

# Cap 5. Caída de los Cuerpos

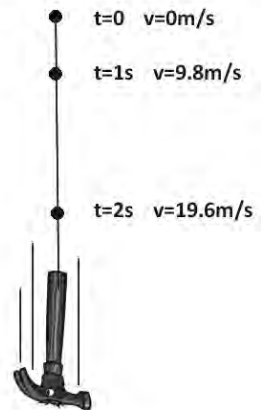
¿Has dejado caer alguna vez algún objeto?. Aunque la pregunta parezca obvia, comprender las implicaciones cinemáticas y dinámicas asociadas con este movimiento no lo fue en la historia de la humanidad. Usualmente cuando se escucha hablar de caída libre, se piensa que es sinónimo de caída, pero son dos cosas con comportamientos diferentes; a continuación se analizan las implicaciones de la caída libre y la caída de los cuerpos en medios resistivos.

## 5.1. La Caída Libre

El primer tipo de caída que se va a analizar es la caída libre, y para ello se parte del concepto

**Caída Libre:** Es el movimiento de un cuerpo que se caracteriza porque solo actúa el peso. Este es un movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, ya que la velocidad varía linealmente todo el tiempo por efecto de la gravedad.

Cuando se deja caer una moneda de la mano, inicialmente la moneda parte desde el reposo porque la velocidad es cero; inmediatamente después la velocidad empieza a aumentar aproximadamente a una razón de  $9,8 \frac{m}{s}$  cada segundo, es decir el primer segundo la velocidad adquirida es de  $9,8 \frac{m}{s}$ , el segundo la velocidad aumenta de nuevo  $9,8 \frac{m}{s}$  y ahora es de  $19,6 \frac{m}{s}$ , y así sucesivamente tal como se aprecia en la figura 5.1. Esto implica que el valor de la aceleración para cuerpos que caen cerca a la superficie de la Tierra es  $9,8 \frac{m}{s^2}$ ; a este valor se denomina la *aceleración de la gravedad*.



<http://elviran.com>

**Figura 5.1.** Caída libre de un cuerpo. La rapidez aumenta en cada segundo  $9,8\text{m/s}$  con respecto a la rapidez anterior



**Aceleración de la gravedad:** Es la aceleración aproximada a la cual cae un cuerpo desde alturas cercanas a la superficie terrestre.

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

Lo anterior permite describir matemáticamente el movimiento de caída libre mediante las ecuaciones para la posición, la velocidad y la aceleración demostradas en el capítulo de Movimiento Rectilíneo y propiamente las analizadas en el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, con dos modificaciones importantes:

La aceleración corresponde a la aceleración de la gravedad.

$$a = -g$$

El signo negativo para la aceleración se explica en términos del sentido hacia donde actúa la gravedad; tomando como referencia el punto más bajo de la trayectoria –como por ejemplo el suelo– y distancias positivas en la dirección positiva de la ordenada, es decir hacia el eje y positivo, la gravedad como cantidad vectorial es una magnitud que siempre apunta hacia abajo, buscando el centro de la Tierra siendo esto la razón del porqué se usan valores negativos en las ecuaciones.

Como el movimiento se describe sobre el eje de las ordenadas, la posición, las velocidades inicial y final se especifican con respecto a ese eje:

$$x_f = y_f \quad x_i = y_i$$

$$v_i = v_{iy} \quad v_f = v_{fy}$$

Lo que lleva a las expresiones

$$v_{fy} = v_{iy} - g \cdot t$$

$$y_f = y_i + v_{iy} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v_{fy}^2 = v_{iy}^2 - 2 \cdot g \cdot (y_f - y_i) \quad [\text{Ec. 5.1}]$$

$$y_f = y_i - \frac{1}{2} \left( \frac{v_{fy}^2 - v_{iy}^2}{g} \right)$$

Donde:

$$v_f = v_i + a \cdot t$$

$$x_f = x_i + v_i \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a \cdot (x_f - x_i)$$

$$x_f = x_i + \frac{1}{2} \left( \frac{v_f^2 - v_i^2}{a} \right)$$

- $v_{fy}$  → Rapidez final vertical
- $v_{iy}$  → Rapidez inicial vertical
- $g$  → Aceleración gravitacional
- $y$  → Distancia vertical, inicial o final

