2.5. Caída libre de objetos

Uno de los ejemplos más comunes del movimiento uniformemente acelerado es el de un objeto que se deja caer libremente cerca de la superficie terrestre. El hecho de que un objeto que cae esté acelerado quizá no sea evidente al principio. No piense, como se creía ampliamente hasta la época de Galileo, que los objetos más pesados caen más rápido que los objetos más ligeros y que la rapidez de la caída es proporcional al peso del objeto.

Introducción

Uno de los ejemplos más comunes del movimiento uniformemente acelerado es el de un objeto que se deja caer libremente cerca de la superficie terrestre. El hecho de que un objeto que cae esté acelerado quizá no sea evidente al principio. No piense, como se creía ampliamente hasta la época de Galileo, que los objetos más pesados caen más rápido que los objetos más ligeros y que la rapidez de la caída es proporcional al peso del objeto.

En su análisis, Galileo aplicó su nueva y creativa técnica de imaginar qué pasaría en casos idealizados (simplificados). Para la caída libre, postuló que todos los objetos caen con la misma aceleración constante en ausencia de aire u otra resistencia. Él mostró que este postulado predice que para un objeto que cae desde el reposo, la distancia recorrida será proporcional al cuadrado del tiempo (ver la figura 1); es decir, $d \propto t^2$. Podemos ver esto en la ecuación $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$, pero Galileo fue el primero en obtener esta relación matemática.

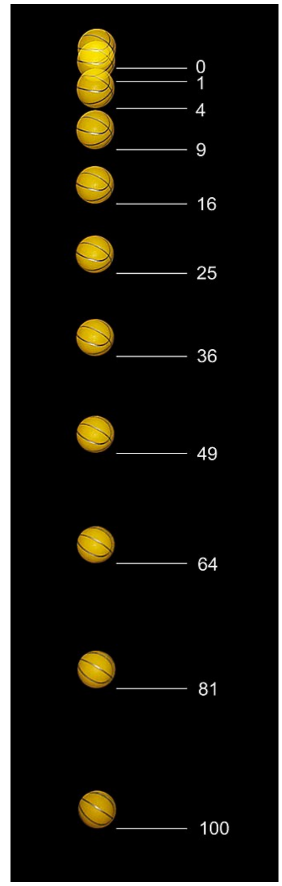

Figura 1: Fotografía estroboscópica de la caída de un balón a intervalos de tiempo iguales. El balón cae una distancia mayor en cada intervalo sucesivo de tiempo, lo cual significa que está acelerando. Tomado de Wikiland.com

Para apoyar su afirmación de que la rapidez de caída de los objetos aumenta conforme caen, Galileo utilizó un ingenioso argumento: cuando se suelta una piedra pesada desde una altura de $2\,m$ encajará mucho más una estaca en el suelo, que la misma piedra dejada caer desde una altura de sólo $0.2\,m$. Es claro que la piedra debe moverse más rápidamente cuando cae desde una altura mayor. Galileo también afirmó que en ausencia de aire *todos* los objetos, ligeros o pesados, caen con la misma aceleración. Si usted sostiene una hoja de papel horizontalmente en una mano y un objeto más pesado, digamos una piedra, en la otra, y los suelta al mismo tiempo, el objeto más pesado llegará al suelo primero. No obstante, si repite el experimento, esta vez con papel arrugado formando una pequeña bola, usted encontrará que los dos objetos llegan al piso casi al mismo tiempo.

Galileo estaba seguro de que el aire actúa como una resistencia para los objetos muy ligeros que tienen una gran área superficial. Pero en muchas circunstancias ordinarias, esta resistencia del aire es despreciable. En una cámara al vacío, incluso los objetos ligeros, como una pluma o una hoja de papel sostenida horizontalmente, caerán con la misma aceleración que cualquier otro objeto (véase la figura 2). Una demostración en el vacío no era posible en tiempos de Galileo, lo cual le da más mérito a este personaje. A Galileo se le llama a menudo el "padre de la ciencia moderna", no sólo por el contenido de su ciencia (descubrimientos astronómicos, inercia, caída libre), sino también por su enfoque científico (idealización y simplificación, matematización de la teoría, teorías que tienen consecuencias confirmables, experimentos para probar las predicciones teóricas).

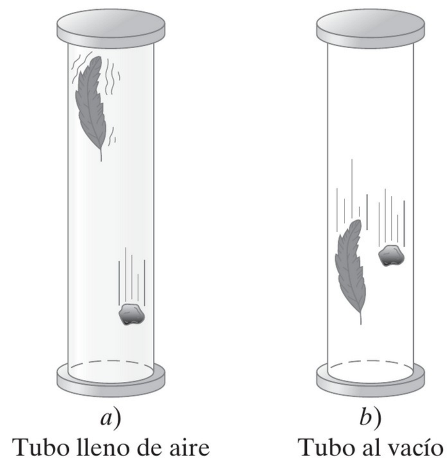

Figura 2: Una piedra y una pluma se dejan caer simultáneamente a) en el aire y b) en vacío.

