10 Fuerzas

En contexto (Pág. 257)

a. Respuesta sugerida:

La actividad parte de una reflexión individual que luego se comparte en pequeños grupos para finalmente exponer las respuestas de cada grupo al resto de la clase. Se recomienda mantener un registro visible de las ideas de los estudiantes, aunque algunas de ellas sean erróneas o simplistas, para después poder revisarlas bajo la luz de nuevos argumentos.

b. Respuesta sugerida:

Los objetos no salen despedidos debido a que la fuerza de gravedad tiene dirección radial y hacia el centro de la Tierra. Según Galileo, los objetos no salen despedidos debido a que su velocidad no es significativa comparada con la velocidad de rotación de la Tierra.

Problemas resueltos (págs. 266 y 267)

1. Datos: $L = 2{,}0$ m; $F = 950$ N

Para calcular el momento de fuerza que ejerce el hércules, aplicamos su definición, considerando que la fuerza es perpendicular al travesaño y que se aplica sobre su extremo.

— El momento de fuerza se calcula de la siguiente forma:

$$M = F \cdot d = F \cdot L = 950\ \text{N} \cdot 2{,}0\ \text{m} = 1{,}9 \cdot 10^3\ \text{N}\cdot\text{m}$$

2. Datos: $P_1 = 400$ N; $P_2 = 300$ N; $P_3 = 300$ N; $L = 4$ m

Los pesos de los tres niños tienden a provocar el giro del tablón. El tercer niño deberá colocarse entre el punto de apoyo y el niño de 300 N para poder así contrarrestar el momento de fuerza provocado por el niño de 400 N.

— Tomando momentos con respecto al punto de apoyo del tablón:

$$\vec{M}_{neto} = 0 \rightarrow P_1 \cdot 2 - 300x - 300 \cdot 2 = 0 \rightarrow x = 0{,}67\ \text{m}$$

— Donde x es la distancia entre el punto de aplicación del niño que se coloca entre ambos y el punto de apoyo del tablón. Así pues, el niño deberá colocarse a 67 cm del punto de apoyo, a 1,33 m del niño de 300 N.

3. Datos: $L = 1$m; $x = 0{,}10$ m; $L - x = 0{,}90$ m; $F = 600$ N

El peso $\vec{P}$ del mueble y la fuerza $\vec{F}$ que aplica el hombre ejercen un momento sobre la palanca, produciendo giros en sentidos contrarios. Para que el mueble empiece a levantarse, el momento de $\vec{F}$ debe igualar el momento de $\vec{p}$.

— Calculamos el momento M ejercido por la fuerza considerando como eje de giro el punto de apoyo:

$$M = F \cdot d = F \cdot (L - x) = 600\ \text{N} \cdot 0{,}90\ \text{m} = 540\ \text{N}\cdot\text{m}$$

— Dado que el momento de $\vec{F}$ y el de $\vec{P}$ deben coincidir ($M = M'$), despejamos p de la expresión de su momento:

$$P = \frac{M'}{x} = \frac{M}{x} = \frac{540\ \text{N}\cdot\cancel{\text{m}}}{0{,}1\ \cancel{\text{m}}} = 5{,}4 \cdot 10^3\ \text{N}$$

Como vemos, el peso $\vec{P}$ es mucho mayor que la fuerza $\vec{F}$ como corresponde cuando la fuerza $\vec{F}$ se aplica en el brazo mayor de palanca.

4. Datos: $L = 2$ m; $N_1 = 250$ N; $P = 700$ N

Como el estudiante está en equilibrio, tendremos que plantear equilibrio de fuerzas y de momentos. Para plantear el equilibrio de momentos, consideraremos como eje de giro el centro de gravedad del estudiante.

— Planteamos equilibrio de fuerzas:

$$\vec{F}_{neta} = 0 \Rightarrow N_1 + N_2 - P = 0 \Rightarrow N_2 = 450\ \text{N}$$

— Planteamos equilibrio de momentos:

$$\vec{M}_{neto} = 0 \Rightarrow M_1 = M_1 \Rightarrow N_2 \cdot d_2 = N_1 \cdot (L - d_2) \Rightarrow d_2 = 0{,}71\ \text{m}$$

Como vemos, la distancia que corresponde a la mayor normal es menor que la correspondiente a la normal más pequeña:

$$d_1 = L - d_2 = 1{,}29\ \text{m}$$

5. Datos: $L = 10$ m; $d_1 = (5 - 2)$ m $= 3$ m; $d_2 = (5 - 4)$ m $= 1$ m; $P = 1000$ N

Como el tronco está en equilibrio, tendremos que plantear equilibrio de fuerzas y de momentos. Para plantear el equilibrio de momentos, consideraremos como eje de giro el centro de gravedad.

— Planteamos equilibrio de fuerzas:

$$\vec{F}_{neta} = 0 \Rightarrow N_1 + N_2 - P = 0 \Rightarrow N_1 = P - N_2$$

— Planteamos equilibrio de momentos:

$$\vec{M}_{neto} = 0 \rightarrow M_1 = M_2$$

$$N_1 \cdot d_1 = N_2 \cdot d_2 \rightarrow (P - N_2) \cdot d_1 = N_2 \cdot d_2$$

— De donde hallamos las soluciones:

$$N_2 = \frac{P \cdot d_1}{(d_1 + d_2)} = \frac{1000\ \text{N} \cdot 3\ \cancel{\text{m}}}{4\ \cancel{\text{m}}} = 750\ \text{N}$$

$$N_1 = P - N_2 = 1000\ \text{N} - 750\ \text{N} = 250\ \text{N}$$

Comprobamos que las dos normales anulan el peso p y que la menor corresponde al brazo de palanca mayor ($d_1 = 3$ m).

6. Datos: $L = 1{,}5$ m; $d = 0{,}20$ m; $P = 30$ N

Para que el pescado no caiga de nuevo al mar, el momento M_1 de la fuerza ejercida por el pescador y el momento M_2 del peso del pescado deben cancelarse.

— Planteamos equilibrio de momentos con respecto al punto en que el pescador sujeta la caña:

$$\vec{M}_{neto} = 0 \rightarrow M_1 = M_2$$

$$F \cdot d = P \cdot L \rightarrow F = \frac{P \cdot L}{d} = \frac{30\ N \cdot 1{,}5\ \cancel{m}}{0{,}20\ \cancel{m}} = 225\ N$$

Dado que el brazo de palanca es más de siete veces menor, la fuerza debe ser más de siete veces mayor, como es el caso.

7. Datos: $P_2 = 200$ N; $P_1 = 8$ N

El cable superior soporta una tensión T_1 que cancela la tensión T_2 del cable inferior que «tira» la lámpara superior hacia abajo y el peso p_1. El cable inferior soporta una tensión T_2 que cancela el peso de la lámpara inferior.

— Planteamos equilibrio de fuerzas en la lámpara inferior:

$$\vec{F}_{neta} = 0 \Rightarrow T_2 - P_2 = 0 \Rightarrow T_2 = 200\ N$$

— Planteamos equilibrio de fuerzas en la lámpara superior:

$$\vec{F}_{neta} = 0 \Rightarrow T_1 - T_2 - P_1 = 0 \Rightarrow T_1 = T_2 + P_1 = 208\ N$$

Dado que las dos lámparas están unidas por un mismo cable (el inferior), las dos tensiones que soporta este cable se cancelan, por lo que se puede considerar que el cable superior soporta el peso de las dos lámparas inferiores.

8. Datos: $P = 5$ N; $\alpha = 70°$; $\beta = 40°$

Como el cuadro está en reposo, aplicaremos equilibrio de fuerzas. Luego, las componentes horizontales de las tensiones deben anularse, mientras que las componentes verticales se oponen al peso del cuadro.

— Planteamos equilibrio de fuerzas en el eje de abscisas:

$$\vec{F}_{x\,neta} = 0$$

$$T_1 \cdot \cos\alpha - T_2 \cdot \cos\beta = 0 \Rightarrow T_1 = \frac{T_2 \cdot \cos\beta}{\cos\alpha}$$

— Planteamos equilibrio de fuerzas en el eje de ordenadas:

$$\vec{F}_{y\,neta} = 0$$

$$T_1 \cdot \operatorname{sen}\alpha + T_2 \cdot \operatorname{sen}\beta - P = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 \cdot \left(\frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \cdot \operatorname{sen}\alpha + \operatorname{sen}\beta\right) = P$$

$$T_2 = \frac{P}{\left(\frac{\cos\beta}{\cos\alpha} \cdot \operatorname{sen}\alpha + \operatorname{sen}\beta\right)} =$$

$$= \frac{5\ N}{\left(\frac{\cos 40}{\cos 70} \cdot \operatorname{sen}70 + \operatorname{sen}40\right)} = 1{,}8\ N$$

$$T_1 = \frac{T_2 \cdot \cos\beta}{\cos\alpha} = 4{,}1\ N$$

Comprobamos que, efectivamente, con $T_2 = 1{,}8$ N y $T_1 = 4{,}1$ N se cumplen las ecuaciones del eje de ordenadas y del eje de abscisas.

