## Experimento 4

***MOVIMIENTO CON ACELERACIÓN CONSTANTE***

### Objetivos

1. Medir la distancia recorrida y la velocidad de un objeto que se mueve con:
   a. velocidad constante y
   b. aceleración constante,
2. Establecer las relaciones entre la distancia recorrida por un móvil, su velocidad y su aceleración,
3. Analizar gráficas de distancia recorrida y *velocidad vs. tiempo* para un carrito en movimiento,
4. Explicar cómo se relaciona la pendiente de la gráfica de $v$ *vs.* $t$ con la aceleración del carrito,
5. Analizar el movimiento de un objeto en caída libre y
6. Medir la aceleración de la gravedad

### Teoría

En este ejercicio de laboratorio vamos a analizar el movimiento de un carrito que viaja sobre un plano. Si ignoramos la fricción, cuando el plano está horizontal, el carrito viaja con velocidad constante. Cuando el plano está inclinado, el carrito viaja con aceleración constante. Ambos movimientos son importantes porque se presentan en la naturaleza y su combinación produce el movimiento parabólico característico de los proyectiles. Uno de los movimientos más comunes en la vida diaria es la caída libre de los cuerpos. Este movimiento tiene aceleración constante, la cual se origina en la atracción gravitatoria de la Tierra. A nivel del mar, la aceleración de la gravedad tiene un valor $g$ = 9.81 m/s$^2$ = 981 cm/s$^2$ = 32.2 ft/s$^2$. Cuando un objeto cae libremente cerca de la superficie de la Tierra, viaja con esa aceleración si la fricción con el aire es pequeña. En este ejercicio asumiremos que la fricción con el aire puede ignorarse, y mediremos la aceleración de la gravedad mediante dos procesos diferentes. Al final compararemos los valores obtenidos con el que se reporta en la literatura. Las ecuaciones y definiciones necesarias para hacer este experimento son las mismas que presentamos en el experimento 3 de este curso y otras más que veremos a continuación

<u>Movimiento del carrito en el plano horizontal</u>

En la figura 1mostramos un sensor de movimiento y un plano horizontal por donde viaja un carrito

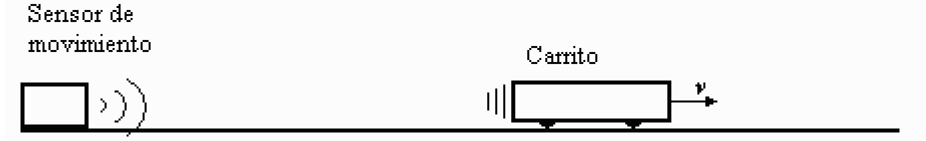


**Figura 1 Ignorando la fricción, con el plano horizontal, el carrito viaja con velocidad constante**

El sistema está construido de tal forma que la fricción del carrito con el plano es despreciable. Esto significa que si lo empujamos, se moverá con velocidad constante. El sensor nos permite registrar el movimiento del carrito mediante gráficas de *posición*, *velocidad* y *aceleración vs. tiempo*, que son producidas por el programa de computadora, y presentadas en la pantalla del monitor

Movimiento del carrito en el plano inclinado

En la figura 2 vemos el plano levantado por su extremo izquierdo, formando un ángulo θ con la horizontal. En este caso el carrito baja con aceleración constante. El valor de la aceleración es $a = g$ senθ. Al hacer el experimento mediremos la aceleración del carrito a partir de la pendiente de la gráfica de $v$ *vs*. $t$. Podemos determinar el valor del ángulo θ si conocemos la altura del extremo izquierdo del plano, a la cual llamaremos $h$, y la longitud del plano, a la que llamaremos $\ell$. En este caso tenemos $\theta = \text{sen}^{-1}(h/\ell)$. Con este dato, y sabiendo el valor de $a$, podemos calcular el valor de $g$, al cual llamaremos valor medido, y podremos compararlo con el valor reportado de 9.81 m/s$^2$. Debemos aclarar que la figura 2 muestra una inclinación exagerada, si la comparamos con la que tendrá el plano en el laboratorio. En la práctica bastará con una altura máxima $h$ = 1.5 cm aproximadamente

