# CAPÍTULO 5 RESUMEN

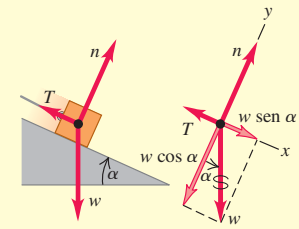
**Aplicación de la primera ley de Newton:** Cuando un cuerpo está en equilibrio en un marco de referencia inercial, es decir, en reposo o en movimiento con velocidad constante, la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre él debe ser cero (primera ley de Newton). Los diagramas de cuerpo libre son indispensables para identificar las fuerzas que actúan sobre el cuerpo considerado.

La tercera ley de Newton (acción y reacción) también suele necesitarse en problemas de equilibrio. Las dos fuerzas de un par acción-reacción *nunca* actúan sobre el mismo cuerpo. (Véanse los ejemplos 5.1 a 5.5.)

La fuerza normal ejercida por una superficie sobre un cuerpo *no* siempre es igual al peso del cuerpo. (Véase el ejemplo 5.3.)

$$\sum \vec{F} = \mathbf{0} \quad \text{(forma vectorial)} \qquad (5.1)$$

$$\sum F_x = 0 \qquad \sum F_y = 0 \quad \text{(forma de componentes)} \qquad (5.2)$$




**Aplicación de la segunda ley de Newton:** Si la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo *no* es cero, el cuerpo tiene una aceleración determinada por la segunda ley de Newton.

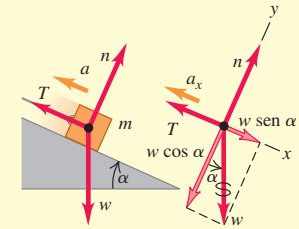
Al igual que en los problemas de equilibrio, los diagramas de cuerpo libre son indispensables para resolver problemas donde interviene la segunda ley de Newton, y la fuerza normal ejercida sobre un cuerpo no siempre es igual a su peso. (Véanse los ejemplos 5.6 a 5.12.)

Forma vectorial:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad (5.3)$$

Forma de componentes:

$$\sum F_x = ma_x \qquad \sum F_y = ma_y \qquad (5.4)$$




**Fricción y resistencia de fluidos:** La fuerza de contacto entre dos cuerpos siempre puede representarse en términos de una fuerza normal $\vec{n}$ perpendicular a la superficie de contacto y una fuerza de fricción $\vec{f}$ paralela a la superficie.

Cuando un cuerpo se desliza sobre una superficie, la fuerza de fricción se denomina fricción *cinética*. Su magnitud $f_k$ es aproximadamente igual a la magnitud de la fuerza normal $n$ multiplicada por $\mu_k$, el coeficiente de fricción cinética. Si un cuerpo *no* se mueve con respecto a la superficie, la fuerza de fricción se denomina fricción *estática*. La *máxima* fuerza de fricción estática posible es aproximadamente igual a la magnitud $n$ de la fuerza normal multiplicada por $\mu_s$, el coeficiente de fricción estática. La fuerza de fricción estática *real* puede variar entre cero y ese valor máximo, según la situación. $\mu_s$ suele ser mayor que $\mu_k$ para un par de superficies en contacto dado. (Véanse los ejemplos 5.13 a 5.17.)

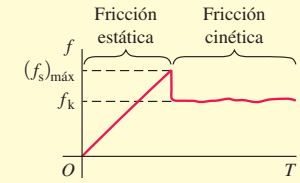
La fricción de rodamiento es similar a la fricción cinética; pero la fuerza de resistencia de fluidos depende de la rapidez de un objeto a través de un fluido. (Véanse los ejemplos 5.18 y 5.19.)

Magnitud de la fuerza de fricción cinética:

$$f_k = \mu_k n \qquad (5.5)$$

Magnitud de la fuerza de fricción estática:

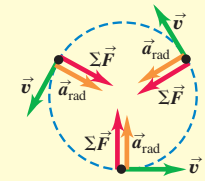
$$f_s \leq \mu_s n \qquad (5.6)$$




**Fuerzas en el movimiento circular:** En el movimiento circular uniforme, el vector aceleración apunta al centro del círculo. El movimiento se rige por la segunda ley de Newton $\sum \vec{F} = m\vec{a}$. (Véanse los ejemplos 5.20 a 5.24.)

Aceleración en movimiento circular uniforme:

$$a_{rad} = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \qquad (5.14),\ (5.16)$$



## Términos clave

peso aparente, *145*
fuerza de fricción, *149*
fuerza de fricción cinética, *150*
coeficiente de fricción cinética, *150*
fuerza de fricción estática, *151*
coeficiente de fricción estática, *151*
coeficiente de fricción de rodamiento, *155*
resistencia de un fluido, *155*
arrastre del aire, *155*
rapidez terminal, *156*
interacción gravitacional, *163*
interacción electromagnética, *164*
interacción fuerte, *164*
interacción débil, *164*

## Respuesta a la pregunta de inicio de capítulo ?

Ninguna ya que la fuerza hacia arriba del aire tiene la *misma* magnitud que la fuerza de gravedad. Aunque el ave asciende, su velocidad vertical es constante, así que su aceleración vertical es cero. Por lo tanto, la fuerza neta que actúa sobre el ave también debe ser cero, en tanto que las fuerzas verticales individuales deben equilibrarse.

## Respuestas a las preguntas de Evalúe su comprensión

**5.1 Respuesta: ii)** Los dos cables están dispuestos de forma simétrica, así que la tensión en cada uno tiene la misma magnitud $T$. La componente vertical de la tensión de cada cable es $T$ sen 45° (o, de manera equivalente, $T$ cos 45°), así que la primera ley de Newton aplicada a las fuerzas verticales nos dice que $2T$ sen 45° $- w = 0$. Por lo tanto, $T = w/(2 \text{ sen } 45°) = w/\sqrt{2} = 0.71w$. Cada cable soporta la mitad del peso del semáforo, pero la tensión es mayor que $w/2$ porque sólo la componente vertical de la tensión contrarresta el peso.

**5.2 Respuesta: ii)** No importa cuál sea la velocidad instantánea del deslizador, su aceleración es constante y tiene el valor que se calculó en el ejemplo 5.12. De la misma forma, la aceleración de un cuerpo en caída libre es la misma si asciende o desciende, o en el punto máximo de su movimiento (véase la sección 2.5).

**5.3 Respuestas a *a*): i), iii); respuestas a *b*): ii), iv); respuesta a c): v)** En las situaciones i) y iii) La caja no acelera (así que la fuerza neta sobre ella debe ser cero) y no hay otra fuerza que actúe paralela a la superficie horizontal; por lo tanto, no se requiere fuerza de fricción para evitar el deslizamiento. En las situaciones ii) y iv) la caja comenzaría a deslizarse sobre la superficie si no hubiera fricción, así que la fuerza de fricción estática debe actuar para evitarlo. En la situación v), la caja se desliza sobre una superficie áspera, por lo que la fuerza de fricción cinética actúa sobre ella.

**5.4 Respuesta: iii)** Un satélite con masa $m$ que da vuelta a la Tierra con rapidez $v$ en una órbita de radio $r$ tiene una aceleración de magnitud $v^2/r$, así que la fuerza neta de la gravedad terrestre que actúa sobre él tiene magnitud $F = mv^2/r$. Cuanto más lejos está el satélite de la Tierra, mayor será el valor de $r$, menor será el valor de $v$ y, por ende, menores serán los valores de $v^2/r$ y de $F$. En otras palabras, la fuerza gravitacional de la Tierra disminuye al aumentar la distancia.

# PROBLEMAS

Para la tarea asignada por el profesor, visite **www.masteringphysics.com** MP

## Preguntas para análisis

**P5.1.** Un hombre se sienta en una silla suspendida de una cuerda, la cual pasa por una polea suspendida del techo, y el hombre sujeta con su mano el otro extremo de la cuerda. ¿Qué tensión hay en la cuerda y qué fuerza ejerce la silla sobre el hombre? Dibuje un diagrama de cuerpo libre para el hombre.

**P5.2.** "En general, la fuerza normal no es igual al peso." Dé un ejemplo en que ambas fuerzas tengan la misma magnitud y al menos dos ejemplos donde no sea así.

**P5.3.** Se tiende un cordón entre dos palos. Por más que se estira el cordón, siempre cuelga un poco en el centro. Explique por qué.

**P5.4.** Se conduce un automóvil cuesta arriba con rapidez constante. Analice las fuerzas que actúan sobre el auto. ¿Qué lo empuja cuesta arriba?

**P5.5.** Por razones médicas, es importante que los astronautas en el espacio exterior determinen su masa corporal a intervalos regulares. Invente una forma de medir la masa en un entorno de aparente ingravidez.

**P5.6.** Al empujar una caja rampa arriba, ¿se requiere menos fuerza si se empuja horizontalmente o si se empuja paralelo a la rampa? ¿Por qué?

**P5.7.** Una mujer en un elevador suelta su maletín pero éste no cae al piso. ¿Cómo se está moviendo el elevador?

**P5.8.** Las básculas pueden dividirse en las que usan resortes y las que usan masas estándar para equilibrar masas desconocidas. ¿Cuál grupo sería más exacto en una nave espacial en aceleración? ¿Y en la Luna?

**P5.9.** Al apretar una tuerca en un perno, ¿cómo aumentamos la fuerza de fricción? ¿Cómo funciona una rondana (arandela) de presión?

**P5.10.** Un bloque descansa sobre un plano inclinado con suficiente fricción para que no resbale. Para empezar a mover el bloque, ¿es más fácil empujarlo plano arriba o plano abajo? ¿Por qué?

**P5.11.** Una caja con libros descansa en un piso horizontal. Para deslizarla sobre el piso con velocidad constante, ¿por qué se ejerce una fuerza menor si se tira de ella con un ángulo $\theta$ sobre la horizontal, que si se empuja con el mismo ángulo bajo la horizontal?

**P5.12.** En un mundo sin fricción, ¿cuál de las siguientes actividades podría usted hacer (o no hacer)? Explique su razonamiento. *a*) Manejar por una curva de autopista sin peralte; *b*) saltar en el aire; *c*) empezar a caminar en una acera horizontal; *d*) subir por una escalera vertical; *e*) cambiar de carril en una carretera.

**P5.13.** Caminar sobre una superficie resbalosa cubierta de hielo puede ser más cansado que caminar sobre pavimento común. ¿Por qué?

**P5.14.** Al pararnos descalzos en una tina húmeda, nos sentimos firmes, pero es muy posible que resbalemos peligrosamente. Analice la situación en términos de los dos coeficientes de fricción.

**P5.15.** Imagine que empuja una caja grande desde la parte trasera de un elevador de carga hacia el frente, mientras el elevador viaja al siguiente piso. ¿En qué situación la fuerza que debe aplicar para mover la caja es mínima y en qué situación es máxima: cuando el elevador está acelerando hacia arriba, cuando está acelerando hacia abajo o cuando viaja con rapidez constante? Explique su respuesta.

**P5.16.** La Luna acelera hacia la Tierra. ¿Por qué no se acerca más hacia nosotros?

**P5.17.** Una revista de automóviles llama a las curvas de radio decreciente "la maldición del conductor dominguero". Explique por qué.

**P5.18.** A menudo se escucha a la gente decir "la fricción siempre se opone al movimiento". Mencione al menos un ejemplo donde *a*) la fricción estática *provoque* movimiento y *b*) la fricción cinética *provoque* movimiento.

**P5.19.** Si hay una fuerza neta sobre una partícula en movimiento circular uniforme, ¿por qué no cambia la rapidez de la partícula?

**P5.20.** Una curva de un camino tiene un peralte calculado para 80 km/h. Sin embargo, el camino tiene hielo, y usted cuidadosamente planea conducir más despacio que ese límite. ¿Qué puede sucederle a su automóvil? ¿Por qué?

**P5.21.** Usted hace girar una pelota en el extremo de un cordón ligero en un círculo horizontal con rapidez constante. ¿Puede el cordón estar realmente horizontal? Si acaso, ¿el cordón estaría arriba o abajo de la horizontal? ¿Por qué?

**P5.22.** No se incluyó la fuerza centrífuga en los diagramas de cuerpo libre de las figuras 5.34b y 5.35. Explique por qué.

**P5.23.** Frente a su grupo, un profesor gira un tapón de hule en un círculo horizontal en el extremo de un cordón y le dice a Carolina, quien está sentada en la primera fila del aula, que soltará el cordón cuando el tapón esté directamente frente al rostro de ella. ¿Debería preocuparse Carolina?

**P5.24.** Para que las fuerzas sobre los pasajeros no sean excesivas, los juegos de feria que describen un lazo vertical se diseñan de manera que el lazo, en vez de ser un círculo perfecto, tenga un radio de curvatura mayor abajo que arriba. Explique por qué.

**P5.25.** Se deja caer una pelota de tenis, desde el reposo, de la parte superior de un cilindro alto de vidrio, primero con el cilindro evacuado de modo que no haya resistencia del aire y, luego, con el cilindro lleno de aire. Se toman fotografías con destello múltiple de ambas caídas. Por las fotografías, ¿cómo puede usted saber cuál es cuál? ¿O no es posible saberlo?