A continuación se plantea un ejemplo donde se ilustra la aplicación de estos conceptos

**Ejemplo 5.1.** Un hombre deja caer un balón desde la terraza de un edificio de 15 pisos. Si cada piso mide 3 metros, calcular:

- A. El tiempo de caída
- B. la velocidad con que toca el suelo
- C. si rebota a la mitad de la velocidad ¿hasta qué piso sube?

**Solución.** Para la primera pregunta se extrae la información del problema, recordando que es un edificio de 15 pisos, a tres metros por cada piso, entonces

$$y_i = 45 \text{ m}$$

$$y_f = 0 \text{ m}$$

$$v_{iy} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Utilizando las ecuaciones del movimiento se tiene

$$y_f = y_i + v_{iy} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$0 = y_i + 0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

De esta última ecuación, despejando la variable tiempo

$$\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = y_i$$

Con lo que

$$t = \sqrt{\frac{2y_i}{g}} \quad [\text{Ec. 5.2}]$$

Reemplazando en la ecuación se obtiene

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 45 \text{ m}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 3,03 \text{ s}$$



<http://www.creabits.com>

Figura 5.2. Imagen del problema 5.1.



Que es el tiempo que tarda el cuerpo en golpear el suelo. Para la segunda pregunta se tiene:

$$v_{fy} = v_{iy} - g \cdot t$$

Pero como la velocidad inicial vale cero entonces.

$$v_{fy} = -9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 3,03s \approx -29,7 \frac{m}{s}$$

El signo negativo indica que la velocidad, como cantidad vectorial está dirigida hacia abajo cuando golpea el suelo.

C. Para la última pregunta, la velocidad inicial de la pelota es:

$$v_{iy} = 14,9 \frac{m}{s}$$

La pelota sube hasta que se le acaba la velocidad, es decir, en el punto más alto su velocidad final vertical vale cero, con esto y la ecuación:

$$y_f = y_i - \frac{1}{2} \left( \frac{v_{fy}^2 - v_{iy}^2}{g} \right) \quad [\text{Ec 5.4.}]$$

Reemplazando se tiene:

$$y_f = 0 - \frac{1}{2} \left( \frac{0 - \left(14,9 \frac{m}{s}\right)^2}{9,8 \frac{m}{s^2}} \right) \approx 11,3m$$

Lo que corresponde aproximadamente a la mitad del cuarto piso. A esta distancia, que corresponde a la altura a la cual es posible que suba un cuerpo, se le conoce con el nombre de **altura máxima**, y para este punto en particular, las ecuaciones del movimiento se transforman en:

$$t_{subida} = \frac{v_{iy}}{g} \quad [\text{Ec 5.4.}]$$

$$h_{max} = \frac{v_{iy}^2}{2g}$$

Donde el tiempo de subida corresponde exactamente con el tiempo de bajada.

## Características de la caída libre

Es importante notar que hasta el momento en las ecuaciones tratadas en este capítulo o en los anteriores, no aparece el término de la masa del cuerpo, esto es porque en las condiciones planteadas –cuerpos que se mueven en el vacío–ninguna de las variables es afectada por el peso del cuerpo; sin embargo el sentido común demuestra el hecho que si se deja caer una hoja de papel al mismo tiempo que un lapicero, éste caerá primero que la hoja de papel.



**Figura 5.3.** La resistencia del aire hace que la hoja no tenga una caída libre, a diferencia del lapicero cuya fricción con el aire se puede despreciar.