Ejercicios y problemas (Págs. 268 a 270)

1 LA NATURALEZA DE LAS FUERZAS

Pág. 268

9. En lo que refiere a Descartes, hay que señalar su aportación en geometría analítica, que permitió expresar las leyes de la mecánica en ecuaciones algebraicas. También es importante su ideal matemático de la ciencia que hasta hoy día sigue vigente, a pesar de que él mismo admitió que esa «matematización» de la naturaleza parecía inalcanzable. En cuanto a Leibniz, hay que hacer hincapié en su aportación al cálculo infinitesimal que permitió formular matemáticamente gran parte de los problemas científicos y, en particular, mecánicos. Entre sus aportaciones a la dinámica, destacan el propio nombre de la disciplina y sus disquisiciones acerca de los principios de conservación, no siempre acertados, pero precursores de la conservación de la energía. Por otro lado, sus argumentos no siempre fueron puramente científicos en la medida que mezclaba física y metafísica, y la idea de divinidad como motor o creador aparecía en algunos de sus planteamientos. Finalmente, en cuanto a Euler, hay que mencionar que fijó gran parte de la notación científica como la conocemos hoy día. Siguiendo el ideal de ciencia establecido por Descartes, realizó grandes aportaciones en la resolución de problemas del mundo real a través del análisis matemático. En lo que se refiere a la mecánica, introdujo los conceptos de masa puntual y la notación vectorial.

10. Hay que considerar que cuanto mayor peso tenga el coche, más difícil será cambiar su movimiento (acelerar, desacelerar, girar...). Es decir, un coche ligero es más fácil de controlar y eso es importante en Fórmula 1, donde el vehículo se lleva al límite. También hay que tener en cuenta la relación entre la estabilidad del vehículo y la posición del centro de gravedad, sobre todo, en el paso por curva (cuanto más bajo mejor), pues cuanto menor sea su masa, menor será la fuerza centrípeta necesaria para mantenerse en la curva.

11. Fuerzas a distancia: b), d), e). Fuerzas de contacto: a), c).

12. Interacción electromagnética. Distinguimos los casos a), i), en los que interviene la fuerza electroestática, del caso b), donde interviene la fuerza magnética.

Interacción gravitatoria: c) y h).

Interacción nuclear débil: d).

Interacción nuclear fuerte: g) y j).

13. Nos informamos en Internet y elaboramos la siguiente tabla:

Interacción	Nuclear fuerte	Nuclear débil	Electromagnética	Gravitatoria
Alcance	10^{-15}	10^{-18}	∞	∞
Intensidad relativa	1	10^{25}	10^{36}	10^{38}
Partículas mediadoras	Quarks	Leptones y quarks	Con carga	Con masa
Partículas portadoras	Gluones	Bosones W y Z	Fotones	Gravitones (hipotéticos)
Procesos físicos	Fisión	β y β^-	Disolución de una sal	Caída libre

14. Respuesta sugerida:

a) Cobaltoterapia, esterilización de material quirúrgico, producción de energía eléctrica, armas nucleares, etc.

b) La cobaltoterapia es un tratamiento contra el cáncer basado en la radiación proveniente de la descomposición β del Co-60. Es decir, está relacionada con la interacción débil. El mismo tipo de interacción es la que produce los rayos gamma usados en la esterilización de material quirúrgico. La producción de energía eléctrica en una central nuclear proviene de la fisión, proceso en el que interviene la interacción nuclear fuerte. Igualmente, las armas nucleares se basan en la fisión a gran escala de elementos radiactivos (interacción nuclear fuerte).

c) Para el texto a favor de la radiactividad, se podrían citar algunas de sus aplicaciones más relevantes en el mundo de la medicina, en la industria alimentaria (pasteurización fría) y en la energética, ya que es una energía con residuos de poco volumen, que no contamina apenas el aire y que produce energía en cantidades importantes y a bajo costo. Para el texto en contra de la radiactividad, podrían mencionarse los riesgos que conllevan las centrales nucleares (accidente nuclear de Fukushima, Chernóbil...) y el peligro del desarrollo de armamento nuclear.

15. Respuesta sugerida:

a) Tanto en el Co-60 como en el C-14, la interacción implicada en su radiactividad es la interacción débil, mientras que en el U-235 la radiación es producida por la fisión del núcleo (interacción nuclear fuerte) al ser bombardeado con neutrones.

b) La peligrosidad del Co-60 se debe a que su energía de desintegración es considerable y emitida en rayos γ, que es la radiación más penetrante de todas. Una exposición prolongada a su radiación puede producir cáncer. Su período de semidesintegración es de unos 1925 días, por lo que en poco tiempo emite mucha radiación, aunque esta emisión decrezca rápidamente. El C-14 se encuentra presente incluso en los alimentos que ingerimos y el aire que respiramos. Básicamente, emite radiación β y su energía de desintegración es baja, por lo que el daño producido en nuestras células es mínimo y fácilmente reparado por nuestro organismo. Su período de semidesintegración es de 5570 años, así que su actividad es baja a la vez que sus emisiones son constantes y decrecen lentamente. La energía de desintegración del U-235 es elevada, pero emitida en forma de radiación α, incapaz de penetrar más allá de la fina capa de piel muerta de una persona. Además, su actividad es muy baja (su período de semidesintegración es de 704 millones de años). Aun así, una cierta cantidad ingerida o inhalada puede ser peligrosa.

c) El C-14 se usa en la datación de fósiles y no presenta ningún inconveniente, dado que no es peligroso para nuestra salud ni para el medio ambiente en general. El Co-60 se usa para esterilizar material médico y para algunos tratamientos de cáncer, ya que resulta más económico que otros métodos a la vez que eficaz. Sin embargo, su uso debe realizarse bajo estrictas normas de control y seguridad y, aunque su período de semidesintegración sea de unos 1925 días, incluso transcurrido ese tiempo sigue siendo muy radiactivo. El U-235 es utilizado para mantener la cadena de fisión en los reactores de las centrales nucleares. Las desventajas de las centrales nucleares basadas en el empleo de uranio son la producción de residuos activos durante miles de años y que pueden ocasionar graves catástrofes en caso de accidente. Una alternativa al uso del U-235 es el ciclo del Th-232, que genera muchos menos residuos radiactivos.

2 COMPOSICIÓN Y DESCOMPOSICIÓN DE FUERZAS

Pág. 268

16. Datos: $\vec{F}_1 = 32\vec{i}$ N; $\vec{F}_2 = -8\vec{i}$ N; $\vec{F}_3 = 18\vec{j}$ N

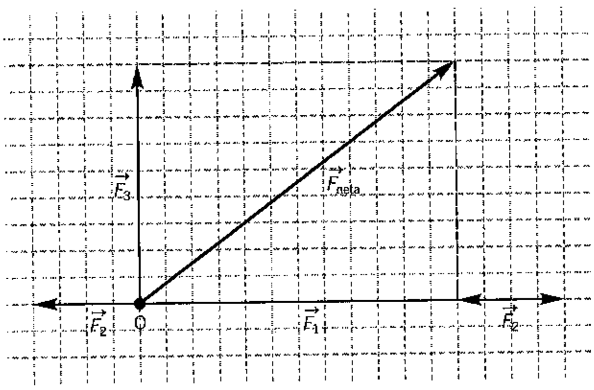
— Para hallar la resultante, aplicaremos la superposición de fuerzas teniendo en cuenta que las fuerzas son vectores:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 32\vec{i}\text{ N} - 8\vec{i}\text{ N} + 18\vec{j}\text{ N} = 24\vec{i} + 18\vec{j}\text{ N}$$

— Para hallar el módulo, podemos aplicar el teorema de Pitágoras:

$$F_{\text{neta}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{24^2 + 18^2}\text{ N} = 30\text{ N}$$

— Resolución gráfica:



17. Datos: $F = 2 \cdot 10^6$ N; $\alpha = 30°$

Como solo tenemos que considerar la componente de la fuerza en la dirección del avance, habrá que hallar dicha componente mediante trigonometría.

— Calculamos la componente de la fuerza en la dirección del movimiento, esto es, el lado contiguo. Por lo tanto:

$$F_x = F \cdot \cos 30 = 2 \cdot 10^6\text{ N} \cdot \cos 30 = 1{,}73 \cdot 10^6\text{ N}$$

Podemos comprobar que el valor es menor que la fuerza total, pero no mucho menor, dado que el ángulo de 30° es cercano a la horizontal y entonces la mayor parte de la fuerza contribuye al avance del barco.

