TABLA 2 ECUACIONES PARA EL MOVIMIENTO CON ACELERACIÓN CONSTANTE[†]

Número de la ecuación	*Ecuación*	*Contenido* x	v_0	v	a	t
15	$v = v_0 + at$	×	✓	✓	✓	✓
19	$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	✓	✓	×	✓	✓
20	$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$	✓	✓	✓	✓	×
21	$x = x_0 + \frac{1}{2}(v_0 + v)t$	✓	✓	✓	×	✓
22	$x = x_0 + vt - \frac{1}{2}at^2$	✓	×	✓	✓	✓

[†] Asegúrese de que la aceleración es constante antes de usar las ecuaciones de esta tabla.

tabla 2 con el grupo completo de ecuaciones cinemáticas para la aceleración constante.

Podemos verificar que la ecuación 19 es el resultado cinemático correcto por diferenciación, lo cual nos dará la velocidad v:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(x_0 + v_0 t + \tfrac{1}{2}at^2) = v_0 + at = v.$$

La cual nos da, en efecto, el resultado esperado.

Al usar las ecuaciones de la tabla 2 para resolver un problema, puede elegirse el *origen del sistema de coordenadas* en cualquier ubicación conveniente. Las cuatro ecuaciones de la tabla 2 que dependen de x dependen también de x_0 y, de hecho, siempre dependen de la diferencia $x - x_0$. Usualmente el origen se elige para hacer a $x_0 = 0$, de modo que las ecuaciones resulten un tanto simplificadas. Puede también elegirse cualquier *dirección del eje de coordenadas* como positiva. Una vez que ha sido elegida una dirección en particular para designarla como positiva, entonces todos los desplazamientos, las velocidades y las aceleraciones en esa dirección serán positivas, y las de la dirección opuesta serán negativas. La elección del *origen* y la *dirección* del eje de coordenadas deben permanecer sin cambio durante la solución de cualquier problema en particular.

Problema muestra 3 Usted frena su Porsche desde la velocidad de 85 km/h (unas 53 mi/h, por supuesto, bastante más abajo del límite de velocidad) hasta 45 km/h en una distancia de 105 m. (*a*) ¿Cuál es la aceleración, suponiendo que sea constante en el intervalo? (*b*) ¿Qué tanto tiempo transcurrió durante el intervalo? (*c*) Si usted fuera a continuar frenando con la misma aceleración, ¿qué tanto tiempo le tomaría detenerse y qué distancia adicional tendría que cubrir?

Solución. (*a*) Seleccionemos primero que la dirección positiva será la dirección de la velocidad, y elijamos el origen de modo que $x_0 = 0$ cuando comienza a frenar. Hemos dado la velocidad inicial $v_0 = 85$ km/h en el tiempo $t = 0$, y sabemos que la velocidad final es $v = +45$ km/h en el tiempo t (que no conocemos) siendo el desplazamiento +0.105 km. Necesitamos una ecuación que incluya la aceleración desconocida que buscamos, pero en la que no intervenga el tiempo. La ecuación 20 es nuestra elección, y resolvemos para obtener a:

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2(x - x_0)} = \frac{(45\ \text{km/h})^2 - (85\ \text{km/h})^2}{2(0.105\ \text{km})}$$
$$= -2.48 \times 10^4\ \text{km/h}^2 = -1.91\ \text{m/s}^2.$$

La aceleración resulta ser negativa, lo que significa que es opuesta a la dirección que habíamos elegido como positiva.

(*b*) Necesitamos una ecuación que no incluya a la aceleración, lo que nos permite hallar el tiempo a partir de los datos originales. En la tabla 2 vemos que la ecuación 21 cumple, y resolvemos para obtener t:

$$t = \frac{2(x - x_0)}{v_0 + v} = \frac{2(0.105\ \text{km})}{85\ \text{km/h} + 45\ \text{km/h}} = 1.62 \times 10^{-3}\ \text{h} = 5.8\ \text{s}.$$

Hemos seleccionado para esta parte una ecuación que no incluye a la aceleración, porque de otro modo al resolver la parte (*b*) se introduciría un error que pudiera haberse cometido al resolver la parte (*a*). Cuando se resuelvan partes independientes de un problema, es una buena práctica retornar siempre a los datos originales, de ser ello posible.

(*c*) Ahora que ya conocemos la aceleración, buscaremos el tiempo t para que el automóvil pase de $v_0 = 85$ km/h a $v = 0$. La ecuación 15 es la elegida para hallar t:

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 - 85\ \text{km/h}}{-2.48 \times 10^4\ \text{km/h}^2} = 3.43 \times 10^{-3}\ \text{h} = 12.3\ \text{s}.$$

El automóvil se detendrá en 12.3 s después de haber comenzado a frenar, o en 6.5 s (= 12.3 s - 5.8 s) después de haber alcanzado la velocidad de 45 km/h.

Para hallar la distancia, podemos usar la ecuación 20:

$$x - x_0 = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0 - (85\ \text{km/h})^2}{2(-2.48 \times 10^4\ \text{km/h}^2)} = 0.146\ \text{km} = 146\ \text{m}.$$

La distancia adicional viajada entre el punto en el cual v = 45 km/h y el punto en el cual $v = 0$ es 146 m - 105 m = 41 m.

Problema muestra 4 Una partícula alfa (el núcleo de un átomo de helio) viaja a lo largo de un tubo hueco recto de 2.0 m de longitud que forma parte de un acelerador de partículas. (*a*) Si suponemos una aceleración uniforme, ¿cuál es la aceleración de la partícula, si entra a una velocidad de 1.0×10^4 m/s y sale a 5.0×10^6 m/s? (*b*) ¿Qué tanto tiempo estuvo en el tubo?

Solución. (*a*) Elegimos un eje x paralelo al tubo, siendo la dirección positiva aquella en la cual se está moviendo la partícula, y hallándose su origen en la entrada del tubo. Hemos dado v_0, v, y x, y buscamos a. Reescribiendo la ecuación 20, con $x_0 = 0$,

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2x}$$
$$= \frac{(5.0 \times 10^6 \text{ m/s})^2 - (1.0 \times 10^4 \text{ m/s})^2}{2(2.0 \text{ m})}$$
$$= +6.3 \times 10^{12} \text{ m/s}^2.$$

(*b*) Aquí usamos la ecuación 21 resolviendo para t con $x_0 = 0$, lo cual nos da

$$t = \frac{2x}{v_0 + v} = \frac{2(2.0 \text{ m})}{1.0 \times 10^4 \text{ m/s} + 5.0 \times 10^6 \text{ m/s}}$$
$$= 8.0 \times 10^{-7} \text{ s} = 0.80\ \mu\text{s}.$$

2-7 CUERPOS EN CAÍDA LIBRE

El ejemplo más común del movimiento con (casi) aceleración constante es la de un cuerpo que cae hacia la Tierra. Si permitimos que un cuerpo caiga en un vacío, de modo que la resistencia del aire no afecte su movimiento, encontraremos un hecho notable: *todos los cuerpos, independientemente de su tamaño, forma, o composición, caen con la misma aceleración en la misma región vecina a la superficie de la Tierra*. Esta aceleración, denotada por el símbolo g, se llama *aceleración en caída libre* (o, a veces, *aceleración debida a la gravedad*). Aunque la aceleración depende de la distancia desde el centro de la Tierra (como veremos en el capítulo 16), si la distancia de la caída es pequeña comparada con el radio de la Tierra (6400 km) podemos considerar a la aceleración como constante durante la caída.

Cerca de la superficie de la Tierra la magnitud de g es aproximadamente 9.8 m/s², un valor que usaremos a través del texto a no ser que se especifique otra cosa. La dirección de la aceleración en caída libre en un punto determina lo que queremos significar con las palabras "hacia abajo" en ese punto.

Si bien hablamos de cuerpos *en caída*, los cuerpos con movimiento hacia arriba experimentan la misma aceleración en caída libre (en magnitud *y* en dirección). Esto es, sin importar que la velocidad de la partícula sea hacia arriba o hacia abajo, la dirección de su aceleración bajo la influencia de la gravedad de la Tierra es siempre hacia abajo.