**P5.26.** Si usted lanza una pelota de béisbol verticalmente hacia arriba con rapidez $v_0$, ¿cómo será su rapidez, cuando regrese al punto de lanzamiento, en comparación con $v_0$ *a*) en ausencia de resistencia del aire? *b*) ¿Y en presencia de resistencia del aire? Explique su respuesta.

**P5.27.** Usted lanza una pelota de béisbol verticalmente hacia arriba. Si *no* se desprecia la resistencia del aire, compare el tiempo que tarda la pelota en alcanzar su altura máxima con el tiempo que tarda en volver al punto de lanzamiento. Explique su respuesta.

**P5.28.** Imagine que toma dos pelotas de tenis idénticas y llena una de agua. Deja caer las dos pelotas simultáneamente desde la azotea de un edificio alto. Si la resistencia del aire es insignificante, ¿cuál pelota llegará primero al piso? Explique. ¿Y si la resistencia del aire *no* es insignificante?

**P5.29.** Se suelta una pelota desde el reposo y experimenta la resistencia del aire mientras cae. ¿Cuál de las gráficas de la figura 5.39 representa mejor su aceleración en función del tiempo?

**P5.30.** Se suelta una pelota desde el reposo y experimenta la resistencia del aire mientras cae. ¿Cuál de las gráficas de la figura 5.40 representa mejor su componente de velocidad vertical en función del tiempo?

**P5.31.** ¿Cuándo puede una pelota de béisbol en vuelo tener una aceleración con una componente positiva hacia arriba? Explique en términos de las fuerzas sobre la pelota y también de las componentes de velocidad comparadas con la rapidez terminal. *No* desprecie la resistencia del aire.

**P5.32.** Cuando una pelota bateada se mueve con arrastre del aire, ¿recorre una distancia horizontal mayor mientras sube a su altura máxima o mientras baja al suelo? ¿O es igual la distancia horizontal en ambas partes de la trayectoria? Explique en términos de las fuerzas que actúan sobre la pelota.

Figura **5.39** Pregunta P5.29.

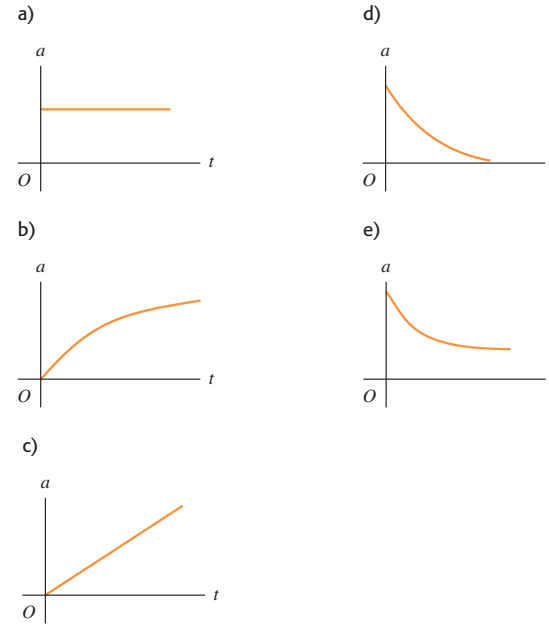
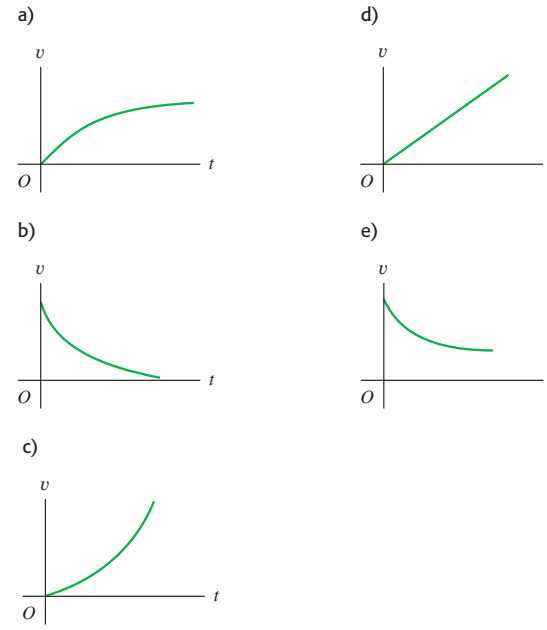



Figura **5.40** Pregunta P5.30.




**P5.33.** "Se lanza una pelota del borde de un risco alto. Sea cual fuere el ángulo con que se lance, la resistencia del aire hará que llegue un momento en que la pelota caiga verticalmente." Justifique esta afirmación.

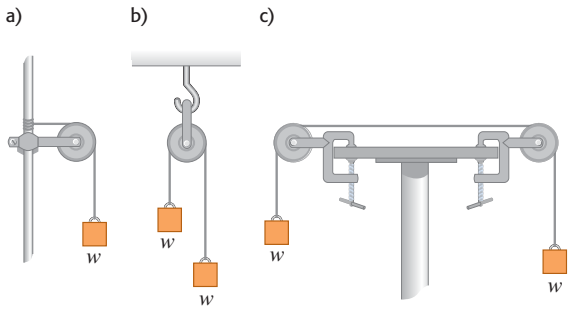
## Ejercicios

### Sección 5.1 Aplicación de la primera ley de Newton: partículas en equilibrio

**5.1.** Dos pesos de 25.0 N cuelgan de los extremos opuestos de una cuerda que pasa por una polea ligera sin fricción. La polea está sujeta a una cadena fijada en el techo. *a*) ¿Qué tensión hay en la cuerda? *b*) ¿Qué tensión hay en la cadena?

**5.2.** En la figura 5.41, los bloques suspendidos de la cuerda tienen ambos peso $w$. Las poleas no tienen fricción y el peso de las cuerdas es despreciable. En cada caso, calcule la tensión $T$ en la cuerda en términos del peso $w$. En cada caso, incluya el(los) diagrama(s) de cuerpo libre que usó para obtener la respuesta.

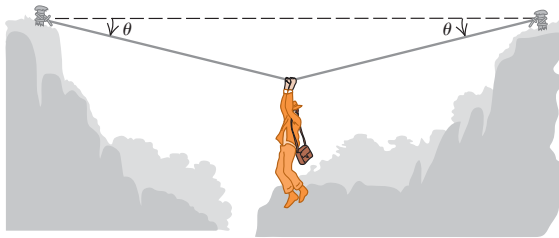
Figura **5.41** Ejercicio 5.2.




**5.3.** Una bola para demolición de 75.0 kg cuelga de una cadena uniforme de uso pesado, cuya masa es de 26.0 kg. *a*) Calcule las tensiones máxima y mínima en la cadena. *b*) ¿Cuál es la tensión en un punto a tres cuartos de distancia hacia arriba desde la parte inferior de la cadena?

**5.4.** Un arqueólogo audaz cruza, mano sobre mano, de un risco a otro colgado de una cuerda estirada entre los riscos. Se detiene a la mitad para descansar (figura 5.42). La cuerda se romperá si su tensión excede de $2.50 \times 10^4$ N, y la masa de nuestro héroe es de 90.0 kg. *a*) Si el ángulo $\theta$ es 10.0°, calcule la tensión en la cuerda. *b*) ¿Qué valor mínimo puede tener $\theta$ sin que se rompa la cuerda?

Figura **5.42** Ejercicio 5.4.



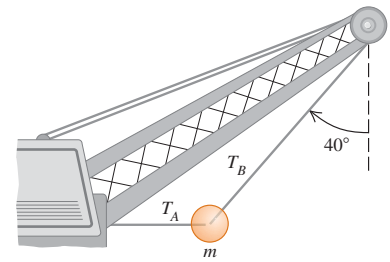

**5.5.** Un cuadro colgado en una pared pende de dos alambres sujetos a sus esquinas superiores. Si los alambres forman el mismo ángulo con la vertical, ¿cuánto medirá el ángulo si la tensión en los alambres es igual a 0.75 del peso del cuadro? (Ignore la fricción entre la pared y el cuadro.)

**5.6.** Resuelva el problema del ejemplo 5.5 tomando el eje $y$ vertical, y el $x$ horizontal. ¿Obtiene las mismas respuestas con estos ejes?

**5.7.** En San Francisco hay calles que forman un ángulo de 17.5° con la horizontal. ¿Qué fuerza paralela a la calle se requiere para impedir que un Corvette 1967 con masa de 1390 kg ruede cuesta abajo en una calle así?

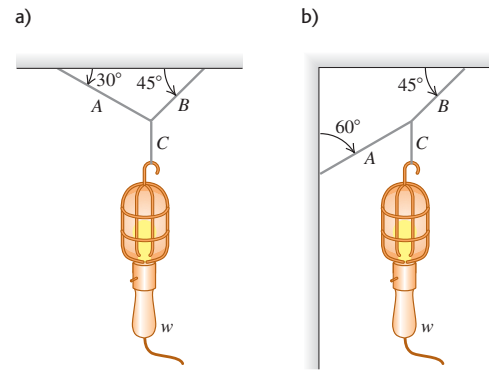
**5.8.** Una gran bola para demolición está sujeta por dos cables de acero ligeros (figura 5.43). Si su masa $m$ es de 4090 kg, calcule *a*) la tensión $T_B$ en el cable que forma un ángulo de 40° con la vertical. *b*) Calcule la tensión $T_A$ en el cable horizontal.

Figura **5.43** Ejercicio 5.8.



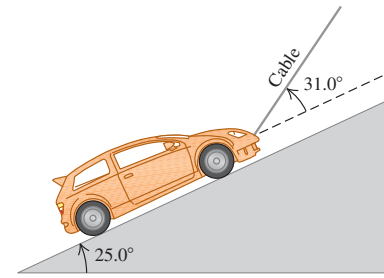

**5.9.** Calcule la tensión en cada cordón de la figura 5.44 si el peso del objeto suspendido es $w$.

Figura **5.44** Ejercicio 5.9.




**5.10.** Sobre una rampa muy lisa (sin fricción), un automóvil de 1130 kg se mantiene en su lugar con un cable ligero, como se muestra en la figura 5.45. El cable forma un ángulo de 31.0° por arriba de la superficie de la rampa, y la rampa misma se eleva a 25.0° por arriba de la horizontal. *a*) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para el auto. *b*) Obtenga la tensión en el cable. *c*) ¿Qué tan fuerte empuja la superficie de la rampa al auto?

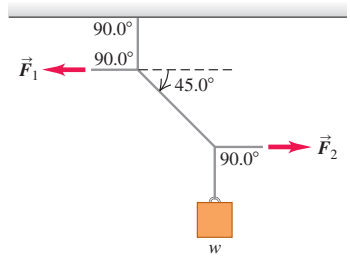
Figura **5.45** Ejercicio 5.10.



**5.11.** Un hombre empuja un piano de 180 kg de masa para que baje deslizándose con velocidad constante, por una rampa inclinada 11.0° sobre la horizontal. Ignore la fricción que actúa sobre el piano. Calcule la magnitud de la fuerza aplicada por el hombre si él empuja *a*) paralelo a la rampa y *b*) paralelo al piso.

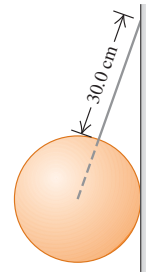
**5.12.** En la figura 5.46 el peso $w$ es de 60.0 N. *a*) Calcule la tensión en el cordón diagonal. *b*) Calcule la magnitud de las fuerzas horizontales $\vec{F}_1$ y $\vec{F}_2$ que deben aplicarse para mantener el sistema en la posición indicada.

**Figura 5.46** Ejercicio 5.12.



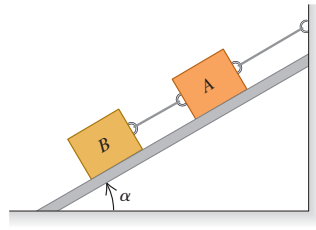

**5.13.** Una esfera uniforme sólida de 45.0 kg, cuyo diámetro es de 32.0 cm, se apoya contra una pared vertical sin fricción, usando un alambre delgado de 30.0 cm con masa despreciable, como se indica en la figura 5.47. *a*) Elabore el diagrama de cuerpo libre para la esfera y úselo para determinar la tensión en el alambre. *b*) ¿Qué tan fuerte empuja la esfera a la pared?

**Figura 5.47** Ejercicio 5.13.



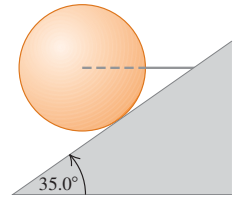

**5.14.** Dos bloques, ambos con peso $w$, están sostenidos en un plano inclinado sin fricción (figura 5.48). En términos de $w$ y del ángulo $\alpha$ del plano inclinado, calcule la tensión en *a*) la cuerda que conecta los bloques y *b*) la cuerda que conecta el bloque $A$ con la pared. *c*) Calcule la magnitud de la fuerza que el plano inclinado ejerce sobre cada bloque. *d*) Interprete sus respuestas para los casos $\alpha = 0$ y $\alpha = 90°$.

**Figura 5.48** Ejercicio 5.14.




**5.15.** Un alambre horizontal sostiene una esfera uniforme sólida de masa $m$, sobre una rampa inclinada que se eleva 35.0° por arriba de la horizontal. La superficie de la rampa es perfectamente lisa, y el alambre se coloca en el centro de la esfera, como se indica en la figura 5.49. *a*) Elabore el diagrama de cuerpo libre para la esfera. *b*) ¿Qué tan fuerte la superficie de la rampa empuja a la esfera? ¿Cuál es la tensión en el alambre?