Lo que sucede en el movimiento es que la caída del papel y el lapicero *no es una caída libre*, ya que sobre estos no solamente incide la fuerza de gravedad sino también la resistencia del aire que se opone al movimiento, producto de parámetros propios como densidad, viscosidad y temperatura, pero también a características del cuerpo que cae como su masa y su geometría.

Aristóteles pensaba que los cuerpos más pesados caían más rápido que los livianos pero fue sólo hasta alrededor del año 1600 cuando Galileo realiza su famoso experimento –suceso histórico no documentado directamente por Galileo sino por uno de sus estudiantes, razón por la cual se duda de su veracidad– en la torre inclinada de Pisa dejando caer dos balas de diferente peso y comprobando que ambos cuerpos caían a igual tiempo y con la misma velocidad, demostrando así que el peso no incide en el tiempo de caída siempre y cuando se pueda despreciar la resistencia del aire, con esto es posible concluir que en un sitio donde no haya aire –como una cámara al vacío o como en la superficie de la Luna–, los cuerpos caen con trayectoria lineal donde la velocidad no se ve afectada ni por la masa ni la forma del cuerpo.

*En el vacío todos los cuerpos que se suelten de la misma altura, caen al mismo tiempo, con igual velocidad sin importar la masa o la forma.*



<http://www.fisica.uh.cu>

**Figura 5.4.** Representación de la Torre inclinada de Pisa



GRAVEDADES EN EL SISTEMA SOLAR

Cada planeta tiene su propia gravedad que depende básicamente de la masa y de la distancia hasta su centro. La siguiente tabla muestran los valores de gravedad en diferentes objetos del sistema solar, cerca o sobre su superficie.

Tabla 5.1. Gravedades del Sistema Solar

Objeto	Gravedad $\frac{m}{s^2}$
Sol	274
Mercurio	3,7
Venus	8,9
Tierra	9,8
Marte	3,71
Júpiter	23,1
Saturno	9,0
Urano	8,7
Neptuno	11,0

Tabla 5.2. Gravedades Satélites Naturales

Objeto	Gravedad $\frac{m}{s^2}$
Luna	1,6
Io	1,8
Europa	1,3
Ganimedes	1,4
Calisto	1,3
Titán	1,4

\* A excepción de la Luna y Titán que pertenece Saturno, todos son satélites son Júpiter.

Siendo las características del movimiento, las mismas definidas en el Movimiento Rectilíneo Uniforme y planteadas en el capítulo anterior de este libro.

**Ejemplo 5.2.** Se lanza un objeto hacia arriba con una velocidad inicial de 25m/s, desde una terraza de un edificio de 5 pisos (cada piso tiene 3m de alto). Hallar:

- A. El tiempo de demora en caer a la base del edificio.
- B. La velocidad con la que golpea a la tierra.

**Solución:** Los datos del problema son:

$$v_{iy} = 25 \frac{m}{s}$$

$$y_i = 15 m$$

$$y_f = 0 m$$

Para calcular el tiempo partimos de las ecuaciones ya planteadas, reemplazando los datos del problema:

$$y_f = y_i + v_{iy} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Reemplazando los valores se obtiene una ecuación de segundo grado con una incógnita, el tiempo.

$$0 = 15 + 25t - \frac{1}{2} \cdot 9,8 \cdot t^2$$

Que organizándola queda

$$-4,9t^2 + 25t + 15 = 0$$

Usando la formula general para ecuaciones cuadráticas se tiene entonces.

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Donde:

$$a = -4,9 \quad b=25 \quad c = 15$$

Llegando a dos valores de tiempo

$$t = 5,64 s \quad t = -0,54 s$$

Tomando como respuesta el tiempo positivo, el cuerpo tarda en llegar al suelo una vez es lanzado  $t = 5,64 s$ .

b. La velocidad con que golpea el suelo se puede encontrar mediante la expresión:

$$v_{fy} = v_{iy} - g \cdot t$$

Así

$$v_{fy} = 15 \frac{m}{s} - 9,8 \frac{m}{s^2} \cdot 5,64s$$

$$v_{fy} = -29.9 \text{ s}$$

El signo negativo implica que el cuerpo va hacia abajo cuando toca el suelo lo que desde luego tiene sentido.

