por qué razón la masa del bosón de Higgs, y la de las partículas elementales en general, se expresan en unidades de energía?

El bosón de Higgs es necesario para dar consistencia al modelo estándar de la Física de partículas. Sin su confirmación, el modelo sería inconsistente. Es esencial para explicar la masa de los leptones. La medida de las partículas elementales en unidades de masa se debe a que en la realidad la masa no es otra cosa que una forma condensada de la energía, a tenor de la identidad $E = mc^2$.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 231)

Práctica de laboratorio: MAGNITUDES CINEMÁTICAS EN UN LANZAMIENTO HORIZONTAL

El objetivo de esta práctica es determinar las magnitudes cinemáticas (posición, velocidad y aceleración) del movimiento parabólico correspondiente al lanzamiento horizontal.

Cuestiones

- 1 ¿Qué aceleración presenta este movimiento en vertical?

Se trata de que los alumnos comprueben que solo existe aceleración en el movimiento de caída, mientras que el avance horizontal transcurre de modo uniforme con velocidad cons-

tante. El valor que se obtiene para la aceleración es, aproximadamente, de 10 m/s^2 . La precisión de los datos es mayor en la parte inferior de la fotografía.

- 2 ¿Cómo avanza la bola horizontalmente?

Avanza con movimiento rectilíneo uniforme.

- 3 Elabora un informe de la práctica.

RESPUESTA LIBRE.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 234/235)

La posición de los cuerpos

1 Una balsa se encuentra a la deriva y, debido al movimiento de las aguas, se desplaza, cada segundo, 0,5 m hacia el este (eje X) y 0,25 m hacia el norte (eje Y).

a) ¿Cómo expresarías su posición en función del tiempo respecto al punto donde se encontraba al principio?

b) ¿Cuál es su posición al cabo de 10 min? ¿Y la distancia que se ha desplazado en esos 10 min?

a) La ecuación de posición del cuerpo en función del tiempo es:

$$\vec{r} = 0,5 t \vec{i} + 0,25 t \vec{j} \text{ m}$$

b) Al cabo de 10 min = 600 s, su posición será:

$$\vec{r} = 300 \vec{i} + 150 t \vec{j} \text{ m}$$

Siendo la distancia respecto del punto inicial el módulo de dicho vector:

$$d = \sqrt{300^2 + 150^2} = 335,4 \text{ m}$$

2 Un cuerpo se mueve en el plano XY de modo que sus coordenadas varían con el tiempo, según la ecuación: $x = 6t + 2$ m e $y = 2t - 1$ m. Deduce la ecuación de su trayectoria (expresa y en función de x) y demuestra que se trata de una recta.

Resolviendo la ecuación paramétrica de la recta:

$$x = 6t + 2$$

$$y = 2t - 1 \rightarrow 3y = 6t - 3$$

Despejando $6t$ e igualando las dos ecuaciones, se obtiene:

$$y = \frac{1}{3}x - \frac{5}{3}$$

ecuación que corresponde a una recta.

3 Un cuerpo describe un cuarto de circunferencia de radio 5 m desde A hacia B, como se aprecia en la figura, partiendo del punto A en el instante $t = 0$. Determina, considerando el origen en el centro:

a) El vector desplazamiento correspondiente al movimiento.

b) El módulo de dicho desplazamiento.

c) El espacio recorrido, ¿coincide con la respuesta del apartado b)? ¿Por qué?

d) Realiza las tareas de los tres apartados anteriores considerando el movimiento desde A hasta C.

a) La posición en A es $\vec{r}_A = 5\vec{i}$ m, mientras que en B es $\vec{r}_B = -5\vec{j}$ m, por lo que:

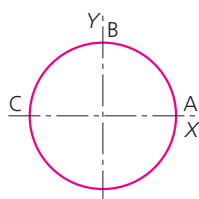
$$\Delta\vec{r} = -5\vec{i} + 5\vec{j} \text{ m}$$

b) Calculando su módulo se obtiene:

$$\Delta r = \sqrt{(-5)^2 + 5^2} = 7,07 \text{ m}$$

c) El espacio recorrido es:

$$s = \frac{\pi r}{2} = 7,85 \text{ m}$$



Obviamente no coinciden, pues al no ser un desplazamiento diferencial, el arco de circunferencia (espacio recorrido) y la cuerda (desplazamiento) no coinciden.

d) La posición en C es $5\vec{i}$ m, por lo que el desplazamiento de A a C es $\Delta\vec{r} = -10\vec{i}$ m, siendo su módulo igual a 10 m. El espacio recorrido ahora es $s = \pi r = 15,7$ m.

La velocidad de los cuerpos

4 ¿Pueden ser iguales en todo momento la velocidad media y la instantánea en algún movimiento?

Sí, en el movimiento rectilíneo y uniforme.

5 ¿Podría un cuerpo tener celeridad (módulo de velocidad) constante y velocidad variable?

El objetivo de estas cuestiones es insistir en el carácter vectorial de la velocidad, por lo que en este caso es el que el módulo (celeridad) es constante, la variación de la velocidad significa que la dirección cambia. Esto ocurrirá en cualquier movimiento no rectilíneo que transcurra con celeridad constante. El ejemplo más simple es el movimiento circular uniforme.

6 ¿Crees que la velocidad media de un cuerpo en movimiento podría ser cero en cierto intervalo?

Sí, siempre que al cabo de ese intervalo de tiempo escogido el cuerpo estuviese exactamente en la misma posición que al inicio de ese intervalo.

7 Dos cuerpos se mueven en la dirección del eje X; siendo sus ecuaciones de posición: $x_1 = 2t^2 + 3t + 3$ m y $x_2 = 8t + 4$ m. Razona:

a) ¿Cuáles son sus posiciones iniciales?

b) ¿Se cruzan en algún momento? En caso afirmativo, ¿en qué punto?

c) ¿En qué instante tienen ambos la misma velocidad?

d) ¿Qué puede decirse del movimiento de cada uno?

a) Las posiciones iniciales son las que corresponden a $t = 0$, siendo:

$$x_{01} = 3 \text{ m}; x_{02} = 4 \text{ m}$$

b) En el punto en que se cruzan, sus posiciones son coincidentes. En consecuencia, igualando ambas posiciones:

$$2t^2 + 3t + 3 = 8t + 4 \rightarrow 2t^2 - 5t - 1 = 0$$

Resolviendo el tiempo de cruce, obtenemos:

$$t = 2,68 \text{ s}$$

Y por tanto se cruzan en $x = 25,4$ m

c) Sus respectivas velocidades son:

$$v_1 = 4t + 3 \text{ m/s}; v_2 = 8 \text{ m/s}$$

Igualando y resolviendo el tiempo, se obtiene:

$$t = 1,25 \text{ s}$$

d) Puesto que la velocidad del primero depende linealmente del tiempo, se trata de un movimiento rectilíneo con aceleración constante, mientras que el segundo es rectilíneo con velocidad constante.

- 8 Un vehículo se desplaza durante los 70 primeros minutos de su trayecto a una velocidad constante de 90 km/h, y en los 30 minutos restantes a 144 km/h. ¿Cuál ha sido su velocidad media durante todo el trayecto?

La distancia total recorrida es:

$$d = d_1 + d_2 = v_1 t_1 + v_2 t_2 = 90 \cdot \frac{7}{6} + 144 \cdot 0,5 = 177 \text{ km}$$

Y el tiempo invertido en recorrerla ha sido de . Por tanto, su velocidad media resulta ser: $v = 106,2 \text{ km/h}$

La aceleración de los cuerpos

- 9 Explica qué tipo de movimiento describiría un cuerpo en las siguientes situaciones:

- a) \vec{a}_t es constante y \vec{a}_c es cero.
 - b) \vec{a}_c es constante y \vec{a}_t es cero.
 - c) Ambas son 0.
- a) MRUA.
 - b) MCU.
 - c) MRU.

- 10 ¿Podría un cuerpo tener velocidad cero y, sin embargo, estar acelerado? Razona tu respuesta.

Efectivamente. Conviene hacer notar al alumnado que del enunciado no se desprende que el cuerpo esté permanentemente en reposo. El enunciado se cumple igualmente si el cuerpo tiene velocidad cero en un instante dado.

- 11 ¿Puede cambiar el sentido de la velocidad de un cuerpo si su aceleración es constante?

El sentido de la velocidad cambiará siempre que la aceleración constante sea contraria a la velocidad inicial.

- 12 ¿Puede un cuerpo aumentar su velocidad si su aceleración disminuye?

Sí. La aceleración significa rapidez con que cambia (en este caso, aumentando) la velocidad. Que la aceleración disminuya significa que disminuye la rapidez con que aumenta la velocidad, pero no significa que la velocidad deje de aumentar; sigue haciéndolo, pero con «menos rapidez». Evidentemente, para que esto ocurra, la velocidad y la aceleración tienen que actuar en el mismo sentido. Un ejemplo en el que sucede lo que se plantea lo proporciona el movimiento de un péndulo desde un extremo hasta el punto más bajo; la aceleración en el extremo es máxima, pero la velocidad es cero. A medida que desciende, la velocidad aumenta, pero la aceleración disminuye hasta hacerse cero en el punto más bajo. El mismo análisis es válido para la oscilación de un muelle.

- 13 ¿Qué tipo de movimiento describiría un objeto cuya aceleración fuese en todo momento perpendicular a la trayectoria y aumentase, además, de forma constante? ¿Y si la aceleración se mantuviese constante?

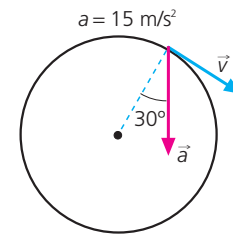
Hemos de insistir en estas cuestiones para que los alumnos y alumnas subrayen o anoten todos los aspectos que consideren relevantes y mediten sobre ellos. Aquí se nos indica que la aceleración es en todo momento perpendicular a la trayectoria. Es decir, la única aceleración que existe es centrípeta, por

tanto será nula la aceleración tangencial. De ello se deduce que el módulo de la velocidad es constante.

En consecuencia, si la aceleración (centrípeta) aumenta de forma constante y el módulo de la velocidad no cambia, de la expresión de la aceleración centrípeta $a_c = v^2/r$ se desprende que el radio debe disminuir de forma constante. Por tanto, describiría un movimiento en espiral hacia el centro, con un módulo de velocidad constante.

En el segundo caso, si la aceleración es constante, también lo será el radio, por lo que el movimiento será circular y uniforme.

- 14 La figura representa la aceleración total, en un instante determinado, de una partícula que describe circunferencias de 3 m de radio. Calcula, en ese instante la aceleración centrípeta y la aceleración tangencial.



- a) La aceleración centrípeta, según se desprende de la figura, valdrá: $a_c = a \cos 30^\circ = 12,99 \text{ m/s}^2$.
- b) Como $a_c = v^2/r$, entonces, dado que conocemos el valor de a_c y de r , obtenemos que:

$$v = 6,24 \text{ m/s}$$

- c) La aceleración tangencial será:

$$a_t = a \sin 30^\circ = 7,5 \text{ m/s}^2$$

- 15 Dado el vector velocidad:

$$\vec{v} = 3t \vec{i} + 4t \vec{j}$$

Calcula:

- a) La aceleración tangencial.
- b) La aceleración normal.
- c) El radio de curvatura.

- a) La aceleración tangencial, por definición, se obtiene derivando el módulo de la velocidad, que viene dado por:

$$v = \sqrt{(3t)^2 + (4t)^2} = \sqrt{25t^2} = 5t$$

Derivando el módulo de la velocidad, obtenemos la aceleración tangencial:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = 5 \text{ m/s}^2$$

- b) y c) Si calculamos el vector aceleración total (derivando v), obtenemos que:

$$\vec{a} = 3\vec{i} + 4\vec{j} \text{ m/s}^2$$

Es, por tanto, constante y su módulo resulta ser también de 5 m/s^2 . Es decir, la única aceleración existente es la aceleración tangencial; al no haber aceleración centrípeta tampoco hay radio de curvatura.

- 16 Un cuerpo se mueve describiendo círculos de radio r con valor de velocidad v. Al cabo de cierto tiempo, se observa que tanto el valor de la velocidad como el ra-

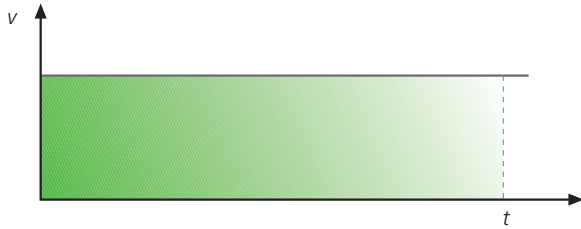
dio se han duplicado. Razona si son ciertas o falsas las siguientes afirmaciones:

- Su aceleración centrípeta no ha cambiado.
- Su aceleración centrípeta se ha duplicado.
- Su aceleración centrípeta se ha reducido a la mitad.

Al duplicarse el valor de la velocidad y el radio, la aceleración centrípeta se duplica con respecto a la original. Por tanto, la única propuesta cierta es la b).

Análisis gráficos de movimientos

- 17 ¿Qué indica el área sombreada de la figura? ¿Qué tipo de movimiento representa? ¿Cuánto valdría su aceleración?



Se trata de un rectángulo cuya área se obtendría multiplicando la altura (valor de velocidad) por la base (tiempo). Así, el área = vt representaría el espacio recorrido por el cuerpo.

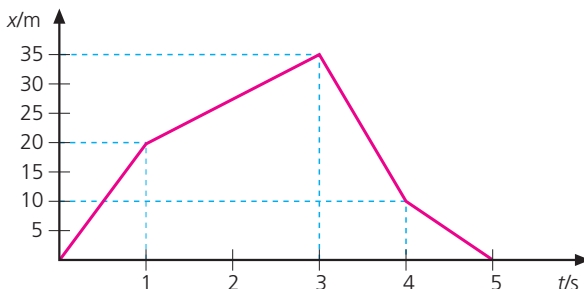
El movimiento representado en la gráfica sería un movimiento que transcurre con módulo de velocidad constante.

Dado que la gráfica representa el valor de la velocidad (módulo) frente al tiempo, no podemos asegurar que la aceleración sea cero. Para poderlo hacer, hubiese sido necesario que en el eje de ordenadas se representara el vector velocidad. Así pues, nada podemos afirmar acerca de la existencia o no de aceleración. Lo único que podríamos decir es que, si hubiese aceleración, sería centrípeta.

Esta cuestión debe servir para que los alumnos y alumnas reflexionen una vez más sobre la importancia de distinguir entre módulo y vector.

- 18 La gráfica de la figura muestra el desplazamiento en función del tiempo para un cuerpo que se mueve a lo largo del eje X. Halla las velocidades medias en los siguientes intervalos:

- Entre 0 s y 1 s.
- Entre 0 s y 4 s.
- Entre 1 s y 5 s.
- Entre 0 s y 5 s.



- a) Entre 0 y 1 s: $v_m = \frac{x_1 - x_0}{t} = \frac{20 - 0}{1} = 20 \text{ m/s}$

b) Entre 0 y 4 s: $v_m = \frac{10 - 0}{4} = 2,5 \text{ m/s}$

c) Entre 1 y 5 s: $v_m = \frac{0 - 20}{4} = -2,5 \text{ m/s}$

d) Entre 0 y 5 s: $v_m = 0 \text{ m/s}$

Análisis numéricos de movimientos

- 19 La ecuación de posición de un móvil viene dada por:

$$\vec{r} = 4t^2\vec{i} - 3\vec{j} + 5\vec{k} \text{ m}$$

Razona y calcula:

- ¿En qué dirección se mueve?
- ¿Cuánto se ha desplazado y cuál ha sido su velocidad media en los 10 primeros segundos?
- ¿Qué velocidad lleva a los 10 s?
- ¿Cuánto vale su aceleración? ¿Qué tipo de movimiento lleva?

a) La única componente variable del vector de posición es la componente X, por lo que esa es la dirección del movimiento.

b) $\Delta\vec{r} = \vec{r}(t = 10) - \vec{r}(t = 0) = 400\vec{i} \text{ m}$

c) $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = 8t\vec{i} \text{ m/s}$

d) La velocidad en cualquier instante es $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = 8t\vec{i} \text{ m/s}$ lo que en $t = 10 \text{ s}$, vale $80\vec{i} \text{ m/s}$.

La aceleración se obtiene derivando la velocidad, $8t\vec{i} \text{ m/s}$. Por tanto, su movimiento es rectilíneo (en la dirección X) y con aceleración constante.

- 20 En la tabla se muestra las coordenadas x, y, z (en metros) de una partícula en función del tiempo (en segundos):

t (s)	0	1	2	3	4	5
\vec{r} (m)						
x	2	2	2	2	2	2
y	0	2	4	6	8	10
z	0	1	4	9	16	25

- Determina su vector de posición en función del tiempo.
- ¿Cuál es el vector desplazamiento a los 5 s?
- ¿Cuántos metros ha recorrido en esos 5 s?
- Representa las gráficas $v - t$ y $a - t$ en el intervalo de tiempo que aparece en la tabla.
- Analizando la variación temporal de cada coordenada, obtenemos que:

$$\left. \begin{array}{l} x = 2 \text{ m} \\ y = 2t \text{ m} \\ z = t^2 \text{ m} \end{array} \right\} \vec{r} = 2\vec{i} + 2t\vec{j} + t^2\vec{k} \text{ m}$$

b) $\Delta\vec{r}$ (entre 0 y 5 s) = $\vec{r}(5) - \vec{r}(0) = (2\vec{i} + 10\vec{j} + 25\vec{k}) - 2\vec{i} = 10\vec{j} + 25\vec{k} \text{ m}$

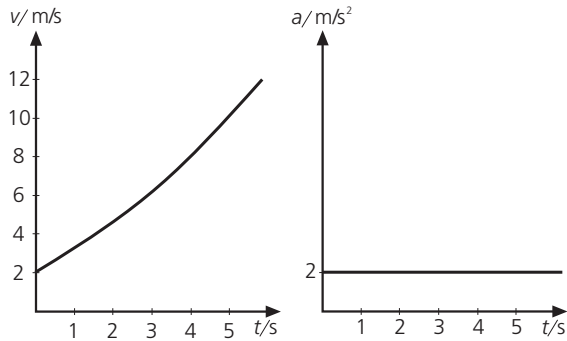
c) El valor del desplazamiento efectuado en ese tiempo es el módulo del vector calculado en el apartado anterior, esto es: 26,92 m

- d) Para representar las gráficas, calculamos los módulos de la velocidad en $t = 0, 1, 2, 3, 4$ y 5 s, a partir de la ecuación de velocidad, $\vec{v} = 2\vec{j} + 2t\vec{k}$ m, de donde resulta:

$$\begin{aligned} v(0) &= 2 \text{ m/s} & v(1) &= 2,8 \text{ m/s} & v(2) &= 4,5 \text{ m/s} \\ v(3) &= 6,3 \text{ m/s} & v(4) &= 8,2 \text{ m/s} & v(5) &= 10,2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Por otra parte, si calculamos la aceleración, obtenemos que $\vec{a} = 2\vec{k}$ m/s²; es, por tanto, constante.

Representando los valores obtenidos:



- 21 La ecuación de movimiento de cierto cuerpo en el plano XY viene dada por la ecuación:

$$\vec{r} = 4 \cos 3t \vec{i} + 4 \sin 3t \vec{j} \text{ m (t en segundos)}$$

- a) Demuestra que la trayectoria de dicha partícula es una circunferencia centrada en el origen (0, 0) de $r = 4$ m.
 b) Determina los vectores velocidad y aceleración.
 c) Demuestra que el vector aceleración siempre apunta hacia el centro y que el módulo de dicha aceleración cumple la igualdad $|a| = |v|^2/r$.
 a) Las componentes x e y de la ecuación de posición son:

$$\begin{aligned} x &= 4 \cos 3t \\ y &= 4 \sin 3t \end{aligned}$$

Elevando ambas componentes al cuadrado y sumándolas, se obtiene:

$$x^2 + y^2 = 4^2 (\cos^2 3t + \sin^2 3t)$$

de donde se obtiene:

$$x^2 + y^2 = 4^2$$

que es la ecuación de una circunferencia de radio 4 m centrada en el origen.

- b) La velocidad se obtiene derivando el vector de posición, obteniéndose:

$$\vec{v} = -12 \sin 3t \vec{i} + 12 \cos 3t \vec{j} \text{ m/s}$$

siendo la aceleración:

$$\vec{a} = -36 \cos 3t \vec{i} - 36 \sin 3t \vec{j} \text{ m/s}^2$$

- c) Como puede observarse, el vector \vec{a} equivale a $-9\vec{r}$, por lo que es opuesto a este, apuntando hacia el centro.
 d) El módulo de la aceleración es:

$$|\vec{a}| = \sqrt{(-36 \cos 3t)^2 + (-36 \sin 3t)^2} = 36 \text{ m/s}^2$$

Mientras que el módulo de la velocidad al cuadrado es:

$$|\vec{v}|^2 = (-12 \cos 3t)^2 + (-12 \sin 3t)^2 = 144 \text{ m/s}^2$$

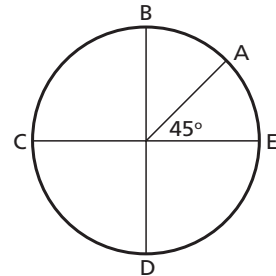
Se comprueba que: $\frac{|\vec{v}|^2}{r} = \frac{144}{4} = 36 \text{ m/s}^2$

- 22 La posición de un cuerpo en función del tiempo viene dada por la expresión

$$r = 10 \cos 2t \vec{i} + 10 \sin 2t \vec{j} \text{ (metros),}$$

donde el argumento del seno y del coseno se expresa en radianes y el tiempo en segundos.

- a) Demuestra que se trata de un movimiento circular y calcula su radio.



- b) Determina en qué instantes pasa por las posiciones A, B, C, D y E.
 c) Calcula el desplazamiento entre las posiciones A y C, vectorialmente y en módulo, así como el espacio recorrido entre dichas posiciones.
 d) Determina la expresión vectorial de la velocidad en función del tiempo y halla su módulo o valor. ¿Depende dicho valor del tiempo?
 e) Determina la expresión vectorial de la aceleración en función del tiempo y halla su módulo o valor. ¿Depende dicho valor del tiempo?

- a) La ecuación de una circunferencia es $x^2 + y^2 = r^2$. En nuestro caso:

$$x^2 + y^2 = 100 (\cos^2 2t + \sin^2 2t) = 100$$

de modo que el radio es de 10 m.

- b) Las posiciones A, B, C, D y E corresponden a ángulos de $\frac{\pi}{4}$, $\frac{\pi}{2}$, π , $\frac{3\pi}{2}$ y 2π radianes, respectivamente. Igualando el argumento $2t$ del seno o coseno a cada uno de esos valores, se obtienen los valores de tiempo correspondientes, resultando:

$$t_A = 0,39 \text{ s}; t_B = 0,78 \text{ s}; t_C = 1,57 \text{ s}; t_D = 2,35 \text{ s}; t_E = 3,14 \text{ s}$$

Obviamente, el último valor correspondiente a la posición E también podría ser 0, al ser E la posición inicial del movimiento.

- c) El vector desplazamiento entre A y C es el que resulta de restar $\vec{r}_C - \vec{r}_A$ siendo:

$$\begin{aligned} \Delta\vec{r} &= -10 \vec{i} - (5\sqrt{2} \vec{i} + 5\sqrt{2} \vec{j}) = \\ &= -17,07 \vec{i} - 7,07 \vec{j} \text{ m} \end{aligned}$$

siendo su módulo igual a:

$$d = 18,48 \text{ m}$$

Por su parte, el espacio recorrido desde A hasta C es el arco de circunferencia correspondiente a un ángulo de $3\pi/4$ rad, siendo, por tanto:

$$s = 23,56 \text{ m}$$

- d) La velocidad la obtenemos derivando la ecuación de posición, de modo que:

$$\vec{v} = -20 \sin 2t \vec{i} + 20 \cos 2t \vec{j} \text{ m/s}$$

siendo su módulo igual a:

$$v = \sqrt{(-20 \operatorname{sen} 2t)^2 + (20 \operatorname{cos} 2t)^2} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Como podemos comprobar, el valor de la velocidad no depende del tiempo.

- e) Derivando la velocidad, obtenemos la aceleración, de modo que:

$$\vec{a} = -40 \operatorname{cos} 2t \vec{i} - 40 \operatorname{sen} 2t \vec{j} \text{ m/s}^2$$

Resolviendo el módulo de modo similar al expuesto para la velocidad, obtenemos que:

$$a = 40 \text{ m/s}^2$$

Puede comprobarse que esta aceleración es centrípeta, pues el valor de la velocidad no cambia, y equivale a v^2/r .

- 23** Dos cuerpos se mueven en el eje X según las ecuaciones $x_1 = 10 \operatorname{sen} 3t \text{ m}$ y $x_2 = 10 \operatorname{cos} 3t \text{ m}$ respectivamente, razona:

- ¿Entre qué posiciones se mueven dichos cuerpos?
 - Deduce los dos primeros valores del tiempo en que se cruzan. ¿En qué posiciones se cruzan?
 - ¿Qué velocidad lleva cada uno en el primer instante en que se cruzan?
 - ¿Cuánto vale la aceleración que actúa sobre ellos cuando se cruzan por primera vez?
- a) Dado que los valores de seno y coseno oscilan entre -1 y $+1$, ambos cuerpos se mueven entre las posiciones -10 y $+10 \text{ m}$ respectivamente.
- b) Cuando se cruzan se cumple que $x_1 = x_2$, de modo que:

$$\operatorname{sen} 3t = \operatorname{cos} 3t$$

Los ángulos que cumplen la condición de que su seno es igual a su coseno, son $\pi/4$ y $5\pi/4$. Por tanto, los dos primeros valores de tiempo en que se cruzan satisfacen la igualdad:

$$3t_1 = \frac{\pi}{4} ; 3t_2 = \frac{5\pi}{4}$$

de modo que:

$$t_1 = 0,26 \text{ s} ; t_2 = 1,31 \text{ s}$$

Sustituyendo el argumento $3t$ por los valores de ángulos citados, podemos comprobar que se cruzan en las posiciones:

$$x_1 = 7,07 \text{ m} ; x_2 = -7,07 \text{ m}$$

- c) Las velocidades de cada uno vienen dadas por las derivadas de las ecuaciones de posición. Así pues:

$$v_1 = 30 \operatorname{cos} 3t \text{ m/s} ; v_2 = -30 \operatorname{sen} 3t \text{ m/s}$$

Sustituyendo $3t$ por los ángulos en que se cruzan, obtenemos que los valores de velocidad son:

$$v_1 = 21,2 \text{ m/s} ; v_2 = -21,2 \text{ m/s}$$

- d) La expresión de la aceleración de cada uno se obtiene derivando la ecuación de velocidad. En consecuencia:

$$a_1 = -90 \text{ m/s}^2 ; v_2 = -90 \operatorname{cos} 3t \text{ m/s}^2$$

Sustituyendo $3t$ por $\pi/4$, que es el primer ángulo de cruce, obtenemos que la aceleración para ambos es:

$$a = -63,6 \text{ m/s}^2$$

- 24** Un cuerpo se mueve en el plano XY según la ecuación:

$$\vec{r} = (2t + 5) \vec{i} - (3t^2 + 2t) \vec{j} \text{ m}$$

- Deduce las expresiones de sus vectores velocidad y aceleración en función del tiempo, así como las de sus respectivos módulos en función del tiempo.
- Determina la expresión para su aceleración tangencial en función del tiempo.
- Calcula los valores de la velocidad, la aceleración y la aceleración tangencial en $t = 1 \text{ s}$.
- Determina la aceleración centrípeta en $t = 1 \text{ s}$.
- Calcula el radio de curvatura en dicho instante.

- a) Derivando la ecuación de posición, obtenemos la velocidad:

$$\vec{v} = 2 \vec{i} - (6t + 2) \vec{j} \text{ m/s}$$

siendo su módulo:

$$v = \sqrt{36t^2 + 24t + 8} \text{ m/s}$$

Del mismo modo, derivando la expresión de la velocidad, obtenemos la aceleración:

$$\vec{a} = -6 \vec{j} \text{ m/s}^2$$

siendo su módulo igual a 6 m/s^2 .

- b) Derivando el módulo de la velocidad como la raíz de una función compuesta, se obtiene la aceleración tangencial:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{1}{2} (36t^2 + 24t + 8)^{-\frac{1}{2}} \cdot (72t + 24)$$

Que, una vez reorganizado y simplificado, queda:

$$a_t = \frac{18t + 6}{\sqrt{9t^2 + 6t + 2}} \text{ m/s}^2$$

- c) Sustituyendo $t = 1 \text{ s}$ en los valores de velocidad y aceleración tangencial (la aceleración total es constante e igual a 6 m/s^2), obtenemos:

$$v = 8,24 \text{ m/s} ; a_t = 5,82 \text{ m/s}^2$$

- d) La aceleración centrípeta es:

$$a_c = \sqrt{a^2 - a_t^2} = 1,46 \text{ m/s}^2$$

- e) El radio de curvatura en dicho instante se obtiene a partir de la expresión de la aceleración centrípeta, de modo que:

$$r = \frac{v^2}{a_c} = 46,5 \text{ m}$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 237)

1. Escribe el vector de posición en función del tiempo de un cuerpo que, partiendo de la posición inicial (2,3), se desplaza 8 m cada segundo en la dirección del eje Y, y 5 m cada segundo en la dirección del eje X. Escribe su vector velocidad. ¿Estaría dicho movimiento dotado de aceleración?

El vector de posición según las condiciones del problema es:

$$\vec{r} = (5t + 2)\vec{i} + (8t + 3)\vec{j} \text{ m}$$

Derivando la expresión de la posición, se obtiene la de la velocidad:

$$\vec{v} = 5\vec{i} + 8\vec{j} \text{ m/s}$$

Dado que la velocidad no depende del tiempo, el cuerpo no tiene aceleración alguna.

2. ¿Es posible que un cuerpo en movimiento sometido a una aceleración constante tenga en algún momento un desplazamiento neto igual a cero?

Sí, siempre y cuando en el intervalo de tiempo considerado, su posición inicial y final coincidan. Ejemplos de un movimiento de este tipo sería un lanzamiento vertical considerando el intervalo igual al tiempo total de vuelo, o bien un movimiento circular uniforme al cabo de una vuelta completa.

3. Considerando un cuerpo sometido a aceleración constante, indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a) Su trayectoria nunca podrá ser curvilínea.
- b) Su velocidad siempre irá en aumento.
- c) No pasará dos veces por el mismo punto.

a) Es falsa; en los movimientos parabólicos la aceleración es constante y en los circulares también. Así pues, el requisito es que el vector aceleración actúe en dirección diferente de la del vector velocidad.

b) También es falsa; si la aceleración constante es centrípeta, el valor de la velocidad se mantiene constante. Pero también, en otros casos podría disminuir si la aceleración es opuesta a la velocidad.

c) También es falsa. Tanto en un lanzamiento vertical como en un movimiento circular uniforme, el cuerpo vuelve a pasar por el mismo punto.

4. Un cuerpo se encuentra en reposo en el punto (4, -3, 2). Escribe su vector de posición con respecto a un sistema de referencia centrado en el punto (0, 0, 0). ¿Cómo sería dicho vector de posición si el sistema de referencia estuviera centrado en el punto (2, 2, 2)?

Teniendo en cuenta que, en general:

$$\vec{r} = (x - x_0)\vec{i} + (y - y_0)\vec{j} + (z - z_0)\vec{k}$$

En el primer caso, el vector de posición es:

$$\vec{r} = 4\vec{i} - 3\vec{j} + 2\vec{k}$$

Mientras que en el segundo será:

$$\vec{r} = 2\vec{i} - 5\vec{j}$$

5. Escribe los vectores de posición en función del tiempo según los dos sistemas de referencia de la cuestión anterior, teniendo en cuenta que el cuerpo ha comenzado a moverse 3 m cada segundo en la dirección del semieje OX+ y 2 m cada segundo en la dirección del semieje OY-. Deduce cuál sería el vector velocidad y su valor en cada uno de los dos sistemas de referencia citados. ¿Qué conclusión se obtiene?

Según lo expuesto, las coordenadas x e y varían con el tiempo, desde las posiciones iniciales, según 3t en el primer caso y -2t en el segundo. Así pues, los vectores de posición según los sistemas de referencia elegidos serán ahora:

$$\vec{r} = (3t + 4)\vec{i} - (2t + 3)\vec{j} + 2\vec{k} \text{ m}$$

$$\vec{r} = (3t + 2)\vec{i} - (2t + 5)\vec{j} \text{ m}$$

El vector velocidad en ambos sistemas de referencia es el mismo e igual a: $\vec{v} = 3\vec{i} - 2\vec{j} \text{ m/s}$

En consecuencia, ambos sistemas de referencia son inerciales.

6. Razona si la siguiente afirmación es correcta o no: «la aceleración, en caso de existir, tiene siempre la misma dirección y el mismo sentido que la velocidad».

La afirmación es rotundamente falsa; lo correcto sería decir que la aceleración, en caso de existir, tiene la misma dirección y sentido que la "variación de la velocidad".

7. Un cuerpo se mueve según la ecuación de posición en función del tiempo:

$$\vec{r} = 5 \cos \pi t \vec{i} + 5 \sin \pi t \vec{j} \text{ m}$$

a) Describe las características del tipo de movimiento que realiza.

b) Determina las coordenadas (x, y) de los puntos en los que se encontrará en los siguientes instantes: a los 0 s; a los 0,5 s; a 1 s; a 1,5 s y a los 2 s. ¿Qué conclusión obtienes?

c) ¿Cuál es el vector velocidad correspondiente a este movimiento? ¿Y su valor?

Como ya se ha comprobado en problemas anteriores, el cuerpo describe un movimiento circular uniforme.

Sustituyendo los valores de tiempo dados, las coordenadas (x, y) en dichos instantes son:

$$t = 0, (5, 0); t = 0,5, (0, 5); t = 1, (-5, 0); t = 1,5, (0, -5); t = 2, (5, 0)$$

Como puede apreciarse, el cuerpo repite posiciones cada 2 s.

El vector velocidad es:

$$\vec{v} = -5\pi \sin \pi t \vec{i} + 5\pi \cos \pi t \vec{j} \text{ m/s}$$

Siendo su valor o módulo igual 5π m/s.

8. Razona si un cuerpo que se mueve bajo una aceleración constante perpendicular a su trayectoria puede variar el valor de su velocidad.

Dado que la aceleración es siempre perpendicular a la trayectoria, nunca podrá modificarse el valor de la velocidad, dado que se trata de una aceleración centrípeta.

9. Un cuerpo se desplaza los primeros 50 km de su trayecto a una velocidad constante de 80 km/h y los siguientes 50 km (en la misma dirección) a otra velocidad constante de 70 km/h. ¿Cuál ha sido su velocidad media en todo el trayecto?

El desplazamiento total efectuado es de 100 km. El tiempo invertido en cada tramo es:

$$t_1 = \frac{d_1}{v_1} = 0,625 \text{ h} ; t_2 = \frac{d_2}{v_2} = 0,714 \text{ h}$$

En consecuencia, la velocidad media total ha sido de:

$$v = 74,68 \text{ km/h}$$

10. Un péndulo de 0,5 m de longitud es separado 20° de su vertical y soltado. ¿Cuánto vale el desplazamiento máximo de su movimiento? ¿Y el espacio recorrido correspondiente a dicho desplazamiento?

El desplazamiento máximo es $d = 2L \sin 20 = 0,34 \text{ m}$. Por otra parte, el espacio recorrido es el arco de circunferencia correspondiente a 40° , que resulta ser de 0,35 m. Como puede apreciarse, al ser un ángulo pequeño, el desplazamiento y el espacio recorrido son prácticamente iguales.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

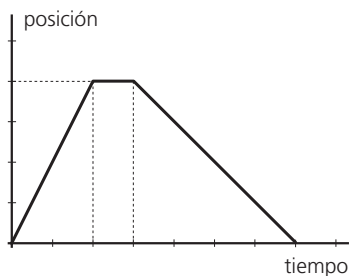
Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1 Analiza el movimiento de un cuerpo en función del sistema de referencia elegido.	A: 1	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1 Describe el movimiento de un cuerpo a partir de su vector de posición en función del tiempo.	A: 2-10 ER: 1 AT: 1-3, 21, 22, 23	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1 Obtiene las ecuaciones de la velocidad a partir de las de posición en función del tiempo.	A: 11-19 ER: 1-4 AT: 4-8, 17-24	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1 Describe el movimiento de un cuerpo a partir de su vector de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo.		Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.1 Obtiene las ecuaciones de la aceleración a partir de las de posición y velocidad en función del tiempo.	A: 20-24 ER: 1,4 AT: 9-16, 19-24	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

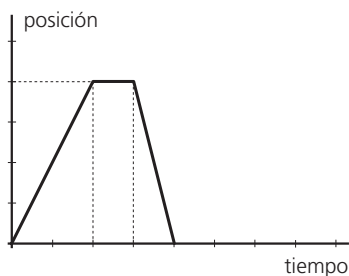
PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Una persona se desplaza a una velocidad constante. Al cabo de 2 minutos, decide detenerse durante un minuto para regresar posteriormente al punto de partida al doble de velocidad que llevaba a la ida. Razona cuál de las siguientes gráficas representa el movimiento efectuado por dicha persona:

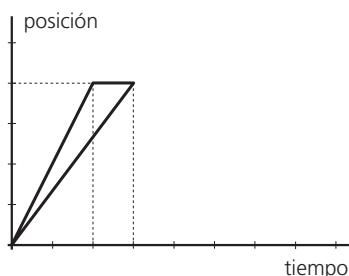
gráfica A



gráfica B



gráfica C



La gráfica correcta es la b), puesto que al regresar con el doble de velocidad que en el trayecto de ida, efectuará el mismo desplazamiento en la mitad de tiempo, situación que recoge dicha gráfica.

2. Un coche se desplaza durante un viaje con los siguientes valores de velocidad:

Intervalo de tiempo (h)	0-1	1-2	2-2,5	2,5-4,5	4,5-6
Valor de velocidad (km/h)	v	$3v$	$2v$	$v/2$	$v/3$

- a) ¿Cuál ha sido su velocidad media en el trayecto completo?
- b) ¿Qué distancia total ha cubierto si en la primera hora recorrió 40 km?
- a) Para calcular la velocidad media en todo el trayecto, es preciso calcular el desplazamiento total y dividirlo entre el tiempo invertido (6 h). El desplazamiento en cada interva-

lo de tiempo viene dado por $d_i = v_i \Delta t_i$, de modo que la velocidad media será:

$$v_{\text{media}} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5}{\Delta t_{\text{total}}} = \frac{v \cdot 1 + 3v \cdot 1 + 2v \cdot \frac{1}{2} + \frac{v}{2} \cdot 2 + \frac{v}{3} \cdot \frac{3}{2}}{6} = \frac{13}{12}v$$

- b) Llamamos d al desplazamiento efectuado en la primera hora (igual a $v \cdot 1 = v$) y sumamos todos los desplazamientos señalados en el apartado anterior. Se obtiene, así, $d_{\text{total}} = 6,5 \cdot d = 6,5 \cdot 40 \text{ km} = 260 \text{ km}$.
3. La celeridad de una partícula que se mueve en una circunferencia de 3 m de radio aumenta a una razón constante de 2 m/s^2 . En cierto instante la aceleración total de la partícula es de 6 m/s^2 .

- a) Determina la aceleración centrípeta de la partícula en ese instante.
- b) Calcula el valor de su velocidad en ese instante.
- a) La aceleración tangencial vale 2 m/s^2 , puesto que es la rapidez con que varía la celeridad (módulo de la velocidad). Así pues:

$$a_{\text{total}} = \sqrt{a_t^2 + a_c^2} = \sqrt{a_{\text{total}}^2 + a_t^2} = 5,66 \text{ m/s}^2$$

- b) Dado que $a_c = \frac{v^2}{r}$, entonces $v = \sqrt{a_c r} = 4,12 \text{ m/s}$.

4. La posición de una partícula que se mueve a lo largo del eje X viene dada por la ecuación:

$$x(t) = t^3 - 3t^2 + 2t \text{ m}$$

Determina:

- a) Los tiempos en los que la partícula pasa por la posición inicial.
- b) La velocidad instantánea de la partícula en cualquier instante.
- c) Los tiempos en los que la velocidad es igual a cero.
- d) La aceleración instantánea en los tiempos del apartado c).
- e) El desplazamiento entre los dos tiempos en que la velocidad es cero.
- a) La posición de la partícula puede expresarse como $x(t) = t(t^2 - 3t + 2)$ m, ecuación que equivale a cero para los valores de tiempo $t = 0$ s (posición inicial), $t = 1$ s y $t = 2$ s.
- b) La velocidad instantánea en cualquier instante es:

$$v = \frac{dx}{dt} = t^2 - 3t + 2 \text{ m/s}$$

- c) Resolviendo los valores de t que igualan a cero la ecuación anterior, se obtiene $t = 1 \pm \frac{\sqrt{3}}{3}$, es decir, $t = 0,42$ s y $t' = 1,58$ s.

- d) La aceleración instantánea es: $a = 6t - 6 \text{ m/s}^2$, por tanto los valores en los tiempos del apartado anterior son, respectivamente:

$$a = -3,48 \text{ m/s}^2$$

$$a' = 3,48 \text{ m/s}^2$$

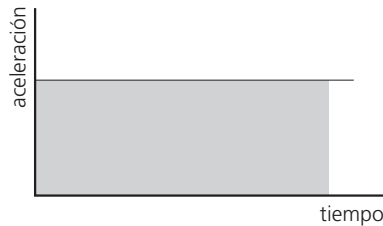
- e) Sustituyendo los respectivos valores de t en la ecuación de posición, se obtiene que el desplazamiento en ese intervalo de tiempo es:

$$\Delta x = -0,38 - 0,38 = -0,76 \text{ m}$$

El signo negativo indica que se ha desplazado 0,76 m hacia posiciones situadas en el semieje negativo del eje X.

5. ¿Qué representa el área bajo la recta en la gráfica aceleración-tiempo de un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado? Razona tu respuesta.

La zona sombreada bajo la recta es un rectángulo de área $= a \cdot t$. Por tanto, representa la variación de velocidad acontecida en ese intervalo de tiempo.



6. Una partícula se mueve según la ecuación de posición:

$$\vec{r} = 5t^2\vec{i} + 4t\vec{j} \text{ m}$$

Determina:

- Su velocidad media en los 5 primeros segundos y su módulo.
- Su velocidad instantánea en $t = 5 \text{ s}$ y su módulo.
- Su aceleración.

- a) Su velocidad media en los cinco primeros segundos es:

$$\vec{v}_m = \frac{\vec{r}_5 - \vec{r}_0}{t} = \frac{125\vec{i} + 20\vec{j}}{5} = 25\vec{i} + 4\vec{j} \text{ m/s}$$

Su valor (módulo) es igual a 25,3 m/s.

- b) Derivando la ecuación de posición, se obtiene la velocidad instantánea, con lo que resulta $10 t \text{ m/s}$

Así pues, cuando $t = 5 \text{ s}$, y su valor o módulo es igual a 50,16 m/s.

- c) Derivando la velocidad, obtenemos la aceleración, que resulta ser constante e igual a $10\vec{i} \text{ m/s}^2$.

7. Un cuerpo se mueve sobre una circunferencia. Al cabo de media vuelta, ¿cuánto vale su desplazamiento? ¿Qué espacio ha recorrido? Demuestra tus afirmaciones.

Su desplazamiento es igual a $2R$, donde R es el radio de la circunferencia, mientras que el espacio recorrido es igual a πR y resulta, por tanto, mayor que el desplazamiento.

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta o respuestas correctas en cada uno de los ejercicios:

- Un cuerpo se desplaza 10 m cada segundo hacia el norte y 3 m cada segundo hacia el este. Si su posición inicial es (0, 2), ¿cuál de las siguientes ecuaciones representa correctamente la posición en función del tiempo?
 - $x = (2 + 10t) + 3t$ m
 - $\vec{r} = (2 + 10)t\vec{i} + 3t\vec{j}$ m
 - $\vec{r} = 3t\vec{i} + (2 + 10)t\vec{j}$ m
- ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones te parecen correctas?
 - Un movimiento con velocidad constante nunca puede ser circular.
 - La aceleración, en caso de existir, tiene siempre la misma dirección y sentido que la velocidad.
 - La velocidad tiene la misma dirección y sentido que el vector posición.
- Si la ecuación de posición de un cuerpo es $\vec{r} = 2t\vec{i} + 3\vec{j}$ m, ¿cuáles de las siguientes afirmaciones son ciertas?
 - Su velocidad es $\vec{v} = 2\vec{i}$ m/s.
 - Se desplaza 20 m en los 10 primeros segundos.
 - Todas las respuestas anteriores son incorrectas.
- Si la ecuación de posición de un cuerpo es $\vec{r} = 5t\vec{i} + 2t^2\vec{j}$, ¿cuáles de las siguientes afirmaciones son correctas?
 - Su movimiento transcurre en una recta.
 - Su aceleración es constante.
 - Todas las respuestas anteriores son incorrectas.
- ¿Qué afirmaciones de las siguientes son ciertas para un movimiento cuya aceleración es tangencial y constante?
 - Recorre los mismos espacios en los mismos intervalos de tiempo.
 - Es rectilíneo.
 - Su velocidad nunca podrá ser cero.
- De un movimiento cuya aceleración constante es siempre perpendicular a la trayectoria podemos decir que:
 - Su velocidad es constante.
 - Tiene aceleración tangencial constante.
 - Pasa por la misma posición en intervalos de tiempo iguales.
- Si un cuerpo está sometido a aceleración constante, puede decirse que:
 - Su trayectoria nunca podrá ser curvilínea.
 - Su velocidad siempre irá en aumento.
 - Ninguna de las afirmaciones anteriores es correcta.
- Si un cuerpo se desplaza los primeros 50 km a una velocidad constante de 80 km/h y los siguientes 50 km (en la misma dirección) a otra velocidad constante de 60 km/h, entonces la velocidad media en todo el trayecto es:
 - 68,57 km/h
 - 70 km/h
 - 72,35 km/h

10



MOVIMIENTOS EN UNA Y DOS DIMENSIONES

En la presente unidad se emplean las magnitudes cinemáticas de modo sistemático para el estudio y descripción de los movimientos más conocidos en una y dos dimensiones, una vez conocidas en profundidad en la unidad anterior.

Con respecto a pasadas ediciones, esta unidad se ha reducido en extensión, si bien se mantienen los mismos epígrafes para unificar los conceptos y tratamientos matemáticos de los movimientos en una y dos dimensiones. A su vez, se ha creído conveniente mantener las dos dobles páginas finales de *Actividades y tareas* para poder reforzar convenientemente el aprendizaje de la cinemática de los movimientos, manteniendo siempre la idea de rigurosidad y nivel de exigencia que caracteriza el conjunto del texto. Debemos tener en consideración que la cinemática de los movimientos no forma parte del currículo de la Física de 2º de Bachillerato, de ahí que consideremos de vital importancia adquirir un aprendizaje verdaderamente significativo de los conceptos de la unidad, así como gran soltura en el manejo de las ecuaciones de los movimientos.

La filosofía que impregna la unidad, así como el conjunto del texto, es la del aprendizaje autoconsistente. Para ello se evita incluir expresiones matemáticas sin demostraciones previas, siempre que ello sea posible o aconsejable. Es altamente recomendable evitar el aprendizaje memorístico de expresiones sin más; este hecho suele llevar a errores al alumnado cuando se cambian las condiciones iniciales del problema. Por ello, debemos trabajar en la comprensión de las expresiones matemáticas en toda su extensión, en función de las condiciones iniciales correspondientes a cada problema o cuestión. Para facilitar esta tarea se presentan numerosas cuestiones conceptuales que no requieren cálculo matemático, pero sí la comprensión de las expresiones matemáticas a utilizar.

En la presente edición se han incluido numerosas imágenes para facilitar en todo lo posible la comprensión de los conceptos o para clarificar el empleo adecuado de los signos en las distintas ecuaciones.

Así, se ha empleado la técnica estroboscópica de fotografía para ilustrar las posiciones, en intervalos idénticos de tiempo, de objetos en caída libre, lanzamiento vertical o movimiento parabólico.

Objetivos

1. Reconocer la importancia de los sistemas de referencia en la resolución de problemas de movimientos.
2. Conocer la importancia de los movimientos uniformemente acelerados en la naturaleza y utilizar correctamente sus ecuaciones representativas adaptadas a distintas circunstancias.
3. Comprender el significado de la composición o principio de superposición de movimientos.
4. Relacionar magnitudes lineales y angulares en los movimientos circulares y reconocer el carácter periódico del movimiento circular uniforme.

Relación de la unidad con las competencias clave

La competencia lingüística está presente en la correcta interpretación del texto y los enunciados de los problemas y cuestiones propuestos, así como en la exposición oral y escrita de las propuestas de *Investiga*. La competencia matemática y en ciencia y tecnología está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La competencia digital se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *Investiga y Física, Tecnología y Sociedad*. La competencia de aprender a aprender es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado.

Temporalización

Recomendable en doce sesiones lectivas.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
La descripción de los movimientos	1. Interpretar representaciones gráficas de los movimientos.	1.1. Describe el movimiento de un cuerpo a partir de sus vectores de posición, velocidad y aceleración en un sistema de referencia dado.	A: 1	CMCCT CD
Movimientos en una dimensión: movimientos rectilíneos <ul style="list-style-type: none"> ■ Movimiento rectilíneo uniforme. ■ Movimientos rectilíneos con aceleración constante ■ Movimientos con aceleración constante en la naturaleza. 	2. Reconocer correctamente las ecuaciones propias de los movimientos rectilíneos. 3. Representar gráficamente las magnitudes cinemáticas frente al tiempo para distintos movimientos rectilíneos. 4. Deducir parámetros de interés en movimientos acelerados naturales.	2.1. Identifica el tipo de movimiento rectilíneo y aplicar las ecuaciones correspondientes para hacer predicciones. 3.1. Interpreta correctamente las gráficas de MRU y MRUA. 4.1. Resuelve ejercicios prácticos de MRU y MRUA	A: 2-11 ER: 1,2,3,4 AT: 1-26	CMCCT CD
Movimientos en dos dimensiones: movimientos parabólicos <ul style="list-style-type: none"> ■ ¿Movimiento rectilíneo, curvilíneo o ambos? ■ Lanzamiento horizontal ■ Movimiento parabólico completo ■ Superposición de movimientos uniformes 	5. Resolver situaciones y problemas relativos a la composición de movimientos y entender el significado último y las consecuencias que se derivan de dicha composición.	5.1. Reconoce movimientos compuestos y establecer las ecuaciones que los describen, obteniendo parámetros característicos. 5.2. Resuelve problemas relativos a la composición de movimientos rectilíneos	A: 12-18 ER: 5 AT: 27-42, 55	CMCCT
Movimientos circulares <ul style="list-style-type: none"> ■ Las magnitudes cinemáticas angulares ■ El movimiento circular uniforme ■ El movimiento circular uniformemente acelerado 	6. Reconocer las ecuaciones de los movimientos circulares y aplicarlas a situaciones concretas. 7. Dar respuesta a movimientos circulares, tanto uniformes como acelerados, relacionando las magnitudes angulares con las lineales.	6.1. Relaciona las magnitudes lineales y angulares en movimientos circulares. 6.2. Reconoce la periodicidad de los MCU y resolver problemas relativos. 7.1. Resuelve problemas numéricos y gráficos relativos a movimientos circulares.	A: 19-23 ER: 6 AT: 43-57	CMCCT

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: Competencia lingüística; CMCCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: Competencia digital;

CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: La física del salto de altura

Enlaces web: Movimientos según aceleración

Animación: Desplazamiento, trayectoria y espacio recorrido

Enlace web: La física del movimiento

Simulador: El MRU y la caída libre

Documento: Biografía de Nicolás de Oresme

Vídeos: 1. Caída libre en una cámara de vacío. 2. Pluma y martillo en la Luna. 3. El universo mecánico

Práctica de laboratorio: Determinación de la aceleración en planos inclinados.

Simuladores: 1. Alcance y alturas máximas. 2. Composición de movimientos

Vídeos: 1. Movimiento parabólico (en inglés). 2. Movimiento de proyectiles (en inglés).

Enlace web: Composición de movimientos

Práctica de laboratorio: La velocidad de derrame y su dependencia de la profundidad

Unidad 10: Movimientos en una y dos dimensiones

1. La descripción de los movimientos

2. Movimientos en una dimensión: movimientos rectilíneos

- 2.1. Movimiento rectilíneo uniforme
- 2.2. Movimientos rectilíneos con aceleración constante
- 2.3. Los movimientos rectilíneos con aceleración constante en la naturaleza

3. Movimientos en dos dimensiones: movimientos parabólicos

- 3.1. ¿Movimiento curvilíneo, rectilíneo o ambos?
- 3.2. Lanzamiento horizontal
- 3.3. Movimiento parabólico completo
- 3.4. Superposición de movimientos uniformes

Actividades de ampliación: La posición por integración

Actividades de ampliación: Galileo y la exploración espacial

Documento: El coyote era aristotélico

Presentación

BIBLIOGRAFÍA

HEWITT, P. G.

Física conceptual. Wilmington (E.U.A.): Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.

Su lectura amena y la escasez de fórmulas hacen de este libro un material a recomendar a aquellos alumnos y alumnas que sientan interés por la Física.

TIPLER, P. A.

Física. Barcelona: Editorial Reverté (3ª edición), 1995.

Clásico de referencia obligada.

HOLTON, G.

Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. Barcelona: Editorial Reverté, 1989.

Manual obligado para conocer la aparición y evolución de los conceptos desde el punto de vista histórico.

SERWAY, R. A.

Física. México: Interamericana, 1985.

Muy buen libro de Física, estructurado en dos volúmenes de tamaño «guía telefónica de ciudad de 3000000 de habitantes». Exposición con gran claridad y buenas explicaciones. Ausencia de color en las ilustraciones o fotografías.

HECHT, E.

Física en perspectiva. Wilmington (E.U.A.): Addison-Wesley Iberoamericana, 1987.

Uno de los libros de Física más amenos que se han escrito. Aborda la comprensión de la Física desde un punto de vista conceptual. Se trata de un libro «casi de lectura» con muy pocas fórmulas.

PIÓRISHKIN, A.V. *et al*

Física (Vols. I, II, III, IV). Moscú: Editorial Mir, 1986.

Excelente colección, con muy buenas explicaciones. Son cuatro tomos tamaño «libro de bolsillo». Les caracteriza la sobriedad habitual de las ediciones de la antigua U.R.S.S.

ALONSO, M. y FINN, E.J.

Física. México: Addison-Wesley Longman, 2000.

Clásico de referencia en cualquier tema de Física. Tratamientos buenos y rigurosos.

PARA EL PROFESOR

Video: La fuerza centrípeta

Simuladores: 1. Relación entre radianes y grados. 2. Definición de parámetros del MCU 3. Variación de velocidades angulares

Video: Felix Baumgartner

Simulación:

Laboratorio virtual de cinemática

Tests de autoevaluación interactivos

4. Movimientos circulares

- 4.1. Las magnitudes cinemáticas angulares
- 4.2. El movimiento circular uniforme
- 4.3. El movimiento circular uniformemente acelerado

Física, tecnología y sociedad

Félix Baumgartner: una caída libre estratosférica

Técnicas de trabajo y experimentación

Estudio práctico del lanzamiento horizontal

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Documento: La forma espiral de las borrascas.

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

Educaplús

<http://www.educaplus.org/>

Excelente web con muchos apartados y buenos simuladores.

e-educativa

<http://e-educativa.catedu.es>

Contiene multitud de explicaciones, imágenes y propuestas de ejercicios para trabajar.

Fiscalab

<https://www.fiscalab.com>

Estructurada a partir de los distintos tipos de movimientos y con propuestas de ejercicios.

Paul G. Hewitt

<https://goo.gl/UrMclf>

Canal de Youtube con los interesantes vídeos del profesor Paul G. Hewitt (en inglés).

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

MOVIMIENTOS EN UNA Y DOS DIMENSIONES

Siempre es útil comenzar con la lectura del texto introductorio y el planteamiento de las cuestiones previas. Las dos primeras tienen por objeto comprobar si saben diferenciar claramente las magnitudes cinemáticas velocidad y aceleración, una vez estudiadas en la unidad anterior; la tercera pretende comprobar que la mayoría de los alumnos que llegan a este nivel siguen adjudicando a la masa un papel que no tiene en los movimientos.

Vídeo:
LA FÍSICA DEL SALTO DE ALTURA

1. La descripción de los movimientos

En la anterior unidad se estudiaron las magnitudes cinemáticas necesarias para describir las trayectorias de los movimientos. En consecuencia, se debe dejar claro al principio de la unidad que las ecuaciones de movimiento son aquellas que relacionan las magnitudes cinemáticas estudiadas.

En este momento también conviene hacer hincapié en las representaciones gráficas de dichas magnitudes frente al tiempo.

Enlace web: **MOVIMIENTOS SEGÚN LA ACELERACIÓN**

En esta página se puede encontrar una clasificación de los movimientos en función la aceleración.

2. Movimientos en una dimensión: movimientos rectilíneos

Debemos aprovechar este epígrafe para aclarar el empleo de las coordenadas de posición x o y según hablemos en lo sucesivo de movimientos horizontales o verticales. Igualmente, dado que vamos a tratar con movimientos rectilíneos, el tratamiento vectorial se reduce al empleo de signos $+$ o $-$ para caracterizar el sentido de las distintas magnitudes.

2.1. Movimiento rectilíneo uniforme

Debemos insistir al comienzo de este epígrafe en el carácter ideal del movimiento rectilíneo uniforme que, sin embargo, es el que el alumnado conoce mejor. No obstante, hemos de hacer mención de la importancia que tiene para la física y para la química el estudio de las situaciones ideales: gases ideales, propiedades coligativas en disoluciones ideales, caída libre, movimiento rectilíneo uniforme (MRU) y movimientos circulares uniformes, cuya comprensión, por ser en general casos más sencillos, facilita enormemente la aproximación a situaciones más complejas.

Simulador:
SIMULADOR DEL MRU

2.2. Movimientos rectilíneos con aceleración constante

En el tratamiento del movimiento rectilíneo con aceleración constante o uniformemente acelerado, se ha dado un enfoque histórico del mismo. Si no fuera así, acabaríamos explicando una

materia que no tiene conexión con la historia de la humanidad y ¡nada más lejos de la realidad en el caso de la física!

En un movimiento acelerado, la velocidad se puede considerar como la velocidad promedio entre la inicial y la final. Esta idea de la velocidad promediada se explica y se demuestra gráficamente en este texto, mediante el llamado teorema de Merton, cuya primera demostración se debe a Nicolás de Oresme (ver biografía).

Simulador:
SIMULADOR DEL MRUA

Documento:
BIOGRAFÍA DE NICOLÁS DE ORESME

2.3. Los movimientos rectilíneos con aceleración constante en la naturaleza

Es muy importante en este epígrafe que el alumnado acabe comprendiendo conceptualmente lo que significa una caída libre.

A menudo ha ocurrido que, por dar las cosas demasiado rápidamente o muy superficialmente, después de varios cursos de «piedras que se dejan caer desde no se sabe qué altura» y entretenimientos por el estilo, si se le pregunta a un alumno o alumna que disponga por orden de llegada varios objetos de distinta masa en caída libre, la respuesta inmediata en muchos casos es «primero el más pesado, segundo el siguiente más pesado...» y así sucesivamente.

No se deben escatimar esfuerzos en desechar de raíz esa idea, que se extiende, por lo demás, al lanzamiento vertical. Así, es posible que se haya conseguido que la respuesta de la caída libre sea la correcta; pero... ¿por qué no probamos a preguntar qué objeto llega más alto si lanzamos verticalmente tres cuerpos de muy distinta masa con la misma velocidad? El sentido común vuelve a hacer pensar a los alumnos y alumnas que el más ligero llegará más alto. Si es así, se comprobará que todavía persisten los viejos prejuicios y la confusión entre conceptos tales como velocidad e impulso.

Otro aspecto importante que debemos reseñar en este epígrafe es la idea de un único movimiento en el caso del lanzamiento vertical. Está muy extendida entre muchos alumnos y alumnas la tendencia a considerar este tipo de movimientos como dos distintos: primero uno ascenso y luego otro de caída libre. Los resultados serán correctos, pero no está de más fomentar la congruencia en el enfoque de los problemas y la elegancia en su resolución.

Simulador:
CAÍDA LIBRE

Enlace web:
LANZAMIENTO VERTICAL

Vídeo (en inglés):
CAÍDA LIBRE EN UNA CÁMARA DE VACÍO

Vídeo:
PLUMA Y MARTILLO EN LA LUNA

Vídeo:
VÍDEO DE LA COLECCIÓN «UNIVERSO MECÁNICO»

3. Movimientos en dos dimensiones: movimientos parabólicos

La mejor manera de introducir este apartado es planteando las cuestiones que aparecen en el texto. Dado que habrá respuestas encontradas, lo mejor puede ser escenificarlas en el aula; un alumno o alumna moviéndose con velocidad constante lanza un objeto verticalmente para comprobar que vuelve a caer en su mano.

3.1. ¿Movimiento curvilíneo, rectilíneo o ambos?

En este epígrafe se acentúa la idea de que no se introducen nuevas ecuaciones para el tratamiento de los movimientos parabólicos, sino que se usan conjuntamente las de los movimientos componentes (MRU y MRUA), ya conocidas.

Simulador:
COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS

Enlace web:
COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS

3.2. Lanzamiento horizontal

En este punto se debe insistir en el significado profundo de la composición de movimientos, es decir, en la equivalencia entre caídas libres y lanzamientos horizontales y entre movimientos parabólicos completos y lanzamientos verticales, analizando también desde el punto de vista matemático la identidad de las ecuaciones de estos movimientos cuando se llevan a situaciones extremas; por ejemplo: un movimiento «parabólico» si el ángulo es de 90° conduce a las ecuaciones del lanzamiento vertical. Es muy importante recalcar estas conexiones porque así los alumnos y alumnas adquieren una visión de conjunto que les facilita enormemente la comprensión de la física.

3.3. Movimiento parabólico completo

Asimismo, se debe evitar en el presente epígrafe el uso excesivo de expresiones concretas válidas para un caso determinado; por ejemplo, las expresiones de alcance máximo y altura máxima en movimientos parabólicos con origen en el suelo. Por ello, se insiste especialmente en que el alumnado fije su atención en las características de los puntos de los que desean información. Así, la secuencia a la que debemos acostumbrarlos para la realización de problemas es la siguiente:

- características del punto (altura, alcance...)
- tiempo en que ocurren dichas características
- sustitución de información en la ecuación (altura, y , o alcance, x)

Simulador:
ALCANCE Y ALTURA MÁXIMAS

Vídeo:
VÍDEOS DEL PROFESOR PAUL G. HEWITT

3.4. Superposición de movimientos uniformes

Resulta conveniente entrar en la demostración de que la composición de dos MRU produce, a su vez, otro MRU. Si relacionamos las expresiones de Δx y Δy que aparecen en el texto, se obtiene:

$$\Delta y = \frac{v_y}{v_x} \Delta x$$

Que es la ecuación de una recta cuya pendiente (dirección) viene dada por el cociente de las componentes de la velocidad.

Simulador:
COMPOSICIÓN DE MOVIMIENTOS RECTILÍNEOS

4. Movimientos circulares

Se empieza este apartado descartando la utilidad de las magnitudes cinemáticas lineales para el tratamiento del movimiento circular. De acuerdo con lo expuesto al principio de esta unidad acerca de la descripción física de los fenómenos en función de las magnitudes que permanecen constantes en el transcurso de los mismos, es necesario ahora indicar la necesidad de describir los movimientos circulares en función de magnitudes que no cambien. Por eso, el alumnado entenderá la necesidad de definir magnitudes angulares.

4.1. Las magnitudes cinemáticas angulares

Conviene insistir en dejar muy clara la relación existente entre estas magnitudes y las lineales.

Simulador:
RADIANES Y GRADOS

Simulador:
PARÁMETROS DEL MCU

Simulador:
VARIACIÓN DE VELOCIDADES ANGULARES

Vídeo:
LA FUERZA CENTRÍPETA

4.2. El movimiento circular uniforme

Es muy importante estudiar adecuadamente el carácter periódico de este movimiento. Tendrá relación con las unidades 12 y 15 (Gravitación y movimiento armónico simple). Se recomienda encarecidamente realizar la actividad 22 para más adelante relacionar el valor obtenido con la aceleración gravitatoria terrestre a la distancia lunar.

4.3. El movimiento circular uniformemente acelerado

Se sugiere hacer un tratamiento paralelo al realizado para obtener las expresiones del MRUA.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 238/257)

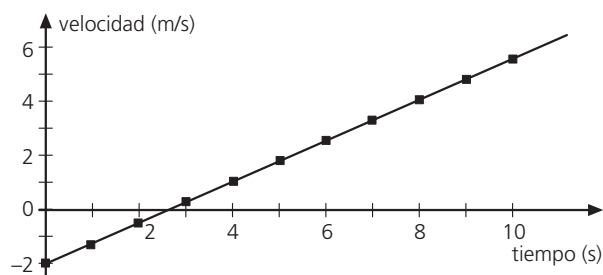
Comprueba lo que sabes

- Indica si es verdadera o falsa la siguiente afirmación:
«Cuando dejamos caer un objeto desde la terraza de un edificio, su aceleración aumenta progresivamente a medida que desciende».
Es falsa; la aceleración permanece constante. lo que aumenta progresivamente es la velocidad.
- Al lanzar verticalmente un objeto hacia arriba, llega un instante en que deja de ascender para comenzar a descender. En ese preciso momento, tanto su velocidad como su aceleración son nulas. ¿Qué opinas de esa proposición?
La única magnitud que se hace cero es la velocidad. La aceleración permanece constante.
- Lanzamos hacia arriba dos objetos de distinta masa con la misma velocidad. Señala cuál de las dos alcanzará mayor altura:
 - El más ligero llega más alto.
 - El más pesado llega más alto.
 - Los dos alcanzan la misma altura.

La respuesta correcta es la c).

Actividades

- Un cuerpo se desplaza a lo largo de una recta con una aceleración constante de $+0,8 \text{ m/s}^2$. Representa su gráfica $v-t$ en los diez primeros segundos, si partió con una velocidad inicial de -2 m/s . Determina la ecuación de velocidad en función del tiempo. ¿En qué instante se hace cero su velocidad? ¿Vuelve a ser cero en algún otro instante?



De la expresión obtenemos la ecuación de la velocidad:

$$v = -2 + 0,8t$$

Para saber si se puede hacer 0 la velocidad, no tenemos más que suponer que sea así y buscar solución a la ecuación:

$$0 = -2 + 0,8t$$

despejando el tiempo $t = 2,5 \text{ s}$.

La ecuación es de primer grado y tiene una única solución.

- ¿Cuánto tarda la luz del sol en llegar a la Tierra, teniendo en cuenta que el Sol se halla a una distancia media de la Tierra de 149600000 km y que la luz se propaga aproximadamente a $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$? (Resuelve la actividad situándote tú mismo como origen del sistema de referencia.)

Si nos situamos como origen del sistema de referencia ($x = 0$), el Sol se halla a una distancia $x_0 = 149600000 \text{ km}$. Como la velocidad de la luz es de 300000 km/s , entonces podemos calcular el tiempo que tarda la luz del Sol en llegar a nosotros, es decir, en llegar a $x = 0$ desde su posición inicial. Como desde nuestro punto de vista la luz del Sol viene a nuestro encuentro (signo negativo para su velocidad), entonces la expresión que hay que usar será:

$$x = x_0 - vt$$

En nuestro caso:

$$0 = 149600000 - 300000 \cdot t$$

Por tanto:

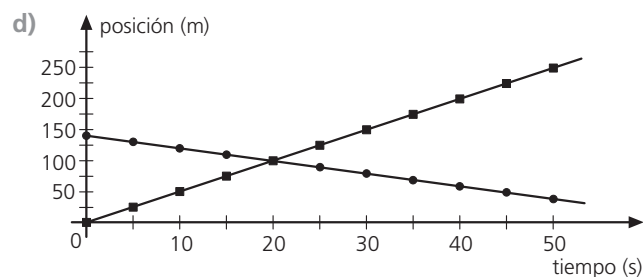
$$t = 498,6 \text{ s} = 8 \text{ min } 19 \text{ s}$$

- Las ecuaciones de movimiento de dos vehículos, A y B, son $x_A = 5t \text{ m}$ y $x_B = 140 - 2t \text{ m}$. Determina:
 - ¿Qué distancia los separa inicialmente?
 - ¿En qué sentidos relativos se mueven uno respecto del otro?
 - ¿En qué instante se cruzan?
 - Representa el movimiento de ambos vehículos en una misma gráfica $x-t$.
 - Inicialmente, ($t = 0$), $x_A = 0$ y $x_B = 140 \text{ m}$, luego la distancia que los separa es de 140 m .
 - Ambos móviles emprenden la marcha al mismo tiempo pero en sentidos opuestos. Normalmente, lo más sencillo para el alumnado es visualizar el movimiento de ambos cuerpos en la gráfica del apartado d).
 - Se cruzarán cuando sus posiciones sean coincidentes, por lo que igualando ambas:

$$x_A = x_B$$

$$5t = 140 - 2t$$

despejando el tiempo, $t = 20 \text{ s}$.



- Dos vehículos (A y B) parten uno al encuentro de otro desde dos localidades que distan entre sí 400 km . El vehículo A viaja a 100 km/h , mientras que el B, que se pone en marcha un cuarto de hora después, lo hace a 120 km/h .
 - ¿Cuánto tiempo pasa desde que parte A hasta que se produce el encuentro?
 - ¿Qué distancia ha recorrido el vehículo A?
 - Representa el movimiento de ambos vehículos en una misma gráfica $x-t$.

- a) Tomando como origen del sistema de referencia la posición inicial de A, las ecuaciones de posición para ambos vehículos serán:

$$x_A = v_A t = 100t \text{ km}$$

$$x_B = x_{OB} - v_B t_B = 400 - 120(t - 1/4) = 430 - 120t \text{ km}$$

El encuentro se producirá cuando ambos estén en la misma posición, es decir, cuando $x_A = x_B$, por lo que:

$$100t = 430 - 120t$$

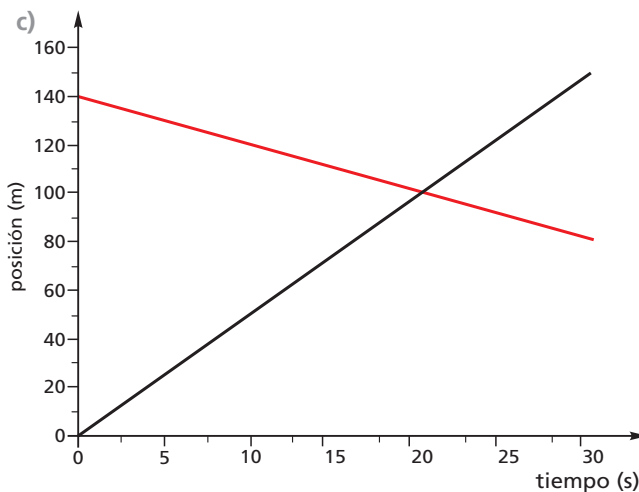
En consecuencia:

$$t = 1,95 \text{ h} = 117 \text{ min } 16 \text{ s}$$

Es decir, el encuentro se producirá al cabo de 117 min y 16 s contados desde que partió el vehículo A.

- b) La distancia que recorre A será:

$$x_A = 100t = 195 \text{ km}$$



- 5 La nave transbordadora *Discovery* lleva una velocidad de 720 km/h en el momento del aterrizaje. Cuando entra en contacto con el suelo, despliega los paracaídas de frenado, que junto con los propios frenos de la nave hacen que esta se detenga totalmente en 20 s.

- a) ¿Cuál ha sido la aceleración de frenado, suponiéndola constante?
 b) ¿Qué distancia ha recorrido la nave durante el frenado?
 a) La velocidad inicial (720 km/h) equivale a 200 m/s. Al cabo de 20 s su velocidad es cero, por lo que la aceleración de frenado será:

$$a = \frac{v - v_0}{t} = -10 \text{ m/s}^2$$

- b) La distancia que recorrerá la nave, o desplazamiento efectuado, será:

$$d = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$d = v_0 t + 1/2 a t^2$$

$$d = 200 \text{ m/s} \cdot 20 \text{ s} + 1/2 (-10 \text{ m/s}^2) \cdot 20^2 \text{ s}^2 = 2000 \text{ m}$$

Es decir, la nave *Discovery* recorre 2 km hasta que se detiene por completo.

- 6 Un tiesto cae sobre un viandante desde el balcón de un quinto piso, que está a 13 m. ¿De cuánto tiempo dispone esta persona para evitar el golpe, si su estatura

es de 1,75 m? (en su caída, el tiesto se acelera a razón de 9,8 m/s²).

Si consideramos el sistema centrado en la «víctima», entonces el tiesto se encuentra inicialmente a 11,25 m de su cabeza y se acerca a él con una aceleración de 9,8 m/s² sin velocidad inicial. Según el criterio de signos expuesto, la ecuación será:

$$y = y_0 - 1/2 g t^2$$

Cuando impacte contra el viandante, el valor de y será cero, y esto ocurrirá cuando t sea:

$$t = \sqrt{2 y_0 / g} = 1,5 \text{ s}$$

Ciertamente, debe tener muy buenos reflejos el viandante para esquivar el casi seguro «tiestazo».

- 7 Un ciclista desciende por una carretera recta boscosa a una velocidad de 54 km/h cuando observa una vaca cruzando la carretera a 25 m por delante de él. Si al aplicar ambos frenos logra una desaceleración de 5 m/s²:

a) ¿Cómo acaba la historia?

b) ¿Acabaría de igual manera si el ciclista tardara 0,7 s en reaccionar antes de aplicar los frenos?

- a) La velocidad inicial del ciclista es 15 m/s. Con ese valor de aceleración de frenado, el espacio que recorre hasta que se para viene dado por:

$$s = \frac{v_0^2}{2a} = 22,5 \text{ m}$$

En consecuencia, la historia acaba bien para el ciclista y la vaca.

- b) Sin embargo, si tarda 0,7 s en reaccionar, el espacio recorrido en esos 0,7 s con velocidad constante es de 10,5 m, que se sumarán a los 22,5 m que luego emplearía en frenar. Por tanto, el ciclista colisiona con la vaca, con peor suerte para el ciclista, sin duda.

- 8 En un campeonato de salto de palanca, uno de los participantes se deja caer a la piscina desde la postura inicial de pino. Si la plataforma está a 10 m de altura:

a) ¿De cuánto tiempo dispone para ejecutar sus piruetas?

b) ¿Con qué velocidad entrará en el agua?

- a) El saltador, desde su punto de vista, entrará en el agua cuando haya descendido o recorrido 10 m. La ecuación que él emplearía será:

$$y = 1/2 g t^2 \Rightarrow t = 1,4 \text{ s}$$

Entrará con una velocidad:

$$v = g t = 13,7 \text{ m/s}$$

Desde el punto de vista del jurado, las ecuaciones que se han de utilizar serían:

$$y = y_0 - 1/2 g t^2$$

Así, el saltador llegaría al agua cuando $y = 0$, lo que ocurriría a los 1,4 s.

- b) La velocidad con que entraría el saltador en el agua sería de $-13,7 \text{ m/s}$, donde el signo negativo indica que el saltador se mueve hacia el agua.

- 9 El *jet d'eau* (chorro de agua) que se muestra en la figura 10.17 alcanza una altura de 140 m. ¿Con qué veloci-

¿Cuánto tarda el agua saliente en alcanzar su máxima altura?

Dado que los 140 m es la máxima altura que puede alcanzar la fuente, y como:

$$y_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{2g}$$

se obtiene:

$$v_0 = 52,4 \text{ m/s}$$

Por otro lado, como la velocidad final del chorro es 0, tenemos todos los datos de la ecuación $v = v_0 - gt$, salvo el tiempo pedido, que se despeja sin dificultad: $t = 5,3 \text{ s}$

- 10** Indica cuáles serían las ecuaciones que describirían un lanzamiento vertical hacia abajo, según un observador situado en el suelo.

Desde el punto de vista de un observador situado en el suelo, la altura a la que se encuentra el cuerpo que se lanzó desde una altura inicial y_0 es:

- Ecuación de posición (altura desde el suelo):

$$y = y_0 - v_0 t - 1/2 gt^2$$

- Ecuación de velocidad: $v = -v_0 - gt$

- 11** Si das una patada a un balón a 1 m de altura del suelo, sale despedido verticalmente. Al cabo de 5 s, el balón llega al suelo. Calcula:

- ¿Cuál fue la velocidad con qué salió disparado el balón?
 - ¿Hasta qué altura ascendió?
 - ¿Al cabo de cuánto tiempo volvió a pasar por la altura inicial de 1 m?
- a) Al cabo de 5 s, el balón llega al suelo, momento en que su altura es cero:

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} gt^2 = 0$$

Por consiguiente:

$$v_0 = \frac{\frac{1}{2} gt^2 - y_0}{t} = 24,3 \text{ m/s}$$

- b) La altura a la que asciende vendrá determinada por el momento en que la velocidad se haga cero:

Por tanto, el tiempo en que $v = 0$ es $t = v_0/g = 2,5 \text{ s}$, que, sustituido en la ecuación de la altura, nos dará la altura máxima a la que asciende:

$$y_{\text{máx}} = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} gt^2 = 31,1 \text{ m}$$

- c) Salvo para el único punto en el que la altura es máxima, en los demás hay dos valores de tiempo que satisfacen la altura considerada. En el caso de $y = 1$ (altura inicial), un valor es, obviamente, $t = 0$, y el otro lo obtendremos a partir de la ecuación de altura, haciendo $y = 1 \text{ m}$:

$$1 = 1 + v_0 t - \frac{1}{2} gt^2 \Rightarrow t = 2 \frac{v_0}{g} = 4,9 \text{ s}$$

- 12** Una pelota de tenis es sacada horizontalmente desde 2,20 m de altura a una velocidad de 140 km/h. ¿A qué dis-

tancia horizontal caerá? ¿Qué velocidad llevará al tocar el suelo?

El tiempo que tarda en llegar al suelo es el mismo que tardaría en caída libre:

$$y = y_0 - 1/2 gt^2 = 0 \Rightarrow t = 0,67 \text{ s}$$

Por tanto, la distancia horizontal a la que caerá será:

$$x = v_0 t = 26,0 \text{ m}$$

La velocidad que llevará al llegar al suelo tiene dos componentes:

$$v_x = v_0 = 38,9 \text{ m/s} \text{ y } v_y = -gt = -6,5 \text{ m/s}$$

Es decir, $\vec{v} = 38,9\vec{i} - 6,5\vec{j} \text{ m/s}$, cuyo valor es:

$$v = 39,4 \text{ m/s}$$

- 13** Deduce la ecuación de la trayectoria del saltador de longitud que relaciona x con y . Comprueba que se trata de la ecuación de una parábola y emplea el mismo procedimiento que se desarrolló en la aplicación del lanzamiento horizontal.

Las expresiones de partida son las señaladas en el texto, es decir:

$$x = v_0 \cos \alpha t$$

$$y = v_0 \sin \alpha t - 1/2 gt^2$$

Despejando t en la primera y sustituyéndolo en la segunda, se obtiene:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{1/2 gx^2}{(v_0 \cos \alpha)^2}$$

que es la ecuación de una parábola.

- 14** A partir de la ecuación de la altura en el movimiento parabólico, despeja el tiempo t y trata de analizar a continuación el significado que encierra la expresión obtenida. Por ejemplo:

- ¿Qué significado tiene el doble signo que se obtiene?
- ¿Cuándo es única la solución del tiempo? ¿Qué valor tiene?
- ¿A qué punto corresponde dicha solución única del tiempo? ¿Cuánto vale la altura en ese punto?

Esta actividad es muy recomendable como ejercicio físico-matemático para que los alumnos entiendan la información que puede encerrar una expresión matemática. Si despejamos el tiempo en la ecuación de posición del lanzamiento vertical desde el suelo, se obtiene:

$$t = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^2 - 2gy}}{g}$$

- El doble signo nos indica que para cada valor de altura y se obtienen dos valores de tiempo. Es decir, el cuerpo pasa dos veces (ascenso y descenso) por la misma altura.
- y c) Sin embargo, solo se obtiene un valor de tiempo cuando la raíz se hace cero, hecho que sucede cuando

$$y = \frac{v_0^2}{2g}$$

Que es, justamente, la altura máxima. A su vez, el tiempo correspondiente a esta altura resulta ser:

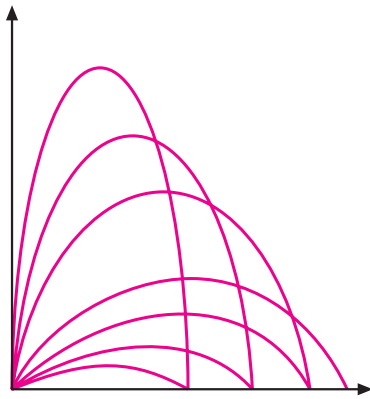
$$t = \frac{v_0}{g}$$

Se obtiene toda la información de un lanzamiento vertical desde el suelo a partir de una sola expresión.

- 15 ¿Con qué ángulo de despegue se consigue el mayor alcance en un movimiento parabólico si los demás factores se mantienen iguales?

A partir de la expresión del alcance máximo, observamos que, a igualdad de los demás factores, este se produce con un ángulo de 45° , puesto que en ese caso $\sin 2\alpha = 1$, máximo valor que puede tomar el seno de un ángulo.