El valor exacto de la aceleración en caída libre varía con la latitud y con la altitud. Hay también variaciones significativas causadas por diferencias en la densidad local de la corteza terrestre. Estudiaremos estas variaciones en el capítulo 16.

Las ecuaciones de la tabla 2, que fueron derivadas para el caso de una aceleración constante, pueden ser aplicadas a la caída libre. Con este fin, hacemos primero dos pequeños cambios: (1) Marcamos la dirección de la caída libre como el eje y y tomamos como positiva la dirección hacia arriba. Más adelante, en el capítulo 4, consideraremos el movimiento en dos dimensiones, y desearemos marcar el movimiento horizontal como x. (2) Reemplazamos en la tabla 2 a la aceleración constante a por $-g$, puesto que nuestra elección de la dirección positiva y como "hacia arriba" significa que la aceleración es negativa. A causa de que decidimos que la aceleración (hacia abajo) fuera $-g$, g es un número *positivo*.

Con estos pequeños cambios, las ecuaciones de la tabla 2 resultan ser

$$v = v_0 - gt, \tag{23}$$

$$y = y_0 + v_0 t - \tfrac{1}{2}gt^2, \tag{24}$$

$$v^2 = v_0^2 - 2g(y - y_0), \tag{25}$$

$$y = y_0 + \tfrac{1}{2}(v_0 + v)t, \tag{26}$$

y

$$y = y_0 + vt + \tfrac{1}{2}gt^2. \tag{27}$$

Problema muestra 5 Un cuerpo se deja caer libremente desde el reposo. Determine la posición y la velocidad del cuerpo después de que han transcurrido 1.0, 2.0, 3.0, y 4.0 s.

Solución Elegimos al punto de partida como el origen. Conocemos la rapidez inicial (cero) y la aceleración, y se nos da el tiempo. Para hallar la posición, usamos la ecuación 24 con $y_0 = 0$ y $v_0 = 0$:

$$y = -\tfrac{1}{2}gt^2.$$

Poniendo $t = 1.0$ s, obtenemos

$$y = -\tfrac{1}{2}(9.8 \text{ m/s}^2)(1.0 \text{ s})^2 = -4.9 \text{ m}.$$

Para hallar la velocidad, usaremos la ecuación 23, una vez más con $v_0 = 0$:

$$v = -gt = -(9.8 \text{ m/s}^2)(1.0 \text{ s}) = -9.8 \text{ m/s}.$$

Después de caer durante 1.0 s, el cuerpo está a 4.9 m *abajo* (y es negativa) de su punto de arranque y se mueve *hacia abajo* (v es negativa) a una velocidad de 9.8 m/s. Continuando de esta manera, podemos hallar las posiciones y velocidades en $t = 2.0$, 3.0, y 4.0 s, las cuales se muestran en la figura 19.

Problema muestra 6 Una pelota se lanza verticalmente hacia arriba desde el suelo a una velocidad de 25.2 m/s. (*a*) ¿Cuánto tiempo tarda en llegar a su punto más elevado? (*b*) ¿A qué altura se eleva? (*c*) ¿En cuánto tiempo estará a 27.0 m sobre el suelo?

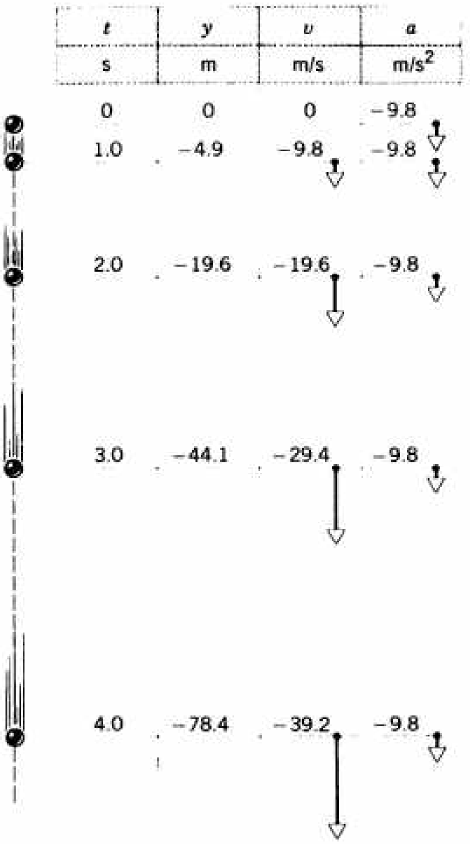

Figura 19 Problema muestra 5. Se muestran la altura, la velocidad y la aceleración de un cuerpo en caída libre.

Solución (*a*) En su punto más elevado su velocidad pasa por el valor cero. Dadas v_0 y v (= 0), deseamos hallar t y, por lo tanto, elegimos la ecuación 23, con la cual resolvemos para t:

$$t = \frac{v_0 - v}{g} = \frac{25.2\ \text{m/s} - 0}{9.8\ \text{m/s}^2} = 2.57\ \text{s}.$$

(*b*) Usemos solamente los datos originales en esta parte, para evitar que se introduzca algún error que pudiéramos haber cometido en la parte (*a*). La ecuación 25, con y_0 asignada como 0, nos permite resolver para y cuando conocemos las otras cantidades:

$$y = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} = \frac{(25.2\ \text{m/s})^2 - 0}{2(9.8\ \text{m/s}^2)} = 32.4\ \text{m}.$$

(*c*) La ecuación 24 es útil para este caso, porque t es la única incógnita. Puesto que deseamos resolver para t, reescribamos la ecuación 24, con $y_0 = 0$, en la forma usual de una ecuación cuadrática:

$$\tfrac{1}{2}gt^2 - v_0 t + y = 0$$

$$\tfrac{1}{2}(9.8\ \text{m/s}^2)t^2 - (25.2\ \text{m/s})t + 27.0\ \text{m} = 0.$$

Usando la fórmula cuadrática, hallamos que las soluciones son $t = 1.52$ s y $t = 3.62$ s. En $t = 1.52$ s, la velocidad de la pelota es

$$v = v_0 - gt = 25.2\ \text{m/s} - (9.8\ \text{m/s}^2)(1.52\ \text{s}) = 10.3\ \text{m/s}.$$

En $t = 3.62$ s, la velocidad es

$$v = v_0 - gt = 25.2\ \text{m/s} - (9.8\ \text{m/s}^2)(3.62\ \text{s}) = -10.3\ \text{m/s}.$$

Las dos velocidades tienen magnitudes idénticas pero direcciones opuestas. Deberemos de convencernos de que, en ausencia de la resistencia del aire, la pelota invierte el mismo tiempo para elevarse a su máxima altura que para bajar la misma distancia y que, en cada punto, tendrá la misma velocidad para ir hacia arriba que para caer hacia abajo. Nótese que la respuesta a la parte (*a*) para el tiempo que le toma llegar al punto más elevado, 2.57 s, es exactamente el punto medio entre los dos tiempos hallados en la parte (*c*). ¿Puede usted explicar esto? ¿Puede usted predecir cualitativamente el efecto de la resistencia del aire en los tiempos de subida y de caída?

Problema muestra 7 Un cohete es lanzado desde el reposo en una base submarina situada a 125 m bajo la superficie de un volumen de agua. Se mueve verticalmente hacia arriba con una aceleración desconocida pero que se supone constante (el efecto combinado de sus motores, la gravedad de la Tierra, y la flotabilidad y arrastre del agua), y llega a la superficie en un tiempo de 2.15 s. Cuando traspasa la superficie sus motores se apagan automáticamente (para hacer más difícil su detección) y continúa elevándose. ¿A qué altura máxima llegará? (Desprecie cualquier efecto en la superficie).

Solución Como con cualquier proyectil en caída libre, podríamos analizar el movimiento del cohete durante la porción de su movimiento en el aire si conociéramos la velocidad inicial de esa parte del movimiento. El plan de ataque en este problema es, por lo tanto, analizar la porción del movimiento bajo el agua para hallar la velocidad cuando el cohete llega a la superficie, y luego tratar esta velocidad como la velocidad inicial de la porción en caída libre. Estas partes deben hacerse separadamente, porque la aceleración cambia en la superficie del agua.