## 5.2 Caída de un Cuerpo en un Medio Con Resistencia

Cuando un cuerpo cae en un medio actúan principalmente dos fuerzas en la dirección vertical. La primera es el peso que actúa hacia abajo, mientras que la fuerza de resistencia que se opone al movimiento apunta hacia arriba. Esto se representa en la figura 5.5, la cual muestra el diagrama de cuerpo libre para un cuerpo que cae en un medio resistivo como aire, aclarando que además de estas dos fuerzas hay una tercera que se desprecia para el aire, pero no para los líquidos, esta tercera fuerza es conocida como la *fuerza de empuje del fluido* sobre el cuerpo, que apunta verticalmente hacia arriba. Tal aproximación es válida para el aire, pero cuando la caída se da en otro medio mucho más denso como los líquidos, se debe incluir en el análisis porque es considerable e incide de forma significativa en las respuestas.

En mecánica se puede demostrar que la fuerza resistiva es directamente proporcional a la velocidad con la que el cuerpo se desplaza dentro el medio resistivo, esto significa que cuando la velocidad del cuerpo que se mueve dentro del fluido aumenta, también lo hace así la fuerza resistiva que se opone a este movimiento, llegando a igualarse con el peso del cuerpo entrando finalmente a un equilibrio estacionario donde la sumatoria de fuerzas es igual a cero. Dada la segunda ley del movimiento de Newton:

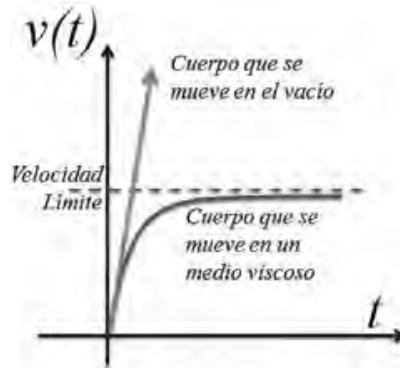
$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad [\text{Ec. 5.5}]$$



**Figura 5.5.** Caída de un cuerpo en medio viscoso.

*Diagrama de fuerzas que actúan sobre un cuerpo que cae hacia abajo en un medio resistivo como el aire.  $F_r$  representa la fuerza de resistencia del aire, mientras que  $mg$  representa el peso del cuerpo.*

Como la masa no es cero, necesariamente la aceleración vale cero lo que implica que el cuerpo se empieza a mover con velocidad constante y con las características del Movimiento Rectilíneo Uniforme; esta es la velocidad que se conoce como velocidad límite. La figura 5.4., ilustra el comportamiento en velocidad para dos cuerpos que se mueven, uno en el vacío y el otro en un medio viscoso.



**Figura 5.6.** Comportamiento en velocidad de dos cuerpos que se mueven en el vacío y en un medio viscoso.

Los cuerpos que caen en el vacío, aumentan linealmente su velocidad con el tiempo, pero cuando caen en un medio viscoso como el aire o el agua, su velocidad crece linealmente al principio pero a medida que aumenta esta velocidad, empieza a disminuir su tasa de variación hasta estabilizarse en cierto valor –velocidad límite– la cual depende de las características tanto del medio como del cuerpo que se mueve.