- 16 Comprueba, a partir de la expresión del alcance máximo, cómo puede lograrse un mismo alcance con dos ángulos distintos. Supón que los demás factores permanecen fijos (figura 10.26). ¿Qué relación guardan esas parejas de ángulos?



Las parejas cuyos valores son $\alpha = 45^\circ \pm x$ tienen igual valor de $\sin 2\alpha$. Así, por ejemplo, se consigue el mismo alcance con un ángulo de 30° que con un ángulo de 60° (en este caso, $\alpha = 45^\circ \pm 15^\circ$).

- 17 Para superar los 2,30 m de altura, un atleta salta con una velocidad de 5,1 m/s y un ángulo de 75° . Si su centro de gravedad está a 1,1 m del suelo, ¿se dan las condiciones para que pueda batir la marca?

Teniendo en cuenta que se parte de una altura inicial de 1,1 m:

$$y_{\text{máx}} = y_0 + \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Sustituyendo:

$$y_{\text{máx}} = 1,1 + \frac{5,1^2 \sin^2 75}{2 \cdot 9,8} = 2,33 \text{ m}$$

Si el saltador, además de elevar su centro de gravedad a esa altura, no tropieza en su caída, tendremos que felicitarlo puesto que supera los 2,30 m anhelados.

- 18 Siguiendo un procedimiento similar al expuesto en el texto, deduce una expresión para la altura máxima suponiendo que el movimiento parabólico parte desde una altura inicial y_0 .

En la máxima altura, la velocidad se hace instantáneamente cero, lo que permite obtener el tiempo transcurrido hasta que eso sucede: $v = v_0 - gt = 0 \Rightarrow t_{y_{\text{máx}}} = 2,2 \text{ s}$

que sustituido en la expresión de altura considerada anteriormente, conduce a un valor de altura máxima:

$$y = 25,4 \text{ m.}$$

- 19 Un cuerpo recorre 4 m cada segundo por la periferia de una pista circular de 5 m de radio. ¿Cuál es su velocidad angular en rad/s? Escribe la expresión de su vector de posición al cabo de 3 s.

El ángulo descrito, en radianes, es de $4/5 = 0,8 \text{ rad}$. Dado que ese es el ángulo que se describe cada segundo, su velocidad angular es de $0,8 \text{ rad/s}$.

Al cabo de 3 s, el ángulo descrito es de $2,4 \text{ rad}$, por lo que su vector de posición será:

$$\vec{r} = 5 \cos 2,4 \vec{i} + 5 \sin 2,4 \vec{j} \text{ m}$$

O bien:

$$\vec{r} = -3,68 \vec{i} + 3,37 \vec{j} \text{ m}$$

- 20 La Tierra completa una vuelta alrededor del Sol en 365 días. Si la distancia media al Sol es de 149 600 000 km, calcula la velocidad angular orbital de la Tierra y su velocidad lineal.

La velocidad angular orbital de la Tierra alrededor del Sol es:

$$\omega = 2\pi/T = 2 \cdot 10^{-7} \text{ rad/s}$$

El valor de su velocidad lineal será:

$$v = \omega r = 29920 \text{ m/s}$$

Así pues, nuestra nave Tierra nos lleva en su viaje alrededor del Sol a la nada despreciable velocidad de casi 30 000 m/s.

- 21 Dos cuerpos, A y B, parten del mismo punto y se mueven por la periferia de una pista circular de 20 m de radio, pero en sentidos opuestos. El cuerpo A se mueve en sentido horario a 5 rpm y el B inicia su movimiento 0,5 s después, en sentido antihorario y con una velocidad angular de 8 rpm. Determina:

- El ángulo descrito por el cuerpo A hasta el momento en que ambos se cruzan.
- El tiempo que tardan en cruzarse desde que salió A.
- El espacio recorrido por cada uno de los cuerpos hasta el punto de encuentro.

Las ecuaciones correspondientes a los cuerpos A y B pueden escribirse de la siguiente manera:

$$\theta = \omega_A t$$

$$2\pi - \theta = \omega_B (t - 0,5)$$

Donde θ es el ángulo descrito por el cuerpo A. Resolviendo el tiempo en el sistema de ecuaciones (o, indistintamente del orden, el ángulo θ), se obtienen como soluciones:

$$t = 4,92 \text{ s}$$

$$\theta = 2,57 \text{ rad}$$

Se ha operado con las velocidades angulares en rad/s.

- c) El espacio recorrido por cada uno de los cuerpos viene dado por:

$$s_A = \theta \cdot r = 51,4 \text{ m}$$

$$s_B = (2\pi - \theta) \cdot r = 74,3 \text{ m}$$

- 22 Sabiendo que la Luna completa su órbita alrededor de la Tierra en 27,32 días (período sidéreo) y que su distancia media es de 384 000 km, ¿cuál es la aceleración centrípeta (gravitacional) que actúa sobre la órbita de este satélite?

Si expresamos el período sidéreo en segundos, y la distancia media en m, obtenemos:

$$T = 2360448 \text{ s} ; r = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$$

Por aplicación de la ecuación de la aceleración centrípeta en el movimiento circular uniforme:

$$a_c = \frac{4\pi^2}{T^2} r = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

Comentario de interés. Este cálculo llevó a Isaac Newton a pensar que la fuerza gravitacional decrecía conforme al inverso del cuadrado de la distancia. La razón es que la distancia media a la Luna es 60 veces mayor que el radio terrestre, mientras que la aceleración centrípeta de la Luna, dirigida hacia la Tierra, es 1/3 600 veces la aceleración en la superficie terrestre.

23 Un disco accionado por una taladradora gira a 18 000 rpm. Cuando esta deja de accionarse, el disco se detiene después de haber completado 100 vueltas. Determina:

- La aceleración angular de frenado.
- El tiempo que tarda el disco en detenerse.
- A partir de la expresión $\omega^2 = \omega_0^2 \pm 2\alpha\theta$, y considerando que la velocidad angular final es cero y el ángulo correspondiente a 100 vueltas es 200π rad, se obtiene despejando:

$$\alpha = -900 \pi \text{ rad/s}^2$$

- El tiempo que tarda en detenerse viene dado por:

$$t = \frac{\omega_0}{\alpha} = 0,6 \text{ s}$$

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 258)

Análisis

- 1 Si la velocidad récord fue de Mach 1,25, teniendo en cuenta los valores mostrados en el texto, deduce la velocidad del sonido a la altura a la que se produjo el récord.

Como se indica en el texto, la velocidad máxima alcanzada fue de 1357,6 km/h, que corresponde a 377,11 m/s. Dado que esa velocidad corresponde a 1,25 veces la del sonido a esa altura, entonces la velocidad del sonido resulta ser de 301,7 m/s, en consonancia con el hecho de que el aire es menos denso a esa altitud.

- 2 A la vista de la gráfica de la figura 10.36, ¿durante cuánto tiempo superó Félix Baumgartner la velocidad del sonido?

Según los datos que aparecen en el texto y se representan en la figura, Félix superó la barrera del sonido desde el segundo 34 hasta el segundo 64. es decir, durante 30 s.

- 3 ¿Por qué crees que disminuye la velocidad de caída a partir de cierto tiempo?

Alcanzada una velocidad límite, la densidad del aire aumenta a medida que la altitud disminuye, por lo que aumenta también la fuerza de fricción, disminuyendo ligeramente la velocidad de descenso.

Propuesta de investigación

- 4 Busca información sobre la dependencia de la velocidad del sonido con la temperatura en un gas, y trata de relacionarla con la curva de temperatura en las distintas capas atmosféricas.

La velocidad del sonido en un gas se relaciona con la temperatura de éste según:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$$

donde γ es el coeficiente adiabático del gas, R la constante de Boltzmann, T la temperatura y M la masa molar del gas. Los alumnos deben buscar cómo varía la temperatura en las capas atmosféricas hasta 39000 m de altura y relacionar esa variación con la variación de la velocidad del sonido.

No obstante, debe tenerse en cuenta que solo se obtendrá una mera aproximación, pues estamos considerando constantes los valores de γ y M .

Vídeo:
FÉLIX BAUMGARTNER

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 259)

Cuestiones

Debemos tener presente que en el caso de una esfera que rueda por un plano inclinado, la velocidad al final del plano viene dada por la expresión:

$$v = \sqrt{\frac{10}{7} g h}$$

Con este valor de velocidad teórica, los alumnos obtendrán un menor error en sus medidas experimentales.

- 1 Compara las velocidades obtenidas con las calculadas teóricamente y analiza qué factores pueden influir en la diferencia de valores.

En el cálculo teórico puede afinarse más si tenemos presente que la bola rueda en lugar de deslizarse, por lo que su velocidad al final del plano vendría dada por la expresión

$v = \sqrt{\frac{10}{7} g h}$. El alumnado debe analizar cuáles son los factores que pueden influir en la diferencia de valores, como por ejemplo: fricción, pequeño bote de la bola al llegar a la base del plano, de modo que el despegue no es exactamente horizontal, etc.

- 2 Determina los errores absoluto y relativo en cada una de las medidas de velocidad y extrae conclusiones acerca de la validez de la suposición de la composición de movimientos.

Los alumnos deben estimar los errores absoluto y relativo de cada una de las medidas.

- 3 Elabora un informe de la práctica.

Los alumnos deben elaborar el informe siguiendo el protocolo de una publicación científica.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 262/265)

Gráficas de movimientos en una dimensión

- 1 ¿Qué representa el área encerrada bajo una gráfica velocidad-tiempo? ¿Por qué?

Representa el desplazamiento efectuado; tal como se ve en la figura 10.6 (página 241).

- 2 ¿Qué representa la pendiente de la gráfica posición-tiempo de un movimiento con velocidad constante?

La pendiente representa la velocidad.

- 3 ¿Qué representa el área encerrada bajo una gráfica aceleración-tiempo?

- El espacio recorrido.
- La velocidad.
- La variación de la velocidad.

La respuesta correcta es la c).

- 4 ¿Cómo determinarías la velocidad en cada instante a partir de la gráfica posición-tiempo de un movimiento rectilíneo con aceleración constante?

Determinando (matemáticamente o por métodos gráficos) la pendiente de la recta tangente a la gráfica en ese instante.

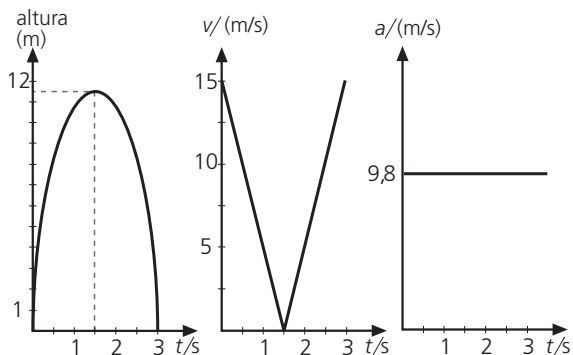
- 5 Un cuerpo es lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 15 m/s. Representa sus gráficas de movimiento (en las gráficas posición-tiempo y velocidad-tiempo, especifica al menos los tres puntos característicos: salida, altura máxima y aterrizaje).

$$\text{La máxima altura es: } y_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{2g} = 11,5 \text{ m}$$

$$\text{El tiempo que tarda en llegar a esa altura es: } t = \frac{v_0}{g} = 1,5 \text{ s}$$

El tiempo total de vuelo es 3,0 s.

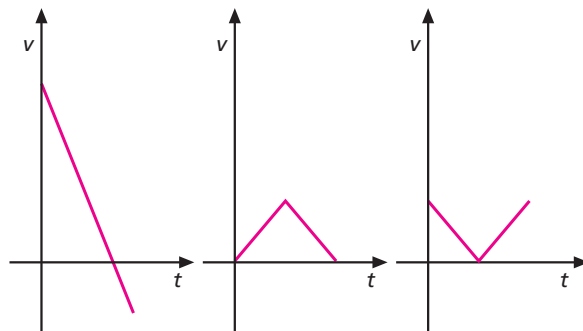
Así, las gráficas son:



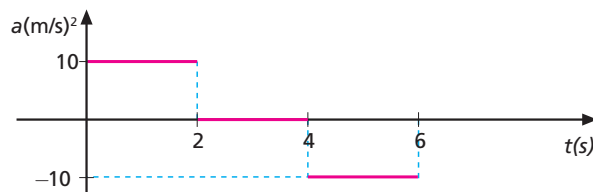
- 6 ¿Cuál de las siguientes gráficas puede representar mejor el módulo de la velocidad de una piedra que se lanza verticalmente hacia arriba y cae cuando alcanza su altura máxima?

Teniendo en cuenta que las gráficas representan el módulo de la velocidad, la correcta es la tercera. Sin embargo, es conveniente recalcar a la hora de resolver esta cuestión que, si lo que se representa es el «vector velocidad», la gráfica no

sería ascendente a partir del valor cero de velocidad (altura máxima), sino que seguiría en línea recta tomando valores negativos. Debemos recordar que los valores negativos solo indican sentido, pues el módulo es positivo por definición.



- 7 Una partícula inicialmente en reposo es sometida a las aceleraciones que se muestran en la figura:



Dibuja las gráficas s-t y v-t.

Calcula el espacio máximo recorrido a los 6 s.

Entre 0 s y 2 s:

- $v_1 = a_1 t = 20 \text{ m/s}$
- $s_1 = 1/2 a_1 t^2 = 20 \text{ m}$

Entre 2 s y 4 s:

- v permanece constante.
- $s_2 = vt = 40 \text{ m}$

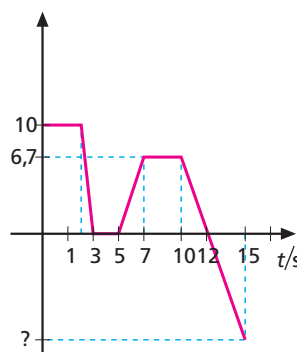
Entre 4 s y 6 s:

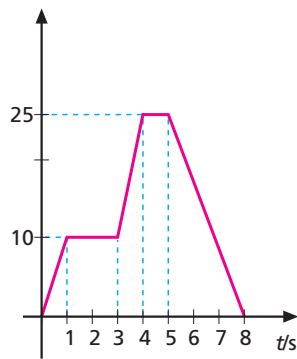
- $v_f = v_1 - a_2 t = 0 \text{ m/s}$
- $s_3 = v_1 t - 1/2 a_2 t^2 = 20 \text{ m}$

Así pues, el espacio total recorrido es de 80 m.

- 8 Interpreta las gráficas siguientes y calcula la velocidad, el espacio y la aceleración en cada etapa, así como el espacio total recorrido. Representa la correspondiente gráfica de aceleración en cada caso:

a) $v/(m/s)$



b) $v/(m/s)$ 

Para resolver el problema gráfico, debemos tener en cuenta únicamente que en aquellos tramos en que la gráfica $v-t$ es una recta horizontal, las expresiones que hay que usar son las de un MRU; en los tramos en los que la gráfica muestra pendiente deben emplearse las expresiones del MRUA.

Movimientos en una dimensión

- 9 Un movimiento que transcurre con velocidad constante puede ser:

- Solamente rectilíneo uniforme.
- Rectilíneo uniforme o circular uniforme.

Razona la respuesta.

La respuesta correcta es la a). En el movimiento circular uniforme hay aceleración centrípeta.

- 10 Las ecuaciones del movimiento tienen que ser congruentes con los resultados físicos. Si es así, las ecuaciones del movimiento rectilíneo con aceleración constante, llevadas al caso en que $a = 0$, deben dar lugar a las ecuaciones del movimiento con velocidad constante. Demuéstralo.

Si en las ecuaciones del movimiento rectilíneo con aceleración constante hacemos $a = 0$, obtendremos las ecuaciones del movimiento rectilíneo uniforme: $v = v_0 \pm at$

Si $a = 0$, entonces $v = v_0$.

Es decir, la velocidad será constante e igual al valor inicial.

Por otra parte: $x = x_0 \pm v_0 t \pm 1/2 at^2$

Si $a = 0$, entonces: $x = x_0 \pm v_0 t$

que es la ecuación de posición en un movimiento rectilíneo y uniforme.

- 11 Un protón con una velocidad inicial de $2,3 \cdot 10^7$ m/s entra en una zona donde sufre una aceleración contraria constante de $1,3 \cdot 10^{15}$ m/s². ¿Qué distancia recorre hasta que se detiene?

El espacio recorrido por el protón hasta que su velocidad final sea cero, viene dado por la expresión:

$$x = v_0^2 / 2a$$

Sustituyendo los valores, se obtiene: $x = 20,3$ cm

- 12 Una persona está a punto de perder su tren. En un desesperado intento por alcanzarlo, corre a una velocidad constante de 6 m/s. Cuando está a 32 m del vagón de cola, el tren arranca con una aceleración constante de 0,5 m/s². ¿Logrará el viajero coger el tren o lo perderá?

Mientras el tren recorre una distancia x , el viajero debe recorrer la distancia $32 + x$. El movimiento del tren es acelerado

partiendo del reposo, y el del viajero es con velocidad constante. Así pues, sus ecuaciones de posición en función del tiempo son:

■ Para el tren: $x = 1/2 at^2$

■ Para el viajero: $32 + x = vt$

Sustituyendo, obtenemos $32 + 1/2 at^2 = vt$.

Las soluciones de t obtenidas son 8 s y 16 s. Por tanto, logrará dar alcance al tren a los 8 s.

Movimientos acelerados en la naturaleza

- 13 Tres objetos, A, B y C, cuyas masas valen 10, 3 y 5 kg, respectivamente, son lanzados verticalmente hacia arriba con la misma velocidad. Ordénalos según la altura alcanzada.

Los tres alcanzan la misma altura, ya que la altura máxima no depende de la masa.

- 14 Tres objetos, A, B y C, cuyas masas valen 10, 3 y 5 kg, respectivamente, son lanzados verticalmente hacia abajo desde cierta altura con la misma velocidad. Ordénalos según su llegada al suelo.

Los tres llegan al suelo con la misma velocidad, puesto que son lanzados con la misma velocidad y desde la misma altura.

- 15 ¿Ha aparecido la masa en alguna de las ecuaciones de los movimientos acelerados en la superficie terrestre? Razona la respuesta.

No ha aparecido la masa, pues la aceleración de la gravedad es la misma independientemente de la masa del cuerpo en movimiento.

- 16 ¿Cómo quedaría la expresión $v^2 = v_0^2 \pm 2a(x - x_0)$ en un caso de caída libre?

En el movimiento de ascenso, tanto el peso como la fuerza de fricción se oponen al movimiento, por lo que la «deceleración» contraria al ascenso es mayor. En consecuencia, tarda menos en ascender hasta la máxima altura que luego en descender desde la altura máxima hasta el suelo; en este caso, la aceleración de descenso es la resultante de g menos la deceleración causada por la fricción.

Como la aceleración de descenso es menor que g , el valor de su velocidad al llegar al suelo será menor que la velocidad con que se lanzó.

- 17 Una persona situada a cierta altura sobre el suelo tira una pelota hacia arriba con una velocidad v_0 y, después, arroja otra hacia abajo con una velocidad $-v_0$. ¿Cuál de las dos pelotas tendrá mayor velocidad al llegar al suelo?

Las dos llegarán al suelo con la misma velocidad. Para demostrarlo, basta con comprobar que la velocidad de la pelota que se ha tirado hacia arriba es igual a $-v_0$ cuando vuelve a pasar por el punto de lanzamiento. Dado que el tiempo que emplea desde que sale hasta que vuelve a pasar por el punto de lanzamiento es $t = 2 v_0/g$, su velocidad en ese instante será:

$$v = v_0 - gt = v_0 - g(2 v_0/g) = v_0 - 2 v_0 = -v_0$$

Por tanto, dado que ambas pelotas tienen la misma velocidad descendente en el mismo punto, llegarán al suelo con la misma velocidad.

- 18 Trata de razonar cómo afectaría la resistencia del aire a un lanzamiento vertical hacia arriba. ¿Tardaría el objeto lanzado más, menos o el mismo tiempo en ascender que en descender? La velocidad con que llegaría al suelo, ¿sería mayor, menor o igual que la del lanzamiento? Demuéstralo.

En el movimiento de ascenso, tanto el peso como la fuerza de fricción se oponen al movimiento, por lo que la «deceleración» contraria al ascenso es mayor. En consecuencia, tarda menos en ascender hasta la máxima altura que luego en descender desde la altura máxima hasta el suelo; en este caso, la aceleración de descenso es la resultante de g menos la deceleración causada por la fricción.

Como la aceleración de descenso es menor que g , el valor de su velocidad al llegar al suelo será menor que la velocidad con que se lanzó.

- 19 ¿Cuál es la profundidad de un pozo si el impacto de una piedra se escucha al cabo de 1,5 s después de haberla dejado caer? Dato: $v_{\text{sonido}} = 340 \text{ m/s}$.

Debemos distinguir dos movimientos en el problema: la caída de la piedra, que tarda un tiempo t en llegar al fondo, y el movimiento de propagación ascendente del sonido (uniforme), que tarda un tiempo t' en llegar a nuestros oídos, recorriendo para ello la misma distancia, h (profundidad del pozo). Es decir:

$$t + t' = 1,5 \text{ s}$$

Altura descendida por la piedra: $h = 1/2 gt^2$ (caída libre).

Altura ascendida por el sonido: $h = v_{\text{son}} t'$ (MRU).

Como ambas alturas son iguales, entonces:

$$v_{\text{son}} t' = 1/2 gt^2$$

Teniendo presente la relación entre ambos tiempos, podemos escribir:

$$v_{\text{son}} (1,5 - t) = 1/2 gt^2$$

Resolviendo t , se obtiene:

$$t = 1,47 \text{ s}$$

Llevando este valor a la ecuación de altura, obtenemos la profundidad del pozo:

$$h = 10,58 \text{ m}$$

- 20 Observa la siguiente contradicción: un cuerpo lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 20 m/s se encontrará a 15 m al cabo de 3 s (compruébalo considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$). Si ahora deseamos que alcance la misma altura, pero en la mitad de tiempo, nuestro sentido común nos dirá que lo lancemos con mayor velocidad. Calcula cuál debe ser esa velocidad. ¿No te sugiere el resultado obtenido que «quien va despacio llega lejos»? ¿Nos engañan las ecuaciones?

Efectivamente, la velocidad así calculada sería de 17,5 m/s. Sin embargo, si ahora nos planteamos el problema a la inversa, es decir, si calculamos los tiempos correspondientes a una altura de 15 m para los valores de velocidad dados, descubriremos la «trampa» de la pregunta.

Si en la ecuación $y = v_0 t - 1/2 gt^2$ introducimos ahora la altura de 15 m y si calculamos los tiempos usando las velocidades iniciales de 20 m/s y 17,5 m/s, obtenemos:

$$\text{para } v_0 = 20 \text{ m/s} \Rightarrow t_1 = 1 \text{ s}; t_2 = 3 \text{ s}$$

$$\text{para } v_0 = 17,5 \text{ m/s} \Rightarrow t_1 = 1,5 \text{ s}; t_2 = 2 \text{ s}$$

¡Ahora todo encaja! En el primer caso, se había elegido el tiempo que pasa por esa altura, pero en descenso. Sin embargo, en el ascenso pasa por esa altura al cabo de 1 s, es decir, tarda menos en llegar a la misma altura al ser lanzado con mayor velocidad.

- 21 Desde igual altura y al mismo tiempo, se lanzan dos objetos con idéntica velocidad inicial: uno hacia arriba y otro hacia abajo. Si el primero tarda 5 s más en llegar al suelo, ¿con qué velocidad fueron lanzados?

Si los dos objetos tienen el mismo valor de velocidad inicial en el punto de partida y el primero cae 5 s después que el segundo, entonces el primero ha tardado 5 s en completar el movimiento de ascenso y descenso hasta volver a pasar por el punto de partida, ya que en este momento tendrá la misma velocidad que el que se lanzó hacia abajo. Por tanto, si consideramos únicamente ese tramo de ascenso-descenso, y dado que el tiempo total que tarda en completarlo es de 5 s, resulta:

$$t = \frac{2v_0}{g} = 5 \text{ s}$$

de donde se obtiene que:

$$v_0 = 24,5 \text{ m/s}$$

- 22 Si lanzas una pelota verticalmente hacia arriba estando tu mano a 1,4 m de altura en el instante en que la pelota despega, y cae al suelo al cabo de 4,5 s:

a) ¿Qué velocidad comunicaste a la pelota?

b) ¿A qué altura ascendió?

a) Una vez que cae al suelo, su altura es cero. Dado que se trata de un problema de lanzamiento vertical desde una altura inicial, usamos las expresiones pertinentes de dicho movimiento. Haciendo cero la altura, obtenemos la velocidad inicial del lanzamiento:

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} gt^2 = 0$$

$$1,4 = v_0 \cdot 4,5 - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot 4,5^2 = 0$$

de donde se obtiene, despejando: $v_0 = 21,7 \text{ m/s}$

b) En la máxima altura, la velocidad se hace instantáneamente cero, lo que permite obtener el tiempo transcurrido hasta que eso sucede:

$$v = v_0 - gt = 0 \Rightarrow t_{y_{\text{máx}}} = 2,2 \text{ s}$$

que sustituido en la expresión de altura considerada anteriormente, conduce a un valor de altura máxima:

$$y_{\text{máx}} = 25,4 \text{ m}$$

- 23 Una bola se deja caer desde 10 m de altura y, tras rebotar en el suelo, asciende hasta 6,5 m. Determina con qué velocidad llega al suelo y con cuál sale tras el primer rebote.

De las ecuaciones generales del movimiento se obtiene que para una caída libre:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Sustituimos los datos:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 10} = 14 \text{ m/s}$$

Para el ascenso usamos la misma ecuación:

$$v' = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 6,5} = 11,3 \text{ m/s}$$

- 24** Un individuo situado a 60 m sobre el suelo ve subir (y pasar por delante de él) un cuerpo lanzado desde abajo, y 8 s después lo ve bajar. ¿Con qué velocidad fue lanzado?

Si consideramos el tramo de movimiento que transcurre desde que el cuerpo pasa en ascenso delante del individuo hasta que vuelve a pasar, pero en descenso, podemos calcular qué velocidad lleva en esa altura. Para ello, lo consideraremos como un lanzamiento vertical que tarda 8 s en volver a caer.

Como ese tiempo es:

$$t = \frac{2v}{g} \Rightarrow v = \frac{tg}{2} = 39,2 \text{ m/s}$$

Es decir, cuando alcanza los 60 m, tiene una velocidad de 39,2 m/s. Ello nos permite calcular la velocidad con que fue lanzado, usando la expresión:

$$v^2 = v_0^2 - 2gy \Rightarrow v_0^2 = v^2 + 2gy$$

Obtenemos, así: $v_0 = 52,08 \text{ m/s}$

- 25** Se lanza un objeto verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 20 m/s, y un segundo después se lanza otro con la misma velocidad inicial. ¿A qué altura se cruzarán y cuánto tiempo habrá transcurrido en ese instante desde que se lanzó el primero?

Si llamamos y a la altura a la que se cruzan, para el primer cuerpo:

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \Rightarrow y = 20t - \frac{1}{2} \cdot 9,8 t^2$$

Para el segundo cuerpo, la altura será, lógicamente, la misma pero el tiempo será de $t = 1$, luego:

$$y = 20(t - 1) - \frac{1}{2} \cdot 9,8 (t - 1)^2$$

Resolviendo el sistema formado por las dos ecuaciones obtenemos:

$$y = 19,2 \text{ m} ; t = 2,54 \text{ s}$$

- 26** Una pelota que se deja caer desde cierta altura, tarda 0,3 s en recorrer los 1,40 m de altura de una ventana. Si el alféizar de la ventana se encuentra a 10 m del suelo, ¿desde qué altura se dejó caer la pelota?

Como se aprecia en la figura, la altura h de la ventana es igual a la diferencia de las alturas de la pelota entre el extremo superior de la ventana (dintel) y el inferior (alféizar). Si la altura del edificio es y_0 entonces:

$$\begin{aligned} h &= y_1 - y_2 = \\ &= \left(y_0 - \frac{1}{2} g t_1^2 \right) - \left(y_0 - \frac{1}{2} g t_2^2 \right) \end{aligned}$$

Donde t_1 es el tiempo que tarda la pelota en llegar hasta el dintel de la ventana, mientras que t_2 es el tiempo que invierte en llegar hasta el alféizar. Teniendo en cuenta que

$$t_2 = t_1 + 0,3$$

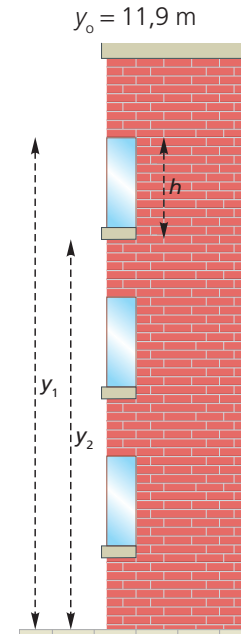
Y resolviendo la ecuación en función de t_1 se obtiene:

$$t_1 = 0,32 \text{ s}$$

En consecuencia, la altura desde el dintel hasta la cornisa del edificio será:

$$y_0 - y_1 = \frac{1}{2} g t_1^2 = 0,5 \text{ m}$$

Altura que debemos sumar a los 11,4 m que hay desde el suelo hasta el dintel. Por tanto, la altura del edificio hasta ese punto es:



Movimientos en dos dimensiones

- 27** Tres objetos, A, B y C, cuyas masas valen 10, 3 y 5 kg, respectivamente, son lanzados horizontalmente con la misma velocidad. Ordénalos según su alcance. Razona la respuesta.

Todos alcanzan la misma distancia horizontal, debido a que el alcance máximo no depende de la masa.

- 28** Siguiendo con la congruencia de las ecuaciones, demuestra que las expresiones que permiten calcular la altura máxima, el tiempo que tarda en alcanzar esa altura máxima y el tiempo de vuelo de un movimiento parabólico, coinciden con las de un lanzamiento vertical, si se considera un ángulo de 90° .

- a) La expresión de altura máxima en los movimientos parabólicos viene dada por:

$$y_{\text{máx}} = \frac{v_0^2 \text{ sen}^2 \alpha}{2g}$$

Si $\alpha = 90^\circ$, entonces $\text{sen}^2 \alpha = 1$, por lo que obtendríamos la expresión de máxima altura de un lanzamiento vertical, que es:

$$y_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{2g}$$

- b) El tiempo que se tarda en alcanzar la máxima altura, en un movimiento parabólico, viene dado por:

$$t = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \text{ sen } \alpha}{g}$$

Si el ángulo es de 90° , resulta la expresión correspondiente al lanzamiento vertical:

$$t = \frac{v_{0y}}{g}$$

- c) En el caso del tiempo que se tarda en llegar al suelo, ocurre exactamente lo mismo que en el caso **b)**, con la diferencia de que el tiempo de vuelo es el doble que el que se tarda en alcanzar la máxima altura.

- 29** Un objeto de 5 kg de masa se deja caer desde cierta altura. A la vez, y desde la misma altura, otros dos objetos, uno de 3 kg y otro de 10 kg, son lanzados en sentido horizontal con velocidades de 5 y 15 m/s, respectivamente. ¿Sabrías ordenar los cuerpos según su llegada al suelo?

El objetivo de esta cuestión es incidir en las consecuencias que se derivan de considerar los movimientos parabólicos (en este caso el lanzamiento horizontal) como una composición de movimientos. De la idea de la composición se desprende que el tiempo que tardan en llegar al suelo es el mismo, pues es el mismo que tardarían en llegar cayendo libremente (conviene ilustrar la cuestión haciendo referencia a la figura 10.23). Por tanto, los valores de masas o velocidades iniciales horizontales carecen de relevancia.

- 30** ¿Cómo podrías determinar la altura de un cerro disponiendo solo de un reloj y de las piedras del suelo?

Lanzaríamos la piedra horizontalmente, de modo que llegase hasta la base del cerro. Con el reloj cronometraríamos el tiempo de caída, que, por composición de movimientos, sería el mismo que el que invertiría en descender la altura del cerro en caída libre. De ese modo, la altura será:

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

- 31** ¿Con qué ángulo deberíamos despegar en un salto de longitud para que la altura y el alcance fuesen iguales?

Debe cumplirse que:

$$x_{\text{máx}} = y_{\text{máx}} \Rightarrow \frac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g}$$

De esta igualdad se desprende que:

$$2 \operatorname{sen} 2\alpha = \operatorname{sen}^2 \alpha$$

Desarrollándola obtendremos:

$$4 \operatorname{sen} \alpha \cdot \cos \alpha = \operatorname{sen}^2 \alpha$$

Esto nos conduce como solución a:

$$\operatorname{tg} \alpha = 4 \Rightarrow \alpha = 76^\circ$$

- 32** Si fueras entrenador de atletismo, y teniendo en cuenta que un mismo alcance se puede lograr con dos ángulos distintos, ¿cuál de los dos recomendarías a un saltador de longitud, el mayor o el menor? ¿Por qué?

El menor, ya que debemos tener en cuenta que la velocidad de despegue debe ser la misma. Sin embargo, es más fácil lograr una velocidad mayor con un ángulo de inclinación menor, pues su valor vendrá marcado fundamentalmente por la velocidad de carrera (v_{0x}), aspecto que nos es más fácil controlar. Por el contrario, si deseamos lograr esa misma velocidad de despegue con un ángulo mayor, debemos conseguir un gran impulso más vertical (aumentar v_{0y}), para lo que hemos de vencer nuestro propio peso.

- 33** ¿En qué punto de una trayectoria parabólica es menor la velocidad? ¿Por qué?

En el punto de altura máxima, pues en todos los puntos la velocidad resulta de componer la velocidad de avance (v_{0x} constante) con la velocidad de ascenso-descenso (v_{0y} variable).

Sin embargo, en el punto de máxima altura, la única componente que actúa es v_{0x} .

- 34** Un niño sentado en un vagón de tren que viaja a velocidad constante lanza una pelota hacia arriba. ¿Cuál de las escenas siguientes tendrá lugar?

a) La pelota caerá sobre los ocupantes del asiento de delante.

b) Golpeará en el periódico del viajero de atrás.

c) Volverá a caer en las manos del niño.

La opción correcta es la **c)**, pues la pelota, al ser lanzada, lleva la velocidad horizontal del tren. En consecuencia, su movimiento es la composición del movimiento de lanzamiento vertical y del movimiento del tren. Así pues, cuando caiga, habrá recorrido la misma distancia horizontal que el tren y el niño.

- 35** ¿Cómo podríamos calcular, sirviéndonos de una regla, la velocidad de caída (damos por supuesto que vertical) de las gotas de lluvia a partir del trazo oblicuo que dejan en las ventanillas laterales de un vehículo que se mueve con velocidad conocida?

El trazo oblicuo que dejan surge de componer la velocidad propia de caída y la velocidad de movimiento del vehículo.

Así pues, el trazo oblicuo es la hipotenusa de un triángulo rectángulo, cuyos catetos horizontal y vertical representan, respectivamente, la velocidad del coche y la velocidad de caída de la gota. De este modo, midiendo con la regla los trazos y los catetos, y conociendo la equivalencia entre la velocidad del coche y la longitud del cateto horizontal, es posible deducir a partir del valor del cateto vertical a qué velocidad corresponde.

- 36** ¿Qué velocidad comunica la pértiga a un saltador que bate una marca de 6,04 m si el ángulo de despegue es de 82° ?

La marca es la máxima altura que alcanza. Por tanto, a partir

de $y_{\text{máx}} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g}$ obtenemos que la velocidad que la

pértiga comunica al saltador, v_0 , es 10,98 m/s.

- 37** Un motorista pretende saltar una fila de camiones dispuestos a lo largo de 45 m. La rampa de despegue es de 20° , y quiere aterrizar en otra rampa similar de la misma altura. Si en el momento del despegue su velocímetro marcaba 90 km/h, ¿cuál es el futuro inmediato del intrépido motorista, la gloria o el hospital? Demuéstralo.

Si determinamos el alcance que logrará a partir de la expresión

$x_{\text{máx}} = \frac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g}$, vemos que aterrizará a 41 m, por

lo cual su futuro inmediato será el hospital.

- 38** Un experto lanzador «a balón parado» se dispone a ejecutar el saque de una falta desde una distancia de 20 m con respecto a la portería. La barrera de

jugadores contrarios está a 9 m y su altura media es de 1,80 m. La velocidad de salida del balón en dirección a la portería, que forma 15° con el suelo, es de 90 km/h. ¿Será gol? ¿Y si los jugadores de la barrera, temiendo el balonazo, se agachan?

- a) Con los datos ofrecidos, lo primero que debemos determinar es si al recorrer los 9 m que le separan de la barrera, el balón tendrá altura suficiente para superar la de los jugadores. Las componentes horizontal y vertical de la velocidad inicial, en m/s, son:

$$v_{0x} = 25 \cdot \cos 15^\circ = 24,15 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = 25 \cdot \sin 15^\circ = 6,47 \text{ m/s}$$

El tiempo que tarda el balón en recorrer la distancia de 9 m lo podemos deducir a partir de:

$$x = v_{0x} t \Rightarrow t = 0,37 \text{ s}$$

La altura que llevará el balón se calcula a partir de la expresión; en el tiempo indicado es de 1,72 m. Por tanto, no superará la barrera.

- b) Suponiendo que la barrera no ha servido para nada, podemos repetir el procedimiento, ahora en el caso en que $x = 20$ m. Obtenemos, de ese modo, que el tiempo que tardaría el balón en alcanzar la portería es de 0,83 s. Si calculamos la altura correspondiente a ese tiempo usando la expresión anterior, obtenemos que es de 1,99 m, es decir, por debajo del larguero. Por tanto, es gol.

- 39) Viajando en coche a 54 km/h, bajo un aguacero y en ausencia de viento, observamos que las gotas de lluvia dejan unas trazas de 4 cm de largo que forman un ángulo de 60° con la vertical en las ventanillas laterales. ¿Cuál es la velocidad de caída de las gotas de agua?

La componente horizontal del trazo, producida por el movimiento del coche, mide $4 \cdot \sin 60^\circ = 3,46$ cm, mientras que la componente vertical, que corresponde a la caída de la gota, mide $4 \cdot \cos 60^\circ = 2$ cm. Como el trazo de 3,46 cm corresponde a una velocidad de 54 km/h, por una simple proporcionalidad obtenemos la velocidad de caída de las gotas:

$$v_{\text{caída}} = \frac{54 \text{ km/h} \cdot 2 \text{ cm}}{3,46 \text{ cm}} = 31,17 \text{ km/h}$$

- 40) Una persona salta en caída libre desde un helicóptero que vuela a 90 km/h y a 30 m de altura. Debe caer sobre unas colchonetas a bordo de un barco que viaja a 54 km/h en su mismo sentido. ¿A qué distancia horizontal tendrá que estar el barco en el momento del salto? ¿Y si el barco y el helicóptero se mueven en sentidos opuestos?

La persona que salta está dotada de la velocidad del helicóptero y, por tanto, recorrerá la misma distancia horizontal que este en el mismo tiempo. Como la velocidad del barco es menor, mientras este recorre la distancia x , la persona (y el helicóptero) recorrerán la distancia horizontal $d + x$, donde d es la distancia que nos pide el problema. Por tanto, en el tiempo t :

■ Distancia recorrida por el barco: $x = v_{\text{barco}} t = 15t$

■ Distancia recorrida por la persona: $d + x = v_{\text{hel}} t = 25t$

Por consiguiente: $d + 15t = 25t$

Dado que el tiempo que tarda en caer al barco es el mismo que tardaría en caída libre:

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} = 2,47 \text{ s}$$

Sustituyendo este valor de tiempo, obtenemos que:

$$d = 24,74 \text{ m}$$

Si se mueven en sentidos opuestos el barco se debe encontrar a 98,8 m.

- 41) Una partícula, localizada inicialmente en el origen, tiene una aceleración de $3\vec{j} \text{ m/s}^2$ y una velocidad inicial de $5\vec{i} \text{ m/s}$.

a) ¿Qué tipo de movimiento describe?

b) Expresa los vectores de posición y velocidad en función del tiempo.

c) Calcula el desplazamiento y el módulo de su velocidad a los 2 s.

a) Es parabólico, pues a la velocidad inicial en la dirección X habrá que componer la velocidad en aumento que adquiere en la dirección Y , debido a la aceleración que actúa en dicha dirección.

b) Las componentes x e y del vector de posición vienen dadas, en función del tiempo, por:

$$x = v_{0x} t = 5t \text{ m}$$

$$y = \frac{1}{2} a t^2 = 1,5 t^2 \text{ m}$$

Por tanto, el vector de posición será:

$$\vec{r} = 5t\vec{i} + 1,5t^2\vec{j} \text{ m}$$

Derivando el vector de posición, obtenemos el vector velocidad:

$$\vec{v} = 5\vec{i} + 3t\vec{j} = \text{m/s}$$

c) El desplazamiento a los 2 s será:

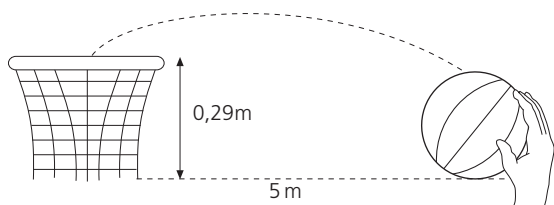
$$\Delta r = \vec{r}(2) - \vec{r}(0) = 10\vec{i} + 6\vec{j} \text{ m}$$

Su módulo es 11,66 m.

La velocidad de la partícula a los 2 s es $\vec{v} = 5\vec{i} + 6\vec{j} \text{ m/s}$ siendo su módulo igual a 7,81 m/s.

- 42) Dos equipos de baloncesto están empatados a puntos; instantes antes de que finalice el partido y, de repente, un jugador lanza el balón a canasta con una velocidad inicial de 8 m/s y formando un ángulo con la horizontal de 30° . La canasta está a 3 m de altura sobre un punto que dista del jugador 5 m. Indica si su equipo ha ganado el partido sabiendo que el jugador, con los brazos estirados, lanzó el balón desde una altura de 2,71 m.

El siguiente dibujo ilustra la situación descrita en el enunciado: la canasta queda 0,29 m por encima del punto de lanzamiento y a una distancia horizontal de 5 m. Por tanto, se trataría de determinar el tiempo que tarda en estar a 0,29 m de altura, pero en el movimiento de descenso de la parábola, que es como entran las canastas. Calculado dicho tiempo, hallaremos a qué distancia horizontal se encuentra la pelota en ese momento; si resulta ser de 5 m más o menos, se habrá hecho canasta.



$$y = v_{0y}t - 1/2 gt^2$$

$$0,29 = 8 \cdot \sin 30^\circ \cdot t - 4,9 t^2$$

Despejando t de descenso (el mayor de los valores), obtenemos $t = 0,73$ s. Calculando ahora la distancia horizontal:

$$x = v_{0x}t = 8 \cdot \cos 30^\circ \cdot 0,73 = 5,05 \text{ m}$$

Es decir... ¡canasta!

Movimientos circulares

- 43 Si la velocidad angular de un cuerpo que gira se triplica, ¿qué le ocurre a su aceleración centrípeta?

Se hace nueve veces mayor.

- 44 ¿Por qué los *sprinters* del ciclismo llevan un piñón muy pequeño, además de los habituales? Explica su fundamento físico.

La velocidad lineal a la que gira el piñón es la misma que la velocidad lineal a la que gira el plato grande que usan estos ciclistas, debido a que están unidos por la misma cadena. Sin embargo, el pequeño radio del piñón hace que gire a una gran velocidad angular, pues $\omega = v/r$. Como el movimiento de la rueda trasera está ligado al movimiento del piñón, conseguirán una gran velocidad.

- 45 Las ruedas traseras de un tractor son de mayor radio que las delanteras. Cuando el tractor está en movimiento, ¿cuáles tienen mayor velocidad lineal, mayor velocidad angular, mayor período y mayor frecuencia? Razona tus respuestas.

La velocidad lineal de ambas ruedas es la misma, pues ambas recorren, como es lógico, el mismo espacio en el movimiento conjunto del tractor. Sin embargo, de la igualdad $v = \omega r$ se desprende que la de menor radio (la pequeña o delantera) gira con mayor velocidad angular y da más vueltas para recorrer el mismo espacio. Por tanto, como: $T = 2\pi/\omega$ su período será menor y su frecuencia de giro mayor.

- 46 Un tractor tiene unas ruedas delanteras de 30 cm de radio y las traseras de 1 m. ¿Cuántas vueltas habrán dado las ruedas traseras cuando las delanteras hayan completado 15 vueltas?

Como la velocidad lineal a la que se desplazan ambas ruedas es la misma, se cumplirá que:

$$\omega_1 r = \omega_2 R$$

donde r y R son los radios de la rueda menor y mayor, respectivamente. La igualdad anterior puede expresarse en función del ángulo girado o número de vueltas, de modo que:

$$\frac{\theta_1 \cdot r}{t} = \frac{\theta_2 \cdot R}{t}$$

Por tanto:

$$\theta_2 = \frac{\theta_1 \cdot r}{R}$$

Al introducir los datos, se comprueba que las ruedas traseras han dado 4,5 vueltas.

- 47 Una cinta magnetofónica de 90 min de duración tiene al inicio una rueda libre cuyo radio es de 1,2 cm y otra que, con toda la cinta arrollada, tiene un radio de 2,5 cm. Al comenzar la audición, la rueda pequeña da 7 vueltas en 10 s.

- ¿Cuál es su velocidad angular?
 - ¿Y su velocidad lineal?
 - ¿Cuál es la velocidad angular de la rueda grande?
 - ¿Cuántas vueltas habrá dado en los 10 s iniciales?
 - ¿Qué magnitud permanece constante a lo largo de la audición?
 - ¿Cuánto mide una cinta de 90 m?
- a) La rueda pequeña da 0,7 vueltas cada segundo, por lo que su velocidad angular es:

$$\omega = 0,7 \cdot 2\pi = 4,39 \text{ rad/s}$$

- b) Su velocidad lineal es:

$$v = \omega r = 5,27 \text{ rad/s}$$

- c) Dado que la velocidad lineal de ambas ruedas es la misma, pues la cinta es inextensible:

$$\omega_1 r = \omega_2 R \Rightarrow \omega_2 = 2,11 \text{ rad/s}$$

- d) El ángulo que habrá girado dicha rueda en 10 s será:

$$\theta = \omega_2 t = 21,11 \text{ rad}$$

que corresponde a 3,35 vueltas.

- e) La magnitud cuyo valor permanece constante en el transcurso de la audición de la cinta es la velocidad lineal.
- f) En cuanto a lo que mide la cinta, hemos de tener en cuenta que cada cara dura 45 min, es decir, 2700 s. Puesto que la velocidad lineal es de 5,27 cm/s, la longitud total de la cinta será de:

$$l = vt = 142,3 \text{ m}$$

- 48 Una rueda de 0,5 m de radio gira con un período de 0,6 s. Determina la aceleración centrípeta de los puntos de su periferia.

Recordamos que la aceleración centrípeta $a_c = \frac{v^2}{R}$; por otro

lado, la velocidad angular, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ donde T es el período.

Por último, la velocidad lineal de cualquier punto en un movimiento circular es $v = \omega R$.

Con todos estos datos:

$$a_c = \frac{\left(\frac{2\pi}{T} \cdot R\right)^2}{R}$$

Sustituyendo obtenemos: $a_c = 54,8 \text{ m/s}^2$

- 49 Un ciclista marcha con su bicicleta de montaña, cuyas ruedas tienen un diámetro de 26 pulgadas, a una velocidad constante de 25 km/h.

- ¿Cuántas vueltas habrán dado sus ruedas en 15 min?
- ¿Cuál es el radio de dichas ruedas?

- c) ¿Qué velocidad angular llevan?
 d) ¿Cuál es su período y su frecuencia mientras giran de esa manera?

Dato: 1 pulgada = 2,54 cm

- a) Como una pulgada son 2,54 cm, el diámetro de la rueda es de 66,04 cm, por lo que la longitud de la rueda es de 207,5 cm o 2,075 m.

- b) Marchando a la velocidad dada de 6,94 m/s, la distancia recorrida por las ruedas al cabo de 15 min será de:

$$d = vt = 6250 \text{ m} = 6,25 \text{ km}$$

- c) Puesto que en cada vuelta las ruedas recorren 2,075 m, en esos 15 min habrán efectuado 3012,5 vueltas.

- d) El radio de las ruedas es de 33,02 cm, y su velocidad angular es:

$$\omega = \frac{v}{r} = 21,03 \text{ rad/s}$$

Por consiguiente, su período es:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,29 \text{ s}$$

Dado que la frecuencia es la inversa del período, su valor es $3,34 \text{ s}^{-1}$.

- 50 Por la periferia de una pista circular parten a la vez, del mismo punto y en direcciones opuestas, dos móviles con velocidades de 4 rpm y 1,5 rpm, respectivamente. ¿En qué punto se encontrarán y qué tiempo habrá transcurrido?

Al cabo de un tiempo, t , un móvil habrá descrito un ángulo θ , mientras que el otro habrá descrito un ángulo $2\pi - \theta$, por lo que:

$$\theta = \omega_1 t = 4(2\pi/60)t = (8\pi/60)t \text{ rad}$$

$$2\pi - \theta = 1,5(2\pi/60)t = (3\pi/60)t \text{ rad}$$

Sustituyendo la primera igualdad en la segunda, y despejando el tiempo, se obtiene:

$$t = 10,9 \text{ s}$$

Llevando este valor a la primera ecuación, observamos que el punto de encuentro es aquel en el que $\theta = 4,57 \text{ rad}$ o 262° .

- 51 Un cuerpo que describe círculos de 10 cm de radio está sometido a una aceleración centrípeta cuyo módulo constante en cm/s^2 es, numéricamente, el doble del módulo de su velocidad lineal expresada en cm/s . Determina los módulos, direcciones y sentidos de los vectores \vec{a}_c , \vec{v} y $\vec{\omega}$ y el número de vueltas que dará el móvil en 1 min.

La condición expuesta en el enunciado es que:

$$a_c = 2v \Rightarrow v = \frac{a_c}{2}$$

A su vez:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{a_c^2}{4r}$$

Por tanto:

$$a_c = 4r = 40 \text{ cm/s}^2$$

En consecuencia, $v = 20 \text{ cm/s}$.

Como $\omega = \frac{v}{r}$, entonces:

$$\omega = 2 \text{ rad/s}$$

A su vez, para calcular el número de vueltas que dará en 1 min, se halla el ángulo descrito:

$$\theta = \omega t = 120 \text{ rad} = 19 \text{ vueltas}$$

La \vec{a}_c está dirigida hacia el centro de la circunferencia, y \vec{v} tiene dirección tangencial, con sentido horario o antihorario. Si \vec{v} tiene sentido horario, $\vec{\omega}$ está dirigida perpendicularmente al plano del papel y hacia dentro; si \vec{v} tiene sentido antihorario, $\vec{\omega}$ tendrá dirección perpendicular al papel y sentido hacia fuera.

- 52 Una máquina de equilibrado de ruedas de coche hace que estas giren a 900 rpm. Cuando se desconecta, la rueda sigue girando durante medio minuto más, hasta que se para.

- a) ¿Cuál es la aceleración angular de frenado?
 b) ¿Qué velocidad angular tendrá la rueda a los 20 s de la desconexión?
 c) La velocidad angular inicial, expresada en rad/s , es de $30\pi \text{ rad/s}$. En el instante en que se para, la velocidad angular es cero, por lo que, procediendo de la misma manera que en el problema anterior, obtenemos:

$$\alpha = 3,14 \text{ rad/s}^2$$

- d) Conocida la aceleración angular de frenado, usamos la misma expresión para hallar la velocidad angular a los 20 s:

$$\omega = 31,4 \text{ rad/s}$$

- 53 Una pelota atada a una cuerda de 1 m de radio describe círculos con una frecuencia de 10 s^{-1} en un plano horizontal a una altura de 3 m sobre el suelo. Si en cierto instante se rompe la cuerda:

- a) ¿A qué distancia, medida desde la base vertical del punto de lanzamiento, aterriza la pelota?
 b) ¿Saldrá indemne un niño de 1,2 m de altura que observa el vuelo de la pelota 10 m antes del punto de aterrizaje en el plano de la trayectoria?

De los datos del problema parece fácil adivinar que el movimiento que animará la pelota, una vez rota la cuerda, es el de un tiro horizontal cuya v_{0x} será la velocidad lineal de la pelota en el instante de salir despedida. Puesto que conocemos la relación entre frecuencia y velocidad angular ($\omega = 2\pi\nu$) y, además, la relación entre velocidad angular y velocidad lineal ($v = \omega R$):

$$v_{0x} = 2\pi\nu R = 2 \cdot \pi \cdot 10 \text{ s}^{-1} \cdot 1 \text{ m} = 62,8 \text{ m/s}$$

Por otro lado, para el tratamiento de la componente vertical, aplicamos la ecuación de una caída libre y calculamos el tiempo que el objeto está cayendo:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0,78 \text{ s}$$

introduciendo este tiempo en la ecuación de la componente horizontal:

$$x = v_{0x}t = 62,8 \text{ m/s} \cdot 0,78 \text{ s} = 49 \text{ m}$$

Por otra parte, podemos calcular la altura a la que estará la pelota a los 10 m de la base de lanzamiento. Para ello, en la ecuación del movimiento horizontal calculamos el tiempo para $x = 10$ m y el resultado obtenido lo insertamos en la ecuación del movimiento vertical para hallar la altura. Lamentablemente, los 1,11 m del suelo que obtenemos garantizan que el niño acabará con un fuerte pelotazo.

- 54 Un disco de vinilo gira a 33 rpm. Al desconectar el tocadiscos, tarda 5 s en parar.

- a) ¿Cuál ha sido la aceleración angular de frenado?
b) ¿Cuántas vueltas ha dado hasta pararse?

Cuando se para, la velocidad angular será cero:

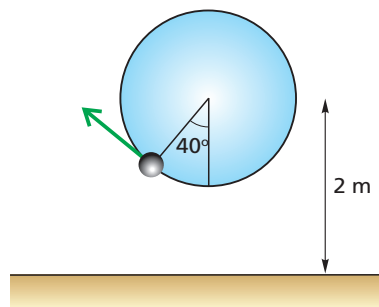
$$\omega = \omega_0 + \alpha t = 0 \Rightarrow \alpha = \frac{-\omega_0}{t} = -0,69 \text{ rad/s}^2$$

Para ello, hemos expresado previamente la velocidad angular inicial en rad/s, con lo que resulta 3,45 rad/s. Calculando ahora, a partir de la expresión, el ángulo que ha girado hasta pararse, determinamos el número de vueltas:

$$\theta = 8,6 \text{ rad} \Rightarrow 1,37 \text{ vueltas}$$

- 55 Un disco de 1 m de radio gira en un plano vertical a 300 rpm, estando su centro situado a 2 m de altura del suelo. En su periferia lleva adherida una pequeña bola de acero que se despegue y sale despedida justo cuando su radio forma 40° , después de sobrepasar la vertical inferior, como se indica en la figura. Determina:

- a) A qué distancia cae del suelo.
b) A qué altura máxima asciende.



- a) La velocidad angular de la pelota es de 10π rad/s, por lo que la velocidad inicial con que sale despedida ésta es igual a:

$$v_0 = \omega \cdot r = 31,4 \text{ m/s}$$

Cuyas componentes cartesianas, como se desprende de la geometría del problema, son:

$$v_{ox} = v_0 \cos 40 = 24,05 \text{ m/s}$$

$$v_{oy} = v_0 \sin 40 = 20,2 \text{ m/s}$$

Por otra parte, la altura inicial de la pelota en el momento en que sale disparada es:

$$y_0 = 2 - 1 \cdot \cos 40 = 1,23 \text{ m}$$

Por tanto, a partir de la ruptura de la cuerda, tenemos un problema de movimiento parabólico desde esa altura inicial, siendo su ecuación de altura:

$$y = y_0 + v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$$

La distancia a la que cae al suelo corresponde al momento en que $y = 0$. Igualando la anterior ecuación a cero y despejando el tiempo, se obtiene:

$$t = 4,18 \text{ s}$$

Por lo que el alcance, desde el punto de salida de la pelota es de:

$$x = v_{ox}t = 100,5 \text{ m}$$

- b) La altura máxima a la que asciende corresponde al momento en que $v_y = 0$. Puesto que:

$$v_y = v_{oy} - gt = 0$$

esto sucede cuando $t = 2,06$ s

Sustituyendo este tiempo en la ecuación de altura

$$y = y_0 + v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$$

se obtiene que:

$$y_m = 22 \text{ m}$$

- 56 El vector de posición de un cuerpo que se mueve con movimiento circular uniforme viene dado por la ecuación:

$$\vec{r} = 4 \cos(0,5 + 3t)\vec{i} + 4 \sin(0,5 + 3t)\vec{j} \text{ m}$$

Determina:

- a) El radio de la circunferencia.
b) La posición angular inicial θ_0 en radianes.
c) El vector de posición inicial. Demuestra que su módulo es el radio de la circunferencia.
d) La velocidad angular, así como el período y la frecuencia.
e) El vector velocidad en función del tiempo y su módulo.
f) Con los datos de los apartados a), d) y e), verifica que se cumple la relación $v = \omega r$.

El argumento del seno y del coseno es el ángulo o posición angular en radianes del cuerpo. es decir:

$$\theta = \theta_0 + \omega t \cdot r = 0,5 + 3t$$

- a) La ecuación de una circunferencia es $x^2 + y^2 = r^2$. En nuestro caso:

$$x^2 + y^2 = 16(\cos^2\theta + \sin^2\theta) = 16$$

En consecuencia, el radio es igual a 4 m.

- b) Por lectura directa a partir del argumento, el valor de la posición angular inicial (en $t=0$) es de 0,5 rad.
c) El vector de posición inicial viene dado por:

$$\vec{r} = 4 \cos 0,5 \vec{i} + 4 \sin 0,5 \vec{j} \text{ m}$$

cuyo módulo es justamente 4 m, que corresponde al radio de la circunferencia.

- d) La velocidad angular es el factor que multiplica al tiempo en el argumento de las razones trigonométricas, siendo:

$$\omega = 3 \text{ rad/s}$$

En consecuencia:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{3} \text{ s} \Rightarrow f = \frac{1}{T} = 0,48 \text{ s}^{-1}$$

- e) El vector velocidad se obtiene derivando el vector de posición. Por tanto:

$$\vec{v} = -12\text{sen}(0,5 + 3t)\vec{i} + 12\text{cos}(0,5 + 3t)\vec{j} \text{ m/s}$$

Cuyo módulo es $v = 12 \text{ m/s}$.

- f) Como se observa, se cumple que $v = \omega \cdot r$.

57 Un volante de 2 dm de diámetro gira en torno a su eje a 3000 rpm; un freno lo para a 20 s. Calcula:

- La aceleración angular.
 - El número de vueltas que da hasta pararse.
 - La aceleración normal y total de un punto de su periferia una vez que ha dado 100 vueltas.
- a) La velocidad angular inicial con la que gira el volante es de $100 \pi \text{ rad/s} = 314,16 \text{ rad/s}$.

Aplicando la expresión $\omega = \omega_0 + \alpha t$, y teniendo en cuenta que, cuando se para, $\omega = 0$, obtenemos:

$$a = -5\pi \text{ rad/s}^2$$

- Aplicando la expresión y dividiendo el resultado entre $2\pi \text{ rad/vuelta}$, comprobamos que el volante ha dado 500 vueltas hasta que se para.
- El ángulo descrito cuando se han efectuado 100 vueltas es de $200 \pi \text{ rad}$.

Empleando la expresión anterior, podemos calcular el tiempo empleado en describir dicho ángulo, que resulta ser de 2,11 s. La velocidad angular que lleva el volante en ese instante es de 281 rad/s, por lo que:

$$a_c = \omega^2 r = 7895,7 \text{ m/s}^2$$

Por su parte, la aceleración tangencial es:

$$a_t = \alpha r = 1,57 \text{ m/s}^2$$

De este modo la aceleración total resulta ser:

$$a = 7895,7 \text{ m/s}^2$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 267)

1. Dos vehículos, A y B, parten uno al encuentro del otro desde dos localidades que distan entre sí 400 km. El vehículo A viaja a 100 km/h y el B, que inicia el viaje un cuarto de hora después, lo hace a 120 km/h. ¿Cuánto tiempo pasa desde que parte A hasta que se produce el encuentro con B? ¿Qué distancia ha recorrido el vehículo A?

a) Tomando como origen del sistema de referencia la posición inicial de A, las ecuaciones de posición para ambos vehículos serán:

$$x_A = v_A t = 100t \text{ km}$$

$$x_B = x_{0B} - v_B t_b = 400 - 120 \left(t - \frac{1}{4} \right) = 430 - 120t \text{ km}$$

El encuentro se producirá cuando ambos estén en la misma posición, es decir, cuando $x_A = x_B$, por lo que:

$$100t = 430 - 120t$$

En consecuencia:

$$t = 1,95 \text{ h} = 117 \text{ min } 16 \text{ s}$$

Es decir, el encuentro se producirá al cabo de 117 min y 16 s contados desde que partió el vehículo A.

b) El espacio que recorre A será:

$$x_A = 100t = 195 \text{ km}$$

2. Un objeto se lanza verticalmente hacia arriba con una velocidad inicial de 20 m/s y 0,5 s. Después se deja caer otro desde 30 m de altura. ¿A qué altura se cruzarán ambos y cuánto tiempo habrá transcurrido en ese instante desde que se lanzó el primero?

Las correspondientes ecuaciones de altura para cada uno de ellos en el instante en que se cruzan ($y_1 = y_2 = y$) son:

$$y = v_o t - \frac{1}{2} g t^2; \quad y = y_o - \frac{1}{2} g (t - 0,5)^2$$

Igualando y resolviendo el tiempo, se obtiene:

$$t = 1,9 \text{ s}$$

Correspondiendo a una altura de:

$$y = 20,3 \text{ m}$$

3. El satélite de Júpiter lo órbita a una distancia de 422000 km del centro del planeta, con un período de 1,77 días. A partir de estos datos la velocidad lineal en m/s y la velocidad angular en rad/s del satélite así como la aceleración centrípeta con que el satélite es atraído hacia el planeta.

La velocidad lineal puede obtenerse a partir de:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 17\,329 \text{ m/s} = 17,3 \text{ km/s}$$

La velocidad angular es:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$$

A partir de estos datos, la aceleración centrípeta será:

$$a_c = \omega^2 r = 0,71 \text{ m/s}^2$$

4. Un niño hace girar una pelota unida a una cuerda de 70 cm de radio en un plano vertical con una frecuencia de 8 Hz. En cierto momento, la cuerda se rompe y la pelota sale disparada a una altura de 0,5 m respecto del suelo, con una velocidad que forma un ángulo de 20° con la horizontal. ¿A qué distancia del punto de lanzamiento aterriza la pelota? ¿Saldrá indemne un niño de 1,10 m de altura que en ese instante se encontraba a 80 m del punto de lanzamiento?

La velocidad angular de giro es $\omega = 2\pi f = 16\pi \text{ rad/s}$. En consecuencia, la velocidad inicial de la pelota en el momento en que sale despedida es $v = \omega r = 35,2 \text{ m/s}$, siendo sus componentes cartesianas:

$$v_{ox} = v_o \cos 20 = 33,07 \text{ m/s}$$

$$v_{oy} = v_o \sin 20 = 12,04 \text{ m/s}$$

La pelota aterriza en el punto en que $y = 0$, por lo que:

$$y = y_o + v_{oy} t - \frac{1}{2} g t^2 = 0$$

Sustituyendo los valores del problema y resolviendo el tiempo, se obtiene $t = 2,49 \text{ s}$, siendo el alcance correspondiente a este tiempo:

$$x_m = v_{ox} t = 82,3 \text{ m}$$

La pelota llega a los 80 m, donde está situado el niño, en un tiempo:

$$t' = \frac{x}{v_{ox}} = 2,42 \text{ s}$$

Al sustituir este tiempo en la ecuación de altura, se obtiene que la altura en ese instante es de 0,94 m. En consecuencia, el niño se lleva un certero pelotazo.

5. Un centrocampista trata de sorprender, desde 47 m de distancia de la portería, a un portero que se encuentra a 8 m de la misma. El centrocampista golpea el balón en la dirección correcta, y este sale a 79,2 km/h formando un ángulo de 40° con el suelo. Si el portero tarda 0,8 s en reaccionar y retrocede a una velocidad de 2,8 m/s. ¿Será gol o no? Dato: altura de la portería = 2,10 m

Lo primero que debemos plantearnos es si el balón pasa bajo los palos al llegar a puerta. En ese caso la altura, cuando $x = 47 \text{ m}$, debe ser inferior a 2,10 m. El tiempo que tarda en alcanzar los 47 m es:

$$t = \frac{x}{v_{ox}} = \frac{47}{22 \cdot \cos 40} = 2,79 \text{ s}$$

siendo la altura en ese instante igual a 1,30 m. Por tanto, podría ser gol perfectamente si el portero no atrapa la pelota antes. Para que el portero atrape la pelota, debe haber una solución de $x < 47 \text{ m}$ en que ambos (portero y pelota) coincidan. Además, la altura del balón en ese hipotético punto debe hacer factible que el portero lo atrape. Las ecuaciones de posición horizontal de balón y portero son, tomando como referencia la portería:

■ Para el balón: $x = x_{oB} - v_{ox} t$

■ Para el portero: $x = x_{oP} - v(t - 0,8)$

Igualando ambas distancias y con los valores del problema se obtiene como solución de tiempo $t' = 2,61$ s, inferior al que emplea el balón en llegar a puerta. Sin embargo, sustituyendo este tiempo en la ecuación de altura, se obtiene que la altura del balón en ese instante es de 3,5 m. Por tanto, es inalcanzable para el portero que observa desolado cómo la pelota pasa por encima de él camino de la red.

6. ¿Con qué ángulo debe efectuarse un salto de longitud para que el alcance logrado sea el triple que la altura máxima?

La condición del problema es que $x_m = 3 y_m$. Usando las expresiones del alcance y altura máximas, eso se traduce en que:

$$\frac{v_o^2 \operatorname{sen} 2\theta}{g} = 3 \frac{v_o^2 \operatorname{sen}^2 \theta}{2g}$$

Que implica que:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{4}{3}$$

Por lo que el ángulo debe ser de $53,13^\circ$.

7. ¿Con qué ángulo debe efectuarse un salto de altura si la altura máxima debe duplicar el alcance logrado?

En este caso debe cumplirse que:

$$\frac{v_o^2 \operatorname{sen}^2 \theta}{2g} = 2 \frac{v_o^2 \operatorname{sen} 2\theta}{g}$$

Resolviendo, se obtiene:

$$\operatorname{tg} \theta = 8 \Rightarrow \theta = 82,8^\circ$$

8. Una nadadora intenta cruzar un río de 80 m de anchura nadando a una velocidad de 1,6 m/s en la dirección perpendicular a la orilla. Sin embargo, llega a la otra orilla en un punto que está 40 m más lejos en la dirección de la corriente. ¿Cuál es la velocidad de la corriente? ¿Cuál es la velocidad de la nadadora para un observador que se encuentra en la orilla?

Teniendo en cuenta que los triángulos de los vectores de velocidad y de posición son equivalentes, entonces podemos plantear, de un modo sencillo, que:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{v_{\text{nadadora}}}{v_{\text{corriente}}} = \frac{\text{anchura}}{\text{deriva}} = \frac{80}{40} = 2$$

Por tanto, la velocidad de la corriente es:

$$v_{\text{corriente}} = \frac{v_{\text{nadadora}}}{2} = 0,8 \text{ m/s}$$

La velocidad de la nadadora para un observador externo es la composición de ambas velocidades, cuyo módulo es de 1,79 m/s

9. La ecuación de posición correspondiente a cierto movimiento periódico viene dada por la expresión $\vec{r} = 5 \cdot \operatorname{sen} \theta \vec{i} + 5 \cdot \operatorname{cos} \theta \vec{j}$ m, donde θ viene expresado en radianes. Si el período de dicho movimiento es de 2 s y el ángulo inicial θ_0 es $\pi/6$ rad, determina las coordenadas de su posición inicial (x_o, y_o) , el vector de posición en $t = 0,5$ s y la expresión vectorial de la velocidad y su módulo.

La velocidad angular del movimiento es $\omega = \frac{2\pi}{T} = \pi$ rad/s,

de modo que la expresión general del vector de posición será:

$$\vec{r} = 5 \operatorname{sen}(\theta_0 + \omega t) \vec{i} + 5 \operatorname{cos}(\theta_0 + \omega t) \vec{j} \text{ m}$$

Las coordenadas de la posición inicial son:

$$x_o = 5 \operatorname{sen} \frac{\pi}{6} = 2,5 \text{ m}$$

$$y_o = 5 \operatorname{cos} \frac{\pi}{6} = 4,33 \text{ m}$$

El vector de posición en $t = 0,5$ s, sustituyendo este valor en la ecuación principal, es:

$$\vec{r} = 5 \operatorname{sen} \frac{2\pi}{3} \vec{i} + 5 \operatorname{cos} \frac{2\pi}{3} \vec{j} \text{ m} = 4,33 \vec{i} - 2,5 \vec{j} \text{ m}$$

La velocidad se obtiene derivando la ecuación de posición, resultando:

$$\vec{v} = 5\pi \operatorname{cos}(\theta_0 + \pi t) \vec{i} - 5\pi \operatorname{sen}(\theta_0 + \pi t) \vec{j} \text{ m/s}$$

Cuyo módulo es 5π m/s.

10. Un cuerpo es lanzado verticalmente hacia arriba con una velocidad de 30 m/s. Determina su velocidad cuando se encuentra a la mitad de su altura.

La altura máxima que alcanza viene dada por:

$$y_m = \frac{v_o^2}{2g} = 45,9 \text{ m}$$

Así pues, la mitad de esa altura es 22,9 m. En consecuencia, la velocidad a esa altura resulta ser:

$$v = \sqrt{v_o^2 - 2gy} = 21,2 \text{ m/s}$$

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Describe el movimiento de un cuerpo a partir de sus vectores de posición, velocidad y aceleración en un sistema de referencia dado.	A: 1	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Identifica el tipo de movimiento rectilíneo y aplica las ecuaciones para hacer predicciones.	A: 2-11 ER: 1-4 AT: 1-26	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1. Interpreta correctamente las gráficas de MRU y MRUA.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades.	Resuelve las actividades, con errores en algunas de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Resuelve ejercicios prácticos de MRU y MRUA.		Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Reconoce movimientos compuestos y establece las ecuaciones que los describen, obteniendo parámetros característicos.	A: 12-18 ER: 5 AT: 27-42, 55	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.2. Resuelve problemas relativos a la composición de movimientos rectilíneos.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades.	Resuelve las actividades, con errores en algunas de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1. Relaciona las magnitudes lineales y angulares en movimientos circulares.	A: 19-23 ER: 6 AT: 43-57	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.2. Reconoce la periodicidad de los MCU y resuelve problemas relativos.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades.	Resuelve las actividades, con errores en algunas de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.1. Resuelve problemas numéricos y gráficos relativos a movimientos circulares.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades.	Resuelve las actividades, con errores en algunas de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Tres pequeñas bolas de plastilina, A, B y C, están adheridas sobre el mismo radio de un disco que gira a 45 rpm.

La bola A se encuentra a $r/3$ del centro, y la bola B, a $2/3$ de r , mientras que la bola C está sobre la periferia del disco. En esas circunstancias, contesta a las siguientes preguntas y demuestra de forma razonada por qué es así:

- a) ¿Cómo son en comparación sus velocidades angulares?
 b) ¿Cómo son en comparación sus velocidades lineales?
 c) ¿Cómo son en comparación sus aceleraciones centrípetas?

- a) Sus velocidades angulares son iguales, pues las tres bolas giran adheridas sobre el mismo radio.

Dicha velocidad angular es de 45 rpm o $3\pi/2$ rad/s.

- b) Las velocidades lineales vienen dadas por $v = \omega r$, donde $r_A = r/3$, $r_B = 2r/3$ y $r_C = r$. Dada la relación de los radios, es fácil comprobar que la velocidad de C es el triple que la de A y 1,5 veces la velocidad de B. A su vez, la velocidad de B es el doble que la de A.

- c) Podemos expresar la aceleración centrípeta en función de la velocidad angular, de modo que $a_c = \omega^2 r$. Puesto que es directamente proporcional a la distancia al centro, las relaciones entre las aceleraciones centrípetas son exactamente iguales que las relaciones entre velocidades.

2. ¿Con qué ángulo de elevación deberíamos saltar en longitud para que el alcance logrado sea el doble de la altura máxima conseguida en el salto?

Ha de cumplirse que $x_{\text{máx}} = 2y_{\text{máx}}$. Utilizando las expresiones de alcance y altura máxima, la igualdad anterior se traduce en:

$$\frac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g} = 2 \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g} \Rightarrow \operatorname{sen} 2\alpha = \operatorname{sen}^2 \alpha$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = 2 \Rightarrow \alpha = 63,4^\circ$$

3. Lanzamos parabólicamente desde el suelo dos objetos de masas m y $5m$ con la misma velocidad y el mismo ángulo de inclinación. Razona la veracidad o falsedad de las siguientes proposiciones:

- a) Los dos llegan a la misma altura, pero m logra un alcance cinco veces superior a $5m$.
 b) Los dos logran la misma altura y el mismo alcance.
 c) El objeto m asciende más alto, pero ambos logran el mismo alcance.
 d) La altura y el alcance logrados por m son cinco veces superiores a los de $5m$.

Los factores que determinan el alcance y la altura son la velocidad inicial, el ángulo de lanzamiento y el valor de g , pero en ningún caso la masa. Por tanto, la única respuesta correcta es la b).

4. Una bola se deja caer desde 10 m de altura y tras rebotar en el suelo asciende hasta 6,5 m. Determina:

- a) Con qué velocidad llega al suelo.

- b) Con qué velocidad sale tras el primer rebote.

- c) Qué porcentaje de velocidad pierde en el rebote.

- d) Si suponemos que en cada rebote se pierde el mismo porcentaje de velocidad, ¿hasta qué altura ascenderá después del tercer bote?

- a) La velocidad con que llega al suelo viene dada por la expresión:

$$\frac{v_0^2 \operatorname{sen} 2\alpha}{g} = 2 \frac{v_0^2 \operatorname{sen}^2 \alpha}{2g} \Rightarrow \operatorname{sen} 2\alpha = \operatorname{sen}^2 \alpha$$

$$\Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = 2 \Rightarrow \alpha = 63,4^\circ$$

- b) La altura a la que asciende tras el primer rebote permite determinar la velocidad con que salió, a partir de:

$$y_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{2g} \Rightarrow v_0 = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 6,5} = 11,28 \text{ m/s}$$

- c) Puesto que 11,28 m/s representa el 80,5 % del valor de la velocidad con que llega al suelo, en el rebote se pierde un 19,5 % de la velocidad.

- d) La velocidad con la que sale después de cada bote es el 80,5 % del valor de la velocidad del impacto precedente. Así pues, tras el tercer bote, la bola saldrá con una velocidad igual a:

$$v_3 = v_0 \cdot (0,805)^3 = 7,30 \text{ m/s}$$

Por tanto, la altura a la que ascenderá después del rebote será:

$$y_3 = \frac{v_3^2}{2g} = 2,7 \text{ m}$$

5. Un helicóptero se está elevando a una velocidad de 10 m/s en el momento en que un objeto cae del mismo. Si el objeto golpea el suelo 4 s más tarde:

- a) ¿Desde qué altura cae?

- b) ¿Con qué velocidad golpea el suelo?

- a) El objeto tiene inicialmente la misma velocidad que el helicóptero (en ascenso). Podemos determinar y_0 a partir de la ecuación de altura (igualándola a cero en el instante en que el objeto llega al suelo):

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

Sustituyendo y despejando en la expresión anterior, se obtiene $y_0 = 38,4$ m.

- b) La velocidad con que llega al suelo viene dada por:

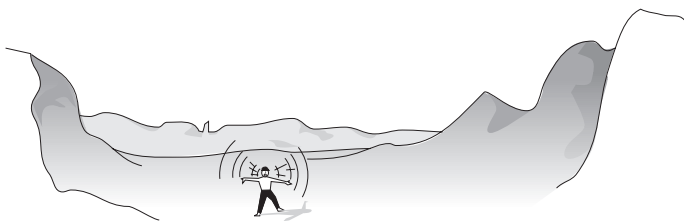
$v = v_0 - g t = -29,2$ m/s donde el signo negativo es indicativo del sentido.

6. Una persona situada entre dos montañas grita y oye ecos al cabo de 3 s y 4,5 s.

- a) ¿Cuál es la distancia entre las dos montañas?

- b) ¿A qué distancia se encontraba la persona de la montaña más próxima?

Dato: velocidad del sonido = 340 m/s



- a) La distancia entre las montañas es $d = d_1 + d_2$, donde d_1 y d_2 son las distancias entre la persona y cada una de las montañas. Teniendo en cuenta que los tiempos indicados son los correspondientes al recorrido de ida y vuelta del sonido, entonces:

$$d = d_1 + d_2 = \frac{1}{2} v_s (t_1 + t_2) = 1275 \text{ m}$$

- b) La distancia a la primera montaña (la más próxima) es:

$$d_1 = \frac{1}{2} v_s t_1 = 510 \text{ m}$$

7. Una persona se encuentra sobre una plataforma que se mueve en dirección norte a una velocidad constante de 10 m/s. En un momento dado lanza una piedra en dirección este con una velocidad de 25 m/s y con un ángulo de elevación sobre el suelo de 50° . Considerando que la altura inicial de partida de la piedra era de 2 m sobre el suelo y despreciando la fricción del aire, calcula:

- a) ¿A qué distancia del punto de lanzamiento cae la piedra?
 b) ¿A qué distancia se encuentra la plataforma de la piedra en el momento del impacto de esta contra el suelo?
 a) La velocidad inicial con que sale la piedra es la composición vectorial de las velocidades de la plataforma y de lanzamiento. Así pues:

$$v_0 = \sqrt{v_{\text{plat}}^2 + v_{\text{lanz}}^2} = 26,93 \text{ m/s}$$

La componente vertical de esta velocidad es la misma que tendría si no hubiera movimiento de la plataforma, cuyo valor es:

$$v_{\text{vert}} = 25 \cdot \sin 50 = 19,15 \text{ m/s}$$

De ese modo, la componente horizontal será:

$$v_{\text{horiz}} = \sqrt{v_0^2 - v_{\text{vert}}^2} = 18,92 \text{ m/s}$$

El alcance logrado viene dado por $d_{\text{piedra}} = v_{\text{horiz}} t$, donde t es el tiempo que hace cero la altura en la ecuación correspondiente:

$$h = h_0 + v_{\text{vert}} t - \frac{1}{2} g t^2 = 0 \Rightarrow t = 4,01 \text{ s}$$

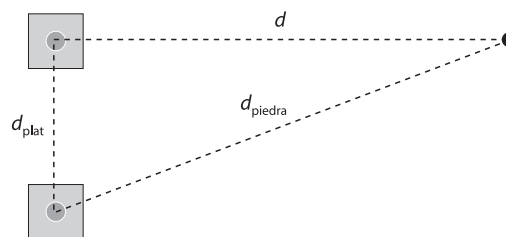
Sustituyendo en la ecuación del alcance, resulta:

$$d_{\text{piedra}} = v_{\text{horiz}} t = 75,87 \text{ m}$$

- b) Como se deduce de la composición de desplazamientos (véase la figura):

$$d = \sqrt{d_{\text{piedra}}^2 - d_{\text{plat}}^2} \quad \text{donde } d_{\text{plat}} = v_{\text{plat}} t = 40,1 \text{ m}$$

Sustituyendo los valores, se obtiene $d = 64,41 \text{ m}$.



PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala en cada caso la respuesta que consideres correcta:

1. Si la aceleración es cero, la gráfica de x con respecto a t :
 - a) Es una recta con pendiente.
 - b) Es una parábola.
 - c) Es una recta horizontal.
2. La ecuación $x - x_0 = v_0 t + 1/2 at^2$:
 - a) Solo es válida para movimientos rectilíneos con aceleración constante.
 - b) Solo es válida para movimientos con velocidad constante.
 - c) Es también aplicable a movimientos con velocidad constante.
3. Dos objetos son lanzados verticalmente en sentidos opuestos con la misma velocidad inicial; entonces:
 - a) Tardan lo mismo en llegar al suelo.
 - b) Los dos llegan al suelo con la misma velocidad.
 - c) La velocidad con que lleguen al suelo depende de la masa de cada uno.
4. Un objeto lanzado horizontalmente:
 - a) Tarda más en llegar al suelo que otro que se deja caer desde la misma altura.
 - b) Tarda lo mismo en llegar al suelo que otro que se deja caer desde la misma altura.
 - c) Tardará menos en llegar al suelo si su masa es mayor.
5. Si dos objetos son lanzados horizontalmente desde la misma altura con distintas velocidades:
 - a) Caerá antes el que tenga mayor velocidad.
 - b) Caerá antes el que tenga menor velocidad.
 - c) Caerán los dos a la vez.
6. Si se lanzan parabólicamente cuatro objetos con la misma velocidad y ángulos de 15° , 55° , 75° y 35° , respectivamente:
 - a) El tercero llega más lejos que los demás.
 - b) El primero y el tercero caerán en el mismo punto.
 - c) El segundo y el cuarto caerán en el mismo punto.
7. Un cuerpo es lanzado verticalmente y otro parabólicamente:
 - a) Llegarán a la vez al suelo si son lanzados con la misma velocidad.
 - b) Si ascienden a la misma altura llegarán a la vez al suelo.
 - c) El cuerpo lanzado verticalmente siempre ascenderá más alto.
8. La velocidad angular en los movimientos circulares:
 - a) Tiene la dirección y el sentido del movimiento.
 - b) Es perpendicular al plano del movimiento.
 - c) Tiene dirección radial.
9. La aceleración angular en los movimientos circulares:
 - a) Tiene dirección radial.
 - b) Tiene la dirección y el sentido del movimiento.
 - c) Es perpendicular al plano del movimiento.
10. Si un móvil efectúa diez vueltas cada 8 s:
 - a) Su período es de 0,8 s.
 - b) Su período es de 1,25 s.
 - c) Su velocidad angular es de 7,85 rad/s.