Para el movimiento bajo el agua, conocemos el desplazamiento, el tiempo, y la velocidad inicial (cero). La aceleración no es necesaria, pero deseamos conocer la velocidad final; la ecuación 21 de la tabla 2 proporciona la relación adecuada:

$$v = \frac{2(y - y_0)}{t} = \frac{2(125\ \text{m})}{2.15\ \text{s}} = 116\ \text{m/s}.$$

La velocidad en la superficie es de 116 m/s hacia arriba. Analizamos ahora la porción de caída libre del movimiento hacia arriba, considerando que esta velocidad es la velocidad *inicial*. Usamos la ecuación 25 para la caída libre y, como es usual, hallamos la altura máxima buscando el punto en el cual la velocidad llega a cero:

$$y - y_0 = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} = \frac{(116\ \text{m/s})^2 - 0}{2(9.8\ \text{m/s}^2)} = 687\ \text{m}.$$

Para verificar su comprensión del problema, deberá usted dibujar gráficas de $y(t)$ $v(t)$, y $a(t)$ de manera similar a la figura 16. Asegúrese de tener en mente qué variables varían de manera continua y suave, y cuáles no lo hacen así en este problema idealizado. ¿En qué diferiría un cohete real de este cuadro?

2-8 GALILEO Y LA CAÍDA LIBRE *(Opcional)*

La naturaleza del movimiento de un objeto al caer era en la antigüedad un tema de interés en la filosofía natural. Aristóteles

¿Cree usted que el tiempo durante el cual se eleva la pelota es más largo o más corto que el tiempo durante el cual cae? ¿Por qué?

22. Elabore una gráfica cualitativa de la rapidez v versus el tiempo t para la caída de un objeto (*a*) despreciando la resistencia del aire, y (*b*) si la resistencia del aire no puede despreciarse.

23. Una segunda bola se deja caer en el tiro de un elevador 1 s después de haberse dejado caer la primera. (*a*) ¿Qué pasa con la distancia entre una y otra a medida que pasa el tiempo? (*b*) ¿Cómo cambia la relación v_1/v_2 de la velocidad de la primera bola y la velocidad de la segunda con el paso del tiempo? Desprecie la resistencia del aire, y dé respuestas cualitativas.

24. Repita la pregunta 23 tomando en cuenta la resistencia del aire. Una vez más, dé respuestas cualitativas.

25. Si m es una piedra ligera y M es una piedra pesada, según Aristóteles M caería más rápidamente que m. Galileo intentó demostrar que la creencia de Aristóteles era lógicamente inconsistente con el siguiente argumento. Átense m y M juntas formando una piedra doble. Así, al caer, m debería retrasar la caída de M, puesto que tiende a caer más lentamente, y la combinación caería más rápido que m pero más lentamente que M; sin embargo, según Aristóteles el doble cuerpo ($M + m$) es más pesado que M y, por lo tanto, debería caer más rápido que M. Si aceptamos el razonamiento de Galileo como correcto, ¿podemos concluir que M y m deben caer a la misma velocidad? ¿Qué experimento sería necesario en este caso? Si usted cree que el razonamiento de Galileo es incorrecto, explique por qué.

26. ¿Qué les pasaría a nuestras ecuaciones cinemáticas (véase la tabla 2) bajo la operación de una inversión del tiempo, es decir, reemplazando a t por $-t$? Explique.

27. Esperamos que una relación realmente general, tal como las de la tabla 2, sea válida sin importar la elección del sistema de coordenadas. Al exigir que las ecuaciones generales sean dimensionalmente compatibles nos aseguramos de que las ecuaciones sean válidas cualquiera que sea la elección de las unidades. ¿Hay alguna necesidad, entonces, de sistemas de unidades o de coordenadas?

PROBLEMAS

Sección 2-3 Velocidad promedio

1. ¿A qué distancia viaja hacia adelante un automóvil que se mueve a razón de 55 mi/h (= 88 km/h) durante 1 s de tiempo, que es lo que le toma ver un accidente al lado de la carretera?

2. El lanzador de los Medias Rojas de Boston, Roger Clemens, lanzó una bola rápida a una velocidad horizontal de 160 km/h, según fue verificado con una pistola de radar. ¿Qué tanto le tomó a la bola llegar a la base de meta, que está a una distancia de 18.4 m?

3. La figura 23 muestra la relación entre la edad, en millones de años, del sedimento más antiguo y la distancia, en kilómetros, a la que fue hallado el sedimento desde un arrecife en particular en el océano. El material del lecho marino se desprende de este arrecife y se aleja de él a una velocidad aproximadamente uniforme. Halle la velocidad, en centímetros por año, a la que este material se aleja del arrecife.

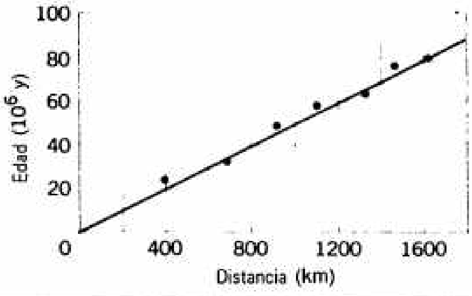

Figura 23 Problema 3.

4. Carl Lewis corre los 100 metros planos en aproximadamente 10 s, y Bill Rodgers corre el maratón (26 mi, 385 yd) en aproximadamente 2 h 10 min. (*a*) ¿Cuáles son sus promedios de velocidad? (*b*) Si Carl Lewis pudiera mantener la velocidad de su carrera durante un maratón, ¿cúanto le tomaría llegar a la meta?

5. Durante muchos meses un bien conocido físico de alta energía se trasladaba semanalmente entre Boston, Massachusetts y Ginebra, Suiza, ciudades que están separadas por una distancia de 4000 mi. ¿Cuál fue la velocidad promedio del físico durante esa época? ¿Le sorprende que no se necesite saber la velocidad del aeroplano para resolver este problema?

6. El límite legal de velocidad en una autopista se cambia de 55 mi/h (= 88.5 km/h) a 65 mi/h (= 104.6 km/h). ¿Cuánto tiempo ahorrará cualquiera viajando a velocidad más alta desde la entrada en Buffalo a la salida en la ciudad de Nueva York de la autopista estatal de Nueva York en este tramo de carretera de 435 mi (= 700 km)?

7. Usted viaja en la carretera interestatal 10 de San Antonio a Houston, la mitad del *tiempo* a 35 mi/h (56.3 km/h) y la otra mitad a 55 mi/h (= 88.5 km/h). En el viaje de regreso usted viaja la mitad de la *distancia* a 35 mi/h y la otra mitad a 55 mi/h. ¿Cuál es la velocidad promedio (*a*) de San Antonio a Houston, (*b*) de Houston a San Antonio, y (*c*) para todo el viaje?

8. Un avión de propulsión a chorro (jet) de alto desempeño, que realiza maniobras para evitar el radar, está en vuelo horizontal a 35 m sobre el nivel del terreno. Súbitamente, el avión encuentra que el terreno sube cuesta arriba en 4.3°, una cantidad difícil de detectar; véase la figura 24. ¿Cuánto tiempo tiene el piloto para hacer una corrección si ha de evitar que el avión toque el terreno? La velocidad del aire es de 1300 km/h.

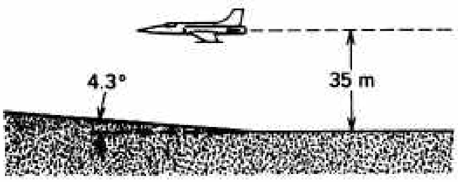

Figura 24 Problema 8.