La contribución específica de Galileo, para nuestro entendimiento del movimiento de caída de objetos, se resume como sigue:

en un lugar dado sobre la Tierra y en ausencia de la resistencia del aire, todos los objetos caen con la misma aceleración constante.

Llamamos a esta aceleración **aceleración debida a la gravedad** sobre la superficie de la Tierra, y usamos el símbolo g. Su magnitud es aproximadamente

$$g = 9.81\, m/s^2 \text{ (en la superficie terrestre)}$$

En unidades inglesas g vale aproximadamente 32 $pies/s^2$. En realidad, g varía ligeramente de acuerdo con la latitud y la elevación, aunque esas variaciones son tan pequeñas que podemos despreciarlas en la mayoría de los casos. A menudo los efectos de la resistencia del aire son pequeños y los despreciaremos la mayoría de las veces. Sin embargo, la resistencia del aire será notable aun en un objeto razonablemente pesado, si la velocidad se vuelve muy grande.

Dato curioso La rapidez de un objeto que cae en el aire (u otro fluido) no aumenta de manera indefinida. Si el objeto cae una distancia suficiente, alcanzará una velocidad máxima llamada velocidad límite o **terminal**, debida a la resistencia del aire.

La aceleración debida a la gravedad es un vector, como lo es cualquier aceleración, y su dirección es hacia abajo, hacia el centro de la Tierra.

Al tratar con objetos que caen libremente podemos utilizar las ecuaciones de MUA vista en la guía 2.4., donde a tiene el valor de g que usamos antes. También, como el movimiento es vertical, sustituiremos y por x_2 y y_0 en vez de x_1. Se considera que $y_0=0$, a menos que se especifique otra cuestión. *Es arbitrario si elegimos el eje y como positivo en la dirección hacia arriba o en la dirección hacia abajo; debemos, sin embargo, ser consistentes a todo lo largo de la solución de un problema.*

Ejemplo 1: Caída desde una torre

Suponga que una pelota se deja caer ($v_0=0$) desde una torre de $70.0\,m$ de altura. ¿Cuánto habrá caído después de un tiempo $t_1=1.00\,s$, $t_2=2.00\,s$ y $t_3=3.00\,s$? Desprecie la resistencia del aire.

PLANTEAMIENTO Se toma y como positivo hacia abajo, de manera que la aceleración es $a=g=+9.81\,m/s^2$. Sea $v_0=0$ y $y_0=0$. Queremos encontrar la posición y de la pelota después de tres intervalos de tiempo diferentes. La ecuación de MUA $\left(x_2=x_1+v_1t+\frac{1}{2}at^2\right)$, con x_2 sustituida por y, relaciona las cantidades dadas (t, a y v_0) y la incógnita y.

SOLUCIÓN Se establece $t=t_1=1.00\,s$ en la ecuación anterior:

$$y_1=v_ot_1+\frac{1}{2}gt_1^2=0+\frac{1}{2}gt_1^2=12(9.81\,m/s^2)(1.00\,s)^2=4.91\,m.$$

La pelota ha caído una distancia de $4.91\,m$ durante el intervalo de $t=0$ a $t_1=1.00\,s$. Similarmente, después de $2.00\,s$ $(=t_2)$, la posición de la pelota es

$$y_2=\frac{1}{2}gt_2^2=12(9.81\,m/s^2)(2.00\,s)^2=19.6\,m.$$

y finalmente, después de $3.00\,s$ ($=t_3$), la posición 2 de la pelota es

$$y_3 = \frac{1}{2} g t_3^2 = \frac{1}{2}(9.81\,m/s^2)(3.00\,s)^2 = 44.2\,m.$$

En la siguiente imagen (figura 3) se puede ver cada uno de los momentos del movimiento en caída libre de la pelota. Donde y_0 es el desplazamiento hacia el suelo de la pelota en el tiempo $t=0$, y_1 es el desplazamiento de la pelota para t_1, etc. En color verde está la gráfica de de y versus t.