18. Datos: $\vec{F}_{1\text{neta}} = 500$ N y $\vec{F}_{2\text{neta}} = 100$ N

Como las fuerzas están aplicadas sobre un mismo cuerpo, aplicaremos la adición de fuerzas concurrentes en ambos casos, teniendo presente que la fuerza es un vector y tomando como positivo el sentido hacia la derecha y negativo hacia la izquierda.

— Considerando los dos casos, establecemos un sistema de ecuaciones:

$$\vec{F}_{1\text{neta}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = F_1 + F_2 = 500\text{ N}$$

$$\vec{F}_{2\text{neta}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = F_1 - F_2 = 100\text{ N}$$

— Si sumamos las dos ecuaciones, hallamos:

$$2F_1 = 600\ \text{N} \Rightarrow F_1 = 300\ \text{N y } F_2 = 200\ \text{N}$$

Fácilmente, podemos comprobar que estos valores dan las fuerzas netas correspondientes a cada situación.

19. Datos: $F_1 = F_2 = 5{\cdot}10^3$ N; $\alpha = 30°$

Como las fuerzas están aplicadas sobre un mismo cuerpo, aplicaremos la adición de fuerzas concurrentes. Por otro lado, como solo tenemos que considerar la componente de la fuerzas en la dirección del avance, habrá que hallar dicha componente mediante trigonometría.

$$\vec{F}_{x\,\text{neta}} = F_1 \cdot \cos\alpha + F_2 \cdot \cos\alpha$$

$$\vec{F}_{x\,\text{neta}} = 5 \cdot 10^3\ \text{N} \cos 30 + 5 \cdot 10^3\ \text{N} \cos 30 = 8\,660\ \text{N}$$

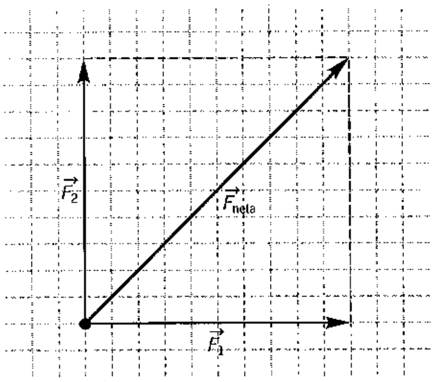
Observemos que como las fuerzas son iguales, pero con ángulos opuestos, las componentes verticales se cancelan.

20. Datos: $F_1 = F_2 = 300$ N; $\alpha = 90°$

Como las dos fuerzas son perpendiculares entre sí, se corresponden con las componentes de la fuerza resultante.

$$\vec{F}_{\text{neta}} = 300\vec{i} + 300\vec{j}\ \text{N} \rightarrow F_{\text{neta}} = \sqrt{300^2 + 300^2}\ \text{N} = 424\ \text{N}$$

Si el ángulo entre ambas fuerzas hubiera sido mayor de 90°, la fuerza resultante habría sido menor, dado que una de las fuerzas tendría una componente que se opondría a la otra fuerza. Resolución gráfica:



21. Datos: $F = 4\,000$ N hacia el norte; $F_{\text{viento}} = 400$ N hacia el este

Dado que el coche avanza hacia el norte gracias a una fuerza de 4 000 N y el viento lo empuja al este con una fuerza de 400 N, la resultante llevará dirección nordeste con ángulo α respecto a la normal determinado por estas dos componentes.

$$\tan\alpha = \frac{\text{lado opuesto}}{\text{lado contiguo}} = \frac{F_{\text{viento}}}{F} = \frac{400\ \cancel{\text{N}}}{4\,000\ \cancel{\text{N}}} = 0{,}1 \rightarrow a = 5{,}7°$$

La desviación respecto al norte debe ser pequeña, dado que la fuerza de avance del coche es diez veces superior a la del viento, por lo que el conductor solo tiene que corregir ese pequeño ángulo girando 5,7° hacia el noroeste.

22. Datos: $P = 120$ N; $x = 0{,}80$ m; $L = 2$ m; $L - x = 1{,}20$ m

— Tenemos que aplicar la condición de equilibrio de fuerzas en la vertical y equilibrio de momentos.

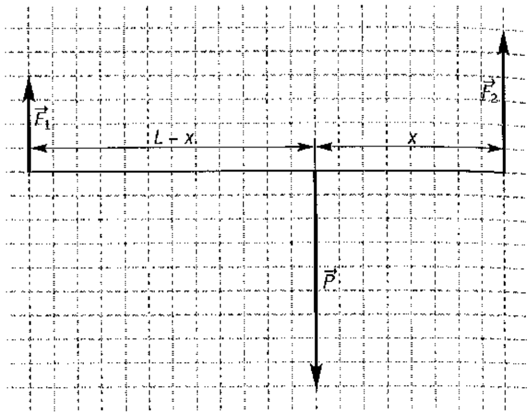
$$\vec{F}_{y\,\text{neta}} = 0 \rightarrow F_1 + F_2 - P = 0 \rightarrow F_1 = P - F_2$$

— Aplicamos momentos desde el punto O de aplicación de F_1:

$$\vec{M}_{o\ \text{neto}} = 0 \rightarrow F_2 \cdot L - P \cdot x = 0$$

$$F_2 = \frac{P \cdot x}{L} = \frac{120\ \text{N} \cdot 0{,}80\ \cancel{\text{m}}}{2\ \cancel{\text{m}}} = 48\ \text{N}$$

— Sustituyendo este valor en la ecuación anterior, obtenemos $F_1 = 72$ N. Podemos comprobar que la suma de ambas fuerzas cancela el peso del cuerpo de 120 N.



23. Datos: $P_1 = 6$ N; $P_2 = 4$ N; $P_3 = 10$ N; $L = 0{,}70$ m

— La fuerza resultante es la suma vectorial de todas las fuerzas aplicadas sobre el cuerpo.

$$\vec{F}_{\text{neta}} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 = -6\vec{j}\ \text{N} - 4\vec{j}\ \text{N} - 10\vec{j}\ \text{N} = -20\vec{j}\ \text{N}$$

— Para hallar el punto de aplicación, tomaremos como punto de referencia el extremo donde se halla la fuerza de 10 N y calcularemos el momento neto sobre la barra.

$$M_{o\ \text{neto}} = P_1 \cdot L + P_2 \cdot \frac{L}{2}$$

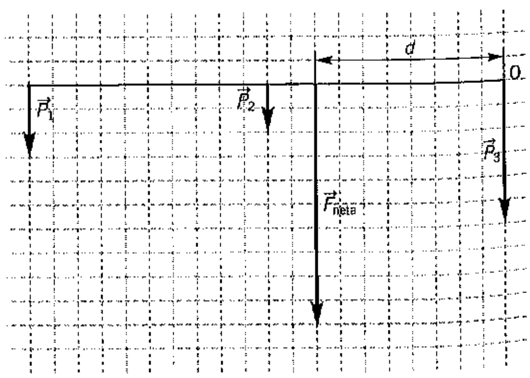
$$M_{o\ \text{neto}} = 6\ \text{N} \cdot 0{,}70\ \text{m} + 4\ \text{N} \cdot 0{,}35\ \text{m} = 5{,}6\ \text{N}{\cdot}\text{m}$$

— Igualando con la expresión que obtenemos del momento de la fuerza neta, podemos calcular la posición del punto de aplicación:

$$M_{o\ \text{neto}} = F_{\text{neta}} \cdot d \rightarrow d = \frac{M_{o\text{neto}}}{F_{\text{neta}}} = \frac{5{,}6\ \cancel{\text{N}}\cdot\text{m}}{20\ \cancel{\text{N}}} = 0{,}28\ \text{m}$$

El punto de aplicación de la resultante se encuentra a 0,28 m del extremo donde se aplica el peso de 10 N.