9. La posición de un objeto que se mueve en línea recta está dada por $x = 3t - 4t^2 + t^3$, donde x está en metros y t está en segundos. (*a*) ¿Cuál es la posición del objeto en t = 0,1,2,3 y 4 s? (*b*) ¿Cuál es el desplazamiento del objeto entre $t = 0$ y $t = 2$ s? ¿Y entre $t = 0$ y $t = 4$ s? ¿Cuál es la velocidad promedio en el intervalo de tiempo entre $t = 2$ y $t = 4$ s? ¿Y desde $t = 0$ hasta $t = 3$ s?
10. Un automóvil sube una pendiente a la velocidad constante de 40 km/h y retorna cuesta abajo a la velocidad de 60 km/h. Calcule la velocidad promedio del viaje redondo.
11. Calcule la velocidad promedio en los dos casos siguientes: (*a*) Usted camina 240 ft a razón de 4 ft/s y luego corre 240 ft a razón de 10 ft/s a lo largo de una pista recta. (*b*) Usted camina durante 1.0 min a razón de 4 ft/s y luego corre durante 1.0 min a razón de 10 ft/s a lo largo de una pista recta.
12. Dos trenes, cada uno a una velocidad de 34 km/h, corren uno hacia el otro en la misma vía recta. Un pájaro que puede volar a 58 km/h vuela saliendo del frente de un tren cuando los trenes están separados por una distancia de 102 km y va directamente hacia el otro tren. Al llegar al otro tren vuela de regreso hasta el primer tren, y así sucesivamente. (*a*) ¿Cuántos viajes podrá hacer el pájaro de un tren a otro antes de que los trenes choquen? (*b*) ¿Cuál es la distancia total que recorre volando el pájaro?

Sección 2-4 Velocidad instantánea

13. La posición de una partícula que se mueve a lo largo del eje x está dada en centímetros por $x = 9.75 + 1.50t^3$, donde t está en segundos. Considere el intervalo de tiempo de $t = 2$ a $t = 3$ y calcule (*a*) la velocidad promedio; (*b*) la velocidad instantánea en $t = 2$ s; (*c*) la velocidad instantánea en $t = 3$ s; (*d*) la velocidad instantánea en $t = 2.5$ s; y (*e*) la velocidad instantánea cuando la partícula está a medio camino entre sus posiciones en $t = 2$ y $t = 3$ s.
14. ¿Qué distancia recorre en 16 s el corredor cuya gráfica velocidad-tiempo se muestra en la figura 25?

Sección 2-5 Movimiento acelerado

15. Cuál es la aceleración en $t = 11$ s del corredor del problema 14?

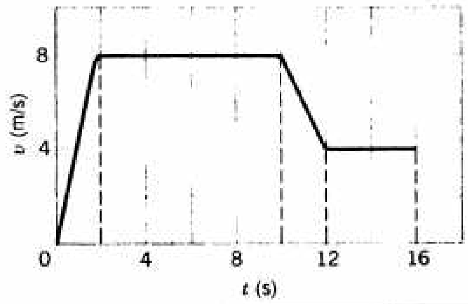

Figura 25 Problemas 14 y 15.

16. Una partícula tenía una velocidad de 18 m/s en dirección $+x$, y 2.4 s más tarde su velocidad era de 30 m/s en dirección opuesta. ¿Cuál fue la aceleración promedio de la partícula durante este intervalo de 2.4 s?
17. Un objeto se mueve en línea recta según se describe en la gráfica velocidad-tiempo de la figura 26. Trace una gráfica que represente la aceleración del objeto en función del tiempo.

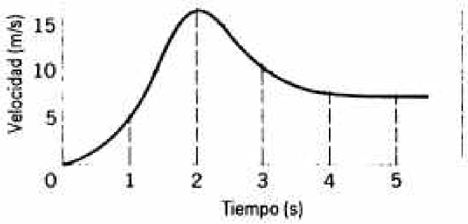

Figura 26 Problema 17.

18. La gráfica de x contra t de la figura 27a es de una partícula que se mueve en línea recta. (*a*) Determine para cada intervalo si la velocidad v es +, -, ó 0, y si la aceleración a es +, -, ó 0. Los intervalos son *OA*, *AB*, *BC*, y *CD*. (*b*) Según la curva, ¿existe un intervalo en el cual la aceleración sea obviamente no constante? (Desprecie el comportamiento en los extremos de los intervalos.)
19. Responda las preguntas anteriores para el movimiento descrito por la gráfica de la figura 27*b*.
20. Una partícula se mueve a lo largo del eje x con un desplazamiento contra tiempo como se muestra en la figura 28. Esboce las curvas de velocidad contra tiempo y de aceleración contra tiempo para este movimiento.
21. Para cada una de las situaciones siguientes, trace una gráfica que sea una descripción posible de la posición en función del tiempo de una partícula que se mueve a lo largo del eje x. En $t = 1$ s, la partícula tiene (*a*) velocidad cero y aceleración positiva; (*b*) velocidad cero y aceleración negativa; (*c*) velocidad negativa y aceleración positiva; (*d*) velocidad negativa y aceleración negativa. (*e*) ¿En cuál de estas situaciones aumentará la velocidad de esta partícula en $t = 1$ s?
22. Si la posición de un objeto está dada por $x = 2t^3$, donde x está en metros y t en segundos, halle (*a*) la velocidad

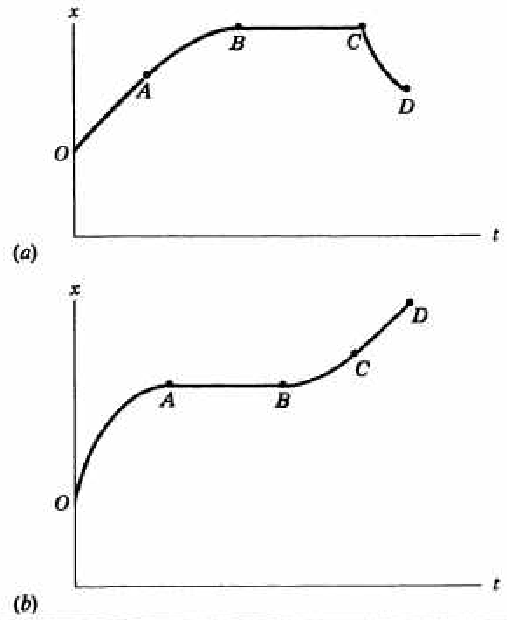

Figura 27 (*a*) Problema 18 y (*b*) problema 19.

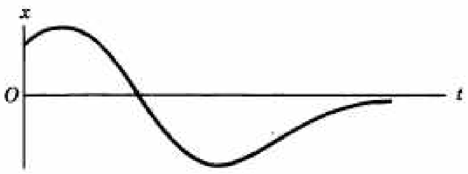

Figura 28 Problema 20.

promedio y la aceleracion promedio entre $t = 1$ y $t = 2$ s, y (*b*) las velocidades instantáneas y las aceleraciones instantáneas en $t = 1$ y $t = 2$ s. (*c*) Compare las cantidades promedio e instantánea y en cada caso explique por qué la mayor es mayor.

23. Una partícula se mueve a lo largo del eje *x* según la ecuación $x = 50t + 10t^2$, donde *x* está en metros y *t* en segundos. Calcule (*a*) la velocidad promedio de la partícula durante los primeros 3 s de movimiento, (*b*) la velocidad instantánea de la partícula en $t = 3$ s, y (*c*) la aceleración instantánea de la partícula en $t = 3$ s.

24. Un hombre está quieto desde $t = 0$ hasta $t = 5$ min; de $t = 5$ a $t = 10$ min camina vivamente en línea recta a una velocidad constante de 2.2 m/s. ¿Cuáles son su velocidad promedio y su aceleración promedio durante los intervalos de tiempo (*a*) de 2 min a 8 min, y (*b*) de 3 min a 9 min?

25. Una partícula qu. se mueve a lo largo del eje *x* positivo tiene las siguientes posiciones en tiempos diversos:

x (m)	0.080	0.050	0.040	0.050	0.080	0.13	0.20
t (s)	0	1	2	3	4	5	6

(*a*) Trace el desplazamiento (no la posición) contra el tiempo. (*b*) Halle la velocidad promedio de la partícula en los intervalos de 0 a 1 s, de 0 a 2 s, de 0 a 3 s, de 0 a 4 s. (*c*) Halle la pendiente de la curva trazada en la parte (*a*) en los puntos $t = 0, 1, 2, 3, 4,$ y 5 s. (*d*) Trace la pendiente (¿en unidades?) contra el tiempo. (*e*) Partiendo de la curva de la parte (*d*) determine la aceleración de la partícula en los tiempos $t = 2, 3,$ y 4 s.