**Figura 5.49** Ejercicio 5.15.




## Sección 5.2 Aplicación de la segunda ley de Newton: dinámica de partículas

**5.16.** Un cohete de 125 kg (incluyendo todo su contenido) tiene un motor que produce una fuerza vertical constante (el *empuje*) de 1720 N. Dentro de este cohete, una fuente de energía eléctrica de 15.5 N descansa sobre el piso. *a*) Obtenga la aceleración del cohete. *b*) Cuando éste ha alcanzado una altitud de 120 m, ¿con qué fuerza el piso empuja la fuente de energía? (*Sugerencia*: empiece con un diagrama de cuerpo libre para la fuente de energía eléctrica.)

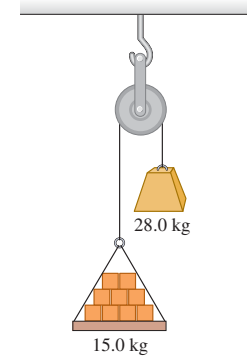
**5.17. Choque del *Génesis*.** El 8 de septiembre de 2004, la nave espacial *Génesis* se estrelló en el desierto de Utah porque su paracaídas no se abrió. La cápsula de 210 kg golpeó el suelo a 311 km/h y penetró en él hasta una profundidad de 81.0 cm. *a*) Suponiendo que es constante, ¿cuál fue su aceleración (en unidades de m/s$^2$ y en $g$) durante el choque? *b*) ¿Qué fuerza ejerció el suelo sobre la cápsula durante el choque? Exprese la fuerza en newtons y como múltiplo del peso de la cápsula. *c*) ¿Cuánto tiempo duró esta fuerza?

**5.18.** Se tira horizontalmente de tres trineos sobre hielo horizontal sin fricción, usando cuerdas horizontales (figura 5.50). El tirón es horizontal y de 125 N de magnitud. Obtenga *a*) la aceleración del sistema, y *b*) la tensión en las cuerdas $A$ y $B$.

**Figura 5.50** Ejercicio 5.18.

**5.19. Máquina de Atwood.** Una carga de 15.0 kg de ladrillos pende del extremo de una cuerda que pasa por una polea pequeña sin fricción y tiene un contrapeso de 28.0 kg en el otro extremo (figura 5.51). El sistema se libera del reposo. *a*) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para la carga de ladrillos y otro para el contrapeso. *b*) ¿Qué magnitud tiene la aceleración hacia arriba de la carga de ladrillos? *c*) ¿Qué tensión hay en la cuerda mientras la carga se mueve? Compare esa tensión con el peso de la carga de ladillos y con el del contrapeso.

**Figura 5.51** Ejercicio 5.19.




**5.20.** Un bloque de hielo de 8.00 kg, liberado del reposo en la parte superior de una rampa sin fricción de 1.50 m de longitud, se desliza hacia abajo y alcanza una rapidez de 2.50 m/s en la base de la rampa. *a*) ¿Qué ángulo forma la rampa con la horizontal? *b*) ¿Cuál sería la rapidez del hielo en la base de la rampa, si al movimiento se opusiera una fuerza de fricción constante de 10.0 N paralela a la superficie de la rampa?

**5.21.** Una cuerda ligera está atada a un bloque con masa de 4.00 kg que descansa en una superficie horizontal sin fricción. La cuerda horizontal pasa por una polea sin masa ni fricción, y un bloque de masa $m$ pende del otro extremo. Al soltarse los bloques, la tensión en la cuerda es de 10.0 N. *a*) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para el bloque de 4.00 kg y otro para el bloque de masa $m$. Calcule *b*) la aceleración

de cada bloque y *c*) la masa *m* del bloque colgante. *d*) Compare la tensión con el peso del bloque colgante.

**5.22. Diseño de pistas de aterrizaje.** Un avión de carga despega de un campo horizontal remolcando dos planeadores de 700 kg cada uno. Podemos suponer que la resistencia total (arrastre del aire más fricción con la pista) que actúa sobre cada uno es constante e igual a 2500 N. La tensión en la cuerda de remolque entre el avión y el primer planeador no debe exceder de 12,000 N. *a*) Si se requiere una rapidez de 40 m/s para despegar, ¿qué longitud mínima debe tener la pista? *b*) ¿Qué tensión hay en la cuerda de remolque entre los dos planeadores durante la aceleración para el despegue?

**5.23.** Una enorme roca de 750 kg se levanta desde una cantera de 125 m de profundidad usando una cadena larga y uniforme cuya masa es de 575 kg. Esta cadena tiene resistencia uniforme, pero en cualquier punto puede soportar una tensión máxima no mayor que 2.50 veces su peso sin romperse. *a*) ¿Cuál es la aceleración máxima que la roca puede tener para lograr salir de la cantera, y *b*) ¿cuánto tiempo le toma al ser levantada a aceleración máxima partiendo del reposo?

**5.24. Peso aparente.** Un estudiante de física cuyo peso es de 550 N se para en una báscula de baño dentro de un elevador de 850 kg (incluyendo al estudiante), el cual es soportado por un cable. Al comenzar a moverse el elevador, la báscula marca 450 N. *a*) Determine la aceleración del elevador (magnitud y dirección). *b*) ¿Cuál será la aceleración si la báscula marca 670 N. *c*) Si la lectura es 0, ¿debería preocuparse el joven? Explique. *d*) En los incisos *a*) y *c*), ¿cuál es la tensión en el cable?

**5.25.** Una estudiante de física que juega con una mesa de hockey de aire (sin fricción) observa que, si imparte al disco una velocidad de 3.80 m/s a lo largo de la mesa, de 1.75 m, al llegar el disco al otro lado se ha desviado 2.50 cm a la derecha, pero aún con una componente de velocidad longitudinal de 3.80 m/s. Ella concluye, atinadamente, que la mesa no está nivelada y calcula correctamente su inclinación a partir de la información mencionada. ¿Cuál es el ángulo de inclinación?

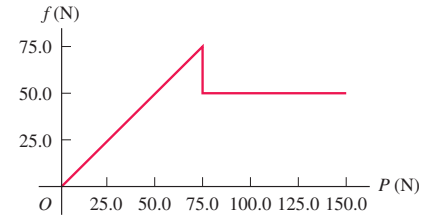
**5.26.** Un cohete de prueba de 2540 kg se lanza verticalmente desde la plataforma de lanzamiento. Su combustible (de masa despreciable) brinda una fuerza de propulsión, de manera que su velocidad vertical en función del tiempo está dada por $v(t) = At + Bt^2$, donde $A$ y $B$ son constantes, y el tiempo se mide desde el instante en que se quema el combustible. En el instante de la ignición, el cohete tiene una aceleración ascendente de 1.50 m/s$^2$ y 1.00 s después una velocidad ascendente de 2.00 m/s. *a*) Determine $A$ y $B$, incluyendo sus unidades en el SI. *b*) A los 4.00 s después de la ignición del combustible, ¿cuál será la aceleración del cohete; y *c*) que fuerza de propulsión ejerce el combustible consumido sobre él, despreciando la resistencia del aire? Exprese la propulsión en newtons y como múltiplo del peso del cohete? *d*) ¿Cuál era la propulsión inicial debida al combustible?

## Sección 5.3 Fuerzas de fricción

**5.27. Diagramas de cuerpo libre.** Los primeros dos pasos para resolver problemas de la segunda ley de Newton consisten en elegir un objeto para su análisis y luego dibujar su diagrama de cuerpo libre. Haga esto en cada una de las siguientes situaciones: *a*) una masa $M$ se desliza hacia abajo por un plano inclinado sin fricción con ángulo $\alpha$; y *b*) una masa $M$ se desliza hacia arriba por un plano inclinado sin fricción con ángulo $\alpha$; *c*) una masa $M$ se desliza hacia arriba por un plano inclinado con fricción cinética con ángulo $\alpha$.

**5.28.** En un experimento de laboratorio acerca de la fricción, un bloque de 135 N que descansa sobre una mesa horizontal áspera se jala con un cable horizontal. El tirón aumenta gradualmente hasta que el bloque empieza a moverse y continúa aumentando a partir de entonces. La figura 5.52 muestra una gráfica de la fuerza de fricción sobre este bloque en función del tirón. *a*) Identifique las regiones de la gráfica donde hay fricción estática y fricción cinética. *b*) Calcule los coeficientes de fricción estática y cinética entre el bloque y la mesa. *c*) ¿Por qué la gráfica se inclina hacia arriba en la primera parte pero luego se nivela? *d*) ¿Cómo se vería la gráfica si se colocara un ladrillo de 135 N sobre el bloque, y cuáles serían los coeficientes de fricción en ese caso?

Figura **5.52** Ejercicio 5.28.




**5.29.** Un trabajador de bodega empuja una caja de 11.2 kg de masa sobre una superficie horizontal con rapidez constante de 3.50 m/s. El coeficiente de fricción cinética entre la caja y la superficie es de 0.20. *a*) ¿Qué fuerza horizontal debe aplicar el trabajador para mantener el movimiento? *b*) Si se elimina esta fuerza, ¿qué distancia se deslizaría la caja antes de parar?

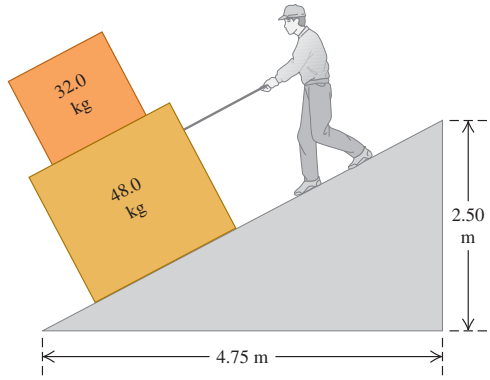
**5.30.** Una caja de bananas que pesa 40.0 N descansa en una superficie horizontal. El coeficiente de fricción estática entre la caja y la superficie es de 0.40, y el coeficiente de fricción cinética es de 0.20. *a*) Si no se aplica alguna fuerza horizontal a la caja en reposo, ¿qué tan grande es la fuerza de fricción ejercida sobre la caja? *b*) ¿Qué magnitud tiene la fuerza de fricción si un mono aplica una fuerza horizontal de 6.0 N a la caja en reposo? *c*) ¿Qué fuerza horizontal mínima debe aplicar el mono para poner en movimiento la caja? *d*) ¿Qué fuerza horizontal mínima debe aplicar el mono para que la caja siga moviéndose con velocidad constante, una vez que haya comenzado a moverse? *e*) Si el mono aplica una fuerza horizontal de 18.0 N, ¿qué magnitud tiene la fuerza de fricción y qué aceleración tiene la caja?

**5.31.** Una caja de herramientas de 45.0 kg descansa sobre un piso horizontal. Usted ejerce sobre ella un empuje horizontal cada vez mayor sobre ella, y observa que la caja empieza a moverse justo cuando su fuerza excede 313 N. Después de lo cual, debe reducir el empuje a 208 N para mantener la caja en movimiento a 25.0 cm/s constantes. *a*) ¿Cuáles son los coeficientes de fricción estática y cinética entre la caja y el piso? *b*) ¿Qué empuje debe ejercer para darle una aceleración de 1.10 m/s$^2$? *c*) Suponga que usted está realizando el mismo experimento sobre esta caja, pero ahora lo hace en la Luna, donde la aceleración debida a la gravedad es de 1.62 m/s$^2$. i) ¿Cuál sería la magnitud del empuje para que la caja se moviera? ii) ¿Cuál sería su aceleración si mantuviera el empuje del inciso *b*)?

**5.32.** Una caja de 85 N con naranjas se empuja por un piso horizontal, y va frenándose a una razón constante de 0.90 m/s cada segundo. La fuerza de empuje tiene una componente horizontal de 20 N y una vertical de 25 N hacia abajo. Calcule el coeficiente de fricción cinética entre la caja y el piso.

**5.33.** Usted está bajando dos cajas, una encima de la otra, por la rampa que se muestra en la figura 5.53, tirando de una cuerda paralela a la superficie de la rampa. Ambas cajas se mueven juntas a rapidez constante de 15.0 cm/s. El coeficiente de fricción cinética entre la rampa y la caja inferior es 0.444, en tanto que el coeficiente de fricción estática entre ambas cajas es de 0.800. *a*) ¿Qué fuerza deberá ejercer para

**Figura 5.53** Ejercicio 5.33.



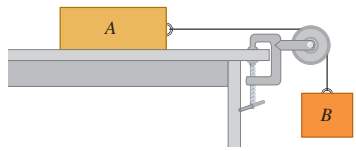

lograr esto? *b*) ¿Cuáles son la magnitud y la dirección de la fuerza de fricción sobre la caja superior?

**5.34. Distancia de frenado.** *a*) Si el coeficiente de fricción cinética entre neumáticos y pavimento seco es de 0.80, ¿cuál es la distancia mínima para detenerse un automóvil que viaja a 28.7 m/s (unas 65 mi/h) bloqueando los frenos? *b*) En pavimento húmedo, el coeficiente de fricción cinética podría bajar a 0.25. ¿Con qué rapidez debemos conducir en pavimento húmedo para poder parar en la misma distancia que en el inciso *a*)? (*Nota:* bloquear los frenos *no* es la forma más segura de parar.)