Experimentalmente es demostrable que la fuerza resistiva se describe en términos matemáticos mediante la expresión:

$$F_r = -bV^n \quad [\text{Ec. 5.6}]$$

*Fuerza resistiva para un cuerpo que se mueve con una velocidad  $V$  en un medio*

Donde el signo negativo significa que la fuerza resistiva es opuesta al sentido del movimiento,  $b$  es una constante que depende de las propiedades del medio y de las características físicas y geométricas del cuerpo –si es una esfera entonces el valor de  $b$  es proporcional su radio–, el exponente  $n$  igualmente se determina con la forma y el tamaño del cuerpo, tomando el valor de 1 para cuerpos muy pequeños que se mueven lentamente como una partícula de polvo en el aire; para cuerpos grandes y que se mueven más rápido, esta cantidad toma valores diferentes. Por tanto al hacer la sumatoria de fuerzas en el eje de las ordenadas –eje  $y$ – se llega a la forma:





$$\sum F_y = F_r - mg = m \cdot a$$

Con lo que:

$$bV^n - mg = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad [\text{Ec. 5.7}]$$

Que es la ecuación newtoniana de la velocidad del cuerpo en función del tiempo.

### Cálculo de la velocidad

La anterior expresión es una ecuación diferencial de primer orden cuya solución para el caso de  $n=1$ , está dada por:

$$v_{(t)} = \frac{mg}{b} \left( 1 - e^{-\frac{bt}{m}} \right) \quad [\text{Ec. 5.8}]$$

Donde  $m$  es la masa,  $b$  una constante característica del medio y del cuerpo que se mueve,  $g$  la gravedad del sitio y  $t$  el tiempo.

Al graficar la ecuación de velocidad en función del tiempo se obtiene la curva de la figura 5.7.; aquí se puede observar que inicialmente la gráfica es aproximadamente una línea recta inclinada, similar a lo que sucede en la caída libre pero luego, cuando se alcanza la velocidad límite, se vuelve horizontal, característica fundamental de un movimiento uniforme.

### Cálculo de la altura

A partir de la expresión de velocidad se puede obtener la ecuación para la altura del cuerpo. Al integrar la ecuación con respecto al tiempo se llega:

$$y_{(t)} = \frac{mg}{b} t - \frac{m^2 g}{b^2} \left( 1 - e^{-\frac{bt}{m}} \right) \quad [\text{Ec. 5.9}]$$

Esta ecuación es válida asumiendo que la altura inicial es igual a cero, es decir en  $t=0$  el cuerpo se encuentra en el lugar de referencia. Por otro lado, se puede verificar que el límite cuando  $b$  tiende a 0, que es el caso de caída en el vacío, esta ecuación se reduce a la ecuación de altura en el movimiento rectilíneo acelerado.

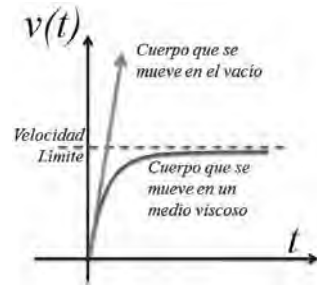


Figura 5.7. Velocidad en función del tiempo para un cuerpo que cae en un medio resistivo, partiendo desde el reposo. Fuente Propia.

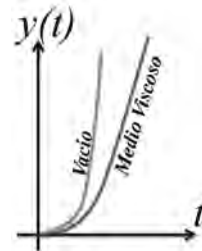


Figura 5.8. Gráfica de la altura en función del tiempo para un cuerpo que cae en un medio resistivo.

$$y(t) = \frac{gt^2}{2}$$

Al graficar la ecuación de la altura de caída en función del tiempo se llega a la figura 5.8., en la que se observa que inicialmente la gráfica es aproximadamente creciente de forma parabólica similar a un movimiento de caída libre, después de un tiempo, cuando se alcanza la velocidad límite, la altura se comporta de forma casi lineal, característica de un movimiento uniforme.