— La representación del sistema de fuerzas sería la siguiente:



24. Datos: $F_{neta} = 200$ N; $F_2 = 120$ N; $d = 0{,}40$ m

Dado que tenemos el valor de la fuerza resultante y su distancia respecto a otra fuerza, podemos aplicar el principio de superposición de fuerzas y la de momentos.

a) Aplicamos la superposición de fuerzas:

$$F_{nota} = 200\text{ N} \rightarrow F_1 + F_2 = 200\text{ N} \rightarrow F_1 = 80\text{ N}$$

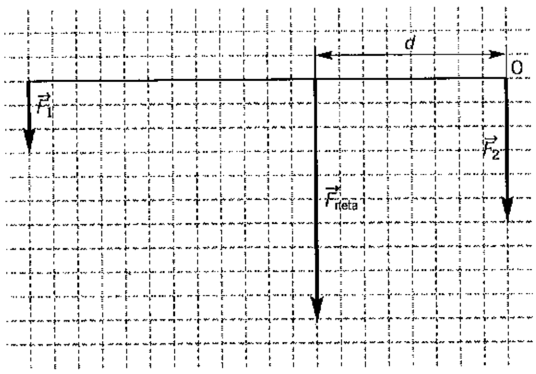
La intensidad de la otra fuerza será de 80 N.

b) Si tomamos momentos desde el punto de aplicación de la fuerza de 120 N, solo nos quedará el momento de la fuerza de 80 N y este deberá ser igual al de la fuerza resultante:

$$M_{neto} = F_{neta} \cdot d \Rightarrow F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 = F_{neta} \cdot d$$

$$d_1 = \frac{F_{neta} \cdot d - F_2 \cdot d_2}{F_1} = \frac{(200 \cdot 0{,}40 - 120 \cdot 0)\cancel{N} \cdot \text{m}}{80\ \cancel{N}} = 1\text{ m}$$

Por lo tanto, la distancia de la fuerza de 80 N al punto de aplicación de la fuerza de 120 N es de 1 m.



25. Datos: $F_1 = 60$ N; $F_2 = 40$ N; $d = 0{,}80$ m

Si las dos fuerzas son paralelas y llevan el mismo sentido, la dirección y el sentido de la resultante serán los mismos que los de las fuerzas, y si son paralelas pero de sentido opuesto, la dirección será la misma y el sentido igual al de la fuerza mayor. Entonces, solo nos queda determinar el punto de aplicación y el valor de la resultante.

a) Aplicamos la superposición de fuerzas:

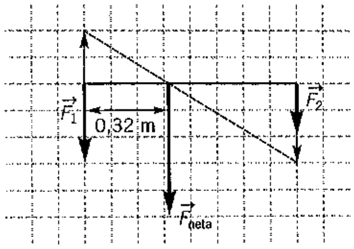
$$\vec{F}_{neta} = F_1 + F_2 = 60\text{ N} + 40\text{ N} = 100\text{ N}$$

Para hallar el punto de aplicación, tomaremos momentos desde una de las fuerzas. En este caso, desde el punto de aplicación de la fuerza de 60 N.

$$M_{neto} = F_{neta} \cdot d \Rightarrow F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 = F_{neta} \cdot d$$

$$d = \frac{F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2}{F_{neta}} = \frac{(60 \cdot 0 + 40 \cdot 0{,}8)\cancel{N} \cdot \text{m}}{100\ \cancel{N}} = 0{,}32\text{ m}$$

La resultante tendrá un valor de 100 N y su punto de aplicación se hallará a 32 cm de la fuerza de 60 N. Como vemos, la distancia de la resultante a la fuerza mayor es más pequeña que la distancia respecto a la fuerza menor.



b) Aplicamos la superposición de fuerzas:

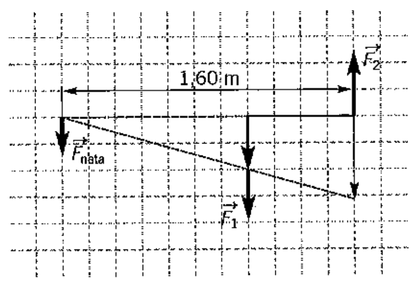
$$\vec{F}_{neta} = F_1 - F_2 = 60\text{ N} - 40\text{ N} = 20\text{ N}$$

Para hallar el punto de aplicación, tomaremos momentos desde una de las fuerzas. En este caso, desde el punto de aplicación de la fuerza de 60 N.

$$M_{neto} = F_{neta} \cdot d \Rightarrow F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 = F_{neta} \cdot d$$

$$d = \frac{F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2}{F_{neta}} = \frac{(60 \cdot 0 + 40 \cdot 0{,}8)\cancel{N} \cdot \text{m}}{20\ \cancel{N}} = 1{,}60\text{ m}$$

La resultante tendrá un valor de 20 N y su punto de aplicación se hallará a 160 cm de la fuerza de 60 N. Como vemos, la distancia de la resultante a la fuerza mayor es más pequeña que la distancia respecto a la fuerza menor. Además, el punto de aplicación de la resultante queda fuera del segmento determinado por el punto de aplicación de ambas fuerzas.



26. Datos: $F_1 = 60$ N; $F_2 = 80$ N; $F_3 = 100$ N;
$\alpha = 180° + 36{,}87° = 216{,}87°$

— Para averiguar la fuerza neta que actúa sobre el juguete, aplicaremos la superposición de fuerzas, pero considerando cada eje por separado. Por simplicidad, tomaremos los ejes en las direcciones de las dos fuerzas perpendiculares entre sí y hallaremos las componentes de la tercera fuerza en esas direcciones.

$$\vec{F}_{3x} = F_3 \cdot \cos\alpha = 100\text{ N} \cdot \cos 216{,}87° = -80\text{ N}$$

$$\vec{F}_{3y} = F_3 \cdot \text{sen}\,\alpha = 100\text{ N} \cdot \text{sen}\,216{,}87° = -60\text{ N}$$

— Aplicando la superposición de fuerzas en cada eje, obtenemos:

$$\vec{F}_{x\,neta} = \vec{F}_2 + \vec{F}_{3x} = 80\text{ N} - 80\text{ N} = 0\text{ N}$$

$$\vec{F}_{y\,neta} = \vec{F}_2 + \vec{F}_{3y} = 60\text{ N} - 60\text{ N} = 0\text{ N}$$

La fuerza resultante es nula, por lo que el juguete permanece en equilibrio.

3 MOMENTO DE UNA FUERZA Pág. 269

27. Datos: $F = 100$ N; $d = 50$ cm; $d' = 25$ cm; $\alpha = 90°$

Tomando como eje de giro el eje de las bisagras, podemos aplicar la definición de momento para hallar su valor en cada caso. Como dice que la fuerza es perpendicular al plano de la puerta, en ambos casos el ángulo es de 90°:

$$M_o = F \cdot d \cdot \sin 90 = 100 \text{ N} \cdot 0{,}5 \text{ m} = 50 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_o = F \cdot d' \cdot \sin 90 = 100 \text{ N} \cdot 0{,}25 \text{ m} = 25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Como podemos ver, en el segundo caso el momento es menor. Eso significa que la puerta gira con más dificultad, lo cual se corresponde con nuestra experiencia diaria.

28. Datos: $F = 2$ N; $d = 90$ cm; $\alpha = 90°$

Tomando como eje de giro el eje de las bisagras, podemos aplicar la definición de momento para hallar su valor y ver si es igual o mayor que 1,5 N · m, en cuyo caso la puerta se abriría. Como dice que la fuerza es perpendicular al plano de la puerta, el ángulo que consideramos es de 90°:

$$M_o = F \cdot d \cdot \sin 90 = 2 \text{ N} \cdot 0{,}9 \text{ m} = 1{,}8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Como 1,8 N · m > 1,5 N · m, la puerta se abrirá.

29. Datos: $F = 30$ N; $R = 0{,}15$ m

El piloto ejerce un par de fuerzas sobre el volante, por lo que en realidad está ejerciendo dos fuerzas de 30 N paralelas y de sentido contrario. La expresión del momento de un par de fuerzas requiere del radio de giro, que en este caso es el radio del volante, es decir, la mitad de su diámetro.

— Aplicamos directamente la expresión que nos permite calcular el momento del par de fuerzas:

$$M_o = 2 \cdot F \cdot R = 2 \cdot 30 \text{ N} \cdot 0{,}15 \text{ m} = 9 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El momento que ejerce el piloto es de 9 N · m.

30. Datos: $M_o = 147$ N · m; $R = 0{,}30$ m

Si se trata de un par de fuerzas, ambas tendrán el mismo valor y sentido contrario. Como cada una se aplica a la misma distancia del centro del volante, contribuyen en la misma medida al momento total.

— Aplicamos la expresión que nos permite calcular el momento del par de fuerzas y despejamos F:

$$M_o = 2 \cdot F \cdot R \Rightarrow F = \frac{M_o}{2 \cdot R} = \frac{147 \text{ N} \cdot \cancel{\text{m}}}{2 \cdot 0{,}30 \, \cancel{\text{m}}} = 245 \text{ N}$$

Las fuerzas del par deben ser relativamente grandes, ya que el radio del volante es pequeño (menor que 1 m).

31. Datos: $m_1 = 30$ kg; $m_2 = 20$ kg; $r = 0{,}10$ m

Como las fuerzas son paralelas, pero aplicadas a ambos extremos de la polea, sus momentos se oponen, dando lugar a giros en sentidos contrarios. Dado que la distancia al centro de giro de la polea es el mismo, el momento debido al mayor peso será también mayor y, por tanto, la polea girará hacia donde cuelga la masa de 30 kg.