**5.35. Coeficiente de fricción.** Una rondana de latón limpia se desliza por una superficie de acero horizontal limpia hasta detenerse. Usando los valores de la tabla 5.1, ¿qué tanto más lejos habría llegado la pieza con la misma rapidez inicial, si la rondana estuviera recubierta con teflón?

**5.36.** Considere el sistema de la figura 5.54. El bloque $A$ pesa 45.0 N y el bloque $B$ pesa 25.0 N. Una vez que el bloque $B$ se pone en movimiento hacia abajo, desciende con rapidez constante. *a*) Calcule el coeficiente de fricción cinética entre el bloque $A$ y la superficie de la mesa. *b*) Un gato, que también pesa 45.0 N, se queda dormido sobre el bloque $A$. Si ahora el bloque $B$ se pone en movimiento hacia abajo, ¿qué aceleración (magnitud y dirección) tendrá?

**Figura 5.54** Ejercicios 5.36, 5.41 y problema 5.77.




**5.37.** Dos cajas conectadas por una cuerda están en una superficie horizontal (figura 5.55). La caja $A$ tiene masa $m_A$; y la $B$, $m_B$. El coeficiente de fricción cinética entre las cajas y la superficie es $\mu_k$. Una fuerza horizontal $\vec{F}$ tira de las cajas hacia la derecha con velocidad constante. En términos de $m_A$, $m_B$ y $\mu_k$, calcule *a*) la magnitud de la fuerza $\vec{F}$ y *b*) la tensión en la cuerda que une los bloques. Incluya el (los) diagrama(s) de cuerpo libre que usó para obtener cada respuesta.

**Figura 5.55** Ejercicio 5.37.

**5.38. Fricción de rodamiento.** Dos neumáticos de bicicleta se ponen a rodar con la misma rapidez inicial de 3.50 m/s en un camino largo y recto, y se mide la distancia que viaja cada una antes de que su rapidez se reduzca a la mitad. Un neumático se infló a una presión de 40 psi y avanzó 18.1 m; el otro tiene 105 psi y avanzó 92.9 m. ¿Cuánto vale el coeficiente de fricción de rodamiento $\mu_r$ para cada uno? Suponga que la fuerza horizontal neta sólo se debe a la fricción de rodamiento.

**5.39. Ruedas.** Suponga que determina que se requiere una fuerza horizontal de 160 N, para deslizar una caja con rapidez constante por la superficie de un piso nivelado. El coeficiente de fricción estática es de 0.52 y el coeficiente de fricción cinética es de 0.47. Si coloca la caja en una plataforma rodante con masa de 5.3 kg y coeficiente de fricción de rodamiento de 0.018, ¿qué aceleración horizontal imprimirá esa fuerza de 160 N?

**5.40.** Suponga que determina que se requiere una fuerza horizontal de 200 N, para mover una camioneta vacía por un camino horizontal con una rapidez de 2.4 m/s. Después, usted carga la camioneta e infla más los neumáticos, de modo que su peso total aumente en un 42% y su coeficiente de fricción de rodamiento disminuya en un 19%. ¿Qué fuerza horizontal necesitará ahora para mover la camioneta por el mismo camino con la misma rapidez? La rapidez es lo bastante baja como para ignorar la resistencia del aire.

**5.41.** Como se muestra en la figura 5.54, el bloque $A$ (masa 2.25 kg) descansa sobre una mesa y está conectado, mediante un cordón horizontal que pasa por una polea ligera sin fricción, a un bloque colgante $B$ (masa 1.30 kg). El coeficiente de fricción cinética entre el bloque $A$ y la superficie es de 0.450. Luego los bloques se sueltan del reposo. Calcule *a*) la rapidez de cada bloque después de moverse 3.00 cm y *b*) la tensión en el cordón. Incluya el (los) diagrama(s) de cuerpo libre que usó para obtener las respuestas.

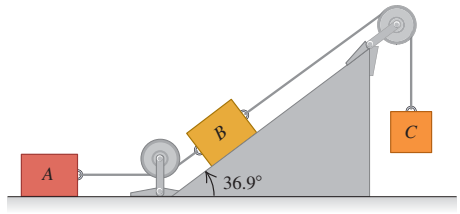
**5.42.** Una caja de 25.0 kg con libros de texto está en una rampa de carga que forma un ángulo $\alpha$ con la horizontal. El coeficiente de fricción cinética es de 0.25; y el coeficiente de fricción estática, de 0.35. *a*) Al aumentar $\alpha$, determine el ángulo mínimo con que la caja comienza a resbalar. Con este ángulo, *b*) calcule la aceleración una vez que la caja está en movimiento, y *c*) la rapidez con que se moverá la caja una vez que se haya resbalado 5.0 m por la rampa.

**5.43.** Una caja grande de masa $m$ descansa en un piso horizontal. Los coeficientes de fricción entre la caja y el piso son $\mu_s$ y $\mu_k$. Una mujer empuja la caja con fuerza $\vec{F}$ y un ángulo $\theta$ bajo la horizontal. *a*) ¿Qué magnitud debe tener $\vec{F}$ para que la caja se mueva con velocidad constante? *b*) Si $\mu_s$ es mayor que cierto valor crítico, la mujer no podrá poner en movimiento la caja por más fuerte que empuje. Calcule dicho valor crítico de $\mu_s$.

**5.44.** Una caja de masa $m$ se arrastra por un piso horizontal, cuyo coeficiente de fricción cinética es $\mu_k$, mediante una cuerda de la cual se tira con una fuerza de magnitud $F$ y ángulo $\theta$ sobre la horizontal. *a*) Obtenga una expresión en términos de $m$, $\mu_k$, $\theta$ y $g$ para la magnitud de la fuerza necesaria para mover la caja con rapidez constante. *b*) Un instructor de primeros auxilios, que sabe que usted estudia física, le pide averiguar qué fuerza necesitaría para deslizar con rapidez constante a un paciente de 90 kg por un piso, tirando de él con un ángulo de 25° sobre la horizontal. Arrastrando algunos pesos envueltos en unos pantalones viejos y con la ayuda de una balanza de resorte, usted determina que $\mu_k = 0.35$. Utilice el resultado del inciso *a*) para contestar la pregunta del instructor.

**5.45.** Los bloques *A*, *B* y *C* se colocan como en la figura 5.56 y se conectan con cuerdas de masa despreciable. Tanto *A* como *B* pesan 25.0 N cada uno, y el coeficiente de fricción cinética entre cada bloque y la superficie es de 0.35. El bloque *C* desciende con velocidad constante. *a*) Dibuje un diagrama de cuerpo libre que muestre las fuerzas que actúan sobre *A*, y otro para *B*. *b*) Calcule la tensión en la cuerda que une los bloques *A* y *B*. *c*) ¿Cuánto pesa el bloque *C*? *d*) Si se cortara la cuerda que une *A* y *B*, ¿qué aceleración tendría *C*?

Figura **5.56** Ejercicio 5.45.




**5.46.** Deduzca las ecuaciones (5.11) y (5.12) a partir de la ecuación (5.10).

**5.47.** *a*) En el ejemplo 5.19 (sección 5.3), ¿qué valor de *D* se requiere para que $v_t = 42$ m/s para el paracaidista? *b*) Si la hija del paracaidista, con masa de 45 kg, cae en el aire y tiene la misma *D* (0.25 kg/m) que su padre, ¿cuál será su rapidez terminal?

**5.48.** Usted lanza una pelota verticalmentre hacia arriba. La fuerza de arrastre es proporcional a $v^2$. En términos de *g*, ¿cuál es la componente *y* de la aceleración que tiene la pelota cuando su rapidez es la mitad de la rapidez terminal *a*) mientras sube? *b*) ¿Y al bajar?

## Sección 5.4 Dinámica del movimiento circular

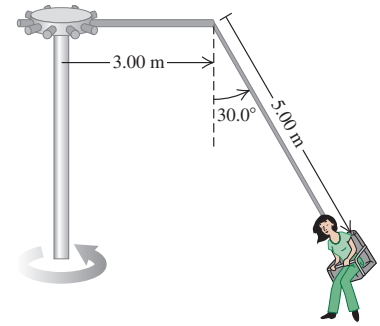
**5.49.** Una pieza de maquinaria consta de una barra delgada de 40.0 cm de longitud, con masas pequeñas de 1.15 kg sujetas por tornillos en sus extremos. Los tornillos pueden soportar una fuerza máxima de 75.0 N sin safarse. Esta barra gira en torno a un eje perpendicular a su centro. *a*) Cuando la barra gira a tasa constante sobre una superficie horizontal sin fricción, ¿cuál es la rapidez máxima que la masa puede tener sin que se safen los tornillos? *b*) Suponga que la máquina se volvió a rediseñar de manera que la barra gira a tasa constante en un círculo vertical. ¿Será más probable que uno de los tornillos se safe cuando la masa esté en la parte superior del círculo o en la parte inferior? Utilice un diagrama de cuerpo libre para saber por qué. *c*) Usando el resultado del inciso *b*), ¿cuál es la mayor rapidez que la masa puede tener sin que se safe un tronillo?

**5.50.** Una curva plana (sin peralte) en una carretera tiene un radio de 220.0 m. Un automóvil toma la curva a una rapidez de 25.0 m/s. *a*) ¿Cuál es el coeficiente de fricción mínimo que evitaría que derrape? *b*) Suponga que la carretera está cubierta de hielo y el coeficiente de fricción entre los neumáticos y el pavimento es de sólo un tercio del resultado del inciso *a*). ¿Cuál debería ser la rapidez máxima del auto, de manera que pueda tomar la curva con seguridad?

**5.51.** En la autopista un automóvil de 1125 kg y una camioneta de 2250 kg se acercan a una curva que tiene un radio de 225 m. *a*) ¿Con qué ángulo el ingeniero reponsable debería peraltar esta curva, de modo que los vehículos que viajen a 65.0 mi/h puedan tomarla con seguridad, sin que importe la condición de sus neumáticos? ¿Un camión pesado debería ir más lento que un auto más ligero? *b*) ¿Cuándo el auto y la camioneta toman la curva a 65.0 mi/h, encuentre la fuerza normal sobre cada uno debida a la superficie de la autopista.

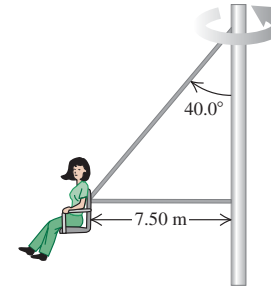
**5.52.** El "columpio gigante" de una feria local consiste en un eje vertical central con varios brazos horizontales unidos a su extremo superior (figura 5.57). Cada brazo sostiene un asiento suspendido de un cable de 5.00 m, sujeto al brazo en un punto a 3.00 m del eje central. *a*) Calcule el tiempo de una revolución del columpio, si el cable forma un ángulo de 30.0° con la vertical. *b*) ¿El ángulo depende del peso del pasajero para una rapidez de giro dada?

Figura **5.57** Ejercicio 5.52.




**5.53.** En otra versión del "columpio gigante" (véase el ejercicio 5.52), el asiento está conectado a dos cables, como se indica en la figura 5.58, uno de los cuales es horizontal. El asiento gira en un círculo horizontal a una tasa de 32.0 rpm (rev/min). Si el asiento pesa 255 N y una persona de 825 N está sentada en él, obtenga la tensión en cada cable.

Figura **5.58** Ejercicio 5.53.




**5.54.** Un botón pequeño, colocado en una plataforma giratoria horizontal de 0.320 m de diámetro, gira junto con la plataforma cuando ésta gira a 40.0 rpm, siempre que el botón no esté a más de 0.150 m del eje. *a*) ¿Qué coeficiente de fricción estática hay entre el botón y la plataforma? *b*) ¿A qué distancia del eje puede estar el botón, sin resbalar, si la plataforma gira a 60.0 rpm?

**5.55. Estaciones espaciales giratorias.** Para los seres humanos, uno de los problemas de vivir en el espacio exterior es la aparente falta de peso. Una solución es diseñar estaciones espaciales que giren sobre su centro con rapidez constante, creando "gravedad artificial" en el borde exterior de la estación. *a*) Si el diámetro de la estación es de 800 m, ¿cuántas revoluciones por minuto se necesitarán para que la aceleración de la "gravedad artificial" sea de 9.8 m/s$^2$? *b*) Si la estación es un área de espera para pasajeros que van a Marte, sería deseable simular la aceleración debida a la gravedad en la superficie marciana (3.70 m/s$^2$). ¿Cuántas revoluciones por minuto se necesitan en este caso?

**5.56.** La rueda de la fortuna Cosmoclock 21 de la ciudad de Yokohama, Japón, tiene 100 m de diámetro. Su nombre proviene de sus 60 brazos, cada uno de los cuales puede funcionar como segundero (dando una vuelta cada 60.0 s). *a*) Determine la rapidez de los pasajeros con esta rotación. *b*) Un pasajero pesa 882 N en la caseta de "adivine el peso" en tierra. ¿Qué peso aparente tendrá en el punto más alto y el más bajo de la rueda? *c*) ¿Cuánto tardaría una revolución, si el peso aparente del pasajero en el punto más alto fuera cero? *d*) ¿Cuál sería entonces su peso aparente en el punto más bajo?