### Cálculo de la aceleración

Al derivar la ecuación de velocidad con respecto al tiempo se obtiene la ecuación de aceleración contra tiempo, quedando la expresión:

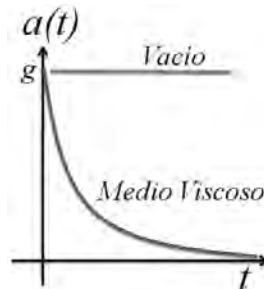
$$a = g \cdot e^{-\frac{bt}{m}} \quad [\text{Ec. 5.10}]$$

*Aceleración en función del tiempo para un cuerpo que cae en un medio resistivo, partiendo desde el reposo.*

El límite cuando  $b$  tiende a cero es el caso del vacío, donde no hay resistencia, y esta ecuación se reduce a la aceleración de la gravedad:

$$a = g$$

Al graficar la expresión de aceleración de caída en función del tiempo se obtiene la figura 5.9., donde se puede apreciar que la aceleración disminuye a medida que transcurre el tiempo, implicando que la caída se convierte en un movimiento uniforme donde la aceleración es cero.



**Figura 5.9.** Aceleración en función del tiempo para un cuerpo que cae en un medio viscoso.

Nótese que al inicio el cuerpo cae con una aceleración igual a la aceleración de la gravedad, sin embargo rápidamente cae terminando casi en una aceleración igual a cero que corresponde a la característica del movimiento rectilíneo uniforme.

### 5.3. Caída En Un Medio Viscoso

En la sección anterior se estudia el caso de un cuerpo cae en aire sin embargo, si se deja caer una piedra dentro de un estanque con agua, aparte del rozamiento entre el cuerpo y el fluido, es necesario considerar la fuerza de flotación. Esta fuerza recibe el nombre de empuje y se calcula teniendo en cuenta el principio de Arquímedes.

**Principio de Arquímedes:** Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza de empuje cuya dirección es verticalmente hacia arriba. La magnitud de esta fuerza es igual al peso del líquido desalojado por el cuerpo.

En términos matemáticos corresponde a:

$$E = \rho_l g V_s \quad [\text{Ec. 5.11}]$$

En la anterior ecuación  $\rho_L$  es la densidad del líquido,  $g$  es la gravedad y  $V_s$  es el volumen sumergido dentro del fluido –se asume una esfera que cae dentro del fluido como se muestra en la figura 5.10.–. Para calcular la posición, velocidad y aceleración del cuerpo se parte de la segunda ley del movimiento de Newton.

$$\sum F_y = F_r + E - mg = ma$$

Donde  $F_r$  es la fuerza resistiva y reemplazando las expresiones se llega a:

$$bv + \rho_l g V_s - mg = ma$$

Con la aceleración de la caída igual a la primera derivada de la función velocidad

$$bv + \rho_l g V_s - mg = m \frac{dv}{dt}$$

La constante  $b$  que está presente en la fuerza de resistencia se calcula mediante la ley de Stokes, así para la esfera considerada de radio  $R$ :

$$b = 6\pi R\eta$$

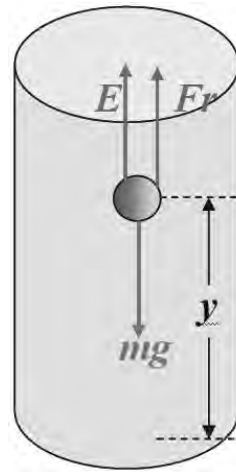


Figura 5.10. Esfera cayendo dentro de un líquido.



Donde  $\eta$  es la viscosidad –oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, esto es la oposición a dejarse mover– del fluido. Reemplazando este valor en ecuación se obtiene:

$$6\pi R\eta v + \rho_L g V_s - mg = m \frac{dv}{dt}$$

La solución de esta ecuación involucra separación las variables e integración a ambos lados, con la condición de frontera que en  $t=0$  la velocidad es igual a cero; finalmente se tiene entonces que:

$$v(t) = v_{lim} \left( 1 - e^{-\frac{bt}{m}} \right) \quad [\text{Ec.5.12}]$$

La velocidad límite se obtiene cuando la velocidad es constante y su derivada es por lo tanto igual a cero.