11



LAS LEYES DE LA DINÁMICA

En el presente texto, y de un modo similar al planteamiento seguido en cinemática, se ha decidido estructurar el estudio de la dinámica en distintas unidades. La presente unidad se dedica al estudio de las leyes de la dinámica desde un punto de vista más teórico y centrándose en tres aspectos: la introducción del momento lineal o cantidad de movimiento, el estudio de las tres leyes del movimiento de Newton y el principio de conservación del momento lineal. Las siguientes unidades se dedican al estudio de la gravitación, como fuerza de especial interés, y a las aplicaciones de las leyes de la dinámica en problemas donde intervienen distintos tipos de fuerzas.

Si bien las leyes del movimiento han sido estudiadas en 4.º curso de la ESO, se ha optado por no presuponer en el alumnado grandes conocimientos iniciales, fundamentalmente por dos razones; la primera es que en 4º curso de la ESO no suele abordarse el estudio de estas leyes con rigor vectorial. La segunda razón es porque tampoco se introduce en dicho curso el concepto de momento lineal, que constituye una de las magnitudes más fundamentales de la Física.

Quizás esta última sea la principal razón para dedicarle una unidad diferenciada. El concepto de momento lineal y su conservación debe quedar muy claro, dado que es un concepto clave en Física. Junto con el principio de conservación de la energía y el del momento angular, el principio de conservación del momento lineal es uno de los grandes pilares que estructuran la Física en cualquier orden de magnitud. Es uno de los principios básicos que sirven, por ejemplo, para la detección de nuevas partículas elementales en los grandes detectores del Gran Colisionador de Hadrones (LHC)

La idea estructural seguida en la presente unidad parte de la necesidad de dotarnos de una herramienta que complemente la información que de un movimiento sugiere la velocidad. Ello lleva a la introducción de la masa como magnitud que hay que tener en cuenta y del momento lineal como magnitud que caracteriza

el movimiento de un cuerpo. A partir de ahí se ha seguido la línea clásica de definir fuerza en función de la variación del momento lineal.

Objetivos

1. Comprender y utilizar correctamente desde el punto de vista vectorial el concepto de momento lineal o cantidad de movimiento.
2. Asimilar el significado de la ley de inercia y su interpretación en distintos sistemas de referencia.
3. Aplicar las leyes de Newton en problemas que involucran una o más fuerzas.
4. Relacionar el principio de conservación del momento lineal con numerosos hechos o fenómenos cotidianos.
5. Comprender el concepto de impulso y relacionarlo con los de fuerza y velocidad.

Relación de la unidad con las competencias clave

La **competencia lingüística** está presente en la correcta interpretación del texto y los enunciados de los problemas y cuestiones propuestos, así como en la exposición oral y escrita de las propuestas de *Investiga*. La **competencia matemática y en ciencia y tecnología** está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La **competencia digital** se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *Investiga y Física, Tecnología y Sociedad*. La **competencia de aprender a aprender** es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado.

Temporalización

Recomendable en seis sesiones lectivas.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
El estado de movimiento de los cuerpos: la masa y el momento lineal ■ La cantidad de movimiento o momento lineal	1. Aplicar correctamente el concepto de momento lineal y caracterizarlo vectorialmente.	1.1 Aplica el concepto de momento lineal como característica del estado de movimiento de un cuerpo.	A: 1,2 ER: 5,6 AT: 9	CMCCT CD
Las leyes de Newton acerca del movimiento ■ La primera ley: ley de inercia ■ La segunda ley: concepto de interacción y fuerza ■ La tercera ley: ley de acción y reacción	2. Reconocer correctamente las implicaciones de la primera ley y de las demás leyes del movimiento.	2.1. Interpreta y resuelve situaciones cotidianas utilizando las leyes del movimiento.	A: 3-13 ER: 1,2,3,4 AT: 1-5	CMCCT CD
	3. Identificar correctamente las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, así como los pares acción y reacción.	3.1. Representa todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, obteniendo la resultante, y extrayendo consecuencias sobre su estado de movimiento. 3.2. Identifica correctamente los pares acción-reacción en situaciones cotidianas.		
	4. Resolver correctamente problemas en los que actúan una o más fuerzas sobre un cuerpo por aplicación de las leyes del movimiento.	4.1. Aplica las leyes de Newton para resolver las distintas magnitudes cinemáticas.		
Conservación del momento lineal: una consecuencia de la tercera ley	5. Aplicar el concepto de momento lineal y su principio de conservación en una y dos direcciones.	5.1. Explica el movimiento de dos cuerpos en casos prácticos como colisiones y sistemas de propulsión mediante el principio de conservación del momento lineal. 5.2. Resuelve problemas de conservación del momento lineal en una y dos dimensiones.	A: 14-16 ER: 5, 6 AT: 6-18	CMCCT
Impulso y cantidad de movimiento	6. Reconocer el teorema del impulso mecánico y aplicarlo en distintas situaciones dinámicas en las que interviene.	6.1. Establece la relación entre impulso mecánico y momento lineal aplicando la segunda ley de Newton.	A: 17-20 AT: 19-22	CMCCT

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas; CCL: Competencia lingüística; CMCCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: Competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; SIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales.

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: El Big Bang

Vídeo: Masa e inercia
Simulador: Cantidad de movimiento
Enlace web: Momento, trabajo y energía
Vídeo: Momento e impulso

Videos: 1. Primera ley de Newton (NASA). 2. Segunda ley de Newton. 3. Acción y reacción. 4. Equívocos habituales sobre la tercera ley
Simuladores: 1. Principios de la dinámica. 2. Leyes de la dinámica

Vídeo: Colisiones y momento lineal
Simulador: Colisiones de partículas
Enlace web: Cámara de burbujas (CERN)

Unidad 11: Las leyes de la dinámica

1. El estado de movimiento de los cuerpos: la masa y el momento lineal
 1.1. La cantidad de movimiento o momento lineal

2. Las leyes de Newton acerca del movimiento o leyes de la dinámica
 2.1. La primera ley: ley de inercia
 2.2. La segunda ley: concepto de interacción y fuerza
 2.3. La tercera ley: ley de acción y reacción

3. Conservación del momento lineal: una consecuencia de la tercera ley

4. Impulso y cantidad de movimiento

Documento: El vuelo de una piedra, según Aristóteles

Documento: Trenes que levitan

Documento: Biografía: Isaac Newton

BIBLIOGRAFÍA

HEWITT P. G.
Física conceptual. Wilmington (E.U.A.): Addison-Wesley Iberoamericana, 1995.
 Se trata de un libro muy recomendable para la comprensión conceptual de la Física. Su lectura amena y la escasez de fórmulas hacen de este libro un material a recomendar a aquellos alumnos y alumnas que sientan interés por la Física.

TIPLER P. A.
Física. Barcelona: Editorial Reverté (3ª edición), 1995.
 Clásico de referencia obligada.

HOLTON G.
Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas. Barcelona: Editorial Reverté, 1989.
 Manual obligado para conocer la aparición y evolución de los conceptos desde el punto de vista histórico. Fuente inagotable de referencias bibliográficas de enorme interés y profusión de citas textuales. Se trata de un libro que no debería faltar en nuestras estanterías como profesores.

SERWAY R.A.
Física. México: Interamericana, 1985.
 Muy buen libro de Física, estructurado en dos volúmenes de tamaño «guía telefónica de ciudad de 3.000.000 de habitantes». Exposición con gran claridad y buenas explicaciones. Ausencia de color en las ilustraciones o fotografías.

HECHT E.
Física en perspectiva. Wilmington (E.U.A.): Addison-Wesley Iberoamericana, 1987. Uno de los libros de Física más amenos que se han escrito. Aborda la comprensión de la Física desde un punto de vista conceptual. Se trata de un libro «casi de lectura» con muy pocas fórmulas.

PIÓRISHKIN A.V. et al.
Física (Vols. I, II, III, IV). Moscú: Editorial Mir, 1986. Excelente colección, con muy buenas explicaciones. Son cuatro tomos tamaño «libro de bolsillo». Les caracteriza la sobriedad habitual de las ediciones de la antigua U.R.S.S.

ALONSO M. y FINN E.J.
Física. México: Addison-Wesley Longman, 2000.
 Clásico de referencia en cualquier tema de Física. Tratamientos buenos y rigurosos.

PARA EL PROFESOR

Simulador: Impulso mecánico

Enlace web: Tomografía por emisión de positrones
Vídeo: PET

Práctica de laboratorio: 1. Colisión de esferas; 2. Medición de masas en procesos de colisión

5. Relatividad y tercera ley de Newton

Física, tecnología y sociedad

Conservación del momento lineal y su aplicación en medicina: el PET

Técnicas de trabajo y experimentación

Segunda ley de Newton

Documento: La propulsión de los cohetes

WEBGRAFÍA

Educaplus

<http://www.educaplus.org/>

Sitio personal de Jesús Peñas Cano, profesor de Física y Química, en el que comparte con la comunidad educativa los trabajos que realiza para mejorar su propia práctica profesional como docente. Cuenta con muy buenos simuladores.

Conceptos de Física

<https://goo.gl/xGNjpz>

Canal de Youtube con los interesantes vídeos del profesor Paul G. Hewitt (en inglés).

Demostraciones en vídeo

<http://goo.gl/nQSvBj>

Interesantes demostraciones de conceptos físicos realizadas por el departamento de Física de la *Wake Forest University*.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

LAS LEYES DE LA DINÁMICA

Se sugiere la lectura del texto introductorio acompañado del vídeo. Posteriormente deben plantearse las cuestiones previas que nos permitirán desvelar algunos equívocos frecuentes. Por ejemplo, frente a la primera cuestión, la mayoría de los alumnos siguen pensando que la proposición es correcta, en contra del enunciado de la primera ley, que deberemos reforzar. Del mismo modo, la mayoría cree que para que un cuerpo permanezca en movimiento es necesario que sobre él actúe alguna fuerza.

La tercera cuestión es más compleja y se refiere al concepto de impulso, que no solo involucra a la fuerza, sino también el tiempo en que esta actúa.

Vídeo: EL BIG BANG

Documental de *National Geographic* sobre el Big Bang y los primeros minutos del universo.

1. El estado de movimiento de los cuerpos: la masa y el momento lineal

(página 269/270)

El hecho de comenzar esta unidad con el presente epígrafe obedece a dos motivos. El primero es introducir los conceptos de inercia y masa como medida de la inercia. De ese modo, una vez estudiadas las magnitudes cinemáticas, se introduce la masa como una cuarta magnitud fundamental para entender los cambios en los movimientos de los cuerpos.

El segundo motivo consiste en que, de ese modo, se sigue el desarrollo histórico de los conceptos en el tiempo. La noción de cantidad de movimiento o momento lineal precede en el tiempo a las leyes de Newton. Hacerlo así, además, permite abordar posteriormente el enunciado de la segunda ley desde el punto de vista conceptual e históricamente más correcto: definiendo la fuerza como la rapidez con que varía el momento lineal.

Resulta interesante plantear a los alumnos la pregunta de qué consideran ellos que es la masa y qué definición darían. Nos daremos cuenta de que, muchas veces, los conceptos clave en Física y que aparentemente manejamos con soltura, son, sin embargo, los más complejos de definir. La mayoría de los alumnos asociará la masa a la cantidad de materia. Pero a continuación deberíamos plantearles la pregunta ¿puede cuantificarse con exactitud la cantidad de materia de un cuerpo? Debemos, por tanto, resaltar que la definición más correcta de la masa es la que se propone en el texto.

Vídeo: MASA E INERCIA

Divertido vídeo en inglés sobre masa e inercia.

1.1. La cantidad de movimiento o momento lineal

Debemos resaltar que se trata de una de las magnitudes fundamentales de la Física. Como ejemplo, podemos citar que el estudio de su conservación es la base para la detección y análisis de las partículas que surgen tras la colisión de protones (u otras partículas o iones) en los detectores del LHC del CERN.

Simulación: CANTIDAD DE MOVIMIENTO

Simulador que permite variar los valores de la velocidad de dos vehículos de masas predeterminadas, comprobando gráficamente los valores del momento lineal.

Vídeo: MOMENTO E IMPULSO

Vídeo en inglés donde en el que unos estudiantes de bachillerato explican estas magnitudes y su relación.

Enlace web: MOMENTO, TRABAJO Y ENERGÍA

Documento en inglés sobre tres de las magnitudes más importantes en Física.

2. Las leyes de Newton acerca del movimiento (página 271/277)

Como cuestión preliminar, puede ser ilustrativo tener contacto con el lenguaje y el formalismo matemático que empleó Newton en la redacción de sus *Principia*. Con este fin, puede consultarse la edición de los *Principios matemáticos de filosofía natural* editada por Alianza Universidad en su colección Ciencias.

2.1. La primera ley: ley de inercia

En este epígrafe, en el que se aborda la primera ley de Newton, se presta especial atención a dos hechos fundamentales:

- La existencia de un error conceptual muy extendido según el cual para que los cuerpos se muevan debe actuar alguna fuerza. Un objetivo elemental en esta unidad es el de deshacer dicho error.
- La importancia que tienen los sistemas de referencia en la interpretación de los fenómenos.

El enfoque que se ha dado en este epígrafe es esencialmente histórico y está relacionado con las concepciones filosóficas del momento. En este sentido es importante recalcar aquí cómo Galileo marca el inicio de un proceder científico al estudiar los planos inclinados y llega a establecer como hipótesis el principio de inercia.

Vídeo: PRIMERA LEY DE NEWTON (NASA)

Conjunto de vídeos ofrecidos por la NASA sobre la primera ley de Newton.

2.2. La segunda ley: concepto de interacción y fuerza

En el epígrafe de la segunda ley se introduce el concepto de interacción y se centra en dos aspectos:

- Toda interacción ocurre entre dos cuerpos.
- Toda interacción modifica el estado de movimiento de los cuerpos.

Se han analizado aquí únicamente situaciones dinámicas, dejando para la siguiente unidad el análisis de la variante «deformadora» de las fuerzas.

Se introduce en primer lugar la definición de fuerza como la rapidez con que varía el momento lineal de un cuerpo, que es algo así como decir la rapidez con que varía el movimiento de un cuerpo. Se considera importante insistir en que esta es la definición general de fuerza y que la formulación que el alumnado mejor conocen, $\vec{F} = m \vec{a}$, es tan solo un caso particular que se deriva de la expresión general suponiendo que la masa permanece constante.

En este punto conviene plantear la pregunta de si la constancia de la masa en los procesos en los que intervienen fuerzas es el fenómeno más corriente. El simple movimiento de un vehículo animado por un motor que consume combustible (y por tanto pierde masa) servirá para ilustrar que no es tan corriente que la masa no varíe, y que, por tanto, emplear la expresión no es más que una simple aproximación.

Se destaca, en este punto, que la masa que interviene en la formulación de la segunda ley es la masa inercial. Sin embargo, no conviene extenderse en la disquisición entre masa inercial y gravitacional, pues esta es una cuestión que se aborda en el 2.º curso de Bachillerato.

Enlace web:
LAS LEYES DE NEWTON

Simulador:
PRINCIPIOS DE LA DINÁMICA

Vídeo:
SEGUNDA LEY DE NEWTON

2.3. La tercera ley: ley de acción y reacción

En el epígrafe siguiente, donde se trata la tercera ley, el aspecto que más debe destacarse es la necesidad de que se entienda que las fuerzas de acción y reacción operan siempre sobre cuerpos distintos. Ligado a esto, es muy importante realizar ejercicios gráficos en los que tengan que representar las fuerzas de acción y reacción e identificarlas correctamente.

Conviene hacer especial hincapié en la correcta interpretación de los pares acción-reacción en situaciones cotidianas, como las que se proponen en el texto, pues suele ser una fuente de errores muy habitual y extendida.

Si preguntamos a los alumnos qué atrae con más fuerza a qué, el boli que sostenemos en la mano a la Tierra o la Tierra al boli, la inmensa mayoría seguirá pensando que la Tierra ejerce una fuerza mucho mayor debido a su masa. Eso querrá decir que no han asimilado el significado conceptual de la tercera ley. No obstante, en la siguiente unidad, dedicada a la gravitación, se volverá a incidir en este supuesto.

Simulador:
LEYES DE LA DINÁMICA

Vídeo: **ACCIÓN Y REACCIÓN**
Vídeos del profesor Hewitt.

Vídeo:
EQUÍVOCOS HABITUALES SOBRE LA TERCERA LEY

3. Conservación del momento lineal: una consecuencia de la tercera Ley de Newton (página 278/279)

En este epígrafe se insiste en la importancia de los principios de conservación en la explicación de los fenómenos naturales, como demuestran los principios de conservación de la masa (en reacciones químicas), de la carga, de la energía o del momento lineal. En la siguiente unidad se introducirá, además, el principio de conservación del momento angular. En este sentido, el texto recalca que, como consta en el título del epígrafe, este principio es una consecuencia de la tercera ley.

Debemos ejemplificar profusamente este principio en el aula, mediante experimentos de cátedra como el de las colisiones entre monedas idénticas, las bolas de Newton o un simple globo inflado sujeto a un carrito para ilustrar la propulsión.

Además debemos incidir en la importancia de este principio en el análisis que los físicos experimentales llevan a cabo al interpretar la infinidad de datos resultantes de los experimentos de colisiones entre protones en el LHC, por ejemplo.

Simulador: **COLISIONES DE PARTÍCULAS**

Colisiones elásticas e inelásticas y simulación de explosión (Edu-caplus).

Enlace web:
CÁMARA DE BURBUJAS (CERN)

Vídeo: **COLISIONES Y MOMENTO INICIAL**
Colección de vídeos.

4. Impulso y cantidad de movimiento

(página 280/281)

Como final de la unidad, en este epígrafe se analiza el tema del impulso y a continuación se expone su relación con los hechos cotidianos: cómo saca de banda un futbolista, qué hacemos para columpiar a los niños, por qué es conveniente flexionar las piernas al caer desde cierta altura, etc.

Sería conveniente comenzar la discusión del epígrafe con una simple pregunta: *¿puede una fuerza del mismo valor, actuando sobre cuerpos en reposo de distinta masa, dotarles de la misma velocidad?*

Probablemente, ateniéndose a la segunda ley en su versión más simple, contestarán negativamente a esta pregunta. Este hecho nos dará buen pie a aclarar el concepto de impulso.

5. Relatividad y tercera Ley de Newton

(página 281)

Simulador:
IMPULSO MECÁNICO

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 268/281)

Comprueba lo que sabes

1. Discute la veracidad o falsedad de la siguiente afirmación; si sobre un cuerpo en movimiento dejan de actuar todas las fuerzas, acabará parándose.

Es falsa; el cometido de esta pregunta es verificar que la mayoría de los alumnos sigue sin haber asumido el significado de la primera ley.

2. Para que un cuerpo se mantenga indefinidamente en movimiento, ¿es necesario que actúe alguna fuerza sobre él?

Al igual que la anterior, es falsa y nos permite el mismo diagnóstico que con la primera pregunta.

3. Deseamos que dos cuerpos de distinta masa salgan con la misma velocidad inicial al lanzarlos verticalmente. ¿Es posible lograrlo si la fuerza que actúa es igual para ambos?

Sí sería posible, pero en el cuerpo de mayor masa la fuerza deberá actuar durante más tiempo. Es decir, el «impulso» sobre el de mayor masa ha de ser mayor.

Actividades

- 1 Dado el ejemplo del elefante y la hormiga mostrado en el texto:

- Si tuvieras que elegir, ¿a cuál de los dos frenarías, a la hormiga o al elefante? ¿Por qué razón?
- Si la velocidad es la misma, ¿qué distingue un movimiento del otro?
- ¿Qué magnitud o magnitudes consideras que has de tener en cuenta para describir correctamente el estado de movimiento de un cuerpo?

La justificación de las preguntas de los tres apartados viene motivada por el hecho de que el alumnado deduzca con antelación que el estado de movimiento de un cuerpo no puede describirse únicamente en función de la velocidad, sino que debe contemplarse la masa juntamente con la velocidad.

- 2 En un saque de tenis una pelota de 200 g es lanzada a 225 km/h.

- ¿Cuál es su momento lineal (en unidades del SI) en el instante en que sale despedida?
- Si el impacto con la malla de la raqueta dura 0,0035 s, ¿cuál es la rapidez con la que ha cambiado el momento lineal? ¿En qué unidades se mide?
- A la vista de dichas unidades, ¿se te ocurre a qué puede equivaler esa rapidez con la que cambia el momento lineal?

Expresando la masa y la velocidad en unidades del SI,

$$m = 0,2 \text{ kg y } v = 62,5 \text{ m/s.}$$

Así pues:

- $p = mv = 12,5 \text{ kg m/s.}$
- La rapidez con que cambia el momento lineal es $\Delta p/\Delta t = 3571,4 \text{ kg m/s}^2.$

- Como puede comprobarse, las unidades en que se mide la rapidez con que cambia el momento lineal son unidades de *masa* \times *aceleración* que, como es bien sabido, equivale a la fuerza que ha actuado. De esta equivalencia se da cumplida respuesta en el epígrafe 2.2. También se recordará que esta equivalencia ya fue considerada en la resolución de la actividad 6, apartado b), de la UNIDAD 8 de cinemática.

- 3 ¿Crees que nuestro laboratorio particular, la Tierra, es un sistema de referencia inercial en sentido estricto? ¿Por qué?

Es evidente que no, pues no cumple con ninguna de las condiciones que caracterizan a un sistema inercial. Sin embargo, para analizar fenómenos en intervalos de tiempo breves, podemos hacer la aproximación de considerarla como sistema inercial.

- 4 Imagina por un momento que te hallas en el interior de una nave espacial sin ventanas y, por tanto, sin referencias visuales externas, que está cayendo verticalmente hacia la Tierra:

- ¿Qué crees que marcaría una balanza que pusieras bajo tus pies?
- Si sacaras unas llaves de tu bolsillo y las soltaras para que cayeran libremente, ¿qué ocurriría? ¿Cumplirían, según tu apreciación, la ley de inercia?
- ¿Consideras necesario someter a revisión la definición dada de sistema inercial? Si es así, trata de complementar dicha definición.
 - No marcaría peso alguno, pues todos los objetos del interior de la nave en caída libre estarían dotados de la misma aceleración. Estarían en situación relativa de «ingravidez».
 - Permanecerían en reposo relativo con respecto a la persona que efectúa la experiencia. Es decir, estarían cayendo exactamente con la misma aceleración que el observador en el interior de la nave, por lo que su posición relativa con respecto a este no cambia. Para el observador del interior de la nave, las llaves quedarían en reposo y cumplirían a la perfección con la ley de inercia, pues sobre ellas no se ha ejercido fuerza alguna (se han soltado o abandonado sin impulso).
 - Según la mecánica clásica, un sistema inercial sería aquel en el que se cumplen las leyes del movimiento enunciadas por Newton. Sin embargo, aquí observamos que un sistema en caída libre, o acelerado gravitacionalmente, se comporta para el observador de ese sistema como si fuese inercial.

La pregunta es: ¿podría dilucidar el observador de ese sistema si su sistema está acelerado o no? Es más, ¿podría dilucidar si está en movimiento?

Así pues, habría que admitir que un sistema de coordenadas sometido a un campo gravitacional se comporta como un sistema inercial. Pero hay que precisar que ese sistema es un sistema inercial limitado en espacio y tiempo (es decir, sería inercial mientras dura la caída). Se trataría, pues, de un sistema inercial «local».

Esta es la base de la teoría general de la relatividad enunciada por Einstein. Además, para que los ejemplos expuestos se cumplan, hemos de asumir que la masa inercial y la gravitacional son, en realidad, la misma cosa

A este respecto, sugerimos la lectura de las páginas 181-191 del libro *La física: aventura del pensamiento*, de A. Einstein y L. Infeld (Losada, Buenos Aires, 1982), en el que se exponen, de manera muy divulgativa, la cuestión de la relatividad general y el problema de «dentro y fuera del ascensor» en caída libre.

- 5 Un cuerpo de 5 kg se mueve según la ecuación: $\vec{r} = 3t^2\vec{i} - 2t\vec{j} + 5k\text{ m}$. Calcula la fuerza que actúa sobre él e indica en qué dirección lo hace.

Dado que la masa permanece constante, podemos utilizar la expresión $\vec{F} = m \vec{a}$, donde $\vec{a} = d^2\vec{r}/dt^2$.

En consecuencia:

$$\vec{F} = 30\vec{i} \text{ N actuando en la dirección del eje X.}$$

- 6 Un cuerpo de 10 kg se encuentra inicialmente en la posición $\vec{r}_0 = 2\vec{i} + 5\vec{j}$ y sobre él comienza a actuar una fuerza constante $\vec{F} = 8\vec{i}$ N. Determina cuál será la ecuación de posición en función del tiempo y calcula el desplazamiento efectuado bajo la acción de dicha fuerza en los diez primeros segundos.

En otras unidades hemos insistido en la necesidad de usar la menor cantidad posible de fórmulas con el fin de simplificar los razonamientos de los problemas. El alumnado recuerda que la ecuación general de un movimiento es:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + 1/2 \vec{a} t^2$$

Por otro lado, $\vec{F} = m \vec{a}$, de donde $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Calculando primero la aceleración e introduciendo todos los datos en la primera ecuación obtenemos:

$$\vec{r}(t) = \left(2 + \frac{2}{5}t^2\right)\vec{i} + 5\vec{j} \text{ m}$$

El desplazamiento efectuado en los diez primeros segundos es:

$$\vec{r} = \vec{r}(10) - \vec{r}(0) = (42\vec{i} + 5\vec{j}) - (2\vec{i} + 5\vec{j}) = 40\vec{i} \text{ m}$$

- 7 Una partícula de 15 kg de masa se encuentra inicialmente en la posición $\vec{r}_0 = 2\vec{i} - \vec{j}$ m, moviéndose con una velocidad $\vec{v}_0 = 5\vec{i} + 4\vec{j}$ m/s. Si sobre ella actúa una fuerza $\vec{F} = -30\vec{i}$ N, determina:

- La expresión de su velocidad en función del tiempo.
- El vector velocidad y su valor al cabo de 3 s.
- La expresión del vector de posición en función del tiempo y sus coordenadas x e y a los 3 s.

La aceleración que actúa sobre el cuerpo es

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = -2\vec{i} \text{ m/s}^2$$

- Al ser una aceleración constante, la expresión de la velocidad viene dada por:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t = (5 - 2t)\vec{i} + 4\vec{j} \text{ m/s}$$

- A los tres segundos, el vector velocidad es:

$$\vec{v} = -\vec{i} + 4\vec{j} \text{ m/s}$$

cuyo valor es de 4,12 m/s.

- Al tratarse de un movimiento con aceleración constante, el vector de posición será:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

Que, con los datos del problema, queda finalmente:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

Cuyas coordenadas a los 3 s son:

$$\vec{r} = (2 + 5t - t^2)\vec{i} + (4t - 1)\vec{j} \text{ m}$$

$x = 8 \text{ m}; y = 11 \text{ m}$

- 8 Sabiendo que la masa de la Luna es 0,012 veces la de la Tierra, ¿cómo es la aceleración que tiene la Luna en comparación con la que adquiere nuestro planeta a causa de su interacción mutua?

La fuerza que actúa sobre ambos cuerpos celestes tiene el mismo valor. La aceleración que esta fuerza comunica a la Tierra es:

$$a_T = \frac{F}{m_T}$$

La aceleración que esta misma fuerza comunicará a la Luna es:

$$a_L = \frac{F}{0,012 m_T} = 83,3 a_T$$

Es decir, la aceleración que la fuerza comunica a la Luna es unas 83 veces mayor que la que comunica a la Tierra.

- 9 En 1786, G. A. Bürger publicó las *Aventuras del barón de Münchhausen*, en las que este jactancioso y lunático personaje narra en primera persona sus descabelladas e increíbles aventuras.

En una de ellas cuenta cómo evitó perecer junto a su caballo al quedar atrapado en unas arenas movedizas: «Así hubiese perecido inevitablemente si la fuerza de mi propio brazo no me hubiese sacado, tirándome de la propia coleta, junto con mi caballo, al que apretaba firmemente entre mis rodillas». ¿Se te ocurre algún comentario a la luz de lo estudiado en este tema?

La aventura del barón resulta tan insólita como pretender subir cierta altura agarrándose de la propia cabeza y tirando hacia arriba.

La variación de momento lineal (o lo que es lo mismo, la producción de movimiento partiendo del reposo) solo es posible bajo la acción de fuerzas externas, pero nunca de fuerzas internas, pues en ese caso las fuerzas de acción y reacción estarían actuando sobre el mismo cuerpo, imposibilitando el movimiento.

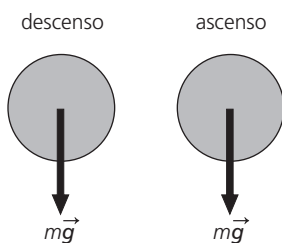
Cualquier otra persona podría haber salvado al barón de esa manera, pero él mismo, nunca.

- 10 A principios del siglo xx, varios científicos debatían sobre la posible navegación espacial y la construcción de cohetes capaces de moverse en el vacío. Cierta periodista los acusó de desconocer la tercera ley de Newton pues, según él, las naves espaciales no podrían moverse por su propia fuerza motriz en el vacío al no haber aire contra el que sus materiales de escape de combustión pudieran ejercer fuerza. ¿Qué opinas tú?

El principio de conservación del momento lineal no necesita de la existencia de material exterior. Para la navegación espacial basta con que los gases de combustión sean expelidos a gran velocidad para que la nave, por conservación del momento lineal, se mueva en sentido opuesto.

- 11 Dibuja los esquemas de las fuerzas que actúan sobre una pelota de goma, que cae desde cierta altura a un suelo duro y luego rebota, en los siguientes momentos:
- a) Descenso. b) Impacto. c) Ascenso.

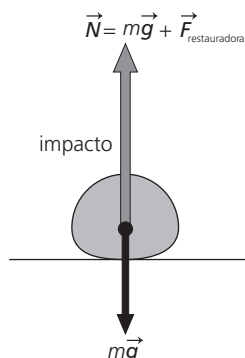
En el descenso y ascenso solo actúa la fuerza gravitacional sobre la pelota (su peso), si despreciamos la existencia de fricción con el aire.



La situación es algo más compleja durante el impacto. La pelota de goma se deforma cuando choca contra el suelo y, en realidad, el suelo también. Si este es rígido, podemos imaginarlo como un muelle con una gran fuerza restauradora frente a pequeñas deformaciones. Al deformarse la pelota, esta ejercerá una fuerza restauradora que actúa sobre el suelo. Por tanto, sobre el suelo actúan dos fuerzas: una igual en valor al peso de la pelota y otra que es la fuerza restauradora que la pelota ejerce sobre el suelo. Si este es rígido, responde con una reacción \vec{N} (que actúa sobre la pelota) igual en valor a la suma del peso más la fuerza restauradora y que actúa verticalmente hacia arriba.

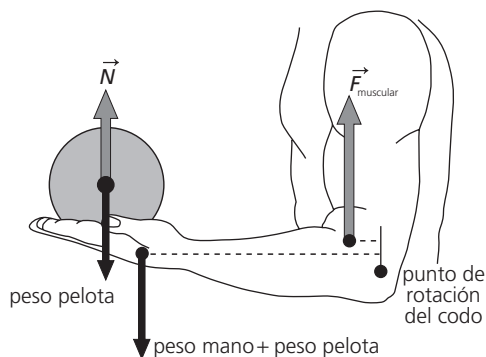
En consecuencia, podemos decir que la fuerza neta que actúa sobre la pelota es igual a la fuerza restauradora si el suelo es rígido. Esta fuerza neta está dirigida hacia arriba y es la causante de que la pelota se eleve de nuevo.

La complejidad, en este caso, radica en que la fuerza restauradora es variable en función de la deformación producida: es máxima cuando la pelota está totalmente deformada y cero cuando recupera su forma. Así pues, el diagrama será:



- 12 Una persona sostiene una pelota en su mano. Dibuja todas las fuerzas que operan sobre ella y sobre la pelota.

Si nos fijamos únicamente en la mano y la pelota, sobre la mano actúa, además de su propio peso, una fuerza igual al peso de la pelota. El bíceps mantiene el brazo en equilibrio al ejercer el par necesario para evitar la rotación del antebrazo alrededor del codo. De ese modo, sobre la pelota actúa su propio peso y la reacción normal que ejerce la mano sobre ella, igual en valor al peso de la pelota.



- 13 Dos cuerpos A y B, de masas m_A y m_B , respectivamente, se encuentran unidos por un resorte. En un momento dado, el resorte se libera y ambos salen despedidos en sentidos opuestos y con movimiento rectilíneo uniforme. Al cabo de 1 s, el cuerpo A ha recorrido 15 m, y el cuerpo B 12 m. ¿Cuál es la relación entre las masas de A y de B?

Las fuerzas que operan sobre ambos cuerpos son iguales y opuestas, de modo que:

$$\frac{d\vec{p}_A}{dt} = -\frac{d\vec{p}_B}{dt}$$

Dado que el tiempo que dura la interacción para ambos es el mismo y ambos parten del reposo, la anterior expresión se traduce en (expresada en módulos):

$$m_A v_A = m_B v_B$$

Puesto que después de la interacción se mueven con MRU, finalmente la anterior igualdad se puede expresar en términos de distancias recorridas de la forma:

$$m_A x_A = m_B x_B$$

Por tanto, la relación entre las masas es igual a la relación inversa entre las distancias recorridas por cada una de ellas

$$\frac{m_A}{m_B} = \frac{x_B}{x_A} = 0,8$$

Así pues: $m_A = 0,8 m_B$, o bien $m_B = 1,25 m_A$

- 14 Un contenedor de masa inicial m_0 avanza sin fricción sobre unos raíles, con velocidad inicial v_0 . Si su masa empieza a incrementarse en función del tiempo, según la expresión:

$$m = m_0 (1 + 0,03 t)$$

donde t se mide en segundos, determina:

- a) ¿En qué porcentaje se habrá reducido su velocidad al cabo de 1 minuto?

- b) ¿Cuánto tiempo debe transcurrir para que su velocidad disminuya en un 95 %?

Puesto que no hay fricción ni fuerzas externas mencionadas en el problema, el momento lineal se conserva.

$$m v = m_0 v_0 \quad \rightarrow \quad v = \frac{m_0}{m} v_0$$

Teniendo en cuenta la expresión de la masa en función del tiempo, entonces:

$$v = \frac{1}{1 + 0,03 t} v_0$$

- a) Al cabo de 60 s, el valor de la velocidad resulta ser:

$$v = 0,357 v_0$$

En consecuencia, se ha reducido en un 64,3 %.

- b) Para que la velocidad se reduzca en un 95 %, el cociente de la anterior igualdad habrá de valer:

Resolviendo el tiempo de dicha igualdad, se obtiene que:

$$\frac{1}{1 + 0,03 t} = 0,05$$

$$t = 10 \text{ min } 33 \text{ s}$$

- 15 Un carrito A, que se mueve a 0,7 m/s, golpea a otro carrito B que se encontraba en reposo. Tras la colisión, el carrito B se mueve a 0,9 m/s, mientras que la velocidad de A disminuye hasta 0,08 m/s. ¿Qué relación guardan las masas de A y B?

Por conservación del momento lineal en una sola dirección y dado que no hay rebote, considerando los valores de velocidad ofrecidos, se obtiene:

$$m_A \cdot 0,7 = m_A \cdot 0,8 + m_B \cdot 0,9$$

Resolviendo la ecuación:

$$m_A = 1,45 m_B$$

- 16 Teniendo en cuenta la relación entre las masas de los carritos del problema anterior, ¿con qué velocidad se moverían si, tras la colisión, hubiesen quedado unidos?

Al quedarse adheridos después de la colisión, la conservación del momento lineal se traduce en:

$$m_A \cdot 0,7 = (m_A + m_B) \cdot v'$$

Por tanto:

$$v' = \frac{m_A \cdot 0,7}{(m_A + m_B)}$$

Teniendo en cuenta la relación obtenida para las masas en el ejercicio anterior, entonces:

$$v' = 0,41 \text{ m/s}$$

- 17 ¿Por qué tras saltar sobre el suelo desde cierta altura es importante tocar tierra con las piernas flexionadas?

La variación de momento lineal que se produce cuando llegamos al suelo es la misma flexionando o no las piernas. Sin embargo, al flexionarlas, aumentamos el tiempo que dura dicha variación del momento lineal y, en consecuencia, disminuimos el valor de la fuerza que actúa contra nosotros.

- 18 Un karateka se dispone a romper de un solo golpe varios ladrillos apoyados en sus extremos sobre dos bloques; para ello lleva el brazo con una determinada cantidad de movimiento p contra los ladrillos (figura 11.23). Razona en qué caso comunicará una mayor fuerza contra los ladrillos:

- a) Si golpea los ladrillos manteniendo más tiempo el contacto con ellos.
b) Con un tiempo de ejecución del golpe muy breve.
c) Si da un golpe seco, haciendo que la mano rebote en el impacto.

La respuesta correcta es la c). Al dar un golpe seco haciendo que la mano rebote, la variación del momento lineal de la mano del karateka es máxima (debido al rebote), por lo que el impulso transmitido a las tablas es el mayor posible. Por otra parte, al tratarse de un golpe seco, el tiempo de contacto es mínimo, por lo que la fuerza aplicada es máxima.

- 19 Sobre un cuerpo en reposo de 25 kg de masa actúa, en un caso, una fuerza de 10 N durante 10 s y en otro, una fuerza de 50 N durante 2 s. Responde:

- a) ¿En cuál de las dos situaciones se le comunica al cuerpo mayor velocidad?
b) ¿Cuánto valdrá dicha velocidad?
a) El momento lineal que comunican ambos impulsos es el mismo, por lo que la velocidad que adquiere el cuerpo es también la misma.

- b) El valor de dicha velocidad es: $\frac{Ft}{m} = 4 \text{ m/s}$

- 20 Calcula la fuerza media que ha ejercido un cinturón de seguridad sobre un conductor de 75 kg cuyo vehículo ha colisionado contra un obstáculo fijo, sabiendo que circulaba a 110 km/h y que el impacto ha durado 0,06 s.

El impulso recibido por la persona en la colisión es $F\Delta t = \Delta p$ donde $\Delta p = -2291,7 \text{ kg m/s}$. Dado que el impacto dura 0,06 s, la fuerza media que actúa contra el pecho del conductor es de $-38194,4 \text{ N}$.

Debe hacerse notar que el valor de esta fuerza es muy elevado, debido a la corta duración del impacto, por lo que las fracturas óseas son inevitables y la suerte del conductor estaría muy comprometida. Esto puede servir para reflexionar acerca de las consecuencias de impactos a velocidad excesiva, pero también para insistir en la necesidad de utilizar siempre el cinturón de seguridad, pues la velocidad a la que hubiese salido despedido el conductor, si no lo hubiera llevado puesto, habría significado, sin duda alguna, su muerte instantánea.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 282)

Análisis

- 1 ¿Por qué razón el resultado de la aniquilación entre un positrón y un electrón es un par de fotones gamma y no un solo fotón?

Precisamente por conservación del momento lineal, de la colisión entre un positrón y un electrón (de idénticas masas) deben salir dos fotones. De lo contrario, se violaría el principio de conservación del momento lineal.

- 2 ¿Por qué los dos fotones salen emitidos en sentidos contrapuestos?

Por la misma razón expuesta en la respuesta anterior, si el electrón y el positrón chocan frontalmente (el momento lineal sería cero en el sistema centro de masas), deben salir dos fotones en direcciones contrapuestas, de modo que el momento lineal en dicho sistema de centro de masas siga siendo cero.

- 3 ¿Cómo crees que estaría constituido el «antihidrógeno», la antimateria del hidrógeno?

Estaría constituido por un antiprotón y un positrón.

- 4 Teniendo en cuenta que las masas de un electrón y un positrón son idénticas e iguales a $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, y dado que su equivalente energético se deduce de la expresión $E = mc^2$, trata de explicar por qué motivo el resultado de la aniquilación es la generación de fotones gamma y no, por ejemplo, de fotones de radiación ultravioleta. Busca para ello información sobre la energía correspondiente a los distintos tipos de fotones y haz una presentación para exponerla en clase.

A partir de la expresión $E = mc^2$ se deduce que la energía liberada en la aniquilación positrón-electrón es $1,638 \cdot 10^{-13}$ J. Como se puede comprobar a partir de la expresión de Planck, la longitud de onda correspondiente a esta energía es del orden de los 10^{-12} m, correspondiente a radiación gamma.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 283)

Cuestiones

- 1 Determina la pendiente de la gráfica. ¿Qué representa?

La pendiente de la gráfica representa la masa del carrito.

- 2 Si no dispusieras de balanza, ¿qué método utilizarías para medir masas? ¿Confirman tus resultados la segunda ley de Newton?

Podría usarse el procedimiento descrito en la experiencia; conocida la fuerza aplicada, basta con medir la aceleración para conocer la masa.

- 3 Elabora un informe de la práctica.

El informe debe seguir el protocolo de las publicaciones científicas.

SOLUCIONES DE ACTIVIDADES Y TAREAS (páginas 284/287)

Primera y segunda ley: concepto de fuerza

1 Razona si las siguientes afirmaciones son correctas o incorrectas a la luz de la primera ley:

- Un cuerpo no puede desplazarse sin que una fuerza actúe sobre él.
 - Toda variación en la velocidad de un cuerpo exige la actuación de una fuerza.
 - Un cuerpo se para si la fuerza que actuaba sobre él se hace cero y se mantiene nula.
- Falso; la primera ley afirma justamente lo contrario.
 - Verdadero; variación de velocidad significa aceleración y toda aceleración es inherente a la actuación de una fuerza externa.
 - Falso; esta era la creencia pregalileana. Al afirmar que la fuerza se hace cero, hemos de suponer que no actúa ninguna otra fuerza. En ese caso, el cuerpo se moverá indefinidamente con MRU, como afirma la primera ley.

2 Razona la veracidad o falsedad de la siguiente afirmación: «desplazar un satélite de 1000 kg de masa en el espacio vacío y en situación de ingravidez no nos costaría ningún esfuerzo, ya que el satélite no pesaría nada».

Es un equívoco muy común suponer que si las cosas no pesan, entonces no cuesta moverlas. La confusión tiene sus raíces en el error conceptual de confundir masa con peso. Un cuerpo en situación de ingravidez tiene masa inercial. Cuanto mayor sea su masa inercial, mayor será la fuerza que tendremos que ejercer para ponerlo en movimiento. Estamos, pues, en presencia de la segunda ley de Newton.

Dado que esta respuesta suele contradecir la «noción particular de las cosas» que comparten muchos alumnos y alumnas, es conveniente apoyarnos en ejemplos como los siguientes: por un lado, si la propuesta de la pregunta fuese cierta, el impacto de cualquier asteroide, por pequeño que fuera, apartaría totalmente a la Tierra de su órbita, pues nuestro planeta actuaría como ese satélite que no pesa nada; por otro lado, ¿acaso no costaría nada empujar un elefante que estuviera flotando en el agua?

3 Sobre un cuerpo de 10 kg de masa actúa una fuerza constante de 15 N en la dirección del movimiento. Si la velocidad inicial del cuerpo es de 3 m/s:

- ¿Cuál será su velocidad al cabo de 5 s?
 - ¿Cuánto valen sus momentos lineales inicial y final al cabo de esos 5 s?
 - Comprueba la veracidad de la siguiente expresión general de fuerza: $\vec{F} = d\vec{p}/dt$
- La aceleración, en la dirección del movimiento, valdrá:

$$a = \frac{F}{m} = 1,5 \text{ m/s}^2$$

Por tanto, la velocidad en función del tiempo:

$$v = v_0 + at = 3 + 1,5t \text{ m/s}$$

La velocidad a los 5 s será: $v = 10,5 \text{ m/s}$

$$b) p_0 = mv_0 = 10 \text{ kg} \cdot 3 \text{ m/s} = 30 \text{ kg m/s}$$

$$p_f = mv_f = 10 \text{ kg} \cdot 10,5 \text{ m/s} = 105 \text{ kg m/s}$$

c) El momento lineal, en función del tiempo, vale:

$$p = mv = 10 \text{ kg} (3 + 1,5t) \text{ m/s} = (30 + 15t) \text{ kg m/s}$$

Haciendo dp/dt , obtenemos justamente el valor de la fuerza de 15 N.

4 Un cuerpo de 10 kg, sometido a una fuerza constante, se mueve en cierto instante con una velocidad de $5\vec{i} \text{ m/s}$. Al cabo de 12 s, su velocidad es de $11\vec{i} + 4\vec{j} \text{ m/s}$. Determina:

a) Las componentes de la fuerza.

b) El valor de la fuerza.

a) A partir de la definición general de fuerza:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \frac{10(11\vec{i} + 4\vec{j}) - 10(5\vec{i})}{12} = 5\vec{i} + 3,33\vec{j} \text{ N}$$

Así pues, las componentes de la fuerza valen 5 N y 3,33 N en las direcciones X e Y, respectivamente.

b) Calculando el módulo de la fuerza, obtenemos $F = 6 \text{ N}$.

5 Una locomotora de AVE es capaz de hacer que el tren alcance una velocidad de 288 km/h ejerciendo para ello una fuerza de arrastre equivalente al 3% del peso del tren. ¿En cuánto tiempo alcanzará dicha velocidad si parte del reposo?

De acuerdo al dato del enunciado, la fuerza de arrastre ejercida es $0,03 mg$, por lo que la aceleración que adquiere la locomotora es:

$$a = \frac{F}{m} = 0,03 g = 0,294 \text{ m/s}^2$$

Puesto que parte del reposo, el tiempo que tarda en alcanzar dicha velocidad (80 m/s) es de:

$$t = \frac{v}{a} = 272 \text{ s}$$

Tercera ley y conservación del momento lineal

6 Un zoólogo que está estudiando la población de osos polares adormece un ejemplar cuya masa desea determinar. Para ello, solo dispone de una cuerda larga y una cinta métrica. ¿Cómo podría hacerlo? (se supone que el cazador conoce su peso).

Dado que el oso es polar, suponemos que la acción transcurre sobre hielo; es decir, podemos despreciar el rozamiento. El zoólogo podría calcular la masa del oso de la siguiente manera: con un extremo de la cuerda ata al animal y con el otro se ata él mismo. Marca el sitio donde se encuentran ambos y, a continuación, empuja fuertemente al oso.

Debido al tercer principio, el momento lineal del conjunto oso-persona se conservará, por lo que ambos se deslizarán en sentidos opuestos. Cuando la cuerda se haya estirado del todo, el animal y la persona se habrán desplazado distancias diferentes en el mismo tiempo, pues sus velocidades eran distintas. Es decir:

$$m_{\text{oso}} v_{\text{oso}} = -m_{\text{pers}} v_{\text{pers}}$$

Por lo que:

$$m_{\text{oso}} \frac{d_{\text{oso}}}{t} = -m_{\text{pers}} \frac{d_{\text{pers}}}{t}$$

El signo solo es indicativo del sentido del movimiento.

Eliminando t , se obtiene:

$$m_{\text{oso}} = m_{\text{pers}} \frac{d_{\text{pers}}}{d_{\text{oso}}}$$

Por tanto, no tendría más que medir con la cinta métrica las distancias recorridas por ambos.

- 7 Determina la relación entre las masas de dos carritos, A y B, que colisionan. Para ello, lanzamos el carrito A con una velocidad de 0,7 m/s contra el B, que está en reposo. Después del impacto, A rebota con una velocidad de 0,3 m/s, mientras que B sale despedido con una velocidad de 0,5 m/s.

En la colisión se cumple que:

$$m_A \vec{v}_A + m_B \vec{v}_B = m_A \vec{v}'_{2A} + m_B \vec{v}'_{2B}$$

Aplicando los valores con el criterio de signos correspondiente, tenemos:

$$0,7 \cdot m_A = 0,3 \cdot m_A + 0,5 \cdot m_B \Rightarrow m_B = 2 \cdot m_A$$

Es decir, la masa de B es el doble que la de A.

- 8 Dada la relación de masas obtenida en el ejercicio anterior, ¿con qué velocidad se movería el conjunto si los dos carritos se hubieran quedado enganchados después de la colisión?

Si los dos carritos quedan enganchados, según el principio de conservación del momento lineal:

$$m_A v_{0A} + m_B v_{0B} = (m_A + m_B) v_{AB}$$

despejando la velocidad del conjunto, obtenemos:

$$v_{AB} = 0,23 \text{ m/s}$$

- 9 La presión del aire es la fuerza promedio ejercida sobre la unidad de superficie, debida a las colisiones de las moléculas de aire. Teniendo en cuenta que la presión atmosférica es de 101 300 N/m², y considerando que la masa promedio de las moléculas del aire es de 4,78 · 10⁻²⁶ kg y su velocidad a temperatura ambiente de 600 m/s, determina:

- a) ¿Cuál es el momento lineal promedio de una molécula de aire?
- b) Si una molécula de aire colisiona perpendicularmente contra una superficie sólida, ¿cuál es la variación del momento lineal si la colisión es perfectamente elástica? (rebota con la misma velocidad con la que incidió).

- c) ¿Cuántas colisiones por segundo como la del caso anterior deben producirse para explicar el valor de la presión atmosférica?

- a) Con los datos del problema, el momento lineal promedio de una molécula de aire es:

$$p = m v = 2,87 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$$

- b) Si la molécula de aire colisiona perpendicularmente y rebota contra la base, la variación de momento lineal es:

$$\Delta p = m v - (-m v) = 2 m v = 5,74 \cdot 10^{-23} \text{ kg m/s}$$

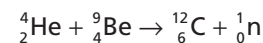
- c) Cada molécula que colisiona comunica un impulso igual a Δp . Por tanto, el número de colisiones necesarias en un segundo para generar el valor de la presión atmosférica de 101 300 N/m² será:

$$xn = \frac{101\,300 \text{ N/m}^2}{\Delta p} = \frac{101\,300 \text{ N/m}^2}{5,74 \cdot 10^{-23} \text{ N} \cdot \text{s}}$$

Por tanto:

$$n = 1,76 \cdot 10^{27} \text{ colisiones/s} \cdot \text{m}^2$$

- 10 Una partícula α (núcleo de He) que se mueve con una velocidad de 2 · 10⁷ m/s colisiona contra un núcleo de berilio en reposo. Como resultado de la colisión, el núcleo de berilio se transforma en un núcleo de carbono (que permanece en reposo) y se emite un neutrón según la reacción:



¿Con qué velocidad sale emitido el neutrón?

Las únicas partículas con momento lineal distinto de cero son la partícula alfa (núcleo de He) y el neutrón, por lo que la conservación del momento lineal exige que:

$$m_\alpha v_\alpha = m_n v_n \rightarrow v_n = \frac{m_\alpha}{m_n} v_\alpha$$

Puesto que la masa de la partícula alfa es aproximadamente 4 veces la del neutrón, la velocidad del neutrón será:

$$v_n = 8 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

- 11 Una sonda espacial tiene una masa de 500 kg y se mueve en una región interplanetaria cuya densidad es de 2 · 10⁻¹⁴ g/cm³, con una velocidad de 8 · 10⁵ cm/s. Si suponemos que en su movimiento a través del medio adquiere masa debida al polvo interplanetario que se adhiere a la sonda, y considerando que el área transversal efectiva expuesta a dicho polvo durante el movimiento es de 3 · 10⁴ cm², determina:

- a) La masa de polvo interplanetario, en gramos, que se adhiere a la sonda por unidad de tiempo.
- b) El tiempo que debería transcurrir para que la sonda redujera su velocidad hasta 0,95 veces el valor de su velocidad inicial, como consecuencia de la variación de su masa en el tiempo.
- a) En un segundo, la sonda se ha desplazado 8 · 10⁵ cm. Teniendo en cuenta que el área transversal efectiva (sección eficaz) es de 3 · 10⁴ cm², el volumen barrido en un segundo será:

$$V = 8 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^4 = 2,4 \cdot 10^{10} \text{ cm}^3$$

Considerando la densidad de la región interplanetaria, la masa Δm adquirida por segundo será:

$$\Delta m = \rho \cdot V = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ g/s}$$

- b) La masa se incrementa con el tiempo según la expresión:

$$m' = m_0 + \Delta m \cdot t$$

Puesto que la velocidad final debe ser $0,95 v_0$, entonces, por conservación del momento lineal:

$$m_0 v_0 = (m_0 + \Delta m \cdot t) 0,95 v_0$$

De donde, despejando t , se obtiene:

$$t = \frac{0,05 m_0}{0,95 \Delta m} = 5,48 \cdot 10^7 \text{ s}$$

Que equivale a 1,74 años.

- 12 Un coche de 1400 kg de masa circula a 120 km/h y consigue frenar en 15 m. ¿Cuál ha sido la fuerza de frenado que ha actuado, suponiéndola constante?

La aceleración que actúa es:

$$v_f^2 = 0 = v_0^2 + 2ad \quad a = \frac{-v_0^2}{2d} = -37,037 \text{ m/s}^2$$

Por tanto:

$$F = ma = -51\,852 \text{ N}$$

- 13 La velocidad de una partícula de 2 kg, que se mueve en la dirección x , varía según la expresión $v = -16 + 4 t^2$.

- a) Deduce la expresión para la fuerza que actúa sobre dicha partícula, así como su valor a los 2 s.
- b) ¿Cambia de sentido el movimiento de la partícula? En caso afirmativo, ¿cuántas veces? Demuestra tu respuesta.
- a) Puesto que una expresión de la fuerza es $F = dp/dt \cdot m$, derivamos la expresión del momento lineal y multiplicamos por la velocidad:

$$F = 8t \cdot 2 \text{ N} = 16t \text{ N}$$

Para hallar el valor a los dos segundos basta con sustituir en la expresión anterior:

$$F_2 = 32 \text{ N}$$

- b) Como sabemos, un movimiento cambia de sentido cuando su velocidad se hace cero, por lo tanto:

$$v = 0 = 16 + 4t^2$$

La ecuación de segundo grado solo aporta un valor que debemos tener en cuenta, $t = 2 \text{ s}$.

- 14 Una partícula de masa 300 g se mueve a 0,5 m/s a lo largo del eje X y choca contra una partícula de 400 g que se halla en reposo. Después del choque, la primera partícula se mueve a 0,2 m/s en una dirección que forma 30° con el eje X . Determina:

- a) La magnitud y la dirección de la velocidad de la segunda partícula después del choque.
- b) La variación de la velocidad y del momento lineal de cada partícula.
- a) Puesto que el único movimiento inicial tenía lugar en la dirección X , la conservación del momento lineal exige que:

$$m_1 \vec{v}'_{1x} + m_2 \vec{v}'_{2x} = m_1 \vec{v}_1$$

$$m_1 \vec{v}'_{1y} + m_2 \vec{v}'_{2y} = 0$$

Sustituyendo los valores ofrecidos en la primera ecuación, obtenemos:

$$\vec{v}'_{2x} = 0,245 \vec{i} \text{ m/s}$$

Por otro lado, sustituyendo valores en la segunda ecuación, se obtiene:

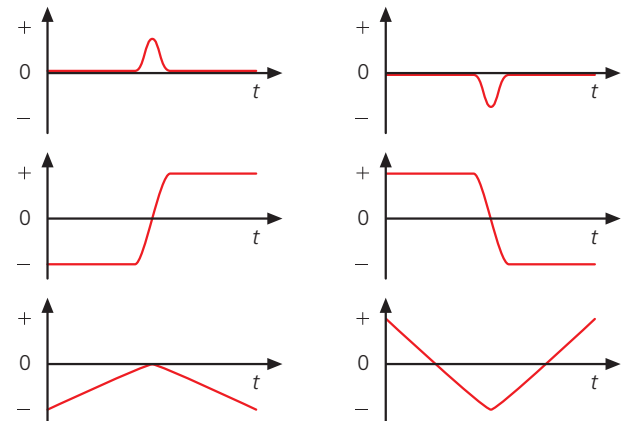
$$\vec{v}'_{2y} = -0,075 \vec{j} \text{ m/s}$$

Por tanto: $v'_2 = 0,256 \text{ m/s}$; su dirección es:

$$\text{tg } \beta = \frac{v'_{2y}}{v'_{2x}} = -0,306 \quad \beta = -17^\circ$$

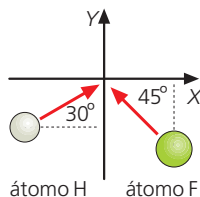
- 15 Dos carritos idénticos, A y B, se mueven en sentidos opuestos uno al encuentro del otro sobre un carril de aire (no existe rozamiento y el movimiento es uniforme). Inicialmente, A se mueve en el sentido positivo de x y B lo hace en sentido negativo. Tras el impacto en el punto medio ambos rebotan en sentidos opuestos. Las siguientes gráficas describen la variación temporal de algunas de las variables asociadas a este experimento. Razona qué gráfica corresponde a cada una de las proposiciones que se enumeran a continuación (si no se corresponde con ninguna, indícalo expresamente).

- a) El momento lineal del carro A.
- b) La fuerza que actúa sobre el carro B.
- c) La fuerza que actúa sobre el carro A.
- d) La posición del carro A.
- e) La posición del carro B.



- a) En la gráfica a) el momento lineal inicial es positivo, pero tras el impacto rebota, por lo que su momento lineal es ahora negativo.
- b) La gráfica b) representa la fuerza que actúa durante el impacto sobre el carro B; tiene sentido positivo, pues es ejercida por A sobre B y produce que B varíe su momento lineal en sentido positivo.
- c) Es la gráfica c), por las mismas razones que se han expuesto en el apartado anterior.
- d) Es la gráfica d). Inicialmente el carro se mueve hacia el sentido positivo, como se indica en el enunciado. Se considera que el impacto sucede en el origen 0, tras el cual, el carro A se mueve en sentido negativo.
- e) La posición del carro B no aparece representada por ninguna gráfica. Sería justamente la inversa de la anterior.

- 16 En una reacción entre átomos en fase gaseosa, un átomo de H colisiona contra otro de F, como se indica en la figura, dando lugar a una molécula HF. Si los valores de las velocidades iniciales son $v_H = 2,6 \cdot 10^5$ m/s y $v_F = 9,1 \cdot 10^4$ m/s, determina la velocidad y la dirección de la molécula resultante (busca los datos de masas en el libro).



En primer lugar, buscamos las masas del átomo de hidrógeno, del de flúor y de la molécula de fluoruro de hidrógeno.

$$m_H = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$m_F = 3,15 \cdot 10^{-26} \text{ kg} ; m_{HF} = 3,32 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

En segundo lugar, vamos a expresar las velocidades iniciales de los elementos en forma vectorial.

Para ello hay que tener en cuenta, además del ángulo que forma cada trayectoria con los ejes de coordenadas, el sentido. Las componentes x e y del hidrógeno serán positivas mientras que para el flúor, la componente x será positiva y la y negativa.

Así pues:

$$\begin{aligned} \vec{v}_{0H} &= v_{0H} \cos 30^\circ \vec{i} + v_{0H} \sin 30^\circ \vec{j} \\ &= 2,6 \cdot 10^5 \cdot 0,87 \vec{i} + 2,6 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \vec{j} \\ &= 2,26 \cdot 10^5 \vec{i} + 1,3 \cdot 10^5 \vec{j} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{v}_{0F} &= -v_{0F} \cos 45^\circ \vec{i} + v_{0F} \sin 45^\circ \vec{j} \\ &= -9,1 \cdot 10^4 \cdot 0,7 \vec{i} + 9,1 \cdot 10^4 \cdot 0,7 \vec{j} \\ &= -63,7 \cdot 10^5 \vec{i} + 63,7 \cdot 10^5 \vec{j} \end{aligned}$$

Una vez que disponemos de todos los datos, no hay más que aplicar la ecuación de conservación del momento lineal teniendo en cuenta que tras el choque, ya solo hay una velocidad porque los átomos están unidos.

$$m_H \cdot \vec{v}_{0H} + m_F \cdot \vec{v}_{0F} = m_{HF} \cdot \vec{v}_{HF}$$

De esta ecuación vectorial se despeja la velocidad final del conjunto:

$$\vec{v}_{HF} = \frac{m_H \cdot \vec{v}_{0H} + m_F \cdot \vec{v}_{0F}}{m_{HF}}$$

Sustituyendo cada término por su expresión vectorial y operando obtenemos una expresión del tipo:

$$\vec{v}_{HF} = v_{HFx} \vec{i} + v_{HFy} \vec{j}$$

cuyo módulo o valor es:

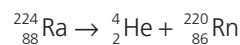
$$v_{HF} = \sqrt{v_{HFx}^2 + v_{HFy}^2} = 8,38 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

Para hallar el ángulo con que sale despedida la molécula de fluoruro de hidrógeno no hay más que calcular:

$$\theta = \text{artg} \frac{v_{HFy}}{v_{HFx}} = 126,3^\circ$$

- 17 Un átomo de radio (de número másico 224), que está en reposo, se desintegra espontáneamente emitiendo una partícula alfa (núcleo de He) con una velocidad de 10^5 m/s. ¿Cuál es la velocidad y el sentido del movimiento que adquiere el núcleo residual?

Es una reacción de desintegración alfa:



Si suponemos que el átomo de radio se encuentra inicialmente en reposo, en la desintegración debe conservarse el momento lineal. Como el momento lineal inicial del radio es cero:

$$m_{\text{He}} v_{\text{He}} = -m_{\text{Rn}} v_{\text{Rn}}$$

Sustituyendo los valores, se obtiene la velocidad del radón:

$$v_{\text{Rn}} = 1818,1 \text{ m/s}$$

y su sentido es contrario al de la partícula α .

- 18 Un vagón que dispone de un contenedor abierto por la parte superior tiene una masa total de 1250 kg y se mueve a 30 km/h sobre una vía recta. En cierto momento comienza a llover, y el contenedor se llena de agua a razón de 5 L/min.

a) ¿Con qué velocidad se moverá al cabo de hora y media de incesante lluvia? (se desprecia el rozamiento).

b) Expresa la velocidad del vagón en función del tiempo.

a) Suponemos que no actúan sobre el vagón fuerzas externas, por lo que, en ese caso, se conservará el momento lineal. Al cabo de 90 min (hora y media), la masa del vagón se habrá incrementado en 450 kg de agua, por lo que:

$$Mv_0 = (M + m)v \Rightarrow v = 22 \text{ km/h}$$

b) La masa de agua que se añade en función del tiempo (expresado en min) viene dada por:

$$m = 5t \text{ kg}$$

Por tanto, la velocidad en función del tiempo vendrá dada por:

$$v = \frac{M}{M + 5t} \cdot v_0$$

Sustituyendo M , resulta:

$$v = \left(\frac{1250}{1250 + 5t} \cdot 30 \right) = \frac{250}{250 + t} \cdot 30 \text{ km/h}$$

Concepto de impulso mecánico

- 19 Un futbolista golpea el balón con una fuerza media de 400 N. El esférico sale lanzado formando un ángulo de 45° con la horizontal y vuelve a tocar tierra a una distancia de 35 m. ¿Cuánto tiempo ha durado el contacto entre el pie y el balón? Dato: $m_{\text{balón}} = 240$ g

Se trata de un problema de impulso mecánico en el que conocemos la fuerza media que actúa, pero desconocemos el tiempo, t . Para establecer el impulso, deberemos calcular la velocidad con que sale el balón.

A partir de la expresión de alcance máximo de un lanzamiento parabólico, podemos deducir la velocidad de lanzamiento del balón:

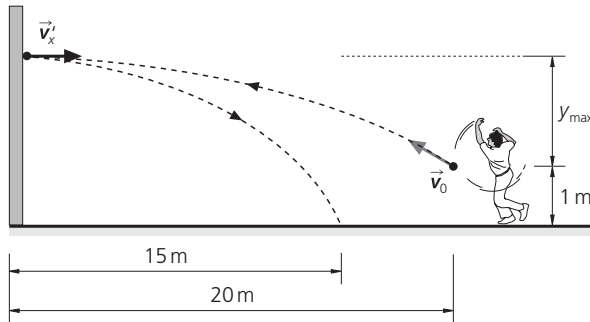
$$v_{\text{lanz}} = 18,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \Rightarrow p = mv_{\text{lanz}} = 4,44 \text{ kg m/s}$$

Por tanto:

$$F_m t = p \Rightarrow t = 0,011 \text{ s}$$

- 20 En un partido de pelota vasca, un pelotari golpea desde 20 m una pelota de 200 g que sale despedida de su mano (a 1 m sobre el suelo) formando un ángulo de 30° sobre la horizontal. La pelota golpea horizontalmente contra la pared y, tras rebotar, cae a 15 m de ella. ¿Qué impulso ha ejercido la pared sobre la pelota?

En el siguiente dibujo se ilustra la solución a este problema:



El hecho de golpear la pared (que dista 20 m) horizontalmente significa que está justo a mitad de su alcance máximo y en su punto de máxima altura. Por tanto, como $v_{\text{máx}} = 40 \text{ m}$, a partir de la expresión de alcance máximo en un lanzamiento parabólico, podemos calcular la velocidad con que sale la pelota de la mano del pelotari: $v_0 = 21,27 \text{ m/s}$. Como la velocidad con que llega a la pared es la componente horizontal:

$$v_{0x} = v_0 \cos 30^\circ = 18,4 \text{ m/s}$$

Si ahora queremos calcular la velocidad con la que sale, podemos hacerlo imaginando que el rebote es un lanzamiento horizontal desde cierta altura (que calcularemos en primer lugar) que cae a una distancia horizontal de 15 m. La altura a la que impacta la pelota con la pared es la altura máxima de la primera parábola (que resulta ser 5,77 m), a la que hay que añadir 1 m de altura inicial:

$$y = y_{\text{máx}} + 1 = 6,77 \text{ m}$$

Combinando las ecuaciones componentes de x e y del lanzamiento horizontal, obtenemos la ecuación parabólica de la trayectoria, que nos permitirá calcular la velocidad con que sale rebotada la pelota:

$$y = \frac{1}{2} g x^2 / v_x'^2 \quad v_x' = 12,76 \text{ m/s}$$

Por tanto, el impulso que la pared comunica a la pelota es:

$$I = mv_x' - (-mv_{0x}) = 6,23 \text{ kg m/s}$$

- 21 Una pelota de béisbol de 140 g de masa llega horizontalmente al bate con una velocidad de 39 m/s. Tras el impacto sale despedida con una velocidad de 45 m/s, formando un ángulo de 30° sobre la horizontal. ¿Cuánto vale el impulso comunicado a la pelota? Expresa dicho impulso como vector determinando su valor y dirección.

Sabemos que la variación del momento lineal es igual al impulso mecánico.

$$\vec{I} = \Delta \vec{p}$$

Analicemos los dos casos, el antes y el después del impacto:

$$\vec{p}_i = mv_{ix} = -0,140 \text{ g} \cdot 39 \vec{i} \text{ m/s} = -5,46 \vec{i} \text{ kg m/s}$$

$$\begin{aligned} \vec{p}_f &= mv_f \cdot \cos 30^\circ \vec{i} + mv_f \cdot \sin 30^\circ \vec{j} = \\ &= 0,140 \text{ g} \cdot 45 \text{ m/s} (\cos 30^\circ \vec{i} + \sin 30^\circ \vec{j}) = \\ &= 5,46 \vec{i} + 3,15 \vec{j} \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

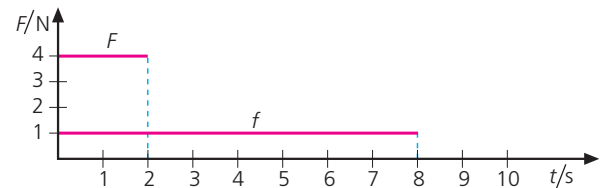
Por tanto,

$$\vec{I} = \Delta \vec{p} = 10,92 \vec{i} + 3,15 \vec{j} \text{ kg m/s}$$

El módulo y la dirección será:

$$I = 11,4 \text{ kg m/s}; \alpha = 16^\circ$$

- 22 Sobre un cuerpo de masa m , inicialmente en reposo, se aplican, en sucesivos experimentos, las fuerzas F y f , representadas en la gráfica de la figura. ¿En qué caso será mayor la velocidad final?



La fuerza de 1 N actúa durante 8 s, mientras que la fuerza de 4 N lo hace durante 2 s. Por tanto, el impulso producido por ambas fuerzas es idéntico y comunicarán la misma velocidad al cuerpo de masa m .

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN (página 289)

1. Una misma fuerza actúa frenando dos cuerpos de masas m y m' que se movían con la misma velocidad. Si $m' = 3m$, determina: la relación entre las aceleraciones negativas que adquieren ambas masas y la relación entre los espacios que recorre cada uno de los cuerpos hasta que se paran.

Dado que la fuerza es la misma, pero $m' = 3m$, entonces la aceleración que adquiere m' es $1/3$ de la aceleración de m . es decir:

$$a' = 1/3 a$$

A partir de la expresión $v^2 = v_0^2 - 2as$, el espacio que recorrerán hasta pararse vendrá dado por:

$$s = \frac{v_0^2}{2a}$$

Por tanto $s' = 3s$. Es decir, el espacio que recorrerá m' hasta pararse será el triple que el que recorrerá m .

2. Razona la veracidad o falsedad de cada una de las siguientes proposiciones. Si una fuerza de 20 N actúa sobre dos cuerpos, uno de 5 kg y otro de 10 kg, inicialmente en reposo, entonces:

- La velocidad del primero será en todo instante el doble que la del segundo.
- Acabarán teniendo la misma velocidad, pues el segundo tiene el doble de inercia.
- El primero habrá recorrido el doble de distancia en cualquier instante.

a) La primera proposición es correcta, dado que $v = at$ y la aceleración del primero es el doble que la del segundo.

b) Por lo expuesto en el apartado a, esta proposición es falsa.

c) Teniendo presente que $s = 1/2 at^2$ y dado que la aceleración del primero es el doble de la del segundo, la proposición es correcta.

3. Una fuerza F actúa sobre dos cuerpos de masas 5 y 15 kg, respectivamente, y comunicándoles la misma velocidad. Razona y explica convenientemente si sería posible la situación enunciada.

Sí sería posible si sobre el cuerpo de triple masa (15 kg) la fuerza actúa durante el triple de tiempo, en virtud del teorema del impulso.

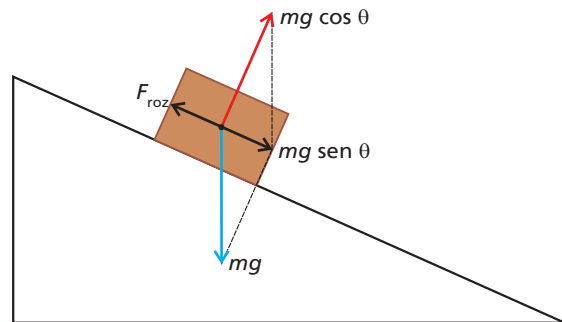
4. Si se comunica el mismo impulso a dos cuerpos en reposo de masas m y m' , siendo $m' = 2m$. ¿Cómo son, en comparación, las velocidades que adquieren?

Teniendo en cuenta la expresión del impulso mecánico, si éste es idéntico para ambos cuerpos, el momento lineal que adquieren es también idéntico, por lo que el cuerpo de masa doble (m') se moverá con la mitad de velocidad.

5. Un cuerpo se encuentra en reposo sobre un plano inclinado. Identifica, dibuja y explica el significado físico de todas las fuerzas que actúan sobre él en dicha situación.

Si el cuerpo está en reposo sobre un plano inclinado, las fuerzas que actúan sobre él son las siguientes:

- La componente del peso perpendicular a la superficie del plano ($mg \cos \theta$) ejerce sobre el suelo una fuerza de opresión. De ese modo, el suelo ejerce sobre el cuerpo una reacción (N) igual y opuesta estas dos fuerzas dan como resultante una fuerza en la dirección del plano igual a $mg \sin \theta$.
- La fuerza de rozamiento entre el cuerpo y el suelo es igual y opuesta a la anterior. De ese modo el cuerpo permanece en equilibrio.



6. Un vagón de masa m , que se mueve con velocidad v_0 , colisiona contra otro vagón de masa m' que se encontraba en reposo. Si $m = 9m'$ y después de la colisión ambos quedan enganchados, ¿qué porcentaje de velocidad se pierde en la colisión?

Por conservación del momento lineal, se tiene que:

$$m v = (m + m')v' \rightarrow 9m' = 10m'v' \rightarrow v' = 0,9 v$$

Por tanto, en la colisión se ha perdido un 10% de la velocidad inicial.

7. Una persona de masa m empuja en una pista sin rozamiento a otra cuya masa es la mitad de la anterior. Explica qué es lo que sucederá y compara: las fuerzas que se ejercen mutuamente, la aceleración que adquiere cada persona y las distancias que habrán recorrido ambas personas en un mismo instante.

Teniendo en cuenta lo explicado en la actividad 13, podemos afirmar que:

- Las fuerzas que se ejercen mutuamente son iguales
- La aceleración que adquiere bajo esa misma fuerza el de doble masa es la mitad.
- Una vez que se separan no actúa ningún tipo de aceleración, puesto que no hay rozamiento. Dado que el impulso es el mismo para ambos, el de mitad de masa adquiere el doble de velocidad y recorrerá el doble de espacio en el mismo tiempo, con MRU.

8. Sobre un cuerpo de 20 kg de masa que se encuentra en reposo en la posición $(X, Y) = (-2, 4)$, actúa una fuerza $\vec{F} = -10\vec{j}$ N. ¿Qué posición ocupará el cuerpo al cabo de 4 s?

La aceleración que actúa sobre el cuerpo es $\vec{a} = -0,5\vec{j}$ m/s². Así pues, dado que parte del reposo, la posición del cuerpo vendrá dada por la expresión:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \frac{1}{2} \vec{a}t^2$$

Sustituyendo los valores ofrecidos, en $t = 4$ s el cuerpo se encontrará en la posición $(-2, 0)$.

9. Un cuerpo de masa m está sometido a una única fuerza constante en módulo. Pese a ello, el valor de la velocidad de m no cambia con el tiempo. ¿Qué tipo de movimiento describe el cuerpo?

Es obvio que bajo las condiciones expuestas en el enunciado, la fuerza es centrípeta (puesto que es única y constante en módulo) y solo de ese modo puede explicarse la constancia del valor de la velocidad. Por tanto, el cuerpo describe un movimiento circular uniforme.

10. Una partícula describe círculos con velocidad angular ω constante, en el plano YZ y en sentido horario, al-

rededor de un sistema de referencia O considerado en reposo. ¿Qué situación describirá un observador O' cuyo sistema de referencia rota en sentido horario alrededor del eje X con la misma velocidad angular ω ? ¿Estarán de acuerdo ambos observadores en la descripción de las posibles fuerzas que actúan?

El cuerpo estará en reposo relativo con respecto al observador O' , por lo que ambos observadores no estarán de acuerdo en cuanto a las fuerzas que actúan. Para O , sobre el cuerpo actúa una fuerza centrípeta, mientras que para O' no actúa fuerza alguna.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1. Aplica el concepto de momento lineal como característica del estado de movimiento de un cuerpo.	A: 1,2 ER: 5,6 AT: 9	Resuelve correctamente todas las actividades	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas	Responde de manera totalmente errónea o no responde	
2.1. Interpreta y resuelve situaciones cotidianas utilizando las leyes del movimiento.	A: 3-13 ER: 1,2,3,4 AT: 1-5	Resuelve correctamente todas las actividades	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas	Responde de manera totalmente errónea o no responde	
3.1. Representa todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, obteniendo la resultante, y extrayendo consecuencias sobre su estado de movimiento.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.2. Identifica correctamente los pares acción-reacción en situaciones cotidianas.		Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1. Aplica las leyes de Newton para resolver las distintas magnitudes cinemáticas.		Resuelve correctamente todas las actividades.	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas.	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Explica el movimiento de dos cuerpos en casos prácticos como colisiones y sistemas de propulsión mediante el principio de conservación del momento lineal.	A: 14-16 ER: 5, 6 AT: 6-18	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.2. Resuelve problemas de conservación del momento lineal en una y dos dimensiones		Resuelve correctamente todas las actividades	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas	Responde de manera totalmente errónea o no responde	
6.1. Establece la relación entre impulso mecánico y momento lineal aplicando la segunda ley de Newton.	A: 17-20 AT: 19-22	Resuelve correctamente todas las actividades	Resuelve correctamente la mayoría de las actividades, con fallos en algunas de ellas	Resuelve las actividades pero tiene fallos en bastantes de ellas	Responde de manera totalmente errónea o no responde	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Una fuerza, F , aplicada a un cuerpo le comunica una aceleración de 5 m/s^2 , mientras que otra fuerza, F' , que actúa sobre el mismo cuerpo, lo acelera a razón de 8 m/s^2 . Determina:

- Cómo es F' en comparación con F .
 - Qué aceleración adquiriría el cuerpo si las dos fuerzas actuaran en la misma dirección y sentido.
 - Qué aceleración adquiriría el cuerpo si las dos fuerzas actuaran en sentidos opuestos.
 - Qué aceleración adquiriría el cuerpo si las dos fuerzas actuaran perpendicularmente entre sí.
- F' es $8/5$ veces mayor que F ; es decir, $F' = 1,6 F$.
 - Se cumplirá que:

$$a = \frac{F + F'}{m} = \frac{F}{m} + \frac{F'}{m} = 5 \text{ m/s}^2 + 8 \text{ m/s}^2 = 13 \text{ m/s}^2$$

- En este caso,

$$a = \frac{F + F'}{m} = \frac{F}{m} + \frac{F'}{m} = 5 \text{ m/s}^2 - 8 \text{ m/s}^2 = -3 \text{ m/s}^2$$

(en el sentido de F).

- La aceleración será ahora: $a = \sqrt{5^2 + 8^2} = 9,43 \text{ m/s}^2$

2. Sobre un cuerpo de 4 kg inicialmente en reposo en el punto $(2, 1)$ actúan las fuerzas $\vec{F}_1 = 3\vec{i} + 7\vec{j} \text{ N}$, $\vec{F}_2 = -\vec{i} + 4\vec{j} \text{ N}$ y $\vec{F}_3 = 2\vec{i} - 3\vec{j} \text{ N}$. Determina:

- La aceleración que adquiere el cuerpo, tanto en forma vectorial como en módulo.
 - La posición en la que se encontrará el cuerpo al cabo de 2 s .
 - La velocidad que tendrá en ese instante.
 - El desplazamiento que habrá efectuado en 5 s .
- La fuerza resultante sobre el cuerpo $\vec{F}_r = 4\vec{i} + 8\vec{j} \text{ N}$, por lo que $\vec{a} = \vec{i} + 2\vec{j} \text{ m/s}^2$. Su módulo es igual a $\sqrt{5} \text{ m/s}^2$.
 - Dado que parte del reposo, su posición en cualquier instante vendrá dada por $\vec{r} = \vec{r}_0 + 1/2 \vec{a}t^2$.

Por tanto:

$$\vec{r} = (2, 1) + \frac{1}{2} \cdot (1, 2) \cdot 2^2 = (4, 5),$$

punto en el que se encontrará a los 2 s .

- Su velocidad será $\vec{v} = \vec{a}t = 2\vec{i} + 4\vec{j} \text{ m/s}$. Su valor es de $4,47 \text{ m/s}$.
- El desplazamiento a los 5 s viene dado por:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_5 - \vec{r}_0 = \frac{1}{2} \vec{a}t^2 = 12,5\vec{i} + 25\vec{j} \text{ m}$$

cuyo valor es de $27,95 \text{ m}$.

3. En una maniobra de enganche, una locomotora de tren de 10 t que se movía con una velocidad de 1 m/s se acopla a un vagón de 4 t que estaba en reposo. ¿Con qué velocidad se moverá el conjunto después de la maniobra?

El momento lineal se conserva en la colisión, por lo que $mv_0 = (m + m')v$; despejando, se obtiene $v = 0,7 \text{ m/s}$.

4. Durante una sesión de Educación Física con balones medicinales de 5 kg de masa, una alumna lanza el balón a su compañero con una velocidad de 5 m/s . Este, despistado, no lo ve venir y recibe el impacto en el pecho, tras el cual el balón sale rebotado a 2 m/s .

- Si la masa del muchacho es de 65 kg , ¿qué velocidad le comunica el balón en el impacto?
- Si el impacto ha durado $0,3 \text{ s}$, ¿qué fuerza media ha tenido que soportar el esternón del muchacho?
- ¿Qué fuerza media ha actuado sobre el balón?

- Aplicando la conservación del momento lineal durante el impacto, tenemos:

$$m_{\text{balón}} v_0 = -m_{\text{balón}} v' + m_{\text{chico}} v_{\text{chico}}$$

Despejando, se obtiene $v_{\text{chico}} = 0,54 \text{ m/s}$.

- Dado que el impulso equivale a la variación del momento lineal del muchacho, que es de 35 kg m/s , la fuerza media que ha soportado su esternón es:

$$F = \Delta p/t = 116,67 \text{ N}$$

- En virtud de la tercera ley, la fuerza media que ha actuado sobre el balón en el impacto es igual y de sentido contrario a la anterior.