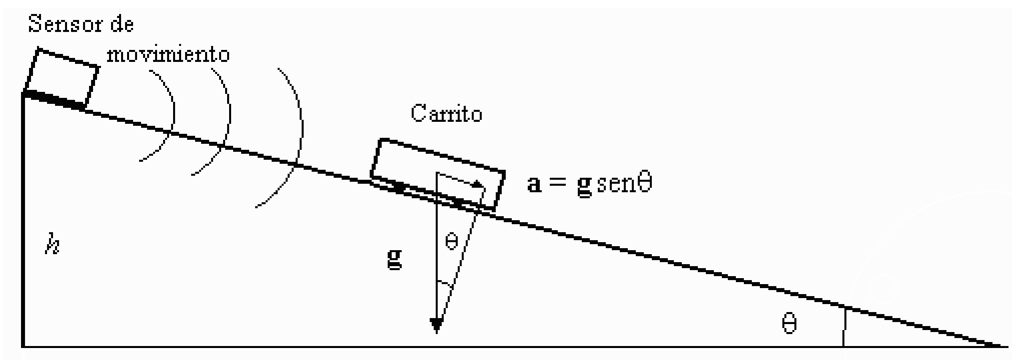


**Figura 2 En el plano inclinado el carrito descienda con aceleración constante**

**Caída libre**

Cuando un objeto cae libremente, cerca de la superficie de la Tierra, lo hace bajo la influencia de la aceleración de la gravedad. En este caso, ignorando la fricción con el aire, su aceleración es constante y tiene un valor de 9.81 m/s$^2$. La distancia que recorre el objeto durante su caída está dada por la siguiente ecuación:

$$y = y_o + v_o t + \frac{1}{2} g t^2 \qquad 1$$

Donde $y_o$ es la posición inicial con respecto a un sistema de referencia, y $v_o$, la velocidad inicial. En el caso particular cuando el objeto es liberado desde el reposo, es decir, $v_o = 0$, y desde el origen del sistema de referencia, $y_o = 0$, tenemos que la ecuación 1 se reduce a la 2

$$y = \frac{1}{2} g t^2 \qquad 2$$

donde hemos seleccionado la dirección hacia abajo como positiva. La ecuación 2 nos permite determinar el valor de la aceleración de la gravedad si medimos el tiempo que tarda en caer un objeto desde una altura conocida. En el experimento vamos a tener un cronómetro tipo foto celda que se activará automáticamente al soltar un bolón desde una altura conocida, y se detendrá al momento de que el bolón toque el piso. Ver la figura 3

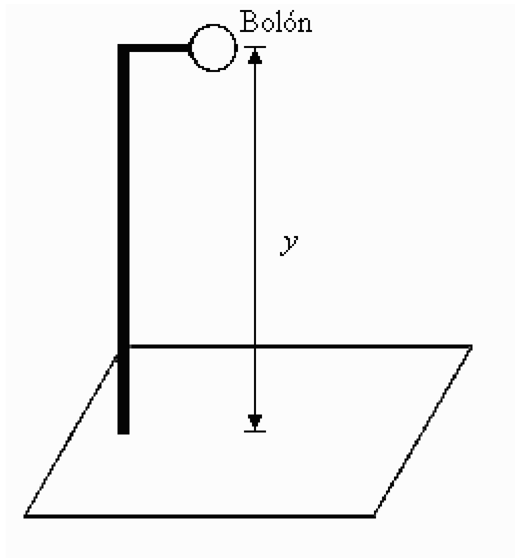


**Figura 3 Bolón a una altura conocida. Su tiempo de caída es medido automáticamente**

Ejemplos

1. Calcule la aceleración del carrito si el ángulo de inclinación del plano, en la figura 2, es de 15°. Asuma que $g = 9.81$ m/s$^2$

   *Solución*: Usamos la ecuación $a = g$ sen $\theta = (9.81$ m/s$^2)$ sen $15° = 9.81 \times 0.259 =$ 2.54 m/s$^2$

2. Un avestruz asustado corre en línea recta aumentando y disminuyendo su velocidad según se describe en la gráfica de velocidad versus tiempo mostrada en la figura 4. Bosqueje la *aceleración* del avestruz versus el *tiempo*