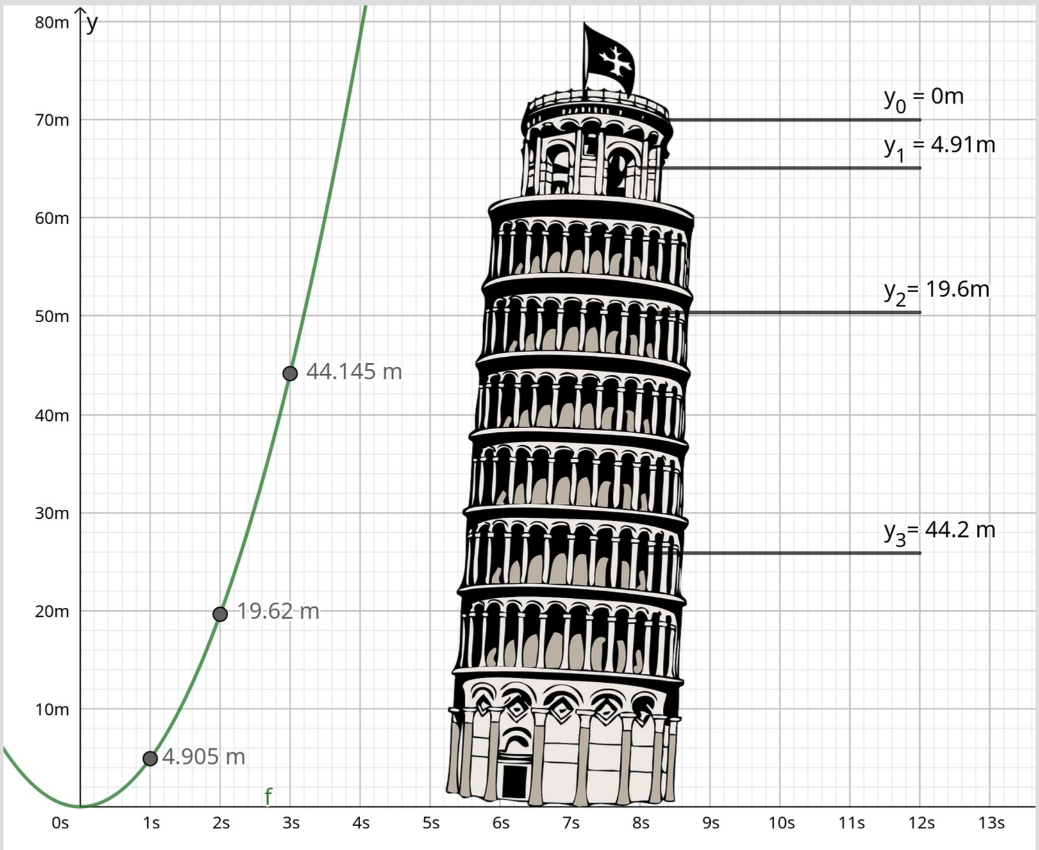

Figura 3. Distancias recorridas en la caida libre del objeto para cada uno de los tiempos especificados. En la curva y vs t de color verde se puede ver que esta adquiere una forma parabólica.

Ejemplo 2: Pelota que se lanza hacia arriba, parte I

Una persona lanza en el aire una pelota hacia arriba con una velocidad inicial de $15.0\,m/s$. Calcule *a)* a qué altura llega y *b)* cuánto tiempo permanece en el aire antes de regresar a la mano. Ignore la resistencia del aire.

PLANTEAMIENTO No estamos interesados aquí con la acción del lanzamiento, sino sólo con el movimiento de la pelota después de que ésta sale de la mano de la persona (figura 4) y hasta que regresa a la mano de nuevo. Elegimos y como positiva en la dirección hacia arriba, y negativa hacia abajo. (Ésta es una convención diferente de la usada en los ejemplos anteriores, e ilustra nuestras opciones). La aceleración debida a la gravedad será hacia abajo y tendrá entonces un signo negativo, $a=-g=-9.81\,m/s^2$. Conforme la pelota sube, su rapidez disminuye hasta que alcanza el punto más alto (B en la figura 4), donde su rapidez es cero por un instante; y luego desciende con rapidez creciente.

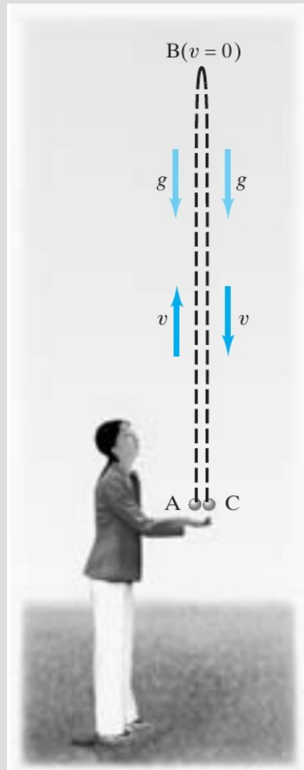

Figura 4: Un objeto lanzado al aire sale de la mano del lanzador en A, alcanza su altura máxima en B y regresa a la altura original en C.