26. La posición de una partícula a lo largo del eje *x* depende del tiempo de acuerdo con la ecuación

$$x = At^2 - Bt^3,$$

donde *x* está en metros y *t* en segundos. (*a*) ¿Qué unidades SI deberán tener *A* y *B*? Para lo siguiente, haga que sus valores numéricos en unidades SI sean 3 y 1, respectivamente. (*b*) ¿En qué tiempo llegará la partícula a su posición *x* positiva máxima? (*c*) ¿Qué longitud de trayectoria cubre la partícula en los primeros 4 s? (*d*) ¿Cuál es su desplazamiento durante los primeros 4 s? (*e*) Cuál es la velocidad de la partícula al final de cada uno de los primeros cuatro segundos? (*f*) ¿Cuál es la aceleración de la partícula al final de cada uno de los primeros cuatro segundos? (*g*) ¿Cuál es la velocidad promedio en el intervalo de tiempo de $t = 2$ a $t = 4$ s?

27. Un electrón que arranca desde el reposo tiene una aceleración que aumenta linealmente con el tiempo, esto es, $a = kt$, donde k (1.50 m/s^2)/s o 1.50 m/s^3. (*a*) Trace *a* contra *t* durante el primer intervalo de 10 s. (*b*) A partir de la curva de la parte (*a*) trace la curva *v* contra *t* correspondiente y calcule la velocidad del electrón 5 s después de haber comenzado el movimiento. (*c*) A partir de la curva *v* contra *t* de la parte (*b*) trace la curva *x* contra *t* correspondiente y calcule qué tanto se ha movido el electrón durante los primeros 5 s de su movimiento.

28. En una galería de juegos de video, un punto está programado para moverse a través de la pantalla de acuerdo a $x = 9.00t - 0.750t^3$, donde *x* es la distancia en centímetros medida desde el borde izquierdo de la pantalla y *t* es el tiempo en segundos. Cuando el punto llega al borde de la pantalla, ya sea en $x = 0$ o en $x = 15$ cm, comienza de nuevo. (*a*) ¿En qué tiempo después del arranque llega el punto instantáneamente al reposo? (*b*) ¿Cuándo ocurre esto? (*c*) ¿Cuál es su aceleración cuando esto ocurre? (*d*) ¿En qué dirección se mueve en el siguiente instante después de llegar al reposo? (*e*) ¿Cuándo se sale de la pantalla?

Sección 2-6 Movimiento con aceleración constante

29. Un jumbo de propulsión a chorro necesita alcanzar una velocidad de 360 km/h (= 224 mi/h) sobre la pista para despegar. Suponiendo una aceleración constante y una pista de 1.8 km (= 1.1 mi) de longitud, ¿qué aceleración mínima se requiere partiendo del reposo?

30. Un vehículo cohete se mueve en el espacio libre con una aceleración constante igual a 9.8 m/s^2. (*a*) Si arranca del reposo, ¿qué tanto le tomará adquirir una velocidad de un décimo de la velocidad de la luz? (*b*) ¿Qué tan lejos viajará al hacerlo así? (La velocidad de la luz es de 3.0×10^8 m/s).

31. La cabeza de una serpiente de cascabel puede acelerar a razón de 50 m/s^2 al atacar a su víctima. Si un automóvil lo hiciera también, ¿cuánto le tomaría llegar a una velocidad de 100 km/h desde el reposo?

32. Un muon (una partícula elemental) es disparado a una velocidad inicial de 5.20×10^6 m/s a una región donde un campo eléctrico produce una aceleración de 1.30×10^{14} m/s^2 en dirección contraria a la velocidad inicial. ¿Qué distancia recorrerá el muon antes de llegar al reposo?

33. Un electrón con velocidad inicial $v_0 = 1.5 \times 10^5$ m/s entra en una región de 1.2 cm de longitud donde es eléctricamente acelerado, (véase la figura 29). Sale con una velocidad $v = 5.8 \times 10^6$ m/s. Cuál fue su aceleración, suponiendo que haya sido constante? (Tal proceso ocurre en el cañón de electrones de un tubo de rayos catódicos, usado en receptores de televisión y en terminales de video.)

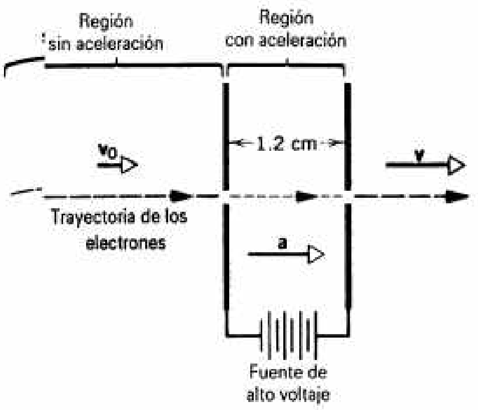

Figura 29 Problema 33.

34. El coronel John P. Stapp estableció un record mundial de velocidad cuando, el 19 de marzo de 1954, rodó un trineo autopropulsado que se movió en los carriles a razón de 1020 km/h. Él y su trineo llegaron a un alto total en 1.4 s; véase la figura 30. ¿Qué aceleración experimentó? Exprese la respuesta en términos de g (= 9.8 m/s^2), la aceleración debida a la gravedad. (Nótese que su cuerpo actúa como un acelerómetro, y no como un velocímetro.)

Figura 30 Problema 34.

35. Los frenos de su automóvil son capaces de crear una desaceleración de 17 ft/s^2. Si usted va a 85 mi/h y de pronto ve a un patrullero, ¿cuál es el tiempo mínimo en el cual puede usted hacer que su automóvil baje a la velocidad límite de 55 mi/h?

36. En una carretera seca, un automóvil con buenas llantas puede frenar con una deceleración de 11.0 mi/h · s (4.92 m/s^2). (*a*) ¿Qué tanto tiempo le toma a tal automóvil, que inicialmente viajaba a 55 mi/h (= 24.6 m/s), llegar al reposo? (*b*) ¿Qué tan lejos viajó en ese tiempo?

37. Una flecha es disparada hacia arriba en el aire y a su regreso golpea el suelo a 260 ft/s, enterrándose 9 in en el terreno. Halle (*a*) la aceleración (supuesta como constante) requerida para detener la flecha, y (*b*) el tiempo necesario para que el terreno la detenga.

38. Supongamos que le piden a usted que asesore a un abogado en relación a la física implicada en uno de sus casos. La pregunta es si un conductor se había excedido del límite de velocidad de 30 mi/h antes de hacer una parada de emergencia, con los frenos accionados a fondo y las llantas patinando. La longitud de las marcas del patinaje sobre la carretera fue 19.2 ft. El oficial de la policía supuso que la deceleración máxima del automóvil no superaría la aceleración de un cuerpo en caída libre (= 32 ft/s^2) y no impuso una multa al conductor. ¿Estaba excediéndose de la velocidad permitida? Explíquelo.

39. Un tren partió del reposo y se movió con aceleración constante. En un momento dado estaba viajando a 33.0 m/s, y 160 m más adelante lo estaba haciendo a 54.0 m/s. Calcule (*a*) la aceleración, (*b*) el tiempo requerido para recorrer 160 m, (*c*) el tiempo requerido para que alcance una velocidad de 33.0 m/s, y (*d*) la distancia recorrida desde el reposo hasta el momento en que el tren tuvo una velocidad de 33.0 m/s.

40. Un autómovil que se mueve con aceleración constante cubre la distancia entre dos puntos que distan entre sí 58.0 m en 6.20 s. Su velocidad cuando pasa por el segundo punto es de 15.0 m/s. (*a*) ¿Cuál es la velocidad en el primer punto? (*b*) ¿Cuál es su aceleración? (*c*) ¿A qué distancia previa al primer punto estaba el autómovil en reposo?

41. Un tren subterráneo acelera desde el reposo en una estación (a = +1.20 m/s^2) durante la primera mitad de la distancia a la siguiente estación y luego decelera hasta el reposo (a = −1.20 m/s^2) en la segunda mitad de la distancia. La distancia entre las estaciones es de 1.10 km. Halle (*a*) el tiempo de viaje entre estaciones y (*b*) la velocidad máxima del tren.