5. Responde de forma razonada (con argumentos físicos) a las siguientes cuestiones:

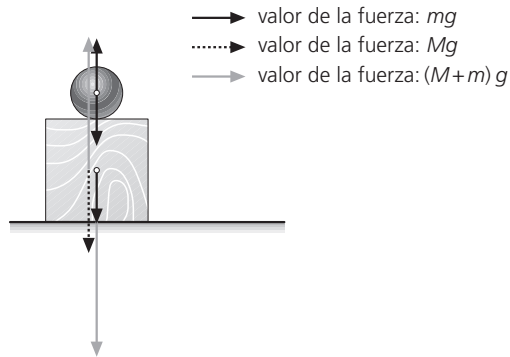
- ¿Todo cuerpo en movimiento está dotado de impulso mecánico?
 - ¿Todo cuerpo de masa grande tiene también gran cantidad de movimiento?
 - ¿En qué caso se ejerce más impulso sobre una plancha de madera: cuando se lanzan 30 bolas de acero sobre ella y rebotan o cuando las mismas 30 bolas, lanzadas con igual velocidad, se quedan incrustadas en la madera?
 - ¿Cuándo es mayor la fuerza que ejercemos sobre el suelo: al saltar sobre él o al permanecer en reposo?
- No, el impulso únicamente aparece cuando se ejerce una fuerza sobre un cuerpo, es decir, es una magnitud inherente a una interacción, pero no es característica del movimiento de un cuerpo.
 - En absoluto; la cantidad de movimiento se define por el producto mv , por lo que, si está en reposo, su cantidad de movimiento sería nula, por muy grande que fuese la masa del cuerpo.
 - En el caso en que rebotan, pues la variación de momento lineal es mayor que en el caso en que se incrustan.
 - La fuerza que ejercemos contra el suelo es igual a nuestro propio peso en ambos casos, por lo que supone exactamente lo mismo.

6. Una esfera de acero de masa m cae sobre un bloque de madera de masa M que estaba en reposo en el suelo.

Dibuja correctamente todas las fuerzas que actúan en el sistema suelo-bloque-esfera en el momento del impacto.

La esfera ejerce una fuerza sobre el bloque igual al peso de la esfera, mg . Este responde devolviendo una fuerza igual y contraria, que actúa sobre la esfera.

Sobre el bloque actúan, pues, mg y Mg (su propio peso), que son las fuerzas que se ejercen, a su vez, sobre el suelo, que responde provocando sobre el bloque una reacción $N = (m + M)g$. Representando esta situación en un diagrama, se obtiene el esquema que aparece debajo.



7. En un partido de frontón, un pelotari recibe la pelota con una velocidad de 10 m/s formando un ángulo de 15° bajo la horizontal y la devuelve a 20 m/s con un ángulo de 30° sobre la horizontal. Si la pelota es de 102 g y el golpe tiene lugar a 1 m del suelo, calcula:
- El impulso que el pelotari comunica a la pelota, tanto vectorialmente como en módulo.
 - La fuerza que ejerce el pelotari sobre la pelota si el impacto dura 0,1 s.
 - La altura del suelo a la que impactará la pelota contra la pared si el pelotari golpea desde 15 m.

- d) La velocidad que lleva la pelota en el momento del impacto contra la pared.

- a) Transformando los datos de velocidad inicial y final a expresiones vectoriales, se obtiene:

$$\vec{v}_{\text{después}} = 17,3\vec{i} + 10\vec{j} \text{ m/s}$$

$$\vec{v}_{\text{antes}} = -9,7\vec{i} - 2,6\vec{j} \text{ m/s}$$

El impulso equivale a la variación del momento lineal, por lo que:

$$\begin{aligned} \vec{I} = \Delta\vec{p} &= 0,102 \cdot [(17,3\vec{i} + 10\vec{j}) - (-9,7\vec{i} - 2,6\vec{j})] = \\ &= 2,75\vec{i} + 1,28\vec{j} \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

El módulo es de 3,03 kg m/s.

- b) Dado que $I = F \Delta t$, despejando el valor de la fuerza se obtiene $F = 30,3 \text{ N}$.

- c) La altura la determinamos a partir de la ecuación:

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

Resolviendo t a partir de la ecuación de alcance, $x = v_x t$:

$$15 = 17,3 t \Rightarrow t = 0,86 \text{ s}$$

Sustituyendo este tiempo en la expresión de altura, comprobamos que impacta aproximadamente a 6 m del suelo.

- d) La componente horizontal de la velocidad se mantiene invariable e igual a 17,3 m/s, mientras que la componente vertical es igual a:

$$v_y = v_{0y} - gt = 10 - 9,8 \cdot 0,86 = 1,6 \text{ m/s}$$

Por tanto, la velocidad con la que impacta contra la pared es:

$$\vec{v} = 17,3\vec{i} + 1,6\vec{j} \text{ m/s};$$

su valor es, pues, de 17,4 m/s.

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

1. Dos cuerpos, uno de 10 kg y otro de 15 kg, tendrán el mismo momento lineal si:
 - a) La velocidad del primero es $2/3$ de la del segundo.
 - b) La velocidad del primero es $1/2$ de la del segundo.
 - c) La velocidad del primero es $3/2$ de la del segundo.
2. Un cuerpo se moverá con velocidad constante si:
 - a) No actúan fuerzas sobre él.
 - b) Actúa sobre él una fuerza constante que mantenga su velocidad.
 - c) Las fuerzas que actúan sobre él se anulan.
3. Si no actúan fuerzas sobre un cuerpo:
 - a) El cuerpo no se acelera.
 - b) El cuerpo estará en reposo.
 - c) El cuerpo acabará parándose si estaba en movimiento.
4. Las fuerzas de acción y reacción:
 - a) Solo son iguales si el cuerpo no está acelerando.
 - b) Actúan sobre el mismo cuerpo, son iguales y de sentidos opuestos.
 - c) Actúan sobre cuerpos distintos.
5. Una misma fuerza actúa frenando dos cuerpos de masas m y m' . Si $m' = 3m$ y se movían con la misma velocidad:
 - a) La aceleración negativa que adquiere m es el triple que la que adquiere m' .
 - b) El espacio que recorre m hasta detenerse es el triple que el que recorre m' .
 - c) Ambos recorren el mismo espacio hasta detenerse.
6. Si comunicamos el mismo impulso a dos cuerpos en reposo de masas m y m' , y $m = 2m'$:
 - a) Variamos su momento lineal en la misma cantidad.
 - b) Comunicaremos a ambos la misma velocidad.
 - c) El cuerpo de masa m saldrá con la mitad de velocidad que el de masa m' .
7. Un sistema de referencia inercial es aquel que:
 - a) Se halla sometido a rotación uniforme.
 - b) Está en reposo.
 - c) Se mueve con velocidad constante.
8. Una fuerza de 20 N actúa sobre dos cuerpos, uno de 5 kg y otro de 10 kg, inicialmente en reposo:
 - a) La velocidad del primero será en todo instante el doble que la del segundo.
 - b) Acabarán teniendo la misma velocidad, pues el segundo tiene el doble de inercia.
 - c) El primero habrá recorrido el doble de distancia en cualquier instante.
9. Una fuerza, F , actúa sobre dos cuerpos de 5 kg y 15 kg de masa, respectivamente, y les comunica la misma velocidad:
 - a) Eso no es posible de ninguna manera.
 - b) Entonces, la fuerza ha actuado el triple de tiempo sobre la masa de 5 kg.
 - c) Entonces, la fuerza ha actuado el triple de tiempo sobre la masa de 15 kg.
10. Una persona de masa m empuja en una pista sin rozamiento a otra de masa $m' = 1/2m$:
 - a) La persona de masa m' comenzará a moverse, y la de masa m permanecerá en reposo.
 - b) La persona de masa m nunca podrá ejercer fuerzas si no hay rozamiento.
 - c) La persona de masa m' recorrerá el doble de distancia que la de masa m y en sentido opuesto.

12



DINÁMICA DE LOS CUERPOS CELESTES: GRAVITACIÓN

En la presente unidad se aborda el estudio por separado de una de las interacciones fundamentales: la gravitación. Dentro de la organización de contenidos del currículum de 1.º de bachillerato, nos ha parecido más oportuno hacerlo de esta manera, englobando en un único tema la dinámica del movimiento circular uniforme, las leyes de Kepler, el concepto de momento angular y la ley de gravitación universal, dado que son conceptos todos ellos interrelacionados. La unidad comienza abordando el estudio de la dinámica del movimiento circular uniforme, como base para entender la posterior resolución de problemas de movimientos orbitales. A continuación, se enuncian las leyes de Kepler del movimiento planetario, para posteriormente abordar qué magnitud podemos encontrar cuya constancia satisfaga y explique las citadas leyes del movimiento planetario. Se introduce, de ese modo, el concepto de momento angular, cuya constancia resulta congruente con la segunda ley de Kepler.

Para el completo desarrollo del concepto de momento angular es necesario haber abordado previamente el desarrollo del producto vectorial en función de las componentes vectoriales en la unidad de *Herramientas matemáticas de la Física*.

La constancia del momento angular nos permite aventurar el carácter central de la fuerza que gobierna el movimiento planetario. De ese modo, tenemos servida en bandeja la presentación de la fuerza gravitatoria enunciada en la Ley de Gravitación Universal que se expone a continuación. Una vez formulada la ley, se analizan algunas de sus consecuencias más importantes, como, por ejemplo, la caída libre de los cuerpos, explicando por qué g no depende de la masa del cuerpo acelerado. Igualmente, se comprueba cómo la ley de gravitación resuelve la tercera ley de Kepler, evidenciando el significado físico de la constante k que aparece en su formulación. También se aborda cómo, a partir de la consideración del carácter centrípeto de la fuerza gravitatoria, se pueden determinar las masas planetarias a partir del análisis del movimiento de alguno de sus satélites o la velocidad orbital de los satélites en función de su distancia al centro del cuerpo en torno al cual orbitan. La unidad finaliza explicando uno de los conceptos más proclive a errores entre el alumnado: la ingravidez.

Objetivos

1. Comprender la dinámica del movimiento circular uniforme.
2. Conocer las leyes de Kepler y los hechos que dieron lugar a su enunciado.
3. Comprender y utilizar correctamente desde el punto de vista vectorial el concepto de momento angular.
4. Entender las condiciones en las que se conserva el momento angular, así como las consecuencias que se derivan de la constancia de dicha magnitud.
5. Comprender la ley de Gravitación Universal.
6. Asimilar la independencia de la masa de los cuerpos en el problema de la caída libre u otros movimientos que transcurren bajo la aceleración de la gravedad.
7. Comprender el significado de la constante k en la tercera ley de Kepler.
8. Deducir la información que puede extraerse del carácter centrípeto de la fuerza gravitatoria.

Relación de la unidad con las competencias clave

La competencia lingüística está presente en la correcta interpretación del texto y los enunciados de los problemas y cuestiones propuestos, así como en la exposición oral y escrita de las propuestas del apartado *Investiga*. La competencia matemática y en ciencia y tecnología está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La competencia digital se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *Investiga y Física, Tecnología y Sociedad*. La competencia de aprender a aprender es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado.

Temporalización

Se aconseja dedicar ocho sesiones lectivas.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Dinámica del movimiento circular uniforme	1. Justificar la necesidad de la existencia de fuerzas en un movimiento circular.	1.1. Aplica el concepto de fuerza centrípeta para resolver e interpretar movimientos circulares.	A: 1 AT: 1-3	CMCCT CD
Los movimientos planetarios: leyes de Kepler ■ Las leyes de Kepler	2. Contextualizar las leyes del Kepler en el estudio del movimiento planetario.	2.1. Comprueba las leyes de Kepler a partir de datos astronómicos planetarios. 2.2. Deduce períodos orbitales a partir de la tercera ley.	A: 2 AT: 4-7	CMCCT CD
La traslación de los planetas: momento angular ■ Momento angular ■ La conservación del momento angular ■ El momento angular de traslación de los planetas ■ Consecuencias de la constancia del momento angular planetario	3. Conocer el concepto de momento angular. 4. Asociar el movimiento orbital con la conservación del momento angular. 5. Relacionar la conservación del momento angular en un movimiento orbital con el carácter central de la fuerza actuante y establecer las consecuencias.	5.1. Aplica la ley de conservación del momento angular y relacionarla con la segunda ley de Kepler.	A: 3-6 ER 1,2 AT: 8-15	CMCCT CD
Precedentes de la ley de gravitación universal ■ Una acertada suposición de Newton ■ Las fuerzas centrípetas y el inverso del cuadrado de la distancia	6. Comprender la ley del inverso del cuadrado de la distancia y su relación con la fuerza centrípeta.	6.1. Describe el movimiento orbital como composición de movimientos y relacionarlo con el lanzamiento horizontal.	A: 7	CMCCT CD
La ley de gravitación universal	7. Formular correctamente la ley de gravitación universal y relacionarla con el peso de los cuerpos.	7.1. Expresa la fuerza de la atracción gravitatoria entre dos cuerpos cualesquiera, conocidas las variables de las que depende, estableciendo cómo inciden los cambios en estas sobre aquella.	A: 8-10 AT: 16, 19	CMCCT CD
Consecuencias de la ley de gravitación universal ■ La caída libre, un problema resuelto ■ Significado físico de la constante k de la tercera ley de Kepler ■ Determinación de masas planetarias ■ Velocidad orbital ■ Flotando en «ingravidez»	8. Relacionar valores de la aceleración superficial con las características orbitales de planetas y satélites. 9. Reconocer la información implícita en el carácter centrípeto de la fuerza gravitatoria.	8.1. Determina valores de aceleración gravitatoria en función de las características planetarias. 9.1. Resuelve velocidades orbitales en función de las características planetarias.	A: 11-18 ER: 3-6 AT: 17, 18, 20-30	CMCCT

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: La atracción gravitatoria

Simuladores:

1. Movimiento circular uniforme.
2. Periodo y frecuencia.

Enlace web:

Dinámica del movimiento circular

Simulador: Órbitas planetarias

Vídeo: Las tres leyes de Kepler

Enlace web: Johannes Kepler

Vídeo: El momento angular y cinético en física

Enlaces web: 1. Momento angular. 2. Conservación del momento angular

Simulador: El cañón de Newton

Simuladores:

1. Interacción gravitatoria.
2. Dinámica celeste

Vídeo: la ley de la gravedad, la manzana y la luna

Unidad 12: Dinámica de los cuerpos celestes: gravitación

1. Dinámica del movimiento circular uniforme

2. Los movimientos planetarios: leyes de Kepler
1.1. Las leyes de Kepler

3. La traslación de los planetas: el momento angular
3.1. Momento angular
3.2. La conservación del momento angular
3.3. El momento angular de traslación de los planetas
3.4. Consecuencias de la constancia del momento angular planetario

4. Precedentes de la ley de gravitación universal
4.1. Una acertada suposición de Newton
4.2. Las fuerzas centrípetas y el inverso del cuadrado de la distancia

5. La ley de gravitación universal

Presentación

Documento: El descubrimiento de Neptuno: un gran éxito de la ley de gravitación

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, M. y FINN, E.J.

Física. Addison-Wesley Longman. México 2000. Clásico de referencia en cualquier tema de Física. Tratamientos buenos y rigurosos.

HECHT, E.

Física en perspectiva. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1987. Uno de los libros de Física más amenos que se han escrito. Aborda la comprensión de la Física desde un punto de vista conceptual. Se trata de un libro «casi de lectura» con muy pocas fórmulas.

HEWITT, P. G.

Física conceptual. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E. U. A.) 1995.

Muy recomendable para la comprensión conceptual de la Física. Su lectura amena y la escasez de fórmulas hacen de este libro un material adecuado para aquellos alumnos y alumnas que sienten interés por la Física.

LAYZER, D.

Construcción del universo. Biblioteca Scientific American. Barcelona 1989.

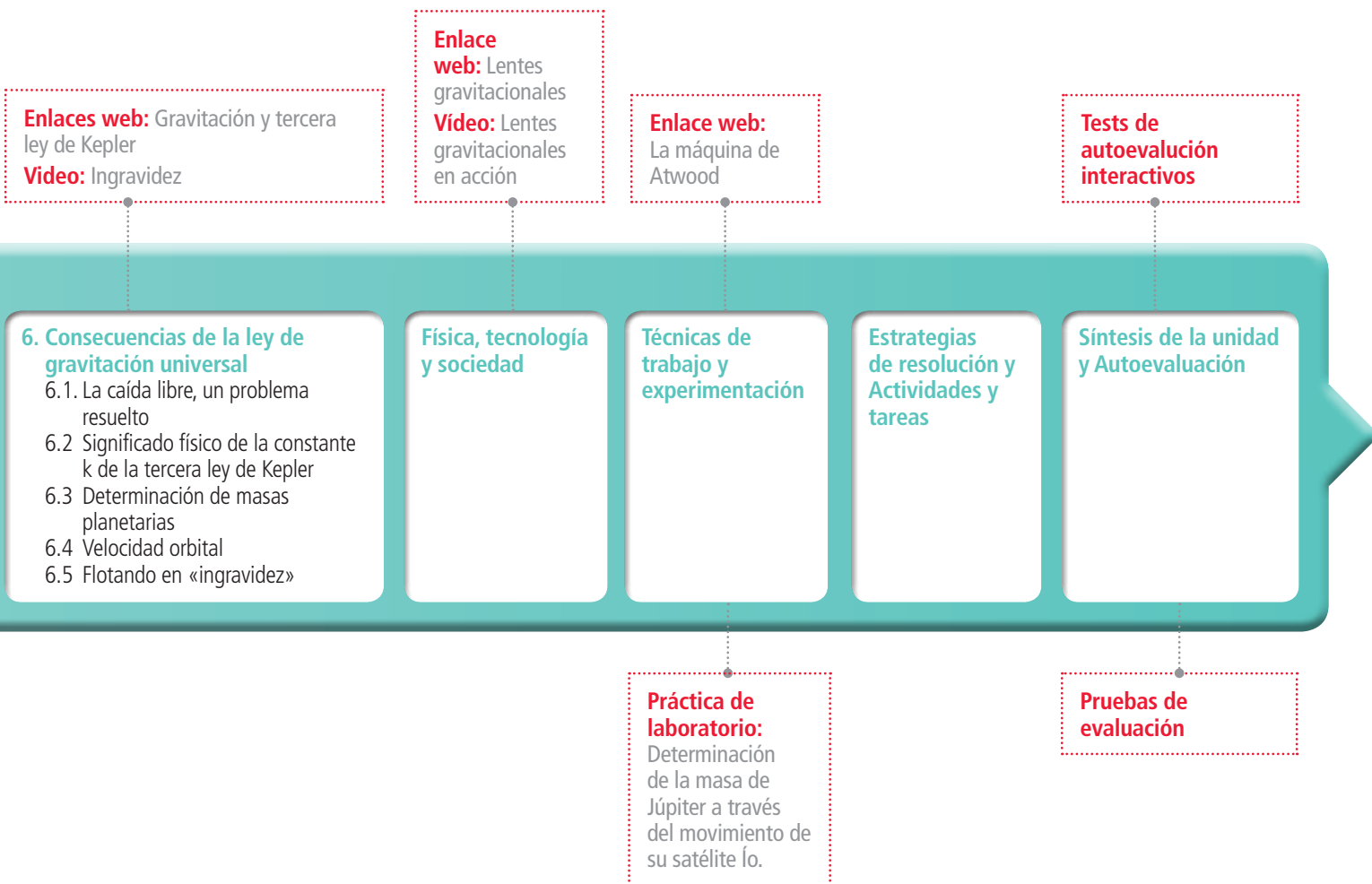
Muy interesante en sus implicaciones referidas a la gravitación.

NEWTON, I.

Principios matemáticos de filosofía natural (Volúmenes I y II). Alianza Universidad. Madrid 1987.

TIPLER, P. A.

Física. Editorial Reverté (3ª edición). Barcelona 1995. Clásico de referencia obligada.



WEBGRAFÍA

Educaplus

<http://www.educaplus.org/>
Excelente web con buenos simuladores.

Paul G. Hewitt

<https://goo.gl/C6cKsb>
Canal de Youtube con los interesantes videos del profesor Paul G. Hewitt. En inglés.

How stuff works

<http://science.howstuffworks.com/gravity-videos-playlist.htm>
Interesante y completa web con videos sobre gravitación.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

DINÁMICA DE LOS CUERPOS CELESTES: GRAVITACIÓN

Se sugiere la lectura del texto introductorio acompañado de alguno de los videos propuestos. Posteriormente deben plantearse las cuestiones previas que nos permitirán desvelar algunos equívocos frecuentes.

Vídeo: LA ATRACCIÓN GRAVITATORIA

Motivador vídeo en inglés que expone someramente la teoría de la Relatividad General.

1. Dinámica del movimiento circular uniforme

Como desarrollo previo a la gravitación, se ha considerado importante comenzar por el estudio dinámico del movimiento circular uniforme y definir la fuerza centrípeta en términos de la velocidad lineal, angular, el período y la frecuencia. Posteriormente se relacionará este estudio con la fuerza gravitatoria para obtener interesantes conclusiones acerca de los movimientos de planetas y satélites o de cuerpos celestes en general.

Simulador: MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME

Sencillo aunque clarificador para conocer la dependencia de los parámetros implicados en este movimiento.

Simulador: PERIODO Y FRECUENCIA

Con este simulador, complemento del anterior, se pueden experimentar de una manera sencilla la relación existente entre frecuencia, periodo y velocidad angular

Enlace web: DINÁMICA DEL MOVIMIENTO CIRCULAR

Esta página incluye una breve exposición así como ejercicios propuestos resueltos.

2. Los movimientos planetarios: leyes de Kepler

En este apartado sería conveniente abordar una introducción histórica sobre la evolución de las teorías sobre el movimiento planetario y el lugar que ocupa la Tierra en ese esquema. Ha de insistirse en la idea de que un modelo puede o debe considerarse válido mientras funcione y permita la predicción y no resulte invalidado por las observaciones. Sólo de esa manera entenderán los alumnos la persistencia del modelo geocéntrico en su versión tolemaica. De hecho, la dicotomía entre el modelo tolemaico y el copernicano, en un primer momento, es una dicotomía entre dos modelos que explican los fenómenos observados. El argumento que se esgrimía para apoyar la teoría heliocéntrica de Copérnico en aquel entonces era su mayor simplicidad y elegancia, debidas sobre todo a que reducía sustancialmente el número de epiciclos. Hasta el siglo XIX, sin embargo, no se obtendrían las pruebas inequívocas de la rotación y la traslación terrestres, movimientos asociados al modelo heliocéntrico. Foucault, con su célebre péndulo, vendría a de-

mostrar el efecto de desviación de Coriolis relacionado con los cuerpos en movimiento (en este caso la bola del péndulo) en un sistema en rotación. Este hecho demostraba la rotación de la Tierra. Bessel, por su parte, logró calcular la primera paralaje estelar de la estrella 61 Cygni, fenómeno que demostraba la traslación de la Tierra. No obstante, a estas alturas, y gracias a la teoría de la gravitación de Newton, ya nadie dudaba del lugar de la Tierra en el sistema «solar».

Sin embargo, todas estas consideraciones deben exponerse en clase con el fin de desterrar la idea simplista que suele hacerse en el alumno o alumna de que las cosas son, sin más, o verdaderas o falsas y fomentar, de ese modo, un espíritu crítico y analítico.

Es importante resaltar el proceder científico de Kepler, buscando la regularidad que podía observarse en el movimiento planetario, plasmada en su segunda ley.

Simulador: ÓRBITAS PLANETARIAS

Completo simulador que permite definir los distintos parámetros implicados en el movimiento planetario para entender la relación entre ellos, a través de representaciones gráficas o efectos sonoros, entre otros.

Vídeo: LAS TRES LEYES DE KEPLER

Pertenciente a la colección *Universo mecánico* el vídeo, que comienza con una breve introducción histórica y su relación con Tycho Brahe, explica cómo Kepler definió las leyes que desde entonces llevan su nombre a partir de las observaciones del planeta Marte. Tiene una duración aproximada de 30 minutos.

Enlace web: JOHANNES KEPLER

Biografía del célebre matemático y astrónomo alemán.

3. La traslación de los planetas: el momento angular

Para la descripción física de las características orbitales de los planetas, se introduce en este apartado el concepto de momento angular. Es importante mostrar a los alumnos y a las alumnas el paralelismo existente entre esta magnitud y el momento lineal en lo concerniente a la descripción del estado de movimiento.

La resolución de problemas relativos al momento angular exige el dominio del producto vectorial. Es por ello aconsejable que los alumnos y alumnas hayan estudiado previamente el *Herramientas matemáticas de la Física*, donde se aborda el desarrollo del producto vectorial en función de las componentes.

Enlaces web: MOMENTO ANGULAR

Páginas web con teoría y ejercicios propuestos sobre esta magnitud física y su conservación.

Es importante recalcar la conservación del momento angular bajo la acción de fuerzas centrales, porque eso será indicativo del carácter de la fuerza gravitatoria.

Puede sorprender que el planteamiento de esta cuestión en nuestro libro siga un orden inverso al habitual en otros muchos textos,

es decir, que se parta aquí de la segunda ley de Kepler para demostrar la constancia del momento angular, en lugar de proceder al contrario: demostrar la segunda ley a partir de la constancia del momento angular. Se ha preferido hacerlo de este modo, partiendo de una ley empírica, para llegar a la conclusión de que el momento angular es constante y que, por tanto, la fuerza responsable de los movimientos orbitales ha de ser central, lo que abre el camino al enunciado de la fuerza gravitatoria. Seguir el proceso inverso supondría partir de la premisa, no estudiada aún, de que la fuerza que gobierna el movimiento planetario es de tipo central.

Vídeo: EL MOMENTO ANGULAR Y CINÉTICO EN FÍSICA

El vídeo, perteneciente a la colección *Universo mecánico* el vídeo, comienza con un repaso a la historia desde la antigua Grecia hasta la época de Kepler. Tras un repaso de las tres leyes que llevan su nombre, muestra varios fenómenos que obedecen a la misma ley básica: la ley de conservación del momento cinético. Tiene una duración de 26 minutos.

4. Precedentes de la ley de gravitación universal

Se sugiere no pasar por alto la actividad 7. Su resolución es muy sencilla y el resultado es tremendamente ilustrativo. Se trata, en esta actividad, de reproducir el cálculo que realizó Newton en 1666 y que expone claramente la ley del inverso del cuadrado de la distancia.

Igualmente recomendable es la realización en clase del ejercicio resuelto 4, que viene a demostrar cómo la consideración de la fuerza gravitatoria como centrípeta es totalmente consistente con la 3.^a ley de Kepler.

Simulador: EL CAÑÓN DE NEWTON

Diseñado a partir de la concepción de Newton del movimiento orbital como lanzamiento horizontal, permite efectuar varios disparos para comprobar qué trayectoria sigue el proyectil.

5. Ley de gravitación universal

En este apartado debe mencionarse que la ley de gravitación universal no surge como una «idea feliz» de un genio, sino que, en cierto modo, el terreno ya estaba abonado en cuanto a la firme creencia de que la fuerza gravitatoria debía variar conforme al inverso del cuadrado de la distancia. Esta idea ya era sostenida por Robert Hooke y por Edmund Halley.

En cuanto a la formulación vectorial que aparece en la página 300, se ha elegido el mismo criterio que se maneja en la interacción electrostática, donde el signo negativo hace referencia al carácter atractivo de la fuerza.

Debe recalcar muy especialmente que las fuerzas con que dos cuerpos se atraen mutuamente, son iguales y de sentidos contrarios; sin embargo, las aceleraciones que adquieren bajo la misma fuerza, son distintas. El cálculo numérico ayudará a comprender por qué si un lápiz u otro objeto pequeño atrae a la Tierra con la misma fuerza con que el objeto es atraído, es sin embargo, el objeto el que se precipita hacia la Tierra y no a la inversa.

Simulador: INTERACCIÓN GRAVITATORIA

Permite definir masas y distancias para comprobar la ley del inverso del cuadrado de la distancia.

Simulador: DINÁMICA CELESTE

Explicaciones sobre las leyes de Kepler junto con varios simuladores que permiten comprobar la conservación del momento angular.

Vídeo: LA LEY DE LA GRAVEDAD, LA MANZANA Y LA LUNA

Perteneciente a la colección *Universo mecánico* el vídeo con una duración de prácticamente media hora, repasa la vida de Newton y sus descubrimientos.

6. Consecuencias de la ley de gravitación universal

Muy probablemente los alumnos que acceden a 1^o de bachillerato siguen pensando que los cuerpos más pesados llegan antes al suelo que los más ligeros. Una clásica pero muy interesante demostración en el aula consiste en coger un folio y un objeto más pesado y dejarlos caer simultáneamente. En principio, la experiencia parece avalar la idea preestablecida. Si a continuación hacemos una bola con el folio, los alumnos comprobarán que la masa de éste no ha variado y, sin embargo, ahora llegan a la par. Con esta sencilla experiencia deben darse cuenta de cuál es el factor que impidió a la humanidad entender el problema de la caída libre durante tanto tiempo y cómo la teoría de Newton explica elegantemente la independencia de la masa en la caída libre.

Uno de los puntos más interesantes del tema es el que se refiere a la demostración de la 3.^a ley de Kepler como una consecuencia de la ley de gravitación universal, donde se encuentra de qué factores depende la constante k de Kepler. Debe insistirse en lo que se señala en el último párrafo del apartado 6.2, en lo referente a que si se desea estudiar el movimiento orbital de un satélite en torno a un planeta, la masa que aparecerá en la constante k será la del planeta.

De la consideración del carácter centrípeta de la fuerza gravitatoria se extraen importantísimas conclusiones como las enunciadas en los apartados 6.3 y 6.4. Debe insistirse en la idea de no memorizar expresiones matemáticas; en este caso es especialmente recomendable insistir en la utilidad de esta identidad entre fuerza gravitatoria y centrípeta para extraer toda la información posible de los movimientos orbitales.

Por último, el tema acaba con la explicación de la situación de ingravidez, aclarando este concepto a menudo confuso para una gran parte de la población.

Enlace web: GRAVITACIÓN Y TERCERA LEY DE KEPLER

Página con explicaciones sucintas y ejercicios propuestos resueltos.

Vídeo: INGRAVIDEZ

Dentro de una buena colección de vídeos, se encuentra este que proponemos visualizar sobre ingravidez.

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 290-303)

Comprueba lo que sabes

1. Discute la veracidad o falsedad de esta afirmación: «La Tierra te atrae con una fuerza muchísimo mayor que aquella con la que tú atraes a la Tierra».

Es falsa en virtud del enunciado de la ley de gravitación. El cometido es verificar que los alumnos siguen asociando mayor fuerza gravitatoria al cuerpo de mayor masa.

2. La velocidad con la que la Tierra se traslada alrededor del Sol es la misma durante todo el año. ¿Es verdad?

Al igual que la anterior, es falsa. La órbita terrestre es esencialmente un círculo descentrado, lo que hace que la velocidad orbital presente ligeras variaciones, siendo mayor la velocidad en nuestro invierno, cuando más próximos estamos al Sol.

3. ¿Qué planetas se mueven con mayor velocidad alrededor del Sol, los más cercanos o los más lejanos?

Esta pregunta se relaciona con el apartado de velocidad orbital. No obstante, del curso anterior los alumnos deberían responder correctamente que los más cercanos se mueven con mayor velocidad.

Actividades

- 1 Teniendo en cuenta que la masa de la Luna es $7,22 \cdot 10^{22}$ kg, y sabiendo que su distancia orbital al centro terrestre es de 384000 km y que tarda 27,31 días en completar su órbita, determina el valor de la fuerza centrípeta que produce su movimiento orbital.

A partir del valor del período en segundos (2359584 s) y la distancia en metros, podemos deducir el valor de la fuerza centrípeta, resultando:

$$F_c = m \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 1,96 \cdot 10^{20} \text{ N}$$

- 2 Considerando los datos orbitales terrestres alrededor del Sol ($T = 365$ d y $r = 149600000$ km), determina cuánto tarda Mercurio en dar una vuelta al Sol si su distancia media a este es de 57900000 km.

A partir de la tercera ley de Kepler aplicada a la Tierra y a Mercurio e igualando el valor de k de ambas expresiones, se obtiene que:

$$T_M = T_T \sqrt{\left(\frac{r_{MS}}{r_{TS}}\right)^3}$$

Donde T_M y r_{MS} son el período de Mercurio y su distancia al Sol respectivamente, mientras que T_T y r_{TS} son los correspondientes valores de la Tierra.

Sustituyendo los valores ofrecidos se obtiene para el período de Mercurio:

$$T_M = 88 \text{ días}$$

- 3 ¿Cuál será el momento angular de una partícula de 10 g de masa, que se mueve en un instante dado con una velocidad $\vec{v} = 20\vec{i}$ m/s, respecto de un origen con relación al cual su posición es $\vec{r} = 15\vec{j}$ m?

Resolviendo el producto vectorial según la definición del momento angular, se obtiene:

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = -3\vec{k} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- 4 La Estación Espacial Internacional (EEI) orbita en torno a la Tierra a una altura media de 430 km sobre la superficie terrestre, con un período orbital de 93 min y una masa de 415 t. Determina: el valor de su momento angular respecto del centro terrestre y su velocidad orbital.

Dato: $r_T = 6370$ km

Considerando todas las unidades expresadas en el SI (sumando el radio terrestre a la altura) y a partir de la expresión del momento angular en términos del período:

$$L = m r^2 \frac{2\pi}{T}$$

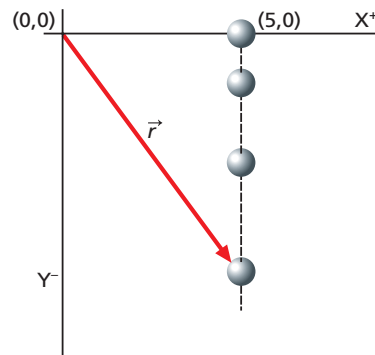
Se obtiene:

$$L = 2,16 \cdot 10^{16} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- b) La velocidad orbital puede obtenerse a partir de la velocidad angular $\omega = \frac{2\pi}{T}$, de modo que:

$$v = \omega r = 7657 \text{ m/s}$$

- 5 Un cuerpo de masa m comienza a caer libremente desde el punto (5, 0), como se indica en la figura 12.10.



Deduce:

- Las expresiones del vector de posición con respecto al origen (0, 0) y del vector velocidad, ambos en función del tiempo.
- La expresión vectorial del momento angular en función del tiempo respecto del origen.
- El resultado de la derivada del momento angular en función del tiempo.
- Verifica que dicho resultado coincide con el producto vectorial: $\vec{r} \times \vec{F}$
- Dado que el cuerpo cae libremente, las expresiones vectoriales de la posición y la velocidad son:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} = 5\vec{i} - \frac{1}{2}gt^2\vec{j}m$$

$$\vec{v} = -gt\vec{j} \text{ m/s}$$

- b) La expresión del momento angular en función del tiempo será:

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 5 & -\frac{1}{2}gt^2 & 0 \\ 0 & -mgt & 0 \end{vmatrix} = -5mgt \vec{k} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- c) Derivando en función del tiempo, se obtiene:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = -5 mg \vec{k} \text{ N} \cdot \text{m}$$

- d) Teniendo en cuenta que la fuerza es $\vec{F} = -mg\vec{j}$, entonces:

$$\vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 5 & -\frac{1}{2}gt^2 & 0 \\ 0 & -mg & 0 \end{vmatrix} = -5mg\vec{k} \text{ N} \cdot \text{m}$$

Que coincide con el resultado anterior.

- 6 Suponiendo que la Luna describe una órbita circular alrededor de la Tierra, determina:

- a) Su velocidad areolar en m^2/s .
b) Su momento angular respecto del centro terrestre.

Datos: $d_{\text{Tierra-Luna}} = 384\,000 \text{ km}$; $m_{\text{Luna}} = 7,2 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; período orbital lunar = 27,31 días

La velocidad areolar de la Luna es:

$$v_{\text{areolar}} = \frac{1}{2} r^2 \omega = \frac{1}{2} r^2 \frac{2\pi}{T}$$

donde, sustituyendo los valores ofrecidos en unidades SI, se obtiene:

$$v_{\text{areolar}} = 1,96 \cdot 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$$

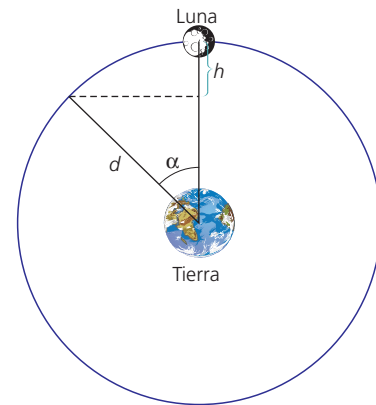
- b) A partir de la relación entre la velocidad areolar y el momento angular, se deduce que:

$$L = 2m v_{\text{areolar}} = 2,83 \cdot 10^{34} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- 7 Supongamos que el movimiento de la Luna se compone de otros dos: uno de ellos de avance y el otro de caída hacia la Tierra, regido este último por las ecuaciones de caída libre. Con los datos que se te ofrecen, y siguiendo las sugerencias de la figura 12.16, contesta a las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué ángulo se ha desplazado la Luna en una hora?
b) ¿Qué altura h ha «caído» la Luna en esa hora?
c) ¿Qué valor de aceleración g_{Luna} de caída corresponde a esa distancia y ese tiempo?
d) ¿Cuántas veces es menor ese valor que el valor $g_{\text{Tierra}} = 9,8 \text{ m/s}^2$ que corresponde a la superficie terrestre?
e) ¿Cuántas veces es mayor la distancia Tierra-Luna que el radio terrestre?
f) ¿Qué relación puedes encontrar entre la variación de la aceleración y la de la distancia?

Datos: $r_{\text{Tierra}} = 6\,370 \text{ km}$; $d_{\text{Tierra-Luna}} = 384\,000 \text{ km}$; período sidéreo lunar¹ = 7,31 días



La situación descrita en el enunciado es la siguiente:

- a) El período sidéreo lunar, expresado en horas, es de 655,44 h. En este tiempo, la Luna ha descrito 360° , por lo que, en 1 hora, el ángulo α es de :

$$\alpha = \frac{360^\circ}{655,44} = 0,549^\circ$$

- b) La altura h que la Luna ha «caído» en esa hora es:

$$h = d - d\cos\alpha = d(1 - \cos\alpha) = 17\,627,75 \text{ m}$$

- c) El valor de aceleración de caída que se correspondería con esa distancia en 1 h (3 600 s) se obtendría de la siguiente manera:

$$h = \frac{1}{2} g_L t^2 \Rightarrow g_L = \frac{2h}{t^2} = 0,002 \text{ m/s}^2$$

- d) Dividiendo el valor de g_T en la superficie terrestre entre g_L , se obtiene:

$$\frac{g_T}{g_L} \cong 3\,600$$

- e) Al dividir ambas distancias, resulta:

$$\frac{d}{r_T} \cong 60$$

- f) Queda claro que, al aumentar la distancia 60 veces, la aceleración gravitatoria ha disminuido 3 600 veces, es decir, 60^2 veces. Así pues:

$$g \propto \frac{1}{r^2}$$

- 8 ¿Qué le sucede a la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos si la distancia entre ellos se reduce a la cuarta parte? Razona tu respuesta.

Teniendo en cuenta la expresión de la fuerza gravitatoria y su dependencia del inverso del cuadrado de la distancia, si la distancia se reduce a la cuarta parte, la fuerza aumenta a 16 veces su valor original.

- 9 Dos cuerpos esféricos tienen la misma densidad, 6000 kg/m^3 , pero el radio de uno es el triple del radio del otro. Sabiendo que el radio del menor es de 500 m , calcula el valor de la fuerza gravitatoria entre ambos cuando estén en contacto.

Expresando las masas en función de la densidad y el volumen de los cuerpos esféricos en la forma:

$$m = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

Y teniendo presente que $\rho_1 = \rho_2$ mientras que $r_1 = 3 r_2$, al sustituir estos valores en la expresión de fuerza gravitatoria, desarrollando se obtiene que:

$$F = 3G\rho^2\pi^2r_2^4 = 4,44 \cdot 10^9 \text{ N}$$

- 10 ¿Cuánto valdría la fuerza entre los cuerpos del problema anterior si la distancia entre ellos se triplicara? ¿Cómo serían en comparación las aceleraciones que actuarían sobre cada uno de ellos?

- a) Si la distancia entre ambos se triplica, la fuerza se hace nueve veces menor, de modo que valdrá $4,93 \cdot 10^8 \text{ N}$.
b) Dado que las aceleraciones que adquirirán son inversamente proporcionales a sus masas, siendo la misma fuerza, entonces el cuerpo de menor radio tendrá una aceleración 27 veces mayor, ya que su masa es 27 veces menor.

- 11 La Estación Espacial Internacional orbita a una altura de 430 km sobre la superficie terrestre. Determina el valor de la aceleración gravitatoria a esa altura.

A partir de la expresión $g = G \frac{m_T}{(r_T + h)^2}$ y usando unidades

SI, se obtiene el valor de $8,65 \text{ /s}^2$.

- 12 Determina el valor de la aceleración de la gravedad en Mercurio si su masa es $0,055$ veces la masa terrestre y su radio es $0,38$ veces el radio de la Tierra. En esas condiciones, ¿hasta qué altura máxima se elevaría un objeto lanzado verticalmente si, con la misma velocidad, en la Tierra se eleva 20 m ?

Determina el valor de la aceleración de la gravedad en Mercurio si su masa es $0,055$ veces la masa terrestre y su radio es $0,38$ veces el radio de la Tierra. En esas condiciones, ¿hasta qué altura máxima se elevaría un objeto lanzado verticalmente si con la misma velocidad en la Tierra se eleva 20 m ?

$$g = G \frac{m_{\text{Mercurio}}}{r_{\text{Mercurio}}^2} = G \frac{0,055 \cdot m_1}{(0,38 \cdot r_1)^2} = 3,74 \text{ m/s}^2$$

La altura máxima en un lanzamiento vertical viene dada por:

$$y = \frac{v_0^2}{2g}$$

Si en la Tierra y en Mercurio el objeto es lanzado con la misma velocidad, por igualación tenemos:

$$2g_M y_M = 2g_T y_T$$

Por tanto:

$$y_M = y_T \cdot \frac{g_T}{g_M} = 52,4 \text{ m}$$

- 13 ¿En qué porcentaje disminuiría nuestro peso si nos alejamos a una distancia del centro terrestre igual al doble de su radio?

Al duplicar la distancia respecto de la superficie terrestre, el valor de g disminuye a la cuarta parte de su valor en la superficie, de modo que nuestro peso se reduce en la misma proporción, es decir, se habrá reducido en un 75% .

- 14 Determina el período de un satélite que orbita a una altura de 2000 km sobre la superficie terrestre. Datos: $m_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $r_T = 6370 \text{ km}$

El período viene dado por la expresión:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{Gm_T} r^3$$

Sustituyendo los valores ofrecidos en unidades SI, se obtiene:

$$T = 7605 \text{ s} = 2 \text{ h } 7 \text{ min}$$

- 15 Mimas, uno de los satélites de Saturno, orbita a una distancia de 185540 km con un período orbital de $0,94$ días. Determina la masa de Saturno.

La masa de Saturno se obtiene de:

$$m_S = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

donde, sustituyendo los valores ofrecidos en unidades SI, se obtiene que la masa de Saturno es de $5,7 \cdot 10^{26} \text{ kg}$.

- 16 Determina la velocidad orbital de la Luna en su movimiento alrededor de la Tierra.

La velocidad orbital lunar será:

$$v = \sqrt{\frac{Gm_T}{d_{TL}}} = 1021 \text{ m/s}$$

- 17 ¿A qué altura sobre la superficie terrestre debe orbitar un satélite artificial si su velocidad debe ser de 6000 m/s ?

Despejando la distancia en la expresión de la velocidad orbital, y teniendo en cuenta que dicha distancia equivale a la suma del radio terrestre y la altura, se obtiene:

$$h = \frac{G m_T}{v^2} - r_T = 4,747 \cdot 10^6 \text{ m}$$

- 18 Teniendo en cuenta el carácter vectorial de la aceleración g de la gravedad, determina a qué distancia del centro terrestre se encuentra el punto donde la resultante de la gravedad terrestre y lunar es cero.

En ese punto se cumple que $g_T = g_L$, luego:

$$G \frac{m_T}{d^2} = G \frac{0,012 \cdot m_T}{(3,84 \cdot 10^8 - d)^2}$$

Resolviendo el valor de d (distancia del centro terrestre al punto considerado), se obtiene:

$$d = 346088 \text{ km}$$

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 304)

Enlace web: LENTES GRAVITACIONALES

Incluye una explicación asequible sobre las lentes gravitacionales y una atractiva imagen tomada en 1999 con el telescopio NOT situado en el Observatorio del Roque de los Muchachos de La Palma.

Vídeo: LENTES GRAVITACIONALES EN ACCIÓN

El vídeo muestra el fenómeno conocido como lentes gravitacionales, el cual es usado por astrónomos para estudiar las galaxias lejanas.

Análisis

- 1 ¿Cuál es la razón por la que la luz se desvía al pasar cerca de un objeto masivo?

La desviación de la luz es una consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo producida por campos gravitatorios intensos.

- 2 Busca información adicional acerca de la expedición del eclipse solar que corroboró experimentalmente este hecho.

Los alumnos deben buscar información en internet al respecto.

- 3 ¿En qué condiciones se forma el anillo de Einstein?

El anillo de Einstein se forma cuando el objeto oculto se encuentra detrás de un objeto masivo esférico y está en línea con el mismo y el observador.

Propuesta de investigación

- 4 Busca información e imágenes en Internet y haz una presentación sobre las lentes gravitacionales y el estado de esta cuestión hoy en día. Infórmate, en particular, acerca de los siguientes conceptos: *strong lensing*, *weak lensing* y *microlensing*.

Los alumnos deben realizar este trabajo a partir de la documentación que encuentren en internet.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 305)

Cuestiones

- 1 Determina el valor de la aceleración de la gravedad en todos los casos. ¿Variará? ¿Por qué? Compara el valor de g obtenido con el que se extraería por el método más habitual del péndulo simple.

Los alumnos deben comprobar que el valor de g obtenido es independiente de las masas utilizadas. Como complemento de la práctica, pueden determinar el valor de la gravedad a partir del período de un péndulo simple, que viene dado por la expresión (ver unidad 15):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

donde L es la longitud del péndulo.

- 2 ¿Es necesario tomar en consideración las dimensiones o la masa de la polea? ¿Variará de forma significativa el resultado si despreciamos la polea?

Como se aprecia en la resolución teórica del problema, la masa de la polea sí interviene en el problema. Si esta es suficientemente pequeña en comparación con las masas empleadas, el resultado no variará significativamente.

- 3 Elabora un informe de la práctica.

El informe debe elaborarse siguiendo el protocolo de las publicaciones científicas.

Enlace web: LA MÁQUINA DE ATWOOD

En la página del profesor Ángel Franco García existe un apartado dedicado a esta célebre máquina.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS FINALES (páginas 306-310)

Dinámica del movimiento circular uniforme

- 1 Una esfera de 500 g gira unida a una cuerda describiendo círculos de 40 cm de radio con una frecuencia de 5 s^{-1} . ¿Cuánto vale la fuerza centrípeta que actúa sobre la esfera?

La fuerza centrípeta en términos de la frecuencia responde a la expresión:

$$F_c = m\omega^2 r = m4\pi^2 f^2 r$$

donde sustituyendo los valores ofrecidos, se obtiene:

$$F_c = 4935 \text{ N}$$

- 2 Mercurio, con una masa de $3,18 \cdot 10^{23} \text{ kg}$, orbita en torno al Sol a una distancia media de $5,79 \cdot 10^{10} \text{ m}$ de su centro y con un período orbital de 88 días. Teniendo en cuenta que la Tierra, cuya masa es de $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, tarda 365,25 días en dar una vuelta completa al Sol a una distancia media de $1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$:

Las respectivas fuerzas centrípetas sobre Mercurio y la Tierra obedecen a la expresión, en términos de los períodos:

$$F_c = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

Sustituyendo los correspondientes valores ofrecidos en unidades SI, se obtienen como soluciones:

$$F_c (\text{Mercurio}) = 1,26 \cdot 10^{22} \text{ N}$$

$$F_c (\text{Tierra}) = 3,56 \cdot 10^{22} \text{ N}$$

- b) Las aceleraciones centrípetas vienen dadas por el cociente entre las fuerzas halladas y las correspondientes masas planetarias, obteniéndose:

$$a_c (\text{Mercurio}) = 0,0396 \text{ m/s}^2$$

$$a_c (\text{Tierra}) = 0,00593 \text{ m/s}^2$$

- c) Puede comprobarse la identidad entre los productos:

$$a_c (M) d_{MS}^2 = a_c (T) d_{TS}^2$$

- 3 Un disco de 3 kg describe círculos de 50 cm de radio en una mesa de aire (sin fricción) unido a una cuerda sometida a una tensión de 80 N. Determina:

- a) La velocidad lineal del disco.
b) La frecuencia y el período de giro de dicho disco.

- a) Dado que la tensión es la fuerza centrípeta, despejando la velocidad de la expresión de la fuerza centrípeta, se obtiene:

$$v = \sqrt{\frac{T r}{m}} = 3,65 \text{ m/s}$$

- b) La velocidad angular es $\omega = v/r = 7,3 \text{ rad/s}$, por lo que:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 1,16 \text{ s}^{-1}$$

mientras que el período, inversa de la frecuencia, vale 0,86 s

Leyes de Kepler

- 4 Marte orbita a una distancia media de 1,517 UA (unidades astronómicas) alrededor del Sol. A partir de los datos orbitales terrestres, determina la duración del año marciano. Dato: 1 UA = distancia media Tierra-Sol = $1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$. Sabemos que para el sistema gravitatorio formado por el Sol y sus satélites se debe cumplir la tercera ley de Kepler, es decir:

$$\frac{T_{\text{Marte}}^2}{R_{\text{Marte}}^3} = \frac{T_{\text{Tierra}}^2}{R_{\text{Tierra}}^3} \Rightarrow T_{\text{Marte}} = \sqrt{\left(\frac{R_{\text{Marte}}}{R_{\text{Tierra}}}\right)^3} T_{\text{Tierra}}$$

Sustituyendo los datos, resulta:

$$T_{\text{Marte}} = \sqrt{(1,517)^3} T_{\text{Tierra}} = 1,868 T_{\text{Tierra}} = 682 \text{ días}$$

- 5 Teniendo en cuenta que la Luna tarda 27,31 días en dar una vuelta completa a la Tierra a una distancia de 384000 km de su centro, determina a qué altura sobre la superficie terrestre deben orbitar los satélites geoestacionarios, como el Meteosat o los satélites de señales de TV. Dato: $r_{\text{Tierra}} = 6370 \text{ km}$

Tanto la Luna como el satélite orbitan en torno a la Tierra, por lo que el valor de k es el mismo. Aplicando al satélite y la Luna la tercera ley de Kepler e igualando los valores de k , se obtiene:

$$\frac{T_L^2}{r_L^3} = \frac{T_S^2}{r_S^3}$$

Despejando de la igualdad la distancia a la que debe orbitar el satélite, resulta:

$$r_S = r_L \sqrt[3]{\left(\frac{T_S}{T_L}\right)^2} = 42343 \text{ km}$$

restando a esta distancia el radio terrestre, obtenemos la altura a la que debe orbitar un satélite geoestacionario y que es, aproximadamente, igual a 36000 km.

- 6 A partir de los datos del problema anterior, comprueba que las aceleraciones centrípetas correspondientes a un satélite geoestacionario y a la Luna cumplen con el inverso del cuadrado de la distancia.

Se puede verificar que se cumple la identidad:

$$a_c (\text{sat}) r_{ST}^2 = a_c (L) r_{LT}^2$$

donde las aceleraciones centrípetas vienen dadas por la expresión (en términos del período):

$$a_c = \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

Sustituyendo esta expresión en la anterior igualdad, conduce a la identidad que se deriva de la tercera ley de Kepler y que ha servido de base en el problema anterior para determinar la distancia pedida. Es decir:

$$\frac{T_L^2}{r_L^3} = \frac{T_S^2}{r_S^3}$$

Podemos deducir pues, que la ley del inverso del cuadrado de la distancia está implícita en la formulación de la tercera ley de Kepler.

- 7 A partir de los datos orbitales terrestres con respecto al Sol, determina cuánto tardan Júpiter y Saturno en completar una órbita alrededor del Sol (en segundos y años terrestres), sabiendo que sus distancias medias a este son de $7,78 \cdot 10^{11}$ m y $1,42 \cdot 10^{12}$ m, respectivamente.

Aplicando la tercera ley de Kepler a ambos planetas y a la Tierra e igualando la constante k , obtenemos:

$$\frac{T_{JS}^2}{r_{JS}^3} = \frac{T_{TS}^2}{r_{TS}^3}$$

$$\frac{T_{SS}^2}{r_{SS}^3} = \frac{T_{TS}^2}{r_{TS}^3}$$

Donde los subíndices JS, TS y SS se refieren a Júpiter-Sol, Tierra-Sol y Saturno-Sol respectivamente. Despejando los períodos de Júpiter y Saturno, se obtienen, respectivamente:

$$T_{JS} = 3,78 \cdot 10^8 \text{ s} = 11,8 \text{ años}$$

$$T_{SS} = 9,26 \cdot 10^8 \text{ s} = 29,3 \text{ años}$$

Momento angular y su conservación

- 8 Una partícula se mueve a lo largo de una recta. Si la única información que disponemos es que el momento de fuerza que actúa sobre ella es cero respecto de un origen no especificado, ¿podemos concluir que la partícula se mueve con velocidad constante?

No puede concluirse que la velocidad de la partícula sea necesariamente constante. Si el origen se encuentra en la recta del movimiento y la fuerza que actúa sobre la partícula tiene también esa dirección, entonces el momento de fuerza es nulo, pero la partícula no se moverá con velocidad constante.

- 9 A partir de los datos ofrecidos en la actividad 2, calcula el momento angular de Mercurio y de la Tierra con respecto al centro solar.

Usando los datos del problema 2 y expresando el momento angular en función del período en la forma:

$$L = mr^2 \frac{2\pi}{T}$$

Sustituyendo los datos ofrecidos en dicho problema, obtenemos:

$$L_{\text{Mercurio}} = 8,81 \cdot 10^{34} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

$$L_{\text{Tierra}} = 2,67 \cdot 10^{40} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- 10 Determina el momento angular de un protón que se mueve a una velocidad de 0,9999 veces la de la luz en el vacío con respecto al centro del colisionador circular de partículas LHC del CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear), sabiendo que la longitud de este es de 26659 m. Dato: $c = 3 \cdot 10^8$ m/s; $m_{\text{protón}} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg

Teniendo en cuenta que la longitud del LHC es 26659 m y que $L = 2\pi r$, entonces el radio de curvatura es de 4243 m, por lo que el momento angular del protón con esa velocidad es:

$$L = mvr$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$L_{\text{protón}} = 2,11 \cdot 10^{-15} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- 11 Una partícula de 800 g se encuentra en el punto (5, 2, 4) moviéndose con una velocidad $\vec{v} = 10\vec{i} + 5\vec{j}$ m/s. Determina la expresión vectorial de su momento angular con respecto al punto (1, 0, 1), y su módulo.

El vector de posición con respecto al punto citado es:

$$\vec{r} = 4\vec{i} + 2\vec{j} = 3\vec{k} \text{ m}$$

Mientras que su momento lineal es:

$$\vec{p} = m\vec{v} = 8\vec{i} + 4\vec{j} \text{ kg m/s}$$

Por tanto:

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 4 & 2 & 3 \\ 8 & 4 & 0 \end{vmatrix} = -12\vec{i} + 24\vec{j} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

Cuyo módulo vale 26,8 kg m²/s.

- 12 Un balón de 400 g es lanzado verticalmente hacia abajo, en la dirección del eje Z, con $\vec{v} = -10\vec{j}$ m/s desde el punto de coordenadas (x, y, z) = (0, 2, 10) m. Determina:

- El momento de fuerza que actúa sobre el balón con respecto al punto (0, 0, 0).
- ¿Se conserva el momento angular del balón, respecto de dicho punto, durante su descenso hacia el suelo?
- El momento angular inicial del balón respecto del punto (0, 0, 0).
- El momento angular del balón respecto del mismo origen a los 0,5 s de haber sido lanzado.
- ¿Qué resultados se obtendrían en los anteriores apartados si hubiésemos elegido el punto (0, 2, 0) como origen de referencia?

Considera $g = 10$ m/s² en tus cálculos.

- a) Considerando $g = 10$ m/s², la fuerza que actúa sobre el balón es su propio peso, de modo que $\vec{F} = -mg\vec{k} = -4\vec{k}$ N. Por otra parte, el vector de posición en el instante inicial es:

$$\vec{r} = 2\vec{j} + 10\vec{k} \text{ m}$$

Por lo que el momento de fuerza actuante es:

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 2 & 10 \\ 0 & 0 & -4 \end{vmatrix} = -8\vec{i} \text{ N}\cdot\text{m}$$

- El momento angular no se conserva, ya que los vectores \vec{r} y \vec{F} no tienen la misma dirección.
- El momento angular inicial del balón es, teniendo en cuenta que $m\vec{v}_0 = -4\vec{k}$ kg m/s, siendo $\vec{v}_0 = -10\vec{j}$ m/s:

$$\vec{L}_0 = \vec{r} \times m\vec{v}_0 = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 2 & 10 \\ 0 & 0 & -4 \end{vmatrix} = -8\vec{i} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- d) A los 0,5 segundos de haber sido lanzado, la velocidad del balón es:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t = -15\vec{j} \text{ m/s}$$

Por lo que el momento lineal resulta: $-6\vec{k}$ kg m/s

Por otra parte, la posición del balón en ese instante es:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{g} t^2 = 2\vec{j} + 3,75 \vec{k} \text{ m}$$

Por tanto:

$$\vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 0 & 2 & 3,75 \\ 0 & 0 & -6 \end{vmatrix} = -12 \vec{i} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

Como puede comprobarse, el momento angular no se conserva.

- e) Los resultados anteriores habrían sido cero en todos los casos, dado que los vectores de posición, momento y fuerza tendrían la misma dirección.

- 13 En una experiencia de laboratorio, una estudiante impulsa un disco de 200 g de modo que este describe una órbita circular de 50 cm de radio sobre una mesa de aire (sin fricción) con un período de 1,2 s. Su pareja de laboratorio, que se encuentra debajo de la mesa, ejerce la tensión necesaria sobre la cuerda para que el disco describa círculos.

- a) Calcula el valor del momento angular del disco respecto del centro del círculo.
 b) Si, al cabo de un tiempo, la tensión aumenta de modo que los círculos descritos son de 20 cm de radio, ¿qué ocurre con el momento angular del disco? ¿Cuánto valdrá el período?
 a) El momento angular del disco viene dado por:

$$L = m r^2 \frac{2\pi}{T}$$

donde, sustituyendo los valores ofrecidos, se obtiene:

$$L = 0,26 \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- b) Puesto que la fuerza que actúa es centrípeta (un caso de fuerza central), el momento angular se mantiene constante, de modo que el nuevo período valdrá:

$$T = m r^2 \frac{2\pi}{L} = 0,25 \text{ s}$$

- 14 El satélite Meteosat, geostacionario, tiene una masa de 2000 kg. Determina, usando los resultados obtenidos en la actividad 5:

- a) Su velocidad areolar en m^2/s .
 b) Su momento angular con respecto al centro terrestre.
 a) La velocidad areolar viene dada por:

$$v_{\text{areolar}} = \frac{1}{2} r^2 \omega = \frac{1}{2} r^2 \frac{2\pi}{T}$$

donde, sustituyendo los resultados obtenidos en la actividad 5, se obtiene:

$$v_{\text{areolar}} = 6,52 \cdot 10^{10} \text{ m}^2/\text{s}$$

- b) A partir de la relación entre la velocidad areolar y el momento angular, tenemos que:

$$L = 2m v_{\text{areolar}} = 2,61 \cdot 10^{14} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- 15 El cometa Halley se encuentra a una distancia del Sol de 35,1 UA en el afelio, mientras que en el perihelio la distancia es de 0,57 UA. ¿Cuál es la relación entre las velocidades de dicho cometa en el perihelio y en el afelio?

Por conservación del momento angular y suponiendo que su masa no varía apreciablemente, se obtiene que:

$$v_{\text{af}} r_{\text{af}} = v_{\text{ph}} r_{\text{ph}}$$

Por lo que la relación de sus velocidades es:

$$\frac{v_{\text{ph}}}{v_{\text{af}}} = \frac{r_{\text{af}}}{r_{\text{ph}}} = 61,6$$

Ley de gravitación universal y sus consecuencias

- 16 Razona la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

- a) La Tierra atrae a todos los cuerpos en su seno con la misma fuerza y les comunica, por consiguiente, la misma aceleración.
 b) La fuerza con que la Tierra atrae a los cuerpos es proporcional a la masa de cada uno de ellos.
 c) La fuerza es distinta para cada cuerpo, como lo es también la aceleración que les comunica.
 a) Es falso. La Tierra atrae a los cuerpos que se encuentran en su seno con una fuerza que es proporcional a la masa del cuerpo atraído.
 b) Cierto, como se ha comentado en el apartado anterior.
 c) Falso. La fuerza es distinta, pero la aceleración es la misma.

- 17 ¿Pesa todo cuerpo material? ¿Tiene masa todo cuerpo con peso? ¿Y tiene masa todo cuerpo material sin peso?

Los cuerpos materiales solo pesan en presencia de campos gravitatorios. El peso, por tanto, no es una propiedad de la materia, sino que es una propiedad de la materia en campos gravitacionales. Sin embargo, la masa es una propiedad de la materia independientemente de la existencia de campos gravitatorios. Por tanto, todo cuerpo está dotado de masa.

- 18 La masa de la Luna es 0,012 veces la terrestre y su radio es 0,27 veces el de la Tierra. Sabiendo que, en la superficie terrestre g vale $9,8 \text{ m/s}^2$, calcula su valor en la superficie lunar.

La aceleración en la superficie lunar viene dada por:

$$g_L = G \frac{m_L}{r_L^2} = G \frac{0,012 m_T}{(0,27 r_T)^2} = \frac{0,012}{0,27^2} g_T = 1,6 \text{ m/s}^2$$

- 19 Un cuerpo esférico A tiene un radio de 400 m y una densidad de 6000 kg/m^3 , mientras que otro cuerpo B tiene un radio de 100 m y una densidad de 4000 kg/m^3 . Determina:

- a) La fuerza gravitatoria entre ellos cuando ambos estén en contacto.
 b) El valor de dicha fuerza cuando la distancia entre ellos se multiplique por 10.

Con los datos de densidad y radio ofrecidos, teniendo en cuenta que son cuerpos esféricos, obtenemos que las masas de cada uno de los cuerpos son:

$$m_A = 1,6 \cdot 10^{12} \text{ kg}$$

$$m_B = 1,67 \cdot 10^{10} \text{ kg}$$

Por tanto, la fuerza con que se atraen cuando están en contacto (r entre ellos = 500 m) es:

$$F = G \frac{m_A m_B}{r^2} = 7,13 \cdot 10^6 \text{ N}$$

b) Si la distancia aumenta en 10 veces su valor inicial, la fuerza disminuye 100 veces respecto de su valor inicial, por lo que ahora valdrá $7,13 \cdot 10^4 \text{ N}$

- 20 Un cuerpo que se deja caer sobre la superficie terrestre desde una altura h llega al suelo con una velocidad v . ¿Cuánto debería valer, comparativamente, la altura h' en la Luna para que llegara al suelo con la misma velocidad que en la Tierra?

Si consideramos que $g_L = 1/6 g$, y dado que la velocidad con que llega al suelo un cuerpo que deja caer desde una altura h es $v = \sqrt{2gh}$, para que la velocidad al llegar al suelo fuese igual, debe dejarse caer desde una altura seis veces superior. Es decir, $h' = 6h$.

- 21 Deduce la expresión que permite relacionar el valor de la gravedad superficial g de un planeta esférico con su densidad media ρ y con su radio r .

A partir de la expresión general:

$$g = G \frac{m}{r^2}$$

Sustituyendo $m = \rho V = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$ en la anterior expresión, se obtiene que:

$$g = \frac{4}{3} G \pi \rho r$$

Expresión muy interesante que relaciona la aceleración gravitatoria con la densidad de un planeta y su radio.

- 22 Sabiendo que la aceleración de la gravedad en la superficie de la Luna es un sexto de la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra, y que el radio de la Luna es 0,27 veces el radio terrestre determina la relación entre las densidades medias $\rho_{\text{Luna}}/\rho_{\text{Tierra}}$.

Usando para ambos cuerpos la expresión obtenida en la actividad anterior y dividiéndolas entre sí, llegamos a que:

$$\frac{\rho_L}{\rho_T} = \frac{g_L r_T}{g_T r_L} = 0,62$$

- 23 ¿A qué altura sobre la superficie terrestre debemos encontrarnos para que nuestro peso se reduzca a la mitad? Expresa dicha altura en función del radio terrestre.

Debe cumplirse a esa distancia que:

$$\frac{1}{2} G \frac{m}{r^2} = G \frac{m}{r'^2}$$

En consecuencia:

$$r = \sqrt{2} r_T$$

Puesto que $r = r_T + h$ finalmente se obtiene que:

$$h = (\sqrt{2} - 1) r_T$$

- 24 Fobos es un satélite de Marte que gira en una órbita circular de 9380 km de radio respecto del centro del planeta, con un período de revolución de 7,65 h. El otro satélite de Marte, Deimos, gira en una órbita de 23460 km de radio. Determina:

- La masa de Marte.
- El período de revolución de Deimos.
- La velocidad orbital del satélite Deimos.
- El valor del momento angular de Deimos respecto del centro de Marte.

a) A partir de los datos de Fobos puede determinarse la masa de Marte. Igualando la fuerza gravitatoria entre Marte y Fobos a la fuerza centrípeta que actúa sobre Fobos, se obtiene:

$$G \frac{m_M m_F}{r^2} = m_F \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

De donde despejando la masa de Marte, se obtiene:

$$m_M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

Que resulta ser de $6,44 \cdot 10^{23} \text{ kg}$

b) A partir de la tercera ley de Kepler aplicado a ambos satélites de Marte, se obtiene finalmente que:

$$T_D = T_F \sqrt{\left(\frac{r_D}{r_F}\right)^3} = 30,2 \text{ h}$$

c) La velocidad orbital del satélite Deimos viene dada por:

$$v = \sqrt{\frac{G m_M}{r_{FM}}} = 1353 \text{ m/s}$$

d) El momento angular de Deimos respecto del centro de Marte es:

$$L = m_D v r = 7,6 \cdot 10^{25} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

- 25 ¿A qué altura sobre la superficie terrestre orbita un satélite cuyo período es de 5 h?

Dato: $m_{\text{Tierra}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; $r_{\text{Tierra}} = 6370 \text{ km}$

A partir de la consideración del carácter centrípeta de la fuerza gravitatoria:

$$G \frac{m_T m_{\text{sat}}}{r^2} = m_{\text{sat}} \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

Despejando la distancia r se obtiene:

$$r = \sqrt[3]{\frac{G m_T T^2}{4\pi^2}} = 14865 \text{ km}$$

Restando el radio terrestre a esta distancia, se obtiene:

$$h = 8495 \text{ km}$$

- 26 ¿A qué altura sobre la superficie terrestre debe orbitar un satélite si su velocidad orbital es de 6,9 km/s?

Procediendo de modo similar al expuesto en la resolución de la actividad 17, obtenemos que:

$$h = \frac{G m_T}{v^2} - r_T = 2,036 \cdot 10^6 \text{ m}$$

O bien, 2036 km

- 27 Marte tiene un radio de 3390 km y una densidad media de 3930 kg/m³. A partir de estos datos, halla:

- a) El valor de la gravedad superficial en Marte.
 b) Hasta qué altura ascendería en Marte un cuerpo que se lanzase con una velocidad inicial de 10 m/s.
 a) El valor de la aceleración gravitatoria en función de la densidad es:

$$g = \frac{4}{3} G \rho r$$

donde sustituyendo los valores propios de Marte, se obtiene:

$$g_M = 3,7 \text{ m/s}^2$$

- b) Su altura máxima vendría dada por la expresión:

$$y_m = \frac{v_0^2}{2g} = 13,5 \text{ m}$$

- 28 Sabiendo que la distancia Tierra-Luna es de 384 000 km y que la masa lunar es 0,012 veces la terrestre, determina a qué distancia del centro terrestre se encuentra el punto en el que la aceleración gravitatoria debida a la Tierra es el doble que la debida a la Luna.

En ese punto, a una distancia x del centro terrestre, debe cumplirse que:

$$G \frac{m_T}{x^2} = 2G \frac{m_L}{(d-x)^2} = 2G \frac{0,012m_T}{(d-x)^2}$$

Resolviendo x se obtiene:

$$x = 332 490 \text{ km}$$

- 29 ¿Cuál debe ser la velocidad orbital de los satélites geoestacionarios?

Teniendo en cuenta el dato obtenido en la actividad 5, la velocidad orbital de un satélite geoestacionario será:

$$v = \sqrt{\frac{G m_T}{r}} = 3073 \text{ m/s}$$

- 30 El satélite de Júpiter llamado Ío tiene un período de revolución de 42 h 29 min y su distancia media a Júpiter es de 422 000 km.

- a) ¿Cuál es la masa de Júpiter?
 b) ¿Cuál es la velocidad orbital de Ío?
 c) ¿Cuánto vale la velocidad areolar de Ío?
 d) ¿A qué distancia de Júpiter se encuentra Europa, otro de sus satélites, si su período de revolución es de 3,55 días?
 e) Si la masa de Ío es $8,94 \cdot 10^{22} \text{ kg}$, ¿cuánto vale su momento angular con respecto al centro de Júpiter?
 a) A partir de la tercera ley de Kepler, y sustituyendo los valores ofrecidos, se calcula el valor de la constante k en el caso de Júpiter:

$$k = \frac{T^2}{r^3} = \frac{(152940)^2}{(4,22 \cdot 10^8)^3} = 3,112 \cdot 10^{-16} \text{ s}^2 \text{ m}^{-3}$$

- b) Después se halla la masa de Júpiter:

$$m_{\text{Júpiter}} = \frac{4\pi^2}{kG} = 1,9 \cdot 10^{27} \text{ kg}$$

- c) La velocidad orbital de Ío será:

$$v = \sqrt{\frac{G m_J}{r}} = 17 329 \text{ m/s}$$

- d) La velocidad areolar de Ío es:

$$v_{\text{areolar}} = \frac{1}{2} r^2 \omega = \frac{1}{2} r^2 \frac{2\pi}{T} = 3,65 \cdot 10^{12} \text{ m}^2/\text{s}$$

- e) Resolviendo de modo similar al expuesto en la actividad 5, se obtiene:

$$r = r_{\text{Io}} \sqrt[3]{\left(\frac{T_E}{T_{\text{Io}}}\right)^2} = 671 144 \text{ km}$$

- f) El momento angular de Ío será:

$$L = m v r = 6,53 \cdot 10^{35} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN FINAL (página 311)

1. Una pelota de 100 g de masa unida a una cuerda describe círculos de 1,2 m de radio con una frecuencia de 8 s^{-1} . ¿Cuánto vale la fuerza centrípeta que actúa sobre la pelota?

En términos de la frecuencia, la fuerza centrípeta se expresa como:

$$F_c = m \omega^2 r = m 4\pi^2 f^2 r = 303 \text{ N}$$

2. Un avión de 7 toneladas vuela a 10000 m de altura con una velocidad de 800 km/h. ¿Cuál es la magnitud del momento angular del avión con respecto a un observador en tierra? ¿Cambia dicho valor a medida que el avión se mueve en línea recta?

El valor del momento angular del avión respecto del observador en Tierra es, usando las unidades SI:

$$L = mv = 1,55 \cdot 10^{10} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

Al moverse con MRU, dicho valor no cambia a medida que el avión se desplaza.

3. Una partícula de 3 kg de masa se mueve con una velocidad constante $\vec{v} = 15\vec{i} + 5\vec{j} \text{ m/s}$. Determina su momento angular con respecto al punto (2, 1, 0) cuando la partícula se encuentre en el punto de coordenadas (6, 8, 4).

El vector de posición de la partícula respecto de ese punto es:

$$\vec{r} = 4\vec{i} + 7\vec{j} + 4\vec{k} \text{ m}$$

Y su momento lineal es:

$$\vec{p} = m\vec{v} = 45\vec{i} + 15\vec{j}$$

Por tanto, su momento angular es:

$$\begin{aligned} \vec{L} = \vec{r} \times m\vec{v} &= \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ 4 & 7 & 4 \\ 45 & 15 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= -60\vec{i} + 180\vec{j} - 255\vec{k} \text{ kg m}^2/\text{s} \end{aligned}$$

4. Suponiendo que la Tierra describe una órbita circular alrededor del Sol, de $r = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$ y con un período de 365,25 días, ¿cuánto vale la velocidad areolar de la Tierra? ¿Cuánto vale su momento angular si su masa es de $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$?

Resolviendo de modo idéntico al ejercicio 14 de actividades y tareas, obtenemos:

$$v_{\text{areolar}} = \frac{1}{2} r^2 \omega = \frac{1}{2} r^2 \frac{2\pi}{T} = 2,23 \cdot 10^{15} \text{ m}^2/\text{s}$$

siendo su momento angular igual a:

$$L = 2m v_{\text{areolar}} = 2,67 \cdot 10^{40} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

5. Un planeta describe una órbita elíptica alrededor del Sol. Razona si su velocidad lineal, su velocidad areolar,

su momento lineal y su momento angular es mayor, menor o igual en el afelio que en el perihelio.

Por conservación del momento angular, la velocidad lineal es mayor en el perihelio que en el afelio, como se establece en la segunda ley de Kepler. Si la masa del planeta permanece invariable, su velocidad areolar es constante. El momento lineal varía del mismo modo que lo hace la velocidad lineal. Por último, en todo movimiento planetario se conserva el momento angular y es igual en afelio y perihelio.

6. Júpiter se encuentra a una distancia 5,2 veces mayor del Sol que la Tierra. Con este dato, determina la duración del año jupiteriano en días terrestres.

Dato: año terrestre = 365 d

A partir de la tercera ley de Kepler aplicada a la Tierra (T) y a Júpiter (J) se obtiene finalmente:

$$T_J = T_T \sqrt{\left(\frac{r_J}{r_T}\right)^3}$$

Sustituyendo los datos se obtiene que el año jupiteriano son 11,8 años = 4307 días terrestres

7. Una masa de 100 kg y otra de 800 kg se encuentran separadas una distancia de 30 cm. Determina la fuerza gravitatoria que actúa entre ellas. ¿Cuál será su nuevo valor si la distancia entre las masas se reduce a la quinta parte?

La fuerza gravitatoria entre ambas masas es:

$$F = G \frac{m_A m_B}{r^2} = 5,93 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Si la distancia se reduce a la quinta parte, la fuerza se multiplica por 25, resultando ser de $1,48 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

8. ¿A qué distancia del centro terrestre, a lo largo de la recta que une la Tierra y la Luna, se encuentra el punto en el que la aceleración gravitatoria terrestre es el triple de la lunar?

Datos: $m_{\text{Luna}} = 0,012$ veces la masa terrestre; $d_{\text{Tierra-Luna}} = 384000 \text{ km}$

Resolviendo de modo similar al desarrollado en el problema 28, la condición es:

$$G \frac{m_T}{x^2} = 3G \frac{m_L}{(d-x)^2} = 3G \frac{0,012 m_T}{(d-x)^2}$$

Resolviendo x se obtiene que dicha distancia es de 322760 km del centro terrestre.

9. ¿A qué altura sobre la superficie terrestre debe situarse un satélite artificial para que orbite con un período de 6 horas? ¿Qué velocidad orbital tendrá en esas circunstancias?

Datos: $r_{\text{Tierra}} = 6370 \text{ km}$; $m_{\text{Tierra}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Procediendo de modo similar al expuesto en el ejercicio 25, obtenemos:

$$r = \sqrt[3]{\frac{G m_r T^2}{4\pi^2}} = 16791 \text{ km}$$

Por lo que la altura será de 10421 km

A su vez, la velocidad orbital es:

$$v = \sqrt{\frac{G m_r}{r}} = 4882 \text{ m/s}$$

10. Miranda, un satélite de Urano, orbita alrededor del planeta a una distancia de 129872 km con un período de 1,41 días. Sabiendo que su masa es de $6,6 \cdot 10^{19}$ kg, calcula la masa del planeta Urano, la velocidad areolar de Miranda, suponiendo que su órbita es circular a velocidad orbital de Miranda y su momento angular con respecto al centro del planeta.

Resolviendo de un modo muy similar al del problema 30, obtenemos:

- a) La masa de Urano viene dada por la expresión:

$$m_U = \frac{4\pi^2 r^3}{G T^2} = 8,73 \cdot 10^{25} \text{ kg}$$

- b) La velocidad areolar de Miranda es:

$$v_{\text{areolar}} = \frac{1}{2} r^2 \omega = \frac{1}{2} r^2 \frac{2\pi}{T} = 4,35 \cdot 10^{11} \text{ m}^2/\text{s}$$

- c) La velocidad orbital de Miranda responde a la expresión:

$$v = \sqrt{\frac{G m_U}{r}} = 6696 \text{ m/s}$$

- d) Su momento angular es:

$$L = mvr = 5,74 \cdot 10^{31} \text{ kg m}^2/\text{s}$$

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1. Aplica el concepto de fuerza centrípeta para resolver e interpretar movimientos circulares.	A: 1 AT: 1-3	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1. Comprueba las leyes de Kepler a partir de datos astronómicos planetarios. 2.2. Deduce períodos orbitales a partir de la tercera ley.	A: 2 AT: 4-7	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1. Aplica la ley de conservación del momento angular y relacionarla con la segunda ley de Kepler.	A: 3-6 ER 1,2 AT: 8-15	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1. Describe el movimiento orbital como composición de movimientos y relacionarlo con el lanzamiento horizontal.	A: 7	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.1. Expresa la fuerza de la atracción gravitatoria entre dos cuerpos cualesquiera, conocidas las variables de las que depende, estableciendo cómo inciden los cambios en estas sobre aquella.	A: 8-10 AT: 16, 19	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
8.1. Determina valores de aceleración gravitatoria en función de las características planetarias. 9.1 Resuelve velocidades orbitales en función de las características planetarias.	A: 11-18 ER: 3-6 AT: 17, 18, 20-30	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Un planeta describe una órbita elíptica alrededor del Sol. Razona si las siguientes magnitudes son mayores, menores o iguales en el afelio que en el perihelio:

- a) Su velocidad lineal. c) Su momento lineal.
b) Su velocidad areolar. d) Su momento angular.

Dado que la fuerza actuante es central, el momento angular permanece constante, por lo que:

- a) La velocidad lineal en el afelio debe ser menor que en el perihelio, pues:

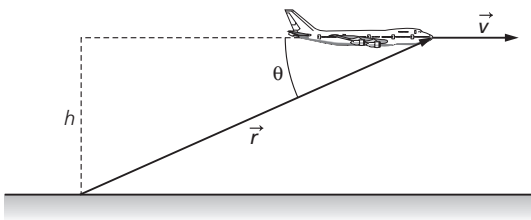
$$L_{\text{afelio}} = L_{\text{perihelio}} \Rightarrow mv_a r_a = mv_p r_p$$

Dado que $r_a > r_p \Rightarrow v_a < v_p$

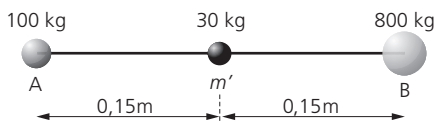
- b) Puesto que la constancia de L es congruente con la 2.ª ley de Kepler, entonces la velocidad areolar es constante.
c) Varía en módulo (además de en dirección) según los distintos valores de velocidad lineal. Es menor en el afelio.
d) Permanece constante, como ya se ha explicado.
2. Un avión de 7 toneladas vuela a 10000 m de altura con una velocidad de 800 km/h. ¿Cuál es la magnitud del momento angular del avión respecto de un observador en Tierra? ¿Cambia dicho valor a medida que el avión se mueve en línea recta?

Si $L = mvr \sin \theta$, dado que $r \sin \theta = h$, entonces:

$$L = mvh = 7000 \text{ kg} \cdot 222,2 \text{ m/s} \cdot 10000 \text{ m} = 1,55 \cdot 10^8 \text{ kg m}^2/\text{s}$$



3. Una masa de 100 kg y otra de 800 kg se encuentran separadas una distancia de 30 cm. Determina la fuerza neta que actúa sobre una tercera masa de 30 kg situada en el punto medio entre ambas. ¿En qué posición distinta del infinito no apreciaría fuerza alguna esta tercera masa?



La fuerza neta es: $\vec{F} = \frac{Gm'}{r^2} (m_B - m_A) \vec{i}$

siendo su valor:

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{30}{0,15^2} \cdot (800 - 100) = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Llamando x a la distancia, medida desde la masa A, en la que la fuerza neta es cero, se cumple la igualdad:

$$G \frac{m_A m'}{x^2} = G \frac{m_B m'}{(0,3 - x)^2}$$

$$(0,3 - x)^2 m_A = x^2 m_B \Rightarrow x = \frac{0,3 \sqrt{m_A}}{\sqrt{m_A} + \sqrt{m_B}} = 0,078 \text{ m}$$

4. Dos planetas A y B presentan la misma aceleración gravitatoria superficial, pero el volumen de A es 64 veces mayor que el de B. Determina cuál es la razón entre sus densidades.