SOLUCIÓN *a)* Consideramos el intervalo de tiempo desde que la pelota salió de la mano del lanzador, hasta que alcanza su punto más alto. Para determinar la altura máxima, calculamos la posición de la pelota cuando su velocidad es cero ($v=0$ en el punto más alto). En $t=0$ (punto A en la figura 4) tenemos $y_0=0$, $v_0=15.0\,m/s$ y $a=-9.81\,m/s^2$. En el tiempo t (altura máxima), $v=0$, $a=-9.81\,m/s^2$ y queremos encontrar y. Usamos la ecuación $d=\dfrac{v_2^2-v_1^2}{2a}$ reemplazando d por y. Despejamos y de esta ecuación:

$$y=\frac{v^2-v_0^2}{2a}=\frac{0-(15\,m/s)^2}{2(9.81\,m/s^2)}=11.5\,m.$$

La pelota alcanza una altura de $11.5\,m$ por arriba de la mano.

b) Ahora tenemos que elegir un intervalo de tiempo diferente, para calcular cuánto tiempo la pelota permanece en el aire antes de regresar a la mano. Podríamos hacer este cálculo en dos partes, determinando primero el tiempo requerido para que la pelota alcance el punto más alto y luego determinando el tiempo que le toma regresar en caída. Sin embargo, es más sencillo considerar el intervalo de tiempo para el movimiento completo de A a B a C (figura 4) en un solo paso, y usar la ecuación $x_2 = x_1 + v_1 t + \frac{1}{2} a t^2$. Podemos hacer esto así porque y representa posición o desplazamiento, y no la distancia total recorrida. Así, en ambos puntos A y C, $y = 0$. Usamos la ecuación anterior con $a = -9.81\, m/s^2$ y encontramos

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$0 = 0 + (15\, m/s) t + \frac{1}{2}(-9.81\, m/s2) t^2$$

La primera solución $(t = 0)$ corresponde al punto inicial (A) en la figura 4, cuando la pelota se lanzó inicialmente desde $y = 0$. La segunda solución, $t = 3.06\, s$, corresponde al punto C, cuando la pelota ha retornado a $y = 0$. De manera que la pelota permanece en el aire $3.06\, s$.

NOTA Ignoramos la resistencia del aire, que podría resultar significativa, por lo que nuestro resultado es sólo una aproximación de una situación práctica real.

ASPECTOS A TENER EN CUENTA En este ejemplo no se consideró la acción del lanzamiento. ¿Por qué? Porque durante el lanzamiento la mano del lanzador está en contacto con la pelota y la acelera a una tasa desconocida: la aceleración *no es* g. Se considera sólo el tiempo en que la pelota está en el aire y la aceleración es igual a g hacia abajo.

Toda ecuación cuadrática (donde la variable está al cuadrado) matemáticamente produce dos soluciones. En física, a veces sólo una solución corresponde a la situación real en cuyo caso se ignora la solución "no física". Pero en este caso, ambas soluciones a la ecuación en t^2 son físicamente significativas: $t = 0$ y $t = 3.06\, s$.

Ejemplo 3: Pelota que se lanza hacia arriba, parte II

Consideremos de nuevo la pelota lanzada hacia arriba del ejemplo anterior y hagamos más cálculos. Calcule *a)* cuánto tiempo le toma a la pelota alcanzar su altura máxima (punto B en la figura 5), y *b)* la velocidad de la pelota cuando retorna a la mano del lanzador (punto C).

PLANTEAMIENTO De nuevo suponemos que la aceleración es constante, por lo que usamos las ecuaciones MUA vistas en la guía 2.4. Tomamos la altura de $11.5\,m$ del ejemplo 2. De nuevo consideramos y positiva hacia arriba.

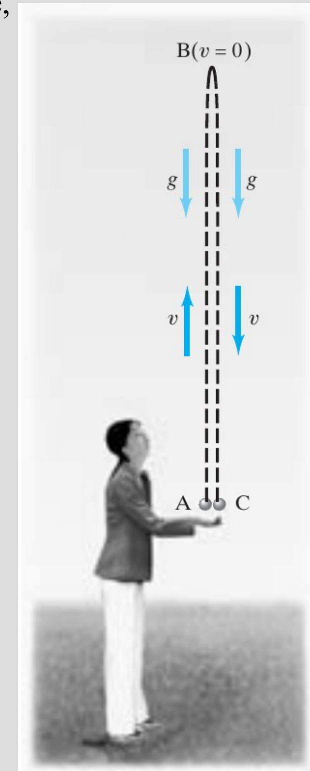

Figura 5: Un objeto lanzado al aire sale de la mano del lanzador en A, alcanza su altura máxima en B y regresa a la altura original en C.