   *Solución*: A partir de la gráfica vemos que, al tiempo cero, la velocidad del avestruz es cero, sin embargo, luego de unos 0.6 s su velocidad es de 10.0 m/s. Aproximadamente, cuando $t$ = 1.2 s, el avestruz alcanza su velocidad máxima, que es de unos 14.3 m/s. Esto implica que durante todo este tiempo el avestruz aceleró. Después de esto su velocidad empezó a disminuir, hasta volverse cero, poco después de transcurridos 3 s. Por definición, la aceleración instantánea es la derivada de la velocidad con respecto al tiempo. Esto significa que, para bosquejar la gráfica de aceleración contra tiempo, debemos escoger algunos puntos en la gráfica de la figura 4, dibujar una recta tangente a la curva en cada uno de esos puntos, y calcular su pendiente. Ver, por ejemplo, la figura 5, en donde hemos escogido el origen como primer punto para dibujar la tangente y calcular su pendiente. De acuerdo con las escalas de los ejes, la pendiente de esa recta es de 20.0 m/s$^2$. Hemos identificado los puntos A, B, C, D, E, y F como otros tantos en los que podemos trazar la tangente y calcular su pendiente. Por supuesto que el trazo de la gráfica de aceleración contra tiempo será más preciso cuanto mayor sea el número de puntos en los que tracemos las tangentes. El resultado de la gráfica de *aceleración vs. t* se muestra en la figura 6, en la que, además, hemos identificado los puntos A, B, C, D, E y F

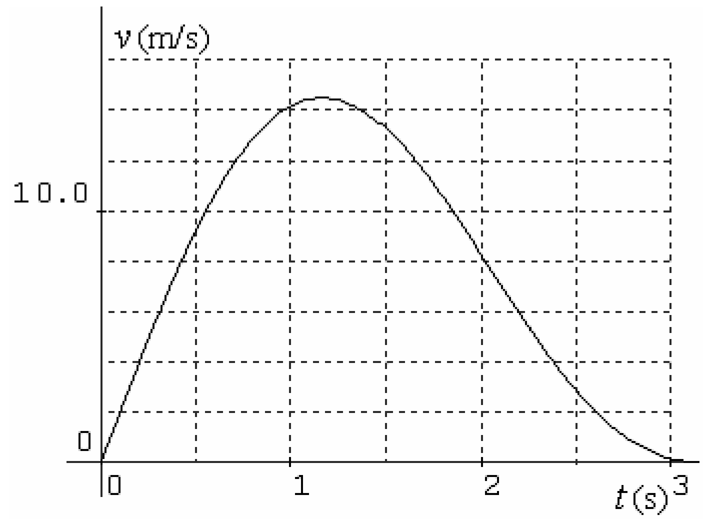


**Figura 4 Gráfica de la velocidad instantánea de un avestruz como función del tiempo**

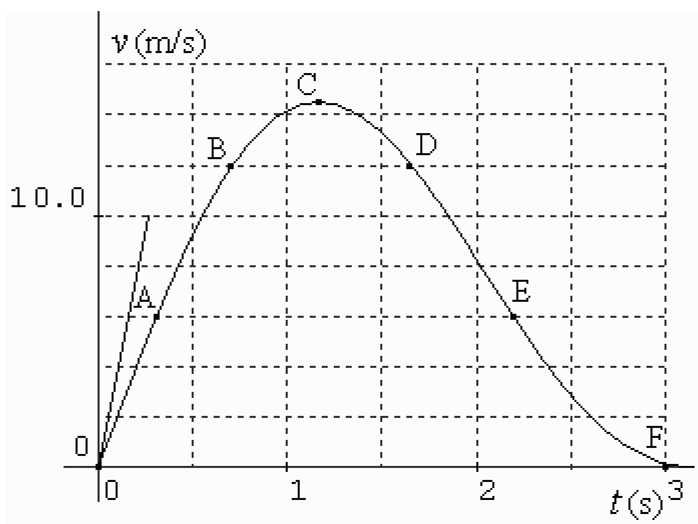


**Figura 5 Cálculo de la aceleración en el origen, al tiempo $t = 0$**

3. La posición de un objeto se expresa mediante la ecuación $x(t) = (2t^3 + 3t^2 - 2t - 10)$ m. Encuentre la expresión de su velocidad instantánea y la de su aceleración instantánea