— Calculemos la fuerza total o neta y, a partir de esta, su momento con respecto al centro de la polea:

$$F_{neta} = P_1 - P_2 = (30 \cdot 9{,}8) \text{ N} - (20 \cdot 9{,}8) \text{ N} = 98 \text{ N}$$

$$M_{neto} = F_{neta} \cdot d = 98 \text{ N} \cdot 0{,}10 \text{ m} = 9{,}8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Observamos que el momento neto es inferior al ejercido por cada uno de los pesos, debido a que el momento que ejerce uno se contrapone al del otro (tienen sentidos contrarios).

32. Datos: $F_2 = 100$ N; $F_1 = 120$ N; $d = 50$ cm; $d' = 25$ cm

La fuerza que hace cada niño produce un momento opuesto al del otro (giros en sentidos contrarios). Entonces, ganará el que produzca mayor momento.

$$M_1 = F_1 \cdot d = 100 \text{ N} \cdot 1{,}50 \text{ m} = 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = F_2 \cdot d' = 120 \text{ N} \cdot 1{,}25 \text{ m} = 150 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Los dos momentos tienen el mismo módulo, por lo que ninguno de los dos niños gana el juego.

33. Datos: $r = 30$ cm; $M = 3$ N · m

Si suponemos el caso general en que sobre un volante se aplica un par de fuerzas, sabemos que las direcciones de dichas fuerzas van a ser paralelas y de sentido contrario, así como aplicadas en puntos opuestos.

$$M_o = 2 \cdot F \cdot R \Rightarrow F = \frac{M_o}{2 \cdot R} = \frac{3 \text{ N} \cdot \cancel{\text{m}}}{2 \cdot 0{,}15 \, \cancel{\text{m}}} = 10 \text{ N}$$

Cada fuerza tiene un módulo de 10 N. Si calculamos el M_{neto} a partir de este valor de la F_{neta}, obtenemos nuevamente los 3 N · m.

34. Datos: $m = 650$ kg; $d = 20$ cm; $d' = 40$ cm

El bloque empezará a girar en torno a su arista cuando el momento de la fuerza aplicada iguale al momento ejercido por el peso del cuerpo.

a) Para el cálculo de momentos, debemos considerar las distancias perpendiculares de la línea de acción de cada fuerza al eje de giro, en este caso, 20 cm para el peso y 40 cm para la fuerza que aplicamos.

— Hallamos el peso:

$$P = m \cdot g = 650 \text{ kg} \cdot 9{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 6\,370 \text{ N}$$

— Aplicamos equilibrio de momentos desde la arista:

$$\vec{M}_{o\,neto} = 0$$

$$F \cdot d' - P \cdot d = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = \frac{P \cdot d}{d'} = \frac{6\,370 \text{ N} \cdot 0{,}20 \, \cancel{\text{m}}}{0{,}40 \, \cancel{\text{m}}} = 3\,185 \text{ N}$$

b) Al ir girando el bloque, la distancia d de la línea de acción del peso al eje de giro (arista) irá disminuyendo, mientras que la distancia d' de la línea de acción de la fuerza que aplicamos en el centro al eje irá aumentando, ya que el bloque se eleva. Entonces, la fuerza deberá ser menor. Podemos constatar este hecho a partir de la expresión de F en el apartado anterior, ya que d' es inversamente proporcional a F y d, directamente proporcional.

4 EQUILIBRIO

Págs. 269 y 270

35. a) Falsa. La condición de reposo implica que las fuerzas y sus momentos se cancelan entre sí, pero no necesariamente que no se apliquen fuerzas sobre el cuerpo.

b) Falsa. Se hallará en equilibrio dinámico o traslacional. Para que se encuentre en equilibrio estático, su velocidad debe ser cero.

36. Datos: $P = 600$ N; $F = 250$ N

Si se mantiene en reposo, eso significa que la tensión de la cuerda cancela tanto el peso en la vertical como la fuerza que aplicamos en la horizontal. Esto nos da las componentes de la tensión y, mediante el teorema de Pitágoras, podemos hallar su módulo.

— Aplicamos equilibrio de fuerzas en cada eje:

$$\vec{F}_{x\,\text{neta}} = 0 \Rightarrow F - T_x = 0 \Rightarrow T_x = 250 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{y\,\text{neta}} = 0 \Rightarrow T_y - P = 0 \Rightarrow T_y = 600 \text{ N}$$

— Aplicando el teorema de Pitágoras, hallaremos el módulo de T:

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2} = \sqrt{250^2 + 600^2} \text{ N} = 650 \text{ N}$$

A medida que ejerciéramos mayor fuerza en la horizontal, la tensión iría incrementándose hasta que la cuerda se rompiera.

37. Datos: $F_1 = 100$ N; $F_2 = 150$ N

La fuerza que ejerce el niño debe contrarrestar las otras dos. Si cogemos como ejes las direcciones de las fuerzas de los perros (ya que son perpendiculares entre sí) y aplicamos equilibrio de fuerzas, hallaremos las componentes de la fuerza que debe ejercer el niño:

$$\vec{F}_{x\,\text{neta}} = 0 \Rightarrow F_x - F_1 = 0 \Rightarrow F_x = 100 \text{ N}$$

$$\vec{F}_{y\,\text{neta}} = 0 \Rightarrow F_y - F_2 = 0 \Rightarrow F_x = 150 \text{ N}$$

Aplicando el teorema de Pitágoras, hallaremos el módulo de F:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{100^2 + 150^2} \text{ N} = 180 \text{ N}$$

Podemos comprobar que el módulo de la fuerza se corresponde con la resultante de la fuerza de los perros. Además, la fuerza deberá tener la misma dirección, pero sentido contrario, a esa resultante.

38. Para que tres fuerzas estén en equilibrio, deben estar contenidas en el mismo plano y el módulo de cada una de ellas debe ser inferior al de las otras dos (a no ser que tengan la misma dirección, en cuyo caso el módulo de una podrá ser igual a la suma de módulos de las otras dos). Usando la regla del paralelogramo en un par de fuerzas, obtendremos una fuerza neta igual en módulo y dirección, pero de sentido contrario, a la fuerza restante.

39. Datos: $P = 48$ N; $L = 3{,}6$ m; $d_1 = 0$ m; $d_2 = 2{,}4$ m; $d = 1{,}8$ m

Como el tablero está en reposo, tendrá que cumplir las condiciones de equilibrio de momentos y equilibrio de fuerzas. Para usar el equilibrio de momentos, usaremos estratégicamente como eje de giro uno de los puntos de aplicación de las fuerzas incógnita para tener solo una incógnita. Concretamente, elegiremos como eje el extremo donde se encuentra el caballete. Escribiremos los datos desde ese punto de referencia donde d es la posición del centro de gravedad del tablero:

— Aplicamos equilibrio de momentos desde el extremo donde se encuentra el caballete:

$$\vec{M}_{o\,\text{neto}} = 0 \Rightarrow F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 - P \cdot d = 0$$

$$F_2 = \frac{P \cdot d - F_1 \cdot d_1}{d_2} = \frac{(48 \cdot 1{,}80 - F_1 \cdot 0)\text{N} \cdot \cancel{\text{m}}}{2{,}4\ \cancel{\text{m}}} = 36 \text{ N}$$

— Para hallar la fuerza que nos falta, aplicaremos el equilibrio de fuerzas:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = 0 \Rightarrow F_2 + F_1 - P = 0;$$

$$F_1 = P - F_2 = 48 \text{ N} - 36 \text{ N} = 12 \text{ N}$$

Si rehacemos el cálculo de momentos desde cualquier otro punto usando los valores hallados, veremos que el momento neto también se cancela.

40. Datos: $F = 30$ N; $\alpha = 30°$

Si la piñata se encuentra en reposo, entonces la fuerza neta sobre ella debe ser cero. Por otro lado, como su peso está en la vertical y el niño tira de ella horizontalmente, por conveniencia será preciso escoger como ejes X e Y, la horizontal y la vertical respectivamente.

a) Aplicamos equilibrio de fuerzas en el eje X:

$$\vec{F}_{x\,\text{neta}} = 0 \Rightarrow F - T_x = 0 \Rightarrow T_x = F = 30 \text{ N}$$

A continuación, considerando el ángulo en la vertical, mediante el seno podemos hallar la T:

$$T = \frac{T_x}{\sin\alpha} = \frac{30 \text{ N}}{\sin 30°} = 60 \text{ N}$$

b) Para hallar el peso, podemos usar la tangente:

$$P = \frac{T_x}{\tan\alpha} = \frac{30 \text{ N}}{\tan 30°} = 52 \text{ N}$$

Podemos comprobar aplicando el teorema de Pitágoras:

$$T = \sqrt{30^2 + 52^2} \text{ N} = 60 \text{ N}$$

41. Datos: $P = 2000$ N; $d = 1{,}25$ m; $d' = 0{,}25$ m

— Aplicaremos equilibrio de momentos respecto al punto de apoyo, ya que la piedra empezará a moverse justo cuando el momento de F supere el momento ejercido por el peso.

$$\vec{M}_{o\,\text{neto}} = 0 \Rightarrow F \cdot d - P \cdot d' = 0$$

$$F = \frac{P \cdot d'}{d} = \frac{2\,000 \text{N} \cdot 0{,}25 \text{N} \cdot \cancel{\text{m}}}{1{,}25\ \cancel{\text{m}}} = 400 \text{ N}$$

Comprobamos que la fuerza que debemos aplicar es 5 veces menor, dado que la distancia de la fuerza al eje de giro es 5 veces mayor que la del peso.