**5.57.** Un avión describe un rizo (una trayectoria circular en un plano vertical) de 150 m de radio. La cabeza del piloto apunta siempre al centro del rizo. La rapidez del avión no es constante; es mínima en el punto más alto del rizo y máxima en el punto más bajo. *a*) En la

parte superior, el piloto experimenta ingravidez. ¿Qué rapidez tiene el avión en este punto? *b*) En la parte inferior, la rapidez del avión es de 280 km/h. ¿Qué peso aparente tiene el piloto aquí? Su peso real es de 700 N.

**5.58.** Una piloto de acrobacias de 50.0 kg va en picada vertical y sale de ella cambiando su curso a un círculo en un plano vertical. *a*) Si la rapidez del avión en el punto más bajo del círculo es de 95.0 m/s, ¿qué radio mínimo debe tener el círculo para que la aceleración en ese punto no exceda 4.00*g*? *b*) ¿Qué peso aparente tendría la piloto en ese punto más bajo?

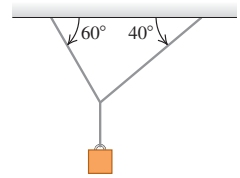
**5.59. ¡No se moje!** Se ata un cordón a una cubeta con agua, la cual se gira en un círculo vertical de radio 0.600 m. ¿Qué rapidez máxima debe tener la cubeta en el punto más alto del círculo para no derramar agua?

**5.60.** Una bola de boliche que pesa 71.2 N (16.0 lb) cuelga del techo atada a una cuerda de 3.80 m. Se tira de la bola hacia un lado y luego se suelta; la bola oscila como péndulo. Al pasar la cuerda por la vertical, la rapidez de la bola es de 4.20 m/s. *a*) ¿Qué aceleración (dirección y magnitud) tiene la bola en ese instante? *b*) ¿Qué tensión hay en la cuerda en ese instante?

## Problemas

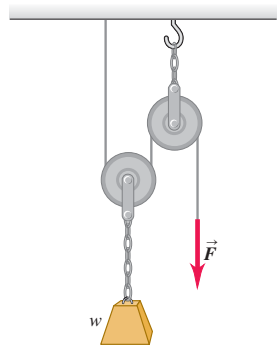
**5.61.** Dos cuerdas están unidas a un cable de acero que sostiene un peso colgante, como se muestra en la figura 5.59. *a*) Dibuje un diagrama de cuerpo libre que muestre todas las cuerdas que actúan sobre el nudo que une las dos cuerdas al cable de acero. Con base en su diagrama de fuerzas, ¿cuál cuerda estará sometida a mayor tensión? *b*) Si la tensión máxima que una cuerda resiste sin romperse es de 5000 N, determine el valor máximo del peso colgante que las cuerdas pueden sostener sin riesgo. Puede despreciarse el peso de las cuerdas y del cable de acero.

Figura **5.59** Problema 5.61.




**5.62.** En la figura 5.60 un obrero levanta un peso *w* tirando hacia abajo de una cuerda con una fuerza $\vec{F}$. La polea superior está unida al techo con una cadena; en tanto que la polea inferior está unida al peso con otra cadena. En términos de *w*, determine la tensión en cada cadena y la magnitud de la fuerza $\vec{F}$ si el peso sube con rapidez constante. Incluya el (los) diagrama(s) de cuerpo libre que usó para obtener sus respuestas. Suponga que los pesos de la cuerda, las poleas y las cadenas son insignificantes.

Figura **5.60** Problema 5.62.



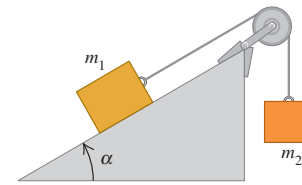

**5.63. Cuerda con masa.** En casi todos los problemas de este libro, las cuerdas, los cordones o los cables tienen una masa tan pequeña en comparación con la de los demás objetos del problema, que puede despreciarse. Sin embargo, cuando la cuerda es el *único* objeto del problema, es evidente que no podemos ignorar su masa. Suponga, por ejemplo, que tenemos una cuerda para atar a dos postes (figura 5.61). La cuerda tiene masa *M* y cada extremo forma un ángulo $\theta$ con la horizontal. Determine *a*) la tensión en los extremos de la cuerda y *b*) la tensión en el punto más bajo. *c*) ¿Por qué no podemos tener $\theta = 0°$? (Véase la pregunta para análisis P5.3.) *d*) Analice sus resultados de los incisos *a*) y *b*) en el límite en que $\theta \to 90°$. La curva de la cuerda, o de cualquier cable flexible que cuelga bajo su propio peso, se denomina *catenaria*. [Si desea consultar un texto más avanzado acerca de esta curva, véase K. R. Symon, *Mechanics,* 3a. ed. (Reading, MA: Addison-Wesley, 1971), pp. 237-241.]

Figura **5.61** Problema 5.63.

**5.64. Otra cuerda con masa.** Un bloque con masa *M* está unido al extremo inferior de una cuerda vertical uniforme con masa *m* y longitud *L*. Se aplica una fuerza constante $\vec{F}$ hacia arriba al extremo superior de la cuerda; esto hace que la cuerda y el bloque se aceleren hacia arriba. Calcule la tensión en la cuerda a una distancia *x* del extremo superior de la cuerda, donde *x* puede tener cualquier valor entre 0 y *L*.

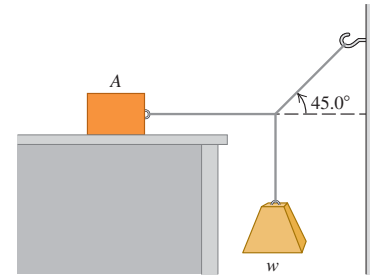
**5.65.** Un bloque de masa $m_1$ se coloca en un plano inclinado con ángulo $\alpha$, conectado a un segundo bloque colgante de masa $m_2$ mediante un cordón que pasa por una polea pequeña sin fricción (figura 5.62). Los coeficientes de fricción estática y cinética son $\mu_s$ y $\mu_k$, respectivamente. *a*) Determine la masa $m_2$ tal que el bloque $m_1$ sube por el plano con rapidez constante una vez puesto en movimiento. *a*) Determine la masa $m_2$ tal que el bloque $m_1$ baje por el plano con rapidez constante una vez puesto en movimiento. *c*) ¿En qué intervalo de valores de $m_2$ los bloques permanecen en reposo, si se sueltan del reposo?

Figura **5.62** Problema 5.65.




**5.66.** *a*) El bloque *A* de la figura 5.63 pesa 60.0 N. El coeficiente de fricción estática entre el bloque y la superficie donde descansa es

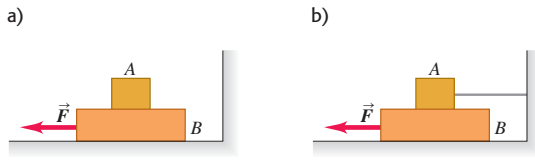
Figura **5.63** Problema 5.66.



de 0.25. El peso $w$ es de 12.0 N y el sistema está en equilibrio. Calcule la fuerza de fricción ejercida sobre el bloque $A$. *b*) Determine el peso máximo $w$ con el cual el sistema permanecerá en equilibrio.

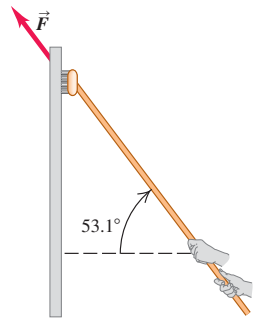
**5.67.** El bloque $A$ de la figura 5.64 pesa 1.20 N, y el bloque $B$ pesa 3.60 N. El coeficiente de fricción cinética entre todas las superficies es de 0.300. Determine la magnitud de la fuerza horizontal $\vec{F}$ necesaria para arrastrar el bloque $B$ hacia la izquierda con rapidez constante, *a*) si $A$ descansa sobre $B$ y se mueve con él (figura 5.64a); y *b*) si $A$ no se mueve (figura 5.64b).

Figura **5.64** Problema 5.67.



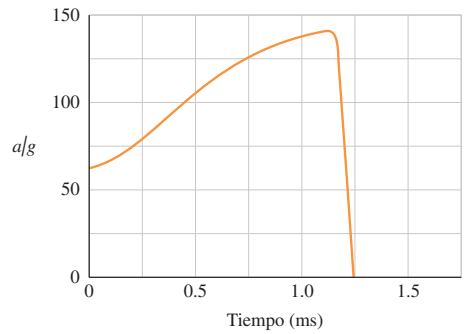

**5.68.** Un lavaventanas empuja hacia arriba su cepillo sobre una ventana vertical, con rapidez constante, aplicando una fuerza $\vec{F}$ (figura 5.65). El cepillo pesa 12.0 N y el coeficiente de fricción cinética es $\mu_k = 0.150$. Calcule *a*) la magnitud de la fuerza $\vec{F}$ y *b*) la fuerza normal ejercida por la ventana sobre el cepillo.

Figura **5.65** Problema 5.68.




**5.69. Salto volador de una pulga.** Una película de alta velocidad (3500 cuadros/segundo) produjo ciertos datos del salto de una pulga de 210 $\mu$g, que permitieron trazar la gráfica de aceleración del insecto en función del tiempo de la figura 5.66. (Véase "The Flying Leap of the Flea", por M. Rothschild *et al.* En *Scientific American* de noviembre de 1973.) La pulga tenía unos 2 mm de longitud y saltó con un ángulo de despegue casi vertical. Haga mediciones en la gráfica que le permitan contestar las siguientes preguntas. *a*) ¿Qué fuerza externa neta *inicial* actúa sobre la pulga? Compárela con el peso de la pulga. *b*) ¿Qué fuerza externa neta *máxima* actúa sobre la pulga que salta? ¿Cuándo se presenta esa fuerza máxima? *c*) Según la gráfica, ¿qué rapidez máxima alcanzó la pulga?

Figura **5.66** Problema 5.69.




**5.70.** Un cohete de 25,000 kg despega verticalmente de la superficie terrestre con aceleración constante. Durante el movimiento considerado en este problema, suponga que $g$ se mantiene constante (véase el capítulo 12). Dentro del cohete, un instrumento de 15.0 N cuelga de un alambre que resiste una tensión máxima de 35.0 N. *a*) Determine el tiempo mínimo en que el cohete puede alcanzar la barrera del sonido (330 m/s) sin romper el alambre, y el empuje vertical máximo de los motores del cohete en tales condiciones. *b*) ¿A qué altura sobre la superficie terrestre está el cohete cuando rompe la barrera del sonido?

**5.71.** Una persona de 72 kg está parada sobre una báscula de baño en el elevador de un rascacielos. El elevador parte del reposo y asciende con una rapidez que varía con el tiempo según $v(t) = (3.0\ \text{m/s}^2)t + (0.20\ \text{m/s}^3)t^2$. En $t = 4.0$ s, ¿qué valor marca la báscula?

**5.72. Diseño de elevadores.** Imagine que usted está diseñando un elevador para un hospital. La fuerza que el piso del elevador ejercerá sobre un pasajero no debe exceder 1.60 veces el peso del pasajero. El elevador acelera hacia arriba con aceleración constante una distancia de 3.0 m, y luego comienza a frenarse. ¿Qué rapidez máxima alcanza el elevador?

**5.73.** Imagine que usted trabaja para una empresa transportista. Su trabajo consiste en pararse junto a la base de una rampa de 8.0 m de longitud, inclinada 37° arriba de la horizontal, tomar paquetes de una banda transportadora y empujarlos rampa arriba. El coeficiente de fricción cinética entre los paquetes y la rampa es $\mu_k = 0.30$. *a*) ¿Qué rapidez necesitará usted imprimir a los paquetes en la base de la rampa, para que tengan rapidez cero en el tope de la rampa? *b*) Se supone que una compañera de trabajo toma los paquetes cuando llegan al tope de la rampa, pero no logra sujetar uno y ese paquete se desliza rampa abajo. ¿Qué rapidez tiene el paquete cuando llega a donde está usted?

**5.74.** Un martillo cuelga del techo de un autobús atado con una cuerda ligera. El techo es paralelo a la carretera. El autobús viaja en línea recta por un camino horizontal. Se observa que el martillo cuelga en reposo con respecto al autobús cuando el ángulo entre la cuerda y el techo es de 74°. ¿Qué aceleración tiene el autobús?

**5.75.** Una rondana de acero está suspendida dentro de una caja vacía por un cordón ligero unido a la tapa de la caja. La caja baja resbalando por una rampa larga que tiene una inclinación de 37° sobre la horizontal. La masa de la caja es de 180 kg. Una persona de 55 kg está sentada dentro de la caja (con una linterna). Mientras la caja resbala por la rampa, la persona ve que la rondana está en reposo con respecto a la caja, cuando el cordón forma un ángulo de 68° con la tapa de la caja. Determine el coeficiente de fricción cinética entre la rampa y la caja.

**5.76. ¡Hora de comer!** Imagine que va bajando en motocicleta por una calle húmeda que tiene una pendiente de 20° bajo la horizontal. Al iniciar la bajada, se da cuenta de que una cuadrilla de obreros ha cavado un hoyo profundo en la calle en la base de la pendiente. Un tigre siberiano, escapado del zoológico, adoptó el hoyo como cubil. *a*) Usted aplica los frenos y bloquea sus ruedas en la cima de la pendiente, donde tiene una rapidez de 20 m/s. La calle inclinada frente a usted tiene 40 m de longitud. ¿Caerá en el agujero y se convertirá en el almuerzo del tigre o logrará detenerse antes? (Los coeficientes de fricción entre los neumáticos de la motocicleta y el pavimento mojado son $\mu_s = 0.90$ y $\mu_k = 0.70$.) *b*) ¿Qué rapidez inicial deberá tener para detenerse justo antes de llegar al hoyo?