La aceleración gravitatoria puede expresarse como:

$$g = \frac{4}{3} G \pi \rho r$$

Si los valores de g en A y B son iguales, se cumplirá que:

$$\rho_A r_A = \rho_B r_B \Rightarrow \frac{\rho_B}{\rho_A} = \frac{r_A}{r_B}$$

Como $V_A = 64 V_B$ y $V = \frac{4}{3} \pi r^3$, entonces $r_A = 4 r_B$, por lo que

$\frac{\rho_B}{\rho_A} = 4$. La densidad del planeta B es 4 veces mayor que la del planeta A.

5. ¿A qué altura sobre la superficie terrestre debe situarse un satélite artificial para que orbite con un período de 6 horas?

Datos: radio terrestre = 6370 km; masa terrestre = $6 \cdot 10^{24}$ kg; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ N m²/kg²

El período de un movimiento orbital viene determinado por:

$$G \frac{m_T m}{r^2} = m \frac{4\pi}{T^2} r \Rightarrow r = \sqrt[3]{\frac{G m_T}{4\pi^2} \cdot T^2}$$

Por lo que: $r = 16785783 \text{ m} \approx 16786 \text{ km}$

Así pues, la altura sobre la superficie terrestre es:

$$h = r - r_T = 10416 \text{ km}$$

6. Júpiter se encuentra a una distancia 5,2 veces mayor del Sol que la Tierra. Con este dato determina la duración del año jupiteriano en días terrestres.

Dato: año terrestre = 365 días

Aplicando la tercera ley de Kepler a la Tierra y a Júpiter y dividiendo ambas identidades se obtiene:

$$T_J = T_T \sqrt[3]{\left(\frac{d_J}{d_T}\right)^3} = 365 \cdot \sqrt[3]{5,2^3} = 4328 \text{ días}$$

7. ¿A qué distancia del centro terrestre, a lo largo de la recta que une la Tierra y la Luna, se encuentra el punto en el que la aceleración gravitatoria terrestre es el triple de la lunar?

Datos: masa lunar = 0,012 veces la masa terrestre; distancia Tierra-Luna = 384000 km

Si x es la distancia desde el centro terrestre, se ha de cumplir:

$$G \frac{m_T}{x^2} = 3G \frac{m_L}{(d-x)^2} = 3G \cdot \frac{0,012 m_T}{(d-x)^2}$$

$$(d-x)^2 = 0,036 x^2$$

$$x = \frac{d}{1 + \sqrt{0,036}} = 322760 \text{ km}$$

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

- En un movimiento circular uniforme, el período:
 - Es directamente proporcional a la fuerza centrípeta que actúa.
 - Varía con el inverso de $\sqrt{F_c}$.
 - Varía con el inverso de F_c^2 .
- La segunda ley de Kepler establece que:
 - La velocidad de traslación de los planetas alrededor del Sol permanece constante.
 - La velocidad areolar de los planetas alrededor del Sol permanece constante.
 - El producto del valor de la velocidad por la distancia correspondientes al afelio y el perihelio son iguales.
- Si un cuerpo se mueve con velocidad constante:
 - Su momento angular es constante con respecto a un punto situado fuera de su recta de movimiento.
 - Su momento angular depende de su distancia en cada momento con respecto al punto.
 - Barre áreas iguales en tiempos iguales.
- Cuando sobre un cuerpo actúa una fuerza, su momento angular:
 - Varía siempre.
 - Se hace cero.
 - Permanece constante si la fuerza es central.
- Una partícula de masa m se mueve en una recta con velocidad constante v . Su momento angular respecto de un punto situado fuera de la recta de movimiento a una distancia d es:
 - Cero.
 - $m v_0 d$.
 - $m v_0 d^2$.
- La fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo:
 - Depende de la masa del cuerpo.
 - Es independiente de la masa del cuerpo.
 - Es cero si el cuerpo orbita alrededor de la Tierra.
- La aceleración que la Tierra comunica a un cuerpo:
 - Depende de la masa del cuerpo.
 - Es independiente de la masa del cuerpo.
 - Es cero si el cuerpo orbita alrededor de la Tierra.
- Si la distancia que separa dos cuerpos se reduce a la mitad, entonces la fuerza gravitatoria entre ellos:
 - Se reduce a la cuarta parte.
 - Se reduce a la mitad.
 - Aumenta al cuádruplo.
- Para que el peso de un objeto en la superficie terrestre se reduzca a la mitad, debe situarse a una distancia del centro terrestre igual a:
 - $\sqrt{2}$ veces el radio terrestre.
 - 2 veces el radio terrestre.
 - $(\sqrt{2} - 1)$ veces el radio terrestre.

13



APLICACIONES DE LAS LEYES DE LA DINÁMICA

Una vez estudiados los principios de la dinámica y una de las fuerzas fundamentales, la gravedad, en la presente unidad se abordan diferentes situaciones cotidianas en las que actúan distintas fuerzas sobre un cuerpo o sistema de cuerpos.

Se estudian aquí fuerzas habituales presentes en nuestro entorno, como las fuerzas de rozamiento entre superficies sólidas o las fuerzas restauradoras o elásticas (que servirán para comprender el principio físico de los cuerpos o sistemas oscilantes que se estudiarán en la unidad 15). También, al final del tema se aclara uno de esos conceptos habitualmente esquivos para nuestros alumnos y la mayoría de la población en general: la diferencia entre «fuerza centrípeta» y «fuerza centrífuga», dentro del análisis de las leyes de Newton en sistemas de referencia no inerciales.

Para la presente unidad es fundamental estar bien familiarizado con la herramienta matemática del cálculo vectorial, en especial en lo referente a composición y descomposición de fuerzas en componentes cartesianas. Igualmente, el alumnado debe saber identificar e interpretar correctamente todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo o sistema de cuerpos, aspecto que debe haberse conseguido como objetivo primordial de la unidad 11. En consecuencia, la herramienta matemática necesaria para la comprensión de esta unidad es relativamente sencilla.

En la interpretación de las cuestiones y problemas, el alumno, una vez identificadas las fuerzas que actúan y descompuestas en las correspondientes componentes, deberá aplicar las leyes de la dinámica distinguiendo si se trata de un problema donde no existe balance de fuerzas, en cuyo caso deberá aplicar la segunda ley en la forma $\sum \vec{F}_i = m \cdot \vec{a}$, o de un problema de estática, donde sí hay balance de fuerzas, en cuyo caso deberá aplicar el primer principio a todas las componentes cartesianas en las diferentes direcciones, en la forma $\sum \vec{F}_i = 0$.

Dado que se trata de un tema eminentemente práctico, en su desarrollo se incluyen ejercicios resueltos ilustrativos que permitirán al alumnado una mejor comprensión de los mecanismos de resolución de los problemas.

Objetivos

1. Comprender la naturaleza y el efecto de las fuerzas de fricción y su relación con la fuerza de presión entre las superficies.
2. Entender la relación entre fuerzas deformadoras y las fuerzas restauradoras en los materiales elásticos.
3. Conocer la ley de Hooke.
4. Identificar correctamente cuáles son las fuerzas presentes en un cuerpo o sistema de cuerpos.
5. Deducir los valores de las magnitudes cinemáticas a partir de la resolución dinámica de un problema con varias fuerzas.
6. Asimilar la distinta interpretación de las leyes de Newton en sistemas inerciales y no inerciales.
7. Entender la diferencia entre fuerza centrípeta y centrífuga.

Relación de la unidad con las competencias clave

La competencia lingüística está presente en la correcta interpretación del texto y los enunciados de los problemas y cuestiones propuestos, así como en la exposición oral y escrita de las propuestas de *investiga*. La competencia matemática y en ciencia y tecnología está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La competencia digital se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *investiga* y *Física, Tecnología y Sociedad*. La competencia de aprender a aprender es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado en caso de baja.

Temporalización

Recomendable en seis sesiones lectivas.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Introducción a las fuerzas de la naturaleza	1. Conocer los cuatro tipos de interacciones fundamentales.	1.1. Identifica las cuatro interacciones fundamentales y sus ámbitos de actuación.	Investiga (página 315 LA)	CD
La fuerza de rozamiento ■ La fuerza de rozamiento en distintas situaciones. ■ Coeficientes de rozamiento estático y cinético.	2. Reconocer situaciones en las que aparecen fuerzas de rozamiento. 3. Distinguir coeficientes de rozamiento estático y dinámico.	2.1. Resuelve problemas en los que aparecen fuerzas de rozamiento en planos horizontales o inclinados.	A: 1-3 ER: 1 AT: 1-5	CMCCT CD
■ Fuerzas elásticas o restauradoras	4. Reconocer las fuerzas elásticas en situaciones cotidianas y describir sus efectos.	4.1. Determina experimentalmente la constante elástica de un resorte mediante la ley de Hooke.	A: 4-6 AT: 6,7	CMCCT CD
Resolución de problemas en los que intervienen fuerzas ■ Dos cuerpos en contacto ■ Deslizamiento de cuerpos en planos inclinados. ■ La máquina de Atwood. ■ El péndulo cónico. ■ «Levitando» dentro de un ascensor	5. identificar todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. 6. Resolver situaciones dinámicas que involucran planos inclinados y/o poleas.	5.1. Representa todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. 6.1. Resuelve el movimiento de cuerpos unidos por cuerdas o poleas a partir de las fuerzas actuantes. 6.2. Dibuja y resuelve situaciones dinámicas dentro de un ascensor en distintos estados de movimiento	A: 7-15 ER: 2-4 AT: 8-22	CMCCT CD
Las leyes de Newton en sistemas no inerciales ■ La fuerza centrífuga	7. Justificar las fuerzas que aparecen en sistemas inerciales y no inerciales.	7.1. Resuelve situaciones dinámicas en sistemas no inerciales que justifiquen la aparición de fuerzas de inercia.	A: 16-17	CMCCT CCL CAA

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Estudio aerodinámico en el ciclismo

Enlaces web: Tipos de fuerzas

Vídeo: Las cuatro interacciones fundamentales

Animación: Resolución de problemas en los que intervienen fuerzas

Simuladores: Coeficientes estático y dinámico de rozamiento

Vídeo: Fuerza de rozamiento (Paul G. Hewitt)

Práctica de laboratorio: Determinación de coeficientes de rozamiento estáticos para diversos materiales.

Simulador: Cómo medir fuerzas

Enlace web: Laboratorio virtual de la ley de Hooke

Simulador: Planos inclinados y máquina de Atwood

Enlace web: Problemas de dinámica con soluciones

Práctica de laboratorio: 1. La componente tangencial del peso; 2. Condición de equilibrio en planos inclinados; 3. Sistemas de poleas múltiples. Resolución teórica del problema.

Animación: 1. Resolución de problemas cuando dos cuerpos están en contacto; 2. Resolución de problemas en planos inclinados con poleas.

Unidad 13: Aplicaciones de las leyes de la dinámica

1. Introducción a las fuerzas de la naturaleza

Presentación

Documento:
1. Trenes que levitan;
2. Interacciones fundamentales

2. La fuerza de rozamiento

- 2.1. La fuerza de rozamiento en distintas situaciones
- 2.2. Coeficientes de rozamiento estático y cinético

Documento: El vuelo de una piedra, según Aristóteles.
Presentación: Resolución de problemas de fuerzas.

3. Fuerzas elásticas o restauradoras

Presentación: Fuerzas elásticas o restauradoras.
Documento: La fricción en los fluidos.

4. Resolución de problemas en los que intervienen fuerzas

- 4.1. Dos cuerpos en contacto
- 4.2. Deslizamiento de los cuerpos en planos inclinados
- 4.3. La máquina de Atwood
- 4.4. El péndulo cónico
- 4.5. «Levitando» dentro de un ascensor

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

, B. y , J.
Química elemental básica (dos volúmenes). Barcelona: Reverté, 1978. Texto adecuado para introducirse en los conceptos químicos básicos.

y
Física. Addison-Wesley Longman. México 2000. Clásico de referencia en cualquier tema de Física. Tratamientos buenos y rigurosos.

Física en perspectiva. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1987. Uno de los libros de Física más amenos que se han escrito. Aborda la comprensión de la Física desde un punto de vista conceptual. Se trata de un libro «casi de lectura» con muy pocas fórmulas.

Física conceptual. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1995. Se trata de un libro muy recomendable para la comprensión conceptual de la Física. Su lectura amena y la escasez de fórmulas hacen de este libro un material para recomendar a aquellos alumnos y alumnas que sientan interés por la Física.

Física. Editorial Reverté (3ª edición). Barcelona 1995. Clásico de referencia obligada.

Video: Diferencia entre fuerza centrípeta y centrífuga

Simuladores: 1. Laboratorio virtual de la ley de Hooke.
2. Laboratorio virtual de la máquina de Atwood

Práctica de laboratorio:
1. Sistemas de poleas múltiples. Comprobación experimental

Tests de autoevaluación interactivos

5. Las leyes de Newton en sistemas no inerciales: fuerzas de inercia
5.1. La fuerza centrífuga

Física, tecnología y sociedad
La incansable búsqueda de materiales antiadherentes y sin fricción

Técnicas de trabajo y experimentación
Sistemas de poleas múltiples

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Documento: Biografía: Isaac Newton.

Documento:
1. La propulsión de los cohetes;
2. ¿Son elementales las partículas elementales?

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

Educaplus
<http://www.educaplus.org/>
Excelente web con buenos simuladores.

Paul G. Hewitt
<https://goo.gl/C6cKsb>
Canal de Youtube con los interesantes vídeos del profesor Paul G. Hewitt. En inglés.

Fiscalab
<https://www.fiscalab.com>
Página web con propuestas de ejercicios.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

APLICACIÓN DE LAS LEYES DE LA DINÁMICA

Se sugiere la lectura del texto introductorio acompañado de alguno de los vídeos propuestos referidos a la importancia de los estudios aerodinámicos en el deporte. Después deben plantearse las cuestiones previas para desvelar algunos equívocos frecuentes.

Vídeo:
ESTUDIO AERODINÁMICO EN EL CICLISMO

1. Introducción a las fuerzas de la naturaleza

Resulta conveniente comenzar la unidad con el ejercicio de reflexión que se propone, pero tratando de conducir la discusión hacia la búsqueda de las razones últimas, no conformándonos con la respuesta obvia. Se pretende que el alumno medite sobre, por ejemplo, las causas últimas de la fricción o las fuerzas elásticas. El objetivo es buscar los denominadores comunes de la, en apariencia, ingente cantidad de fuerzas que podríamos enumerar como presentes en la naturaleza.

Enlace web:
TIPOS DE FUERZAS

Vídeo:
LAS CUATRO INTERACCIONES FUNDAMENTALES

Documento:
INTERACCIONES FUNDAMENTALES

2. La fuerza de rozamiento

El principal escollo con el que nos topamos a la hora de estudiar las fuerzas de rozamiento es la resistencia que manifiestan la mayoría de los alumnos y alumnas a aceptar que el valor de la fuerza de rozamiento no depende del área de contacto aparente entre cuerpo y superficie. Por ello, en este epígrafe se recalca que, si bien el área de contacto es mayor, esto ocurre a costa de una presión de contacto menor. Este tipo de fuerzas son las peor conocidas a escala atómica. A este respecto es ilustrativa la lectura del artículo «Rozamiento a escala atómica», de Jacqueline Krim, en Investigación y Ciencia (diciembre de 1996, páginas 46-53).

Es conveniente ilustrar la medida de coeficientes de rozamiento en prácticas de laboratorio o mediante experiencia de cátedra, lo que servirá para verificar la independencia del área.

Enlace web con simulación:
COEFICIENTES ESTÁTICO Y DINÁMICO DE ROZAMIENTO

Vídeo:
FUERZA DE ROZAMIENTO (PAUL G. HEWITT)

3. Fuerzas elásticas o restauradoras

En este epígrafe se hace hincapié en la aclaración de que la fuerza «deformadora» la ejerce el cuerpo sobre el muelle,

mientras que la «restauradora» la ejerce el muelle (o el material elástico de que se trate) sobre el cuerpo.

Enlace web:
LABORATORIO VIRTUAL DE LA LEY DE HOOKE

Enlace web con simulador:
CÓMO MEDIR FUERZAS

4. Resolución de problemas en los que intervienen fuerzas

Este epígrafe se dedica a resolver distintos casos típicos de actuación de fuerzas en cuerpos o sistemas de cuerpos. Se sugiere sistematizar el método de resolución e identificación de fuerzas, tal y como se describe al comienzo del epígrafe, en lo que se da en llamar «diagramas de cuerpo libre», empezando por los casos más sencillos: dos cuerpos en contacto sobre una superficie horizontal y un cuerpo en un plano inclinado.

La aceleración de descenso de los cuerpos por planos inclinados es independiente de la masa, resultado congruente con la formulación de la ley de gravitación. Puede citarse como curiosidad que este tipo de experiencias con planos inclinados fue lo que llevó a Galileo a formular la ley de la caída libre, al extrapolar los resultados en planos inclinados al caso de la verticalidad, si bien no llegó a determinar el valor de la aceleración de caída libre: fue Huygens quien la determinó por vez primera con sus «relojes de péndulo».

Enlaces web con simulador:
PLANOS INCLINADOS Y MÁQUINA DE ATWOOD

Enlace web con ejercicios:
PROBLEMAS DE DINÁMICA CON SOLUCIONES

5. Las leyes de Newton en sistemas no inerciales: fuerzas de inercia

En este epígrafe se introduce una ampliación relativa a las llamadas fuerzas de inercia o «ficticias» que surgen en sistemas no inerciales. El currículum oficial no contempla específicamente este apartado. Sin embargo, en un nivel como el de 1º de bachillerato nos parece adecuado aclarar términos que, en ocasiones, la mayoría de los alumnos y no pocos de nosotros solemos emplear como sinónimos cuando no lo son en absoluto. Es el momento adecuado para aclarar la confusión entre fuerza centrífuga y fuerza centrípeta, tratando de exigir cierta rigurosidad en el empleo de los términos, ligando su uso al tipo de sistema de referencia elegido. Podemos tranquilizar, no obstante, a los alumnos y alumnas exponiendo cómo el propio Newton tenía dudas en su tiempo para distinguirlos. En sus primeros cálculos sobre la Luna, supuso que esta se movía obedeciendo a una fuerza centrífuga.

Vídeo:
DIFERENCIA ENTRE FUERZA CENTRÍPETA Y CENTRÍFUGA

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 312-325)

Comprueba lo que sabes

1. ¿Cuál de las siguientes opciones te parece más correcta para explicar por qué se detiene un cuerpo que estaba en movimiento?

- Porque la fuerza que lo impulsaba ha dejado de actuar.
- Porque ha actuado una fuerza que se opone al movimiento.

A estas alturas debería haber quedado clara la formulación de la primera ley de inercia y los alumnos deberían responder correctamente eligiendo la opción b.

2. Si tuvieses que arrastrar una caja pesada por el suelo, ¿cómo lo harías?, ¿intentando que el área de contacto con el suelo fuese la menor o la mayor posible, o con cualquiera de las dos opciones?

La cuestión incide sobre la independencia del área de contacto en el rozamiento. La respuesta correcta es que da igual cualquiera de las dos opciones.

3. Si comprimes un muelle contra el suelo y lo sueltas, ¿qué fuerza hace que el muelle se eleve?

La fuerza restauradora que no es otra cosa que la fuerza de reacción del suelo a la fuerza elástica de compresión que actúa contra él.

Actividades

1. Un bloque se halla en reposo sobre un plano inclinado. La inclinación de este se aumenta gradualmente, hasta que llega un punto en que el bloque empieza a deslizarse. ¿Qué condición cumplen las fuerzas que actúan en la dirección del movimiento en ese preciso instante?

Esas fuerzas son iguales.

2. A partir de la actividad anterior, idea un procedimiento para hallar la medida experimental de los coeficientes de rozamiento. Detállalo e indica cómo obtendrías el valor del coeficiente. ¿Qué tipo de coeficiente estarías midiendo?

. Estamos midiendo el coeficiente estático.

3. Un disco se desliza por una superficie horizontal partiendo con una velocidad inicial de 3,5 m/s. Si su velocidad después de recorrer 2 m es de 2 m/s, ¿cuánto vale el coeficiente de rozamiento entre el disco y el suelo? ¿Qué tipo de coeficiente de rozamiento has determinado?

Puesto que tenemos la distancia que recorre el disco (2 m), la velocidad inicial (3,5 m/s) y la final (2 m/s), con cualquiera de las ecuaciones que conocemos de cinemática podemos calcular la aceleración:

$$v^2 = v_0^2 - 2ad \Rightarrow a = 2,06 \text{ m/s}^2$$

Por otro lado:

$$ma = \mu mg \Rightarrow \mu = a/g = 0,21$$

El coeficiente determinado es cinético, puesto que el cuerpo está en movimiento.

4. Al colgar una masa de 500 g de dos muelles, A y B, observamos que los estiramientos producidos son de 2 cm y 25 cm, respectivamente. ¿Cuál es el valor de k de cada muelle?

El valor de k para el muelle A es de 245 N/m, mientras que el valor de k para el muelle B es de 19,6 N/m. Se mide en newton dividido por metro (N/m).

5. Un muelle de longitud L y constante k se corta por la mitad. Razona qué sucede con el valor de su constante elástica.

Al cortarlo por la mitad su constante elástica (fuerza por unidad de longitud) se duplica. Si la fuerza aplicada es F en ambos casos, entonces, con longitud L :

$$F = K \cdot L \rightarrow K = \frac{F}{L}$$

Mientras que al cortarlo por la mitad:

$$F = K' \cdot \frac{L}{2} \rightarrow K' = 2 \frac{F}{L} = 2K$$

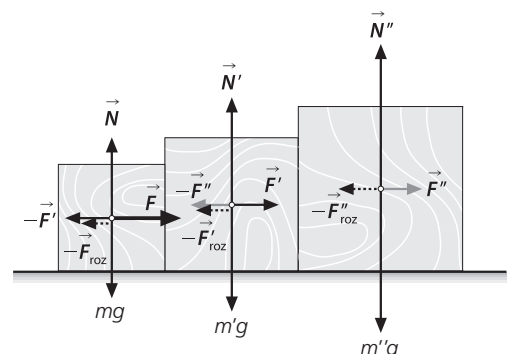
6. Al colgar un cuerpo de 2 kg de un muelle se aprecia un estiramiento de 4 cm. ¿Qué estiramiento cabe esperar si cortamos el muelle a la cuarta parte de su longitud original?

En las condiciones iniciales expuestas la constante elástica del muelle resulta ser de 4,9 N/cm. Si cortamos el muelle a la cuarta parte, en virtud de lo explicado en la cuestión anterior, la constante se cuadruplica hasta 19,6 N/cm. En consecuencia, dado que el peso es de 19,6 N, se estirará 1 cm.

7. Tres cuerpos de masas m , m' y m'' , respectivamente, reposan en contacto sobre una superficie horizontal (figura 13.15). Se aplica una fuerza, F , sobre el cuerpo de masa m , de modo que el sistema en su conjunto comienza a moverse. Si los coeficientes de rozamiento son distintos para cada cuerpo:

- Dibuja las fuerzas que actúan sobre cada uno de los cuerpos.
- Determina la expresión de la aceleración del sistema.
- Halla el valor de la aceleración si $F = 30 \text{ N}$, $m = 2 \text{ kg}$, $m' = 3 \text{ kg}$, $m'' = 5 \text{ kg}$, $\mu_1 = 0,2$, $\mu_2 = 0,1$ y $\mu_3 = 0,3$.

El esquema resultante de las fuerzas que actúan es:



Observa en este esquema, F es la fuerza general que se aplica sobre el sistema (y que actúa directamente sobre m), F' es la fuerza que m transmite a m' , y F'' es la fuerza que m' transmite a m'' . A su vez, en el diagrama se observan las correspondientes fuerzas de reacción a las acciones mencionadas, así como las diferentes fuerzas de rozamiento que actúan sobre cada cuerpo.

La ecuación dinámica para el sistema se reduce finalmente a:

$$F - (F_R + F'_R + F''_R) = (m + m' + m'')a$$

Despejando la aceleración, se obtiene:

$$a = \frac{F - (\mu_1 m + \mu_2 m' + \mu_3 m'')g}{m + m' + m''}$$

Sustituyendo en la anterior expresión los valores ofrecidos en el problema, resulta:

$$a = 0,84 \text{ m/s}^2$$

- 8 Deduce las ecuaciones que, en el caso de un descenso por un plano inclinado, nos informarían del espacio recorrido y de la velocidad en función del ángulo de inclinación y del tiempo.

Dado que la aceleración de descenso es $a = g \operatorname{sen} \alpha$, tendremos que:

$$s = v_0 t + 1/2 at^2 = v_0 t + 1/2 g \operatorname{sen} \alpha \cdot t^2$$

$$v = v_0 + at = v_0 + g \operatorname{sen} \alpha \cdot t$$

- 9 Dos masas de 6 y 9 kg penden de los extremos de una cuerda de masa despreciable en una máquina de Atwood. Si inicialmente la masa de 6 kg se encontraba 5 m por debajo de la de 9 kg, determina el tiempo que tardarán en cruzarse a la misma altura una vez que el sistema se abandone a su suerte.

Para empezar, conviene darse cuenta de que si las masas están separadas inicialmente 5 m, puesto que están atadas a la misma cuerda, se cruzarán cuando cada una de ellas haya recorrido la mitad, esto es, 2,5 m.

Por otro lado, una vez tenemos el espacio que ha de recorrerse y puesto que se supone que inicialmente las masas están en reposo ($v_0 = 0$), solo nos queda calcular la aceleración, cosa que podemos hacer con la expresión:

$$a = \frac{m' - m}{m' + m} g = 1,96 \text{ m/s}^2$$

Ya disponemos todos los datos para calcular el tiempo con cualquiera de las ecuaciones de cinemática. Por ejemplo:

$$s = s_0 + v_0 t + 1/2 at^2$$

Despejamos el tiempo:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{2 \cdot \frac{2,5 \text{ m}}{1,96 \text{ m/s}^2}} = 1,6 \text{ s}$$

- 10 Dos bloques de 3 kg cada uno cuelgan de los extremos de una cuerda que pasa por una polea. ¿Qué masa debe añadirse a uno de los bloques para que el otro suba 1,6 m en 2 s?

La aceleración necesaria para que ascienda 1,6 m en 2 s es:

$$a = 2y/t^2 = 0,8 \text{ m/s}^2$$

Combinando las ecuaciones dinámicas de ambas masas:

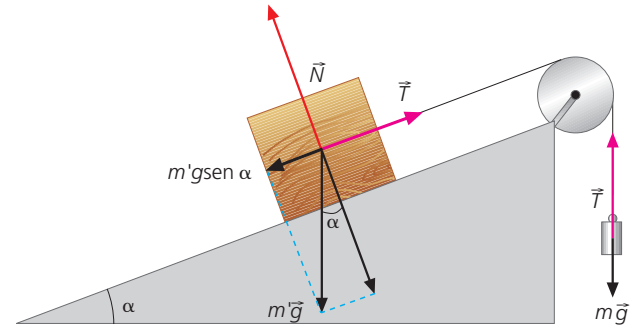
$$m'g - mg = (m' + m)a$$

Es decir:

$$m' = \frac{mg + ma}{g - a} = 3,533 \text{ kg}$$

Por tanto, habría que añadir 533 g a una de las masas.

- 11 Resuelve la aplicación de esta página si el coeficiente de rozamiento entre m' y el plano es de 0,23.



Supongamos que el movimiento tuviera lugar hacia m . La ecuación de movimiento de m seguiría siendo:

$$mg - T = ma$$

La de m' , sin embargo, sería:

$$T - m'g \operatorname{sen} \alpha - \mu m'g \cos \alpha = m'a$$

Por consiguiente:

$$a = \frac{m - m'(\operatorname{sen} \alpha + \mu \cos \alpha)}{m + m'} \cdot g$$

Al resolver la expresión, saldría una aceleración negativa, lo que significa que no se moverá en ese sentido.

Debemos resolver la posibilidad de movimiento hacia el otro sentido. Si no obtuviésemos un valor positivo de aceleración, significaría sencillamente que el sistema estaría en equilibrio. Replanteando las ecuaciones del movimiento, para el sentido en el que el bloque baja por el plano, ahora tendríamos:

Para m' :

$$m'g \operatorname{sen} \alpha - \mu m'g \cos \alpha - T = m'a$$

Para m :

$$T - mg = ma$$

Resolviendo la aceleración, obtenemos:

$$a = \frac{m'(\operatorname{sen} \alpha - \mu \cos \alpha) - m}{m + m'} \cdot g$$

Al dar valores ($\alpha = 30^\circ$, $m = 2 \text{ kg}$, $m' = 3 \text{ kg}$), comprobamos que la aceleración también resultaría negativa. Por tanto, el sistema se encontrará en equilibrio.

- 12 Realiza un estudio más detallado de la actividad anterior:

- ¿Qué relación deben guardar las masas para que se produzca una situación de equilibrio? ¿En qué casos se moverán en un sentido o en otro?
- Analiza la coherencia de tu resultado llevándolo a los casos extremos ($\alpha = 90^\circ$ y $\alpha = 0^\circ$). ¿Qué conclusiones sacas?

Analizando las dos expresiones obtenidas para la aceleración en los casos anteriores, comprobaremos que se hacen cero en los siguientes casos:

Cuando:

$$m = m'(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

Cuando:

$$m = m'(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

Es decir, el sistema se encontrará en equilibrio cuando:

$$m'(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \leq m \leq m'(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

En nuestro caso, si m está comprendido entre 0,9 kg y 2,1 kg, habrá equilibrio. Dado que la masa era de 2 kg, corresponde a una situación de equilibrio.

Si $\alpha = 90^\circ$, habrá equilibrio cuando $m = m'$. Estaríamos en una situación equivalente a la de la máquina de Atwood, como cabría esperar.

Si $\alpha = 0^\circ$, el plano sería horizontal y habría equilibrio si $m \leq \mu m'$, resultado congruente con el problema del plano horizontal.

- 13** Deduce una expresión para el periodo de oscilación o revolución del péndulo cónico en función de L y θ .

La fuerza centrípeta que actúa en el péndulo cónico es:

$$T \sin \theta = m\omega^2 r = m\omega^2 L \sin \theta$$

por lo que:

$$T = m\omega^2 L$$

como a su vez:

$$T = \frac{mg}{\cos \theta}$$

igualando, obtenemos:

$$\frac{g}{\cos \theta} = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

Despejando T , obtenemos:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$$

- 14** Trata de explicar lo que sucede en los momentos de frenado al ascender y al descender en un ascensor.

En el momento de frenado al ascender, la situación es idéntica al arranque en descenso; levitaríamos momentáneamente. El frenado en descenso es idéntico al arranque en ascenso; en ese caso, nuestro peso parece aumentar.

- 15** Una persona, cuya masa es de 53 kg, decide experimentar lo explicado en este apartado subiéndose encima de una balanza en el interior del ascensor de su casa. Determina la lectura que dará la balanza en cada uno de los siguientes casos:

- El ascensor está en reposo.
- Acelera hacia arriba a $2,5 \text{ m/s}^2$.
- Asciende con velocidad constante.
- Asciende frenando a razón de $2,0 \text{ m/s}^2$.
- Baja con una aceleración de $2,5 \text{ m/s}^2$.

Posiblemente, para buena parte del alumnado pase desapercibida una dificultad de este problema y es la de las unidades. En nuestra vida cotidiana no usamos unidades de peso del sistema internacional (el newton) sino del técnico (también llamado terrestre); por lo tanto, la lectura de la balanza, en sentido estricto, no son kilogramos-masa (sistema internacional) sino kilogramos-fuerza o kilopondios (kp).

En el sistema técnico, por otra parte, la unidad de masa es la UTM (Unidad Técnica de Masa), que equivale a 9,8 N del SI.

En este caso, resolveremos el problema en unidades del sistema internacional y dividiremos los sucesivos resultados por 9,8, factor de conversión entre el newton y los kg-f.

El valor de la fuerza que ejerce sobre el suelo es igual a N .

- $N = mg = 519,4 \text{ N} = 53 \text{ kp}$
- $N = m(g + a) = 651,9 \text{ N} = 66,5 \text{ kp}$
- $N = mg = 519,4 \text{ N} = 53 \text{ kp}$
- $N = (g - a) = 413,4 \text{ N} = 42,2 \text{ kp}$
- $N = m(g - a) = 386,9 \text{ N} = 39,5 \text{ kp}$

- 16** La Tierra es un sistema en rotación y, por tanto, no inercial. Teniendo en cuenta que su radio es de 6370 km y que efectúa una rotación completa en 23 h y 56 min, determina la fuerza centrífuga que actúa sobre una persona de masa m situada en:

- Un punto del ecuador.
- Un punto de latitud 40° N .
- El polo.
- Un punto de latitud 45° S .

En primer lugar, pasamos las unidades al SI:

$$6370 \text{ km} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$23 \text{ h y } 56 \text{ min} = 8,62 \cdot 10^4 \text{ s}$$

Por otro lado, como $F_c = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R$

$$\text{a) } F_c = m \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{8,62 \cdot 10^4 \text{ s}} \right)^2 \cdot 6,37 \cdot 10^6 = 0,034 m \text{ N}$$

- b) A una latitud de 40° N , el radio es $r = R \cos 40^\circ$:

$$F_c = m \left(\frac{2\pi \text{ rad}}{8,62 \cdot 10^4 \text{ s}} \right)^2 \cdot 6,37 \cdot 10^6 \cdot \cos 40^\circ = 0,027 m \text{ N}$$

- En el polo el radio de giro es cero, por lo tanto, no habrá fuerza centrífuga.
- $0,027 m \text{ N}$

- 17** ¿Cuál es la razón del ensanchamiento ecuatorial y del achatamiento de los polos que hacen que la Tierra no sea una esfera perfecta?

En la zona ecuatorial, la fuerza centrífuga sobre las masas es mayor y se opone a la fuerza de atracción gravitatoria. En consecuencia, la «gravedad efectiva» es menor en la zona ecuatorial que en las zonas polares. De ahí el «alejamiento» del centro de las masas en el ecuador y el «acercamiento» en las zonas polares.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 304)

Análisis

- 1 ¿Qué material fue considerado como secreto militar durante cierto tiempo? ¿Por qué razones?

El teflón, debido a que se desarrolló como material sellante en el proyecto Manhattan.

- 2 ¿Por qué hoy en día se investiga fundamentalmente en compuestos basados en el carbono?

Por combinar la dureza tipo diamante con las propiedades antiadherentes.

- 3 ¿Cuál es el material de menor coeficiente de rozamiento desarrollado hasta el momento? ¿Qué distancia recorrería un cuerpo hasta detenerse en una superficie de dicho material si lanzado con la misma velocidad en una superficie de teflón recorre 2m?

Es el llamado NFC (*Nearly-frictionless Carbon*). Su coeficiente de fricción es de 0,001.

La distancia que recorre un cuerpo en un plano horizontal sometido a fricción, viene dada por la expresión:

$$s = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$

Por tanto, a igualdad de velocidad lineal, se cumplirá que:

$$S_{\text{teflón}} \cdot \mu_{\text{teflón}} = S_{\text{NFC}} \cdot \mu_{\text{NFC}}$$

Dado que el coeficiente del NFC es 40 veces menor, recorrerá una distancia 40 veces mayor; es decir, recorrerá 80 m.

Propuesta de investigación

- 4 Busca información e imágenes en Internet y haz una presentación sobre las propiedades fisicoquímicas de algunos de los materiales de baja fricción citados en el texto.

Los alumnos deben realizar este trabajo a partir de la documentación que encuentren en internet.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 305)

Cuestiones

- 1 ¿Qué fuerza necesitarías ejercer con una polea simple para equilibrar una masa de 100 kg? ¿Qué fuerza deberás realizar para equilibrar la misma masa si usas un sistema como el de la experiencia? ¿Qué fuerza es necesaria si usas un sistema con tres poleas móviles y una fija?

En la estrategia de resolución 4 viene detallado el estudio teórico de un sistema como el de la práctica. Como puede comprobarse, para equilibrar una masa $m' = 100$ kg, bastaría con colgar del otro extremo una masa de 50 kg.

Por otro lado, como puede comprobarse en la resolución del problema final 10, la masa que en este caso sería necesario colgar sería de 12,5 kg.

- 2 Si eres capaz de levantar a un compañero de 55 kg, ¿qué masa conseguirías levantar, ejerciendo esa misma fuerza, usando un sistema de cuatro poleas móviles y una fija? ¿Qué utilidad encuentras a los sistemas de poleas móviles o polipastos?

La masa necesaria para el equilibrio en un sistema de n poleas móviles y una fija (polipasto) viene dada por la expresión:

$$m = \frac{m'}{2^n}$$

Por tanto la masa m' que podría sostenerse en un sistema así es de 880 kg. Es obvio pues, que un polipasto sirve para multiplicar fuerzas.

- 3 Elabora un informe de la práctica. El informe debe elaborarse siguiendo el protocolo de las publicaciones científicas.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS FINALES (páginas 330-331)

La fuerza de rozamiento

- 1 En una atracción de feria consistente en una plataforma circular con paredes verticales en forma de cilindro que gira a toda velocidad, de modo que las personas que están en su interior quedan «adheridas» a las paredes sin caerse, ¿qué fuerzas actúan sobre las personas y por qué estas no se precipitan al suelo?

Desde el punto de vista de las personas, sobre ellas actúa una fuerza centrífuga que las «oprime» contra la pared. Esta fuerza «normal» debe originar el rozamiento preciso para igualar, como mínimo, el peso de la persona. Las personas no se precipitarán al suelo mientras:

$$\mu m \omega^2 r \geq mg \Rightarrow \mu \omega^2 r \geq g$$

Se observa que esta condición de equilibrio no depende de la masa de las personas.

- 2 Desde la base de un plano inclinado θ grados respecto de la horizontal se impulsa, hacia arriba, un bloque con velocidad inicial v_0 . Si el coeficiente de rozamiento estático entre el bloque y el plano es μ_e y el coeficiente de rozamiento cinético es μ_c , responde a las siguientes cuestiones:

- a) ¿Cuál es la condición que determinará si el bloque queda en reposo una vez se para o, por el contrario, vuelve a descender a la base?
- b) Suponiendo que el bloque vuelve a descender, demuestra que las velocidades final (al volver a llegar a la base del plano) e inicial guardan la siguiente relación:

$$\frac{v_f}{v_0} = \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \theta - \mu_c}{\operatorname{tg} \theta + \mu_c}}$$

- a) Aunque es absolutamente cotidiano el fenómeno de que no cueste lo mismo poner algo en marcha que mantenerlo en movimiento, el concepto de que haya dos coeficientes de rozamiento, estático y dinámico, no suele ser fácilmente interiorizado por los alumnos. Una vez que el bloque que ha deslizado hacia arriba se ha detenido, la condición para que reinicie la marcha hacia abajo es simple:

$$F_t = mg \operatorname{sen} \theta > F_{r \text{ estático}} = \mu_e mg \cos \theta$$

Por tanto, permanecerá en reposo en el punto más alto si $\operatorname{tg} \theta \leq \mu_e$.

Por el contrario, descenderá si $\operatorname{tg} \theta > \mu_e$.

- b) Usaremos la ecuación $v^2 = v_0^2 \pm 2as$ para ambos movimientos.

Subida: la fuerza tangencial gravitatoria y la de rozamiento (que siempre se opone al movimiento) se suman, de lo que, operando, obtenemos:

$$a = g(\operatorname{sen} \theta + \mu_c \cos \theta)$$

En este movimiento recordemos que se parte con una velocidad v_0 y la velocidad final es 0.

Bajada: en esta ocasión, la fuerza tangencial tira hacia abajo (como siempre) y la de rozamiento se opone al movimiento, esto es, hacia arriba. Haciendo lo mismo que para la subida:

$$a = g(\operatorname{sen} \theta - \mu_c \cos \theta)$$

Por tanto, volviendo a la ecuación cinemática:

$$\text{Subida: } 0 = v_0^2 - 2as \Rightarrow v_0^2 = 2sg (\operatorname{sen} \theta + \mu_c \cos \theta)$$

$$\text{Bajada: } v_f^2 = 0 + 2as \Rightarrow v_f^2 = 2sg (\operatorname{sen} \theta - \mu_c \cos \theta)$$

Dividiendo la segunda expresión entre la primera, simplificando, extrayendo la raíz cuadrada y, finalmente, dividiendo todos los miembros de numerador y denominador entre el coseno de θ obtenemos la relación buscada.

- 3 Un cuerpo es impulsado con una velocidad inicial v_0 para que ascienda por un plano inclinado θ grados respecto de la horizontal. Si el coeficiente de rozamiento cinético entre cuerpo y plano es μ_c , determina una expresión para:

- a) La aceleración del cuerpo durante el ascenso.
b) La distancia s que recorre en el ascenso hasta que se para.

- a) Durante el ascenso, la componente tangencial del peso y la fuerza de rozamiento se oponen al desplazamiento, por lo que la ecuación del movimiento queda:

$$\begin{aligned} -mg \operatorname{sen} \theta - \mu_c mg \cos \theta &= ma \\ a &= -g (\operatorname{sen} \theta + \mu_c \cos \theta) \end{aligned}$$

- b) La distancia s que recorre hasta que se para ($v = 0$) puede obtenerse a partir de:

$$\begin{aligned} v^2 &= v_0^2 + 2as \\ 0 &= v_0^2 - 2g (\operatorname{sen} \theta + \mu_c \cos \theta) s \end{aligned}$$

Despejando s , tenemos:

$$s = \frac{v_0^2}{2g(\operatorname{sen} \theta + \mu_c \cos \theta)}$$

- 4 Una fuerza de 55 N empuja un bloque de 22 N de peso contra la pared. El coeficiente de rozamiento estático entre el cuerpo y la pared es 0,6. Si el bloque está inicialmente en reposo:

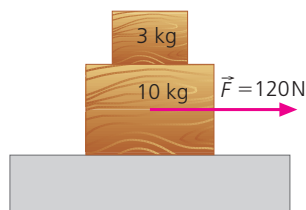
- a) ¿Continuará en reposo?
b) ¿Cuál es la fuerza que ejerce la pared sobre el cuerpo?

En este caso sería la fuerza de rozamiento la que podría impedir que el cuerpo cayera. El valor de dicha fuerza de rozamiento será:

$$F = \mu N = 0,6 \cdot 55 \text{ N} = 33 \text{ N}$$

- a) Dado que el peso no supera el valor de la fuerza de rozamiento estática, el cuerpo no caerá.
b) La pared ejerce una fuerza de 55 N sobre el cuerpo (la correspondiente reacción).

- 5 Se coloca un bloque de 3 kg encima de otro de 10 kg, como se ve en la figura:



El coeficiente de rozamiento cinético entre este último bloque y el suelo es de 0,25. Si sobre el bloque de 10 kg actúa una fuerza horizontal, F , de 120 N, determina:

- ¿Qué aceleración adquiere el conjunto?
 - ¿Qué fuerza provoca la aceleración del bloque de 3 kg?
 - ¿Cuál debe ser el valor mínimo del coeficiente de rozamiento estático entre ambos bloques para que el de 3 kg no resbale?
- a) Con una fuerza de 120 N tendremos:

$$F - F_r = (m' + m)a$$

$$a = \frac{F - \mu(m' + m)g}{m' + m} = 6,78 \text{ m/s}^2$$

- La fuerza de rozamiento estática entre ambos bloques es la que provoca la aceleración del bloque de 3 kg.
- El cuerpo no resbalará mientras $ma \leq \mu' mg$. Por tanto, el mínimo valor de μ' para que esto no ocurra es:

$$\mu' = \frac{a}{g} = 0,69$$

Las fuerzas elásticas o restauradoras

- 6 Razona qué hace que una pelota elástica que cae al suelo salga rebotada hacia arriba. Explícalo desde el punto de vista de las fuerzas actuantes.

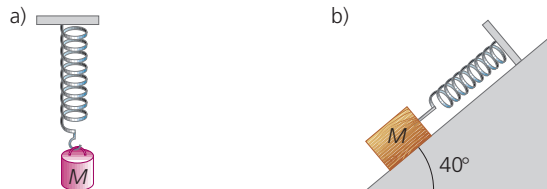
La pelota de goma se deforma cuando choca contra el suelo y, en realidad, el suelo también. Si este es rígido, podemos imaginarlo como un muelle con una gran fuerza restauradora frente a pequeñas deformaciones. Al deformarse la pelota, esta ejercerá una fuerza restauradora que actúa sobre el suelo. Por tanto, sobre el suelo actúan dos fuerzas: una igual en valor al peso de la pelota y otra que es la fuerza restauradora que la pelota ejerce sobre el suelo. Si este es rígido, responde con una reacción \vec{N} (que actúa sobre la pelota) igual en valor a la suma del peso más la fuerza restauradora y que actúa verticalmente hacia arriba.

$$\vec{N} = m\vec{g} + \vec{F}_{\text{restauradora}}$$

En consecuencia, podemos decir que la fuerza neta que actúa sobre la pelota es igual a la fuerza restauradora si el suelo es rígido. Esta fuerza neta está dirigida hacia arriba y es la causante de que la pelota se eleve de nuevo.

La complejidad, en este caso, radica en que la fuerza restauradora es variable en función de la deformación producida: es máxima cuando la pelota está totalmente deformada y cero cuando recupera su forma.

- 7 Si la constante k del muelle de la figura es de 100 N/m, determina el estiramiento que sufrirá en los dos casos que se muestran en la figura si la masa es, en ambas ocasiones, de 5 kg. Repite el supuesto b) si el coeficiente de rozamiento es igual a 0,3.



- a) En el primer caso se cumple que:

$$kx = mg \Rightarrow x = 0,49 \text{ m} = 49 \text{ cm}$$

- b) En el segundo caso:

$$kx = mg \sin \alpha \Rightarrow x = 0,31 \text{ m} = 31 \text{ cm}$$

En el tercer caso:

$$kx = mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha \Rightarrow x = 0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

Problemas en los que intervienen fuerzas

- 8 ¿Es cierto que los cuerpos con más masa llegan antes que los más ligeros al final de un plano inclinado si resbalan sin rozamiento?

No. La aceleración con la que resbalan los cuerpos por un plano inclinado sin rozamiento es $g \sin \alpha$, independiente de la masa del cuerpo.

- 9 Hacemos girar, mediante una cuerda, una esfera de madera en círculos verticales y en el sentido de las agujas del reloj. Si aumentamos el valor de la velocidad de giro, ¿qué persona tiene más posibilidades de sufrir un desagradable percance al romperse la cuerda, la que está a nuestra izquierda o la que se encuentra a nuestra derecha? ¿Por qué?

La que está a nuestra izquierda tiene todas las de perder. La cuerda alcanza el mayor valor de tensión en el punto más bajo de la trayectoria. A su vez, el valor de esta es función de la velocidad, que también es mayor en el punto más bajo. Si la cuerda se rompe en el punto más bajo, al girar en el sentido de las agujas del reloj saldrá despedida la esfera hacia la izquierda.

- 10 ¿Qué masa, m , conseguirías equilibrar con la tuya propia (dato personal) usando el sistema de poleas múltiples de la figura (llamado también polipasto)?

La tensión de la cuerda de la polea inferior es igual a $mg/2$. A su vez, la tensión en la cuerda de la polea inmediatamente superior es la mitad de la anterior, $mg/4$. Finalmente, la tensión en la cuerda que sujetala última polea móvil será $mg/8$. Esta tensión coincide con la que soporta la cuerda de la polea fija.

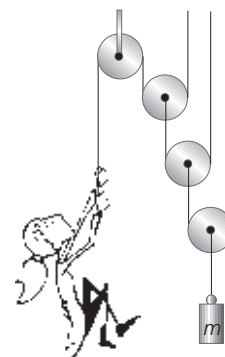
Si tu masa es m' , en el equilibrio se cumplirá que:

$$m'g = T$$

donde T es la tensión en la cuerda de la polea fija, que, como hemos visto, vale $mg/8$. Por tanto:

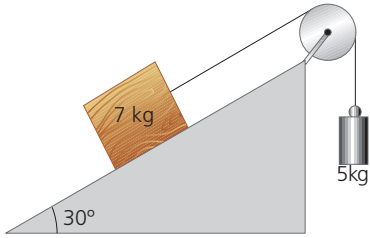
$$m'g = mg/8 \Rightarrow m = 8 m'$$

Es decir, podrás equilibrar una masa ocho veces mayor.



- 11 Considerando despreciables las masas de la polea y de la cuerda, indica cuál es la aceleración que adquieren las masas en el sistema de la figura, si:

- a) No hay rozamiento.
b) El coeficiente de rozamiento cinético es 0,2.



- a) Si no hay rozamiento:

$$a = \frac{m - m' \sin \alpha}{m + m'} g = \frac{5 \text{ kg} - 7 \text{ kg} \cdot \sin 30^\circ}{12 \text{ kg}} 9,8 \text{ m/s}^2 = 1,22 \text{ m/s}^2$$

- b) Si existe rozamiento:

$$a = \frac{m - m'(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{m + m'} g = 0,23 \text{ m/s}^2$$

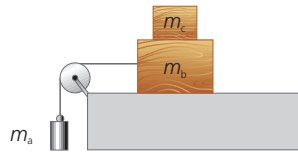
- 12 Demuestra que un sistema como el representado en el problema anterior está en equilibrio si:

$$m(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \leq m' \leq m(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$$

donde m' es la masa que cuelga verticalmente.

Véanse las actividades 11 y 12 de desarrollo de la unidad.

- 13 ¿Cuánto debe valer la masa m_c de la figura para que el sistema esté en equilibrio si $m_a = 5 \text{ kg}$, $m_b = 10 \text{ kg}$ y $\mu = 0,2$?



Aplicando las ecuaciones de movimiento a cada uno de los bloques, y considerando como único el que forman m_b y m_c se tiene:

$$m_a g - T = 0$$

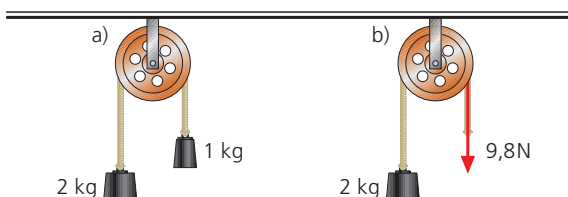
mientras que:

$$T - \mu(m_b + m_c)g = 0$$

Resolviendo el sistema, se obtiene:

$$m_c = 15 \text{ kg}$$

- 14 Las figuras a y b muestran dos máquinas de Atwood similares. En el caso a, se cuelga de un extremo de la cuerda una masa de 1 kg (9,8 N), mientras que en b se tira directamente de la cuerda con una fuerza de 9,8 N. Halla la aceleración de la masa de 2 kg y la tensión de la cuerda en ambos casos.



Polea a: Suponemos que el sistema se desplaza en el sentido de la masa de 2 kg. Por tanto, las ecuaciones del movimiento serán:

$$2 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 - T = 2 \text{ kg} \cdot a; T - 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ kg} \cdot a$$

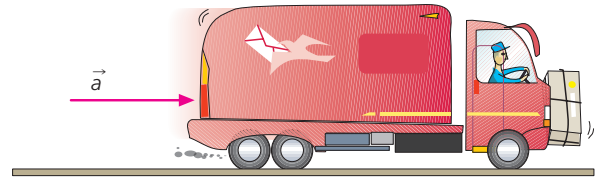
$$a = 3,27 \text{ m/s}^2 \text{ y } T = 13,1 \text{ N}$$

Polea b: Suponemos, asimismo, que el sistema se mueve en el sentido de la masa de 2 kg. Por otra parte, en esta polea la tensión (fuerza con la que tira la cuerda) es conocida e igual a 9,8 N.

$$2 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 - 9,8 \text{ N} = 2 \text{ kg} \cdot a;$$

$$a = 4,9 \text{ m/s}^2$$

- 15 El coeficiente de rozamiento entre la caja y el camión de la figura es de 0,7. La masa de la caja es de 3 kg. En esas condiciones, ¿cuál debe ser la aceleración del conjunto para que la caja no se caiga?



La fuerza que oprime la caja contra el camión es la propia fuerza motriz del camión. Por tanto, para que la caja no caiga, debe cumplirse:

$$\mu m a \geq m g \Rightarrow a \geq \frac{g}{\mu} = 14 \text{ m/s}^2$$

- 16 Una persona de 65 kg de masa monta en un ascensor de 100 kg de masa para iniciar el descenso. El ascensor arranca con una aceleración de 2 m/s². Realiza los diagramas de fuerzas pertinentes y determina, para ese momento:

- a) La tensión del cable que sujeta el ascensor.
b) La fuerza ejercida sobre el suelo del ascensor.

- a) Si m es la masa del ascensor y m' la de la persona, mientras desciende con aceleración constante, se cumplirá que:

$$(m + m')g - T = (m + m')a \Rightarrow T = 1287 \text{ N}$$

- b) Concentrándonos en la persona y el suelo del ascensor, tendremos que:

$$m g - N = m a \Rightarrow N = 507 \text{ N}$$

donde N es la reacción normal del suelo, que coincide con la fuerza que ejerce la persona sobre el mismo.

- 17 Un cuerpo de 3 kg está suspendido de un hilo no extensible y sin masa de 1 m de longitud, cuyo extremo opuesto se encuentra unido a un punto fijo del techo. El cuerpo describe una circunferencia de 50 cm de radio en un plano horizontal.

- a) Calcula la tensión del hilo y el módulo de la velocidad.

- b) Si en un cierto instante se rompe el hilo, halla el módulo de la velocidad en el momento en que el cuerpo llega al suelo, teniendo en cuenta que el techo está a una altura de 3 m.

- a) Con los datos de la longitud del hilo y del radio de la circunferencia podemos determinar el ángulo que forma el hilo con la vertical:

$$\text{sen } \theta = \frac{0,5}{1} = 0,5 \Rightarrow \theta = 30^\circ$$

Haciendo la descomposición de la tensión en sus componentes, se observa que:

$$T \cos 30^\circ = mg \Rightarrow T = 34 \text{ N}$$

Como, por otra parte, $T \text{ sen } 30^\circ = mv^2/r$, podemos concluir que $v = 1,68 \text{ m/s}$.

- b) La velocidad horizontal con la que sale el cuerpo es:

$$v_x = 1,68 \text{ m/s}$$

La altura a la que oscila la bola es:

$$h = 3 - L \cos 30^\circ = 2,13 \text{ m (sobre el suelo)}$$

Así pues, cuando llegue al suelo, habrá adquirido una componente vertical, v_y , de valor:

$$v_y = \sqrt{2gh} = 6,46 \text{ m/s}$$

Por tanto, la velocidad total será:

$$v = 6,68 \text{ m/s}$$

- 18) Determina la aceleración, así como el sentido del movimiento, del sistema de la figura si:

- a) No hay rozamiento.
b) El coeficiente de rozamiento es 0,3.



A la vista de las masas, el sistema, en caso de moverse, lo hará de modo que la masa central se desplace hacia la izquierda. Si no hay rozamiento, las ecuaciones de movimiento para cada cuerpo son:

$$\text{■ Para } m_a = 10 \text{ kg: } m_a g - T = m_a a$$

$$\text{■ Para } m_b = 3 \text{ kg: } T - T' = m_b a$$

$$\text{■ Para } m_c = 6 \text{ kg: } T - m_c a$$

En estas expresiones, T es la tensión de la cuerda que une m_a y m_b , mientras que T' es la tensión de la cuerda que une m_b y m_c . Sumando, obtenemos:

$$(m_a - m_c)g = (m_a + m_b + m_c) a$$

De este modo, $a = 2,06 \text{ m/s}^2$.

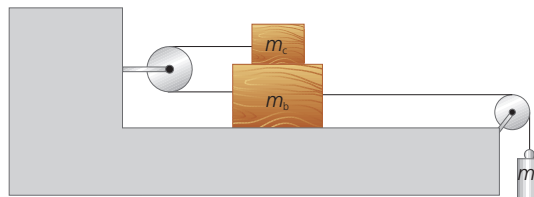
Si hay rozamiento, las ecuaciones de m_a y m_c quedarían iguales, pero la de m_b será:

$$T - T' - \mu m_b g = m_b a$$

Resolviendo a , obtenemos:

$$a = 1,59 \text{ m/s}^2$$

- 19) En el sistema dibujado, las masas valen $m_a = 15 \text{ kg}$, $m_b = 5 \text{ kg}$ y $m_c = 3 \text{ kg}$, y μ_c entre m_b y m_c es de 0,3. Si los demás rozamientos son despreciables (así como las masas de las poleas y la cuerda), halla la aceleración del sistema y las tensiones de las cuerdas.



Aplicando las ecuaciones de movimiento a cada cuerpo:

$$\text{■ Para } m_a: m_a g - T = m_a a$$

$$\text{■ Para } m_b: T - T' - F_{r_{bc}} = m_b a$$

$$\text{■ Para } m_c: T' - F_{r_{bc}}$$

Sumando las tres expresiones, obtenemos:

$$m_a g - 2F_{r_{bc}} (m_a + m_b + m_c) a$$

La fuerza de rozamiento, $F_{r_{bc}}$, es $\mu m_c g$. De este modo:

$$a = 5,64 \text{ m/s}^2$$

Sustituyendo el valor de la aceleración en la primera ecuación, obtenemos la tensión, T , y en consecuencia, T' :

$$T = 62,7 \text{ N}$$

$$T' = 25,7 \text{ N}$$

- 20) Repite el problema anterior si el coeficiente de rozamiento cinético entre m_b y la mesa es de 0,2.

En este caso, la ecuación de movimiento para m_b será:

$$T - T' - F_{r_{suelo}} - F_{r_{bc}} = m_b a$$

Y la ecuación global será:

$$m_a g - \mu'(m_b + m_c)g - 2\mu m_c g = (m_a + m_b + m_c) a$$

por lo que:

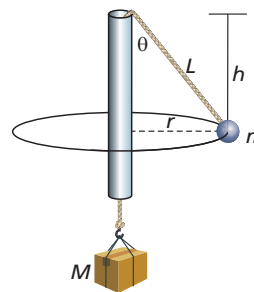
$$a = 4,94 \text{ m/s}^2$$

Resolviendo T y T' , se obtiene:

$$T = 72,9 \text{ N}$$

$$T' = 23,6 \text{ N}$$

- 21) Una cuerda de cuyos extremos penden dos masas, M y m ($M > m$) se hace pasar a través de un tubo hueco que no ejerce fricción sobre la cuerda. El sistema se hace girar con un periodo T alrededor del tubo, como se aprecia en la figura, de modo que la masa M permanece en reposo. Deduce las expresiones de:



- a) El ángulo θ en función de las masas M y m .
b) El periodo T en función de h y g .
c) La longitud L en función de las masas, el periodo y g .

- a) La condición de equilibrio de la masa M exige, por una parte, que:

$$T = Mg$$

A su vez, la condición de péndulo cónico de la masa m que describe círculos, exige que:

$$T \sin \theta = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

$$T \cos \theta = mg$$

(Ojo, no confundir tensión con período en la expresión).

Dado que $T = Mg$, sustituyendo en la última expresión se deduce que el ángulo en función de las masas responde a la expresión:

$$\cos \theta = \frac{m}{M}$$

- b) Dividiendo las dos expresiones correspondientes a la masa m , se obtiene:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{4\pi^2 r}{g T^2}$$

Como se desprende de la figura, $r = h \cdot \operatorname{tg} \theta$, por lo que, despejando el período T se obtiene finalmente:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$$

- c) Considerando que $h = L \cos \theta$ y que, a su vez,

$$\cos \theta = \frac{m}{M}$$

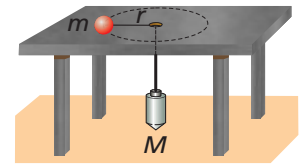
Entonces:

$$L = \frac{M}{m} h$$

Despejando h de la expresión del período y sustituyéndolo en la anterior igualdad, se obtiene finalmente:

$$L = \frac{M}{m} \frac{g T^2}{4\pi^2}$$

- 22) Una cuerda, que pasa a través de un orificio practicado en una mesa (que no ejerce fricción alguna), une dos masas, m y M ($M > m$), como muestra la figura. Si el coeficiente de rozamiento estático entre la masa m y la mesa es μ_e , determina:



- a) Las expresiones de los valores máximo y mínimo del período con el que podría girar m para que describiera círculos estables de radio r .
 b) Esos mismos valores si $M = 2m$, $\mu_e = 0,5$ y $r = 1$ m.
 a) La situación descrita en el problema exige, por una parte, que:

$$Mg = T$$

Por otra parte, la condición de que la masa m describa círculos estables de radio r implica que no se deslice ni hacia el centro de la circunferencia (F_{roz} opuesta a la tensión T) ni hacia fuera de ella (F_{roz} en la dirección y sentido de la tensión T), es decir:

$$T - \mu mg = m\omega^2 r$$

$$T + \mu mg = m\omega^2 r$$

Teniendo en cuenta que $T = Mg$, entonces podemos escribir:

$$(M - \mu m)g = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

$$(M + \mu m)g = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

Despejando el período de ambas obtenemos que los valores máximo y mínimo del período de revolución obedecen, respectivamente, a las siguientes expresiones:

$$T_{\text{máx}} = 2\pi \sqrt{\frac{m r}{(M - \mu m)g}}$$

$$T_{\text{mín}} = 2\pi \sqrt{\frac{m r}{(M + \mu m)g}}$$

- b) Considerando los valores ofrecidos en el problema y sustituidos en las expresiones anteriores, se obtiene que:

$$T_{\text{máx}} = 1,64 \text{ s}$$

$$T_{\text{mín}} = 1,27 \text{ s}$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN FINAL (página 311)

1. Un cuerpo que parte del reposo se desliza por un plano inclinado 20° recorriendo 80 m en 20 s con aceleración constante. Determina el valor del coeficiente de rozamiento de dicho cuerpo con el plano.

Partiendo de que $s = \frac{1}{2} a t^2$, despejando la aceleración, esta

resulta ser igual a $0,4 \text{ m/s}^2$. Por otra parte, la ecuación dinámica del cuerpo en el plano inclinado es:

$$mg \sin 20 - \mu mg \cos 20 = m a$$

despejando μ se obtiene:

$$\mu = \frac{g \sin 20 - a}{g \cos 20} = 0,32$$

2. Una fuerza produce sobre un muelle A un alargamiento que es el doble que el que esa misma fuerza produce sobre un muelle B. ¿Cómo son, comparativamente, las constantes elásticas de ambos muelles?

La constante elástica del muelle A es la mitad que la del muelle B, relación que se extrae de igualar las fuerzas que operan sobre ambos.

3. Un cuerpo se desliza por una superficie horizontal con una velocidad inicial de 12 m/s. Si después de recorrer 15 m su velocidad es de 4 m/s, ¿cuánto vale el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y el plano?

La aceleración viene dada por:

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s} = -4,26 \text{ m/s}^2$$

Dado que la única fuerza actuante es la de fricción, se cumple que:

$$-\mu mg = m a \rightarrow \mu = -\frac{a}{g} = 0,43$$

4. Una masa m de 15 kg está unida a un resorte de constante $k = 120 \text{ N/m}$ que se encuentra sobre un plano inclinado 30° . Si el coeficiente de fricción entre la masa y el plano es de 0,35, ¿cuál es el alargamiento que se producirá en el muelle?

Procediendo de modo similar al expuesto en el apartado b) del problema 7 de las actividades y tareas, obtenemos que el alargamiento viene dado por:

$$x = \frac{mg (\sin \theta - \mu \cos \theta)}{k} = 0,24 \text{ m}$$

5. Un coche circula sin cadenas por una carretera recién nevada. El coeficiente de fricción estático entre los neumáticos y la carretera es, en esas condiciones, de 0,068. ¿Cuál es la máxima pendiente que podría ascender el vehículo circulando a velocidad constante?

La condición para que el coche ascienda la pendiente con velocidad constante sin que patine la rueda, exige que $F_{\text{roz}} = mg \sin \theta$. Así pues:

$$\mu mg \cos \theta = mg \sin \theta \rightarrow \mu = \tan \theta$$

En consecuencia, para ese valor de coeficiente de fricción, la máxima pendiente será de $3,89^\circ$.

6. De los extremos de una cuerda que pasa por una polea simple cuelgan dos masas de 1,2 y 1,8 kg. Si inicialmente ambas se encontraban a la misma altura y se deja libre el sistema, ¿qué distancia las separará al cabo de 2 s? ¿Qué velocidad llevará cada masa en ese momento? (Considera que la cuerda y la polea tienen masa apreciable.)

La aceleración que adquieren las masas viene dada por:

$$a = \frac{M - m}{M + m} g = 1,96 \text{ m/s}^2$$

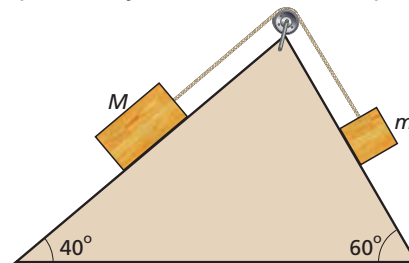
Y la distancia que cada una recorre desde el reposo viene

dada por $s = \frac{1}{2} a t^2$, y la distancia que les separará al cabo

de un tiempo t será el doble, $2s$, que al cabo de 2 s resulta ser $4a = 7,84 \text{ m}$.

La velocidad de cada masa viene dada por $v = at = 3,92 \text{ m/s}$.

7. Determina la aceleración del sistema de la figura y el sentido del movimiento, si $M = 20 \text{ kg}$ y $m = 8 \text{ kg}$, considerando que no hay rozamiento o bien que $\mu = 0,2$.



El sistema se mueve hacia la izquierda, por lo que las ecuaciones dinámicas sin rozamiento para cada uno de los cuerpos son:

$$Mg \sin 40 - T = Ma$$

$$T - mg \sin 60 = ma$$

Por tanto:

$$a = \frac{M \sin 40 - m \sin 60}{M + m} g = 2,07 \text{ m/s}^2$$

Al introducir las fuerzas de rozamiento en las anteriores ecuaciones dinámicas, se obtiene:

$$a' = \frac{M (\sin 40 - \mu \cos 40) - m (\sin 60 + \mu \cos 60)}{M + m} g$$

$$a' = 1,74 \text{ m/s}^2$$

8. ¿A qué frecuencia debe girar una atracción de feria en forma de cilindro de 3 m de radio para que las personas queden «adheridas» a las paredes si caer al suelo? El coeficiente de fricción con las paredes es de 0,7.

La fuerza de fricción contra las paredes debe ser igual al peso, de modo que, como se explicó en el problema 1 de actividades y tareas:

$$\mu m \omega^2 r = mg \rightarrow \mu 4\pi^2 f^2 r = g$$

Despejando la frecuencia:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\mu r}} = 0,34 \text{ s}^{-1}$$

9. Comprueba que la masa m que necesitaríamos colgar del extremo de la cuerda que pasa por la polea fija de un polipasto que tiene n poleas móviles responde a la expresión: $m = M/2^n$ Siendo M la masa que deseamos equilibrar y que cuelga de la última polea móvil del polipasto.

Como puede comprobarse a partir del problema 10 de actividades y tareas, en cada polea móvil la tensión (que en la polea inferior es igual al peso Mg que cuelga) se divide entre 2. Por tanto, si tenemos n poleas y la masa m debe equilibrar el sistema, entonces se cumple que:

$$m = \frac{M}{2^n}$$

10. Cuando comprimes un muelle contra el suelo y posteriormente lo sueltas, se eleva. Razona cuál es la fuerza que hace que el muelle se eleve.

La fuerza que hace que se eleve es la reacción normal del suelo sobre el muelle, de valor igual a la fuerza restauradora más el peso del mismo.

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
2.1 Resuelve problemas en los que aparecen fuerzas de rozamiento en planos horizontales o inclinados.	A: 1-3 ER: 1 AT: 1-5	Realiza de manera adecuada los cálculos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Realiza los cálculos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Realiza los cálculos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1 Determina experimentalmente la constante elástica de un resorte mediante la ley de Hooke.	A: 4-6 AT: 6,7	Explica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Explica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1 Representa todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.	A: 7, 8 ER: 2, 3 AT: 8, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 21	Representa de manera adecuada todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo.	Representa las fuerzas que actúan sobre un cuerpo de manera algo incompleta, aunque válida.	Representa las fuerzas que actúan sobre un cuerpo con errores.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1 Resuelve el movimiento de cuerpos unidos por cuerdas o poleas a partir de las fuerzas actuantes.	A: 7, 8 ER: 2, 3 AT: 8, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 21	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.2 Dibuja y resuelve situaciones dinámicas dentro de un ascensor en distintos estados de movimiento.	A: 14, 15 AT: 16	Dibuja y resuelve de manera adecuada las situaciones, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Dibuja y resuelve las situaciones de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Dibuja y resuelve las situaciones con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.1 Resuelve situaciones dinámicas en sistemas no inerciales que justifican la aparición de fuerzas de inercia.	A: 16-17	Resuelve de manera adecuada las situaciones, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve las situaciones de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve las situaciones con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Razona la veracidad o falsedad de cada una de las siguientes afirmaciones:

- La fuerza de rozamiento es siempre directamente proporcional al peso de un cuerpo y opuesta al movimiento de este.
 - El coeficiente de rozamiento cinético es siempre superior al estático para la fricción entre los mismos materiales.
 - Una constante restauradora k muy elevada para un muelle significa que dicho muelle sufrirá grandes estiramientos o deformaciones bajo pequeñas fuerzas.
 - Cuando un coche frena bruscamente y se bloquean las ruedas, el coeficiente de rozamiento que actúa es el cinético.
- Falso; la fuerza de rozamiento es directamente proporcional al valor de la fuerza que oprime (perpendicularmente) una superficie contra otra (es decir, a la fuerza que solemos denominar «normal»). La componente normal del peso tiene el mismo valor que este únicamente cuando el cuerpo se encuentra sobre un plano horizontal rígido.
 - Falso; el coeficiente de rozamiento estático es siempre superior al cinético, como lo demuestra el hecho de que se requiera emplear más fuerza para poner un cuerpo en movimiento que la posteriormente necesaria para mantenerlo en movimiento con velocidad constante.
 - Falso; es exactamente lo contrario. Si k es muy grande, presenta una gran resistencia a la deformación.
 - Verdadero, pues las ruedas bloqueadas, en ese caso, se deslizan por la superficie.

2. Elige la respuesta o respuestas que consideres acertadas, razonando tu contestación:

La fuerza con que un cuerpo atrae a la Tierra:

- es directamente proporcional a la masa de ese cuerpo.
 - es independiente de la masa de ese cuerpo.
 - vale igual que el peso del cuerpo en el punto en el que se encuentre.
 - es despreciable frente a la fuerza con que la Tierra lo atrae.
 - es nula, pues no comunica aceleración a la Tierra.
- Verdadero, como se desprende del enunciado de la ley de gravitación universal.
 - Falso, pues es la negación de lo anterior.
 - Verdadero, pues la fuerza de atracción gravitatoria entre el cuerpo y la Tierra equivale al peso del cuerpo.
 - Falso; dichas fuerzas son iguales, como se desprende del enunciado de la tercera ley de Newton.
 - Falso; la aceleración esencialmente nula de la Tierra se debe a su gran masa, pero no a la ausencia de fuerza.

3. Elige, razonándola, la respuesta que consideres acertada: Al comprimir un muelle contra el suelo y luego soltarlo, este se eleva debido a:

- la fuerza de reacción, igual en magnitud a la que ejercíamos al mantenerlo oprimido.
- la fuerza restauradora elástica del muelle.

c) la reacción normal del suelo sobre el muelle, de valor igual a la fuerza restauradora más el peso del mismo.

La respuesta correcta es la c).

La respuesta a) no tiene sentido por dos motivos; el primero es que la fuerza de reacción actuaría sobre nuestra mano y no sobre el muelle. El segundo, que las fuerzas de reacción desaparecen cuando desaparece la acción.

En el caso b), la fuerza restauradora la ejerce el muelle sobre el suelo (actúa, pues, sobre la superficie del suelo).

La respuesta c) explica que, en el instante de soltarlo, la fuerza neta que actúa verticalmente hacia arriba es mayor que la dirigida hacia abajo (el peso del muelle). En consecuencia, el muelle se eleva.

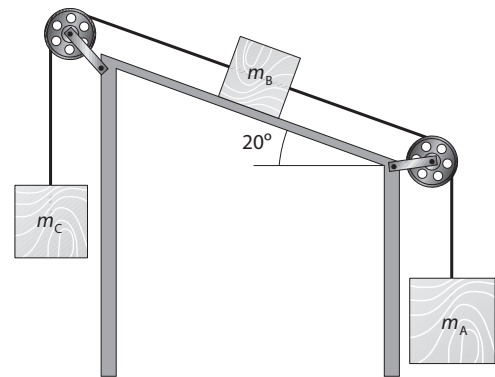
4. Un coche circula por una carretera recién nevada sin llevar cadenas. El coeficiente de fricción estático entre los neumáticos y la carretera es, en esas condiciones, de 0,075. ¿Cuál es la máxima pendiente que podría ascender el vehículo circulando a velocidad constante (sin aceleración)?

Como puede apreciarse en la figura, la condición para que el coche ascienda la pendiente con velocidad constante sin que patine la rueda exige que $F_{roz} = mg \sin \alpha$.

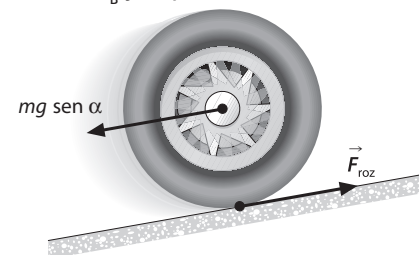
Así pues:

$$\mu mg \cos = mg \sin \alpha \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha = \mu$$

Sustituyendo el valor de μ , obtenemos que la máxima pendiente es de $4,3^\circ$.



5. Determina la aceleración con que se moverá el sistema de la figura, así como las tensiones en ambas cuerdas, si $m_A = 4 \text{ kg}$, $m_B = 2 \text{ kg}$, $m_C = 3 \text{ kg}$ y el coeficiente de rozamiento entre m_B y el plano vale 0,32.



Las ecuaciones de movimiento del sistema son:

$$m_A g - T_1 = m_A a$$

$$T_1 + m_B g \sin 20 - T_2 - m_B g \cos 20 = m_B a$$

$$T_2 - m_C g = m_C a$$

Sumando las tres ecuaciones y despejando la aceleración, obtenemos:

$$a = g \frac{m_A + m_B \sin 20 - m_B \cos 20 - m_C}{m_A + m_B + m_C} = 1,17 \text{ m/s}^2$$

Valor que, sustituido en la primera y tercera ecuación, permite calcular las tensiones, de donde resulta: $T_1 = 34,5 \text{ N}$ y $T_2 = 32,9 \text{ N}$.

- 6 **Determina a qué distancia del centro terrestre habrá que situar un objeto para que su peso se reduzca a la mitad de su valor en la superficie. Expresa la distancia en términos del radio terrestre y calcula posteriormente su valor numérico teniendo en cuenta que $r_T = 6370 \text{ km}$.**

A la distancia r' que buscamos, el valor de g' es igual a Gm_T/r'^2 . Puesto que este valor ha de ser la mitad del correspondiente a la superficie, entonces:

$$G \frac{m_T}{r'^2} = \frac{1}{2} G \frac{m_T}{r_T^2} \Rightarrow r' = \sqrt{2} \cdot r_T$$

Es decir, sustituyendo finalmente el valor del radio terrestre, habría que situar el objeto a una distancia de 9008 km del centro terrestre (2638 km sobre la superficie) para que su peso se reduzca a la mitad de su valor en la superficie.

7. **Calcula qué masa M tendríamos que fijar a un muelle de constante $k = 150 \text{ N/m}$ que se encuentra sobre un plano inclinado de 40° para que se produzca el mismo estiramiento que se conseguiría si, estando el muelle en posición vertical, colgáramos de él una masa de 2 kg. Considera que el coeficiente de fricción entre la masa M y el plano inclinado es de 0,38.**

El estiramiento que se produciría al colgar en posición vertical una masa de 2 kg se deduce de la igualdad $mg = kx$, que conduce a $x = 0,13 \text{ m}$ o 13 cm. En la situación de plano inclinado descrita en el problema, una vez fija la masa y producido el consiguiente estiramiento, se cumplirá que:

$$Mg \sin 40 = \mu Mg \cos 40 + kx \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M = \frac{kx}{g(\sin 40 - \mu \cos 40)} = 5,66 \text{ kg}$$

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

1. Los coeficientes de rozamiento:
 - a) Dependen de la fuerza normal que actúe entre los cuerpos.
 - b) Cinéticos son siempre mayores que los estáticos.
 - c) **Estáticos son siempre mayores que los cinéticos.**
2. La gravedad a que está sometido un astronauta en órbita a 500 km de altura sobre la superficie terrestre:
 - a) Es nula.
 - b) **Tiene el valor de $8,4 \text{ m/s}^2$.**
 - c) Tiene un valor de $0,98 \text{ m/s}^2$.
3. En situación de ingravidez:
 - a) Costaría lo mismo empujar a un elefante que a una pelotita, pues ninguno pesaría.
 - b) El concepto de inercia carece de sentido.
 - c) **Costaría muchísimo mover un elefante.**
4. La fuerza de rozamiento de un cuerpo sobre una superficie horizontal:
 - a) **Es proporcional al peso del cuerpo.**
 - b) Es proporcional a la fuerza que oprime el cuerpo contra el suelo.
 - c) Solo depende de la masa del cuerpo.
5. Las fuerzas restauradoras que operan sobre un cuerpo sometido a deformación:
 - a) Son constantes.
 - b) Son inversamente proporcionales a la deformación producida.
 - c) **Son directamente proporcionales y opuestas a la deformación.**
6. La fuerza responsable de la coexistencia de protones en el núcleo es:
 - a) La gravitatoria.
 - b) **La fuerte.**
 - c) La electromagnética.
7. Cuando un ascensor arranca acelerando hacia arriba:
 - a) Nuestro peso aumenta.
 - b) **Aumenta la fuerza que ejercemos contra el suelo.**
 - c) Disminuye la fuerza que ejercemos contra el suelo.
8. El coeficiente de rozamiento estático de un cuerpo puede medirse:
 - a) **Calculando la tangente del ángulo sobre el que empieza a resbalar el cuerpo.**
 - b) Calculando el seno del ángulo sobre el que empieza a resbalar el cuerpo.
 - c) Midiendo la distancia que recorre hasta que se para después de lanzarlo con cierta velocidad.
9. Una misma fuerza:
 - a) Produce mayor alargamiento en muelles de mayor constante elástica.
 - b) **Produce mayor alargamiento en muelles de menor constante elástica.**
 - c) Produce el mismo alargamiento independientemente de la constante elástica.
10. La Tierra:
 - a) Atrae, en su superficie, a todos los cuerpos con la misma fuerza.
 - b) **Atrae, en su superficie, con más fuerza a los cuerpos de mayor masa.**
 - c) Es atraída por una pluma con la misma fuerza con que ella atrae a la pluma.

14



TRABAJO Y ENERGÍA MECÁNICA

El origen del concepto de trabajo mecánico como equivalente al producto de fuerza por desplazamiento se remonta a la antigüedad. Aparece de modo implícito en los estudios relativos a las palancas llevados a cabo por Arquímedes y Aristóteles. Si bien hoy describimos dicha ley en términos de «momento de fuerza», está claro que también encierra implícitamente la conservación de la energía. A su vez, el concepto de energía hace su aparición de forma clara e inequívoca a finales del siglo y principios del donde, como consecuencia del desarrollo de la termodinámica, toma cuerpo el principio de conservación de la energía en su acepción más amplia. Sin embargo, desde los tiempos de Galileo y, sobre todo, desde Huygens (1629-1695) y Leibniz (1646-1716) se hacía uso del confuso concepto de «vis viva» (fuerza viva), hoy conocido como «energía cinética».

Galileo, en su obra «Dos nuevas ciencias», describe lo que ocurre cuando sobre una estaca ligeramente clavada en el suelo se deja caer un bloque. El peso del bloque es siempre el mismo, pero si se deja caer desde una altura mayor, la estaca se clavará más en el suelo que si lo dejamos caer desde menor altura. Por tanto, una combinación de peso (fuerza) y altura (desplazamiento) es el agente responsable de que la estaca se clave más o menos. Nos encontramos aquí de nuevo con el concepto de trabajo o de su equivalente en «energía potencial».

Los estudios de Huygens sobre colisiones elásticas entre bolas le llevaron a la consideración de que además de conservarse el momento lineal (o cantidad de movimiento), como vimos en la unidad 11, se conservaba la cantidad $m v^2$. Leibniz demostró que esta nueva cantidad aparecía además al resolver el problema de la estaca de Galileo, por lo que supuso que debía tener una gran trascendencia en la explicación de los movimientos. A esta nueva cantidad se la denominó «vis viva» (fuerza viva) y se consideró que todos los cuerpos en movimiento estaban dotados de una «vis viva» que en unos casos era capaz de hacer que una estaca se clavara en el suelo y, en otros casos, era capaz de poner en movimiento cuerpos que inicialmente estaban en reposo. Leibniz consideró que era la «vis viva» la magnitud que definía el estado de movimiento de los cuerpos y no la cantidad de movimiento de Descartes. Hubo que esperar hasta principios del siglo para que

Thomas Young (1773-1829) la definiera como «energía» en lugar de «fuerza» (vis viva), ayudando a clarificar los conceptos. Poco tiempo después, William Thomson (Lord Kelvin) la bautizaría con el nombre con que hoy la conocemos: «energía cinética».