42. La cabina de un elevador en el hotel Marquis Marriott, de Nueva York (véase la figura 31) tiene un recorrido total de 624 ft. Su velocidad máxima es de 1000 ft/min y su aceleración (constante) es de 4.00 ft/s^2. (*a*) ¿Qué tan lejos se mueve mientras acelera a toda velocidad desde el reposo? (*b*) ¿Qué tiempo le toma hacer la carrera, comenzando y terminando en reposo?

43. Cuando un conductor detiene su automóvil lo más súbitamente posible, la distancia de parada puede ser vista como la suma de una "distancia de reacción", la cual es la velocidad inicial multiplicada por el tiempo de reacción, y la "distancia de frenado", la cual es la distancia cubierta durante el frenado. La tabla siguiente da los valores típicos:

Figura 31 Problema 42.

Velocidad inicial (m/s)	*Distancia de acción* (m)	*Distancia de frenado* (m)	*Distancia de tensión* (m)
10	7.5	5.0	12.5
20	15	20	35
30	22.5	45	67.5

(*a*) ¿Qué tiempo de reacción se supone que tiene el conductor? (*b*) ¿Cuál es la distancia de frenado del automóvil si la velocidad inicial es de 25 m/s?

44. En una trampa de velocidad, dos tiras activadas por presión están situadas a una distancia de 110 m cruzando una carretera en la cual el límite de velocidad es 90 km/h. Mientras viaja a 120 km/h, un conductor advierte una patrulla justo cuando activa la primera tira y reduce su marcha. ¿Qué deceleración es necesaria para que la velocidad promedio del automóvil esté dentro del límite de velocidad cuando el automóvil cruce la segunda tira?

45. En el instante en que un semáforo cambia a luz verde, un automóvil arranca con una aceleración constante de 2.2 m/s^2. En el mismo instante un camión, que viaja a una velocidad constante de 9.5 m/s, alcanza y pasa al automóvil. (*a*) ¿A qué distancia del punto de arranque el automóvil alcanzaría al camión? (*b*) ¿A qué velocidad está viajando el automóvil en ese instante? (Es instructivo trazar una gráfica cualitativa de x contra t para cada vehículo.)

46. El maquinista de un tren que se mueve a una velocidad v_1 advierte la presencia de un tren de carga a una distancia d adelante de él que se mueve en la misma vía y en la misma dirección a una velocidad más lenta v_2. Acciona los frenos e imprime en su tren una deceleración constante a. Demuestre que

$$\text{si } d > \frac{(v_1 - v_2)^2}{2a} \text{ no habrá una colisión;}$$

$$\text{si } d < \frac{(v_1 - v_2)^2}{2a} \text{ habrá una colisión.}$$

(Es instructivo trazar una gráfica cualitativa de x contra t para cada tren.)

47. Un automóvil que viaja a 35 mi/h (= 56 km/h) está a 110 ft (= 34 m) de una barrera cuando el conductor pisa de golpe los frenos. Cuatro segundos más tarde el automóvil golpea la barrera. (*a*) ¿Cuál fue la deceleración constante del automóvil antes del impacto? (*b*) ¿A qué velocidad viajaba el carro en el momento del impacto?

48. Un corredor, en una carrera de 100 m, acelera desde el reposo hasta la velocidad máxima a razón de 2.80 m/s^2 y mantiene esa velocidad hasta el final de la pista. (*a*) ¿Qué tiempo transcurrió? (*b*) ¿Qué distancia recorrió el corredor durante la fase de aceleración si el tiempo total en la pista fue de 12.2 s?

49. El manual del conductor establece que un automóvil con buenos frenos que vaya a 50 mi/h puede parar en una distancia de 186 ft. La distancia correspondiente a 30 mi/h es de 80 ft. Suponga que el tiempo de reacción del conductor, durante el cual la aceleración es de cero, y la aceleración después de que accionó los frenos son iguales para las dos velocidades. Calcule (*a*) el tiempo de reacción del conductor, y (*b*) la aceleración.

Sección 2-7 Cuerpos en caída libre

50. Caen gotas de lluvia desde una nube situada a 1700 m sobre la superficie del suelo. Si no fueran retenidas por la resistencia del aire, ¿a qué velocidad descenderían las gotas cuando llegan al suelo? ¿Sería seguro caminar en el exterior durante una tormenta?

51. Un cable que soporta a un elevador desocupado de una construcción se rompe cuando el elevador está en reposo en la parte más alta de un edificio de 120 m de altura. (*a*) ¿A qué velocidad golpearía el elevador el terreno? (*b*) ¿Cuánto tiempo transcurrió en la caída? (*c*) ¿Cuál era su velocidad cuando pasó por el punto intermedio de su carrera hacia abajo? (*d*) ¿Durante cuánto tiempo estuvo cayendo cuando pasó por el punto intermedio?

52. En una obra en construcción una llave Stillson golpea el terreno a una velocidad de 24.0 m/s. (*a*) ¿Desde qué altura cayó inadvertidamente? (*b*) ¿Cuánto tiempo estuvo en el aire?

53. (*a*) ¿A qué velocidad debe ser arrojada una pelota verticalmente hacia arriba con objeto de que llegue a una altura máxima de 53.7 m? (*b*) ¿Cuánto tiempo estuvo en el aire?

54. Una roca es arrojada desde un acantilado de 100 m de altura, ¿Cuánto tiempo tarda en caer (*a*) los primeros 50.0 m y (*b*) los segundos 50.0 m?

55. Unos exploradores del espacio "aterrizan" en un planeta de nuestro sistema solar. Ellos observan que una pequeña roca lanzada verticalmente hacia arriba a razón de 14.6 m/s tarda 7.72 s en regresar al suelo. ¿En qué planeta aterrizaron? (*Sugerencia*: Véase el apéndice C.)

56. Una pelota es arrojada verticalmente a una velocidad inicial de 20.5 m/s desde una altura de 58.8 m. (*a*) ¿Cuál será su velocidad justo antes de que llegue al suelo? (*b*) ¿Qué tanto tiempo le tomó a la pelota llegar al suelo? (*c*) ¿Cuáles serían las respuestas a (*a*) y a (*b*) si la pelota fuera lanzada directamente hacia arriba desde la misma altura y a la misma velocidad inicial?

57. La figura 32 muestra un aparato sencillo para medir el tiempo de reacción. Consta de una tira de cartulina marcada con una escala y dos puntos grandes. Un amigo sostiene la tira entre los dedos pulgar e índice en el punto superior y usted coloca sus dedos pulgar e índice en el punto inferior, teniendo cuidado de no tocar la tira. Su amigo suelta la tira, y usted trata de pescarla tan pronto como sea posible cuando ve que empieza a caer. La marca situada en el lugar en que usted pesca la tira da el tiempo de reacción. ¿A qué distancia del punto inferior se ponen las marcas de 50-, 100-, 200-, y 250-ms?

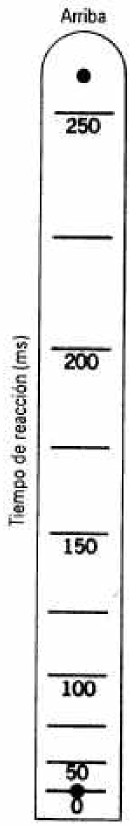

Figura 32 Problema 57.

58. Una pelota arrojada hacia arriba tarda 2.25 s en llegar a una altura de 36.8 m. (*a*) ¿Cuál fue su velocidad inicial? (*b*) ¿Cuál es su velocidad a esta altura? (*c*) ¿Cuánta más altura alcanzará la pelota?

59. Mientras pensaba en Isaac Newton, una persona parada en un puente sobre una carretera deja caer inadvertidamente una manzana desde la barandilla justo cuando el extremo frontal de un camión pasa directamente abajo de la barandilla. Si el vehículo se está moviendo a 55 km/h (= 34 mi/h) y tiene una longitud de 12 m (= 39 ft), ¿qué tanto más arriba del camión deberá estar la barandilla si la manzana no logra golpear la parte trasera del camión?