42. Datos: $P = 900$ N; $d_1 = 0$ m; $d = 0{,}90$ m; $d_2 = 1{,}50$ m

Como el atleta se encuentra en reposo, tendrá que cumplir las condiciones de equilibrio de momentos y equilibrio de fuerzas. Para calcular los momentos, usaremos estratégicamente como punto de referencia la posición de los pies, ya que nos piden la fuerza que ejerce el suelo sobre las manos. Escribiremos los datos desde ese punto de referencia donde d es la posición del centro de gravedad del atleta.

— Aplicamos equilibrio de momentos desde los pies:

$$\overrightarrow{M}_{o\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 - P \cdot d = 0$$

$$F_2 = \frac{P \cdot d - F_1 \cdot d_1}{d_2} = \frac{(900 \cdot 0{,}90 - F_1 \cdot 0)\text{N} \cdot \cancel{\text{m}}}{1{,}50\ \cancel{\text{m}}} = 540\ \text{N}$$

La fuerza es menor que la del peso, ya que la fuerza del suelo sobre las manos más la fuerza del suelo sobre los pies debe equilibrar el peso.

43. Datos: $L = 5$ m; $P = 750$ N; $d = 0{,}60$ m

Como la viga no experimenta ninguna aceleración en el eje vertical, podemos concluir que en esa dirección la resultante es nula. Por otro lado, como no se produce ninguna rotación, el momento neto también debe cancelarse.

— Tomaremos momentos desde el extremo del obrero A, de modo que el momento ejercido por este será 0.

$$\overrightarrow{M}_{A\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F_A \cdot d_A + F_B \cdot d_B - P \cdot \frac{L}{2} = 0 \quad (1)$$

— Como ahora el punto de referencia es A, la distancia d_B será:

$$d_B = L - d = 5\ \text{m} - 0{,}60\ \text{m} = 4{,}40\ \text{m}$$

— Despejando F_B de la ecuación (1), hallaremos la fuerza del obrero B:

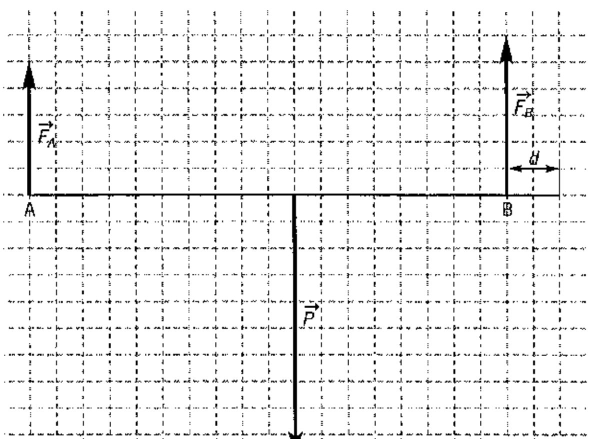
$$F_B = \frac{P \cdot \frac{L}{2} - F_A \cdot d_A}{d_B} = \frac{(250 \cdot 2{,}5 - F_A \cdot 0)\text{N} \cdot \cancel{\text{m}}}{4{,}40\ \cancel{\text{m}}} = 142\ \text{N}$$

— Para hallar F_A, podemos tomar momentos desde B o simplemente aplicar el equilibrio en la vertical:

$$\vec{F}_{y\ \text{neta}} = 0 \Rightarrow F_A + F_B - p = 0$$

$$F_A = F_B - P = 250\ \text{N} - 142\ \text{N} = 108\ \text{N}$$

Así, las fuerzas de los obreros A y B serán 108 N y 142 N, respectivamente. Podemos constatar que el obrero que soporta la barra desde una posición más cercana al centro de gravedad es el que ejerce más fuerza.



44. Datos: $F_1 = 400$ N; $F_2 = 445$ N; $d_1 = 0$ m; $d_2 = 1{,}88$ m

Como el hombre está en reposo, tendrá que cumplir las condiciones de equilibrio de fuerzas y equilibrio de momentos. Para el equilibrio de momentos, escogeremos como punto de referencia los pies, de forma que solo tendremos como incógnita la distancia de los pies al centro de gravedad del hombre.

— Aplicamos equilibrio de fuerzas para hallar el peso:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = 0 \Rightarrow F_2 + F_1 - P = 0$$

$$P = F_1 + F_2 = 400\ \text{N} + 445\ \text{N} = 845\ \text{N}$$

— Aplicamos equilibrio de momentos respecto a los pies:

$$\overrightarrow{M}_{o\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F_1 \cdot d_1 + F_2 \cdot d_2 - P \cdot d = 0$$

$$d = \frac{F_2 \cdot d_2 + F_1 \cdot d_1}{P} = \frac{(445 \cdot 1{,}88 + F_1 \cdot 0)\ \cancel{\text{N}} \cdot \text{m}}{845\ \cancel{\text{N}}} = 0{,}99\ \text{m}$$

$$d = 99\ \text{cm}$$

Como la fuerza que actúa sobre la cabeza es ligeramente mayor que la que actúa sobre los pies, la posición debía ser más cercana a la cabeza, aunque sin alejarse mucho del punto medio (94 cm).

45. Datos: $F = 600$ N; $P = 3\,000$ N; $L = 10$ m; $d' = x$; $d' = (L/2) - x$

Dado que el borde de la repisa será el eje de giro, tomaremos los momentos del peso de la viga y de la fuerza del niño sobre la viga desde ese punto. El peso de la viga se aplica sobre su centro de masa, que es justo en el punto medio. Entonces, desde el borde de la repisa, esta distancia será la mitad de la longitud de la viga menos la distancia del borde al extremo.

— Aplicamos equilibrio de momentos respecto al borde:

$$\overrightarrow{M}_{o\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F \cdot d - P \cdot d' = 0 \Rightarrow F \cdot x - P \cdot \left(\frac{L}{2} - x\right) = 0$$

$$x = \frac{P \cdot \frac{L}{2}}{F + P} = \frac{P \cdot L}{2(F + P)} = \frac{3\,000\ \cancel{\text{N}} \cdot 10\ \text{m}}{2(600 + 3\,000)\cancel{\text{N}}} = 4{,}17\ \text{m}$$

— La máxima distancia será 4,17 m, ya que si la distancia es mayor el momento ejercido por el niño será mayor que la del peso de la viga y se producirá rotación. Comprobamos que la relación de fuerzas es igual a la relación inversa de las distancias:

$$\frac{P}{F} = \frac{d}{d'} \rightarrow \frac{3\,000}{600} = \frac{4{,}17}{0{,}83} = 5$$

46. Datos: $P = 60$ N; $d' = 0{,}30$ m; $d = 0{,}034$ m

Como el codo será el eje de giro, tomaremos los momentos del peso y de la fuerza del bíceps desde ese punto. Como el peso se sostiene y no hay rotación, aplicaremos la condición de equilibrio de momentos.

— Aplicamos equilibrio de momentos respecto al codo:

$$\overrightarrow{M}_{o\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F \cdot d - P \cdot d' = 0$$

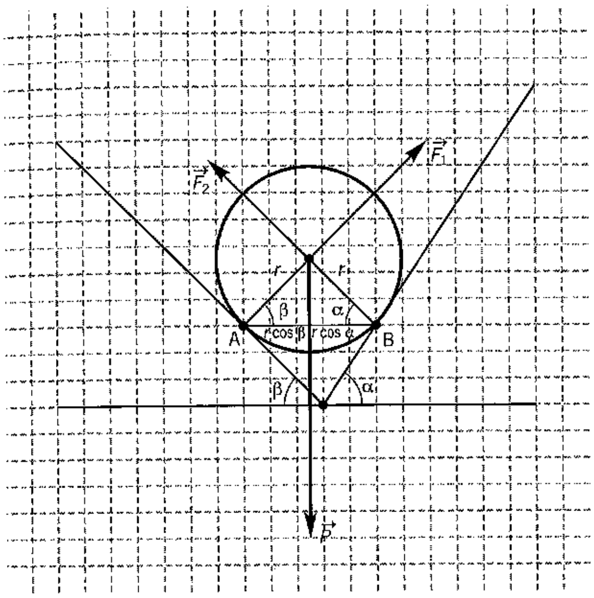
$$F = \frac{P \cdot d'}{d} = \frac{60 \cdot 0{,}30\ \text{N} \cdot \cancel{\text{m}}}{0{,}034\ \cancel{\text{m}}} = 529\ \text{N}$$

— Comprobamos que la relación de fuerzas es igual a la relación inversa de las distancias:

$$\frac{P}{F} = \frac{d}{d'} \rightarrow \frac{60}{529} = \frac{0{,}034}{0{,}30} = 0{,}11\hat{3}$$

47. Datos: $P = 100$ N; $\alpha' = 60°$; $\beta = 30°$

Como el cilindro está en reposo, tendremos que considerar equilibrio de momentos. Escogeremos estratégicamente como eje de giro el punto de apoyo del cilindro sobre el plano de 30° de inclinación. La distancia de la normal ejercida por el otro plano a este punto es el radio del cilindro, mientras que la distancia del peso a este punto es $d = r \cdot \cos 30$, donde r es el radio del cilindro.