**5.77.** En el sistema de la figura 5.54, el bloque $A$ tiene masa $m_A$, el bloque $B$ tiene masa $m_B$ y la cuerda que los une tiene una masa *distinta de cero* $m_{\text{cuerda}}$. La longitud total de la cuerda es $L$ y la polea tiene radio muy pequeño. Considere que la cuerda no cuelga en su tramo horizontal. *a*) Si no hay fricción entre el bloque $A$ y la mesa, ¿qué aceleración tienen los bloques en el instante en que un tramo $d$ de cuerda cuelga verticalmente entre la polea y el bloque $B$? Al caer $B$, ¿la magnitud de

la aceleración del sistema aumentará, disminuirá o se mantendrá constante? Explique. *b*) Sea $m_A = 2.00$ kg, $m_B = 0.400$ kg, $m_{\text{cuerda}} = 0.160$ kg y $L = 1.00$ m. Suponga que hay fricción entre el bloque $A$ y la mesa ($\mu_k = 0.200$ y $\mu_s = 0.250$). Calcule la distancia $d$ mínima tal que los bloques comiencen a moverse si inicialmente estaban en reposo. *c*) Repita el inciso *b*) para el caso en que $m_{\text{cuerda}} = 0.040$ kg. ¿Se moverán los bloques en este caso?

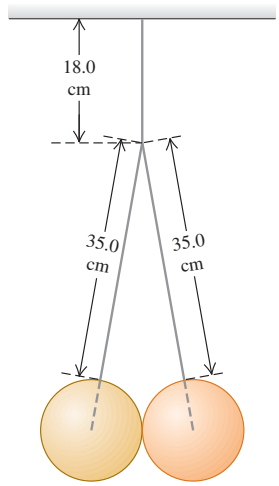
**5.78.** Si el coeficiente de fricción estática entre una mesa y una cuerda gruesa uniforme es $\mu_s$, ¿qué fracción de la cuerda puede colgar por el borde de la mesa sin que la cuerda resbale?

**5.79.** Una caja de 30.0 kg está inicialmente en reposo en la plataforma de una camioneta de 1500 kg. El coeficiente de fricción estática entre la caja y la plataforma es de 0.30; y el de fricción cinética, de 0.20. Antes de cada una de las aceleraciones que se dan en seguida, la camioneta viaja hacia el norte con rapidez constante. Obtenga la magnitud y dirección de la fuerza de fricción que actúa sobre la caja, cuando la camioneta adquiere una aceleración de *a*) 2.20 m/s$^2$ al norte y de *b*) 3.40 m/s$^2$ al sur.

**5.80. Tribunal del tránsito.** Imagine que a usted se le cita a comparecer como testigo experto, en el juicio sobre una infracción de tránsito. Los hechos son los siguientes. Un conductor frenó violentamente y se detuvo con aceleración constante. Las mediciones de sus neumáticos y de las marcas de derrapamiento sobre el pavimento indican que el auto recorrió 192 ft antes de detenerse y que el coeficiente de fricción cinética entre el camino y sus neumáticos era de 0.750. El cargo es que el conductor iba a exceso de velocidad en una zona de 45 mi/h. Él se declara inocente. ¿Cuál es su conclusión, culpable o inocente? ¿Qué tan rápido iba en el momento de aplicar los frenos?

**5.81.** Dos esferas idénticas de 15.0 kg y de 25.0 cm de diámetro están suspendidas de dos cables de 35.0 cm, como se indica en la figura 5.67. El sistema completo está unido a un solo cable de 18.0 cm y las superficies de las esferas son perfectamente lisas. *a*) Obtenga la tensión en cada uno de tres los cables. *b*) ¿Qué tanto empuja cada esfera sobre la otra?

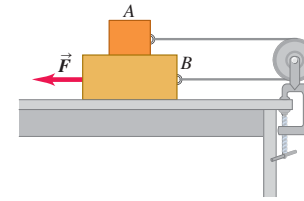
**Figura 5.67** Problema 5.81.




**5.82. Pérdida de carga.** Una caja de 12.0 kg descansa en el piso plano de un camión. Los coeficientes de fricción entre la caja y el piso son $\mu_s = 0.19$ y $\mu_k = 0.15$. El camión se detiene ante un letrero de alto y luego arranca con aceleración de 2.20 m/s$^2$. Si la caja está a 1.80 m del borde trasero del camión cuando éste arranca, ¿cuánto tardará la caja en caerse por atrás del camión? ¿Qué distancia recorrerá el camión en ese tiempo?

**5.83.** El bloque $A$ de la figura 5.68 pesa 1.40 N, y el bloque $B$ pesa 4.20 N. El coeficiente de fricción cinética entre todas las superficies es de 0.30. Calcule la magnitud de la fuerza horizontal $\vec{F}$ necesaria para arrastrar $B$ a la izquierda con rapidez constante, si $A$ y $B$ están conectados por un cordón ligero y flexible que pasa por una polea fija sin fricción.

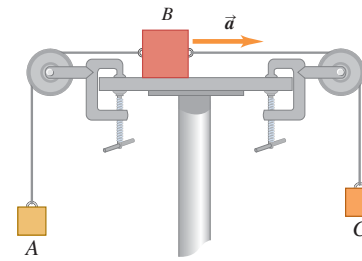
**Figura 5.68** Problema 5.83.




**5.84.** Imagine que forma parte de un grupo de diseñadores para una exploración futura del planeta Marte, donde $g = 3.7$ m/s$^2$. Una exploradora saldrá de un vehículo que viaja horizontalmente a 33 m/s, cuando esté a una altura de 1200 m sobre la superficie, y luego caerá libremente durante 20 s. En ese momento, un sistema portátil avanzado de propulsión (PAPS, por las siglas de *portable advanced propulsion system*) ejercerá una fuerza constante que reducirá la rapidez de la exploradora a cero en el instante en que toque la superficie. La masa total (exploradora, traje, equipo y PAPS) es de 150 kg. Suponga que el cambio de masa del PAPS es insignificante. Determine las componentes horizontal y vertical de la fuerza que el PAPS deberá ejercer, y durante cuánto tiempo deberá ejercerla. Desprecie la resistencia del aire.

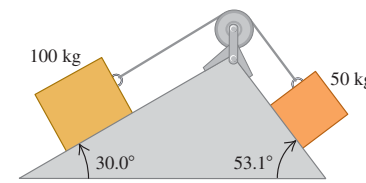
**5.85.** El bloque $A$ de la figura 5.69 tiene masa de 4.00 kg, y el bloque $B$, de 12.0 kg. El coeficiente de fricción cinética entre el bloque $B$ y la superficie horizontal es de 0.25. *a*) ¿Qué masa tiene el bloque $C$ si $B$ se mueve a la derecha con aceleración de 2.00 m/s$^2$? *b*) ¿Qué tensión hay en cada cuerda en tal situación?

**Figura 5.69** Problema 5.85.



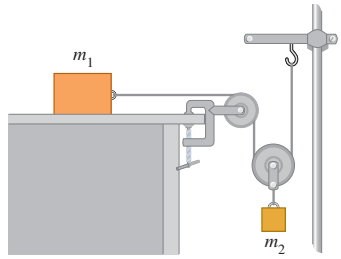

**5.86.** Dos bloques conectados por un cordón que pasa por una polea pequeña sin fricción descansan en planos sin fricción (figura 5.70). *a*) ¿Hacia dónde se moverá el sistema cuando los bloques se suelten del reposo? *b*) ¿Qué aceleración tendrán los bloques? *c*) ¿Qué tensión hay en el cordón?

**Figura 5.70** Problema 5.86.



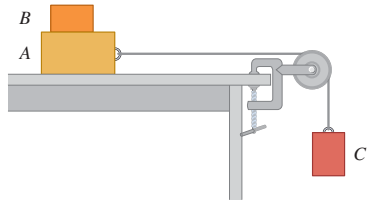
**5.87.** Determine la aceleración de cada bloque de la figura 5.71, en términos de $m_1$, $m_2$ y $g$. No hay fricción en ninguna parte del sistema.

Figura **5.71** Problema 5.87.




**5.88.** El bloque $B$ con masa de 5.00 kg descansa sobre el bloque $A$, cuya masa es de 8.00 kg que, a la vez, está sobre una mesa horizontal (figura 5.72). No hay fricción entre el bloque $A$ y la mesa, pero el coeficiente de fricción estática entre el bloque $A$ y el $B$ es de 0.750. Un cordón ligero atado al bloque $A$ pasa por una polea sin masa ni fricción, con el bloque $C$ colgando en el otro extremo. ¿Qué masa máxima que puede tener el bloque $C$, de modo que $A$ y $B$ aún se deslicen juntos cuando el sistema se suelte del reposo?

Figura **5.72** Problema 5.88.

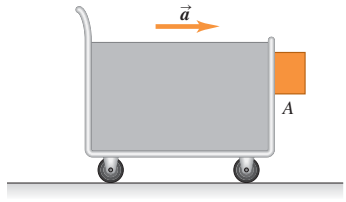



**5.89.** Dos objetos con masas de 5.00 kg y 2.00 kg cuelgan a 0.600 m sobre el piso, atados a los extremos de un cordón de 6.00 m que pasa por una polea sin fricción. Los objetos parten del reposo. Calcule la altura máxima que alcanza el objeto de 2.00 kg.

**5.90. Fricción en un elevador.** Imagine que viaja en un elevador hacia el piso 18 de su edificio. El elevador acelera hacia arriba con $a = 1.90\ \text{m/s}^2$. Junto a usted está una caja que contiene su nueva computadora; la caja y su contenido tienen una masa total de 28.0 kg. Mientras el elevador está acelerando hacia arriba, usted empuja la caja horizontalmente para deslizarla con rapidez constante hacia la puerta del elevador. Si el coeficiente de fricción cinética entre la caja y el piso del elevador es $\mu_k = 0.32$, ¿qué magnitud de fuerza debe aplicar?

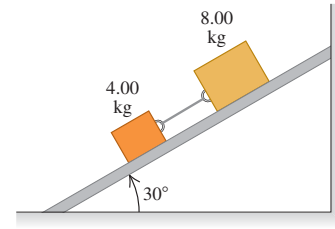
**5.91.** Un bloque se coloca contra el frente vertical de un carrito, como se muestra en la figura 5.73. ¿Qué aceleración debe tener el carrito para que el bloque $A$ no caiga? El coeficiente de fricción estática entre el bloque y el carrito es $\mu_s$. ¿Cómo describiría un observador en el carrito el comportamiento del bloque?

Figura **5.73** Problema 5.91.



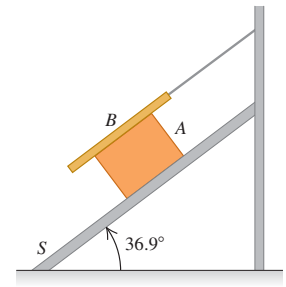

**5.92.** Dos bloques de masas de 4.00 kg y 8.00 kg están conectados por un cordón y bajan deslizándose por un plano inclinado a 30° (figura 5.74). El coeficiente de fricción cinética entre el bloque de 4.00 kg y el plano es de 0.25; y entre el bloque de 8.00 kg y el plano es de 0.35. *a*) Calcule la aceleración de cada bloque. *b*) Calcule la tensión en el cordón. *c*) ¿Qué sucede si se invierten las posiciones de los bloques, de manera que el bloque de 4.00 kg esté arriba del de 8.00 kg?

Figura **5.74** Problema 5.92.



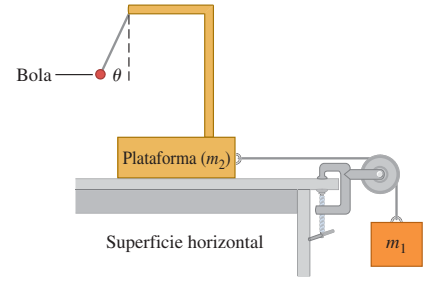

**5.93.** El bloque $A$, de peso $3w$, resbala con rapidez constante, bajando por un plano $S$ inclinado 36.9°, mientras la tabla $B$, de peso $w$, descansa sobre $A$, estando sujeta con un cordón a la pared (figura 5.75). *a*) Dibuje un diagrama de todas las fuerzas que actúan sobre el bloque $A$. *b*) Si el coeficiente de fricción cinética es igual entre $A$ y $B$, y entre $S$ y $A$, determine su valor.

Figura **5.75** Problema 5.93.




**5.94. Acelerómetro.** El sistema que se muestra en la figura 5.76 puede usarse para medir la aceleración del mismo. Un observador que va sobre la plataforma mide el ángulo $\theta$, que el cordón que sostiene la bola ligera forma con la vertical. No hay fricción en ningún lado. *a*) ¿Cómo se relaciona $\theta$ con la aceleración del sistema? *b*) Si $m_1 = 250$ kg y $m_2 = 1250$ kg, ¿cuál es el valor de $\theta$? *c*) Si usted puede modificar $m_1$ y $m_2$, ¿cuál es el ángulo $\theta$ máximo que usted puede alcanzar? Explique cómo necesita ajustar $m_1$ y $m_2$ para lograrlo.