   *Solución*: Por definición, la velocidad instantánea es la derivada de la posición con respecto al tiempo, es decir,

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(2t^3 + 3t^2 - 2t - 10) = (6t^2 + 6t - 2)\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Asimismo, la aceleración instantánea es la derivada de la velocidad instantánea con respecto al tiempo, o sea,

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(6t^2 + 6t - 2) = (12t + 6)\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Este ejercicio puede hacerse gráficamente con una calculadora, o con el programa *Graphmatica*, que está instalado en las computadoras del laboratorio. Recomendamos al estudiante que lo haga con ambos recursos

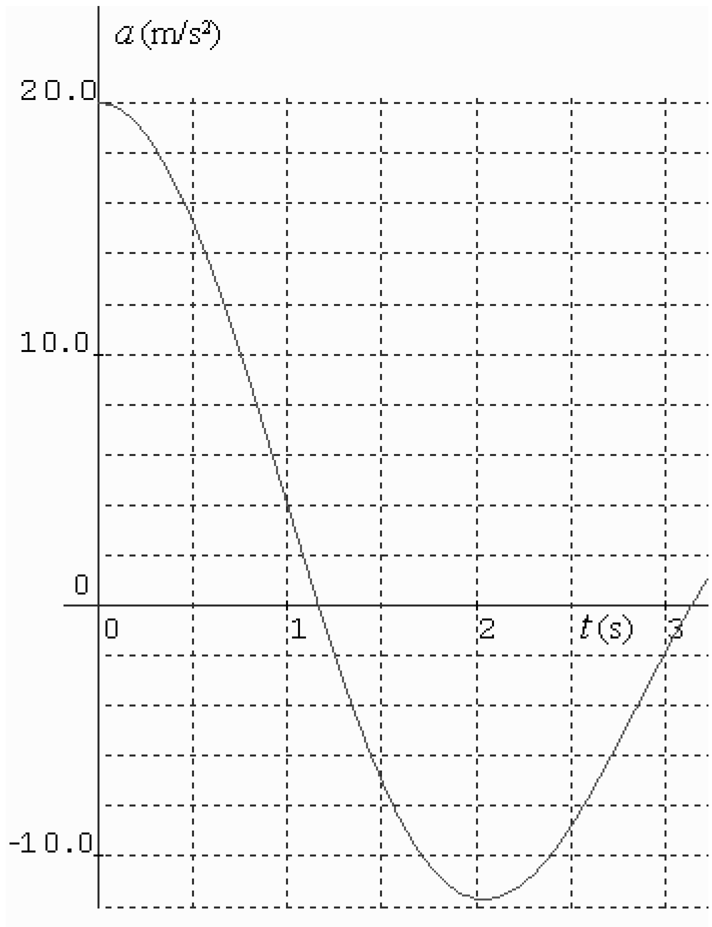


**Figura 6 Gráfica de la aceleración del avestruz *vs.* tiempo**

4. Encontrar el desplazamiento total que recorre un súper atleta olímpico cuya gráfica de velocidad contra tiempo es la figura 7

   *Solución*: En este ejercicio hay cuatro intervalos de tiempo con diferentes aceleraciones. Primeramente tenemos que calcular la aceleración en cada intervalo. Como sabemos, la aceleración en una gráfica de velocidad contra tiempo es la derivada de la curva, o su pendiente en cada punto. En este caso hay cuatro aceleraciones distintas, cada una de ellas constante. Esto lo sabemos porque los cuatro intervalos muestran líneas rectas. La aceleración se calcula con la ecuación 3, que presentamos en el experimento 3 de este manual de laboratorio

$$\boldsymbol{a} = \frac{\boldsymbol{v}_{\mathrm{f}} - \boldsymbol{v}_{i}}{\Delta \boldsymbol{t}} \qquad 3$$