Por tanto, es bueno clarificar que no es hasta el siglo xix cuando empieza a hacerse uso de los conceptos de trabajo y energía de un modo sistemático, mientras que, como ya hemos visto, las leyes de la dinámica se remontan al siglo . No en vano, los conceptos de trabajo, energía y potencia aparecen ligados a la Revolución Industrial.

Objetivos

1. Comprender el concepto de trabajo y su relación con las fuerzas actuantes, así como distinguirlo de la concepción cotidiana de trabajo.
2. Entender el concepto de energía y sus formas mecánicas, así como su relación con el trabajo.
3. Comprender los conceptos de fuerzas conservativas y disipativas y su relación con la energía mecánica.
4. Aplicar correctamente el principio de conservación de la energía en diversas situaciones.

Relación de la unidad con las competencias clave

La competencia lingüística está presente en la correcta interpretación del texto. La competencia matemática y en ciencia y tecnología está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La competencia digital se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *investiga* y *Física, Tecnología y Sociedad*. La competencia de aprender a aprender es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado.

Temporalización

Recomendable en seis sesiones lectivas.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Trabajo mecánico ■ Trabajo realizado por varias fuerzas.	1. Conocer la definición de trabajo realizado por una o varias fuerzas.	1.1. Calcula el trabajo realizado por fuerzas que actúan o no en la dirección del desplazamiento. 1.2 Determina el trabajo a partir de una gráfica fuerza - desplazamiento.	A: 1-4 ER: 1 AT: 1-5	CMCCT
Potencia	2. Conocer el concepto de potencia y relacionarlo con la velocidad en el caso de fuerzas constantes	2.1 Resuelve problemas relativos a la potencia y expresar esta en sus distintas unidades reconocidas.	A: 5-8 ER: 3 AT: 6-9	CMCCT CD
Energía mecánica ■ Trabajo y energía cinética ■ La energía potencial	3. Reconocer y distinguir las definiciones de energía cinética y potencial. 4. Aplicar la relación entre trabajo y la energía mecánica en la resolución de problemas. 5. Distinguir las formas de energía potencial.	3.1 Relaciona el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo con la variación de su energía mecánica en alguna de sus formas. 4.1 Estima la energía almacenada en un resorte en función de la elongación, conocida su constante elástica.	A: 9-16 ER: 2,5 AT: 10-19	CMCCT CD
Fuerzas conservativas y conservación de la energía mecánica ■ Características de las fuerzas conservativas. ■ Conservación de la energía mecánica ■ Conservación de la energía en presencia de fuerzas no conservativas.	6. Reconocer sistemas conservativos como aquellos para los que es posible asociar una energía potencial y representar la relación entre trabajo y energía. 7. Establecer la ley de conservación de la energía mecánica y aplicarla a la resolución de casos prácticos. 8. Distinguir entre fuerzas conservativas y no conservativas y aplicar el principio de conservación de la energía en presencia ambos tipos de fuerzas.	6.1 Clasifica en conservativas y no conservativas, las fuerzas que intervienen en un supuesto teórico justificando las transformaciones energéticas que se producen y su relación con el trabajo. 7.1 Aplica el principio de conservación de la energía para resolver problemas mecánicos, determinando valores de magnitudes cinemáticas.	A: 17-21 ER: 4, 5, 6 AT: 20-32	CMCCT CCL

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Los inicios de la revolución industrial.

Vídeo: Trabajo, energía y potencia.

Animación: Consecuencias de la definición de trabajo.

Enlaces web: 1. Trabajo, energía y potencia en procesos mecánicos; 2. Trabajo mecánico.

Animación: Trabajo y energía mecánica.

Enlace web:

1. Trabajo, energía y potencia en procesos mecánicos (potencia).

Simulador: 1. Energía potencial gravitatoria; 2. Trabajo realizado contra la gravedad.

Enlace web: 1. Trabajo, energía y potencia en procesos mecánicos (energía mecánica).

Práctica de laboratorio: Energía mecánica en el movimiento del péndulo simple.

Unidad 14: Trabajo y energía mecánica

1. Conceptos

2. Trabajo mecánico

2.1 Trabajo realizado por varias fuerzas

3. Potencia

4. Energía mecánica

4.1. Trabajo y energía cinética
4.2 La energía potencial

Presentación: Trabajo mecánico.

Vídeo: El culto al cuerpo en las zonas de playa.

Documento: Trabajo realizado por fuerzas variables.

Presentación: Conservación de la energía mecánica.

Documento: Formas de energía.

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

y *Física*. Addison-Wesley Longman. México 2000. Clásico de referencia en cualquier tema de Física. Tratamientos buenos y rigurosos.

Física en perspectiva. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1987. Uno de los libros de Física más amenos que se han escrito. Aborda la comprensión de la Física desde un punto de vista conceptual. Se trata de un libro «casi de lectura» con muy pocas fórmulas.

Física conceptual. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1995. Se trata de un libro muy recomendable para la comprensión conceptual de la Física. Su lectura amena y la escasez de fórmulas hacen de este libro un material a recomendar a aquellos alumnos y alumnas que sientan interés por la Física.

Física. Editorial Reverté (3ª edición). Barcelona 1995. Clásico de referencia obligada.

Simuladores: 1. Conservación de la energía en el péndulo; 2. Jugando con la energía en un *skate*.

Enlaces web: Problemas resueltos de trabajo y energía.

Videos: 1. Conservación de la energía en un péndulo; 2. *For the love of Physics* (W. Lewin).

Práctica de laboratorio: 1. Trabajo realizado en planos inclinados; 2. Conservación de la energía mecánica.

Enlace web: 1. El descubrimiento del neutrino y sus oscilaciones; 2. Neutrino; 3. El sabor de los neutrinos.

Tests de autoevaluación interactivos

5. Fuerzas conservativas y conservación de la energía mecánica

- 5.1 Características de las fuerzas conservativas
- 5.2 Conservación de la energía mecánica
- 5.3 Conservación de la energía en presencia de fuerzas no conservativas

Física, tecnología y sociedad

La conservación de la energía y los elusivos neutrinos

Técnicas de trabajo y experimentación

Transformación y conservación de la energía mecánica

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Documento: La conservación de la *vis viva* en el universo, según Leibniz.

Actividades de ampliación: Trabajo realizado por fuerzas variables en general.

Documento: Biografía: Albert Einstein.

Documento: Optimización del trabajo de rozamiento: frenos ABS.

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

Educaplus

<http://www.educaplus.org/>
Excelente web con buenos simuladores.

Paul G. Hewitt

<https://goo.gl/C6cKsb>
Canal de Youtube con los interesantes vídeos del profesor Paul G. Hewitt. En inglés.

Físcalab

<https://www.fiscalab.com>
Página web con propuestas de ejercicios.

Paul G. Hewitt

http://videlectures.net/walter_h_g_lewin/
Canal con las interesantes lecciones del profesor Walter H.G. Lewin del MIT (en inglés).

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

TRABAJO Y ENERGÍA MECÁNICA

Se sugiere la lectura del texto introductorio acompañado del video propuesto que ilustra el texto. Posteriormente deben plantearse las cuestiones previas que nos permitirán desvelar algunos equívocos frecuentes.

Vídeo:

LOS INICIOS DE LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

1. Conceptos

Como comienzo o introducción a la unidad es conveniente ejemplificar la relación entre trabajo y energía como una relación biunívoca: **Trabajo es la capacidad de transferir energía y energía es la capacidad de realizar un trabajo**. Esta idea debe quedar muy clara entre los estudiantes y para ello se ha planteado el ejemplo del ciclista y la «pájara»; es decir, la incapacidad de seguir realizando un trabajo si la energía se pierde. El mismo ejemplo nos permite ilustrar el concepto de potencia.

Vídeo:

TRABAJO, ENERGÍA Y POTENCIA

2. Trabajo mecánico

La asimilación del concepto de trabajo y las consecuencias que se derivan de su definición se facilitan enormemente si se ha estudiado el apartado de producto escalar de vectores en la unidad Herramientas matemáticas de la física.

El objetivo fundamental de este epígrafe es distinguir el concepto físico de trabajo de su representación cotidiana asociada al lenguaje popular, que está más en relación con el esfuerzo que con el concepto de trabajo propiamente dicho.

Es importante entender aquí en qué casos una fuerza realiza trabajo y en qué otros casos no, y qué relación puede tener eso con la transferencia de energía. Puede ilustrarse con un buen ejemplo; la fuerza gravitatoria no realiza trabajo alguno en una órbita circular; de ese modo, un satélite no gana ni pierde energía y puede tener una órbita estable sin necesidad de consumir combustible.

Enlace web:

TRABAJO, ENERGÍA Y POTENCIA EN PROCESOS MECÁNICOS. TRABAJO MECÁNICO

3. Potencia

Se insiste en este epígrafe en el carácter restringido (para fuerzas constantes) de la expresión Fv para el cálculo de la potencia.

Debe hacerse también hincapié en la conversión entre las unidades más conocidas de potencia (W, kW y CV), así como aprovechar para introducir la unidad de energía presente en nuestras facturas eléctricas (kW h).

Enlace web:

TRABAJO, ENERGÍA Y POTENCIA EN PROCESOS MECÁNICOS (POTENCIA)

4. Energía mecánica

Es muy interesante, al introducir este concepto, transmitir la dificultad que encontramos para definir ciertos conceptos físicos (por ejemplo, masa, carga, energía, entropía...), que, además, son aquellos sobre los que se edifica la física actual. No obstante, de ellos se saben muchas cosas: cómo actúan, qué fenómenos originan, etc., y ello ya es justificación suficiente para utilizarlos en la descripción de los fenómenos naturales. Se ha de hacer notar que definir energía como «capacidad para realizar un trabajo» es simplemente un recurso para salir del paso, pues trabajo lo definimos como «un método para transferir energía», con lo cual tenemos una definición circular que no aclara gran cosa.

En el primer epígrafe, el aspecto más interesante que hay que resaltar es que, sea cual fuere el tipo de fuerza que actúe realizando trabajo, este equivaldrá siempre a una variación de energía cinética, cosa que no ocurre en todos los casos con la energía potencial.

En el segundo epígrafe, referido a la energía potencial, es muy importante hacer hincapié en las precisiones que se citan en la página 342. Un alumno o alumna de este nivel debe tener ya bien claro que la expresión mgh es tan solo una expresión muy restringida de un tipo de energía potencial (la gravitatoria) y sobre todo hay que aclarar que la energía potencial (a pesar de que por costumbre hablemos de «energía potencial de un cuerpo») no es una característica de ningún cuerpo, sino del sistema (por ejemplo, el sistema cuerpo y Tierra si se trata de la energía potencial gravitatoria).

Otro tanto puede decirse de la energía cinética; dado que la velocidad de un cuerpo es relativa a un sistema de referencia, esta energía también es relativa, por lo que, siendo rigurosos, hemos de considerar que la energía cinética es una característica de un sistema y no de un cuerpo en términos absolutos.

Simulador:
**ENERGÍA POTENCIAL GRAVITATORIA.
TRABAJO REALIZADO CONTRA LA GRAVEDAD**

Enlace web:
**TRABAJO, ENERGÍA Y POTENCIA EN PROCESOS
MECÁNICOS (ENERGÍA MECÁNICA)**

5. Fuerzas conservativas y conservación de la energía mecánica

Para introducir el concepto de fuerza conservativa se ha optado por la descripción más elemental, haciendo uso, como ejemplo, de la fuerza gravitatoria. El objetivo es bien claro: que los alumnos y alumnas entiendan que el teorema de conservación que utilizaban en 4.º de la ESO no era más que un teorema restringido a la exclusiva existencia de fuerzas conservativas (que no es el caso habitual).

Es fundamental que el alumnado entienda que solo tiene sentido definir energía potencial asociada a las fuerzas conservativas.

En el epígrafe 5.3. se expone el caso más general de actuación de fuerzas conservativas y disipativas, así como el teorema de conservación de la energía desde un punto de vista más general.

Simulador:
**JUGANDO EN LA ENERGÍA EN UN SKATE.
CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN EL PÉNDULO**

Enlace web:
PROBLEMAS RESUELTOS DE TRABAJO Y ENERGÍA

Vídeo:
**CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN UN PÉNDULO
FOR THE LOVE OF PHYSICS (W. LEWIN)**

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 334/345)

Comprueba lo que sabes

1. ¿Cuándo decimos que se realiza un trabajo? ¿Realizamos algún trabajo por el simple hecho de sostener unas pesas de 10 kg en cada brazo sin moverlas?

La pregunta tiene por objetivo verificar si los alumnos tienen una concepción correcta del trabajo, aspecto que se ha estudiado en 4º de la ESO. Deben asociar trabajo mecánico a la existencia de fuerza y desplazamiento, no solo fuerza.

2. ¿Qué entiendes por potencia?

En la línea de buscar las definiciones más simples, pero conceptualmente más correctas, la potencia debe definirse como la rapidez con que se realiza un trabajo.

3. Cuando un cuerpo se eleva en altura, suele afirmarse que aumenta su energía potencial. ¿Por qué? ¿Qué crees que significa el término potencial?

El alumno debe asociar el término «potencial» con algo «almacenado», pero que solo se manifiesta cuando se realiza un trabajo. En este sentido, es habitual hablar del «potencial» de un deportista, en términos de algo que aún debe demostrar, pero que se le aventura. Pues bien, esa misma idea nos puede servir para que entiendan el concepto de energía potencial.

Actividades

- 1 Un cuerpo se desplaza horizontalmente 50 m bajo la acción de una fuerza de 100 N. Determina el trabajo realizado por dicha fuerza si:

- a) Actúa en el sentido del movimiento.
 b) Forma 60° con la horizontal.
 c) Actúa perpendicularmente.
 d) Forma 150° con la dirección del desplazamiento.
- a) En este caso, al actuar la fuerza en la misma dirección en que se produce el desplazamiento, el trabajo realizado será:

$$W = F\Delta x \cos 0^\circ = 100 \text{ N} \cdot 50 \text{ m} = 5000 \text{ J}$$

- b) Como consecuencia de la definición general de trabajo:

$$W = F\Delta x \cos \theta$$

tendremos que:

$$W = F\Delta x \cos 60^\circ = 100 \text{ N} \cdot 50 \text{ m} = 2500 \text{ J}$$

- c) Dado que $\cos 90^\circ = 0$, la fuerza no realiza ningún trabajo, es decir:

$$W = 0$$

Ahora:

$$W = F\Delta x \cos 150^\circ = 100 \text{ N} \cdot 50 \text{ m} \cdot (-0,866) = -4330 \text{ J}$$

En este caso, el trabajo es negativo, pues la componente de la fuerza ($F \cos \theta$) que realiza el trabajo actúa en oposición al desplazamiento.

- 2 Suponiendo un átomo de hidrógeno según el modelo de Bohr, en el que el electrón describe órbitas circulares alrededor del núcleo.

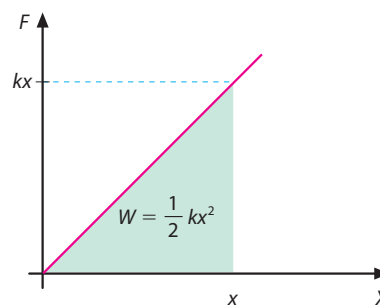
- a) ¿Qué fuerza es la responsable del movimiento circular del electrón?

- b) ¿Qué trabajo realiza dicha fuerza sobre el electrón?

La fuerza responsable del movimiento circular del electrón no es otra que la centrípeta. Ahora bien, esta fuerza es perpendicular al desplazamiento y, por lo tanto, no realiza ningún trabajo.

- 3 Determina gráficamente una expresión para el trabajo realizado cuando estiramos un muelle de constante recuperadora k desde su posición de equilibrio ($x = 0$) hasta una posición x . Resuélvela para $k = 200 \text{ N/m}$ y $x = 5 \text{ m}$.

El área encerrada bajo la gráfica es la de un triángulo. Por tanto:



$$\text{Área} = 1/2 \text{ altura} \cdot \text{base} = 1/2 Fx = 1/2 kx \cdot x = 1/2 k \cdot x^2$$

Es decir, el trabajo vale $1/2 kx^2$.

Si $k = 200 \text{ N/m}$ y $x = 5 \text{ m}$ se obtiene:

$$W = 2500 \text{ J}$$

- 4 Un cuerpo de 3 kg se desliza por un plano inclinado 45° con respecto a la horizontal desde una altura de 5 m. El coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y el plano es de 0,32. Determina:

- a) El trabajo realizado sobre el cuerpo por cada una de las fuerzas que actúan, hasta que llega al final del plano.

- b) El trabajo total realizado sobre el cuerpo en todo el trayecto.

- a) El trabajo realizado por la componente p_t del peso es:

$$W_1 = mg \sin \alpha \cdot d \cos 0^\circ = 147 \text{ J}$$

donde:

$$d = \frac{h}{\sin 45^\circ}$$

El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento es:

$$W_{\text{roz}} = \mu mg \cos \alpha \cdot d \cos 180^\circ = -47,04 \text{ J}$$

- b) Por tanto, el trabajo total realizado sobre el cuerpo a lo largo de todo el trayecto es:

$$W = W_1 + W_{\text{roz}} = 99,96 \text{ J}$$

- 5 Cierta automóvil que circula a 129 km/h está sometido a una fuerza de fricción con la carretera de 211 N y a una fricción con el aire de 830 N.

¿Qué potencia debe desarrollar en dichas condiciones para mantener constante esa velocidad? Expresa el resultado en kilovatios y en caballos de vapor.

La fuerza que debe ejercer el motor ha de ser igual, en módulo, a la suma de las fuerzas de fricción. Es decir:

$$F = 1041 \text{ N}$$

Dado que la velocidad constante, expresada en m/s, es de 35,83 m/s, la potencia desarrollada por el motor para mantener constante dicha velocidad es:

$$P = Fv = 1041 \text{ N} \cdot 35,83 \text{ m/s} = 37\,300 \text{ W}$$

$$P = 37,3 \text{ kW}$$

Como 1 CV = 735 W, este valor equivale a:

$$P = 50,75 \text{ CV}$$

6 ¿Qué factores crees que es necesario «optimizar» para conseguir una mayor velocidad a una determinada potencia?

Fundamentalmente se trata de buscar los factores que permitirían reducir el valor de la fuerza motriz necesaria para alcanzar dicha velocidad. Como hemos visto en el ejemplo anterior, esto pasa por tratar de reducir al máximo la fricción con el aire (evidentemente, no es aconsejable reducir la fricción con el suelo), así como la fricción interna de los mecanismos móviles del motor. Por ello, el diseño de líneas más aerodinámicas, la investigación de lubricantes y la optimización de motores son los aspectos más importantes en la industria automovilística.

7 Se necesita realizar un trabajo de 10 MJ (megajulios). Compara los tiempos de ejecución que emplearían motores de 50 CV, de 80 CV y de 40 kW. ¿Cuál es el más recomendable?

En primer lugar, pasemos las unidades de las potencias al SI:

Como 1 CV = 735 W, entonces:

$$50 \text{ CV} = 36\,750 \text{ W} = 36,75 \text{ kW} \text{ y } 80 \text{ CV} = 58\,800 \text{ W} = 58,8 \text{ kW}$$

Por otro lado, como $t = \frac{W}{P}$

$$t_1 = \frac{10^7 \text{ J}}{36,75 \cdot 10^3 \text{ W}} = 272 \text{ s}$$

$$t_2 = \frac{10^7 \text{ J}}{58,8 \cdot 10^3 \text{ W}} = 170 \text{ s}$$

$$t_3 = \frac{10^7 \text{ J}}{40 \cdot 10^3 \text{ W}} = 250 \text{ s}$$

Parece obvio que el menor tiempo lo lleva a cabo el segundo motor, cosa por otra parte lógica, teniendo en cuenta que una vez hemos unificado las unidades, es el de mayor potencia.

8 En centros de investigación sobre láseres se han conseguido pulsos de láser de 10 femtosegundos (fs) y 100 milijulios (mJ). ¿Cuál es la potencia de ese pulso? Exprésala en teravatios (tW). Datos: 1 fs = 10^{-15} s; tW = 10^{12} W

$$P = \frac{W}{t} \Rightarrow \frac{100 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{10 \cdot 10^{-15} \text{ s}} = 10^{13} \text{ W} = 10 \text{ tW}$$

10 teravatios es del orden de la generada por todas las centrales eléctricas de la Tierra.

9 Sobre un cuerpo de 5 kg de masa que se mueve con una velocidad de 2 m/s se realiza un trabajo de 50 J. ¿Cuál será su velocidad final?

Aplicando el teorema de las fuerzas vivas:

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + W$$

$$\frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v_f^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 2^2 + 50$$

Despejamos la velocidad

$$v_f = 4,89 \text{ m/s}$$

10 La fuerza de fricción entre las ruedas de un coche de 1300 kg y el suelo es de 220 N. Si el coche se mueve por una pista horizontal a 110 km/h y se deja en «punto muerto», ¿qué distancia recorrerá hasta que se detenga por completo? Resuelve el problema por métodos energéticos y dinámicos y comprueba la identidad de los resultados.

La fricción realiza el trabajo necesario para detenerlo, por lo que:

$$W_{\text{roz}} = F_{\text{roz}} d \cos 180^\circ = -F_{\text{roz}} d$$

Como:

$$W_{\text{roz}} = \Delta E_c$$

Entonces:

$$-F_{\text{roz}} d = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

Por lo que:

$$d = \frac{mv_0^2}{2F_{\text{roz}}} = 2758,5 \text{ m}$$

Resolviendo el problema por métodos dinámicos, la aceleración de frenado originada por la fuerza de rozamiento es:

$$a = \frac{F_{\text{roz}}}{m} = 0,169 \text{ m/s}^2$$

De este modo:

$$v^2 = 0 = v_0^2 - 2ad$$

Por lo que:

$$d = \frac{v_0^2}{2a} = 2758,5 \text{ m}$$

11 Deduce, haciendo uso del teorema de las fuerzas vivas, una expresión para la máxima altura que alcanza un objeto lanzado verticalmente con una velocidad inicial v_0 .

Se trata de resolver la conocida expresión de altura máxima, pero aplicando el teorema de las fuerzas vivas, es decir:

$$W = E_{c \text{ final}} - E_{c \text{ inicial}}$$

La única fuerza que actúa sobre el cuerpo durante el ascenso es su propio peso (mg), mientras que el desplazamiento hasta alcanzar la máxima altura es $h_{\text{máx}} - h_{\text{suelo}}$, que coincide con $h_{\text{máx}}$ si consideramos como cero la altura del suelo.

Por tanto, el trabajo realizado por la fuerza gravitacional durante el ascenso es:

$$W = mgh \cos 180^\circ = -mgh_{\text{máx}}$$

Como en el punto de máxima altura la velocidad es cero, también lo es su energía cinética, por lo que:

$$-mgh_{\text{máx}} = 0 - 1/2 mv_0^2$$

Despejando, obtenemos la conocida expresión:

$$h_{\text{máx}} = \frac{v_0^2}{2g}$$

- 12** Sobre un cuerpo de 750 g que se mueve con una velocidad de 2,5 m/s actúa una fuerza de 15 N, en la misma dirección y sentido de la velocidad, durante 10 s. Determina:

- El trabajo realizado por la fuerza.
- La energía cinética final del cuerpo.
- La velocidad final que alcanza (por medios energéticos y dinámicos).

Debemos calcular en primer lugar el desplazamiento que efectúa dicho cuerpo durante los 10 s, para lo que necesitaremos determinar la aceleración del movimiento:

$$a = \frac{F}{m} = 20 \text{ m/s}^2$$

Por tanto:

$$= v_0 t + 1/2 at^2 = 1025 \text{ m}$$

- El trabajo realizado por la fuerza es:
 $W = F \cdot s \cos 0^\circ = 15 \text{ N} \cdot 1025 \text{ m} \cdot 1 = 15375 \text{ J}$

- Aplicando el teorema de las fuerzas vivas:

$$E_c (\text{final}) = W + E_c (\text{inicial}) = 15377,3 \text{ J}$$

- La velocidad final a partir de su energía cinética será:

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m}} = 202,5 \text{ m/s}$$

- Por métodos dinámicos:

$$v = v_0 + at = 202,5 \text{ m/s}$$

- 13** Se deja caer un objeto de 2 kg desde 100 m de altura. Calcula:

- Su energía potencial inicial.
- Su energía potencial cuando se encuentre a 50 m del suelo.
- Su velocidad y su energía cinética a 50 m de altura.
- La suma de ambas energías a esa altura.
- ¿Qué conclusión obtienes?

- Su energía potencial inicial viene dada por:

$$E_{p0} = mgh_0 = 1960 \text{ J}$$

- A 50 m del suelo, su energía potencial es:

$$E'_p = mgh' = 980 \text{ J}$$

- Dado que el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria equivale al aumento de energía cinética (siendo cero la inicial al ser una caída libre), entonces:

$$\begin{aligned} F \Delta y &= E_{cf} \\ -mg(h - h_0) &= E_{cf} \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores, obtenemos $E_{cf} = 980 \text{ J}$.

Por otra parte, si despejamos la velocidad de la igualdad anterior, el resultado será:

$$v = \sqrt{2g(h_0 - h)} = 31,3 \text{ m/s}$$

- Como se comprueba, la suma de ambas energías a esa altura equivale a la energía inicial, lo cual quiere decir que el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria mantiene constante la energía mecánica.

- 14** Siguiendo el procedimiento anterior, y teniendo en cuenta que para elevar con velocidad constante un cuerpo desde el suelo hasta una altura h es necesario ejercer una fuerza igual y opuesta a su peso, determina a qué equivale el trabajo que tú tendrías que realizar para elevar dicho cuerpo desde el suelo hasta la altura h .

En este caso, para elevar un cuerpo con velocidad constante, debemos ejercer una fuerza vertical hacia arriba igual a $mg \vec{j}$, mientras que el desplazamiento es ahora $(h - h_{\text{suelo}}) \vec{j}$, de modo que el trabajo resulta ser igual a:

$$W = mgh - mgh_{\text{suelo}} = \Delta E_p$$

Es decir, el trabajo que realizamos sobre un cuerpo para elevarlo, se traduce en un aumento de su energía potencial.

- 15** Sobre un muelle vertical de constante $k = 200 \text{ N/m}$ se coloca una masa de 500 g. Posteriormente, esta masa se cambia por otra de 2 kg. Determina la energía potencial elástica que se almacena en el muelle en cada caso.

En primer lugar, vamos a calcular cuánto se deforma el muelle en ambos casos:

$$x = \frac{F}{k} = \frac{mg}{k}$$

Para la masa de 0,5 kg:

$$x = \frac{0,5 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{200 \text{ N/m}} = 0,0245 \text{ m}$$

$$E_{p \text{ elástica}} = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \text{ N/m} \cdot (0,0245 \text{ m})^2 = 0,06 \text{ J}$$

Para la masa de 2 kg:

$$x = \frac{2 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{200 \text{ N/m}} = 0,098 \text{ m}$$

$$E_{p \text{ elástica}} = \frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{2} \cdot 200 \text{ N/m} \cdot (0,098 \text{ m})^2 = 0,96 \text{ J}$$

- 16** Un cuerpo de 0,5 kg de masa se deja caer desde una altura de 1 m sobre un pequeño resorte vertical sujeto al suelo y cuya constante elástica es $k = 2000 \text{ N/m}$. Calcula la deformación máxima del resorte.

Toda la energía potencial gravitatoria se transforma finalmente en energía potencial elástica almacenada en el muelle:

$$mgh = \frac{1}{2} kx^2$$

De donde se obtiene que $x = 0,07 \text{ m} = 7 \text{ cm}$.

17 Calcula el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria en un lanzamiento vertical desde el suelo en:

- El tramo de ascenso desde el suelo hasta la altura h .
- El tramo de descenso desde la altura h hasta el suelo.
- ¿Cuánto vale el trabajo total en todo el trayecto de ida y vuelta? ¿Qué conclusión obtienes?

La fuerza que actúa en ascenso es $-mg\vec{j}$, mientras que el desplazamiento es $(h-0)\vec{j}$, de modo que el trabajo realizado por la fuerza gravitatoria durante el descenso es:

$$W_{\text{descenso}} = -mg(0-h) = mgh$$

Por tanto, el trabajo total realizado por la fuerza gravitatoria en el trayecto de ida y vuelta es cero, lo que demuestra que se trata de una fuerza conservativa.

18 Un péndulo, cuyo hilo mide 2 m, que sujeta una bola de masa m , es desplazado 60° con respecto a la vertical.

Si en esa posición se suelta:

- ¿Cuál será su velocidad al pasar por el punto más bajo?
- ¿Qué energía cinética tendrá cuando el hilo forme un ángulo de 15° con la vertical?
- La altura inicial del péndulo será:

$$h = l - l \cos 60^\circ = 1 \text{ m}$$

Por conservación de la energía mecánica, tendremos:

$$(E_p + E_c)_{\text{inicial}} + (E_p + E_c)_{\text{final}}$$

Por lo que:

$$mgh = \frac{1}{2} mv_f^2 \Rightarrow v_f = 4,4 \text{ m/s}$$

- Cuando el hilo forme 15° con la vertical, aún conserva parte de la energía potencial, pues está a cierta altura, h' :

$$h' = l - l \cos 15^\circ = 0,068 \text{ m}$$

Aplicando la conservación de la energía mecánica, tenemos:

$$mgh = mgh' + E_c \Rightarrow E_c = mg(h - h') = 9,13 \text{ m J}$$

La velocidad es:

$$v = 4,27 \text{ m/s}$$

19 Explica con detalle todas las transformaciones de energía que se producen en un salto con pértiga. En este caso, ¿debemos hablar de cuerpo o de sistema?

Podemos decir, grosso modo, que la energía cinética conseguida por el saltador en la carrera se transforma en energía potencial elástica de la pértiga en su máximo estado de curvatura. Esta energía potencial elástica, cuando el saltador está en su máxima altura, se transforma en potencial gravitatoria que posteriormente se va convirtiendo en energía cinética durante el descenso. Por último, toda la energía mecánica se emplea en el trabajo de deformación de las colchonetas cuando el saltador aterriza.

En el análisis expuesto, no hemos considerado las pérdidas debidas a la fricción.

20 Un cuerpo comienza a ascender por un plano inclinado 30° con una velocidad inicial de 4 m/s. Si el coeficiente de rozamiento con el plano es de 0,2, calcula hasta qué altura asciende.

La variación en la energía mecánica del sistema es igual al trabajo realizado por la fuerza no conservativa de rozamiento. Como dicha fuerza se opone al desplazamiento, su trabajo será negativo e igual a:

$$W_{\text{roz}} = -\mu mg \cos 30^\circ \cdot d$$

Como, a su vez, $d = \frac{h}{\sin 30^\circ}$, el trabajo realizado por el

rozamiento puede expresarse como:

$$W_{\text{roz}} = \frac{-\mu mg \cos 30^\circ}{\sin 30^\circ}$$

Por tanto:

$$W_{\text{roz}} = \Delta E_{\text{mec}}$$

De este modo:

$$\frac{-\mu mg \cos 30^\circ}{\sin 30^\circ} = mgh - 1/2 mv_0^2$$

Resolviendo, obtenemos $h = 0,6 \text{ m}$.

21 Un cuerpo es lanzado con una velocidad inicial v_0 desde la base de un plano inclinado 45° . Si el coeficiente de rozamiento es μ , demuestra que la altura hasta la que asciende viene dada por la expresión:

$$h = \frac{v_0^2}{2g(1+\mu)}$$

Si despejamos la altura h en la igualdad que aparece en la actividad anterior, se obtiene:

$$h = \frac{v_0^2}{2g(1+\mu \cos \alpha / \sin \alpha)}$$

La expresión, llevada al caso que nos plantea la actividad ($\alpha = 45^\circ$), conduce a:

$$h = \frac{v_0^2}{2g(1+\mu)}$$

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (páginas 346)

Análisis

- 1 ¿Cuántos neutrinos atraviesan nuestro cuerpo cada segundo?
Unos $5 \cdot 10^{13}$ neutrinos cada segundo.
- 2 ¿Qué anomalías condujeron a Pauli a postular la existencia de los neutrinos?
En el mecanismo de desintegración beta parecían violarse los principios de conservación de la energía y del momento lineal.
- 3 ¿Quiénes fueron los primeros en detectar experimentalmente dichas partículas?
Clyde Cowan y Fred Reines en 1956.

Propuesta de investigación

- 4 Busca información e imágenes en Internet y haz una presentación acerca de alguno de los siguientes temas:
 - a) Experimento de Cowan y Reines.
 - b) Proyecto CNGS (*CERN Neutrinos to Gran Sasso*).
 - c) Proyecto Superkamiokande.
 Los alumnos deben realizar este trabajo a partir de la documentación que encuentren en internet sobre los mencionados proyectos que deben elegir.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (páginas 347)

Cuestiones

- 1 Detalla la secuencia de transformaciones de energía que han tenido lugar en el experimento.
La E_p elástica se transforma en E_c de la arandela que, progresivamente y a medida que se eleva, se convierte finalmente en E_p gravitatoria.
- 2 Determina los errores relativos de tus medidas y analiza las causas que motivan ese margen de error.
Los márgenes de error dependen de diversos factores. Por un lado, la persona o personas que manejan instrumentos

y toman medidas cometen inevitablemente errores, que dependen en gran medida del cuidado y esmero que se ponga en su realización; por otro, todos los instrumentos de medida tienen, en mayor o menor grado, un margen de error. Debe tenerse también presente que no estamos teniendo en cuenta la fricción.

- 3 Trata de diseñar una práctica sobre conservación de energía con materiales caseros.
Es una práctica de diseño libre. Se trata de imaginar algo similar a la práctica expuesta.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS FINALES (páginas 350/351)

Concepto de trabajo

- 1 Si sobre un cuerpo actúa una fuerza de 10 N y dicho cuerpo se desplaza 10 m, entonces el trabajo realizado por esa fuerza vale 100 J. ¿Es esto cierto o consideras que falta información para resolver el problema?

No es cierto. Faltaría saber la dirección en la que actúa la fuerza en relación con la dirección del desplazamiento.

- 2 ¿Cómo podemos calcular el trabajo en una gráfica fuerza-desplazamiento?

Calculando el área encerrada bajo la gráfica.

- 3 ¿Qué trabajo mecánico se realiza al sostener un cuerpo de 10 kg durante 15 min?

No se realiza trabajo alguno al sostener un cuerpo. Es necesario desplazarlo para que exista trabajo.

- 4 ¿Cuánto vale el trabajo realizado por la fuerza centrípeta sobre un cuerpo en movimiento circular uniforme?

Vale cero, pues la fuerza es perpendicular al desplazamiento, con lo que $W = Fs \cos 90^\circ = 0$.

- 5 Hemos de levantar un cuerpo hasta cierta altura y, para ello, disponemos de varios planos inclinados de diferente longitud (y, por tanto, inclinación). ¿Con cuál de ellos realizaremos la operación con menor esfuerzo? ¿Con cuál será menor el trabajo realizado?

Si se quiere elevar un cuerpo por un plano inclinado, como mínimo debemos realizar una fuerza igual a $mg \sin \alpha$, por lo que el esfuerzo será menor cuanto menor sea el ángulo de inclinación.

Sin embargo, el trabajo que realicemos será igual en todos los casos, pues la altura a la que se eleva el cuerpo es la misma. Es decir, en un caso se realiza menos esfuerzo, pero se recorre más distancia, mientras que en otro se realiza más esfuerzo, pero se recorre menos distancia.

Concepto de potencia

- 6 Un coche de 1700 kg es capaz de pasar de 0 a 100 km/h en 11 s. ¿Qué potencia media necesita? Expresa el resultado en CV.

El trabajo que realiza el motor es igual a la variación de la energía cinética del coche:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = 655\,864,2 \text{ J}$$

Por tanto, su potencia media resulta ser:

$$P = \frac{W}{t} = 59\,624 \text{ W} = 81,12 \text{ CV}$$

- 7 Cierta compañía eléctrica factura a razón de 0,09 € el kW · h.

- a) ¿Cuánto costará mantener encendida una bombilla de 100 W durante 24 h?
- b) ¿En qué porcentaje reduciremos el coste si la sustituimos por una bombilla equivalente de 25 W de bajo consumo?

Como el kW h es unidad de trabajo o energía, calcularemos cuál es la energía consumida por cada bombilla:

$$W_1 = P_1 t = 0,1 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} = 2,4 \text{ kW h}$$

Así pues, el coste será de 0,216 €.

$$W_2 = P_2 t = 0,025 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} = 0,6 \text{ kW h}$$

Con lo que el coste será de 0,054 €.

De este modo, reducimos el coste en un 75%.

- 8 Un piano de 300 kg es elevado en un montacargas de masa 1000 kg a una velocidad constante de 0,2 m/s. ¿Cuál es la potencia desarrollada por el motor del montacargas?

La fuerza que ejerce el montacargas en la elevación a velocidad constante ha de ser igual al peso del piano más el del propio montacargas. Por tanto:

$$F = (m' + m)g = (300 \text{ kg} + 1000 \text{ kg}) 9,8 \text{ m/s}^2 = 12\,740 \text{ N}$$

Así pues, la potencia será:

$$P = Fv = 2548 \text{ W}$$

- 9 Denominamos potencia metabólica a la rapidez con que nuestro cuerpo consume la energía química interna, bien sea desarrollando un trabajo o liberándose en forma de calor. Esta potencia metabólica varía en función de la actividad que estemos realizando. Algunos de sus valores aproximados son:

■ Potencia metabólica al dormir = 75 W

■ Potencia metabólica al andar = 230 W

■ Potencia metabólica al pedalear = 500 W

■ Potencia metabólica al correr = 1000 W

Suponiendo que el valor nutricional de los cereales es de 1600 kJ por cada 100 g, ¿cuántos gramos de cereales debemos consumir si deseamos realizar cada una de las actividades citadas durante 4 h?

Calcularemos el consumo de energía propio de cada actividad a partir de la expresión:

$$W = \Delta E = Pt$$

■ De este modo, tendremos que al dormir:

$$\text{gasto energético} = 75 \text{ W} \cdot 14\,400 \text{ s} = 1\,080 \text{ kJ}$$

Así pues, necesitaremos consumir una cantidad de cereales igual a:

$$\frac{1\,080 \text{ kJ} \cdot 100 \text{ g}}{1\,600 \text{ kJ}} = 67,5 \text{ g}$$

Operando de igual manera en los siguientes casos, se obtiene:

■ Consumo de energía al andar 4 h = 3312 kJ, que equivalen a 207 g de cereales.

■ Consumo de energía en bicicleta 4 h = 7200 kJ, que equivalen a 450 g de cereales.

■ Consumo de energía al correr 4 h = 14400 kJ, que equivalen a 900 g de cereales.

Relación trabajo-energía mecánica

- 10 Cuando una fuerza realiza un trabajo sobre un cuerpo, la energía cinética de este siempre aumenta. ¿Es verdadero o falso?

Falso. Si la fuerza actúa en sentido contrario al desplazamiento, la energía cinética disminuye.

- 11 ¿Puede un sistema de varias partículas tener una energía cinética igual a cero y un momento lineal distinto de cero? ¿Y puede tener un momento lineal igual a cero y una energía cinética distinta de cero? Justifica tu respuesta.

No. Si el sistema tiene momento lineal, significa que hay movimiento. Como la energía cinética es una magnitud escalar, no puede ser cero si hay movimiento. Por el contrario, sí puede tener un momento lineal cero y energía cinética distinta de cero. Sería el caso de dos partículas moviéndose en sentidos opuestos con el mismo valor de momento lineal. La energía cinética del sistema sería la suma de las dos energías cinéticas.

- 12 Dos cuerpos de distinta masa tienen el mismo momento lineal. ¿Poseen la misma energía cinética?

No. El de menor masa tendrá mayor energía cinética, debido a que la energía cinética la podemos expresar como:

$$E_c = \frac{p^2}{2m}$$

Por lo que, a igualdad de p , tiene mayor energía cinética el de menor masa.

- 13 Da tu opinión sobre la siguiente afirmación: «La energía mecánica de un sistema no puede aumentar»

Es falsa. Cualquier trabajo que realice una fuerza que actúe en la dirección y sentido del desplazamiento provocará un aumento de la energía mecánica del sistema. Baste como ejemplo el lanzamiento de un cohete.

- 14 ¿Es posible ejercer una fuerza y , al mismo tiempo, no transferir energía?

Sí, si la fuerza es perpendicular al desplazamiento, pues en ese caso el trabajo es cero y no se transfiere energía.

- 15 Dos cuerpos de masas desiguales tienen la misma energía cinética y se mueven en idéntica dirección. Si se aplica la misma fuerza a ambos para frenarlos, ¿cómo serán, en comparación, las distancias que recorrerán hasta detenerse?

La distancia que recorrerán será la misma, pues el trabajo que realiza la fuerza de frenado es $-Fd$ y equivale a la variación de energía cinética, por lo que:

$$-Fd = 0 - E_{c\text{ inicial}} \Rightarrow d = \frac{E_c}{F}$$

Puesto que tanto la energía cinética como la fuerza valen lo mismo en ambos casos, la distancia que recorrerán hasta pararse será la misma.

- 16 Un cuerpo de 1 kg se mueve con velocidad constante hacia arriba por una pendiente de 30° y 1 m de longitud, gracias a una fuerza aplicada paralelamente al plano. El coeficiente de rozamiento es 0,3. Responde:

- ¿Qué trabajo se realiza para aumentar la energía potencial gravitatoria?
- ¿Qué trabajo se realiza contra la fuerza de rozamiento?

- c) ¿Con qué energía cinética llegará el cuerpo al suelo si se deja deslizar desde la parte más alta del plano?

- a) La altura a la que asciende finalmente es:

$$h = l \operatorname{sen} 30^\circ = 0,5 \text{ m}$$

El trabajo que se realiza para aumentar la energía potencial gravitatoria es:

$$W = mgh = 4,9 \text{ J}$$

- b) El trabajo que se realiza contra la fuerza de rozamiento es:

$$W' = \mu mg \cos 30^\circ \cdot d = 2,54 \text{ J}$$

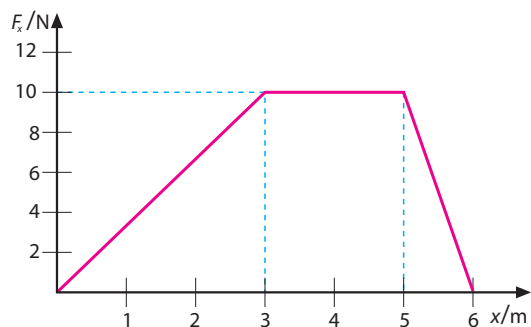
- c) La variación de energía mecánica es igual al trabajo realizado por el rozamiento, por lo que:

$$mgh - E_{ct} = W_{roz}$$

De este modo:

$$E_{ct} = 2,36 \text{ J}$$

- 17 Una partícula de 3 kg se mueve con una velocidad de 5 m/s cuando $x = 0$. Esta partícula se encuentra sometida a una única fuerza que varía con x , como se indica en la figura.



- ¿Cuál es su energía cinética en $x = 0$?
- ¿Cuál es el trabajo realizado por la fuerza cuando la partícula se desplaza desde $x = 0$ hasta $x = 6$ m?
- ¿Cuál es la velocidad de la partícula en $x = 6$ m? ¿Y en $x = 3$ m?

Aplicaremos en la resolución de este problema el criterio de que el área encerrada entre la gráfica y el eje X equivale al trabajo realizado.

- a) La energía cinética $x = 0$ en se obtiene a partir de los datos ofrecidos:

$$E_c(x = 0) = 37,5 \text{ J}$$

- b) Resolviendo gráficamente, se obtiene:

$$W_{0 \rightarrow 6} = W_{0 \rightarrow 3} + W_{3 \rightarrow 5} + W_{5 \rightarrow 6} = 15 + 20 + 5 = 40 \text{ J}$$

- c) La velocidad cuando $x = 6$ m la obtenemos a partir del valor de su energía cinética en dicho punto:

$$W_{0 \rightarrow 6} = 40 = E_{c6} - E_{c0} \Rightarrow E_{c6} = 77,5 \text{ J}$$

De este modo:

$$V_6 = 7,18 \text{ m/s}$$

Por su parte, la velocidad en $x = 3$ m se obtiene a partir de su energía cinética en ese punto:

$$W_{0 \rightarrow 3} = 15 = E_{c3} - E_{c0} \Rightarrow E_{c3} = 52,5 \text{ J}$$

Por consiguiente:

$$v_3 = 5,9 \text{ m/s}$$

- 18 ¿A qué altura debe elevarse un cuerpo para incrementar su energía potencial en una cantidad igual a la energía que tendría si se moviese a 40 km/h?

Su energía potencial debería ser igual a la energía cinética que tendría a esa velocidad:

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

Por tanto:

$$h = \frac{v^2}{2g} = 6,3 \text{ m}$$

Hemos tenido en cuenta que 40 km/h equivalen a 11,1 m/s.

- 19 Una fuerza constante de 15 N actúa durante 12 s sobre un cuerpo de 2,5 kg de masa. Este tiene una velocidad inicial de 1,5 m/s en la misma dirección y sentido de la fuerza. Calcula:

a) La energía cinética final.

b) La potencia desarrollada.

- a) Dicha fuerza, al actuar sobre el cuerpo de 2,5 kg, le comunica una aceleración $a = \frac{F}{m}$ de 6 m/s².

Por tanto, el desplazamiento efectuado en 12 s vale:

$$d = v_0 t + 1/2 at^2 = 450 \text{ m}$$

Así pues, el trabajo realizado es:

$$W = Fd = 6750 \text{ J}$$

Como este trabajo equivale a la variación de energía cinética, obtenemos:

$$E_{cf} = 6750 \text{ J} + 1/2 \cdot 2,5 \text{ kg} (1,5 \text{ m/s})^2 = 6752,8 \text{ J}$$

Energía y fuerzas conservativas

- 20 Si la fuerza de la gravedad es conservativa, ¿por qué resulta más fácil subir hasta la cima de una montaña por un camino sinuoso que hacerlo en línea recta?

Porque, en realidad, lo que nosotros percibimos es el esfuerzo más que el trabajo físico realizado. Ascendiendo por una pendiente suave realizamos menos esfuerzo, pues la componente del peso en la dirección de la pendiente es menor cuanto menor es el ángulo.

- 21 Un plano inclinado tiene 15 m de largo, y su base, 10 m. Un cuerpo de 800 g de masa resbala desde arriba con una velocidad inicial de 1,5 m/s. ¿Qué valor tienen su energía cinética y su velocidad al final del plano?

Como la longitud del plano es 15 m y su base mide 10 m, por el teorema de Pitágoras se deduce que su altura es 11,18 m. La energía mecánica se conserva a lo largo del recorrido, así:

$$E_{c0} + E_{p0} = E_{cf} - E_{pf}$$

$$1/2 mv_0^2 + mgh = 1/2 mv_f^2$$

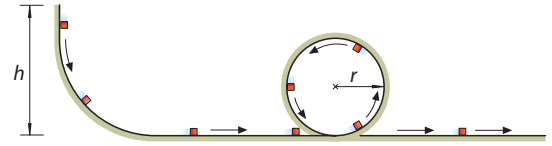
Con los datos del problema se obtiene:

$$E_{cf} = 88,55 \text{ J}$$

De este modo, despejando la velocidad final de la expresión de la energía cinética, se obtiene:

$$v_f = 14,8 \text{ m/s}$$

- 22 ¿Desde qué altura mínima, comparada con el radio, r , debemos dejar resbalar un cuerpo en la pista de la figura para que complete el rizo? (no hay fricción)



La energía potencial inicial debe transformarse en potencial y cinética en el punto más alto del rizo, cuya altura con respecto al suelo es $2r$. Por tanto:

$$mgh = 2mgr + 1/2 mv^2$$

Ahora bien, la condición mínima para que el cuerpo complete el rizo es que (desde el punto de vista del cuerpo) el peso se iguale en valor a la fuerza centrífuga. Por tanto, en ese punto se cumplirá que:

$$mg = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow v^2 = gr$$

Por tanto, la igualdad inicial quedaría:

$$mgh = 2mgr + 1/2 mgr$$

En consecuencia:

$$h = 5/2 r$$

- 23 Demuestra que si un skater logra pasar por el punto más alto de un rizo de radio r con la mínima velocidad necesaria para no desplomarse, entonces su velocidad en el punto más bajo es $v = \sqrt{5gr}$.

Por una parte, hemos de tener en cuenta que la altura del patinador en el punto más alto es $2r$. Por otro lado, si en ese punto más alto no se cae, parece lógico pensar que la fuerza centrífuga es igual al peso, eso es:

$$\frac{mv_{sup}^2}{r} = mg \Rightarrow v_{sup}^2 = rg$$

Como la energía en el punto más alto y más bajo debe ser la misma, entonces:

$$mgh + 1/2 mv_{sup}^2 = 1/2 mv_{inf}^2$$

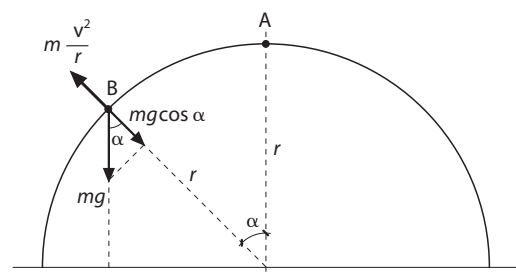
Puesto que $h = 2r$:

$$g \cdot 2r + 1/2 rg = 1/2 v_{inf}^2$$

Operando obtenemos sin dificultad la expresión buscada:

$$v_{inf} = \sqrt{5gr}$$

- 24 Un cuerpo que estaba inicialmente en reposo en lo alto de una cúpula semiesférica de radio r empieza a deslizarse por ella. Demuestra que el cuerpo se despegará de la superficie cuando el ángulo θ sea tal que su coseno sea $\cos \theta = 2/3$ (el rozamiento es nulo).



En el punto en que se despegue de la superficie (B), se cumplirá que la F_c se iguala a la componente «radial» del peso:

$$mv^2/r = mg \cos \alpha$$

Por lo que:

$$mv^2 = mgr \cos \alpha$$

A su vez, por conservación de la energía, se cumple que:

$$E_m(A) = E_m(B)$$

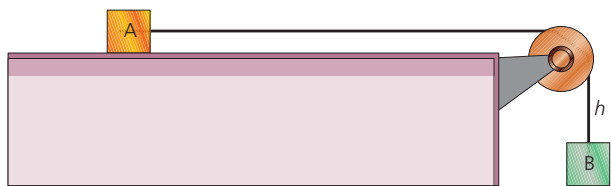
$$mgr = mgr \cos \alpha + 1/2 mgr \cos \alpha$$

$$gr = 3/2 gr \cos \alpha$$

De este modo, la condición de «despegue» se satisface cuando:

$$\cos \alpha = 2/3$$

- 25 Desde el reposo, halla una expresión para la velocidad de los objetos A y B cuando B ha descendido una altura h . Resuelve el problema por procedimientos energéticos y por procedimientos dinámicos.



Comprueba el resultado (se considera nulo el rozamiento y la masa de la cuerda y la polea).

Lógicamente, la velocidad de ambos cuerpos es la misma, pero no así sus energías cinéticas puesto que tienen masas distintas. Sabemos que, la suma de energías potencial y cinética de ambos cuerpos debe permanecer constante. Además, el cuerpo A no variará su energía potencial gravitatoria al desplazarse sobre una superficie horizontal. Antes de comenzar el movimiento, la única energía que consideraremos es la potencial del cuerpo B; una vez se haya desplazado una altura h , además los dos cuerpos estarán animados de sendas energías cinéticas.

$$m_B gh = 1/2 m_A v^2 + 1/2 m_B v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2m_B gh}{m_A + m_B}}$$

El cuerpo A se desplaza animado por una única fuerza, que es la tensión, luego:

$$T = m_A a$$

El cuerpo B sufre, a favor del desplazamiento, su peso, y en contra, la tensión. Como es obvio, la tensión y la aceleración son las mismas para ambos cuerpos.

$$m_B g - T = m_B a$$

De sumar ambas ecuaciones obtenemos que:

$$a = \frac{m_B g}{m_A + m_B}$$

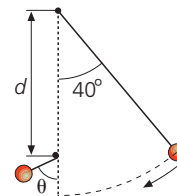
Finalmente, de la ecuación que relaciona las velocidades inicial (0), final (v) y el espacio recorrido (h), obtenemos también:

$$v = \sqrt{\frac{2m_B gh}{m_A + m_B}}$$

- 26 Un péndulo de 1 m de longitud se desplaza 40° respecto de la vertical y, desde ese punto, se suelta. Si en un punto de la vertical se interpone un clavo a cierta distancia, d ,

bajo el punto de sujeción, halla el ángulo de separación θ del hilo respecto de la vertical cuando llega al otro extremo, si:

- a) $d = 20$ cm
b) $d = 50$ cm
c) $d = 76,6$ cm
d) $d = 80$ cm



Como se recordará de los experimentos de Galileo sobre péndulos que se comentan en el Libro del alumno, el principio de conservación de la energía lleva a que la lenteja del péndulo, de la misma manera que en todos los casos llega abajo con la misma energía cinética que tenía en forma de potencial antes de caer, cuando vuelve a ascender lo hará hasta la misma altura de la que partió, precisamente por invertir esa energía cinética en potencial. Por lo tanto, una vez calculada esa altura (tomamos el punto más bajo como altura 0) mediante procedimientos trigonométricos, lo que queda es un ejercicio de resolución de triángulos con el que el alumnado de este nivel se encuentra perfectamente familiarizado.

$$h = 1 - 1 \cdot \cos 40^\circ = 0,234 \text{ m}$$

Por lo tanto, puesto que h es constante:

- a) $0,80 - 0,80 \cos \theta = 0,234 \Rightarrow \theta = 45^\circ$
b) $0,5 - 0,5 \cos \theta = 0,234 \Rightarrow \theta = 57,8^\circ$
c) $0,234 - 0,234 \cos \theta = 0,234 \Rightarrow \theta = 90^\circ$
d) $0,20 - 0,20 \cos \theta = 0,234 \Rightarrow \theta = 99,8^\circ$

- 27 Un muelle de constante elástica $K = 100$ N/m y longitud en equilibrio igual a 10 cm es comprimido 6 cm en posición vertical, estando su base fijada al suelo. Una vez liberado, impulsa verticalmente una canica de 10 g de masa. Responde:

- a) ¿A qué velocidad sale impulsada la canica?
b) ¿Hasta qué altura asciende la canica sobre el suelo?

- a) Al comprimir el muelle, éste adquiere energía potencial igual a $\frac{1}{2} Kx^2$ siendo $x = 0,06$ m la distancia que se com-

prime el muelle. Esta energía potencial es transferida a la canica en forma de energía cinética, de modo que, igualando ambas energías y despejando la velocidad inicial, se obtiene:

$$v_o = \sqrt{\frac{2 E_p}{m}} = 6 \text{ m/s}$$

- b) La altura máxima a la que asciende, teniendo en cuenta que parte de una altura inicial de 4 cm = 0,04 m (que puede despreciarse frente a la altura final) es:

$$y = y_o + \frac{v_o^2}{2g} = 1,87 \text{ m}$$

Energía y fuerzas disipativas

- 28 Si un coche se mueve con velocidad v y el coeficiente de rozamiento estático entre las ruedas y el suelo es μ_e , deduce, a partir de consideraciones energéticas, una expresión para la distancia mínima a la que el vehículo puede detenerse. Aplica al caso en que $v = 30$ m/s y $\mu = 0,5$.

El coche se detendrá cuando el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento estática entre ruedas y suelo anule la energía cinética que tenía inicialmente. Por tanto, $W_{\text{roz}} = \Delta E_c$.

Es decir:

$$-\mu mgd = 0 - \frac{1}{2} mv_0^2$$

De donde se obtiene:

$$d = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$

Como puede observarse, dicha distancia no depende de la masa del vehículo (cosa que suele sorprender a los alumnos y alumnas). De hecho, conviene informarles de que la forma de determinar la velocidad a la que iba un vehículo accidentado es midiendo la longitud de la huella dejada por las ruedas durante la frenada.

Sustituyendo los valores en la anterior expresión, se obtiene que la distancia de frenado es de 91,8 m.

29 ¿Es cierto que, a igual velocidad, un coche pesado recorre más distancia en la frenada que otro más ligero?

Como puede comprobarse a partir de la expresión deducida en la cuestión anterior, la proposición es falsa. A igualdad de velocidad, la distancia de frenada es la misma.

30 Demuestra que la altura a la que es capaz de ascender un cuerpo lanzado con velocidad v_0 desde la base de un plano inclinado α grados, y en el que μ es el coeficiente de rozamiento, viene dada por:

$$h' = \frac{h}{1 + \mu \cot \alpha}$$

donde h es la altura a la que llega el cuerpo sin rozamiento.

Si no existe rozamiento, el cuerpo ascenderá hasta que toda la energía cinética se haya transformado íntegramente en energía potencial:

$$\frac{1}{2} mv_0^2 = mgh$$

Por lo que:

$$h = \frac{v_0^2}{2g}$$

Si existe rozamiento, el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento será igual a la disminución de energía mecánica del sistema cuando haya llegado al punto de máximo ascenso. Entonces, el cuerpo habrá recorrido una distancia d a lo largo del plano, que se relaciona con la altura según:

$$d = \frac{h'}{\sin \alpha}$$

Por tanto:

$$\frac{-\mu mg \cos \alpha \cdot h'}{\sin \alpha} = mgh' - \frac{1}{2} mv_0^2$$

De donde obtenemos que:

$$h' = \frac{v_0^2}{2g \left(1 + \mu \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}\right)} = \frac{h}{1 + \mu \cot \alpha}$$

31 Un bloque de 3 kg situado a 4 m de altura se deja resbalar, sin rozamiento, por una rampa curva y lisa. Cuando llega al suelo, recorre 10 m sobre una superficie horizontal rugosa, hasta que se para. Calcula:

- La velocidad con que llega el bloque a la superficie horizontal.
- El trabajo que realiza la fuerza de rozamiento.
- El coeficiente de rozamiento con la superficie horizontal.

a) La energía potencial inicial se transforma íntegramente en cinética al llegar a la base del plano:

$$mgh = \frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow v = 8,85 \text{ m/s}$$

b) El trabajo realizado por el rozamiento a lo largo de los 10 m equivale a la pérdida de toda la energía mecánica que tenía, por lo que:

$$W_{\text{roz}} = -117,6 \text{ J}$$

c) Como $W_{\text{roz}} = 0 - \frac{1}{2} mv^2$, se obtiene:

$$-\mu mgd = -\frac{1}{2} mv^2 \Rightarrow \mu = \frac{v^2}{2gd} = 0,4$$

32 ¿Cuánto se comprimirá un muelle de constante de fuerza $k = 500 \text{ N/m}$ si lo situamos a 4 m del final de la rampa del ejercicio anterior? (El rozamiento actúa durante la compresión.)

Debemos calcular en primer lugar cuál es la energía cinética del cuerpo después de recorrer 4 m, cuando entra en contacto con el muelle. Dado que el W_{roz} equivale a la variación de la energía cinética a lo largo de los 4 m, tendremos:

$$E_{\text{cf}} - E_{\text{c0}} = W_{\text{roz}}$$

Por lo que:

$$E_{\text{cf}} = -0,4 \cdot 3 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 4 \text{ m} + 117,6 \text{ J} = 70,56 \text{ J}$$

Al entrar en contacto con el muelle, parte de la energía cinética se transforma en potencial elástica y otra parte se disipa en trabajo de rozamiento, por lo que:

$$\Delta E = W'_{\text{roz}}$$

Es decir:

$$\frac{1}{2} kx^2 - E_{\text{cf}} = -\mu mgx$$

A partir de los valores ofrecidos o calculados en el problema, obtenemos una ecuación de segundo grado en x de la forma:

$$250x^2 + 11,76x - 70,56 = 0$$

cuya solución es:

$$x = 0,5 \text{ m} = 50 \text{ cm}$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN FINAL (página 353)

1. ¿Cuál es el trabajo mecánico que se realiza al sostener un cuerpo de 20 kg de masa a 1,5 m de altura sobre el suelo?

No se realiza trabajo alguno, pues no hay desplazamiento.

2. Una fuerza constante de 20 N actúa sobre un cuerpo de 5 kg formando un ángulo de 60° con la dirección del desplazamiento. Si el cuerpo está en reposo y no hay fricción, ¿cuánto vale el trabajo realizado por dicha fuerza al cabo de 10 s? ¿Qué valor tiene la potencia desarrollada en W y CV?

La componente de fuerza que realiza el trabajo es:

$$F \cdot \cos 60 = 10 \text{ N}$$

Dado que no hay fricción, la aceleración que adquiere el bloque de 5 kg es de 2 m/s^2 . Por tanto, en 10 s recorrerá, con esa aceleración, una distancia de igual a 100 m. Por tanto, el trabajo realizado en ese tiempo es:

$$W = F \cos 60 \cdot d = 1000 \text{ J}$$

Y por tanto, la potencia desarrollada en ese tiempo será de 100 W, equivalentes a 0,136 CV

3. Teniendo en cuenta los datos del problema anterior, ¿qué energía cinética habrá adquirido el cuerpo a los 20 s? ¿Cuál será su velocidad en ese instante? Compara el resultado con el obtenido por métodos cinemáticos.

Considerando los datos del problema anterior referidos a 20 s, el espacio recorrido será de 400 m y, en consecuencia, el trabajo realizado sería de 4000 J. Este trabajo revierte en el consiguiente aumento de energía cinética, pues el bloque parte del reposo. Despejando la velocidad de la expresión de la energía cinética, se obtiene un valor de $v = 40 \text{ m/s}$.

Por procedimientos cinemáticos, teniendo en cuenta que parte del reposo, la velocidad se obtendría a partir de la expresión:

$$v = \sqrt{2as}$$

obteniéndose, obviamente, el mismo resultado.

4. Razona la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

- Si sobre un cuerpo en movimiento actúa una fuerza, siempre se realiza un trabajo.
- El trabajo realizado por cualquier fuerza equivale a la variación negativa de la energía potencial.
- El trabajo realizado por cualquier fuerza equivale a la variación de la energía cinética.
 - La propuesta es falsa. Solo se realiza trabajo si la fuerza actúa total o parcialmente en la dirección del desplazamiento.
 - También es falsa. Esa proposición es verdadera solo si las fuerzas son conservativas.
 - Esta afirmación es verdadera.

5. Deduce a cuántos julios equivalen 35 kW h (kilovatios hora).

$1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ equivale a $3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$, por lo que $35 \text{ kW} \cdot \text{h}$ son $1,26 \cdot 10^8 \text{ J}$

6. Razona la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

- Si solo actúan fuerzas conservativas, la energía cinética de un cuerpo no cambia.
- El trabajo realizado por una fuerza conservativa reduce la energía potencial asociada a dicha fuerza.
- El trabajo realizado por fuerzas no conservativas equivale a la variación de la energía total del sistema.
 - Es falsa. La energía cinética varía siempre que cualquier fuerza realice un trabajo.
 - Esta proposición es cierta.
 - Es incorrecta. La energía total del sistema no varía. El trabajo realizado por las fuerzas no conservativas equivale a la variación de la energía mecánica del sistema.

7. Contra un muelle de $k = 400 \text{ N/m}$ lanzamos un cuerpo de 1 kg sobre una superficie horizontal, sin fricción y con una velocidad de 3 m/s. ¿Qué longitud se comprimirá el muelle?

Toda la energía cinética del cuerpo, que, con los datos del problema, vale 4,5 J, se transforma en energía potencial elástica del muelle comprimido.

Igualando ambas formas de energía y despejando x , se obtiene que:

$$x = \sqrt{\frac{2 E_c}{k}} = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

8. Un cuerpo de 4 kg resbala por un plano que tiene una inclinación de 60° y 5 m de longitud. Si al final del plano su energía mecánica ha disminuido en 10 J, ¿cuánto vale el coeficiente de rozamiento?

El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento equivale a la disminución de la energía mecánica, de modo que:

$$\mu mg \cos 60 \cdot d = 10 \text{ J}$$

Despejando el valor de μ con los datos ofrecidos, se obtiene que éste vale 0,10.

9. Un muñequito oscila verticalmente unido a un resorte de constante elástica $k = 20 \text{ N/m}$. Si la distancia que recorre entre el punto más alto y el más bajo es de 15 cm, ¿cuánto vale el trabajo realizado por la fuerza elástica en una oscilación completa hasta el mismo punto inicial?

Dado que la fuerza elástica es conservativa, el trabajo realizado en una oscilación completa es nulo.

10. Un muelle de constante elástica $k = 120 \text{ N/m}$, sobre una superficie horizontal, es comprimido 8 cm de su posición de equilibrio. Una vez liberado, impulsa un cuerpo de 300 g de masa. Si el coeficiente de fricción con la superficie es de $0,5$, determina la velocidad con la que sale impulsado el cuerpo y la distancia que recorrerá hasta detenerse.

El trabajo realizado por la fuerza de rozamiento durante la descompresión del muelle equivale a la pérdida de energía mecánica del sistema muelle-cuerpo, de modo que:

$$\mu mg x = \frac{1}{2} k x^2 - \frac{1}{2} m v^2$$

Despejando v de la igualdad anterior y con los datos del problema, se obtiene que:

$$v = 1,33 \text{ m/s}$$

La distancia que recorrerá hasta detenerse (momento en que toda la energía cinética se ha disipado en forma de trabajo de rozamiento), viene dada por la expresión:

$$s = \frac{v^2}{2\mu g} = 0,18 \text{ m} = 18 \text{ cm}$$

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1 Calcula el trabajo realizado por fuerzas que actúan o no en la dirección del desplazamiento.	A: 1-4 ER: 1, 2 AT: 1-5	Realiza de manera adecuada los cálculos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Realiza los cálculos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Realiza los cálculos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
1.2 Determina el trabajo a partir de una gráfica fuerza - desplazamiento.	AT: 17	Determina de manera adecuada el trabajo, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Determina el trabajo de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Determina el trabajo con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1 Resuelve problemas relativos a la potencia y expresar esta en sus distintas unidades reconocidas.	A: 5-8 ER: 3 AT: 6-9	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1 Relaciona el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo con la variación de su energía mecánica en alguna de sus formas.	A: 9-16 ER: 2,5 AT: 10-19	Relaciona de manera adecuada el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo con la variación de su energía mecánica en alguna de sus formas.	Relaciona el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo con la variación de su energía mecánica en alguna de sus formas, aunque válida.	Relaciona el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo con la variación de su energía mecánica en alguna de sus formas con errores.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1 Estima la energía almacenada en un resorte en función de la elongación, conocida su constante elástica.	A: 15, 16 ER: 5 AT: 27	Estima la energía de manera adecuada, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Estima la energía de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Relaciona el trabajo que realiza una fuerza sobre un cuerpo con la variación de su energía mecánica en alguna de sus formas con errores.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1 Clasifica en conservativas y no conservativas, las fuerzas que intervienen en un supuesto teórico justificando las transformaciones energéticas que se producen y su relación con el trabajo.	A: 19 AT: 28-32	Clasifica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Clasifica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Clasifica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.1 Aplica el principio de conservación de la energía para resolver problemas mecánicos, determinando valores de magnitudes cinemáticas.	A: 17-21 ER: 4, 5, 6 AT: 20-32	Aplica de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Aplica los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Aplica los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Sobre cierto cuerpo actúa una fuerza neta que no realiza trabajo. Teniendo esto en cuenta, razona adecuadamente la veracidad o falsedad de cada uno de los siguientes postulados:
 - a) El cuerpo se moverá con movimiento rectilíneo uniforme.
 - b) El cuerpo no podrá moverse en línea recta.
 - c) Su energía cinética aumentará al actuar dicha fuerza.
 - d) Su energía mecánica se mantendrá constante.

La fuerza no realiza trabajo porque actúa perpendicularmente al desplazamiento en todo momento. En consecuencia, solo puede ser centrípeta y constante.

Así pues:

- a) Falso. Un cuerpo sometido a fuerza centrípeta no puede tener movimiento rectilíneo uniforme.
 - b) Cierto, por lo expuesto anteriormente. Su movimiento será circular uniforme.
 - c) Falso; puesto que la fuerza no realiza trabajo, no tiene componente tangencial que pueda producir aceleración. Por tanto, su energía cinética permanece constante.
 - d) Cierto. La ausencia de trabajo garantiza la conservación de su energía mecánica.
2. Se dice que un cuerpo tiene energía cinética o potencial con relación a un sistema de referencia en particular. Dada la relación entre trabajo y energía, ¿podemos entonces afirmar igualmente que los cuerpos «tienen» trabajo? Razona tu respuesta.

En absoluto. Los cuerpos no «tienen» ni «almacenan» trabajo. El trabajo no es una forma de energía más, sino que es un método para transferirla (de un cuerpo a otro) o variarla (en un mismo cuerpo de un punto a otro). Por tanto, solo tiene sentido hablar de «realización» de un trabajo como resultado de una interacción entre dos o más cuerpos.

3. Un camión tiene el doble de masa que otro más ligero; sin embargo, ambos tienen la misma cantidad de movimiento. Contesta y demuestra tus respuestas.
 - a) Si deseamos que ambos se detengan, ¿el trabajo requerido será igual o distinto?
 - b) En caso de que les aplicáramos la misma fuerza de frenado, ¿recorrerían igual o diferente distancia hasta pararse? Demuestra tu respuesta.
 - a) El trabajo requerido para frenarlos equivaldrá a la variación de energía cinética. Puesto que la E_c final es cero, la medida del trabajo vendrá dada por la E_c inicial. Como $E_c = p^2/2m$, y los dos camiones tienen el mismo valor de p , el de doble masa tendrá la mitad de energía cinética inicial, por lo que se precisa realizar la mitad de trabajo para frenar el camión más pesado.
 - b) Si la fuerza que actúa es la misma, el camión de doble masa recorrerá la mitad de distancia que el de menos masa, ya que el trabajo que ha de realizarse es la mitad.

4. El juego de los péndulos de la figura es un magnífico ejemplo de conservación del momento lineal. Podemos comprobar que si levantamos dos bolas y las soltamos, después del impacto saltan otras dos por el lado contrario, lo que demuestra la conservación del momento lineal. Sin embargo, también se conservaría si saliera una sola con el doble de velocidad. Entonces, ¿por qué eso no sucede nunca?



No puede suceder nunca porque se violaría otro principio fundamental: el de conservación de la energía. Si solo saliera una bola con el doble de velocidad, la energía cinética sería el doble que la que tenían las dos bolas iniciales en el momento del choque. La explicación es sencilla: si v es la velocidad de las dos al impactar, la energía cinética inicial es $1/2 (2m)v^2 = mv^2$, donde m es la masa de cada bola. Si solo saliera una bola con el doble de velocidad, su E_c sería $1/2 m (2v)^2 = 2mv^2$. Es decir, se habría duplicado la E_c .

5. Un péndulo está constituido por una cuerda de 3 m de longitud, de cuyo extremo pende una masa de 10 kg. Si apartamos el péndulo hasta formar un ángulo de 40° con la vertical y lo soltamos, determina:
 - a) La velocidad que llevará cuando se encuentre a 20° de la vertical.
 - b) Su velocidad al pasar por el punto más bajo.
 - a) La energía mecánica se conserva en todo el movimiento del péndulo. Por tanto:

$$mgh_0 = mgh_1 + 1/2 mv_1^2$$

donde:

$$h_0 \text{ es la altura inicial e igual a } L(1 - \cos 40) = 0,70 \text{ m}$$

$$h_1 = L(1 - \cos 20) = 0,18 \text{ m}$$

Despejando v_1 , obtenemos:

$$v = \sqrt{2g(h_0 - h_1)} = 3,19 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- b) Al pasar por el punto más bajo, la velocidad será:

$$v = \sqrt{2gh_0} = 3,7 \text{ m/s}$$

6. El caso del problema anterior hubiésemos empujado el péndulo comunicándole una velocidad inicial de 2 m/s, ¿qué ángulo máximo se habría apartado de la vertical al llegar al extremo opuesto? ¿Qué consideraciones referidas a la fuerza gravitatoria has tenido en cuenta para resolver este ejercicio y el anterior?

Aplicando el principio de conservación de la energía mecánica entre los dos extremos:

$$mgh_0 + \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh' \Rightarrow h' = h_0 + \frac{v_0^2}{2g} = 0,90 \text{ m}$$

Como $h' = L(1 - \cos \theta)$, entonces:

$$\theta = \arccos\left(1 - \frac{h'}{L}\right) = 45,6$$

Para resolver este problema y el anterior, hemos tenido en cuenta el carácter conservativo de la fuerza gravitatoria, bajo cuya exclusiva acción la energía mecánica del sistema permanece constante. Es decir, suponemos que hay ausencia de fricción.

7. Situados en una superficie horizontal, a una distancia de 5 m de la base de un plano inclinado que forma 20° con la horizontal, lanzamos un carrito con una velocidad de 10 m/s. Si el coeficiente de rozamiento con el suelo y el plano inclinado es 0,36, calcula hasta qué altura ascenderá por el plano referido.

Al final de la ascensión, el carrito solo tendrá energía potencial, determinada por la altura a la que se eleve. Puesto que el trabajo realizado por la fuerza de rozamiento a lo largo de todo el trayecto equivale a la variación (en este caso, disminución) de la energía mecánica, tenemos:

$$mgh - \frac{1}{2}mv_0^2 = -mg\left(d + \cos 20^\circ \frac{h}{\sin 20^\circ}\right)$$

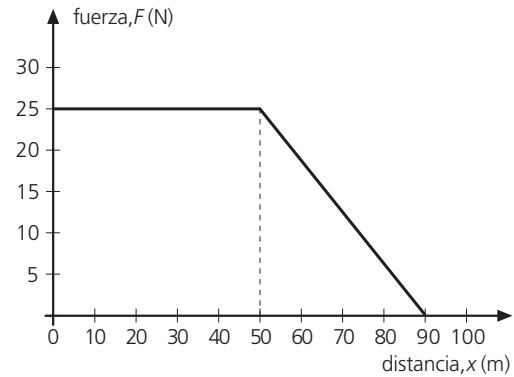
En esta expresión, $\frac{h}{\sin 20^\circ}$ es la distancia recorrida en el plano inclinado.

Si resolvemos h en la igualdad anterior, se obtiene:

$$h = \frac{v_0^2 - 2gd}{2g(1 + \cotg 20^\circ)} = 1,66 \text{ m}$$

8. En la gráfica se representa la evolución de la fuerza que ha actuado sobre un cuerpo de 100 kg de masa que se movía inicialmente a la velocidad de 1 m/s. A partir de ella, calcula:

- El trabajo realizado por dicha fuerza durante el trayecto.
- La energía cinética final del cuerpo si su movimiento ha tenido lugar por una superficie horizontal.
- La velocidad final que habrá adquirido.



- El trabajo realizado puede determinarse calculando el área encerrada bajo la gráfica, que resulta ser:

$$W = 25 \cdot 50 + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 40 = 1750 \text{ J}$$

- La energía cinética final será:

$$E_{cf} = E_{c0} + W = \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot 1^2 + 1750 = 1800 \text{ J}$$

- Su velocidad final es:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{cf}}{m}} = 6 \text{ m/s}$$

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

- El trabajo que realizamos cuando sostenemos un cuerpo de 20 kg a 1,5 m de altura sobre el suelo es:
 - 183 J
 - 0 J
 - 294 J
- Una fuerza constante de 20 N actúa sobre un cuerpo de 5 kg formando 60° con la dirección del desplazamiento. Si el cuerpo estaba en reposo y no hay fricción, el trabajo realizado por dicha fuerza al cabo de 10 s es:
 - 1000 J
 - 250 J
 - 345,6 J
- Con los datos de la pregunta anterior, la velocidad del cuerpo al cabo de los 10 s será:
 - 15 m/s
 - 40 m/s
 - 20 m/s
- Teniendo en cuenta la relación entre fuerza, trabajo y energía:
 - Si sobre un cuerpo en movimiento actúa una fuerza, entonces siempre se realiza un trabajo.
 - El trabajo realizado por cualquier fuerza equivale a la variación negativa de la energía potencial.
 - El trabajo realizado por cualquier fuerza equivale a la variación de la energía cinética.
- Un kilovatio por hora equivale a:
 - 735000 J
 - $3,6 \cdot 10^6$ J
 - 3600 J
- Teniendo en cuenta la relación entre fuerza conservativa y energía:
 - Si solo actúan fuerzas conservativas, la energía cinética de una partícula no cambia.
 - El trabajo realizado por una fuerza conservativa reduce la energía potencial asociada a dicha fuerza.
 - El trabajo realizado por fuerzas no conservativas equivale a la variación de la energía total del sistema.
- Contra un muelle de constante de fuerza $k = 400$ N/m, lanzamos un cuerpo de 1 kg sobre una superficie horizontal con una velocidad de 3 m/s. La compresión del muelle será de:
 - 15 cm
 - 25 cm
 - 40 cm
- Un cuerpo de 4 kg resbala por un plano que tiene una inclinación de 60° y 5 m de longitud. Si al final del plano su energía mecánica ha disminuido en 10 J, el valor del coeficiente de rozamiento es:
 - 0,25
 - 0,04
 - 0,10
- El trabajo realizado por la fuerza elástica en una oscilación completa de un muelle desde la posición inicial A hasta B y de nuevo a A, siendo x la distancia entre A y B y k la constante del muelle, vale:
 - $2 kx^2$
 - $4 kx^2$
 - cero
- ¿Cuál de las siguientes relaciones entre unidades equivale a 1 N?
 - J s^{-1}
 - kg m s^{-1}
 - $\text{J m}^{-1} \text{s}^{-2}$
 - W s m^{-1}
 - W m s^{-1}

15



ESTUDIO COMPLETO DEL MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

En la presente obra se ha optado por unificar en una sola unidad diversos contenidos que en Real Decreto aparecen en apartados distintos, como es el estudio cinemático del movimiento armónico simple (MAS), que aparece en el bloque de cinemática, el estudio dinámico del MAS, contemplado en el bloque de dinámica o el estudio energético del MAS, correspondiente al bloque de energía.

Hemos preferido hacerlo de esa manera por dos razones fundamentalmente; la primera es porque se unifica todo el estudio completo de un tipo de movimiento fundamental en una única unidad. La segunda, porque al hacerlo de esta manera permite al estudiante hacer una retroalimentación de conceptos, refrescando de nuevo los procedimientos cinemáticos y dinámicos empleados en unidades anteriores. Haciéndolo de esta manera pensamos que facilitamos también la tarea del profesorado, ofreciéndole una visión de conjunto de un tipo de movimiento esencial para la comprensión, por ejemplo, de fenómenos físicos como la corriente alterna o la propagación de ondas.

Existen diversas maneras de llegar a establecer la ecuación de un oscilador armónico. Si revisamos distintos libros, veremos que cada uno opta por un camino distinto. En este nivel suele ser habitual tratar el movimiento armónico simple como la proyección de un movimiento circular uniforme, dado el carácter periódico de ambos. Sin embargo, en nuestro caso se ha optado por otro punto de partida, entre otras cosas porque el movimiento oscilatorio es un movimiento con entidad propia y las condiciones en que se produce no guardan relación física con las que corresponden a un movimiento circular uniforme (en el epígrafe 5, sin embargo, se expone dicha relación). Aquí se ha preferido empezar analizando cómo es el movimiento armónico y su representación gráfica, para, a partir de ella, comprender fácilmente la expresión sinusoidal que lo representa.

En el estudio dinámico del movimiento armónico simple se ha simplificado al máximo el tratamiento matemático, teniendo presente que el alumnado no está bien familiarizado con el cálculo diferencial. Para ello se ha optado por una vía intermedia consistente en relacionar la aceleración correspondiente a la actuación de una fuerza restauradora tipo Hooke con la aceleración obtenida del análisis cinemático del MAS.

En el epígrafe 4 se analizan las transformaciones energéticas que tienen lugar en este movimiento, a la luz de los estudiado en la unidad precedente.

Por último, se introduce un apartado especial dedicado al movimiento del péndulo cuyo comportamiento armónico se restringe a ángulos de separación con la vertical muy pequeños. Finalmente, se dedica un apartado al estudio de los fenómenos de resonancia, fundamentales para entender, por ejemplo, el funcionamiento de los instrumentos musicales.

Objetivos

1. Conocer y manejar las ecuaciones que describen el movimiento de un oscilador armónico.
2. Deducir la ecuación de posición de un oscilador a partir de sus gráficas, y viceversa, representar las gráficas del movimiento a partir de las ecuaciones.
3. Entender los aspectos dinámicos que intervienen en el MAS y deducir de ellos sus características periódicas.
4. Entender el movimiento de un oscilador desde el punto de vista de la conservación de la energía.
5. Describir el movimiento de un péndulo en aproximación armónica.

Relación de la unidad con las competencias clave

La competencia lingüística está presente en la correcta interpretación del texto. La competencia matemática está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La competencia digital se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *Investiga y Física, Tecnología y Sociedad*. La competencia de aprender a aprender es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado.