— Aplicamos equilibrio de momentos respecto al punto de apoyo sobre el plano de 30° de inclinación:

$$\vec{M}_{A\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F_1 \cdot r - P \cdot d = 0$$

$$F_1 = \frac{P \cdot d}{r} = \frac{P \cdot \cancel{r} \cdot \cos\alpha}{\cancel{r}} = P \cdot \cos\alpha = 100 \cdot \cos 30° \text{ N}$$

$$F_1 = 86{,}6 \text{ N}$$

— Podemos rehacer el cálculo desde el otro punto de apoyo, de forma que la distancia del peso a este otro punto será $d' = r \cdot \cos 60$.

$$\vec{M}_{B\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F \cdot r - P \cdot d' = 0$$

$$F_2 = \frac{P \cdot d'}{r} = \frac{P \cdot \cancel{r} \cdot \cos\beta}{\cancel{r}} = p \cdot \cos\beta = 100 \cdot \cos 60° \text{ N}$$

$$F_2 = 50{,}0 \text{ N}$$

— Comprobamos que, dado que las dos fuerzas son perpendiculares, el módulo de su composición es igual al valor del peso:

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{86{,}6^2 + 50{,}0^2} = 100 \text{ N}$$

48. Datos: $F_1 = 0{,}42 \cdot P$; $F_2 = 0{,}58 \cdot P$; $d_1 = 8$ m; $d_2 = 0$ m

Dado que el autobús no sufre ninguna rotación, deberá cumplir la condición de equilibrio de momentos. Tomaremos estratégicamente la posición de las ruedas delanteras como punto de referencia para calcular los momentos. Consideramos que si las ruedas delanteras soportan un 58 % del peso, las traseras deberán soportar un 42 % del peso.

— Aplicamos equilibrio de momentos respecto a las ruedas traseras:

$$\vec{M}_{O\ \text{neto}} = 0 \Rightarrow F_1 \cdot d_1 - P \cdot d = 0$$

$$d = \frac{F_1 \cdot d_1}{P} = \frac{0{,}42 \cdot \cancel{P} \cdot 8 \cdot \text{m}}{\cancel{P}} = 3{,}4 \text{ m}$$

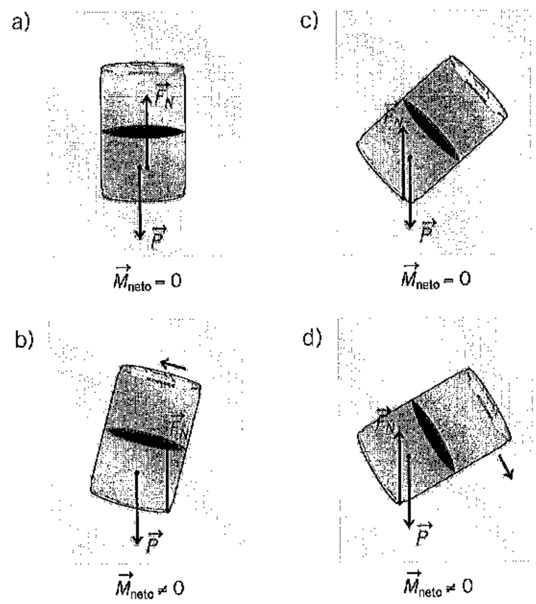
Entonces, el centro de gravedad se encontrará a 3,4 m de las ruedas delanteras. Si miramos los porcentajes, las ruedas delanteras soportan algo más de la mitad del peso del autobús. Por lo tanto, es lógico que su distancia respecto al centro de gravedad sea menor a 4 m, pero cercano a este valor.

SÍNTESIS

Pág. 270

49. Respuesta sugerida:

Al inclinar la lata, para que se mantenga en equilibrio, su centro de gravedad debe encontrarse en la vertical que pasa por el punto de apoyo. En ese instante, la fuerza normal y el peso estarán en una misma línea y el momento resultante será nulo, por lo que la lata no girará volviendo a su posición inicial ni tampoco «cayéndose».



Evaluación (Pág. 272)

1. a) Falsa. La masa es una propiedad general de la materia en tanto que su valor depende de la cantidad de materia.

b) Falsa. Si actúa una sola fuerza, la resultante no podrá ser nula y, según la segunda ley de Newton, entonces el cuerpo adquirirá una aceleración.

c) Falsa. La única condición necesaria es que la resultante, también llamada fuerza neta, sea nula.

d) Falsa. La dirección y el sentido del movimiento vienen dados por el vector velocidad, el cual no tiene una relación directa con la fuerza. Por ejemplo, al frenar un coche, su movimiento tiene sentido opuesto al de la fuerza neta que actúa sobre él.

2. Interacción electromagnética: a) d) y e)

Interacción gravitatoria: c)

Interacción nuclear débil: b)

Interacción nuclear fuerte: f)

3. Datos: $F_y = 5000$ N; $F_x = 200$ N

a) Dado que el coche avanza gracias a una fuerza de 5000 N y el viento lo empuja en una dirección perpendicular con una fuerza de 200 N, la fuerza total sobre el coche tendrá como componentes estas dos fuerzas. Tomaremos el eje *y* como la dirección de la fuerza que hace que el coche avance:

$$\vec{F} = F_x\vec{i} + F_y\vec{j} = 200\vec{i} + 5\,000\vec{j}$$

$$F = \sqrt{5\,000^2 + 200^2}\text{ N} = 5\,004\text{ N}$$

b) Como el viento hace que el coche se desvíe de su dirección, hay que calcular el ángulo de desviación respecto a su trayectoria inicial, es decir, respecto al eje *y*:

$$\tan\alpha = \frac{\text{lado opuesto}}{\text{lado contiguo}} = \frac{F_x}{F_y} = \frac{200\ \cancel{N}}{5\,000\ \cancel{N}} = 0{,}1 \Rightarrow a = 2{,}3°$$

Para no desviarse, el conductor debe inclinar su trayectoria 2,3° hacia la izquierda (suponiendo que el viento sople hacia la derecha).

4. Cuando el momento total sobre la puerta sea cero. Esto puede deberse a que la fuerza se ejerce en algún punto del eje de giro, o bien a que el rozamiento ejerce un momento opuesto de la misma intensidad.

5. En el bote de tapa grande, la distancia del par de fuerzas que aplicamos al centro de giro es mayor. Por lo tanto, para lograr el mismo momento que en el bote de tapa pequeño, se requiere menos fuerza.

6. Datos: $F = 1$ N; $d = 1$ m; $d_1 = 0{,}50$ m; $d_2 = 0{,}10$ m

A partir de los datos aportados, hallamos el momento de fuerza mínimo necesario para abrir la puerta. A continuación, sabiendo la distancia que en cada caso existe entre la fuerza aplicada y el eje de giro de la puerta, calculamos la fuerza mínima necesaria para abrirla.

Hallamos, en primer lugar, el momento de fuerza mínimo para abrir la puerta:

$$M = F \cdot d = 1\text{ N} \cdot 1\text{ m} = 1\text{ N}\cdot\text{m}$$

a) Si el punto de aplicación de la fuerza dista 50 cm del eje de giro de esta:

$$M = F \cdot d_1 \Rightarrow F = \frac{M}{d_1} = \frac{1\ \cancel{N}\cdot\text{m}}{0{,}50\ \cancel{m}} = 2\text{ N}$$

b) Si el punto de aplicación de la fuerza dista 10 cm del eje de giro de esta:

$$M = F \cdot d_2 \Rightarrow F = \frac{M}{d_2} = \frac{1\text{ N}\cdot\cancel{m}}{0{,}10\ \cancel{m}} = 10\text{ N}$$

Como era de esperar, hay que ejercer una mayor fuerza cuanto menor sea la distancia entre el punto de aplicación de esta y el eje de giro.