Intervalo A: $a_{\mathrm{A}} = \dfrac{8\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} - 0}{4\,\mathrm{s}\text{-}0} = 2.0\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

Intervalo B: $a_{\mathrm{B}} = 0$

Intervalo C: $a_{\mathrm{C}} = \dfrac{2\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} - 8\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{12\,\mathrm{s}\text{-}8\,\mathrm{s}} = -1.5\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

Intervalo D: $a_{\mathrm{D}} = \dfrac{10\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} - 2\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{20\,\mathrm{s}\text{-}12\,\mathrm{s}} = 1.0\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

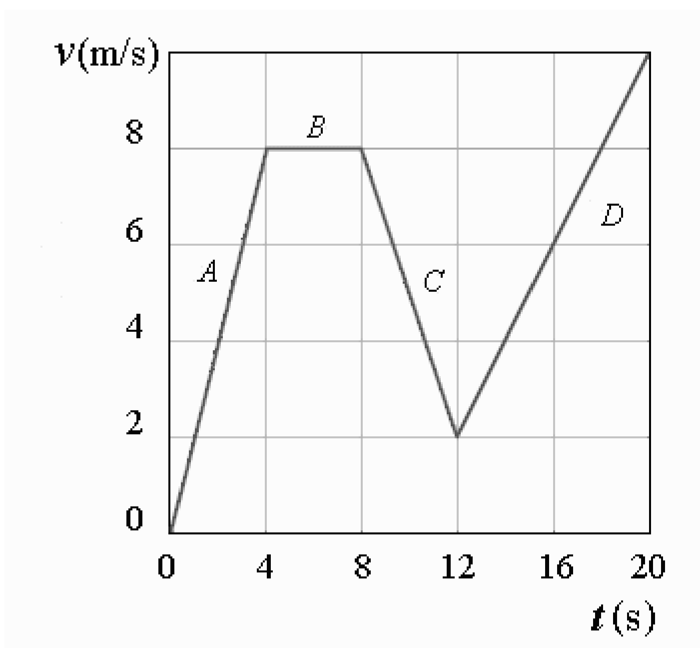


**Figura 7 Cuatro intervalos de tiempo con diferentes aceleraciones**

Para calcular las distancias usamos la ecuación 1

Distancia recorrida en el intervalo A:

$$y_{\mathrm{A}} = y_{\mathrm{o}} + v_{\mathrm{o}}t + \frac{1}{2}a_{\mathrm{A}}t^2 = 0 + 0 + \frac{1}{2} \times 2.0 \times 4^2 = 16\ \mathrm{m}$$

Distancia recorrida en el intervalo B:

$$y_B = y_o + v_o t + \frac{1}{2} a_B t^2 = 0 + 8 \times 4 + 0 = 32 \text{ m}$$

Distancia recorrida en el intervalo C:

$$y_C = y_o + v_o t + \frac{1}{2} a_C t^2 = 0 + 8 \times 4 + \frac{1}{2} \times (-1.5) \times 4^2 = 20 \text{ m}$$

Distancia recorrida en el intervalo D:

$$y_D = y_o + v_o t + \frac{1}{2} a_D t^2 = 0 + 2 \times 8 + \frac{1}{2} \times 1.0 \times 8^2 = 48 \text{ m}$$

La distancia total recorrida por el atleta en 20 s es la suma de las distancias calculadas para cada intervalo: 16 + 32 +20 + 48 = 116 m

5. Un estudiante en Caracas hace el experimento de caída libre del bolón en forma similar a la que usaremos en este experimento, y obtuvo los datos de la tabla 1:

Tabla 1. Datos de altura y tiempo en movimiento de caída libre

| $y$ (m) | $t$ (s) |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1.0 | 0.45 |
| 2.0 | 0.64 |
| 3.0 | 0.78 |
| 4.0 | 0.90 |
| 5.0 | 1.00 |

Calcule la aceleración de la gravedad con estos resultados

*Solución*: Cuando se tienen tablas de datos y una función matemática teórica que relaciona a las variables cuyos valores están en la tabla, se hace el procedimiento gráfico que mostraremos a continuación. Como el bolón fue liberado a partir del origen, con velocidad inicial cero, la distancia recorrida en su caída, como función del tiempo, esta dada por la ecuación 2, $y = \frac{1}{2} g t^2$ . Tenemos datos para $y$ y $t$.