60. Un cohete es disparado verticalmente y asciende con una aceleración vertical constante de 20 m/s^2 durante 1.0 min. Su combustible se agota entonces totalmente y continúa como una partícula en caída libre. (*a*) ¿Cuál es la altitud máxima alcanzada? (*b*) ¿Cuál es el tiempo total transcurrido desde el despegue hasta que el cohete regresa a la Tierra? (Desprecie las variaciones de g con la altitud).

61. Un jugador de baloncesto, a punto de "encestar" la pelota, salta 76 cm verticalmente. ¿Cuánto tiempo invierte el jugador (*a*) en los últimos 15 cm de su salto y (*b*) en los primeros 15 cm de su salto? Ayuda esto a explicar el por qué estos jugadores parecen quedar suspendidos en el aire en la cima de sus saltos? Véase la figura 33.

Figura 33 Problema 61.

62. Una piedra es lanzada verticalmente hacia arriba. En su trayecto pasa el punto A a una velocidad v, y el punto B, 3.00 m más alto que A, a velocidad $v/2$. Calcule (*a*) la velocidad v y (*b*) la altura máxima alcanzada por la piedra arriba del punto B.

63. De la boca de una regadera gotea agua en el piso 200 cm más abajo. Las gotas caen a intervalos de tiempo regulares, la primera gota golpea el piso en el instante en que la cuarta gota comienza a caer. Hallar la ubicación de cada una de las otras gotas cuando una de ellas llega al suelo.

64. La instalación para la investigación de la gravedad cero (the Zero Gravity Research Facility), en el Centro Lewis de investigación de la NASA, incluye una torre de caída de 145 m. Ésta es una torre vertical evacuada en la cual, entre otras posibilidades, puede dejarse caer una esfera de 1 m de diámetro que contiene un paquete experimental. (*a*) ¿Cuánto tiempo está este paquete experimental en caída libre? (*b*) ¿Cuál es su velocidad en la parte inferior de la torre? (*c*) En la parte inferior de la torre, la esfera experimenta una aceleración promedio de $25g$ cuando su velocidad se reduce a cero. ¿Qué distancia ha recorrido al llegar al reposo?

65. Una bola se deja caer desde una altura de 2.2 m y rebota a una altura de 1.9 m sobre el suelo. Suponga que la bola está en contacto con el suelo durante 96 ms y determine la aceleración promedio (en magnitud y dirección) de la bola durante su contacto con el suelo.

66. Una mujer cayó 144 ft desde la cima de un edificio, "aterrizando" sobre una caja de ventilación de metal, la cual se hundió a una profundidad de 18 in. Ella sobrevivió sin daños serios. ¿Qué aceleración (se supone uniforme) experimentó durante la colisión? Exprese su respuesta en términos de g.

67. Si un objeto viaja la mitad de su trayectoria total en el último segundo de su caída desde el reposo, halle (*a*) el tiempo y (*b*) la altura de su caída. Explique la solución físicamente inaceptable de la ecuación cuadrática del tiempo.

68. Dos objetos comienzan una caída libre desde el reposo partiendo de la misma altura con 1.00 s de diferencia. En cuánto tiempo después de que el primer objeto comenzó a caer estarán los dos objetos separados a una distancia de 10.0 m?

69. Como se ve en la figura 34, Clara salta desde un puente, seguida de cerca por Jaime. ¿Cuánto tiempo esperó Jaime después de que Clara saltó? Suponga que Jaime tiene una altura de 170 cm y que el nivel desde el que saltaron está arriba de la fotografía. Haga mediciones escalares directamente en la fotografía.

Figura 34 Problema 69.

70. Un globo está ascendiendo a razón de 12.4 m/s a una altura de 81.3 m sobre el nivel del suelo cuando se deja caer desde él un bulto. (*a*) ¿A qué velocidad golpea el bulto el suelo? (*b*) ¿Cuánto tiempo le tomó llegar al suelo?

71. Una paracaidista, después de saltar, cae 52.0 m sin fricción. Cuando se abre el paracaídas, ella decelera a razón de 2.10 m/s^2 y llega al suelo a una velocidad de 2.90 m/s. (*a*) ¿Cuánto tiempo estuvo la paracaidista en el aire? (*b*) ¿A qué altura comenzó la caída?

72. Una bola de plomo se deja caer en una alberca desde un trampolín a 2.6 m sobre el agua. Golpea el agua con una cierta velocidad y luego se hunde hasta el fondo con esta misma velocidad constante. Llega al fondo 0.97 s después de que se ha dejado caer. (*a*) ¿Qué profundidad tiene la alberca? (*b*) ¿Supongamos que se deja drenar toda el agua de la alberca. La bola es arrojada de nuevo desde el trampolín de modo que, otra vez, llega al fondo en 0.97 s. ¿Cuál es la velocidad inicial de la bola?

73. En el Laboratorio Nacional de Física de Inglaterra se hizo una medición de la aceleración g arrojando una bola de vidrio hacia arriba en un tubo evacuado y dejándola regresar, como en la figura 35. Sea Δt_L el intervalo de tiempo entre los dos pasos a través del nivel inferior, Δt_U el intervalo de tiempo entre los dos pasos a través del nivel superior, y H la distancia entre los dos niveles. Demuestre que

$$g = \frac{8H}{\Delta t_L^2 - \Delta t_U^2}.$$

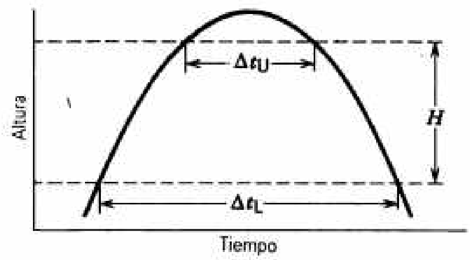

Figura 35 Problema 73.

74. Una bola de acero se deja caer desde el techo de un edificio (la velocidad inicial de la bola es cero). Un observador parado enfrente de una ventana de 120 cm de altura nota que a la bola le toma 0.125 s caer desde la parte superior de la ventana a la parte inferior. La bola continúa cayendo, choca en forma completamente elástica con una acera horizontal, y reaparece en la parte baja de la ventana 2.0 s después de haber pasado por allí en su ruta de caída. ¿Cuál es la altura del edificio? (La bola tendría la misma velocidad en un punto yendo hacia arriba que la que tenía yendo hacia abajo después de una colisión completamente elástica.)

75. Un perro ve una maceta de flores subir y luego bajar a través de una ventana de 1.1 m de altura. Si el tiempo total en que la maceta está a la vista es de 0.74 s, halle la altura por sobre el dintel de la ventana a la que se eleva la maceta.

RESPUESTAS A LOS PROBLEMAS CON NÚMERO IMPAR

CAPÍTULO 1

3. 52.6 min; 5.2%. **5.** -0.44%. **7.** (*a*) Sí. (*b*) 8.6 s.
9. 720 días. **11.** 55 s; alrededor de un minuto. **13.** 2 d 5 h.
15. (*a*) 100 m; 8.56 m; 28.1 ft. (*b*) 1 mi; 109 m; 358 ft.
17. 1.88×10^{22} cm^3. **19.** (*a*) 4.00×10^4 km.
(*b*) 5.10×10^8 km^2. (*c*) 1.08×10^{12} km^3.
21. 2.86×10^{-3} años-luz/siglo.
23. (*a*) 4.85×10^{-6} pc; 1.58×10^{-5} años-luz.
(*b*) 9.48×10^{12} km; 3.08×10^{13} km. **25.** (*a*) 390.
(*b*) 5.9×10^7. (*c*) 3500 km. **27.** 5.97×10^{26}.
29. Nueva York. **31.** 840 km. **33.** 132 kg/s.
37. 605.780211 nm. **39.** (*a*) 43.2 cm^2. (*b*) 43 cm^2.
41. $\sqrt{Gh/c^3} = 4.05 \times 10^{-35}$ m.