Temporalización

Recomendable en seis sesiones lectivas.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD				
Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
Oscilaciones o vibraciones armónicas <ul style="list-style-type: none"> ¿Por qué se producen los movimientos oscilatorios? ¿Cuándo decimos que un movimiento oscilatorio es armónico? 	1. Reconocer el carácter periódico del MAS y relacionarlo con la fuerza restauradora de Hooke.	1.1 Diseña y describe experiencias que pongan de manifiesto el MAS y determina las magnitudes involucradas.	A: 2,5,9 ER: 1,3 AT: 1,2,5,6,8,9	CCL CD
Trabajo mecánico El movimiento armónico simple <ul style="list-style-type: none"> Formas de escribir la ecuación de un MAS Velocidad y aceleración en el MAS Gráficas de posición, velocidad y aceleración en el MAS 	2. Conocer el significado físico de los parámetros que describen el movimiento armónico simple (M.A.S) y asociarlo con el movimiento de un cuerpo que oscile.	2.1 Escribe la posición de un oscilador armónico conociendo la amplitud, la frecuencia, el período y la fase inicial. 2.2 Obtiene y relaciona las ecuaciones de posición, velocidad y aceleración y representarlas gráficamente en función del tiempo.	A: 1-10 ER: 1,2,3 AT: 3,4,6,7,9	CMCCT
Estudio dinámico del MAS <ul style="list-style-type: none"> Período y frecuencia del oscilador armónico 	3. Reconocer las características dinámicas del oscilador armónico.	3.1 Demuestra que la aceleración de un MAS es proporcional al desplazamiento utilizando la ecuación fundamental de la Dinámica. 3.2 Deduce el período y la frecuencia del MAS.	A: 11-13 AT: 10-14	CMCCT
Estudio energético del MAS <ul style="list-style-type: none"> Conservación de la energía mecánica del oscilador armónico 	4. Conocer las transformaciones energéticas que tienen lugar en un oscilador armónico.	4.1 Calcula las energías cinética, potencial y mecánica de un oscilador armónico aplicando el principio de conservación de la energía y realizar la representación gráfica correspondiente.	A: 14-16 AT: 15-20	CMCCT CD
Relación entre el MAS y el MCU	5. Interpretar el MAS como una proyección unidimensional del MCU.	5.1 Resuelve la posición, velocidad y aceleración de un MAS a partir de la proyección de las magnitudes del MCU.	A: 17-21 ER: 4, 5, 6 AT: 20-32	CMCCT CD CAA
Un ejemplo de oscilador: el péndulo simple	6. Reconocer el rango de validez del péndulo como oscilador armónico. 7. Interpretar correctamente las fuerzas que actúan en un péndulo simple.	6.1 Obtiene los valores de período y frecuencia de un péndulo simple relacionándolos con las variables correspondientes.	A: 17-19 AT: 21-23	CMCCT CD
Oscilaciones forzadas y fenómenos de resonancia <ul style="list-style-type: none"> Fenómeno de resonancia 	8. Entender cómo se producen los fenómenos de resonancia.	8.1 Pone ejemplos que pongan de manifiesto los fenómenos de resonancia.	* Ver recursos digitales de este epígrafe	CAA

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: Entender el movimiento armónico simple

Simulador: Oscilaciones amortiguadas

Vídeo: El movimiento armónico simple en 5 minutos

Animación: Movimiento armónico simple

Simulador: Gráficas del MAS (I y II)

Vídeo: Descripción y ecuaciones del MAS

Enlace web: Movimiento armónico simple

Animación: Cinemática del MAS con ejercicios resueltos

Vídeo: Muelles y péndulos (W. Lewin)

Animación: Dinámica del MAS con ejercicios resueltos

Simulador: Gráficas de energía en el MAS

Animación: Energía en el MAS con ejercicios resueltos

Simulador:

1. Proyección del movimiento circular uniforme;
2. MAS y movimiento circular uniforme

Unidad 15: Estudio completo del movimiento armónico simple

1. Oscilaciones o vibraciones armónicas

- 1.1. ¿Por qué se producen los movimientos oscilatorios?
- 1.2. ¿Cuándo decimos que un movimiento oscilatorio es armónico?

2. El movimiento armónico simple

- 2.1. Formas de escribir la ecuación de un movimiento armónico simple
- 2.2. Velocidad y aceleración en el movimiento armónico simple
- 2.3. Gráficas de posición, velocidad y aceleración en el movimiento armónico simple

3. Estudio dinámico del movimiento armónico simple

- 3.1. Período y frecuencia del oscilador armónico

4. Estudio energético del movimiento armónico simple

- 4.1. Conservación de la energía mecánica del oscilador armónico

5. Relación entre el movimiento armónico simple y el movimiento circular uniforme

Presentación

Documento: Biografía: Robert Hooke.

Documento: Movimiento vibratorio armónico simple.

Actividades de ampliación: Investiga: Período de un oscilador constituido por un muelle y una masa.

Actividades de ampliación: Investiga: Período de oscilación en péndulos simples.

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, M. y FINN, E.J. *Física*. Addison-Wesley Longman. México 2000. Clásico de referencia en cualquier tema de Física. Tratamientos buenos y rigurosos.

FRENCH, A. P. *Vibraciones y ondas (curso de Física del MIT)*. Editorial Reverté. 1988. Excelente libro sobre la materia que atañe a esta unidad.

HECHT, E. *Física en perspectiva*. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1987. Uno de los libros de Física más amenos que se han escrito. Aborda la comprensión de la Física desde un punto de vista conceptual. Se trata de un libro «casi de lectura» con muy pocas fórmulas.

HEWITT, P. G. *Física conceptual*. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1995. Se trata de un libro muy recomendable para la comprensión conceptual de la Física. Su lectura amena y la escasez de fórmulas hacen de este libro un material a recomendar a aquellos alumnos y alumnas que sientan interés por la Física.

TIPLER, P. A. *Física*. Editorial Reverté (3ª edición). Barcelona 1995. Clásico de referencia obligada.

Simulador: 1. Ley del péndulo; 2. Influencia de g en el movimiento del péndulo

Práctica de laboratorio: Período de oscilación en péndulos simples.

Vídeo: 1. Resonancia (P. Hewitt); 2. Colapso del puente de Tacoma

Vídeo: Relojes atómicos

Simulador: Laboratorio virtual de masas y muelles
Práctica de laboratorio: Energía mecánica en el movimiento del péndulo simple

Tests de autoevaluación interactivos

6. Un ejemplo de oscilador: el péndulo simple

7. Oscilaciones forzadas y fenómenos de resonancia

7.1. Fenómeno de resonancia

Física, tecnología y sociedad

Las oscilaciones que marcan nuestro ritmo

Técnicas de trabajo y experimentación

Período de un oscilador constituido por un muelle y una masa

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Actividades de ampliación: Investiga: Energía mecánica en el movimiento del péndulo simple.

Documento: Consecuencias de la resonancia.

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

Educaplus

<http://www.educaplus.org/>
Excelente web con buenos simuladores.

Paul G. Hewitt

<https://goo.gl/C6cKsb>
Canal de Youtube con los interesantes vídeos del profesor Paul G. Hewitt. En inglés.
<http://www.sc.edu/es/bweb/fisica/> (Curso interactivo de Física con ejercicios y simulaciones java)

Físicalab

<https://www.fisicalab.com>
Página web con propuestas de ejercicios.

Walter Lewin

http://videolectures.net/walter_h_g_lewin/
Canal con las interesantes lecciones del profesor Walter H.G. Lewin del MIT (en inglés).
<https://phet.colorado.edu/es>
Colección de simuladores.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

TRABAJO Y ENERGÍA MECÁNICA

Se sugiere la lectura del texto introductorio acompañado del video propuesto que ilustra el texto. Posteriormente deben plantearse las cuestiones previas que nos permitirán desvelar algunos equívocos frecuentes.

Vídeo:

ENTENDER EL MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

1. Oscilaciones o vibraciones armónicas

Las conclusiones que deben extraer los alumnos de este apartado son básicamente dos:

- Un movimiento oscilatorio tiene lugar cuando un cuerpo es apartado de su posición de equilibrio estable.

En estas circunstancias, aparecen fuerzas restauradoras sobre el sistema que tienden a devolverlo a su posición original. La acción de estas fuerzas y la inercia del cuerpo explican el movimiento oscilatorio.

- El movimiento oscilatorio es de tipo armónico si las fuerzas restauradoras que operan sobre el sistema son de tipo Hooke (dependientes linealmente con la distancia y opuestas a la separación).

Vídeo:

EL MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE EN 5 MINUTOS

Enlace web con simulador:
OSCILACIONES AMORTIGUADAS

2. El movimiento armónico simple

En este apartado es fundamental que se llegue a una comprensión total acerca de las distintas maneras de escribir la ecuación de un oscilador armónico expuestas en el texto. Sin embargo, los alumnos deben ser capaces de escribir la ecuación en función de las condiciones que se especifiquen en un problema, como el sentido en el que comienza a oscilar el cuerpo, por ejemplo. Para ello, podrá introducirse la constante de fase pertinente, según se emplee la función seno o coseno. Es muy importante trabajar las distintas formas que se abordan en la página 358. Para ello es necesario un buen grado de conocimientos de trigonometría y las relaciones esenciales que pueden establecerse a partir de la circunferencia goniométrica.

Para los apartados de velocidad y aceleración del MAS, es absolutamente necesario haber trabajado bien el apartado 7.3. de las Herramientas matemáticas, particularmente en lo que se refiere al uso de la regla de la cadena y las estrategias de resolución 4 y 5 que se exponen en la unidad. Sólo de esa manera podrán entender y resolver correctamente velocidades y aceleraciones a partir de la ecuación de posición.

A su vez, como ya se ha mencionado, uno de los objetivos fundamentales que debe trabajarse en este apartado es el de las representaciones gráficas de las magnitudes cinemáticas del movimiento, así como la obtención de sus ecuaciones a partir de dichas representaciones.

Enlace web con simulador:
GRÁFICAS DEL MAS (I YII)

Animación:
**CINEMÁTICA DEL MAS
CON EJERCICIOS RESUELTOS**

Enlace web:
MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

Vídeos:
DESCRIPCIÓN Y ECUACIONES DEL MAS

3. Estudio dinámico del MAS

Como se ha comentado ya, esta sería la forma adecuada de comenzar para obtener la ecuación de posición del oscilador armónico. Dado que en este nivel los alumnos no han resuelto ecuaciones diferenciales, basta con utilizar la demostración que se hace en el libro de que una ecuación como la que hemos elegido es una solución de la ecuación siempre y cuando se considere la relación entre la frecuencia angular del oscilador y las características físicas del oscilador (m y k). De ese modo, a su vez, podemos obtener las características periódicas del movimiento.

Animación:
DINÁMICA DEL MAS CON EJERCICIOS RESUELTOS

Vídeo (en inglés):
MUELLES Y PÉNDULOS (W. LEWIN)

4. Estudio energético del MAS

Debe trabajarse el estudio de las variaciones de la energía mecánica (cinética y potencial) en sus dos variantes:

- variación temporal (en función de t).
- variación espacial (en función de la posición).

Enlace web con simulador:
GRÁFICAS DE ENERGÍA EN EL MAS

Animación:
ENERGÍA EN EL MAS CON EJERCICIOS RESUELTOS

5. Relación entre el MAS y el MCU

En este apartado se expone un procedimiento alternativo para obtener, a partir de las proyecciones de un movimiento circular uniforme, las ecuaciones del movimiento armónico simple, ya deducidas en epígrafes anteriores. Para ello se comienza planteando una pregunta referente a las informaciones habituales publicadas en revistas de astronomía sobre las posiciones de los satélites de Júpiter.

Enlace web con simulador:
**PROYECCIÓN DEL MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME
MAS Y MOVIMIENTO
CIRCULAR UNIFORME**

6. Un ejemplo de oscilador: el péndulo simple

Al empezar a abordar el movimiento del péndulo simple, debemos hacer una llamada de atención muy importante sobre un error habitual: la componente radial del peso cuando el péndulo se halla en movimiento no es igual a la tensión de la cuerda, sino ligeramente menor. Hay que recalcar este hecho, pues es un error bastante extendido considerar que son iguales. Esa consideración no serviría para explicar la descripción de arcos de circunferencia por la masa del péndulo, lo que exige una fuerza centrípeta neta que es la resultante de la tensión y la componente radial del peso. La igualdad entre ambas fuerzas solo existiría en situación de reposo en la posición de equilibrio, pero nunca en movimiento. No obstante, para los cometidos de este punto fijaremos nuestra atención en la componente tangencial del peso como fuerza restauradora.

También es importante insistir en la validez de la aproximación armónica en el caso del péndulo, planteada en el texto.

Enlace web con simulador:
**LEY DEL PÉNDULO
INFLUENCIA DE g EN EL MOVIMIENTO
DEL PÉNDULO**

7. Oscilaciones forzadas y fenómenos de resonancia

El fenómeno de la resonancia es de suma importancia en el mundo de la física. Así, por ejemplo, los instrumentos constan de cavidades resonantes cuyo cometido es amplificar determinadas frecuencias.

La resonancia es un fenómeno que hay que tener muy en cuenta por los riesgos que puede entrañar. Nuestro cuerpo presenta determinados modos normales de vibración, de modo que ciertas vibraciones externas, como pueden ser las de algunas máquinas, pueden llegar a producir efectos peligrosos.

Un interesante caso de resonancia natural es el de las impresionantes mareas en la bahía de Fundy, en Canadá. El período entre las sucesivas olas de marea alta coincide con el período natural debido a las dimensiones de la bahía (tiempo que tarda el agua que penetra en ella en ir y volver rebotado). De ese modo se produce el fenómeno de resonancia que da lugar a esas espectaculares mareas. Puede pedirse a los alumnos un trabajo de investigación sobre ese hecho.

Vídeo:
RESONANCIA (PAUL G. HEWITT)

Vídeo:
COLAPSO DEL PUENTE DE TACOMA

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 354/371)

Comprueba lo que sabes

1. ¿Cómo definirías un movimiento oscilatorio? ¿Se trata de un movimiento periódico?

La pregunta tiene por objetivo verificar si los alumnos tienen una idea previa acerca de lo que es un movimiento oscilatorio.

2. ¿Qué fuerza hace que oscile un cuerpo unido a un muelle horizontal? ¿Qué fuerza hace que oscile un péndulo simple?

Dado que se han estudiado las fuerzas restauradoras, en el caso del muelle no debería haber dudas en la contestación. Más interesante es el análisis de cuál es la fuerza restauradora en el caso el péndulo (la componente tangencial del peso).

3. La distancia entre los extremos de la oscilación de un péndulo va disminuyendo con el tiempo debido a la fricción con el aire. ¿Cómo crees que afecta ese hecho a cada una de las siguientes magnitudes: energía mecánica, periodo y frecuencia?

Se pide que aventuren una respuesta que será analizada en la unidad. La amplitud solo afecta a la energía mecánica del oscilador.

Actividades

- 1 Se hace oscilar desde la posición de equilibrio un cuerpo unido a un muelle horizontal, de modo que la separación máxima de dicha posición es de 3 cm. Si se han contado 20 oscilaciones en 5 s, ¿cuál es la ecuación representativa de dicho movimiento?

La amplitud o máxima elongación es $A = 3$, mientras que el periodo vale:

$$T = \frac{5}{20} = 0,25 \text{ s} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} = 8\pi \text{ rad/s}$$

Si deseamos representar la ecuación en función del seno, será:

$$x = 3 \text{ sen } 8\pi t \text{ cm}$$

Si lo hacemos en función del coseno, puede escribirse del siguiente modo:

$$x = 3 \cos(8\pi t \pm \pi/2) \text{ cm}$$

- 2 Indica cómo convendría escribir la ecuación del movimiento anterior si el cuerpo comienza a oscilar hacia la izquierda. ¿Y si lo hace hacia la derecha?

Si queremos dar la información completa, incluyendo el sentido inicial del movimiento, es conveniente usar la ecuación en forma de coseno. Si el cuerpo comienza a moverse hacia la izquierda (x negativas), la ecuación es:

$$x = 3 \cos(8\pi t - \pi/2) \text{ cm}$$

- 3 ¿Qué ecuaciones representan los movimientos 1 y 2 de la figura 15.16?

¿Cuál es el desfase, o diferencia de fase, entre ambos?

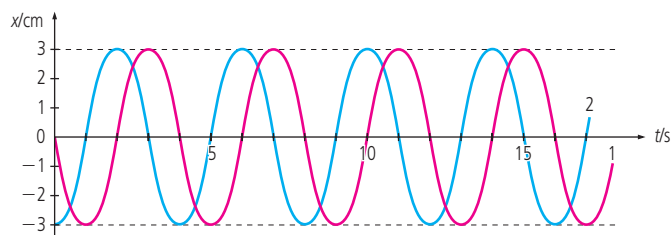


Figura 15.16.

En ambos movimientos, $A = 3$ cm y $T = 4$ s, por lo que:

$$\omega = \pi/2 \text{ rad/s}$$

en consecuencia, la ecuación que representa el movimiento 1 es:

$$x_1 = 3 \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm}$$

mientras que el movimiento 2 se representa por:

$$x_2 = 3 \cos\left(\frac{\pi}{2}t - \pi\right) \text{ cm}$$

El desfase entre ambos es, por tanto, de $\pi/2$ rad.

- 4 ¿Cuál es la ecuación del MAS representado en la siguiente gráfica?

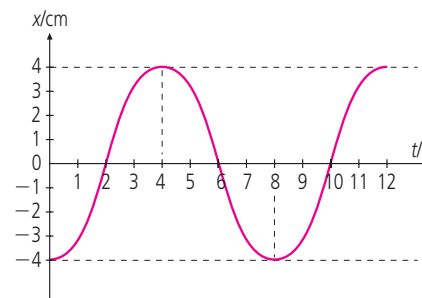


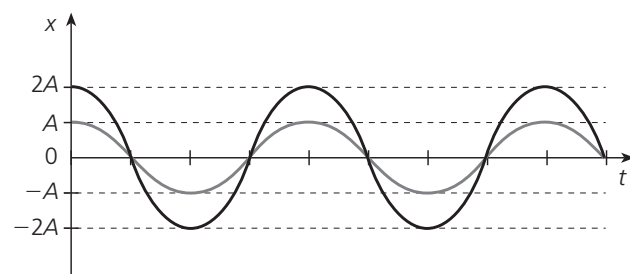
Figura 15.15.

Puesto que $A = 4$ cm, $T = 8$ s y $\omega = \pi/4$ rad/s, la ecuación puede escribirse como:

$$x = 4 \text{ sen}\left(\frac{\pi}{4}t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ cm}$$

- 5 Representa en una misma gráfica los movimientos de dos osciladores del mismo periodo, uno con doble amplitud que otro, que comienzan a oscilar desde el extremo positivo.

La representación gráfica pedida se puede observar en la siguiente figura:



6 Comprueba la validez de las ecuaciones de posición de los cuatro casos expuestos en la página anterior, teniendo en cuenta los tiempos que se indican y sustituyendo por $2\pi/T$ en cada una de las expresiones dadas.

Si partimos de la posición de equilibrio hacia la derecha, la oscilación viene dada por la siguiente expresión:

$$x = A \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} t$$

Sustituimos los distintos valores de t :

■ Cuando $t = 0$, $x = 0$.

■ Cuando $t = T/4$, $x = A \operatorname{sen} \frac{2\pi T}{T \cdot 4} = A$.

■ Cuando $t = T/2$, $x = A \operatorname{sen} \pi = 0$.

■ Cuando $t = 3T/4$, $x = A \operatorname{sen} \frac{2\pi \cdot 3T}{T \cdot 4} = -A$.

7 Un cuerpo unido a un muelle comienza a oscilar horizontalmente desde su posición extrema, a 4 cm de la posición de equilibrio, con un periodo de 0,3 s. Calcula:

a) Su velocidad al pasar por la posición de equilibrio.

b) Su velocidad cuando $x = 2$ cm.

Con los datos ofrecidos, podemos deducir que $A = 4$ cm y

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 20,9 \text{ rad/s.}$$

a) La velocidad del cuerpo al pasar por la posición de equilibrio es máxima y vale:

$$v = \omega A = 83,6 \text{ cm/s}$$

b) Cuando pasa por $x = 2$ cm, la velocidad será:

$$v = \omega \sqrt{A^2 - x^2} = 72,4 \text{ cm/s}$$

8 Determina la aceleración en los extremos, y en las posiciones $x = 2$ cm, y $x = 1$ cm, de un oscilador armónico que tenga las características expuestas en la actividad anterior.

En los extremos, la aceleración es máxima y vale:

$$a = -\omega^2 A = \pm 17,48 \text{ m/s}^2$$

En $x = 2$ cm = 0,02 m valdrá:

$$a = -\omega^2 x = -8,74 \text{ m/s}^2$$

Mientras que en $x = 1$ cm = 0,01 m será:

$$a = -\omega^2 x = -4,37 \text{ m/s}^2$$

9 Explica como varían la velocidad y la aceleración máximas de un oscilador:

a) Si se duplica la amplitud sin modificar el periodo.

b) Si se duplica la frecuencia sin modificar la amplitud.

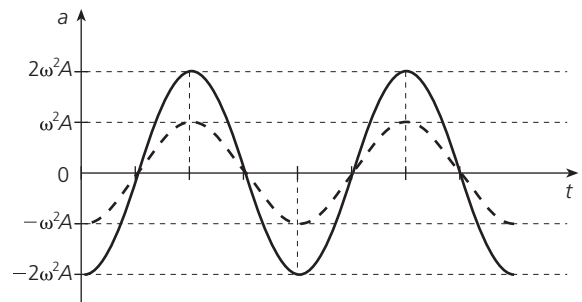
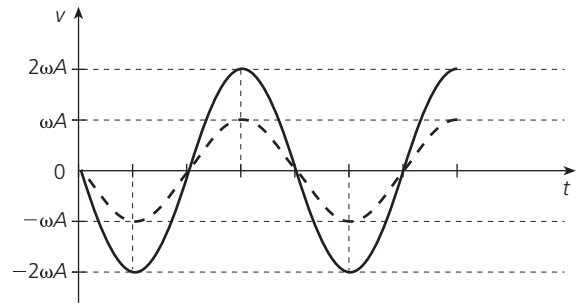
c) Haz las gráficas comparativas con la oscilación normal.

Las expresiones de la velocidad y de la aceleración máximas son, respectivamente:

$$v_{\text{máx}} = \pm \omega A$$

$$a_{\text{máx}} = -\omega^2 A$$

a) Al ser $\omega = 2\pi/T$, este factor se mantendrá constante si T no cambia. Teniendo esto en cuenta, al duplicar A , se duplicarán $v_{\text{máx}}$ y $a_{\text{máx}}$; las nuevas gráficas quedan representadas por las líneas continuas (las líneas de trazos representan las originales).



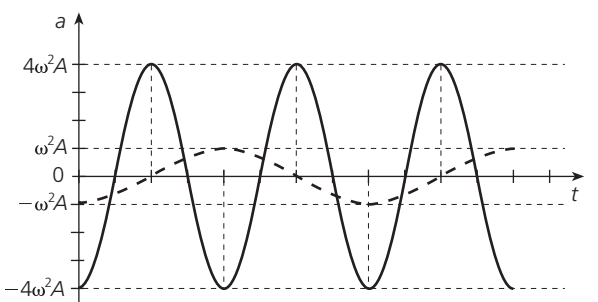
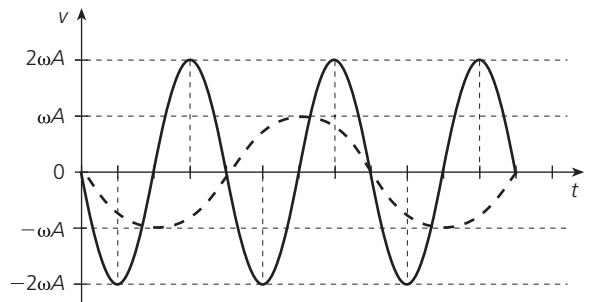
b) Escribiendo las expresiones en función de la frecuencia, tenemos:

$$v_{\text{máx}} = 2\pi f A \quad a_{\text{máx}} = -4\pi^2 f^2 A$$

Por tanto, al duplicar f sin variar A , $v_{\text{máx}}$ se duplica y $a_{\text{máx}}$ se cuadruplica.

Por otro lado, al duplicar f , T se reduce a la mitad; las nuevas gráficas son las que aparecen representadas por las líneas continuas (las líneas de trazos representan las originales).

La gráficas correspondientes a la velocidad y a la aceleración serán:



- 10 Representa las gráficas de posición, velocidad y aceleración frente al tiempo de un cuerpo unido a un muelle que comienza a oscilar horizontalmente desde un extremo situado a 5 cm de la posición de equilibrio, con una frecuencia de 5 Hz.

La ecuación de posición para $\omega = 2\pi f = 10\pi \text{ rad/s}$ y $A = 5 \text{ cm}$, será:

$$x = 5 \cos 10\pi t \text{ cm}$$

Por tanto:

$$v = \frac{dx}{dt} = -50\pi \sin 10\pi t \text{ cm/s}$$

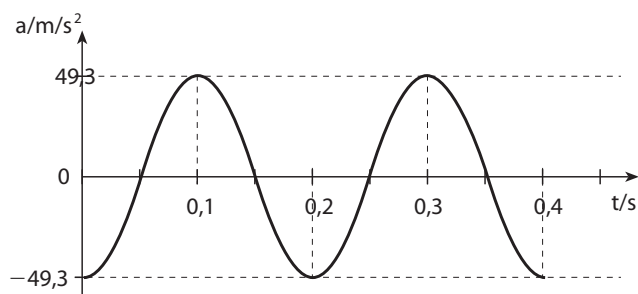
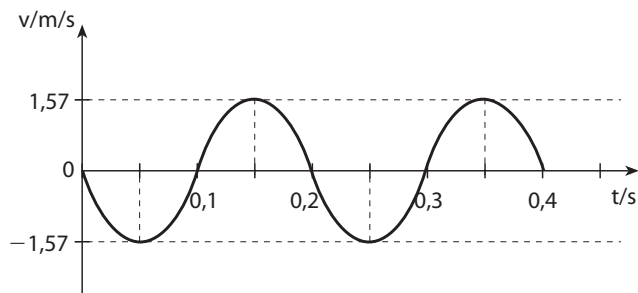
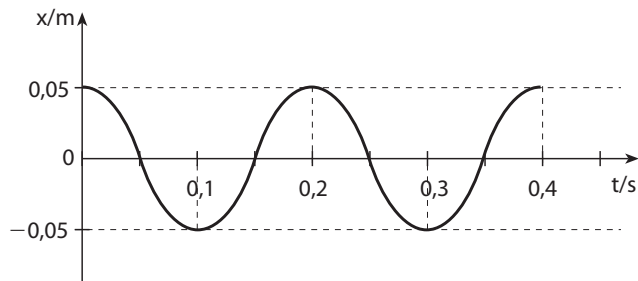
mientras que:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -500\pi^2 \cos 10\pi t \text{ cm/s}^2$$

donde:

$$v_{\text{máx}} = \pm\omega A = \pm 50\pi \text{ cm/s} = \pm 1,57 \text{ m/s}$$

$$a_{\text{máx}} = \pm\omega^2 A = \pm 500\pi^2 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = \pm 49,3 \text{ m/s}^2$$



- 11 Razona cómo podríamos comparar masas midiendo sus frecuencias de oscilación al colgarlas de un mismo resorte.

Si colgamos las masas de un mismo resorte (misma k), se cumplirá en ambos osciladores que: $\omega^2 = k/m$ y $\omega'^2 = k/m'$

Por tanto, $m\omega^2 = m'\omega'^2$, y como, además, $\omega = 2\pi f$, se concluye:

$$\frac{m}{m'} = \frac{f'^2}{f^2}$$

Así, la relación entre las masas es igual a la relación inversa entre los cuadrados de las frecuencias de oscilación.

- 12 La frecuencia de oscilación de cierta masa m en un resorte es el triple que la de otra masa m' . ¿Qué relación guardan ambas entre sí?

Según se desprende de la expresión anterior, m será la novena parte de m' , es decir:

$$m = \frac{1}{9} \cdot m'$$

- 13 Un oscilador consistente en una masa unida a un resorte horizontal de constante restauradora $k = 100 \text{ N/m}$ se mueve según la ecuación:

$$x = 6,5 \cos 5\pi t \text{ cm}$$

- ¿Cuál es la masa del oscilador?
 - ¿Cuál es la frecuencia de oscilación?
 - ¿Cuál es la velocidad máxima de su movimiento?
 - ¿Cuál es la velocidad cuando la elongación es igual a la mitad de la amplitud?
 - ¿Cuál es su aceleración máxima?
- a) De la ecuación $x = 6,5 \cos 5\pi t$ se deduce que: $A = 6,5 \text{ cm}$ y $\omega = 5\pi \text{ rad/s}$.

Dado que $\omega^2 = k/m$, podemos determinar m :

$$m = \frac{k}{\omega^2} = \frac{100}{25\pi^2} = 0,40 \text{ kg}$$

- b) La frecuencia de oscilación es:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 2,5 \text{ Hz}$$

- c) La velocidad máxima de su movimiento es:

$$|v_{\text{máx}}| = \omega A = 102,1 \text{ cm/s} = 1,02 \text{ m/s}$$

- d) Cuando la elongación es la mitad de la amplitud, la velocidad es:

$$v = \omega \sqrt{A^2 - \left(\frac{A}{2}\right)^2} = \sqrt{\frac{3}{4}} v_{\text{máx}} = 88,4 \text{ cm/s} = 0,884 \text{ m/s}$$

- e) La aceleración máxima es:

$$|a| = \omega^2 A = 16 \text{ m/s}^2$$

- 14 Si la amplitud de un cuerpo que oscila con MAS es A , determina en qué punto sus energías cinética y potencial son iguales.

Su energía total es $\frac{1}{2}kA^2$. El punto en el que la energía po-

tencial se iguala con la cinética será aquel en el que ambas expresiones valgan la mitad de la energía total. Por tanto:

$$E_p = E_{\text{total}}/2.$$

Es decir:

$$\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}kA^2\right)$$

Resolviendo, obtenemos:

$$x = \frac{A}{\sqrt{2}} = 0,71 \cdot A$$

- 15 Un cuerpo de 5 kg choca a 10 m/s contra un muelle de constante elástica $k = 25 \text{ N/m}$. El coeficiente de rozamiento entre el bloque y la superficie es de 0,2. Calcula la longitud que se comprime el muelle si consideramos su masa despreciable.

Al chocar el cuerpo contra el muelle y comprimirlo, parte de la energía mecánica se disipa en forma de trabajo de rozamiento (no conservativo). Dicho trabajo es igual a la variación de energía mecánica del sistema:

$$W_{\text{roz}} = \Delta E$$

por tanto:

$$-F_r x = E_f - E_0$$

El punto final es el de máxima compresión del muelle, arrastrado por la masa de 5 kg. En ese punto, la energía mecánica del sistema es la energía potencial elástica del muelle comprimido, mientras que la energía mecánica inicial era la cinética del cuerpo. Así pues:

$$-F_r x = \frac{1}{2}kx^2 - \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow -\mu mgx = \frac{1}{2}kx^2 - \frac{1}{2}mv^2$$

de donde:

$$\frac{1}{2}kx^2 + \mu mgx - \frac{1}{2}mv^2 = 0$$

Sustituyendo los datos, llegamos a:

$$12,5x^2 + 9,8x - 250 = 0$$

Resolviendo, obtenemos:

$$x = 4,097 \text{ m}$$

- 16 Un cuerpo de 1,4 kg de masa se conecta a un muelle de constante elástica 15 N/m, y el sistema oscila tal como indica la figura 15.23, con amplitud de 2,0 cm. Calcula:

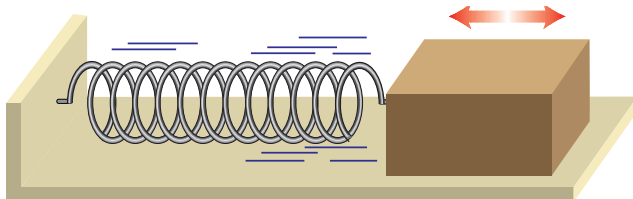


Figura 15.23.

- a) La energía total del sistema.

- b) La energía cinética y la potencial cuando el desplazamiento del cuerpo es de 1,3 cm.

- c) La velocidad máxima del cuerpo.

- a) La energía total del sistema viene dada por:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

- b) Cuando $x = 13$, la velocidad del cuerpo es:

$$v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$$

donde:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 3,27 \text{ rad/s}$$

Por tanto:

$$v = \pm 4,97 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

En consecuencia, la energía cinética en ese punto es:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = 1,73 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

y la energía potencial es:

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Puede observarse que la suma de ambos términos da como resultado el valor calculado en el apartado a).

- c) La velocidad máxima del cuerpo es:

$$v = \omega A = 6,54 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

- 17 ¿Cómo varía el periodo de un péndulo al duplicar la longitud? ¿Y al disminuirla a una tercera parte de su longitud original?

Puesto que el periodo de un péndulo es:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

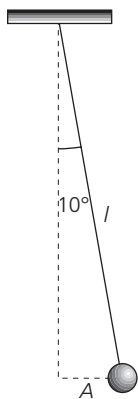
al duplicar la longitud, l , el periodo aumenta en un factor $\sqrt{2}$. Al reducir la longitud inicial hasta $1/3$, el periodo disminuye en un factor $1/\sqrt{3}$.

- 18 ¿Bajo qué condiciones podemos decir que un péndulo simple oscila de forma armónica? ¿Cuál es la fuerza restauradora en el caso del péndulo simple?

Un péndulo simple puede considerarse como un oscilador armónico solo si oscila con amplitudes pequeñas. La fuerza restauradora es la componente tangencial del peso, que actúa en la dirección del movimiento.

- 19 Se deja oscilar libremente un péndulo de 2 m de longitud después de haberlo desplazado 10° hacia la derecha de la vertical. ¿Cuál es la ecuación que nos da la elongación en función del tiempo? ¿Cuáles son el periodo y la frecuencia de oscilación de dicho péndulo?

La siguiente figura ilustra el enunciado del problema:



Como se observa en ella:

$$A = l \operatorname{sen} 10^\circ = 0,35 \text{ m}$$

A su vez, dado que $\omega = \sqrt{g/l}$, su valor es:

$$\omega = 2,2 \text{ rad/s}$$

Por tanto, la ecuación de movimiento del péndulo es:

$$x = A \operatorname{sen} \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = 0,35 \operatorname{sen} \left(2,2 t + \frac{\pi}{2} \right) \text{ m}$$

El período de dicho movimiento vale:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2,84 \text{ s}$$

De este modo, la frecuencia será:

$$f = \frac{1}{T} = 0,35 \text{ Hz}$$

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 372)

Análisis

- 1 ¿En qué propiedad del cuarzo se basan los relojes de cuarzo? Descríbela.
En las propiedades piezoeléctricas del cuarzo. Se describe en el tercer párrafo del texto.
- 2 ¿Cómo aparece la estructura hiperfina del nivel 6s del átomo de cesio 133?
Como se describe en el último párrafo del texto, la estructura hiperfina se debe a la interacción del espín electrónico y el nuclear.

Propuesta de investigación

- 3 Busca información e imágenes en Internet y elabora una presentación acerca de alguno de los siguientes temas:
 - a) Efecto piezoléctrico del cuarzo y su aplicación.
 - b) Funcionamiento de un reloj atómico de cesio 133.
 Los alumnos deben realizar este trabajo a partir de la documentación que encuentren en internet sobre los mencionados proyectos que deben elegir.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 373)

- 1 ¿Depende el período de la amplitud de la oscilación?
No debe encontrarse dependencia entre el período y la amplitud de oscilación.
- 2 Representa gráficamente, para la primera parte, la masa frente al período y, para la segunda, la constante elástica frente al período. ¿Qué conclusiones obtienes?
Obviamente, con dos puntos no puede extraerse conclusión válida alguna sobre la forma de la dependencia de las magni-

tudes solicitadas. Se sugiere usar más masas y muelles de distintas constantes elásticas y solicitar que representen también el período frente a la raíz cuadrada de la masa y la constante elástica.

- 3 ¿Cambia el valor de la constante del muelle si se corta este por la mitad? En caso afirmativo, ¿de qué manera se modifica el período?
Como se vio ya en la actividad 5 de la unidad 13, la constante se duplica.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS FINALES (páginas 376/377)

El movimiento armónico simple

- 1 Razona cómo son los movimientos de dos osciladores armónicos idénticos que oscilan con un desfase de π radianes. ¿En qué punto de la trayectoria se cruzan?
Un ejemplo de movimiento de dos osciladores armónicos idénticos que oscilan con un desfase de π radianes sería el caso de dos osciladores que parten de extremos opuestos o que, partiendo de la posición de equilibrio, comienzan a oscilar en sentidos opuestos. Los dos osciladores se cruzarán en la posición de equilibrio.
- 2 Dos partículas efectúan movimientos armónicos simples de la misma amplitud y período a lo largo de la misma recta. ¿Cuál es la diferencia de fase entre ellas si se cruzan cuando su elongación es la mitad de la amplitud?
Si $x = A \cos \omega t$ es la ecuación de uno de los osciladores, la correspondiente al otro será $x = A \cos (\omega t + \delta)$. Cuando $x = A/2$, se cumple que:

$$A/2 = A \cos \omega t \Rightarrow \cos \omega t = 1/2$$

Es decir:

$$\omega t = \pi/3 \text{ rad}$$

El otro oscilador se encuentra en ese mismo instante en la misma posición, si bien su sentido de movimiento opuesto. Por tanto, debe cumplirse que:

$$\omega t + \delta = 2\pi - \pi/3 = 5\pi/3 \Rightarrow \delta = 4\pi/3 \text{ rad}$$

o bien:

$$\delta = -2\pi/3 \text{ rad}$$

- 3 Una partícula que oscila armónicamente con una amplitud de 15 cm tarda 1,5 s en realizar una oscilación completa. Sabiendo que en $t = 0$ su velocidad es nula y su elongación es positiva, determina:
 - a) La ecuación de su movimiento $x(t)$.
 - b) La velocidad y la aceleración de la oscilación en $t = 0,5$ s.
 - c) Los valores absolutos de velocidad y aceleración máximas.
 a) Dadas las condiciones iniciales del problema, la ecuación es de la forma $x = A \cos \omega t$, siendo $A = 15$ cm y $\omega = 2\pi/T = 4\pi/3$, pues $T = 3/2$ s. Por tanto:

$$x = 15 \cos \frac{4\pi}{3} t \text{ cm}$$

b) Derivando una y dos veces respecto al tiempo, obtenemos:

$$v = -15 \frac{4\pi}{3} \operatorname{sen} \frac{4\pi}{3} t = -20\pi \operatorname{sen} \frac{4\pi}{3} t$$

$$v(t = 0,5 \text{ s}) = -54,4 \text{ cm/s}$$

$$a = -15 \left(\frac{4\pi}{3} \right)^2 \cos \frac{4\pi}{3} t = -\frac{80\pi^2}{3} \cos \frac{4\pi}{3} t$$

$$a(t = 0,5 \text{ s}) = 131,59 \text{ cm/s}^2$$

c) Los valores absolutos de $v_{\text{máx}}$ y $a_{\text{máx}}$ son, respectivamente:

$$v_{\text{máx}} = \omega A = 62,8 \text{ cm/s}$$

$$a_{\text{máx}} = \omega^2 A = 263,2 \text{ cm/s}^2$$

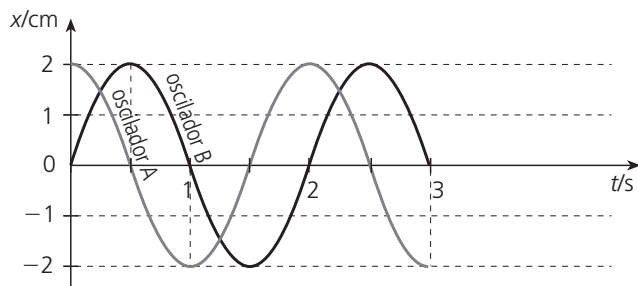
4 Representa en una misma gráfica los movimientos de los siguientes osciladores:

a) Oscilador A: se suelta desde el extremo $x = +2 \text{ cm}$ de la posición de equilibrio y su periodo es de 2 s.

b) Oscilador B: es idéntico al anterior, pero la oscilación parte de la posición de equilibrio hacia amplitudes positivas.

c) ¿Qué ecuaciones representan a ambos osciladores? ¿En qué puntos se cruzan estos?

La gráfica correspondiente es la siguiente:



Y las ecuaciones son:

■ Para el oscilador A:

$$x_A = 0,02 \cos \pi t = 0,02 \operatorname{sen} (\pi t + \pi/2) \text{ m}$$

■ Para el oscilador B:

$$x_B = 0,02 \operatorname{sen} \pi t \text{ m}$$

En ambos casos, $T = 2 \text{ s}$ y $\omega = 2\pi/T = \pi \text{ rad}$.

Los puntos donde se cruzan ambos osciladores se calculan haciendo $x_A = x_B$; por lo que:

$$\cos \pi t = \operatorname{sen} \pi t \Rightarrow \operatorname{tg} \pi t = 1$$

valor que corresponde a un ángulo de $\pi/4 \text{ rad}$.

Así:

$$\pi t = \frac{5\pi}{4} \Rightarrow t = 1,25 \text{ s}$$

valores de tiempo que corresponden a las dos primeras veces que se cruzan, cosa que ocurre en los puntos:

$$x = 0,02 \operatorname{sen} (\pi \cdot 0,25) = 0,0141 \text{ m} = 1,41 \text{ cm}$$

$$x' = 0,02 \operatorname{sen} (\pi \cdot 1,25) = -0,0141 \text{ m} = -1,41 \text{ cm}$$

5 Dos osciladores armónicos cuyas ecuaciones de posición son $x_1 = A \cos (\omega t + \pi/2)$ y $x_2 = A \cos (\omega t - \pi/2)$. Determina:

a) La posición inicial.

b) El sentido en que comienzan a moverse.

c) El punto en que se cruzan.

d) La diferencia de fase entre los dos.

a) La posición inicial, para $t=0$, resulta ser cero en ambos casos.

b) La ecuación del primer oscilador corresponde a un oscilador que comienza a oscilar hacia valores negativos de x desde la posición de equilibrio.

Esto puede comprobarse haciendo $t = T/4$. Dado que $T = 2\pi/\omega$, entonces:

$$t = 2\pi/4\omega$$

Por lo que:

$$x = A \cos (\omega t + \pi/2) = A \cos \left(\omega \cdot \frac{2\pi}{4\omega} + \frac{\pi}{2} \right)$$

es decir:

$$x = A \cos \pi = -A$$

Como puede observarse, al cabo de $T/4 \text{ s}$, el oscilador se encuentra en la posición $x = -A$.

Por el contrario, la segunda corresponde a un oscilador que se mueve hacia valores positivos de x (hacia la derecha) desde la posición de equilibrio. Si se repite el proceso para $t = T/4$, se encontrará que $x = A$.

c) Cuando se cruzan, las posiciones de ambos coincide, por lo que:

$$A \cos (\omega t + \pi/2) = A \cos (\omega t - \pi/2)$$

Desarrollando la expresión, tenemos:

$$\begin{aligned} \cos \omega t \cdot \cos \pi/2 - \operatorname{sen} \omega t \cdot \operatorname{sen} \pi/2 &= \\ = \cos \omega t \cdot \cos \pi/2 + \operatorname{sen} \omega t \cdot \operatorname{sen} \pi/2 \end{aligned}$$

De donde:

$$2 \operatorname{sen} \omega t = 0$$

o bien, dado que $\omega = 2\pi/T$:

$$2 \operatorname{sen} \frac{2\pi}{T} t = 0$$

igualdad que se cumple siempre que:

$$\frac{2\pi}{T} t = 0, \pi, 2\pi, 3\pi \dots$$

Por tanto, se cumple cuando:

$$t = 0, \frac{T}{2}, T, \frac{3T}{2} \dots$$

valores de tiempo que corresponden a $x = 0$. Es decir, como era de prever, se cruzarán siempre en la posición de equilibrio.

d) Como se desprende de las ecuaciones, la diferencia de fase es de $\pi \text{ rad}$.

6 La ecuación de posición de un oscilador es:

$$x = 5 \cos (\pi t + \pi) \text{ cm}$$

Determina:

a) La amplitud, la frecuencia y el periodo de oscilación.

b) La posición inicial de la partícula.

- c) La gráfica en los cuatro primeros segundos.
- d) La velocidad y la aceleración del oscilador en $t = 5$ s.
- e) La velocidad y la aceleración máximas.
- a) Dado que $\omega = 2\pi f$, entonces:

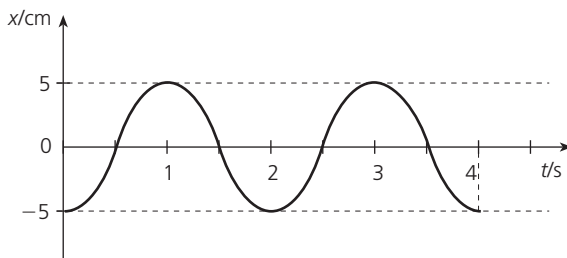
$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 0,5 \text{ Hz}$$

y, por tanto, $T = 2$ s.

- b) Como se desprende de la ecuación, $A = 5$ cm.
La posición inicial, es decir, para $t = 0$, es:

$$x_0 = 5 \cos \pi = -5 \text{ cm}$$

- c) La gráfica en los cuatro primeros segundos es:



- d) La velocidad y la aceleración vienen dadas, respectivamente, por:

$$v = \frac{dx}{dt} = -5\pi \sin(\pi t + \pi) \text{ cm/s}$$

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -5\pi^2 \cos(\pi t + \pi) \text{ cm/s}^2$$

cuyos valores en $T = 5$ s son:

$$v(5) = 0$$

$$a(5) = -5\pi^2 \text{ cm/s}^2$$

- e) La velocidad máxima es:

$$v_{\text{máx}} = \omega A = 5\pi \text{ cm/s}$$

y aceleración:

$$a_{\text{máx}} = \omega^2 A = 5\pi^2 \text{ cm/s}^2$$

- 7 Una partícula oscila en el eje X con movimiento armónico simple. Si parte de la posición de equilibrio y comienza a oscilar hacia la derecha con una amplitud de 4 cm y una frecuencia de 1/3 Hz, determina:

- a) La ecuación de posición.
- b) La velocidad y la aceleración cuando $t = 5$ s.
- c) La velocidad cuando pasa por la posición $x = -1$ cm.
- d) El desplazamiento neto y el espacio recorrido en 1 s.
- a) Con los datos ofrecidos, deducimos que:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi/3 \text{ rad}}{\text{s}}$$

Si la particular comienza a oscilar hacia la derecha, su ecuación puede escribirse de estas dos maneras:

$$x = 4 \sin \frac{2\pi}{3} t \text{ cm} \quad x = 4 \cos \left(\frac{2\pi}{3} t - \frac{\pi}{2} \right) \text{ cm}$$

- b) Eligiendo la primera expresión, la velocidad y la aceleración de la partícula vienen dadas por:

$$v = \frac{8\pi}{3} \cos \frac{2\pi}{3} t \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

$$a = -\frac{16\pi^2}{9} \sin \frac{2\pi}{3} t \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

Sustituyendo para $t = 5$ s, obtenemos:

$$v(5) = -4,19 \text{ cm/s}; a(5) = 15,2 \text{ cm/s}^2$$

- c) La velocidad en función de la posición es:

$$v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2}$$

para $x = -1$ cm, la velocidad será:

$$v = -8,11 \text{ cm/s}$$

- d) El desplazamiento neto será:

$$\Delta x = x_1 - x_0 = 3,46 - 0 = 3,46 \text{ cm}$$

Puesto que $t = 1$ s es un tiempo superior a $T/4$ (0,75 s), la partícula se encuentra a 3,46 cm de la posición de equilibrio, pero encaminándose hacia ella después de pasar por el punto de máxima elongación.

En consecuencia, el espacio recorrido es:

$$s = A + (4 - 3,46) = 4,54 \text{ cm}$$

- 8 Un oscilador armónico tiene una aceleración de 12 cm/s² cuando su elongación es de 3 cm. Si el valor absoluto de su aceleración máxima es de 16 cm/s², determina:

- a) La amplitud, el periodo y la frecuencia.
- b) La ecuación de su movimiento si comienza a oscilar desde su máxima amplitud positiva.
- c) La ecuación de su movimiento si en $t = 0$ la posición es $x = 2$ cm y se mueve hacia la posición de equilibrio.

Teniendo en cuenta que el valor absoluto de la aceleración viene dado por:

$$|a| = \omega^2 x$$

- a) Entonces, de los datos del problema se obtiene que $\omega = 2 \text{ s}^{-1}$. Como $|a_{\text{máx}}| = \omega^2 A$, entonces $A = 4$ cm. A su vez:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 3,14 \text{ s} \rightarrow f = \frac{1}{T} = 0,32 \text{ s}^{-1}$$

- b) La ecuación correspondiente en esas condiciones es:

$$x = A \cos \omega t = 4 \cos 2t \text{ cm}$$

- c) En $t = 0$ se cumple que:

$$2 = 4 \cos \delta \rightarrow \delta = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

Así pues, la ecuación es:

$$x = 4 \cos \left(2t + \frac{\pi}{3} \right) \text{ cm}$$

- 9 Un oscilador armónico tiene una velocidad de 6 cm/s cuando pasa por la posición $x = 1$ cm y de 2 cm/s cuando lo hace por la posición $x = 4$ cm. Determina:

- a) La amplitud de su movimiento y su periodo de oscilación.

- b) Los valores absolutos de su velocidad y aceleración máximas.
- c) La ecuación del movimiento si comienza a oscilar desde la posición de equilibrio hacia elongaciones positivas.
- a) Expresando las condiciones expuestas en el enunciado, considerando que $v = \omega\sqrt{A^2 - x^2}$, tenemos que:

$$2 = \omega\sqrt{A^2 - 4^2}$$

$$6 = \omega\sqrt{A^2 - 1^2}$$

Dividiendo entre sí ambas expresiones, elevando al cuadrado y despejando A , se obtiene $A = 4,23$ cm. Sustituyendo posteriormente el valor de la amplitud en cualquiera de las dos ecuaciones anteriores, se obtiene que $\omega = 1,46$ rad/s, por lo que $T = 2\pi/\omega = 4,3$ s.

- b) Los valores absolutos de la velocidad y aceleración máxima responden a las expresiones:

$$|v| = \omega A$$

$$|a| = \omega^2 A$$

Que, con los datos obtenidos, resultan ser de 6,17 cm/s para la velocidad y 9 cm/s² para la aceleración.

- c) La ecuación correspondiente será:

$$x = 4,23 \text{ sen } 1,46 t \text{ cm}$$

Consideraciones dinámicas del MAS

- 10 Si tenemos un cuerpo de masa desconocida y un resorte de constante k también desconocida, ¿cómo podremos averiguar el periodo de oscilación del sistema sin hacerlo oscilar?

Bastaría con colgar la masa desconocida del muelle y medir el alargamiento producido. Cuando se consigue el equilibrio, se cumple que:

$$mg = kx \Rightarrow \frac{m}{k} = \frac{x}{g}$$

Así pues, el periodo de oscilación de dicho sistema sería:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi\sqrt{\frac{x}{g}}$$

Que, como es fácil ver, puede obtenerse sin más que medir el alargamiento del muelle.

- 11 Un resorte del que pende una masa m tiene una constante de fuerza k . El resorte se corta por la mitad, y la masa se cuelga de una de las mitades. ¿Oscilará ahora con el mismo periodo que antes? Razona y demuestra tu afirmación.

No oscilará con el mismo periodo, pues el valor de k varía al cortar el muelle por la mitad. Podemos expresar k como $k = F/l$, por lo que, si $l' = l/2$, entonces $k' = 2 \cdot k$. Es decir, al cortar el muelle por la mitad, la constante k se duplica, por lo que el periodo disminuye en un factor:

$$T' = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot T$$

- 12 Al colgar una masa del extremo de un muelle vertical, este sufre un alargamiento de 7 cm.

- a) ¿De qué magnitudes del sistema depende la relación entre el alargamiento x y la aceleración de la gravedad?
- b) ¿Cuál es el periodo de oscilación del sistema si comienza a oscilar en posición horizontal sin rozamiento?
- a) Cuando el sistema alcanza el equilibrio, el valor del peso y la fuerza restauradora se igualan, es decir:

$$mg = kx \Rightarrow \frac{x}{g} = \frac{m}{k}$$

Es decir, la relación entre el alargamiento y la aceleración de la gravedad es equivalente a la relación entre la masa y la constante elástica. Por tanto, dicha relación depende de las características dinámicas del sistema.

- b) El periodo viene dado por la expresión:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Dada la identidad anterior, podemos determinar el periodo conociendo el alargamiento del muelle:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{x}{g}} = 0,53 \text{ s}$$

- 13 Una masa de 50 g unida a un resorte horizontal de $k = 200$ N/m se suelta después de haber sido desplazada 2 cm con respecto a su posición de equilibrio.

- a) Determina su periodo y su frecuencia de oscilación.
- b) Escribe su ecuación de movimiento.
- c) Calcula la velocidad y aceleración máximas.
- d) Establece la velocidad y la aceleración en $x = 1$ cm.
- e) Representa con los valores correspondientes las gráficas x , v y a frente al tiempo.
- a) El periodo del objeto viene dado por:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,1 \text{ s}$$

Y, por tanto:

$$f = \frac{1}{T} = 10 \text{ Hz}$$

- b) Su ecuación se escribirá de la siguiente forma:

$$x = A \cos \omega t = 0,02 \cos \frac{2\pi}{T} t$$

$$x = 0,02 \cos 20 \pi t \text{ m}$$

- c) Su velocidad máxima es:

$$v_{\text{máx}} = \omega A = 1,26 \text{ m/s}$$

Su aceleración máxima es:

$$a_{\text{máx}} = -\omega^2 A = -79 \text{ m/s}^2$$

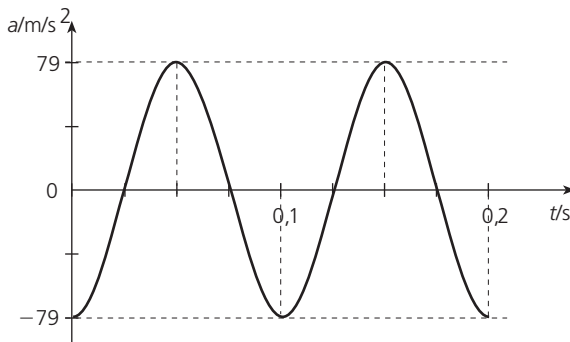
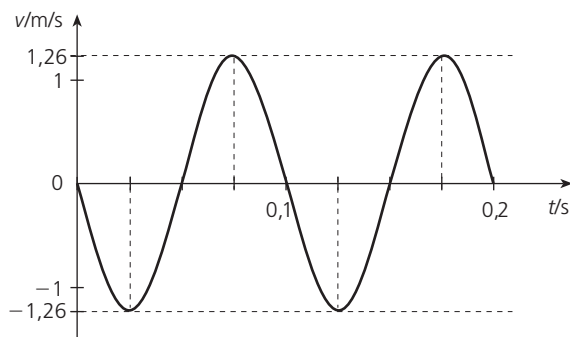
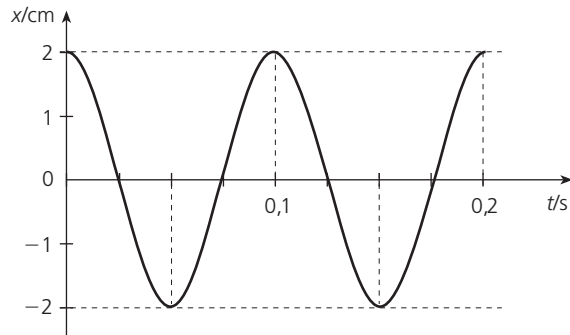
- d) La velocidad y la aceleración serán, respectivamente:

$$v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2} = \pm 1,09 \text{ m/s}$$

$$a = -\omega^2 x = -39,44 \text{ m/s}^2$$

Según el sentido del movimiento, la velocidad será positiva o negativa.

e) Las gráficas son las siguientes:



14 Una masa de 200 g oscila en un resorte de constante $k = 10 \text{ N/m}$ con una amplitud de 4 cm. Calcula:

- La velocidad y la aceleración del oscilador cuando la posición de la partícula es $x = 3 \text{ cm}$.
- El valor máximo de la aceleración y la velocidad.
- La velocidad y la aceleración en función de la posición vienen dadas, respectivamente, por:

$$v = \pm \omega \sqrt{A^2 - x^2} = \pm 0,18 \text{ m/s}$$

$$a = -\omega^2 x = -1,50 \text{ m/s}^2$$

Donde:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{50} \text{ rad/s}$$

b) Sus valores máximos son:

$$v_{\text{máx}} = \omega A = 0,28 \text{ m/s}; a_{\text{máx}} = -\omega^2 A = 2 \text{ m/s}^2$$

Consideraciones energéticas en el MAS

15 Una masa de 1,5 kg unida a un muelle realiza oscilaciones armónicas sin rozamiento sobre una superficie horizontal. Sabemos que la amplitud es de 3 cm y la frecuencia de 2 Hz. Si las oscilaciones comienzan desde la máxima elongación positiva, determina:

- La ecuación representativa del movimiento.
 - La constante elástica del muelle.
 - El valor de la velocidad de oscilación en $x = 2 \text{ cm}$.
 - La energía mecánica del oscilador y la posición en que las energías cinética y potencial del mismo son iguales.
- a) Puesto que la oscilación comienza desde su máxima elongación positiva, la ecuación es del tipo $x = A \cos \omega t$, donde $A = 3 \text{ cm}$ y $\omega = 2\pi f = 4\pi \text{ rad/s}$. Así pues:

$$x = 3 \cos 4\pi t \text{ cm}$$

b) La constante elástica del muelle es:

$$k = m\omega^2 = 1,5 \cdot (4\pi)^2 = 236,87 \text{ N/m}$$

c) La velocidad de oscilación en $x = 2 \text{ cm}$, es, en valor absoluto:

$$|v| = \omega \sqrt{A^2 - x^2} = 4\pi \sqrt{5} = 28,1 \text{ cm/s}$$

d) La energía mecánica del oscilador es:

$$E = \frac{1}{2} k A^2 = 0,106 \text{ J}$$

El valor de la elongación en el que la energía potencial y cinética del oscilador son iguales se obtiene de la igualdad:

$$\frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 (A^2 - x^2)$$

Dado que, la igualdad se reduce a:

$$x^2 = A^2 - x^2 \Rightarrow x = 1/\sqrt{2} A = 2,12 \text{ cm}$$

16 Dos partículas de masas m y m' , respectivamente, efectúan oscilaciones armónicas de igual amplitud unidas a resortes de la misma constante k . Si $m' > m$:

- ¿Qué partícula tiene mayor energía mecánica?
- ¿Cuál de las dos posee mayor energía cinética al pasar por la posición de equilibrio?
- ¿Son iguales sus velocidades en la posición de equilibrio?
- ¿Son iguales sus periodos de oscilación?

a) Los dos osciladores tienen la misma energía mecánica, pues esta es igual a $\frac{1}{2} k A^2$.

b) La energía cinética en ese punto adquiere su máximo valor, que es igual a $\frac{1}{2} k A^2$ y la misma para ambos osciladores.

c) En la posición de equilibrio sus velocidades no son iguales, debido a que en ese punto se cumple que:

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} k A^2 \Rightarrow v^2 = \frac{k}{m} A^2$$

Dado que k y A son iguales en ambos casos, a mayor masa, menor velocidad. Es decir, la velocidad de m' en ese punto es menor.

- d) Los períodos de oscilación no son iguales; dado que el período depende de la masa, el de mayor masa tendrá mayor período.

- 17) Una partícula de 40 g de masa unida a un muelle horizontal describe un MAS mediante el cual recorre una distancia total de 16 cm en cada ciclo completo de oscilación. Sabiendo que su aceleración máxima es de 36 cm/s^2 , halla:

- La frecuencia y el periodo del movimiento.
- La constante elástica del muelle.
- La energía mecánica del sistema.
- La velocidad del oscilador en $x = 2 \text{ cm}$.

En cada ciclo completo, la partícula recorre cuatro veces el espacio equivalente a la amplitud. Al ser este espacio 16 cm, resulta que la amplitud es $A = 4$. Conocida la amplitud y la aceleración máxima, podemos determinar la frecuencia angular:

$$\omega = \sqrt{a_{\text{máx}}/A} = 3 \text{ rad/s}$$

- a) La frecuencia es:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 0,48 \text{ Hz}$$

El período es $T = 1/f = 2,1 \text{ s}$.

- La constante elástica es $k = m\omega^2 = 0,36 \text{ N/m}$.
- La energía mecánica del sistema es:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = 2,88 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

- d) La velocidad viene dada por:

$$v = \omega\sqrt{A^2 - x^2} = 10,4 \text{ cm/s}$$

- 18) Una masa de 500 g unida a un resorte oscila armónicamente con una frecuencia de 0,4 Hz. Si la energía mecánica del oscilador es de 3 J:

- Calcula la constante k del resorte.
- Determina la amplitud de la oscilación.
- Representa en una misma gráfica las variaciones de la energía cinética y la potencial del oscilador frente al tiempo en los cinco primeros segundos y compara dicha gráfica con la de posición.

- a) Dado que $\omega^2 = k/m$, entonces $k = m\omega^2$, donde:

$$\omega = 2\pi f = 2,51 \text{ rad/s}$$

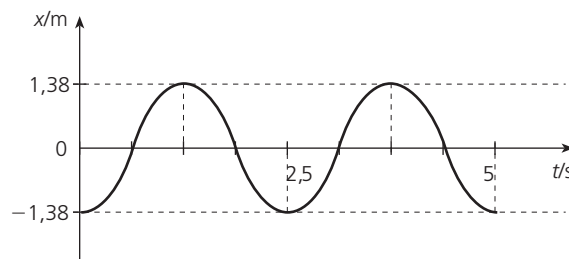
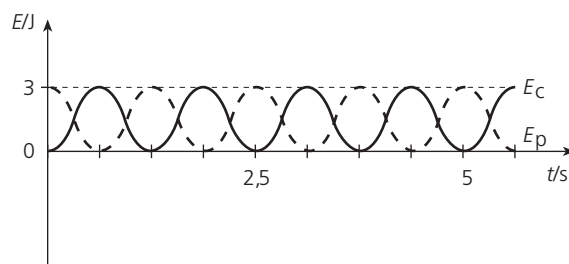
Por tanto:

$$k = m\omega^2 = 3,15 \text{ N/m}$$

- b) La energía mecánica del oscilador es:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 \Rightarrow A = \sqrt{\frac{2E}{k}} = 1,38 \text{ m}$$

- c) Las gráficas pedidas son:



Nota: la oscilación vertical del muelle no supone problema si consideramos que la posición de equilibrio se halla desplazada a una distancia con respecto a la posición de equilibrio sin ninguna masa colgada. Teniendo en cuenta ese nuevo sistema de referencia, el problema se aborda de idéntica manera que si se tratase de una oscilación horizontal.

Para la gráfica de posición, se ha considerado que el sistema es estirado hacia abajo y luego soltado.

- 19) Una masa de 100 g unida a un muelle horizontal de constante elástica $k = 30 \text{ N/m}$ oscila armónicamente sin amortiguamiento. Si su amplitud es de 7 cm, halla:

- La expresión de la velocidad de oscilación de la masa en función de la elongación.
- La energía potencial elástica del sistema cuando la velocidad de oscilación es nula.
- La energía cinética del sistema en $x = 3 \text{ cm}$.
- La energía cinética y la potencial elástica del sistema cuando la aceleración de la masa es de 8 m/s^2 .
- A partir de los datos ofrecidos, podemos obtener la frecuencia angular:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{30}{0,1}} = 17,32 \text{ rad/s}$$

Por lo que:

$$v = \omega\sqrt{A^2 - x^2} = 17,32 \sqrt{49 - x^2} \text{ cm/s}$$

- b) Cuando la velocidad de oscilación es nula, la energía potencial del sistema alcanza su valor máximo, que coincide con la energía mecánica del sistema, es decir:

$$E_{p\text{máx}} = \frac{1}{2}kA^2 = 0,0735 \text{ J}$$

- c) Cuando $x = 3 \text{ cm}$, la velocidad es:

$$v = 17,32 \sqrt{49 - 3^2} = 109,5 \text{ cm/s} \approx 1,1 \text{ m/s}$$

Por lo que la energía cinética en ese punto es:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 = 0,0605 \text{ J}$$

d) El valor de x correspondiente a ese valor de la aceleración es:

$$x = \frac{a}{\omega^2} = \frac{8}{300} = 0,0267 \text{ cm}$$

La energía potencial en dicho punto será:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 = 0,0107 \text{ J}$$

Luego la energía cinética será:

$$E_c = E_{\text{mecánica}} - E_p = 0,0628 \text{ J}$$

20 Si la amplitud de un movimiento armónico simple se duplica, calcula cuánto varían:

- a) Su energía mecánica y su periodo.
- b) Su velocidad y aceleración máximas.

a) La energía mecánica viene dada por $E = \frac{1}{2} kA^2$. Por tanto,

si A se duplica, la energía se cuadruplica: $E' = 4 \cdot E$.

El período es $T = 2\pi\sqrt{m/k}$ y depende solo de las características mecánicas del oscilador y no de la amplitud. Por tanto, el período no varía: $T' = T$

b) Su velocidad máxima es $v_{\text{máx}} = \pm\omega A$; por tanto, se duplicará: $v' = 2 \cdot v$

Su aceleración máxima es $|a_{\text{máx}}| = |\omega^2 A|$, por lo que también se duplicará: $a' = 2 \cdot a$

El péndulo simple

21 La longitud de un péndulo simple es el cuádruple que la de otro. Compara sus periodos de oscilación.

El período del péndulo de cuádruple longitud será el doble.

22 Un péndulo simple de 2 m de longitud tiene un periodo de 2,84 s para pequeñas oscilaciones:

- a) Determina la intensidad del campo gravitatorio en el lugar de la medición.
 - b) Considerando que la velocidad de la bolita del péndulo cuando pasa por la posición de equilibrio es de 0,4 m/s, calcula su amplitud.
 - c) Si la oscilación comienza en uno de los extremos, escribe la ecuación de posición en el eje X y represéntala gráficamente en función del tiempo.
- a) El período del péndulo, para pequeñas oscilaciones, viene dado por:

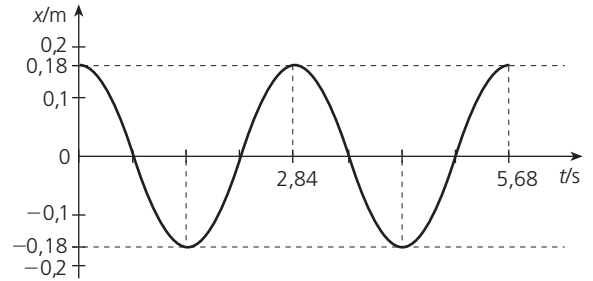
$$T = 2\pi\sqrt{l/g} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \cong 9,79 \text{ m/s}^2$$

b) En la posición de equilibrio, el péndulo alcanza su máxima velocidad, por lo que:

$$v = \omega A = \frac{2\pi}{T} A \Rightarrow A = \frac{vT}{2\pi} = 0,18 \text{ m}$$

c) Si suponemos que la posición inicial es la correspondiente al extremo de amplitud positiva, y considerando que $\omega = 2\pi/T = 2,21$, resulta:

$$x = A \cos \omega t = 0,18 \cos 2,21 t \text{ m}$$



23 Un péndulo de 5 m de longitud se separa 15° de la vertical por su lado izquierdo y se deja oscilar libremente. Determina:

- a) La ecuación de su movimiento escrita en forma de seno y de coseno.
- b) Su periodo y su frecuencia.
- c) Su velocidad al pasar por la posición de equilibrio.

a) Las ecuaciones en forma seno y coseno tendrán la forma:

$$x = A \cos (\omega t \pm \pi)$$

$$x = A \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

Siendo $A = L \sin 15 = 1,29 \text{ m}$ y $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} = 1,4 \text{ s}^{-1}$. De modo que las ecuaciones son:

$$x = 1,29 \cos (1,4 t \pm \pi) \text{ m}$$

$$x = 1,29 \sin \left(1,4 t - \frac{\pi}{2} \right) \text{ m}$$

b) El período es $T = \frac{2\pi}{\omega} = 4,48 \text{ s}$, y la frecuencia $f = 0,22 \text{ s}^{-1}$

c) La velocidad al pasar por la posición de equilibrio es la velocidad máxima, cuyo valor absoluto es:

$$|v| = \omega A = 1,8 \text{ m/s}$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN FINAL (página 379)

1. ¿Cuándo se dice que un movimiento es armónico simple? ¿En qué parámetro o parámetros del oscilador afecta la actuación de fuerzas disipativas?

Cuando oscila bajo la acción de fuerzas restauradoras de tipo Hooke. La amplitud y, en consecuencia, la energía mecánica, son afectados por la acción de fuerzas disipativas.

2. Un oscilador de constante elástica $k = 50 \text{ N/m}$ y masa de 500 g se separa 8 cm de su posición de equilibrio y se deja oscilar. Calcula su periodo y su frecuencia, su velocidad al pasar por la posición de equilibrio y su ecuación de posición.

La frecuencia angular del oscilador viene dada por $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} =$

$$= 10 \text{ s}^{-1}, \text{ por lo que el período vale } T = \frac{2\pi}{\omega} = 0,628 \text{ s} \text{ y la}$$

frecuencia $1,59 \text{ s}^{-1}$.

Por tanto, la velocidad al pasar por la posición de equilibrio es $|v| = \omega A = 80 \text{ cm/s} = 0,8 \text{ m/s}$ y su ecuación de posición es:

$$x = 8 \cos 10t \text{ cm}$$

3. Teniendo en cuenta los datos del problema anterior, ¿qué velocidad llevará el oscilador cuando se encuentre a 4 cm de la posición de equilibrio? ¿Cuánto vale su aceleración en ese punto?

La velocidad que llevará cuando es $x = 4 \text{ cm}$ es $v = \omega \sqrt{A^2 - x^2} = 69,3 \text{ cm/s}$, mientras que la aceleración en ese punto es:

$$a = -\omega^2 x = -400 \text{ cm/s}^2$$

4. Un oscilador armónico se hace oscilar desde 10 cm de su posición de equilibrio. ¿En qué punto son iguales sus energías potencial y cinética?

Son iguales cuando cada una vale la mitad de la energía mecánica total, por lo que $\frac{1}{2} kx^2 = \frac{1}{4} kA^2 \rightarrow x = \frac{1}{\sqrt{2}} A = 7,07 \text{ cm}$

5. Una masa de 10 g sujeta a un resorte de 150 N/m es liberada en $x = +20 \text{ cm}$ para que oscile. Determina sus ecuaciones de posición, velocidad y aceleración en función del tiempo.

Con los datos que proporciona el enunciado, podemos deducir la posición:

$$A = 20 \text{ cm} \text{ y } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 122,47 \text{ rad/s}$$

y por tanto:

$$x = A \cos \omega t = 20 \cos 122,47 t \text{ cm}$$

La velocidad:

$$v = \frac{dx}{dt} = -\omega A \sin \omega t = -2449,4 \sin 122,47 t \text{ cm/s}$$

La aceleración:

$$a = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A \cos \omega t = -3 \cdot 10^5 \cos 122,47 t \text{ cm/s}^2$$

6. La frecuencia de oscilación de cierta masa m en un resorte de constante k es el triple que la que tiene la misma masa en otro resorte de constante k' . ¿Qué relación guardan las constantes de ambos resortes?

$$k = m \omega^2; k' = m \omega'^2$$

Ahora: $\omega = 3 \omega'$. Entonces: $k = m \cdot 9 \omega'^2 = 9 k'$.

7. Un muelle de masa despreciable tiene una longitud natural de 10 cm . Cuando se cuelga de él un cuerpo de 100 g de masa, su longitud en equilibrio resulta ser de 20 cm .

a) ¿Cuál es la constante restauradora del muelle?

b) Si desplazamos la masa 5 cm por encima de la posición de equilibrio y la dejamos oscilar libremente, ¿con qué amplitud oscilará? ¿Con qué frecuencia? ¿Con qué velocidad pasará por la posición de equilibrio?

c) Representa gráficamente la longitud del muelle en función del tiempo.

a) La constante recuperadora se obtiene aplicando la ley de Hooke:

$$F = k \Delta x$$

Despejando k y sustituyendo los datos (considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$), obtenemos:

$$k = \frac{F}{\Delta x} = 0,1 \text{ kg} \cdot \frac{10 \text{ m/s}^2}{10 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 10 \text{ N/m}$$

Como puede comprobarse, se ha prescindido del signo negativo de esta ley, que solo indica el sentido de la fuerza con relación al desplazamiento.

b) Si no existen amortiguadores, la amplitud será:

$$A = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

Por otra parte:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{10 \text{ N/m}}{0,1 \text{ kg}}} = 10 \text{ rad/s}$$

Además:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi \text{ rad}}{10 \text{ rad/s}} = \frac{\pi}{5} \text{ s}$$

La frecuencia es:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{5}{\pi} \text{ s}^{-1}$$

La ecuación general de un movimiento vibratorio armónico simple es:

$$x = A \cos(\omega t + \delta)$$

Para determinar la velocidad, hay que calcular previamente el valor del desfase. Como $x = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ para $t = 0$, sustituyendo en la ecuación general del MAS, se obtiene:

$$5 \cdot 10^{-2} = 5 \cdot 10^{-2} \cos \delta \Rightarrow \cos \delta = 1 \Rightarrow \delta = 0$$

Luego, la ecuación del este MAS es:

$$x = 5 \cdot 10^{-2} \cos 10 t \text{ m}$$

Derivando esta ecuación con respecto al tiempo, se obtiene la velocidad:

$$v = -0,5 \text{ sen } 10 t \text{ m/s}$$

En la posición de equilibrio $x = 0$; por lo que:

$$0 = 5 \cdot 10^{-2} \cos 10 t \Rightarrow 10 t = \frac{\pi}{2} \Rightarrow t = \frac{\pi}{20} \text{ s}$$

Luego, la velocidad con la que pasará por la posición de equilibrio será:

$$v\left(\frac{\pi}{20}\right) = -0,5 \text{ sen } 10 \cdot \frac{\pi}{20} = -0,5 \text{ m/s}$$

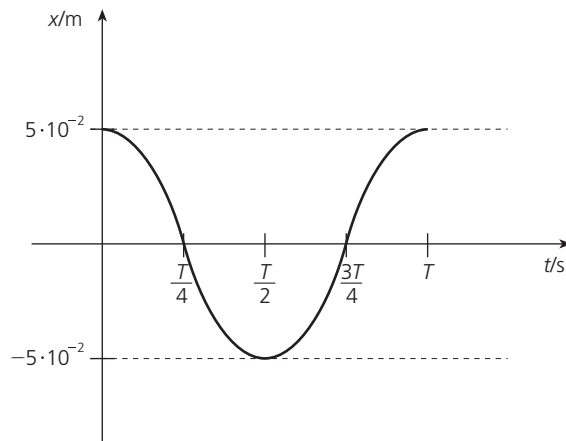
- c) Para realizar la representación gráfica, hay que escribir la ecuación en la siguiente forma:

$$x = 5 \cdot 10^{-2} \cos \frac{2\pi}{T} t \text{ m}$$

Asignando valores:

t (s)	0	T/4	T/2	3T/4	T
x (m)	$5 \cdot 10^{-2}$	0	$-5 \cdot 10^{-2}$	0	$5 \cdot 10^{-2}$

De este modo, la representación gráfica es:



8. ¿Cuál será el periodo de oscilación del muelle anterior si su longitud se reduce a la cuarta parte?

Al reducir su longitud a la cuarta parte, la constante K se cuadruplica, siendo ahora de 40 N/m , por lo que el período se reduce a la mitad, valiendo $\pi/10 \text{ s}$.

9. Imagina que te encuentras en el interior de un elevador sin referencias visuales externas y del techo del mismo cuelga un péndulo. Describe cómo podrías saber por el movimiento del péndulo si el elevador:

- Se acelera hacia arriba.
- Se acelera hacia abajo.
- Está en reposo o se mueve con velocidad constante.

Para responder a las cuestiones, el péndulo tendría que pender del extremo de un dinamómetro. De este modo, si el elevador acelera hacia arriba, el dinamómetro marcará un peso superior al del péndulo en el reposo. Por el contrario, si el elevador acelera hacia abajo, el dinamómetro marcará un peso inferior. Así pues:

- Cuando el elevador acelere hacia arriba, el período del péndulo disminuirá con respecto a su oscilación en reposo.
- Cuando el elevador acelere hacia abajo, el período aumentará con respecto a su oscilación en reposo.
- Las situaciones de reposo o movimiento con velocidad constante serían indistinguibles, pues el período de oscilación sería el mismo en ambos casos.

10. Un péndulo de 10 g de masa y 80 cm de longitud se aparta 20° hacia la derecha de su posición de equilibrio y se deja oscilar libremente. Determina:

- Su periodo y frecuencia de oscilación.
- Su ecuación de posición en función del tiempo.
- Su energía mecánica.

La amplitud del movimiento es $A = L \text{ sen } 20 = 0,27 \text{ m}$. Por otra parte:

- Su período es $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} = 1,79 \text{ s}$, por lo que la frecuencia es de $0,55 \text{ s}^{-1}$ y la frecuencia angular es $\omega = 3,5 \text{ s}^{-1}$

- Con los datos anteriores, la ecuación de posición es:

$$x = 0,27 \cos 3,5 t \text{ m}$$

- Su energía mecánica es:

$$E_m = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 = 0,0392 \text{ J}$$

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1 Diseña y describe experiencias que pongan de manifiesto el MAS y determina las magnitudes involucradas.	A: 2, 5, 9 ER: 1, 3 AT: 1, 2, 5, 6, 8, 9	Responde de manera adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1 Escribe la posición de un oscilador armónico conociendo la amplitud, la frecuencia, el período y la fase inicial.	A: 1 - 4, 6 ER: 2, 3 AT: 3, 4, 7	Responde de manera, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde los cálculos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.2 Obtiene y relaciona las ecuaciones de posición, velocidad y aceleración y representará gráficamente en función del tiempo.	A: 7 - 10 ER: 1-3 AT: 3, 6, 7, 9	Responde de manera, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde los cálculos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.1 Demuestra que la aceleración de un MAS es proporcional al desplazamiento utilizando la ecuación fundamental de la Dinámica.	A: 11, 13	Demuestra de manera adecuada, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Demuestra de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Demuestra con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
3.2 Deduce el período y la frecuencia del MAS	A: 11-13 AT: 10-14	Deduce de manera adecuada las magnitudes, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Deduce las magnitudes de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Deduce las magnitudes con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1 Calcula las energías cinética, potencial y mecánica de un oscilador armónico aplicando el principio de conservación de la energía y realizar la representación gráfica correspondiente.	A: 14-16 AT: 15-20	Calcula las energías de manera adecuada, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Calcula las energías de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Calcula las energías con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1 Resuelve la posición, velocidad y aceleración de un MAS a partir de la proyección de las magnitudes del MCU	A: 17-21 ER: 4-6 AT: 20-32	Resuelve de manera adecuada los conceptos, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Resuelve los conceptos con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
6.1 Obtiene los valores de período y frecuencia de un péndulo simple relacionándolos con las variables correspondientes.	A: 17-19 AT: 21-23	Obtiene los valores de manera adecuada, identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Obtiene los valores de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Obtiene los valores con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. La ecuación del movimiento armónico de un cuerpo que es obligado a oscilar desde su posición de equilibrio es:

- a) Senoidal.
- b) Cosenoidal.
- c) Cosenoidal, si se introduce un desfase de $\pi/2$.

Son correctas las respuestas **a)** y **c)**. Deben cumplirse, en cualquier caso, que $x = 0$ en $t = 0$, condición que se satisface en la expresión $x = A \sin \omega t$, así como en la expresión $x = A \cos(\omega t + \pi/2)$.

2. Una masa de 200 g sujeta a un resorte de $k = 180 \text{ N/m}$ es liberada en $x = -20 \text{ cm}$ para que oscile. Deduce:

- a) Su ecuación de posición en función del tiempo.
 - b) Su ecuación de velocidad en función del tiempo.
 - c) Su ecuación de aceleración en función del tiempo.
- a) Con los datos que proporciona el enunciado, podemos deducir que:

$$A = 20 \text{ cm y } \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = 30 \text{ rad/s}$$

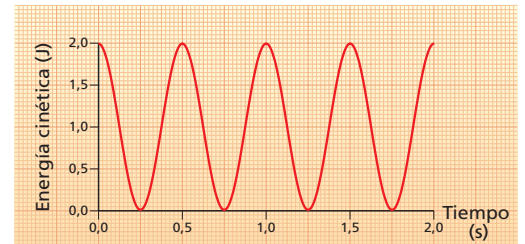
$$x = A \cos \omega t = -20 \cos 30 t \text{ cm}$$

b) $v = \frac{dx}{dt} = 600 \sin 30 t \text{ cm/s}$

c) $a = \frac{dv}{dt} = 18000 \cos 30 t \text{ cm/s}^2$

3. La gráfica adjunta representa la energía cinética de un oscilador armónico cuya constante elástica es de 100 N/m. A partir de ella y explicando razonadamente todos los pasos, determina:

- a) La amplitud del movimiento del oscilador.
- b) La posición inicial del oscilador.
- c) Las posibles ecuaciones del movimiento del oscilador si no sabemos el sentido inicial del movimiento.
- d) ¿Cuál es la masa del oscilador?



- a) Como se aprecia en la gráfica, la energía cinética máxima tiene un valor de 2 J. Como a su vez la energía cinética máxima es igual a la energía mecánica del oscilador, tenemos que:

$$\frac{1}{2} k A^2 = E_c (\text{max})$$

Resolviendo la amplitud se obtiene $A = 0,2 \text{ m}$.

- b) Dado que en $t = 0$ la energía cinética es máxima, entonces la posición inicial del oscilador es la posición de equilibrio.
- c) Al partir de la posición de equilibrio, sus ecuaciones podrían ser del tipo $x = A \sin \omega t$, o bien $x = -A \sin \omega t$ siendo $\omega = \frac{2\pi}{T}$.