Vamos a calcular $t^2$ y a añadir una columna a la tabla 1 con los resultados. Ver la tabla 2

Tabla 2. Datos del movimiento de caída libre

| $y$ (m) | $t$ (s) | $t^2$($s^2$) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1.0 | 0.45 | 0.20 |
| 2.0 | 0.64 | 0.41 |
| 3.0 | 0.78 | 0.61 |
| 4.0 | 0.90 | 0.81 |
| 5.0 | 1.00 | 1.00 |

Hacemos una gráfica de $y$ vs. $t^2$. De acuerdo con la teoría, deberemos obtener una línea recta que pasa por el origen y cuya pendiente será $g/2$. Ver la figura 8

En este caso hemos usado *Excel* para trabajar los datos y la gráfica, y hemos obtenido una pendiente de 4.977. Por lo tanto, el valor medido de $g$ es de $2 \times 4.98 = 9.9\underline{6}$ m/s$^2$. Al compararlo con el valor aceptado obtenemos:

$$\text{Diferencia} = \frac{|\text{valor medido} - \text{valor aceptado}|}{\text{valor aceptado}} \times 100 = \frac{|9.9\underline{6} - 9.81|}{9.81} \times 100 = 1.5\%$$

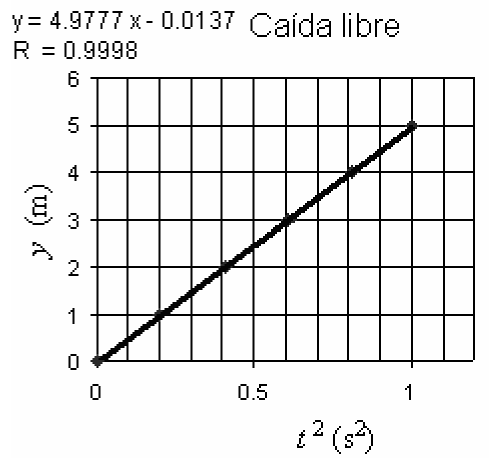


**Figura 8 Gráfica de $y$ vs. $t^2$ en un experimento de caída libre**

**Materiales y equipo**

Sistema computarizado y programa *DataStudio*
Sensor de movimiento
Interfase Pasco 750
Plano inclinado
Soporte con varilla de 45 centímetros de longitud
Cronómetro automático tipo foto celda
Bolón de acero de ½”

**Procedimiento**

1. Abra el programa *DataStudio*, seleccione C*rear experimento*, y el sensor de movimiento que está en la lista de sensores al lado izquierdo de la imagen de la Interfaz 750 de Pasco
2. Monte el sensor de movimiento en uno de los extremos del plano horizontal dirigido hacia el otro extremo
3. Conecte el terminal amarillo del sensor al canal 1 digital, y el negro al canal 2 digital de la Interfaz 750
4. En el programa *DataStudio* añada un grafico y seleccione las gráficas de posición-tiempo, velocidad-tiempo y aceleración-tiempo
5. Ajuste la escala de alcance de campo del sensor a un máximo de 1 m y mínimo de 0 en el eje de $y$

Plano horizontal

6. Asegúrese con un nivel de burbuja que el plano está horizontal
7. Coloque el carrito frente al sensor y empújelo levemente para que se mueva sobre el plano horizontal
8. Inicie el proceso de medición con el sensor
9. Imprima cada una de las tres gráficas

Plano inclinado

10. Incline el plano girando el tornillo nivelador hasta establecer un desnivel de aproximadamente 1.00 cm
11. Seleccione la gráfica de velocidad *vs*. tiempo, libere el carrito desde el extremo elevado e inicie el proceso de toma de datos con el sensor
12. Escoja la porción recta de la gráfica de *velocidad vs. tiempo* y obtenga la aceleración del carrito usando el programa *DataStudio*
13. Calcule la aceleración de la gravedad, $g$, usando las ecuaciones $a = g$ sen $\theta$ y $\theta = \text{sen}^{-1}(h/\ell)$ luego de haber medido $h$ y $\ell$ y con el valor de $a$ obtenido anteriormente
14. Compare el valor medido de $g$ con el valor aceptado