SOLUCIÓN *a)* Se considera el intervalo de tiempo entre el lanzamiento $(t=0, v_0=15.0\,m/s)$ y lo alto de la trayectoria $(y=+11.5\,m, v=0)$ y se quiere encontrar t. La aceleración es constante con $a=-g=-9.81\,m/s^2$. Las ecuaciones $v_2=v_1+a\Delta t$ y $x_2=x_1+v_1 t+\frac{1}{2}at^2$ contienen ambas el tiempo t junto con otras cantidades conocidas. Usemos la primera ecuación con $a=-9.81\,m/s^2$, $v_0=15.0\,m/s$ y $v=0$. Despejando t obtenemos,

$$t=-\frac{v_0}{a}=-\frac{15.0\,m/s}{-9.81\,m/s^2}=1.53\,s.$$

Esto es justamente la mitad del tiempo que le toma a la pelota subir y regresar a su posición original [$3.06\,s$, calculado en el inciso *b)* del ejemplo anterior]. Le toma entonces a la pelota el mismo tiempo alcanzar la altura máxima que caer de regreso al punto de inicio.

b) Ahora se considera el intervalo de tiempo desde el lanzamiento $(t=0, v_0=15.0\,m/s)$ hasta el regreso de la pelota a la mano, lo que ocurre en $t=3.06\,s$ (como se calculó en el ejemplo anterior) y queremos encontrar v cuando $t=3.06\,s$:

$$v=v_0+at=15\,m/s-(9.81\,m/s2)(3.06\,s)=-15\,m/s$$

NOTA La pelota tiene la misma rapidez (magnitud de velocidad) cuando regresa al punto de inicio, que la que tenía cuando fue lanzada, pero en sentido opuesto (esto es lo que significa el signo negativo). De modo que, tal como calculamos en el inciso *a)*, el tiempo es el mismo al subir que al bajar. De manera que el movimiento es simétrico con respecto punto de altura máxima.

Dato curioso Con frecuencia la aceleración de objetos como aviones rápidos y cohetes se proporciona como un múltiplo de $g=9.81\,m/s^2$. Por ejemplo, un avión que sale de una picada y experimenta $3.00\,g$ tendría una aceleración de $(3.00)(9.81\,m/s2)=29.4\,m/s^2$.

Ejemplo 3: Pelota que se lanza hacia arriba, parte III

Para la pelota del ejemplo anterior, calcule en qué tiempo t la pelota pasa por un punto a $8.00\,m$ sobre la mano de la persona. (Véase la figura 6).

PLANTEAMIENTO Se elige el intervalo de tiempo desde el lanzamiento $(t=0,\,v_0=15.0\,m/s)$ hasta el tiempo t (a determinar) cuando la pelota está en la posición $y=8.00\,m$, usando la ecuación $y=y_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$.

SOLUCIÓN Se busca t dados $y=8.00\,m$, $y_0=0$, $v_0=15.0\,m/s$ y $a=-9.81\,m/s^2$. Utilice la ecuación:

$$y=y_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

$$8.00\,m=0+(15\,m/s)t+\frac{1}{2}(-9.81\,m/s2)t^{2.}$$

Para resolver cualquier ecuación cuadrática de la forma $At^2+Bt+C=0$, donde a, b y c son constantes (aquí, A *no* es la aceleración), podemos emplear la **fórmula cuadrática**:

$$t=-\frac{B\pm\sqrt{B^2-4AC}}{2A}$$

Reescribiendo la ecuación para y que se propusimos arriba en la forma estándar $At^2+Bt+C=0$, obtenemos:

$$(4.90\,m/s^2)t^2+(-15.0\,m/s)t+(8.00\,m)=0$$

De este modo, el coeficiente A es $4.90\,m/s^2$, B es $-15\,m/s$ y C es $8.00\,m$. Al poner estos valores en la fórmula cuadrática obtenemos

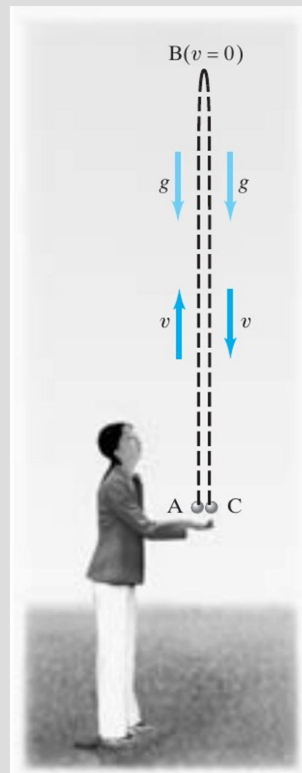

Figura 6.

$$t=\frac{-(-15\,m/s)\pm\sqrt{(-15\,m/s)^2-4(4.90\,m/s^2)(8.00\,m)}}{2(4.90\,m/s^2)},$$

lo cual da como resultado $t=0.69\,s$ y $t=2.37\,s$. ¿Son ambas soluciones válidas? Sí, porque la pelota pasa por $y=8.00\,m$ cuando va subiendo $(t=0.69\,s)$ y de nuevo cuando va bajando $(t=2.37\,s)$.

NOTA La figura 7 se muestra las gráficas de *a)* y versus t y *b)* v versus t para la pelota que se lanza hacia arriba en la figura 6, incorporando los resultados de los ejemplos anteriores.