A partir de la gráfica podemos apreciar que el período es igual a 1 s, por lo que $\omega = 2\pi \text{ rad/s}$, de modo que las ecuaciones pueden ser:

$$x = 0,2 \sin 2\pi t \text{ m (si empieza a oscilar hacia amplitudes positivas)}$$

$$x = -0,2 \sin 2\pi t \text{ m (si empieza a oscilar hacia amplitudes negativas)}$$

- d) La masa del oscilador viene dada por la expresión:

$$m = \frac{k}{\omega^2} = 2,53 \text{ kg}$$

4. Una partícula se mueve en el eje X , alrededor del punto $x = 0$, describiendo un movimiento armónico simple de período 2 s, encontrándose inicialmente en la máxima elongación positiva. Sabiendo que la fuerza máxima que actúa sobre la partícula tiene un valor de 0,05 N y que su energía mecánica es de 0,02 J, determina:

- La amplitud del movimiento.
 - La masa de la partícula.
 - La ecuación del movimiento de la partícula.
 - El valor absoluto de la velocidad cuando se encuentre a 20 cm de la posición de equilibrio.
- a) La fuerza máxima corresponde al punto en el que $x = A$, por lo que las condiciones del enunciado son:

$$F_{\max} = kA = 0,05 \text{ N}$$

$$E_m = \frac{1}{2} kA^2 = 0,02 \text{ J}$$

Resolviendo la amplitud a partir del sistema anterior, se obtiene $A = 2 E_m / F_m = 0,8 \text{ m}$

- b) Dado que el período es de 2 s, entonces $\omega = \pi \text{ rad/s}$. A su vez, resolviendo la constante elástica k en cualquiera de las dos ecuaciones anteriores, se obtiene que $k = 0,0625 \text{ N/m}$. En consecuencia:

$$m = \frac{k}{\omega^2} = 0,0063 \text{ kg}$$

- c) Considerando que inicialmente se encuentra en la máxima elongación, la forma más sencilla de escribir la ecuación será:

$$x = A \cos \omega t = 0,8 \cos \pi t \text{ m}$$

- d) El valor de la velocidad en la posición indicada ($x = 0$) se obtiene de la expresión:

$$v = \omega \sqrt{A^2 - x^2} = 2,43 \text{ m/s}$$

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

- Decimos que un movimiento es armónico simple cuando tiene lugar bajo la acción de:
 - Fuerzas constantes.
 - Fuerzas constantes que cambian de sentido periódicamente.
 - Fuerzas restauradoras proporcionales a la distancia hasta la posición de equilibrio.
- La ecuación del movimiento armónico de un cuerpo que es obligado a oscilar desde su posición de equilibrio es:
 - Senoidal si se introduce un desfase de $\pi/2$.
 - Cosenoidal, si se introduce un desfase de $\pi/2$.
 - Senoidal.
- El periodo de un oscilador armónico consistente en una masa unida a un muelle:
 - Es independiente de la masa del cuerpo.
 - Solo depende de la longitud del muelle y del valor de g .
 - Depende de la masa del cuerpo y de la rigidez del muelle.
- La energía mecánica de un oscilador armónico:
 - Permanece constante si no actúan fuerzas disipativas.
 - Es proporcional a la amplitud.
 - Es proporcional al cuadrado de la amplitud.
- El fenómeno de resonancia se produce cuando:
 - La fuerza externa actúa en oposición al oscilador.
 - La energía transmitida por la fuerza externa es igual a la del oscilador.
 - La frecuencia angular de la fuerza externa coincide con la frecuencia natural del oscilador.
- El periodo de oscilación de un péndulo simple:
 - Depende de la masa del péndulo.
 - Depende de la longitud del péndulo.
 - Es independiente de los dos factores citados.

16



INTERACCIÓN ELECTROSTÁTICA Y CAMPO ELÉCTRICO

A l igual que sucedía en la anterior unidad, los conceptos relativos a la interacción electrostática y el campo eléctrico aparecen diseminados en el Real Decreto, que los contempla en los bloques de dinámica y de energía. En esta obra nos ha parecido más razonable agruparlos en una unidad con entidad propia, una vez que se han estudiado las unidades generales dedicadas a dinámica y energía.

La primera parte de la unidad se dedica a la descripción de la interacción electrostática, introduciendo para ello una nueva magnitud, la carga eléctrica, como agente físico causante de dicha interacción. De ese modo, el alumnado ya debe adquirir una visión más amplia de las interacciones, entendiendo ciertas similitudes y diferencias. Así, si la masa es el agente físico que causa la gravitación, la carga lo es en la interacción electrostática (y electromagnética en general). Sin embargo, en la presente unidad se pone el acento en una de las grandes diferencias entre ambos tipos de interacción; si la interacción gravitatoria en la materia ordinaria es atractiva, la interacción electrostática manifiesta un carácter dual: puede ser atractiva o repulsiva, por lo que se adjudica un doble signo a la carga eléctrica. Otra diferencia radica en las constantes que aparecen en las formulaciones de la Ley de Gravitación de Newton y la Ley de Coulomb; la constante de gravitación tiene carácter universal, por el contrario la constante que aparece en la formulación de la Ley de Coulomb depende del medio.

Otro interesante aspecto es el que se deriva de la distribución de la carga en la materia a gran escala, que hace que ésta presente distintos comportamientos. De ese modo, se abordan en este tema las diferencias entre lo que denominamos materiales aislantes, conductores y semiconductores.

La descripción de la interacción electrostática desde el punto de vista dinámico finaliza con el epígrafe 3 donde, por primera vez, se define el concepto de «campo» para describir la interacción. En este nivel se ha preferido definirlo de un modo muy sucinto, dado que la descripción del concepto de campo referido a cualquier interacción (y, en particular, referido a la gravitación y el electromagnetismo) se aborda más extensamente en la obra de Física de 2º de bachillerato.

Con el epígrafe 4 se inicia la descripción de esta interacción desde un punto de vista energético, introduciendo el concepto de «potencial» eléctrico. Al igual que ya se vio que, por ejemplo, el

movimiento de caída libre puede abordarse desde el punto de vista dinámico (conociendo la fuerza que actúa y determinando la aceleración que ésta comunica a la masa) o desde un punto de vista energético (mediante las transformaciones de energía que acontecen durante la caída), es importante que el alumnado entienda que el movimiento de cargas eléctricas puede interpretarse también de esas dos maneras. Así:

- Una carga se mueve entre dos puntos debido a la aceleración que le comunica la fuerza electrostática.
- Una carga se mueve entre dos puntos si entre ellos hay una diferencia de potencial.

Objetivos

1. Valorar la importancia de la ley de Coulomb y las consecuencias que de ella se derivan.
2. Reconocer las diferencias entre materiales conductores, aislantes y semiconductores.
3. Comprender el concepto de campo eléctrico como medio de describir la interacción electrostática.
4. Describir el movimiento de partículas cargadas en función de la diferencia de potencial entre dos puntos.

Relación de la unidad con las competencias clave

La competencia lingüística está presente en la correcta interpretación del texto. La competencia matemática está presente en todo el desarrollo, así como en el uso de las herramientas matemáticas. La competencia digital se relaciona fundamentalmente con las propuestas de *investiga y Física, Tecnología y Sociedad*. La competencia de aprender a aprender es inherente al propio desarrollo autosuficiente de la unidad, basado en la idea primordial de toda la obra de que ésta pudiera servir para el aprendizaje autodidacta del alumnado en caso de baja.

Temporalización

Recomendable en seis sesiones lectivas.

PROGRAMACIÓN DIDÁCTICA DE LA UNIDAD

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje	Relación de actividades del LA	Competencias clave
La interacción electrostática <ul style="list-style-type: none"> ■ La carga como propiedad fundamental de la materia. ■ Materiales aislantes y conductores. 	1. Reconocer el carácter de la carga eléctrica como agente físico de la interacción electrostática.	1.1 Clasifica los materiales en función de su comportamiento eléctrico.	AT: 1	CCL CAA
Ley de Coulomb de la interacción electrostática <ul style="list-style-type: none"> ■ Principio de superposición en un sistema de varias cargas 	2. Conocer la ley de Coulomb y caracterizar la interacción entre dos cargas eléctricas puntuales. 3. Valorar las diferencias y semejanzas entre la interacción eléctrica y gravitatoria.	2.1 Resuelve y compara las fuerzas gravitatoria y electrostática entre dos partículas de masa y carga conocida. 3.1 Halla la fuerza neta que un conjunto de cargas ejerce sobre otra carga.	A: 1-5 ER: 4 AT: 5,6,8-12,20	CMCCT
El campo eléctrico <ul style="list-style-type: none"> ■ Intensidad del campo eléctrico. ■ Representación gráfica del campo eléctrico ■ Efecto de los campos eléctricos sobre medios materiales. 	4. Conocer las magnitudes que cuantifican el campo eléctrico.	4.1 Calcula campos eléctricos debidos a una o más cargas puntuales. 4.2 Representa campos mediante líneas de fuerza en función del valor de las cargas.	A: 6-11 ER: 1,2,3,5,6 AT: 2-5, 7,8,13	CMCCT
El potencial eléctrico <ul style="list-style-type: none"> ■ Energía potencial de un sistema de dos cargas. ■ El potencial en un punto debido a una carga puntual. ■ Potencial creado por varias cargas puntuales 	5. Reconocer el carácter conservativo de la fuerza electrostática y definir la energía potencial asociada. 6. Conocer las magnitudes que determinan el potencial debido a una carga puntual	5.1 Calcula valores de potencial en un punto debido a una carga o a una distribución de cargas puntuales.	A: 12-14 ER: 6 AT: 19,21,26	CMCCT CD
Trabajo realizado al desplazar cargas en un campo eléctrico: diferencia de potencial	7. Vincular la diferencia de potencial eléctrico con el trabajo necesario para transportar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico. 8. Comprender el principio del funcionamiento de los aceleradores lineales de partículas cargadas.	7.1 Calcula el trabajo necesario para trasladar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico con la diferencia de potencial existente entre ellos. 8.1 Determina las velocidades de partículas cargadas al ser aceleradas a través de diferencias de potencial.	A: 15-17 ER: 7 AT: 15-18, 20-25, 27	CMCCT CD AA

LA: libro del alumno; A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas;

CCL: comunicación lingüística; CMCCT: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; CD: competencia digital; CAA: Aprender a aprender; CSC: Competencias sociales y cívicas; CSIEE: Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor; CCEC: Conciencia y expresiones culturales

MAPA DE CONTENIDOS DE LA UNIDAD

PARA EL ALUMNO

Vídeo: La interacción electrostática

Enlace web:

1. Fenómenos de electrización con ejercicios resueltos; 2. Propiedades de la carga eléctrica con ejercicios resueltos

Vídeo: Electricidad estática

Simulador: 1. Fuerzas entre cargas fijas y variables ; 2. Medida de cargas eléctricas

Vídeo: Electricidad estática

Enlace web: 1. Biografía de Coulomb; 2. Ley de Coluomb; 3. Interacción electrostática con actividades; 4. Comparación entre fuerza gravitatoria y electrostática; 5. Principio de superposición de fuerzas con ejercicios (I y II)

Simuladores: 1. Líneas de campo; 2. Campo de un dipolo; 3. Sistema de dos cargas, 4. Cargas y campos

Enlace web: Ejercicios resueltos de sistemas de cargas

Simuladores: Campo y potencial (I y II)

Enlace web: Energía potencial electrostática con ejercicios

Unidad 16: Interacción electrostática y campo eléctrico

1. La interacción electrostática

- 1.1. La carga como propiedad fundamental de la materia.
1.2. Materiales aislantes y conductores.

2. La ley de coulomb de la interacción electrostática

- 2.1. Principio de superposición en un sistema de varias cargas

3. El campo eléctrico

- 3.1. Intensidad del campo eléctrico.
3.2. Representación gráfica del campo eléctrico.
3.3. Efecto de los campos eléctricos sobre medios materiales.

4. El potencial eléctrico

- 4.1. Energía potencial de un sistema de dos cargas.
4.2. El potencial en un punto debido a una carga puntual.
4.3. Potencial creado por varias cargas puntuales.

Presentación

PARA EL PROFESOR

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO, M. y FINN, E.J.

Física. Addison-Wesley Longman. México 2000. Clásico de referencia en cualquier tema de Física. Tratamientos buenos y rigurosos.

HECHT, E.

Física en perspectiva. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A.) 1987. Uno de los libros de Física más amenos que se han escrito. Aborda la comprensión de la Física desde un punto de vista conceptual. Se trata de un libro «casi de lectura» con muy pocas fórmulas.

HEWITT, P. G.

Física conceptual. Addison-Wesley Iberoamericana. Wilmington (E.U.A) 1995. Se trata de un libro muy recomendable para la comprensión conceptual de la Física. Su lectura amena y la escasez de fórmulas hacen de este libro un material recomendable para aquellos alumnos y alumnas que sientan interés por la Física.

TIPLER, P. A.

Física. Editorial Reverté (3ª edición). Barcelona 1995. Clásico de referencia obligada.

Simulador: 1. Movimiento de cargas en campos eléctricos; 2. Acelerador lineal

Documento: aceleradores de partículas

Simulador:

Medida de la carga elemental, teoría y simulación

Vídeo: El experimento de Millikan

Documento: El experimento de Millikan

Documento:

Concepto de resistividad

Tests de autoevaluación interactivos

5. Trabajo realizado al desplazar cargas en un campo eléctrico: diferencia de potencial

- 5.1 Características de las fuerzas conservativas
- 5.2 Conservación de la energía mecánica
- 5.3 Conservación de la energía en presencia de fuerzas no conservativas

Física, tecnología y sociedad

Un bello experimento en la historia de la Física: la medida de la carga del electrón

Técnicas de trabajo y experimentación

Factores que determinan la resistencia a la conducción

Estrategias de resolución y Actividades y tareas

Síntesis de la unidad y Evaluación

Pruebas de evaluación

WEBGRAFÍA

Educaplus

<http://www.educaplus.org/>

Excelente web con buenos simuladores.

Fiscalab

<https://www.fiscalab.com>

Página web con propuestas de ejercicios.

Walter Lewin

http://videlectures.net/walter_h_g_lewin/

Canal con las interesantes lecciones del profesor Walter H.G. Lewin del MIT (en inglés).

<https://phet.colorado.edu/es>

Colección de simuladores.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica>

Curso interactivo de Física con ejercicios y simulaciones java.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

INTERACCIÓN ELECTROSTÁTICA Y CAMPO ELÉCTRICO

Se sugiere la lectura del texto introductorio acompañado del vídeo propuesto que ilustra el texto. Posteriormente deben plantearse las cuestiones que nos permitirán averiguar los conocimientos previos acerca de los contenidos que serán tratados en la unidad.

Vídeo:
LA INTERACCIÓN ELECTROSTÁTICA

1. La interacción electrostática

Al tratar la carga eléctrica en este epígrafe, se ha de hacer ver cómo la Física (particularmente la clásica) hace uso del principio de causalidad: todo fenómeno tiene una causa. Se introdujo la denominación de carga eléctrica a mediados del siglo XVII como un modo común de hablar acerca de la cantidad de electricidad almacenada por fricción en los cuerpos. Vendría a ser algo así como un «peso eléctrico». Sin embargo, el nombre perduró.

Se destaca en este epígrafe, no obstante, la complejidad que encierra definir los conceptos fundamentales de la Física. Cuanto más fundamentales, más difíciles de definir. De hecho, por eso mismo son fundamentales, porque no pueden definirse en función de otros. No obstante, los alumnos y alumnas no deben sacar la conclusión de que la ausencia de definiciones concretas implique desconocimiento del concepto. Más bien al contrario; conocemos lo que son por lo que hacen. Ahora bien, no sabemos por qué son; ¿alguien puede explicar por qué la carga eléctrica es una propiedad del electrón como partícula fundamental de la materia?

Vídeo:
ELECTRICIDAD ESTÁTICA

Enlaces web:
**FENÓMENOS DE ELECTRIZACIÓN
CON EJERCICIOS RESUELTOS
PROPIEDADES DE LA CARGA ELÉCTRICA
CON EJERCICIOS RESUELTOS**

2. Ley de Coulomb de la interacción electrostática

En este epígrafe es imprescindible abordar las similitudes y diferencias entre la interacción gravitacional y la electrostática.

Se debe aprovechar la ocasión para resaltar que la ley del inverso del cuadrado de la distancia es una propiedad bastante común en los fenómenos naturales. Puede citarse como ejemplo el siguiente: si se hace pasar la luz de un foco luminoso por un pequeño orificio para proyectarla sobre una cartulina y luego se separa esta al doble de distancia, la luz se repartirá ahora en una superficie cuatro veces mayor, lo que significa que la cantidad de luz por unidad de área disminuye conforme al inverso del cuadrado de la distancia.

Esa característica la comparten también la gravitación y la interacción electrostática.

Vídeo:
ELECTRICIDAD ESTÁTICA

Simulador:
**FUERZAS ENTRE CARGAS FIJAS Y VARIABLES
MEDIDA DE CARGAS ELÉCTRICAS**

Enlace web
**BIOGRAFÍA DE COLUOMB
LEY DE COLUOMB
INTERACCIÓN ELECTROSTÁTICA CON ACTIVIDADES
COMPARACIÓN ENTRE FUERZA GRAVITATORIA
Y ELECTROSTÁTICA
PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN DE FUERZAS
CON EJERCICIOS (I Y II)**

3. El campo eléctrico

En este epígrafe se resalta cómo el concepto de campo viene a ser una forma de interpretar un fenómeno tan complicado como es la interacción de dos cuerpos sin que medie contacto entre ellos. La idea fue introducida por Faraday y asumida por Einstein en la descripción de la gravitación. Sin embargo, se destaca que la idea de campo puede aclarar matemáticamente los aspectos relativos a la interacción, pero conceptualmente no resuelve mucho más que la noción de interacción a distancia; la pregunta acerca de por qué dos cargas interactúan a distancia puede ser sustituida ahora sin mayor éxito en la respuesta por la cuestión de por qué una carga crea un campo. La única solución sensata es que «sabemos que es así» o bien que «la idea del campo ofrece respuestas satisfactorias a los fenómenos conocidos».

Se hace especial hincapié en la idea gráfica de las líneas de fuerza y su relación con el valor del campo.

En el epígrafe 3.3 se resalta la importancia que tiene el llamado efecto de jaula de Faraday en nuestra vida cotidiana: la antena de cualquier vehículo o vivienda tiene como fin facilitar la recepción de señales electromagnéticas. De otro modo, sería imposible escuchar la radio en el interior de los coches o los hogares (donde las simples vigas metálicas o de hormigón armado son suficientes para constituir una jaula de Faraday).

Enlace web:
EJERCICIOS RESUELTOS DE SISTEMAS DE CARGAS

Simuladores:
**LÍNEAS DE CAMPO
CAMPO DE UN DIPOLO
SISTEMA DE DOS CARGAS
CARGAS Y CAMPOS**

4. El potencial eléctrico

Las ideas básicas que se resaltan en este epígrafe son:

- El potencial es una magnitud escalar que será positiva o negativa en función del signo de la carga.
- Si entre dos puntos hay diferencia de potencial, podrá haber movimiento de partículas cargadas. Las cargas positivas se ace-

leran al pasar de mayor a menor potencial, mientras que las negativas harán lo contrario.

- La energía potencial es una propiedad del sistema (constituido por dos cargas, por ejemplo), mientras que el potencial es una propiedad del campo creado por una carga.

Enlace web:

ENERGÍA POTENCIAL ELECTROSTÁTICA CON EJERCICIOS

Simuladores:

CAMPO Y POTENCIAL (I Y II)

5. Trabajo realizado al desplazar cargas en un campo eléctrico: diferencia de potencial

Una buena manera de hacer que los alumnos entiendan por qué es necesario que exista una diferencia de potencial para que las cargas puedan moverse de un punto a otro es poner el ejemplo de qué tiene que suceder para que el agua fluya de un punto a otro; debe haber un desnivel o «diferencia de potencial gra-

vitatorio» entre esos puntos. Exactamente esa misma razón es la que hace que las cargas puedan moverse de un punto a otro. La diferencia estriba en que el hecho de que existan dos tipos de carga permite que las cargas puedan moverse no solo de mayor a menor potencial, como sería el caso del agua, sino también al revés. La analogía que podría ponerse sería algo así como que existiera un «agua de antigravedad» que pudiera fluir de abajo hacia arriba.

En este epígrafe es importante resaltar cómo se aceleran partículas cargadas con campos eléctricos estableciendo un nexo con el funcionamiento de los grandes aceleradores lineales o LINACS.

Simulador:

**MOVIMIENTO DE CARGAS EN CAMPOS ELÉCTRICOS
ACELERADOR LINEAL**

Documento

ACELERADORES DE PARTÍCULAS

SOLUCIONES DE LAS ACTIVIDADES (páginas 380/391)

Comprueba lo que sabes

1. ¿A qué se debe que los materiales puedan presentar propiedades eléctricas?

La pregunta tiene por objetivo verificar si los alumnos tienen una idea previa acerca de la carga eléctrica como agente causante de los fenómenos electrostáticos.

2. ¿Serías capaz de definir el concepto de carga eléctrica? ¿Y el de campo eléctrico?

Los alumnos han escuchado infinidad de veces hablar de la carga eléctrica, pero cuando se les pide una definición nos encontramos con el problema de la enorme dificultad de definir los conceptos más básicos de Física.

Debemos contentarnos con respuestas del tipo *carga es el agente físico causante de los fenómenos eléctricos o campo eléctrico es la región espacial cuyas propiedades eléctricas son perturbadas por la presencia de una carga.*

3. ¿Qué diferencias fundamentales existen entre la fuerza gravitatoria que se ejercen entre si dos masas y la fuerza electrostática que aparece entre dos cargas?

Se pide que aventuren una respuesta que será analizada en el apartado 2 de la unidad. Las diferencias fundamentales estriban en que la interacción gravitatoria es universal y atractiva, mientras que la electrostática depende del medio y tiene carácter dual, además de, evidentemente, el agente físico causante de ambas interacciones.

Actividades

1. Calcula la fuerza con que se repelen dos electrones separados entre sí una distancia de 10^{-8} m y compara este resultado con el valor de la fuerza gravitacional con que se atraen.

Haciendo uso de la ley de Coulomb:

$$F = k \frac{QQ'}{r^2} = k \frac{e^2}{r^2}$$

Sustituyendo los datos:

$$F = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(10^{-8} \text{ m})^2} = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

Calculando ahora la fuerza gravitacional con que se atraen:

$$F_g = G \frac{m_e^2}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2 \cdot \frac{(9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg})^2}{(10^{-8} \text{ m})^2}$$

$$F_g = 5,52 \cdot 10^{-55} \text{ N}$$

Así pues, la fuerza electrostática con que se repelen resulta ser $4,1 \cdot 10^{42}$ veces mayor que la fuerza gravitacional con que se atraen.

2. ¿A qué distancia deberían encontrarse dos cargas de 1 C para repelerse con una fuerza de 1 N?

A partir de la expresión de la ley de Coulomb, obtenemos:

$$r = \sqrt{k \frac{Q^2}{F}} = 94\,868,3 \text{ m}$$

3. ¿Con qué fuerza se atraen un protón y un electrón en el átomo de hidrógeno, si el radio atómico es de $0,3 \text{ \AA}$?

Sustituyendo los datos en la expresión de la ley de Coulomb:

$$F = k \frac{e^2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(0,3 \cdot 10^{-10} \text{ m})^2} = 2,56 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

4. Dos esferas de 20 g de masa, cargadas, se encuentran suspendidas de sendos hilos de 0,5 m de longitud que penden del mismo punto del techo. Al repelerse, se comprueba que los hilos forman un ángulo de 10° con la vertical.

- a) ¿Cuál es la fuerza con que se repelen las cargas?

- b) ¿Cuánto valen las cargas?

- a) La condición de equilibrio exige que:

$$mg = T \cos 10^\circ$$

$$F_e = T \sin 10^\circ$$

Con los datos del enunciado, podemos despejar T en la primera igualdad:

$$T = 0,2 \text{ N}$$

Sustituyendo este valor en la segunda igualdad, resulta:

$$F_e = 0,034 \text{ N}$$

- b) Haciendo uso de este valor, podemos determinar la carga a partir de la expresión de la ley de Coulomb:

$$Q = \sqrt{F \frac{r^2}{k}} = 3,36 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

Donde $r = 2 \cdot 0,5 \cdot \sin 10^\circ = 0,173 \text{ m}$, según puede desprenderse de la figura.

5. Dos cargas positivas de $3 \mu\text{C}$ se encuentran en los puntos $(-3, 0) \text{ m}$ y $(3, 0) \text{ m}$, respectivamente, del eje X . Escribe en notación vectorial la fuerza neta que ejercen sobre una tercera carga $Q_3 = -2 \mu\text{C}$ situada:

- a) En el punto $(0, 4) \text{ m}$.

- b) En el punto $(6, 0) \text{ m}$.

- c) En el punto $(2, 0) \text{ m}$.

- d) En el origen.

Aplicando en todos los casos la expresión de la ley de Coulomb $\vec{F} = k \frac{QQ'}{r^2} \vec{u}_r = k \frac{QQ'}{r^2} \frac{\vec{r}}{r'}$, obtenemos:

a) $\vec{F}_{\text{total}} = -3,456 \cdot 10^{-3} \vec{j} \text{ N}$

b) $\vec{F}_{\text{total}} = -6,67 \cdot 10^{-3} \vec{i} \text{ N}$

c) $\vec{F}_{\text{total}} = 0,052 \cdot 10^{-3} \vec{j} \text{ N}$

d) $\vec{F}_{\text{total}} = 0$

6. Halla el vector campo eléctrico en el punto $(7, 3) \text{ m}$ originado por:

- a) Una carga de $+3 \mu\text{C}$ situada en el punto $(-1, 2)$.

- b) Una carga de $-5 \mu\text{C}$ situada en el punto $(2, -5)$.

Si utilizamos en ambos apartados la expresión de la ley de Coulomb, se consigue:

a) $\vec{E} = 412,2 \vec{i} + 51,5 \vec{j} \text{ N/C}$

b) $\vec{E} = -268 \vec{i} - 5428,7 \vec{j} \text{ N/C}$

- 7 Dos cargas positivas de $2 \mu\text{C}$ y $6 \mu\text{C}$, respectivamente, se encuentran separadas 2 m . ¿A qué distancia de la carga mayor se halla el punto en el que se anulan los campos debidos a cada una de ellas?

Llamemos x a la distancia desde la carga mayor al punto, Q a la carga mayor y Q' a la menor. En el punto donde el campo es nulo, los valores de los campos debidos a cada carga son iguales, por lo que se cumplirá que:

$$k \frac{Q}{x^2} = k \frac{Q'}{(2-x)^2}$$

Resolviendo la ecuación, se obtiene que $x = 1,268 \text{ m}$.

- 8 ¿Por qué no pueden cruzarse las líneas de fuerza del campo creado por dos o más cargas?

Por definición, las líneas de fuerza del campo son tangentes al vector \vec{E} en cada punto, y en cada uno de esos puntos solo hay una dirección y valor del campo, pues aun en el caso de que existieran varias cargas, por aplicación del principio de superposición, habría un único vector de campo resultante.

- 9 Una carga de $6Q$ está a una distancia, d , de otra carga, $-Q$. Representa las líneas de fuerza del campo creado por ambas.

El campo creado por una carga puntual $E = kq/r^2$ es proporcional al valor de la carga y la densidad de líneas de fuerza es proporcional al valor del campo; en consecuencia, de la carga de $6Q$ saldrán seis veces más líneas de fuerza que las que entran en $-Q$. Así pues, si de $6Q$ salen 18 líneas de fuerza, entrarán 3 en $-Q$.

- 10 Dos cargas, Q_1 y Q_2 , de $4 \mu\text{C}$ y $-2 \mu\text{C}$, respectivamente, están situadas en los vértices de un triángulo equilátero, como en la figura 16.15. Halla el valor del campo eléctrico resultante en el vértice superior, así como la fuerza resultante que actúa sobre la carga Q_3 , de $1 \mu\text{C}$, situada en ese punto.

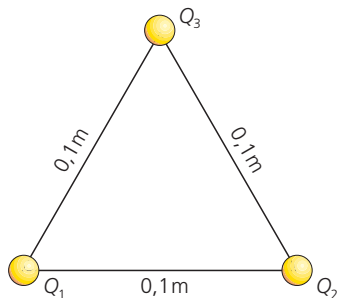


Figura 16.15.

El valor del campo creado en ese vértice por la carga Q_1 es:

$$E_1 = k \frac{Q_1}{r_1^2} = 3600000 \text{ N/C}$$

La dirección del campo es la recta que une Q_1 y Q_3 , y su sentido es saliente de Q_1 . Por otra parte, el valor del campo creado por Q_2 en ese mismo vértice es:

$$E_2 = k \frac{Q_2}{r_2^2} = -1800000 \text{ N/C}$$

Con el signo negativo se indica su sentido hacia la propia carga Q_2 . Así pues, podemos descomponer los vectores \vec{E}_1 y \vec{E}_2 en sus componentes, con lo que se obtiene:

$$\vec{E}_1 = E_1 \cos 60^\circ \vec{i} + E_1 \sin 60^\circ \vec{j} \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_1 = (1,80 \vec{i} + 3,12 \vec{j}) \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_2 = E_2 \cos 60^\circ \vec{i} - E_2 \sin 60^\circ \vec{j} \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_2 = (0,90 \vec{i} - 1,56 \vec{j}) \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

Por tanto, el campo resultante es:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (2,70 \vec{i} + 1,56 \vec{j}) \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

Teniendo en cuenta que $\vec{F} = Q_3 \vec{E}$, resulta:

$$\vec{F}_3 = Q_3 \vec{E} = 2,70 \vec{i} + 1,56 \vec{j} \text{ N}$$

- 11 ¿Podría una carga cualquiera permanecer en reposo en algún punto del campo creado por dos cargas iguales?

Solo podría permanecer en reposo en aquel punto donde el campo resultante creado por ambas cargas iguales fuese cero, y eso únicamente ocurre en el punto medio de la línea que une ambas cargas.

- 12 ¿Cuánto vale el potencial creado por una carga de $6 \mu\text{C}$ a una distancia de $1,25 \text{ m}$?

El potencial valdría:

$$V = k \frac{Q}{r} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{1,25 \text{ m}} = 43200 \text{ V}$$

- 13 ¿Cómo es el potencial de todos los puntos situados a la misma distancia de una carga puntual? Si consideráramos una superficie que incluyera todos esos puntos, ¿qué forma tendría?

Según se desprende de la expresión del potencial creado por una carga puntual, todos los puntos situados a igual distancia de la carga tienen el mismo valor de potencial.

Si uniéramos todos esos puntos, obtendríamos una esfera de radio r (valor de la distancia) que constituiría una superficie equipotencial.

- 14 Supongamos una carga positiva, Q , creadora de un campo. Razona cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- a) Al aproximar a Q una carga testigo positiva, Q' , la energía potencial del sistema aumenta.
 - b) Al aproximar a Q una carga, $-Q'$, la energía potencial del sistema aumenta.
 - c) Al alejar una carga, $-Q'$, la energía potencial aumenta.
 - d) Al alejar una carga, $+Q'$, la energía potencial aumenta.
- a) La afirmación es correcta.

Puesto que $E_p = Q'V$, y dado que el potencial aumenta a medida que la distancia disminuye, entonces, para una carga positiva, la energía potencial del sistema se eleva al acercarse ambas cargas. Esto se debe a que ha de hacerse un trabajo externo para posibilitar el acercamiento, por lo que la energía potencial del sistema aumenta.

- b) Al contrario que en el caso anterior, esta propuesta es falsa, pues $E_p = -Q'V$, por lo que, al aproximar la carga $-Q'$, la energía potencial adquiere valores más negativos, es decir, disminuye. La razón estriba en que ahora es el propio sistema el que realiza el trabajo de acercamiento a expensas de su energía potencial, que se reduce.
- c) Esta proposición es correcta, pues, para alejar una carga negativa, debe realizarse un trabajo externo, por lo que la energía potencial del sistema aumenta.
- d) Esta proposición es falsa. Al alejar una carga, es el propio sistema el que realiza el trabajo, a costa de reducir su energía potencial (es decir, a costa de disminuir su propia capacidad de seguir realizando trabajo).
- 15) Teniendo en cuenta la definición de superficie equipotencial, deduce y dibuja cómo serán las superficies equipotenciales debidas a:
- Una carga puntual.
 - Una placa plana cargada positivamente.

En el caso de una carga puntual son esferas concéntricas en cuyo centro está la carga puntual, mientras que en el caso de una placa plana cargada positivamente son superficies planas y paralelas a la placa.

- 16) ¿Por qué no pueden cruzarse las líneas de fuerza del campo creado por ¿Cuál es la velocidad final de un electrón acelerado a través de una diferencia de potencial de 15000 V si estaba inicialmente en reposo?

Si llamamos e a la carga del electrón y hacemos uso de la expresión de la página 391 del Libro del Alumno, obtendremos:

$$\frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = e\Delta V$$

Por tanto:

$$v = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m}} = 7,26 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

- 17) Un electrón que se mueve a $2 \cdot 10^7$ m/s entra en una región en la que existe un campo eléctrico uniforme de 6000 N/C. ¿Qué movimiento describe? ¿Qué distancia recorre hasta que su velocidad se hace cero?

Tendrá un movimiento rectilíneo uniformemente desacelerado. Su aceleración será:

$$a = -eE/m = -1,055 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

Con esa aceleración, la distancia que recorre hasta que su velocidad se hace cero viene dada por:

$$d = -v_0^2/2a = 0,189 \text{ m} = 18,9 \text{ cm}$$

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES FÍSICA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD (página 392)

Simulador:
**MEDIDA DE LA CARGA ELEMENTAL,
TEORÍA Y SIMULACIÓN**

Vídeo:
EL EXPERIMENTO DE MILLIKAN

Documento:
EL EXPERIMENTO DE MILLIKAN

Análisis

- 1 ¿Qué representa la igualdad plasmada en la primera ecuación escrita?

La parte izquierda de la igualdad es la diferencia entre el peso y el empuje, mientras que la parte derecha representa la fricción del medio.

- 2 En su artículo original, Millikan delimitó un valor límite a la pequeñez de las gotas de aceite analizadas, descartando aquellas que fuesen excesivamente pequeñas. ¿Se te ocurre cuál podía ser la razón para esa exclusión?

En el artículo original de Millikan se exponen las razones de la exclusión de esas gotas; su velocidad de caída sería extremadamente lenta, de modo que las posibles corrientes convectivas o el movimiento browniano podrían añadir errores a la medida.

Propuesta de investigación

- 3 Busca información e imágenes en Internet y haz una presentación detallada acerca del experimento de Millikan y algunas de las controversias que suscitó el análisis detallado de su artículo y la acusación de selección de datos.

Los alumnos deben realizar este trabajo a partir de la documentación que encuentren en internet. Deben indagar especialmente en la acusación de cosmética de datos del experimento y si eso realmente constituyó fraude o simplemente delimitó el porcentaje de error de la medida.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES TÉCNICAS DE TRABAJO Y EXPERIMENTACIÓN (página 393)

Documento:
CONCEPTO DE RESISTIVIDAD

Cuestiones

- 1 ¿Observas que haya dependencia de la resistencia del conductor con respecto a la longitud? ¿Se te ocurre alguna explicación a este hecho?

Deben encontrar que la resistencia aumenta con la longitud del conductor. La razón se debe al fundamento físico de la resistencia, que no es otro que las desviaciones que sufren los electrones por los iones de la red. A mayor longitud, mayor impedimento al paso de la corriente.

- 2 ¿Observas que haya dependencia de la resistencia con respecto a la sección o grosor? ¿Se te ocurre alguna explicación a este hecho?

En este caso, un mayor grosor significa menos resistencia. Una buena analogía sería un tubo de agua de mayor diámetro o una autopista de más carriles.

- 3 ¿Cómo varía la resistencia con la temperatura? ¿Qué pasa si continuas calentando la resistencia? ¿Se te ocurre alguna explicación física de este fenómeno?

El movimiento térmico de agitación de los iones de la red dificulta el movimiento de los electrones. Un mayor calentamiento puede producir la fusión del metal, impidiendo la conducción eléctrica.

SOLUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS FINALES (páginas 396/397)

Interacción electrostática y concepto de campo eléctrico

- 1 Usando la electrización por fricción, ¿cómo podríamos diferenciar una varilla de material aislante de otra de material conductor?

Al frotar un material aislante, la carga queda concentrada en la zona frotada. Este hecho se manifiesta por fenómenos de atracción o repulsión sobre otros materiales. Por el contrario, esto no sucede en los materiales conductores.

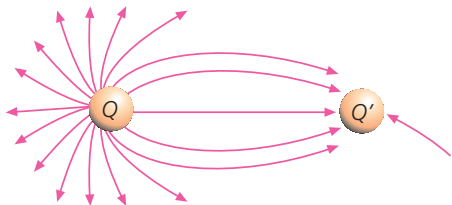
- 2 Un electrón y un protón se sitúan en el seno de un campo eléctrico uniforme. ¿Qué ocurrirá? Compara las aceleraciones que adquirirán ambas partículas.

Se empezarán a mover en sentidos opuestos: el protón lo hará en el sentido del campo, mientras que el electrón lo hará en sentido opuesto. El valor de la fuerza que actúa sobre ambos es el mismo e igual a eE . Por tanto, las aceleraciones que adquirirán serán:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$$

Como la masa del protón es 1840 veces mayor que la del electrón, su aceleración será 1840 veces menor.

- 3 Observa las líneas de fuerza del campo entre dos cargas desconocidas. Determina la relación entre Q y Q' . ¿Cuál es la carga positiva? ¿Y la negativa?



La carga de la izquierda (Q) es tres veces mayor que la de la derecha (Q'), puesto que de ella salen 18 líneas de fuerza, de las que solo 6 llegan a Q' . El signo de Q es positivo y el de Q' es negativo.

- 4 Una carga puntual de $4 \mu\text{C}$ situada en el origen genera un campo eléctrico. Determina el campo eléctrico en los puntos $A(3, 0)$, $B(0, 2)$, $C(1, 1)$ y $D(2, 4)$. ¿Qué ángulo forma el campo con el eje X en el punto D ?

El campo eléctrico en el punto $A(3, 0)$ tiene por valor:

$$E_A = k \frac{Q}{x^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(3 \text{ m})^2} = 4000 \text{ N/C}$$

Como su dirección es a lo largo del eje X , se puede expresar vectorialmente:

$$\vec{E}_A = 4000 \vec{i} \text{ N/C}$$

En el punto $B(0,2)$:

$$E_B = k \frac{Q}{y^2} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(2 \text{ m})^2} = 9000 \text{ N/C}$$

Puesto que su dirección y sentido es el del eje Y positivo, entonces:

$$\vec{E}_B = 9000 \vec{j} \text{ N/C}$$

En el punto $C(1,1)$:

$$\vec{E}_C = k \frac{Q}{r_C^2}$$

En este caso:

$$r_C^2 = x^2 + y^2 = 2$$

Por tanto, sustituyendo, obtenemos:

$$E_C = 18000 \text{ N/C}$$

El vector \vec{E}_C forma 45° con los ejes X e Y , por lo que las componentes E_{Cx} y E_{Cy} serán:

$$E_{Cx} = E_{Cy} = E_C \text{ sen } 45^\circ = 12728 \text{ N/C}$$

Así, dado que el campo es saliente:

$$\vec{E}_C = 12728 \vec{i} + 12728 \vec{j} \text{ N/C}$$

En el punto $D(2,4)$, tenemos que:

$$r_D^2 = x^2 + y^2 = 20$$

Por tanto:

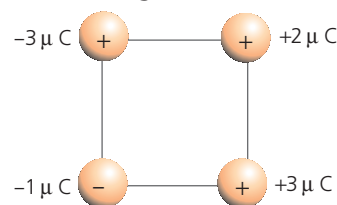
$$E_D = k \frac{Q}{r_D^2} = 1800 \text{ N/C}$$

El vector \vec{E}_D forma un ángulo de $63,43^\circ$ con el eje X (según puede comprobarse al ser $\text{tg } \alpha = 4/2 = 2$).

Por tanto:

$$\vec{E}_D = E_D \cos \alpha \vec{i} + E_D \text{ sen } \alpha \vec{j} \text{ N/C} = 805 \vec{i} + 1610 \vec{j} \text{ N/C}$$

- 5 Cuatro cargas puntuales están situadas en los vértices de un cuadrado de $0,5 \text{ m}$ de lado. ¿Qué fuerza actúa sobre la carga negativa? ¿Cuánto vale el campo eléctrico en la posición de esa carga?



Las magnitudes de las fuerzas que ejercen las cargas de $+3 \mu\text{C}$ sobre la carga negativa son iguales a:

$$F_1 = F_3 = k \frac{QQ'}{r_2^2} = 0,108 \text{ N}$$

Vectorialmente:

$$\vec{F}_1 = 0,108 \vec{i} \text{ N}$$

$$\vec{F}_3 = 0,108 \vec{j} \text{ N}$$

En cuanto a la magnitud de la fuerza que ejerce la carga $+2 \mu\text{C}$ de sobre la carga negativa, vale:

$$F_2 = k \frac{QQ'}{r_2^2} = 0,036 \text{ N}$$

Donde:

$$r_2^2 = 0,5^2 + 0,5^2 = 0,5$$

Por otra parte, dicha fuerza se dirige hacia la carga positiva y forma 45° con los ejes, por lo que, vectorialmente:

$$\vec{F}_2 = 0,025 \vec{i} + 0,025 \vec{j} \text{ N}$$

De este modo, la fuerza total que actúa sobre la carga negativa es:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0,133 \vec{i} + 0,133 \vec{j} \text{ N}$$

Y su módulo vale:

$$F = 0,188 \text{ N}$$

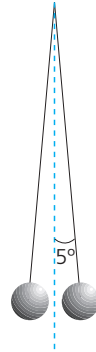
En cuanto al campo eléctrico en la posición que ocupa la carga negativa, será:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} = \frac{(0,133 \vec{i} + 0,133 \vec{j}) \text{ N}}{(-10^{-6}) \text{ C}} = -133000 \vec{i} - 133000 \vec{j} \text{ N/C}$$

Su valor es:

$$E = 188090 \text{ N/C}$$

- 6 Dos pequeñas esferas de idéntica carga y 15 g de masa cada una se encuentran suspendidas en equilibrio, como se muestra en la figura. Si la longitud de cada hilo es de 20 cm y el ángulo que forman con la vertical es de 5°, calcula la carga de las esferas.



En el equilibrio se cumplen las siguientes igualdades de módulos:

$$T \cos 5^\circ = mg$$

$$T \sin 5^\circ = F_e$$

Resolviendo con los datos del enunciado, obtenemos:

$$F_e = 0,01286 \text{ N}$$

Dado que:

$$F_e = k \frac{Q^2}{d^2}$$

Y que, como puede verse en la figura:

$$d = 2 \cdot 0,2 \cdot \sin 5^\circ$$

Se obtiene:

$$Q = 4,1 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

- 7 Una carga Q' de +5 nC situada en el origen se encuentra sometida a una fuerza de $4 \cdot 10^{-5} \vec{j}$ N. Halla:

- El campo eléctrico en el origen.
- Si dicho campo es debido a una carga Q de +72 μC , determina el punto donde se encuentra dicha carga.

- El campo eléctrico viene dado por $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}$ siendo, por

tanto, igual a $8000 \vec{j}$ N/C.

- El valor del campo eléctrico debido a una carga puntual responde a la expresión:

$$E = K \frac{Q}{r^2}$$

Despejando r con los datos del problema, se obtiene que $r = 9$ m. Dado que el campo en el origen está dirigido verticalmente hacia arriba, la carga que lo origina se encuentra en el punto $(0, -9)$.

- 8 Dos cargas Q_1 y Q_2 idénticas y de valor $-2 \mu\text{C}$ se encuentran en los puntos $(-3, 0)$ y $(3, 0)$ respectivamente. Determina:

- El campo eléctrico, en notación vectorial, en los puntos $(0, 4)$, $(0, 0)$ y $(0, -4)$.
- La fuerza a la que estaría sometida una carga testigo Q' de +5 nC situada en dichos puntos.

- Teniendo en cuenta la respuesta del apartado anterior, ¿qué tipo de movimiento describiría dicha partícula si fuese abandonada en reposo en el punto $(0, 4)$?

- Si la masa de la carga testigo es de 3 μg , ¿con qué período oscilará? ¿Y con qué frecuencia?

- ¿Qué ecuación describe el movimiento de dicha partícula cargada?

- Dado que las cargas son negativas, los vectores campo se dirigen hacia cada una de ellas. Procediendo como se expone en la página 210 de la unidad de herramientas matemáticas, los vectores unitarios dirigidos del punto $(0, 4)$ a los puntos $(-3, 0)$ y $(3, 0)$ son, respectivamente:

$$\vec{u} = -0,6 \vec{i} - 0,8 \vec{j}$$

$$\vec{u}' = 0,6 \vec{i} - 0,8 \vec{j}$$

Mientras que el valor del campo eléctrico, siendo $r = 5$ m la distancia entre los puntos considerados, es:

$$E = K \frac{Q}{r^2} = 720 \text{ N/C}$$

Por tanto, los campos debidos a Q_1 y Q_2 en el punto $(0, 4)$ son, respectivamente:

$$\vec{E}_1 = -432 \vec{i} - 576 \vec{j} \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_2 = +432 \vec{i} - 576 \vec{j} \text{ N/C}$$

Por tanto, el campo neto en dicho punto es:

$$\vec{E}(0, 4) = -1152 \vec{j} \text{ N/C}$$

Por otra parte, dado que el origen $(0, 0)$ es equidistante de las dos cargas idénticas, el campo en dicho origen es cero.

En cuanto al punto $(0, -4)$, procediendo como en el primer caso se comprueba que:

$$\vec{E}(0, -4) = +1152 \vec{j} \text{ N/C}$$

- A partir de la expresión $\vec{F} = Q' \vec{E}$, dicha carga estaría sometida a las fuerzas:

$$\vec{F}(0, 4) = -5,76 \cdot 10^{-6} \vec{j} \text{ N/C}$$

$$\vec{F}(0, -4) = +5,76 \cdot 10^{-6} \vec{j} \text{ N/C}$$

- La fuerza eléctrica sobre la carga actúa como una fuerza restauradora, dirigida en todo punto hacia el origen y valiendo cero en éste. Por tanto, la carga describirá un movimiento armónico simple.

- El valor de la aceleración máxima debido a esa fuerza es:

$$a = \frac{F}{m} = 1920 \text{ m/s}^2$$

Y como esa aceleración máxima es $|a| = \omega^2 A$ siendo A la amplitud igual a 4 m, se deduce que:

$$\frac{4 \pi^2}{T^2} = \frac{a}{A}$$

De donde, despejando el período, se obtiene $T = 0,28$ s y $f = 3,49$ s⁻¹.

e) La ecuación es del tipo $y = A \cos \omega t$ siendo

$$\omega = \sqrt{\frac{a}{A}} = 21,9 \text{ s}^{-1}$$

Así pues:

$$y = 4 \cos 21,9 t \text{ m}$$

9 La suma de dos cargas positivas Q_1 y Q_2 vale $10 \mu\text{C}$ y la fuerza mutua con que se repelen cuando están separadas 3 m es de 10^{-2} N . Determina el valor de cada una de las cargas.

Teniendo en cuenta que $Q_1 + Q_2 = 10^{-5} \text{ C}$, entonces:

$$Q_2 = 10^{-5} - Q_1$$

El valor de la fuerza con que se repelen viene dado por la ley de Coulomb, de modo que:

$$F = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \rightarrow 10^{-2} = 9 \cdot 10^9 \frac{Q_1 (10^{-5} - Q_1)}{9}$$

Resolviendo se obtiene:

$$Q_1 = +8,87 \mu\text{C}$$

$$Q_2 = +1,13 \mu\text{C}$$

10 Compara la fuerza eléctrica con que se atraen un protón y un electrón en el átomo de hidrógeno con la fuerza gravitatoria entre ambos.

Datos: $m_p = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$;
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$

Teniendo en cuenta los datos ofrecidos y considerando las expresiones de la fuerza gravitatoria entre dos masas y la electrostática entre dos cargas, se obtiene que:

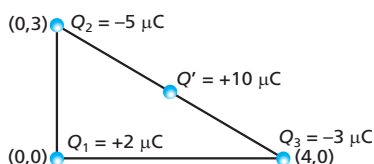
$$F_G = 3,58 \cdot 10^{-47} \text{ N}$$

$$F_E = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

En consecuencia:

$$F_E = 2,28 \cdot 10^{39} \cdot F_G$$

11 Determina la fuerza, en notación vectorial y en módulo, que actúa sobre la carga Q' de la figura, situada en el punto medio del segmento que une las cargas Q_2 y Q_3 :



La carga Q' está situada en el punto de coordenadas $(2; 1,5)$. Por tanto, las tres cargas están equidistantes, siendo $r = 2,5 \text{ m}$.

Por tanto, los valores de las fuerzas que cada una de las cargas ejerce sobre Q' , sustituyendo los correspondientes valores en la ley de Coulomb, son:

$$F_1 = 0,0288 \text{ N}$$

$$F_2 = 0,072 \text{ N}$$

$$F_3 = 0,0432 \text{ N}$$

La fuerza \vec{F}_1 es saliente desde Q_1 , mientras que las fuerzas \vec{F}_2 y \vec{F}_3 se dirigen respectivamente hacia las cargas Q_2 y Q_3 .

Teniendo estas direcciones presentes, los vectores unitarios en la dirección de cada una de las fuerzas son, procediendo como se expone en el problema 8:

$$\vec{u}_1 = 0,8 \vec{i} + 0,6 \vec{j} \text{ m}$$

$$\vec{u}_2 = -0,8 \vec{i} + 0,6 \vec{j} \text{ m}$$

$$\vec{u}_3 = 0,8 \vec{i} - 0,6 \vec{j} \text{ m}$$

Por lo que las fuerzas, en expresión vectorial, son:

$$\vec{F}_1 = 0,023 \vec{i} + 0,017 \vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{F}_2 = -0,057 \vec{i} + 0,043 \vec{j} \text{ N}$$

$$\vec{F}_3 = 0,035 \vec{i} - 0,026 \vec{j} \text{ N}$$

La resultante de todas ellas es:

$$\vec{F} = 0,034 \vec{j} \text{ N}$$

12 ¿Cuánto vale la fuerza de repulsión electrostática entre dos protones en el interior de un núcleo atómico si la separación entre sus centros en máxima aproximación es de $1,7 \text{ fm}$? ¿Te da este resultado alguna pista acerca de cuántos órdenes de magnitud mayor debe ser la llamada *interacción nuclear fuerte* que mantiene unidos los protones y los neutrones en el tamaño del núcleo?

La fuerza de repulsión entre dos protones, a esa distancia y haciendo uso de la ley de Coulomb, resulta ser de:

$$F = k \frac{e^2}{r^2} = 79,7 \text{ N}$$

Obsérvese que esta fuerza repulsiva entre solo dos protones equivale a la necesaria para sostener un cuerpo de 8 kg . Teniendo esto en cuenta y la increíble densidad del núcleo atómico, entenderemos que la fuerza fuerte es dos órdenes de magnitud mayor que la electrostática.

13 En un experimento similar al de la gota de aceite de Millikan, se consigue mantener suspendida en equilibrio una gota de $1,794 \mu\text{m}$ de radio de un aceite de densidad 890 kg/m^3 en un campo eléctrico de 2000 N/C . Determina cuál es la carga de la gota de aceite de este experimento y a cuántas entidades elementales de carga (electrones) corresponde.

Suponiendo que el experimento se lleva a cabo en vacío, para que la gota quede suspendida la fuerza eléctrica sobre la gota debe compensar a su peso. Expresando este último en términos de la densidad del aceite, tenemos:

$$QE = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot g$$

Expresando las cantidades ofrecidas en unidades SI y despejando Q , se obtiene:

$$Q = 1,056 \cdot 10^{-16} \text{ C}$$

Que dividido entre la carga elemental del electrón, resulta contener 660 entidades elementales de carga.

14 Tenemos un sistema constituido por tres pequeñas esferas conductoras, 1, 2 y 3, dos de las cuales (1 y 3) están fijas en los extremos de una varilla perfectamente aislante de 2 m de longitud. La esfera 2 es libre de desplazarse sin fricción alguna por la varilla. En el instante inicial, las esferas 1 y 3 tienen cargas de $+0,01 \text{ C}$ y $+0,04 \text{ C}$, mientras que la esfera 2 tiene una carga de $+0,02 \text{ C}$. Determina:

- a) ¿A qué distancia de la esfera 1 se encontrará la esfera 2 en ese instante inicial?
- b) Si a continuación se hace que la esfera 2 contacte con la 3 empujándola con una varilla aislante, ¿cuál será su nueva posición de equilibrio una vez que se deje libre?



- a) En el instante inicial, la esfera 2 se encontrará en el punto de equilibrio entre las esferas 1 y 3, a una distancia x de la esfera 1 y de la esfera 3. Por tanto, en ese punto se cumplirá que los valores de las fuerzas electrostáticas de Q_1 y Q_3 sobre la carga Q_2 son iguales, de modo que:

$$K \frac{Q_1 Q_2}{x^2} = K \frac{Q_3 Q_2}{(2-x)^2}$$

Resolviendo x con los valores ofrecidos, se obtiene:

$$x = 0,66 \text{ m}$$

- b) Al poner en contacto ambas esferas conductoras, ambas adquieren la misma carga igual a la semisuma de ambas cargas, es decir:

$$Q_2 = Q_3 = 0,03 \text{ C}$$

Sustituyendo estos nuevos valores en la igualdad anterior y resolviendo la distancia nueva, se obtiene:

$$x' = 0,73 \text{ m}$$

Concepto de potencial y movimiento de partículas cargadas

- 15) ¿En qué sentido se desplazan las cargas negativas en un campo eléctrico: de mayor a menor potencial o al revés?

De menor a mayor potencial.

- 16) ¿Qué trayectoria seguirá un electrón que entra perpendicularmente en un campo eléctrico dirigido verticalmente hacia arriba? ¿Y un protón?

Actuará sobre el electrón una fuerza verticalmente dirigida hacia abajo, que curvará su trayectoria obligándole a describir una semiparábola como las estudiadas en el lanzamiento horizontal.

Lo mismo le ocurrirá al protón, pero en sentido opuesto.

- 17) ¿Cómo usarías un campo eléctrico para separar iones atómicos de la misma carga, pero de distinta masa?

Haciéndolos entrar perpendicularmente al campo. Si la carga es idéntica, actuará sobre ellos la misma fuerza. Sin embargo, la aceleración que esa fuerza comunica a los iones es inversamente proporcional a la masa.

De ese modo, a mayor masa, menor será la curvatura de la trayectoria y, por el contrario, cuanto menor sea la masa, más curvada será la trayectoria.

- 18) ¿Por qué no se electrocutan los pájaros que se posan sobre los cables de alta tensión?

Solo podrían electrocutarse si estuvieran en contacto con dos cables entre los que hubiera una diferencia de potencial. Pero tal diferencia de potencial no existe al posarse sobre un único cable.

- 19) Una carga de $2 \mu\text{C}$ está situada en el origen, mientras que otra de $10 \mu\text{C}$ se halla en el punto $(0, 2) \text{ m}$. ¿En qué punto tendrá el campo eléctrico un valor cero? ¿Cuánto vale el potencial en ese punto?

El campo será cero en el punto intermedio en el que los valores del campo creado por cada una de las cargas en dicho punto sean iguales. Su sentido es contrario, ya que ambas cargas son positivas y, en consecuencia, los vectores son salientes respecto de cada carga.

Así, si llamamos y a la distancia entre la carga situada en el origen y el punto, la segunda carga se encontrará a una distancia $2 - y$, por lo que:

$$k \frac{Q}{y^2} = k \frac{Q'}{(2-y)^2}$$

Resolviendo, obtenemos:

$$y = 0,618 \text{ m}$$

Por tanto, el punto en el que el campo es nulo es:

$$P(0, 0,618) \text{ m}$$

El valor del potencial en dicho punto es:

$$V = V_1 + V_2 = k \frac{Q}{y} + k \frac{Q'}{2-y} = 94\,249 \text{ V}$$

- 20) En una región con un campo eléctrico uniforme de $15\,000 \vec{i} \text{ N/C}$ entra un electrón a $2 \cdot 10^6 \vec{i} \text{ m/s}$. Calcula:

- a) La aceleración que adquiere el electrón.
- b) El tiempo que tarda en llegar al reposo desde que entró en el campo.
- c) La distancia que recorre en el seno del campo hasta quedar en reposo.

- a) El electrón será sometido a una fuerza:

$$\vec{F} = -eE \vec{i} \text{ N}$$

Por tanto:

$$-eE = ma$$

Con lo que:

$$a = -eE/m = -2,6 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

Es decir:

$$\vec{a} = -2,6 \cdot 10^{15} \vec{i} \text{ m/s}^2$$

- b) Puesto que $v = v_0 - at$, entonces $0 = v_0 - at$, de donde se obtiene:

$$t = 7,58 \cdot 10^{-10} \text{ s}$$

- c) La distancia que recorre hasta quedar en reposo la determinamos a partir de $v^2 = v_0^2 - 2ax$ haciendo $v = 0$, por lo que:

$$x = \frac{v_0^2}{2a} = 7,58 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

- 21) Dos cargas fijas $Q_1 = +15 \text{ nC}$ y $Q_2 = -6 \text{ nC}$ se encuentran situadas en los puntos del plano XY de coordenadas $(2, 0)$ y $(-2, 0)$ respectivamente. Si todas las coordenadas están expresadas en metros, calcula:

- a) El potencial eléctrico que crean estas cargas en el punto A (-2, 3).
- b) El trabajo necesario para trasladar una carga igual a $-3e$ del punto A al punto B, siendo B (2, 3).
- a) Teniendo en cuenta las posiciones de las cargas y del punto A, las distancias de cada una de ellas al punto valen, respectivamente:

$$r_{1A} = 5 \text{ m y } r_{2A} = 3 \text{ m}$$

Por tanto, el potencial en el punto A es:

$$V_A = V_{1A} + V_{2A} = K \left(\frac{Q_1}{r_{1A}} + \frac{Q_2}{r_{2A}} \right)$$

Donde, sustituyendo los valores, se obtiene $V_A = 9 \text{ V}$

- b) El trabajo necesario para trasladar la carga citada desde A hasta B viene dado por:

$$W = Q' (V_A - V_B)$$

siendo:

$$V_B = V_{1B} + V_{2B} = K \left(\frac{Q_1}{r_{1B}} + \frac{Q_2}{r_{2B}} \right)$$

donde ahora $r_{1B} = 3 \text{ m y } r_{2B} = 5 \text{ m}$, por lo que:

$$V_B = 16,2 \text{ V}$$

Por tanto, el trabajo vale:

$$W = -4,8 \cdot 10^{-19} (9 - 16,2) = 3,45 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 21,6 \text{ eV}$$

- 22) ¿Qué diferencia de potencial necesitaríamos para acelerar un protón desde el reposo hasta una velocidad igual al 40 % de la de la luz?

La velocidad que alcanza el protón es $0,4 c$, por lo que:

$$\frac{1}{2} m (0,4 c)^2 = Q \Delta V \Rightarrow \Delta V = 7,5 \cdot 10^7 \text{ V}$$

Para ello, consideramos que la masa del protón es $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

- 23) Moviéndose en la dirección X, un electrón tiene una velocidad de $4 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ en el punto (0, 0), mientras que su velocidad es de $2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ en el punto (6, 0). Calcula la diferencia de potencial entre ambos puntos. ¿Cuál de ellos tiene un potencial mayor?

Al pasar del punto (0, 0) al punto (6, 0), se cumple que:

$$\frac{1}{2} m (v^2 - v_0^2) = -e(V_1 - V_2)$$

Resolviendo, obtenemos:

$$V_1 - V_2 = 45,38 \text{ V}$$

Como puede verse, es mayor el potencial en el punto (0, 0), pues los electrones se deceleran al pasar de puntos de mayor a menor potencial.

- 24) Un protón es acelerado a través de una diferencia de potencial de 50 000 V

- a) ¿Qué velocidad adquiere? (considera los datos de masa y carga del protón).

- b) Si con esa velocidad adquirida se le vuelve a aplicar la misma diferencia de potencial (cambiada de signo), ¿cuál será la nueva velocidad que adquirirá?

- c) ¿Y si vuelve a acelerarse de nuevo alternando por tercera vez la misma diferencia de potencial?

- a) Dado que el protón parte del reposo ($v_0 = 0$), el trabajo realizado sobre él se emplea en aumentar su energía cinética, de modo que:

$$\Delta E_c = e \Delta V \rightarrow \frac{1}{2} m v_1^2 = e \Delta V$$

Despejando v a partir de los datos ofrecidos, se obtiene:

$$v_1 = 3,1 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

- b) En la siguiente aceleración se tendrá:

$$\frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) = e \Delta V \rightarrow v_2 = \sqrt{v_1^2 + \frac{2 e \Delta V}{m}}$$

Por lo que

$$v_2 = 4,39 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

- c) En la siguiente aceleración, a la anterior velocidad le tenemos que sumar la velocidad que se deriva del incremento de la energía cinética, que en cada caso es igual a $\frac{2 e \Delta V}{m}$,

por lo que la nueva velocidad es:

$$v_3 = 5,37 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

- 25) El procedimiento enunciado en el problema anterior es la base de los denominados *aceleradores lineales de partículas* o LINACS. El primero de ellos fue construido por Luis W. Álvarez en 1948.

- a) Demuestra que la velocidad final de la partícula acelerada al cabo de n ciclos de aceleración como los descritos en el problema anterior viene dada por la expresión:

$$v_{\text{final}} = \sqrt{\frac{2nQ\Delta V}{m}}$$

donde Q y m son la carga y masa de la partícula, ΔV la diferencia de potencial y n el número de ciclos.

- b) En el primitivo acelerador lineal de Luis Álvarez se alcanzaron energías de 32 MeV. ¿Cuántos ciclos de aceleración fueron necesarios para ello?

- c) ¿Qué velocidad consiguió para los protones acelerados?

- a) Como se acaba de explicar en el problema anterior, el aumento de velocidad en cada ciclo viene dado por:

$$\frac{2Q\Delta V}{m}$$

por lo que al cabo de n ciclos de aceleración, si la partícula partió del reposo, su velocidad vendrá dada por la expresión:

$$v = \sqrt{\frac{2nQ\Delta V}{m}}$$

- b) La energía de 32 MeV equivale a $5,12 \cdot 10^{-12}$ J que será igual a n veces $e \Delta V$, de modo que:

$$n = \frac{5,12 \cdot 10^{-12}}{e \Delta V} = 640 \text{ ciclos}$$

- c) Igualando la anterior energía a la energía cinética y despejando la velocidad, se obtiene:

$$v = 7,85 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

- 26) Una carga puntual desconocida crea en un punto a distancia r un potencial de 5000 V y un campo eléctrico de 200 N/C. Determina a qué distancia se encuentra dicho punto y cuál es el valor y signo de la carga.

Las dos condiciones establecidas en el problema exigen que:

$$K \frac{Q}{r} = 5000 \text{ V y } K \frac{Q}{r^2} = 200 \text{ N/C}$$

Dividiendo la primera entre la segunda, se obtiene:

$$r = 25 \text{ m}$$

Sustituyendo este valor en cualquiera de las dos expresiones anteriores, se obtiene:

$$Q = +1,38 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

- 27) Un ión ${}^{207}_{82}\text{Pb}^{+2}$ es acelerado desde el reposo entre dos placas metálicas planas y paralelas, separadas por una distancia de 2 cm, entre las que se establece una diferencia de potencial de 50000 V. Determina:

- a) La velocidad del ion de plomo al llegar a la otra placa.

- b) La aceleración a la que está sometido el ión.

- c) A partir del dato anterior, determina el valor del campo eléctrico uniforme existente entre las placas.

Datos: $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

- a) Como ya se ha explicado en los problemas 24 y 25, la velocidad del ion vendrá dada por la expresión:

$$v = \sqrt{\frac{2Q\Delta V}{m}} = 3,054 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

- b) Esa velocidad se logra tras haber recorrido una distancia de 2 cm partiendo del reposo, por lo que, a partir de la expresión $v^2 = 2as$ la aceleración resulta ser:

$$a = \frac{v^2}{2s} = 2,33 \cdot 10^{12} \text{ m/s}^2$$

- c) Dado que el campo eléctrico es uniforme, este se puede hallar a partir de la expresión:

$$E = \frac{\Delta V}{d} = 2,5 \cdot 10^6 \text{ V/m (o N/C)}$$

SOLUCIONES DE LA EVALUACIÓN FINAL (página 399)

1. ¿Por qué razón no pueden cortarse nunca las líneas de fuerza del campo eléctrico debido a una carga puntual o sistema de cargas?

Por aplicación del principio de superposición, a cada punto le corresponde un único campo eléctrico resultante de los posibles campos que se superponen en dicho punto.

2. Dos pequeñas esferas conductoras se encuentran cargadas con cargas de $+2 \mu\text{C}$ y $+10 \mu\text{C}$ y separadas por una distancia de 60 cm. ¿Cómo es la fuerza entre ellas y qué valor tiene?

La fuerza es repulsiva y, aplicando la ley de Coulomb, tiene por valor 0,5 N.

3. Si las esferas del problema anterior se ponen en contacto y a continuación se vuelven a separar 60 cm, ¿sigue valiendo lo mismo la fuerza que se ejercen mutuamente? Demuestra tu respuesta.

Al ponerlas en contacto, cada una de ellas adquiere una carga igual a la semisuma de las dos y, por tanto, igual a $6 \mu\text{C}$. Si calculamos ahora la fuerza entre ellas, resulta ser de 0,9 N.

4. Considerando de nuevo las dos esferas del problema 2, determina:

- a) ¿A qué distancia de la de menor carga se encuentra el punto en el que el campo eléctrico es nulo?
 b) ¿Existe algún punto entre ambas cargas en el que el potencial sea nulo? ¿Y fuera de las cargas?
 a) En el punto en el que el campo es nulo, se cumple:

$$K \frac{Q_1}{x^2} = K \frac{Q_2}{(0,6 - x)^2}$$

Resolviendo x con los valores ofrecidos, se obtiene $x = 0,35 \text{ m}$.

- b) Puesto que las dos cargas son positivas, no puede haber ningún punto en el que el potencial sea nulo.
 5. Una carga de $+3 \text{ mC}$ está situada en el punto (1, 2) de un sistema de referencia. Determina la expresión vectorial y el valor del campo eléctrico que origina en el punto (4, 6). ¿Qué fuerza actuaría sobre una partícula de $+2 \mu\text{C}$ situada en dicho punto?

- a) Procediendo como se ha explicado en anteriores ejercicios (ver problemas 8 y 11), el vector unitario en la dirección de la recta que une los puntos citados es $\vec{u} = 0,6 \vec{i} + 0,8 \vec{j}$ m siendo la distancia entre ambos puntos igual a 5 m. Por otra parte, el valor del campo eléctrico en dicho punto es:

$$E = K \frac{Q}{r^2} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

Por tanto, el campo eléctrico en dicho punto es:

$$\vec{E} = E \cdot \vec{u} = 648\,000 \vec{i} + 864\,000 \vec{j} \text{ N/C}$$

- b) La fuerza que actuaría sobre la partícula es:

$$\vec{F} = Q\vec{E} = 1,296 \vec{i} + 1,728 \vec{j} \text{ N}$$

cuyo módulo es de 2,16 N.

6. Dos esferas cargadas de 5 g de masa penden de un mismo punto del techo mediante sendos hilos de 40 cm de longitud. El sistema queda en equilibrio cuando los hilos forman ángulo de 30° .

- a) Determina la carga de cada esfera indicando si son de igual o distinto signo.
 b) Compara la fuerza gravitatoria con que se atraen las esferas con la fuerza electrostática con que se repelen.
 a) Procediendo como en el problema 6 de las actividades y tareas finales, se obtiene que:

$$Q = d \sqrt{\frac{mg \operatorname{tg} 30}{K}} = 3,54 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

Ambas cargas son del mismo signo, pues se repelen. En la anterior expresión:

$$d = 2 L \sin 30 = 0,4 \text{ m}$$

- b) Sustituyendo los valores en las expresiones de las fuerzas electrostática y gravitatoria se obtiene que estas son:

$$F_e = 7,07 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_g = 1,04 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

por lo que la fuerza electrostática es $6,8 \cdot 10^{11}$ veces la fuerza gravitatoria.

7. De cierta carga salen 18 líneas de fuerza, mientras que a una segunda llegan 5 líneas. Si la carga negativa del sistema es equivalente a la de 10^{20} electrones, calcula, explicando el procedimiento e indicando el signo, cuánto vale cada carga.

La proporción entre ambas cargas es 18/5, siendo mayor la positiva. Dado que la carga negativa es de -16 C , la carga positiva tendrá un valor de 57,6 C.

8. Razona la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

- a) Si una carga positiva es el cuádruplo de otra del mismo signo, de ella saldrán 16 veces más líneas de fuerza, pues el campo es proporcional al cuadrado de la carga.
 b) A una distancia cuatro veces mayor, el campo debido a una carga disminuye a la mitad.
 c) Si reducimos la distancia a la mitad, el valor del campo eléctrico se hace cuatro veces mayor.
 a) Es falsa. De la primera saldrán 4 veces más líneas que de la segunda, pues el campo es proporcional a la carga.
 b) Es falsa. Disminuye en un factor 1/16, dado que el campo varía con el inverso del cuadrado de la distancia.
 c) Cierta, por la razón expuesta en el apartado anterior.

9. Dos cargas de $-20 \mu\text{C}$ y de $+5 \mu\text{C}$ están situadas en los puntos $(0, 4)$ y $(0, -3)$ respectivamente, donde las distancias se miden en metros. Determina el trabajo necesario para trasladar una carga de $-0,6 \mu\text{C}$ desde el punto $(0, 0)$ hasta el punto $(5, 0)$. Expresa dicho trabajo en julios y electronvoltios.

Resolviendo exactamente del mismo modo que en el problema 21, pero con los datos ofrecidos en el problema, se obtiene que el potencial en el punto A $(0,0)$ es igual a $V_A = -30000 \text{ V}$, mientras que el potencial en el punto B $(5,0)$ es de $V_B = -20406 \text{ V}$, por lo que el trabajo es:

$$W = Q'(V_A - V_B) = 5,75 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 3,59 \cdot 10^{16} \text{ eV}$$

10. ¿Qué velocidad adquirirá una partícula alfa, ${}^4_2\text{He}$, al ser acelerada a través de una diferencia de potencial de 25000 V ? ¿Qué diferencia de potencial sería necesario aplicar para que su velocidad fuese de $2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$?

- a) Como se ha explicado previamente en otros ejercicios, la velocidad de una partícula al ser acelerada a través de una diferencia de potencial viene dada por:

$$v = \sqrt{\frac{2Q\Delta V}{m}} = 1,55 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

donde $m = 4 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ y $Q = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

- b) La diferencia de potencial vendría dada por:

$$\Delta V = \frac{mv^2}{2Q} = 41500 \text{ V}$$

RÚBRICA DE ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE

Estándar de aprendizaje evaluable	Herramientas de evaluación (actividades del LA)	Excelente 3	Satisfactorio 2	En proceso 1	No logrado 0	Puntos
1.1 Clasifica los materiales en función de su comportamiento eléctrico.	AT: 1	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
2.1 Resuelve y compara las fuerzas gravitatoria y electrostática entre dos partículas de masa y carga conocida. 3.1 Halla la fuerza neta que un conjunto de cargas ejerce sobre otra carga.	A: 1-5 ER: 4 AT: 5,6,8-12,20	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
4.1 Calcula campos eléctricos debidos a una o más cargas puntuales. 4.2 Representa campos mediante líneas de fuerza en función del valor de las cargas.	A: 6-11 ER: 1,2,3,5,6 AT: 2-5, 7,8,13	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
5.1 Calcula valores de potencial en un punto debido a una carga o a una distribución de cargas puntuales.	A: 12-14 ER: 6 AT: 19,21,26	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	
7.1 Calcula el trabajo necesario para trasladar una carga entre dos puntos de un campo eléctrico con la diferencia de potencial existente entre ellos. 8.1 Determina las velocidades de partículas cargadas al ser aceleradas a través de diferencias de potencial.	A: 15-17 ER: 7 AT: 15-18, 20-25, 27	Responde de adecuada identificando todos los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera algo incompleta, aunque válida, identificando bastantes de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde con errores, identificando pocos de los elementos importantes y sus relaciones.	Responde de manera totalmente errónea o no responde.	

A: actividades; ER: estrategias de resolución; AT: actividades y tareas.

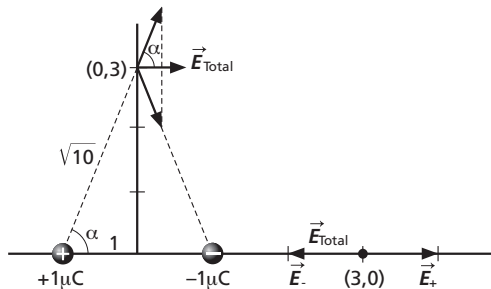
PRUEBA DE EVALUACIÓN A

1. Dos partículas con cargas de $+1 \mu\text{C}$ y de $-1 \mu\text{C}$ están situadas en los puntos del plano XY de coordenadas $(-1, 0)$ y $(1, 0)$ respectivamente. Sabiendo que las coordenadas están expresadas en metros, calcula:

- a) El campo eléctrico en el punto $(0, 3)$.
- b) El potencial eléctrico en los puntos del eje Y.
- c) El campo eléctrico en el punto $(3, 0)$.
- d) El potencial eléctrico en el punto $(3, 0)$.

Dato: constante de Coulomb, $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

a) Los vectores \vec{E} tienen la dirección y sentido que se observan en la figura.



Dado que el valor absoluto de Q y la distancia r son iguales, los módulos del vector \vec{E} debido a cada carga son también iguales, por lo que las componentes Y de ambas se cancelan. Así pues, el vector \vec{E} resultante está orientado en la dirección X, siendo su módulo:

$$|\vec{E}_{\text{total}}| = 2 |\vec{E}| \cos \alpha$$

donde:

$$|\vec{E}| = k \frac{|Q|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-6}}{10} = 900 \text{ N/C}$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{10}}$$

Por tanto:

$$|\vec{E}| = 2 \cdot 900 \cdot \frac{1}{\sqrt{10}} \text{ N/C} = 569,2 \text{ N/C}$$

b) En todos los puntos del eje Y, el potencial es nulo, pues:

$$V_{\text{total}} = k \frac{Q}{r} + k \frac{-Q}{r} = 0$$

Dada la simetría del problema respecto al eje Y, este es una línea de potencial nulo.

c) El campo eléctrico en el punto $(3, 0)$ es:

$$\vec{E}_{(3,0)} = kQ \left(\frac{-1}{2^2} + \frac{1}{4^2} \right) \vec{i} \text{ N/C} = -1687 \vec{i} \text{ N/C}$$

d) Y el potencial en dicho punto es:

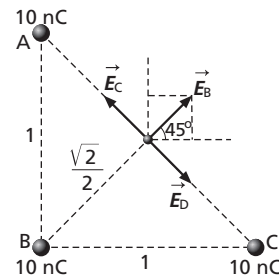
$$V_{(3,0)} = kQ \left(\frac{-1}{2} + \frac{1}{4} \right) = -2250 \text{ V}$$

2. Se disponen tres cargas de 10 nC en tres vértices de un cuadrado de 1 m de lado. Determina en el centro del cuadrado:

- a) El módulo, la dirección y el sentido del vector eléctrico.
- b) El potencial eléctrico.

Dato: constante de Coulomb, $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

a) Dado que las tres cargas son iguales y su distancia al centro del cuadrado r es la misma, e igual a $\sqrt{2}/2$, se puede observar que el campo resultante equivale a \vec{E}_B :



Cuyo módulo es:

$$E_B = k \frac{|Q|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-8}}{1/2} = 180 \text{ N/C}$$

Su dirección es la de la diagonal del cuadrado que parte de B (en la disposición de la figura) y su sentido es saliente de B. Vectorialmente, sus componentes son:

$$E_x = E \cos 45^\circ = 90\sqrt{2}$$

$$E_y = E \sin 45^\circ = 90\sqrt{2}$$

$$\vec{E} = 90\sqrt{2} (\vec{i} + \vec{j}) \text{ N/C}$$

b) El potencial vale:

$$V_{\text{total}} = V_A + V_B + V_C = 3k \frac{Q}{r} = \frac{540}{\sqrt{2}} \text{ V} = 381,8 \text{ V}$$

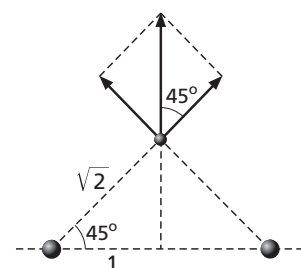
3. Se disponen dos cargas eléctricas sobre el eje X: una de valor Q_1 en la posición $(1, 0)$, y otra de valor Q_2 en $(-1, 0)$. Sabiendo que todas las distancias están expresadas en metros, determina en los dos casos siguientes:

a) Los valores de las cargas Q_1 y Q_2 para que el campo eléctrico en el punto $(0, 1)$ sea el vector: $\vec{E} = 2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$, siendo \vec{j} el vector unitario en el sentido positivo del eje Y.

b) La relación entre las cargas Q_1 y Q_2 para que el potencial eléctrico en el punto $(2, 0)$ sea cero.

Dato: constante de Coulomb, $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

a) Dada la simetría expuesta en el problema, el campo resultante solo puede estar dirigido a lo largo del eje Y si las dos cargas Q_1 y Q_2 son positivas y del mismo valor.



En ese caso:

$$2 E \cos 45^\circ = 2 \cdot 10^5 k \frac{Q}{r^2} \sqrt{2} = 2 \cdot 10^5$$

$$\Rightarrow Q = \frac{2 \cdot 10^5 (\sqrt{2})^2}{9 \cdot 10^9} = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

b) Para que el potencial sea cero en el punto (2, 0), las cargas han de tener signos contrarios y debe cumplirse que:

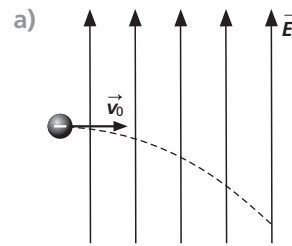
$$k \left(\frac{Q_1}{r_1} - \frac{Q_2}{r_2} \right) = 0 \Rightarrow \frac{Q_1}{1} - \frac{Q_2}{3} = 0 \Rightarrow |Q_2| = 3 \cdot |Q_1|$$

Es decir, el valor absoluto de Q_2 ha de ser el triple de Q_1 , pero ambas son de distinto signo.

4. Un electrón, con velocidad inicial $3 \cdot 10^5$ m/s dirigida en el sentido positivo del eje X, penetra en una región donde existe un campo eléctrico uniforme y constante de valor $6 \cdot 10^{-6}$ N/C dirigido en el sentido positivo del eje Y.

- a) Dibuja un esquema del movimiento de la partícula.
b) Determina las componentes cartesianas de la fuerza experimentada por el electrón.

Datos: valor absoluto de la carga del electrón, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C



- b) Las componentes cartesianas de la fuerza experimentada por el electrón:

$$F_x = 0;$$

$$\vec{F}_y = -e\vec{E} = -9,6 \cdot 10^{-25} \vec{j} \text{ N}$$

PRUEBA DE EVALUACIÓN B

Señala la respuesta correcta en cada uno de los ejercicios:

1. La fuerza eléctrica entre dos cargas puntuales:
 - a) Es conservativa.
 - b) Es universal y solo depende de las cargas y la distancia existente entre ellas.
 - c) No realiza trabajo alguno.
2. Las líneas de fuerza de un campo eléctrico:
 - a) No pueden cruzarse nunca.
 - b) Son tangentes a en cada punto.
 - c) Indican el sentido del movimiento que tendría una carga negativa.
3. Si el campo eléctrico en un punto es cero, podemos asegurar que:
 - a) El potencial en ese punto es cero.
 - b) No hay cargas en sus proximidades.
 - c) Una carga situada en ese punto no experimentaría variación de su movimiento.
4. Al situar dos cargas de valores $+6Q$ y $-Q$, respectivamente, a cierta distancia la una de la otra, podemos asegurar que:
 - a) La interacción será repulsiva.
 - b) El número de líneas de fuerza que salen de la de $+6Q$ es seis veces mayor que el número de líneas que entran en $-Q$.
 - c) El potencial entre las dos cargas nunca podrá ser cero.
5. Si una partícula cargada incide en un campo eléctrico:
 - a) Puede moverse a velocidad constante.
 - b) Cambiará su velocidad.
 - c) Será rechazada.
6. El campo eléctrico neto en el interior de un conductor en equilibrio electrostático es:
 - a) Constante.
 - b) Nulo.
 - c) Depende de la ubicación del conductor.
7. El hilo A posee la mitad de longitud y la mitad de diámetro que el hilo B del mismo material; por tanto:
 - a) La resistencia de A es mayor.
 - b) La resistencia de B es mayor.
 - c) Ambos tienen la misma resistencia.
8. El hilo A tiene igual longitud y la mitad de diámetro que el hilo B . Al aplicar a sus extremos una diferencia de potencial de 100 V :
 - a) Circulará por ambos la misma intensidad de corriente.
 - b) Circulará mayor intensidad por A .
 - c) Circulará mayor intensidad por B .