Figura **5.76** Problema 5.94.



**5.95. Curva peraltada I.** En un camino horizontal, una curva de 120 m de radio tiene el peralte adecuado para una rapidez de 20 m/s. Si un automóvil toma dicha curva a 30 m/s, ¿qué coeficiente mínimo de fricción estática debe haber entre los neumáticos y la carretera para no derrapar?

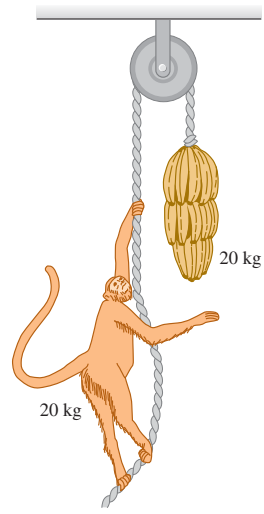
**5.96. Curva peraltada II.** Considere un camino húmedo peraltado como el del ejemplo 5.23 (sección 5.4), donde hay un coeficiente de fricción estática de 0.30 y un coeficiente de fricción cinética de 0.25 entre los neumáticos y la carretera. El radio de la curva es $R = 50$ m. *a*) Si el ángulo de peralte es $\beta = 25°$, ¿qué rapidez *máxima* puede tener el auto antes de derrapar peralte *arriba*? *b*) ¿Qué rapidez *mínima* debe tener para no derrapar peralte *abajo*?

**5.97. Máxima rapidez segura.** Imagine que, en su ruta diaria a la universidad, el camino describe una curva grande que es aproximadamente un arco de un círculo. Usted ve el letrero de advertencia al principio de la curva, que indica una rapidez máxima de 55 mi/h. También nota que la curva no tiene peralte alguno. En un día seco con escaso tránsito, usted ingresa en la curva con una rapidez constante de 80 mi/h y siente que el auto derrapará si no reduce pronto su rapidez. Esto lo lleva a concluir que su rapidez está en el límite de seguridad para la curva y frena. No obstante, recuerda haber leído que, en pavimento seco, los neumáticos nuevos tienen un coeficiente medio de fricción estática de aproximadamente 0.76; mientras que, en las peores condiciones invernales para conducir, tal vez la carretera esté cubierta de hielo húmedo, cuyo coeficiente de fricción estática llega a ser hasta de 0.20. No es raro que haya hielo húmedo en esta carretera, así que usted se pregunta si el límite de rapidez para la curva, indicado en el letrero, se refiere al peor de los casos. *a*) Estime el radio de la curva a partir de su experiencia a 80 mi/h en condiciones secas. *b*) Use esa estimación para determinar el límite máximo de rapidez en la curva en las peores condiciones de hielo húmedo. Compárelo con el límite del letrero. ¿El letrero está confundiendo a los conductores? *c*) En un día lluvioso, el coeficiente de fricción estática sería aproximadamente de 0.37. Determine la rapidez máxima segura en la curva en tales condiciones. ¿Su respuesta le ayuda a entender el letrero de límite de rapidez?

**5.98.** Imagine que va en un autobús escolar. Cuando éste toma una curva plana con rapidez constante, una lonchera con 0.500 kg de masa, colgada del techo del autobús con un cordón de 1.80 m, pende en reposo relativo al vehículo, en tanto que el cordón forma un ángulo de 30.0° con la vertical. En esta posición, la lonchera está a 50.0 m del centro de curvatura de la curva. ¿Qué rapidez $v$ tiene el autobús?

**5.99. Problema del mono y los plátanos.** Un mono de 20 kg sujeta firmemente una cuerda ligera que pasa por una polea sin fricción y está atada a un racimo de plátanos de 20 kg (figura 5.77). El mono ve los plátanos y comienza a trepar por la cuerda para alcanzarlos. *a*) Al subir el mono, ¿los plátanos suben, bajan o no se mueven? *b*) Al subir el mono, ¿la distancia entre él y los plátanos disminuye, aumenta o no cambia? *c*) El mono suelta la cuerda. ¿Qué pasa con la distancia entre él y los plátanos mientras él cae? *d*) Antes de tocar el suelo, el mono sujeta la cuerda para detener su caída. ¿Qué sucede con los plátanos?

Figura **5.77** Problema 5.99.




**5.100.** Se lanza una piedra hacia abajo en agua con rapidez de $3mg/k$, donde $k$ es el coeficiente de la ecuación (5.7). Suponga que la relación entre resistencia del fluido y rapidez es la ecuación (5.7) y calcule la rapidez de la piedra en función del tiempo.

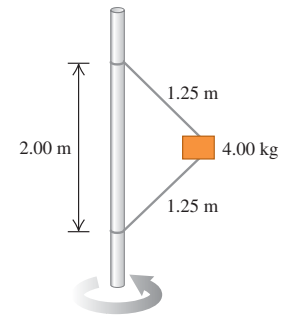
**5.101.** Una piedra de masa $m = 3.00$ kg cae desde el reposo en un medio viscoso. Sobre ella actúan una fuerza neta constante hacia abajo de 18.0 N (combinación de la gravedad y la fuerza de flotabilidad ejercida por el medio) y una fuerza de resistencia del fluido $f = kv$, donde $v$ es la rapidez en m/s y $k = 2.20\ \text{N} \cdot \text{s/m}$ (véase la sección 5.3). *a*) Calcule la aceleración inicial $a_0$. *b*) Calcule la aceleración cuando la rapidez es de 3.00 m/s. *c*) Calcule la rapidez cuando la aceleración es $0.1a_0$. *d*) Calcule la rapidez terminal $v_t$. *e*) Obtenga la coordenada, rapidez y aceleración 2.00 s después de iniciado el movimiento. *f*) Calcule el tiempo necesario para alcanzar una rapidez de $0.9v_t$.

**5.102.** Una piedra con masa $m$ se desliza con velocidad inicial $v_0$ sobre una superficie horizontal. La fuerza retardante $F_R$ que la superficie ejerce sobre la piedra es proporcional a la raíz cuadrada de la velocidad instantánea de la piedra $(F_R = -kv^{1/2})$. *a*) Obtenga expresiones para la velocidad y posición de la piedra en función del tiempo. *b*) En términos de $m$, $k$ y $v_0$, ¿en qué tiempo se detendrá la piedra? *c*) ¿A qué distancia estará la piedra de su punto de partida cuando se detenga?

**5.103.** Un fluido ejerce una fuerza de flotabilidad hacia arriba sobre un objeto sumergido en él. En la deducción de la ecuación (5.9), se despreció la fuerza de flotabilidad ejercida sobre un objeto por el fluido. No obstante, hay situaciones en que la densidad del objeto no es mucho mayor que la densidad del fluido, y no es posible ignorar la fuerza de flotabilidad. Para una esfera de plástico que cae en agua, usted calcula una rapidez terminal de 0.36 m/s despreciando la flotabilidad, pero la rapidez terminal medida es de 0.24 m/s. ¿Qué fracción del peso es la fuerza de flotabilidad?

**5.104.** El bloque de 4.00 kg de la figura 5.78 está unido a una varilla vertical con dos cordones. Cuando el sistema gira en torno al eje de la varilla, los cordones se extienden como se indica en el diagrama, y la tensión en el cordón superior es de 80.0 N. *a*) ¿Qué tensión hay en el cordón inferior? *b*) ¿Cuántas revoluciones por minuto (rpm) da el sistema? *c*) Calcule las rpm con las que el cordón inferior pierde toda tensión. *d*) Explique qué sucede si el número de rpm es menor que en el inciso *c*).

Figura **5.78** Problema 5.104.




**5.105.** La ecuación (5.10) es válida para el caso en que la velocidad inicial es cero. *a*) Deduzca la ecuación correspondiente para $v_y(t)$ cuando el objeto que cae tiene una velocidad inicial hacia abajo de magnitud $v_0$. *b*) Para el caso en que $v_0 < v_t$, dibuje una gráfica de $v_y$ en función de $t$ y marque $v_t$ en ella. *c*) Repita el inciso *b*) para el caso en que $v_0 > v_t$. *d*) Comente lo que su resultado le dice acerca de $v_y(t)$ cuando $v_0 = v_t$.

**5.106.** Una piedra pequeña se mueve en agua y la fuerza que el agua ejerce sobre ella está dada por la ecuación (5.7). Antes, se midió la rapidez terminal de la piedra, que es de 2.0 m/s. La piedra se proyecta *hacia arriba* con una rapidez inicial de 6.0 m/s. Puede despreciarse la fuerza de flotabilidad sobre la piedra. *a*) En ausencia de resistencia del fluido, ¿qué altura alcanzaría la piedra y cuánto tardaría en alcanzar

esa altura máxima? *b*) ¿Cómo cambian las respuestas del inciso *a*), si se incluyen los efectos de la resistencia del fluido?

**5.107.** Usted observa un automóvil deportivo de 1350 kg que rueda en línea recta por un pavimento horizontal. Las únicas fuerzas horizontales que actúan sobre él son una fricción constante de rodamiento y la resistencia del aire (proporcional al cuadrado de la rapidez). Toma los siguientes datos durante un intervalo de 25 s: cuando la rapidez del auto es de 32 m/s, se frena a razón de $-0.42\ \text{m/s}^2$; cuando su rapidez disminuye a 24 m/s, se frena a razón de $-0.30\ \text{m/s}^2$. *a*) Calcule el coeficiente de fricción de rodamiento y la constante de arrastre del aire $D$. *b*) ¿Con qué rapidez constante bajará este auto por una pendiente de 2.2° con respecto a la horizontal? *c*) ¿Qué relación hay entre la rapidez constante en una pendiente de ángulo $\beta$ y la rapidez terminal de este auto al caer desde un acantilado? Suponga que, en ambos casos, la fuerza de arrastre del aire es proporcional al cuadrado de la rapidez y la constante de arrastre del aire no cambia.

**5.108.** Una persona de 70 kg viaja en un carrito de 30 kg que se mueve a 12 m/s en la cima de una colina, cuya forma es un arco de círculo con radio de 40 m. *a*) ¿Qué peso aparente tiene la persona cuando el carrito pasa por la cima? *b*) Determine la rapidez máxima con que el carrito podría llegar a la cima sin perder contacto con la superficie. ¿Su respuesta depende de la masa del carrito o de la persona? Explique su respuesta.

**5.109. Carrusel.** Cierto diciembre, dos gemelas idénticas, Juana y Jacqueline, juegan en un carrusel (tiovivo, un disco grande montado paralelo al piso sobre un eje vertical central) en el patio de su escuela en el norte de Minnesota. Las gemelas tienen masas idénticas de 30.0 kg. La superficie del carrusel está cubierta de hielo y por lo tanto no tiene fricción. El carrusel gira con rapidez constante con las gemelas encima. Juana, sentada a 1.80 m del centro del carrusel, debe sujetar uno de los postes metálicos del carrusel con una fuerza horizontal de 60.0 N para no salir despedida. Jacqueline está sentada en el borde, a 3.60 m del centro. *a*) ¿Con qué fuerza horizontal debe sujetarse Jacqueline para no salir despedida? *b*) Si Jacqueline sale despedida, ¿qué velocidad horizontal tendrá en ese momento?

**5.110.** Un pasajero con masa de 85 kg se subió a una rueda de la fortuna, como la del ejemplo 5.24. Los asientos viajan en un círculo de 35 m de radio. La rueda gira con rapidez constante y efectúa una revolución cada 25 s. Calcule la magnitud y dirección de la fuerza neta ejercida sobre el pasajero por el asiento cuando él está *a*) un cuarto de revolución más allá de su punto más bajo y *b*) un cuarto de revolución más allá de su punto más alto.

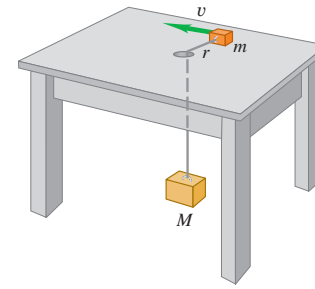
**5.111.** En el juego "Rotor" del parque de diversiones Six Flags Over Texas, la gente se paraba contra la pared interior de un cilindro vertical hueco de 2.5 m de radio. El cilindro comenzaba a girar y, al alcanzar una tasa de rotación constante de 0.60 rev/s, el piso en que estaba parada la gente bajaba 0.5 m. La gente quedaba pegada a la pared. *a*) Dibuje un diagrama de fuerzas para un pasajero, una vez que haya bajado el piso. *b*) ¿Qué coeficiente de fricción estática mínimo se requiere para que un pasajero no resbale hacia abajo a la nueva posición del piso? *c*) ¿La respuesta al inciso *b*) depende de la masa del pasajero? (*Nota:* al final, el cilindro se detenía gradualmente y las personas resbalaban por las paredes hacia el piso.)

**5.112.** Un estudiante universitario de física se paga su colegiatura actuando en un carnaval errante. Él conduce una motocicleta dentro de una esfera de plástico hueca transparente. Una vez que adquiere suficiente rapidez, describe un círculo vertical de radio 13.0 m. El estudiante tiene masa de 70.0 kg, y su motocicleta tiene una masa de 40.0 kg. *a*) ¿Qué rapidez mínima debe tener en el punto más alto del círculo para no perder contacto con la esfera? *b*) En el punto más bajo del círculo, su rapidez es el doble de la calculada en el inciso *a*). ¿Qué magnitud tiene la fuerza normal ejercida por la esfera sobre la motocicleta en este punto?