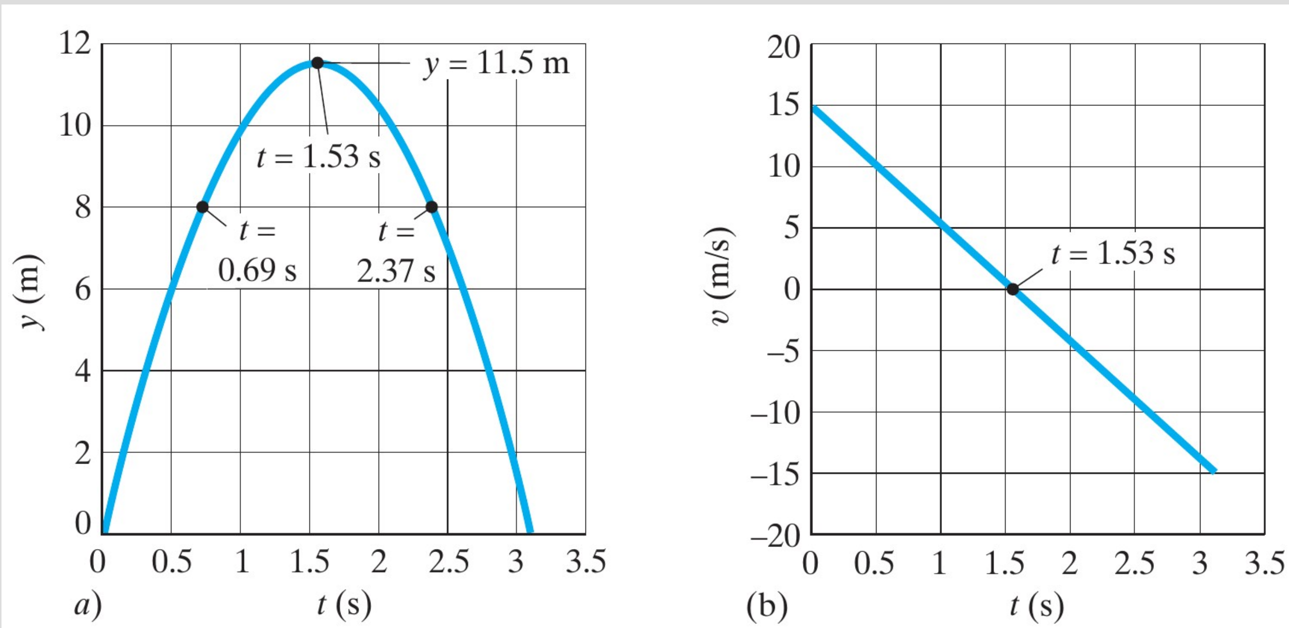

Figura 7: Gráficas de a) y versus t, b) v versus t para una pelota lanzada hacia arriba.

Ejemplo 4: Pelota que se lanza hacia arriba en el borde de un acantilado.

Suponga que la persona de los ejemplos anteriores está de pie en el borde de un acantilado, de manera que la pelota puede caer al fondo del acantilado que está $50.0\,m$ abajo del punto de partida, como se muestra en la figura 8. *a)* ¿Cuánto tiempo le toma a la pelota llegar al fondo del acantilado? *b)* ¿Cuál es la distancia total recorrida por la pelota? Ignore la resistencia del aire (probablemente sea significativa, por lo que nuestro resultado será una aproximación).

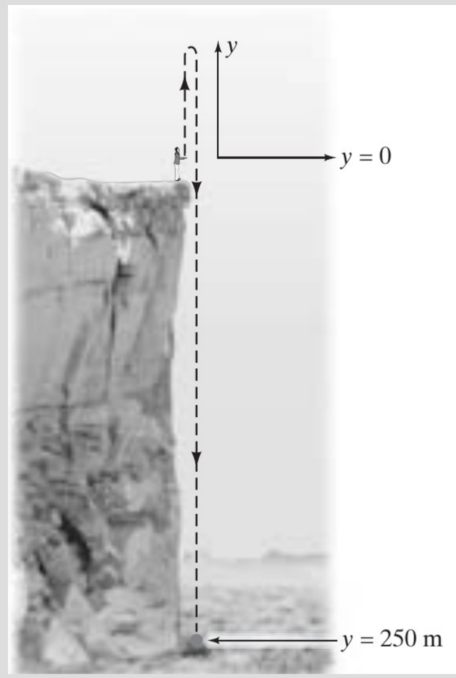

Figura 8: La persona de los ejemplos anteriores está de pie en el borde de un acantilado. La pelota cae al fondo de éste, $50.0\,m$ *abajo.*

PLANTEAMIENTO *a)* Usamos de nuevo la ecuación $y=y_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$; pero esta vez tomamos $y=-50.0\,m$ (el fondo del acantilado), que está $50.0\,m$ por debajo de la posición inicial $(y_0=0)$.