Caída libre

15. Vamos a referirnos al arreglo ilustrado en la figura 3. Mida la altura, $y$, del bolón y déjelo caer. Observe en el cronómetro el tiempo de caída. Anote ambas cantidades en la tabla 3 de la hoja de informe
16. Repita el ejercicio anterior para 10 alturas diferentes
17. Complete la tabla 3 calculando $t^2$
18. Use el programa *DataStudio* para graficar $y$ *vs.* $t^2$
19. Obtenga la pendiente de la recta que resulta en la gráfica
20. Sabiendo que el valor de la aceleración de la gravedad es el doble del valor de la pendiente de la gráfica obtenida anteriormente, compare el valor medido por usted con el valor aceptado de 9.81 m/s$^2$

**Preguntas**

Contestar correctamente antes de intentar hacer el experimento

En la siguiente figura mostramos la velocidad de un corredor como función del tiempo. Las seis primeras preguntas de este cuestionario se refieren a esta gráfica

1. La distancia que recorre el corredor durante el intervalo de tiempo de 0 a 4 s es de:
   (a) 2 m
   (b) 8 m
   (c) 6 m

(d) 24 m
(e) 16 m

2. La distancia recorrida por el corredor durante el intervalo de tiempo de 10 s a 12 s es de:
   (a) 12 m
   (b) 10 m
   (c) 2 m
   (d) 40 m
   (e) 4.47 m

3. La distancia que recorre el corredor durante los 16 s es de:
   (a) 8 m
   (b) 64 m
   (c) 100 m
   (d) 16m
   (e) 12 m

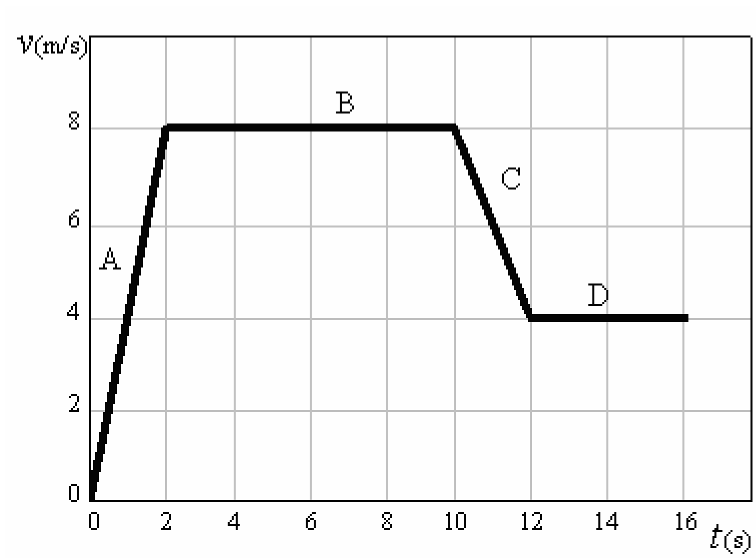


**Figura 9 Gráfica de las preguntas 1 a 6**

4. La aceleración del corredor en el intervalo C es de:
   (a) $-2.0 \text{ m/s}^2$
   (b) $-0.8 \text{ m/s}^2$
   (c) $9.81 \text{ m/s}^2$
   (d) Cero
   (e) $2.0 \text{ m/s}^2$

5. El intervalo donde el corredor recorre la distancia mayor es el:
   (a) A
   (b) B
   (c) C
   (d) D
   (e) En todos recorre la misma distancia porque su velocidad es constante

6. El intervalo donde el corredor frena es el:
   (a) A
   (b) B
   (c) C
   (d) D
   (e) Ninguno

La posición de una partícula, como función del tiempo, está dada por la siguiente expresión:

$$x(t) = 20t - 5t^3$$

Donde *x* está en metros y *t*, en segundos. Las preguntas 7 y 8 se refieren a esta partícula