**5.113. Segunda intención.** Un joven conduce un automóvil Nash Ambassador 1954 clásico con una amiga sentada a su derecha en el lado del copiloto del asiento delantero. El Ambassador tiene asientos corridos planos. Al joven le gustaría estar más cerca de su amiga, y decide usar la física para lograr su objetivo romántico dando una vuelta rápida. *a*) ¿Deberá dar vuelta al auto a la derecha o a la izquierda, para que su amiga se deslice hacia él? *b*) Si el coeficiente de fricción estática entre la amiga y el asiento es de 0.35 y el auto viaja a una rapidez constante de 20 m/s, ¿con qué radio máximo de la vuelta la amiga aún se desliza hacia el joven?

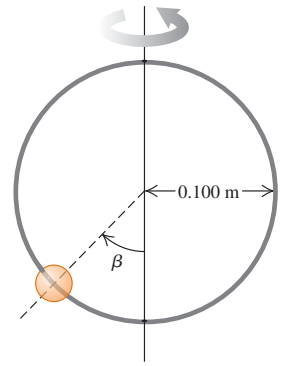
**5.114.** Un bloque pequeño de masa $m$ descansa sobre una mesa horizontal sin fricción, a una distancia $r$ de un agujero en el centro de la mesa (figura 5.79). Un cordón atado al bloque pequeño pasa por el agujero y está atado por el otro extremo a un bloque suspendido de masa $M$. Se imprime al bloque pequeño un movimiento circular uniforme con radio $r$ y rapidez $v$. ¿Qué $v$ se necesita para que el bloque grande quede inmóvil una vez que se le suelta?

Figura **5.79** Problema 5.114.




**5.115.** Una cuenta pequeña puede deslizarse sin fricción por un aro circular de 0.100 m de radio, que está en un plano vertical. El aro gira con rapidez constante de 4.00 rev/s en torno a un diámetro vertical (figura 5.80). *a*) Calcule el ángulo $\beta$ en que la cuenta está en equilibrio vertical. (Desde luego, tiene aceleración radial hacia el eje.) *b*) ¿Podría la cuenta mantenerse a la misma altura que el centro del aro? *c*) ¿Qué sucede si el aro gira a 1.00 rev/s?

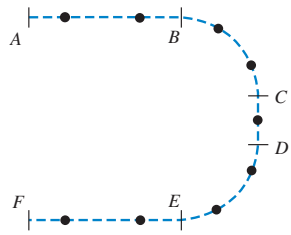
Figura **5.80** Problema 5.115.



**5.116.** Un avión a escala con masa de 2.20 kg se mueve en el plano $xy$, de manera que sus coordenadas $x$ y $y$ varían con el tiempo, según $x(t) = \alpha - \beta t^3$ y $y(t) = \gamma t - \delta t^2$, donde $\alpha = 1.50$ m, $\beta = 0.120$ m/s$^3$, $\gamma = 3.00$ m/s y $\delta = 1.00$ m/s$^2$. *a*) Calcule las componentes $x$ y $y$ de la fuerza neta en el plano en función del tiempo. *b*) Dibuje la trayectoria del avión entre $t = 0$ y $t = 3.00$ s, incluyendo en su dibujo vectores que muestren la fuerza neta que actúa sobre el avión en $t = 0$, $t = 1.00$ s, $t = 2.00$ s y $t = 3.00$ s. Para cada uno de estos instantes, relacione la dirección de la fuerza neta con la dirección de giro del avión y diga si la rapidez del avión está aumentando, disminuyendo o no cambia. *c*) Determine la magnitud y dirección de la fuerza neta en $t = 3.00$ s.

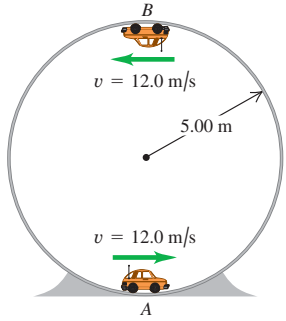
**5.117.** Una partícula se mueve en una superficie sin fricción con la trayectoria de la figura 5.81 (vista superior). La partícula está inicialmente en reposo en el punto $A$ y comienza a moverse hacia $B$, aumentando su rapidez a razón constante. De $B$ a $C$, la partícula sigue una trayectoria circular con rapidez constante. La rapidez sigue constante en la recta de $C$ a $D$. De $D$ a $E$, la partícula sigue una trayectoria circular, pero ahora su rapidez disminuye a razón constante. La rapidez sigue disminuyendo a razón constante entre $E$ y $F$, donde se detiene la partícula. (Los intervalos de tiempo entre los puntos marcados no son iguales.) En cada punto negro de la figura, dibuje flechas para representar la velocidad, la aceleración y la fuerza neta que actúa sobre la partícula. Haga la longitud de las flechas proporcional a la magnitud del vector.

Figura **5.81** Problema 5.117.



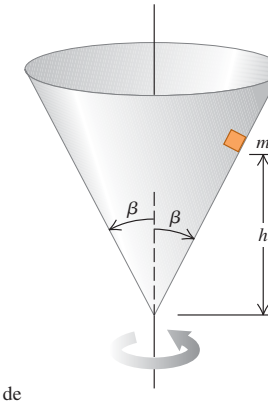

**5.118.** Un carrito de control remoto con masa de 1.60 kg se mueve a una rapidez constante de $v = 12.0$ m/s, en un círculo vertical dentro de un cilindro hueco metálico de 5.00 m de radio (figura 5.82). ¿Qué magnitud tiene la fuerza normal ejercida sobre el coche por las paredes del cilindro *a*) en el punto $A$ (parte inferior del círculo vertical)? *b*) ¿Y en el punto $B$ (parte superior del círculo vertical)?

Figura **5.82** Problema 5.118.




**5.119.** Un bloque pequeño de masa $m$ se coloca dentro de un cono invertido que gira sobre un eje vertical, de modo que la duración de una revolución del cono es $T$ (figura 5.83). Las paredes del cono forman un ángulo $\beta$ con la vertical. El coeficiente de fricción estática entre el bloque y el cono es $\mu_s$. Si el bloque debe mantenerse a una altura constante $h$ sobre el vértice del cono, ¿qué valores máximo y mínimo puede tener $T$?

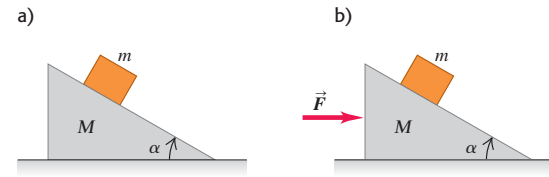
Figura **5.83** Problema 5.119.




## Problemas de desafío

**5.120. Cuña móvil.** Una cuña de masa $M$ descansa en una mesa horizontal sin fricción. Un bloque de masa $m$ se coloca sobre la cuña (figura 5.84a). No hay fricción entre el bloque y la cuña. El sistema se suelta del reposo. *a*) Calcule la aceleración de la cuña, así como las componentes horizontal y vertical de la aceleración del bloque. *b*) ¿Sus respuestas al inciso *a*) se reducen a los resultados correctos cuando $M$ es muy grande? *c*) ¿Qué forma tiene la trayectoria del bloque, vista por un observador estacionario?

Figura **5.84** Problemas de desafío 5.120 y 5.121.




**5.121.** Una cuña de masa $M$ descansa en una mesa horizontal sin fricción. Un bloque de masa $m$ se coloca sobre la cuña y se aplica una fuerza horizontal $\vec{F}$ a la cuña (figura 5.84b). ¿Qué magnitud debe tener $\vec{F}$ para que el bloque permanezca a una altura constante sobre la mesa?

**5.122.** Una caja de peso $w$ se acelera rampa arriba mediante una cuerda que ejerce una tensión $T$. La rampa forma un ángulo $\alpha$ con la horizontal, y la cuerda tiene un ángulo $\theta$ sobre la rampa. El coeficiente de fricción cinética entre la caja y la rampa es $\mu_k$. Demuestre que la aceleración máxima se da con $\theta = \arctan \mu_k$, sea cual fuere el valor de $\alpha$ (en tanto la caja siga en contacto con la rampa).

**5.123. Ángulo de fuerza mínima.** Se tira de una caja de peso $w$ con rapidez constante sobre un piso horizontal aplicando una fuerza $\vec{F}$ con un ángulo $\theta$ sobre la horizontal. El coeficiente de fricción cinética entre el piso y la caja es $\mu_k$. *a*) Calcule $F$ en términos de $\theta$, $\mu_k$ y $w$. *b*) Si $w = 400$ N y $\mu_k = 0.25$, calcule $F$ para $\theta$ desde 0 a 90° en incrementos de 10°. Grafique $F$ contra $\theta$. *c*) Con la expresión general del inciso *a*), calcule el valor de $\theta$ para el que la $F$ necesaria para mantener una rapidez constante es mínima. (*Sugerencia:* en un punto donde una función es mínima, ¿qué valor tienen la primera y segunda derivadas de la función? Aquí, $F$ es función de $\theta$.) Para el caso especial de $w = 400$ N y $\mu_k = 0.25$, evalúe este $\theta$ óptimo y compare su resultado con la gráfica que elaboró en el inciso *b*).

**5.124. Pelota de béisbol que cae.** Se deja caer una pelota de béisbol desde la azotea de un edificio alto. Conforme la pelota cae, el aire ejerce una fuerza de arrastre proporcional al cuadrado de la rapidez de la pelota ($f = Dv^2$). *a*) Dibuje un diagrama que muestre la dirección del movimiento, e indique con vectores todas las fuerzas que actúan sobre la pelota. *b*) Aplique la segunda ley de Newton e infiera de la ecuación resultante las propiedades generales del movimiento. *c*) Demuestre que la bola adquiere una rapidez terminal dada por la ecuación (5.13). *d*) Deduzca la ecuación de la rapidez en cualquier instante. (*Nota:*

$$\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \frac{1}{a}\operatorname{arctanh}\left(\frac{x}{a}\right)$$

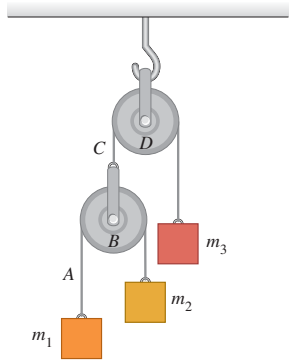
donde

$$\tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}$$

define la tangente hiperbólica.)

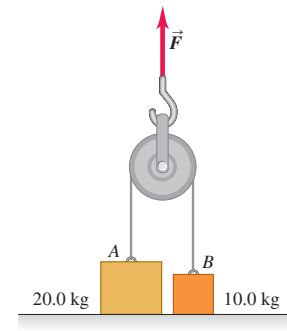
**5.125. Máquina de Atwood doble.** En la figura 5.85, las masas $m_1$ y $m_2$ están conectadas por un cordón ligero *A* que pasa por una polea ligera sin fricción *B*. El eje de la polea *B* está conectado por otro cordón ligero *C* a una masa $m_3$ pasando por una segunda polea ligera sin fricción *D*. La polea *D* está suspendida del techo por su eje. El sistema se suelta del reposo. En términos de $m_1$, $m_2$, $m_3$ y $g$, *a*) ¿qué aceleración tiene el bloque $m_3$? *b*) ¿Y la polea *B*? *c*) ¿Y el bloque $m_1$? *d*) ¿Y el bloque $m_2$? *e*) ¿Qué tensión tiene el cordón *A*? *f*) ¿Y el cordón *C*? *g*) ¿Qué dan sus expresiones para el caso especial en que $m_1 = m_2$ y $m_3 = m_1 + m_2$? ¿Es lógico esto?

**Figura 5.85** Problema de desafío 5.125.




**5.126.** Las masas de los bloques *A* y *B* de la figura 5.86 son 20.0 kg y 10.0 kg, respectivamente. Inicialmente, los bloques están en reposo sobre el piso y están conectados por un cordón sin masa que pasa por una polea sin masa ni fricción. Se aplica una fuerza $\vec{F}$ hacia arriba a la polea. Calcule las aceleraciones $\vec{a}_A$ del bloque *A* y $\vec{a}_B$ del bloque *B* cuando *F* es *a*) 124 N; *b*) 294 N; *c*) 424 N.

**Figura 5.86** Problema de desafío 5.126.




**5.127.** Una esfera se sostiene en reposo en la posición *A* de la figura 5.87 con dos cordones ligeros. Se corta el cordón horizontal y la esfera comienza a oscilar como péndulo. *B* es el punto más a la derecha que la esfera alcanza al oscilar. ¿Qué relación hay entre la tensión del cordón de soporte en la posición *B* y su valor en *A* antes de que se corte el cordón horizontal?

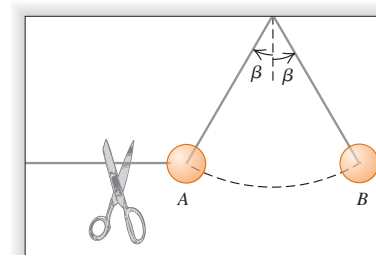



**Figura 5.87** Problema de desafío 5.127.