SOLUCIÓN *a)* Usamos la ecuación propuesta con $a=-9.81\,m/s^2$, $v_0=15.0\,m/s$, $y_0=0$, y $y=-50.0\,m$:

$$y=y_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

$$-50\,m=0+(15\,m/s)t+\frac{1}{2}(-9.81\,m/s^2)t^{2.}$$

Reescribiéndola de la forma estándar, tenemos

$$(4.90\,m/s^2)t^2-(15.0\,m/s)t-(50.0\,m)=0.$$

Usando la fórmula cuadrática, encontramos las soluciones $t=5.07\,s$ y $t=-2.01\,s$. La primera solución, $t=5.07\,s$, es la respuesta a nuestro problema: es el tiempo que le toma a la pelota subir a su punto más alto y luego caer al fondo del acantilado. Sabemos que a la pelota le tomó $3.06\,s$ subir y bajar a la parte superior del acantilado (ver ejemplo 1); por lo que le tomó $2.01\,s$ adicionales caer hasta el fondo. ¿Pero qué sentido tiene la otra solución de $t=-2.01\,s$? Éste es un tiempo anterior al lanzamiento, cuando empezó nuestro cálculo, por lo que no es relevante aquí.

PARA TENER EN CUENTA Cuando se obtienen resultados de tiempos con signo negativo, estos normalmente se consideran sin sentido o no válidos. Una razón de esto se da bajo el criterio de que en física los tiempos siempre son relativos, esto se interpretaría como que un tiempo negativo sería *antes* de la situación a analizar. Hablar de esto implicaría que nos estaríamos "devolviendo en el tiempo" y esto no es sensato a la hora de análisis de un problema.

b) Del ejemplo, la pelota sube $11.5\,m$, baja $11.5\,m$ de regreso a la cima del acantilado y luego cae $50.0\,m$ más al fondo del acantilado, para una distancia total recorrida de $73.0\,m$. Sin embargo, note que el desplazamiento fue sólo de $-50.0\,m$. La figura 9 muestra la gráfica de y versus t para esta situación.

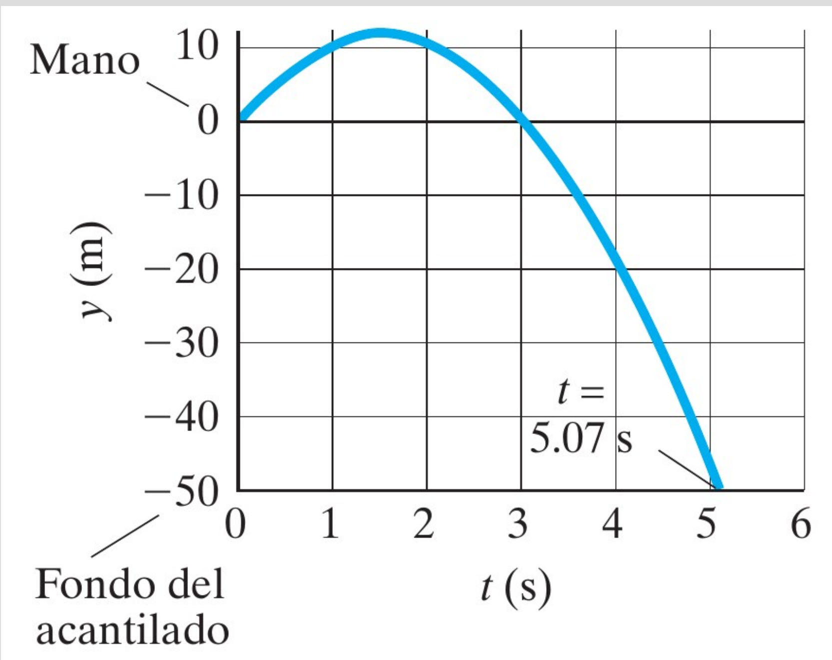

Figura 9. Gráfica de y versus t.