CAPÍTULO 2

1. 81 ft (24 m). **3.** 2 cm/año. **5.** 48 mi/h.
(El físico hizo otro movimiento además de este viaje semanal.)
7. (*a*) 45.0 mi/h (72.4 km/h). (*b*) 42.8 mi/h (68.8 km/h).
(*c*) 43.9 mi/h (70.6 km/h). **9.** (*a*) 0, 0, -2, 0, 12 m.
(*b*) -2, 12 m. (*c*) 7, 0 m/s. **11.** (*a*) 5.7 ft/s. (*b*) 7.0 ft/s.
13. (*a*) 28.5 cm/s. (*b*) 18.0 cm/s. (*c*) 40.5 cm/s. (*d*) 28.1 cm/s.
(*e*) 30.4 cm/s. **15.** -2 m/s^2.
19. (*a*) *OA*: +, −; *AB*: 0, 0; *BC*: +, +; *CD*: +, 0. (*b*) No.
21. (*e*) Situaciones (*a*), (*b*), y (*d*). **23.** (*a*) 80 m/s.
(*b*) 110 m/s. (*c*) 20 m/s^2.
25. (*b*) -0.030, -0.020, -0.010, 0.0 m/s.
(*c*) -0.040, -0.020, 0.0, 0.020, 0.040, 0.060 m/s.
(*e*) 0.020, 0.020, 0.020 m/s^2. **27.** (*b*) 19 m/s. (*c*) 31 m.
29. 2.8 m/s^2 (9.4 ft/s^2). **31.** 560 ms. **33.** 1.4×10^{15} m/s^2.
35. 2.6 s. **37.** (*a*) 4.5×10^4 ft/s^2. (*b*) 5.8 ms.
39. (*a*) 5.71 m/s^2. (*b*) 3.68 s. (*c*) 5.78 s. (*d*) 95.4 m.
41. (*a*) 60.6 s. (*b*) 36.4 m/s. **43.** (*a*) 0.75 s. (*b*) 50 m.
45. (*a*) 82 m. (*b*) 19 m/s. **47.** (*a*) 12 ft/s^2 (3.6 m/s^2).
(*b*) 3:7 ft/s (1.4 m/s). **49.** (*a*) 0.74 s. (*b*) -20 ft/s^2.
51. (*a*) 48.5 m/s. (*b*) 4.95 s. (*c*) 34.3 m/s. (*d*) 3.50 s.
53. (*a*) 32.4 m/s. (*b*) 6.62 s. **55.** Mercurio.
57. 1.23, 4.90, 11.0, 19.6, 30.6 cm. **59.** 3.0 m (9.8 ft).
61. (*a*) 350 ms. (*b*) 82 ms.
63. 22.2 y 88.9 cm abajo de la boca de una regadera. **65.** 130 m/s^2, arriba.
67. (*a*) 3.41 s. (*b*) 57.0 m. **69.** ≈ 0.3 s. **71.** (*a*) 17.1 s.
(*b*) 293 m. **75.** 6.8 cm.

CAPÍTULO 3

1. Los desplazamientos deberán ser (*a*) paralelos, (*b*) antiparalelos, (*c*) perpendiculares. **3.** (*a*) 370 m, 57° al Este del Norte.
(*b*) Magnitud del desplazamiento = 370 m; distancia caminada = 420 m.
7. (*a*) 4.5 unidades, 52° al Norte del Este.
(*b*) 8.4 unidades, 25° al Sur del Este.
9. Walpole (la prisión estatal). **11.** (*a*) 4.9 m. (*b*) 12 m.
13. 4.76 km. **15.** (*a*) 28 m. (*b*) 13 m.
17. (*a*) $10\mathbf{i} + 12\mathbf{j} + 14\mathbf{k}$. (*b*) 21 ft.
(*c*) Puede ser igual o mayor, pero no menor. (*d*) 26 ft.
19. (*a*) $3\mathbf{i} - 2\mathbf{j} + 5\mathbf{k}$. (*b*) $5\mathbf{i} - 4\mathbf{j} - 3\mathbf{k}$. (*c*) $-5\mathbf{i} + 4\mathbf{j} + 3\mathbf{k}$.
21. (*a*) $1400\mathbf{i} + 2100\mathbf{j} - 48\mathbf{k}$. (*b*) Cero.
23. (*a*) $r_x = 2.50$, $r_y = 15.3$. (*b*) 15.5. (*c*) 80.7°.
27. (*a*) $a\mathbf{i} + a\mathbf{j} + a\mathbf{k}$, $a\mathbf{i} + a\mathbf{j} - a\mathbf{k}$, $a\mathbf{i} - a\mathbf{j} - a\mathbf{k}$, $a\mathbf{i} - a\mathbf{j} + a\mathbf{k}$.
(*b*) 54.7°. (*c*) $a\sqrt{3}$. **33.** (*a*) -19. (*b*) 27, dirección +z positiva.
39. (*a*) -21. (*b*) -9. (*c*) $5\mathbf{i} - 11\mathbf{j} - 9\mathbf{k}$. **41.** (*a*) 0. (*b*) -16.
(*c*) -9. **43.** (*a*) 2.97. (*b*) $1.51\mathbf{i} - 2.67\mathbf{j} - 1.36\mathbf{k}$. (*c*) 48.5°.
49. 70.5°.

CAPÍTULO 4

1. (*a*) 920 mi, 63° al Sur del Este.
(*b*) 410 mi/h, 63° al Sur del Este. (*c*) 550 mi/h.
3. (*a*) 3.9 km/h. (*b*) 13°. **5.** (*a*) 24 ns. (*b*) 2.7 mm.
(*c*) 9.6×10^8 cm/s; 2.3×10^8 cm/s. **7.** (*a*) $8t\mathbf{j} + \mathbf{k}$. (*b*) $8\mathbf{j}$.
(*c*) Una parábola. **9.** 60°. **11.** (*a*) 5.14 ms. (*b*) 9.94 ft/s.
13. (*a*) 18 cm. (*b*) 1.9 m. **15.** (*a*) 3.03 s. (*b*) 758 m.
(*c*) 29.7 m/s. **17.** No. **19.** (*a*) 1.16 s. (*b*) 13.0 m.
(*c*) 18.8 m/s; 5.56 m/s. (*d*) No. **21.** (*b*) 76.0°. **23.** (*a*) 99 ft.
(*b*) 90 ft/s. (*c*) 180 ft. **25.** (*a*) 285 km/h. (*b*) 33°.
27. (*a*) 310 ms. (*b*) 1.9 m y 2.9 m sobre las manos.
29. El tercero. **31.** Sí. **33.** (*a*) 260 m/s. (*b*) 45 s.
35. 23 ft/s. **37.** (*a*) 9.8 s. (*b*) 2700 ft.
39. 40 m (130 ft) aproximadamente. **41.** (*a*) 20 cm.
(*b*) No; la pelota golpea la red a 4.4 cm arriba del suelo.
43. Entre los ángulos 31° y 63° sobre la horizontal.
45. 115 ft/s. **47.** (*a*) $D = v\sqrt{(2L/g)}\,\text{sen}\,\theta - L\cos\theta$.
(*b*) El proyectil pasará sobre la cabeza del observador si *D* es positiva y pega en el suelo antes si *D* es negativa.
49. 5.66 s. **51.** 8.98×10^{22} m/s^2. **53.** (*a*) 7.49 km/s.
(*b*) 8.00 m/s^2. **55.** (*a*) 94 cm. (*b*) 19 m/s. (*c*) 2400 m/s^2.
57. (*a*) 130 km/s. (*b*) 850 km/s^2. **61.** (*a*) 92. (*b*) 9.6.
(*c*) $92 = (9.6)^2$. **63.** 2.6 cm/s^2. **65.** (*a*) 33.6 m/s^2.
(*b*) 89.7 m/s^2. **67.** 36 s; no.
69. El viento sopla del Oeste a 55 mi/h. **71.** 31 m/s.
75. (*a*) 5.8 m/s. (*b*) 17 m. (*c*) 67°. (*d*) 49°.
77. 170 km/h, 7.3° al Sur del Oeste. **79.** (*a*) 30° corriente arriba.
(*b*) 69 min. (*c*) 80 min. (*d*) 80 min.
(*e*) Perpendicular a la corriente; 60 min.
81. Dirigir al bote 25° corriente arriba. (*b*) 0.21 h. **83.** 0.83*c*.
85. (*b*) $t = 2.16$ s, $x = 97.7$ m, $y = 22.8$ m.
(*c*) $t = 4.31$ s, $x = 195$ m, $v_x = 45.3$ m/s, $v_y = -21.1$ m/s.