7. Datos: $d_1 = 0{,}40$ m; $d_2 = 1{,}60$ m; $P = 1\,000$ N

— Calculamos la fuerza (F_1 y F_2) que soporta cada trabajador, aplicando equilibrio de fuerzas y de momentos.

— Aplicando equilibrio de fuerzas:

$$F_1 + F_2 = 1\,000$$

— Aplicando equilibrio de momentos con respecto al punto de aplicación del peso de 1 000 N:

$$\vec{M}_{\text{neto}} = 0 \Rightarrow F_1 \cdot d_1 - F_2 \cdot d_2 = 0$$

$$F_1 \cdot 0{,}40 - F_2 \cdot 1{,}60 = 0 \Rightarrow F_1 = 4F_2$$

El primero ejerce una fuerza cuatro veces mayor que el segundo, por lo cual está fatigado.

8. Datos: $P = 10^5$ N; $P' = 10^4$ N; $L = 100$ m; $d = 30$ m

Si tomamos estratégicamente momentos respecto al extremo más cercano al vehículo, podremos hallar la fuerza del soporte opuesto usando el equilibrio de momentos, dado que el puente no rota. A continuación, como el puente está en equilibro también traslacional, podremos aplicar el equilibrio de fuerzas.

— Aplicamos equilibrio de momentos respecto al codo:

$$\vec{M}_{o\text{ neto}} = 0 \Rightarrow F \cdot L - P \cdot \frac{L}{2} - P' \cdot d = 0$$

$$F = \frac{P \cdot \frac{L}{2} + P' \cdot d}{L} = \frac{10^5\text{ N} \cdot 50\ \cancel{m} + 10^4\text{ N} \cdot 30\ \cancel{m}}{100\ \cancel{m}}$$

$$F = 5{,}3 \cdot 10^4\text{ N}$$

— Aplicando equilibrio de fuerzas, obtendremos la fuerza del otro soporte:

$$\vec{F}_{\text{neta}} = 0 \Rightarrow F' + F - P' - P = 0$$

$$F' = P + P' - F = 10^5\text{ N} + 10^4\text{ N} - 5{,}3 \cdot 10^4\text{ N}$$

$$F' = 5{,}7 \cdot 10^4\text{ N}$$

La suma de las dos fuerzas encontradas, 53 000 N y 57 000 N, es igual a la suma de los pesos del puente y del vehículo.

9. Datos: $P_1 = 400$ N; $P_2 = 500$ N; $P = 300$ N; $L = 6$ m

Para que la tabla permanezca en equilibrio, el momento total ejercido por los tres pesos (los de los dos niños y el de la propia tabla) debe ser nulo.

— Tomando momentos con respecto al punto de apoyo, situado a una distancia *x* a la izquierda del niño de peso P_2:

$$\vec{M}_{\text{neto}} = 0 \Rightarrow P_1(6 - x) + P(3 - x) - P_2 x = 0$$

$$400(6 - x) + 300(3 - x) - 500\,x = 0 \Rightarrow x = 2{,}75\text{ m}$$

Así pues, el punto de apoyo deberá estar situado a 2,75 m a la izquierda del niño de 500 N de peso.

10. Datos: $P = 400$ N; $\alpha = 60°$; $L = 3$ m

El peso es la fuerza cuyo momento tiende a hacer que la escalera caiga, y la fuerza que se aplica sobre la base de la escalera (dirigida hacia la izquierda) es la que lo evita.

— Tomando momentos con respecto al punto de contacto entre la parte superior de la escalera y la pared:

$$\overline{M}_{neto} = 0 \Rightarrow P \cdot \frac{L}{2}\cos\alpha - F \cdot L \cdot \operatorname{sen}\alpha = 0$$

$$F = \frac{P}{2} \cdot \operatorname{cotg}\alpha = \frac{200\ \text{N}}{2} \cdot \operatorname{cotg} 60° = 115\ \text{N}$$

Habrá que ejercer 115 N de fuerza sobre la base de la escalera para que esta no resbale.

11. a) Basa su funcionamiento en la ley de Hooke, según la cual el alargamiento unitario que experimenta un material elástico (en el caso del dinamómetro, un muelle o resorte) es proporcional a la fuerza aplicada (siempre que la deformación no sea demasiado grande).

b) Se llama fuerza recuperadora porque su efecto consiste en restituir la forma inicial del resorte. Se trata de una fuerza de contacto.

Zona + (Pág. 273)

— *Comercializa fuerza gravitatoria*

Respuesta sugerida:

- Dado que hay una energía potencial vinculada a la fuerza gravitatoria, puede proponerse la gravedad como «fuente» de energía aprovechable. Un ejemplo popular de la viabilidad de esta idea serían las centrales hidroeléctricas.
- Algunas de las empresas más conocidas que se dedican a la explotación de la energía mareomotriz son Siemens e Iberdrola.
- Las mareas son producidas por la fuerza de atracción gravitatoria que ejerce el Sol sobre la Tierra y, en menor medida, también por el efecto de la Luna sobre la Tierra. La marea viva y la marea muerta se deben a la diferencia de atracción entre la cara de la Tierra más cercana al Sol y la cara más alejada. Las mareas vivas y las mareas muertas se deben al efecto conjunto de la Luna con el Sol, según los tres astros estén alineados (marea viva) o bien formen un ángulo recto con vértice en la Tierra (marea muerta).
- Existen tecnologías destinadas a aprovechar la energía de las mareas. Los generadores de corriente de marea se centran en la energía cinética de las corrientes producidas por las mareas; en cambio, las presas de mar aprovechan su energía potencial, mientras que las llamadas tecnologías de energía mareomotriz dinámica aprovechan ambas. Para convencer de la viabilidad de esta energía, hay que optar por defender una de estas tres tecnologías y ubicarla en un contexto geográfico favorable.

— *Los geckos: diseño natural inteligente para no caer, la unión hace la fuerza*

Respuesta sugerida:

- Los geckos son una familia de reptiles lagarto de pequeño tamaño que se caracteriza por la emisión de sonidos chirriantes en su comunicación con otros individuos. Muchas de sus especies poseen unas almohadillas adhesivas en las plantas de sus pies.
- La adherencia de sus pies es causada por las denominadas fuerzas de van der Waals que, aunque tienen carácter electroestático, su explicación es algo más complicada, ya que son debidas a la polarización variable de partículas cercanas y dependen de la correlación entre estas polarizaciones.
- La superficie de las almohadillas de los pies de un gecko es de unos 100 mm^2. Se calcula que con esta superficie debería poder ejercer una fuerza de unos 10 N, pero se sabe que en realidad puede llegar a ejercer 100 N. Esto es debido a la estructura de las *setae,* finos cabellos que constituyen las almohadillas de los geckos. Cada seta dispone de ramificaciones que incrementan su superficie de contacto efectiva.

— *Las fuerzas de la naturaleza*

Respuesta sugerida:

Gravedad	Los objetos de los malabaristas sometidos a la gravedad terrestre.
	Los planetas orbitando alrededor del Sol.
	Los satélites orbitando alrededor de los planetas.
Electromagnetismo	La tensión superficial que mantiene las paredes de las burbujas.
	La atracción que ejerce el ámbar sobre trocitos de papel tras ser frotado con un felpudo.
	Las fuerzas de contacto tales como la fricción, o bien empujar o tirar de un objeto.
	La visión.
	La resistencia de los seres y objetos a fundirse unos con otros (hay una cierta impenetrabilidad).
	Fuerzas de atracción y repulsión entre imanes, así como la fuerza de atracción que ejercen los imanes sobre el hierro.
	La electricidad originada al rotar un imán en el interior de una bobina.
Nuclear débil	La tomografía por emisión de positrones (escáner médico PET).
	Las desintegraciones beta que tienen lugar en la desintegración de átomos radiactivos, así como también en los primeros estadios del ciclo de fusión del Sol.
Nuclear fuerte	La estabilidad de los núcleos atómicos.
	La masa en sí misma, dado que es responsable del 98 % de la masa de los átomos.
	La liberación de energía en la fisión nuclear.

- Para la presentación puedes usar tanto los datos de la tabla anterior, así como toda la información contenida en las actividades 13-15 del apartado *1. La naturaleza de las fuerzas.*
- La fuerza electroestática de repulsión entre los electrones de los átomos de mi mano y de la cuchara me permite sostenerla, mientras que los fotones que refleja la cuchara y que impactan contra mi retina me permiten verla. Dado que los fotones son ondas formadas por un campo magnético y eléctrico oscilantes y, además, la información que recibe mi cerebro a través de la retina se transmite por impulsos eléctricos, podemos ver que en todo el proceso está implicada la fuerza electromagnética.