7. La velocidad instantánea de la partícula es cero cuando el tiempo es de:
   (a) 1.25 s
   (b) 4.73 s
   (c) 1.15 s
   (d) 2.00 s
   (e) 0.50 s

8. La aceleración instantánea es cero cuando el tiempo es de:
   (a) 0 s
   (b) 1.15 s
   (c) 2.00 s
   (d) 0.50 s
   (e) 1.25 s

9. Un carrito viaja sin fricción por un plano inclinado con una aceleración de 3.2 $m/s^2$. Esto significa que la inclinación del plano es de:
   (a) $41^o$
   (b) $19^o$
   (c) $73^o$
   (d) $15^o$
   (e) $10^o$

10. Un plano sin fricción está inclinado un ángulo de $10^o$. La aceleración con la que baja un carrito por el plano es de:
    (a) 3.20 $m/s^2$
    (b) 2.54 $m/s^2$
    (c) 1.70 $m/s^2$
    (d) -5.33 $m/s^2$
    (e) 9.65 $m/s^2$

Un estudiante lanza una piedra verticalmente hacia abajo con una velocidad inicial de 12 m/s desde el techo de un edificio de 30 m de altitud. Usando estos datos conteste las preguntas 11 y 12 ignorando la resistencia del aire

11. La piedra alcanza el piso en un tiempo de:
    (a) 3.06 s
    (b) 1.75 s
    (c) 2.5 s
    (d) 3.98 s
    (e) 1.54 s
12. La velocidad de la piedra contra el piso es de:
    (a) 12 m/s
    (b) 360 m/s
    (c) 2.5 m/s
    (d) 27.1 m/s
    (e) 0.4 m/s
13. Soltamos una piedra desde el reposo por la boca de un pozo profundo. Unos cuatro segundos después oímos el golpe de la piedra contra el fondo. Un estimado de la profundidad del pozo es de:
    (a) 39.2 m
    (b) 156.8 m
    (c) 78.4 m
    (d) Necesitamos saber la masa de la piedra para hacer el estimado
    (e) 100 m

**Informe Del Experimento 4. Movimiento con aceleración constante**

Sección_______ Mesa _______

Fecha: ________________________________________________________

Estudiantes:

1. ________________________________________________________

2. ________________________________________________________

3. ________________________________________________________

4. ________________________________________________________

Plano horizontal

1. Interprete cada una de las tres gráficas, obtenidas en el experimento con el plano horizontal, y explique qué tipo de movimiento representan y porqué

Plano inclinado

2. Mida la altura *h* del extremo levantado del plano inclinado con respecto al otro extremo
3. Mida la longitud, $\ell$, del plano inclinado
4. Calcule el seno del ángulo de inclinación del plano usando la ecuación sen $\theta = h/\ell$ y escriba su valor en seguida

   sen $\theta$ = ________
5. Escriba la aceleración del carrito obtenida a partir de la pendiente de la gráfica de *v vs*. *t* usando el programa *DataStudio*

   $a$ = __________________ $\text{m/s}^2$
6. Escriba el valor de g obtenido por usted y escríbalo a continuación

$g = a/\text{sen}\,\theta =$ ____________________ m/s$^2$

7. Escriba la diferencia entre el valor de $g$ medido por usted y el valor aceptado

$$\text{Diferencia \%} = \frac{|\text{valor medido} - \text{valor aceptado}|}{\text{valor aceptado}} \times 100 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \%$$

8. Incluya la gráfica de velocidad contra tiempo obtenida en esta parte del experimento

Caída libre

9. Registre sus datos de alturas y tiempos en la tabla 3
10. Complete la tercera columna con los valores de $t^2$

Tabla 3. Datos del ejercicio de caída libre

| Número | $y$ (m) | $t$ (s) | $t^2$ (s$^2$) |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

11. Obtenga la gráfica de $y$ *vs*. $t^2$ y deduzca el valor de $g$ como el doble de la pendiente
12. Obtenga la diferencia entre el valor medido y el valor aceptado

$$\text{Diferencia \%} = \frac{|\text{valor medido} - \text{valor aceptado}|}{\text{valor aceptado}} \times 100 = \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \%$$

13. Incluya su gráfica de $y$ *vs*. $t^2$ con este informe