Ejercicios

1. Un objeto cae desde el reposo y alcanza una velocidad de $50\,m/s$ después de cierto tiempo. Determina el tiempo transcurrido.
2. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad inicial de $15\,m/s$. ¿Cuál será su velocidad después de 3 segundos?
3. Una roca cae libremente durante 6 segundos de un precipicio. Calcula su velocidad final.
4. Un proyectil es lanzado hacia abajo con una velocidad inicial de $100\,pies/s$. ¿Qué velocidad tendrá después de 4 segundos? (Convertir el resultado a m/s).
5. Un objeto es arrojado hacia abajo con una velocidad inicial de $20\,m/s$ y llega a tener una velocidad de $80\,m/s$. ¿Cuánto tiempo tarda en alcanzar esa velocidad?
6. Una pelota es lanzada hacia abajo desde un precipicio en un planeta desconocido, con una velocidad de $25\,m/s$. Si al cabo de 4 segundos su velocidad es de $65\,m/s$, determina la aceleración debida a la gravedad. ¿Será que este planeta se parece mucho a la tierra?
7. Un objeto en un planeta distante cae desde una velocidad inicial de $10\,m/s$ y después de 5 segundos tiene una velocidad de $79\,m/s$. Calcula el valor de g. ¿Qué diferencia en gravedad tiene ese planeta respecto a la tierra?
8. Un objeto lanzado hacia abajo tarda 7 segundos en alcanzar una velocidad de $210\,ft/s$. ¿Con qué velocidad fue lanzado? (Convertir el resultado a m/s).
9. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad v_0 y después de 3 segundos tiene una velocidad de $34\,m/s$. ¿cuál fue su velocidad inicial (v_0)?
10. Un balón cae libremente de un edificio y su velocidad final es de $44\,m/s$ al llegar al piso. Si la aceleración es de $9.8\,m/s^2$, determina cuánto tiempo se demoró cayendo.
11. Un objeto es lanzado hacia abajo desde una altura de $50\,metros$ con una velocidad inicial de $10\,m/s$. ¿Cuál será su altura después de 4 segundos?
12. Un objeto cae desde una plataforma de $20\,metros$ de altura. Si la velocidad inicial es de $5\,m/s$, calcula su posición al cabo de 3 segundos.

13. Un proyectil es lanzado hacia abajo desde una torre a 100 $pies$ de altura con una velocidad inicial de 0,2 $pies/min$. ¿Cuánto tiempo tardará en llegar al suelo? (Convertir el resultado a segundos).
14. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad inicial de 12 m/s y cae por 4 segundos. Determina su altura inicial. ¿Cuál sería la altura del edificio si se hubiera lanzado el objeto hacia arriba a los mismos 12 m/s y se hubiese demorado 7 segundos en llegar al piso?
15. Una canica es lanzada hacia arriba desde una altura de 150 m con una velocidad inicial de 20 m/s. ¿Cuánto tiempo tardará en llegar al suelo?
16. Un bloque de ladrillo cae desde el reposo desde una altura de 80 m. ¿Cuánto tiempo tarda en llegar al suelo?
17. Un proyectil es lanzado hacia arriba con una velocidad inicial de 40 $pies/s$ desde una plataforma de 150 $pies$. ¿Qué altura tendrá el proyectil después de 5 segundos? (Convertir el resultado a centímetros).
18. Un objeto es lanzado desde una altura de 120 m con una velocidad inicial de 8 m/s hacia abajo. ¿Cuál es su altura después de 2 segundos?
19. Un objeto cae libremente desde una plataforma de 100 m de altura y alcanza el suelo en 5 segundos. ¿Cuál era su velocidad inicial?
20. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad inicial de 6 m/s desde una altura de 200 m. Determina cuánto tiempo tarda en alcanzar el suelo y la velocidad final.
21. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad de 15 m/s. Si ha descendido 45 m, ¿cuál es su velocidad final? Cuál sería la velocidad final del objeto si se hubiera lanzado hacia arriba con la misma velocidad inicial y si sólo hubiera descendido 7 m?
22. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad inicial de 25 m/s desde una altura de 60 m. Determina su velocidad justo antes de tocar el suelo.
23. Un cuerpo cae libremente desde una altura de 30 m. Calcula su velocidad justo antes de impactar con el suelo.
24. Un proyectil es lanzado hacia abajo desde una torre a 150 $pies$ de altura con una velocidad inicial de 20 $pulg/min$. ¿Cuál es su velocidad al llegar al suelo? (Convertir el resultado a metros por segundo).

25. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad de $20\,m/s$ desde una altura de $100\,m$. ¿Cuánto tiempo tarda en alcanzar una velocidad de $40\,m/s$?
26. Un cuerpo cae desde el reposo desde una altura de $90\,metros$. Determina su velocidad final.
27. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad de $35\,m/s$ desde una altura de $100\,m$. ¿Cuánto tiempo tardará en alcanzar una velocidad de $50\,m/s$?
28. Un proyectil es lanzado hacia abajo con una velocidad inicial de $30\,m/s$ desde una altura de $200\ pies$. Determina su velocidad justo antes de tocar el suelo. (Convertir el resultado a metros).
29. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad inicial de $12\,m/s$ desde una altura de $80\,m$. ¿Qué velocidad tendrá justo antes de tocar el suelo?
30. Un objeto es lanzado hacia abajo con una velocidad de $18\,m/s$desde una altura de $50\,m$. Determina el tiempo que tarda en alcanzar una velocidad de $37\,m/s$ y su posición en ese instante.