$$bv + \rho_L g V_s - mg = 0$$

Despejando la velocidad se obtiene:

$$v_{lim} = \frac{mg - \rho_L g V_s}{b}$$

Pero la masa del cuerpo se puede expresar en términos de su volumen y densidad.

$$v_{lim} = \frac{\rho V g - \rho_L g V_s}{b}$$

Con la densidad del cuerpo y  $V$  su volumen, siendo este último igual al volumen de líquido desalojado.

$$v_{lim} = \frac{(\rho - \rho_L) g V}{6\pi R\eta}$$

Y dado que el cuerpo que cae es una esfera entonces

$$v_{lim} = \frac{(\rho - \rho_L)g}{6\pi R\eta} \frac{4}{3}\pi R^3$$

Simplificando la última expresión se llega finalmente a:

$$v_{lim} = \frac{2gR^2(\rho - \rho_L)}{9\eta} \quad [\text{Ec.5.13}]$$

En esta ecuación se puede apreciar que para un mismo material, la velocidad límite aumenta de forma proporcional al cuadrado de su radio. Así mismo entre más viscoso sea el líquido en el cual se encuentra sumergida, más lento se moverá la esfera.

Adicionalmente para hallar la posición, se integra con respecto al tiempo, obteniendo:

$$y(t) = v_{lim}t - \frac{m}{b}v_{lim}\left(1 - e^{-\frac{bt}{m}}\right) \quad [\text{Ec. 5.14}]$$

Por último, su aceleración resulta de derivar la velocidad con respecto al tiempo, por tanto:

$$a(t) = \frac{b}{m}v_{lim}e^{-\frac{bt}{m}} \quad [\text{Ec. 5.15}]$$

En  $t=0$ , esta aceleración es:

$$a(t) = \frac{b}{m}v_{lim}e^0$$

Que es:

$$a(t) = \frac{b}{m}v_{lim} \quad [\text{Ec. 5.16}]$$

A partir de la expresión para velocidad límite demostrada anteriormente.

$$v_{lim} = \frac{6\pi R\eta}{m} \frac{2gR^2(\rho - \rho_L)}{9\eta}$$

**VISCOSIDAD EN ACEITES PARA MOTORES A COMBUSTIÓN**



<http://www.nauticanova.es>  
**Figura 5.11. Gota de Aceite**

El aceite en un motor cumple con dos funciones importantes; reducir el rozamiento o fricción para optimizar la duración de los componentes evitando un el desgaste innecesario y reducir el calentamiento de los elementos del motor que se mueven unos con respecto a otros. Entre las características que debe tener un buen aceite para motor están que tenga un adecuado coeficiente de viscosidad y que sus características sean invariantes con el tiempo, la temperatura y las altas presiones.

Los fabricantes clasifican los aceites con un estándar propio denominado SAE (Society of Automotive Engineers) y uno o dos números que se basan en la viscosidad de los aceites a 100° C, presentando dos escalas: una de baja temperatura (de 0 hasta 25) y otra de alta temperatura (de 20 a 60). La letra "W" significa "Winter", así un aceite SAE 20W40 a bajas temperaturas tiene una viscosidad de 20pc y a altas temperaturas su viscosidad llega hasta 40pc.



Simplificando y reduciendo esta ecuación

$$v_{lim} = \frac{6\pi R^2 g (\rho - \rho_L)}{9m}$$

Con lo que se llega a la ecuación 5.17.

$$v_{lim} = \frac{4\pi R^3 g (\rho - \rho_L)}{3m} \quad [\text{Ec. 5.17}]$$

Factorizando de esta última expresión la densidad del cuerpo y a partir de la expresión para la densidad de un cuerpo se obtiene fácilmente:

$$a = g \left( 1 - \frac{\rho_L}{\rho} \right) \quad [\text{Ec. 5.18}]$$

Es posible notar que si la densidad del líquido es igual a la del cuerpo no hay aceleración, es decir que el cuerpo no se mueve o lo hace a velocidad constante. Por otro lado si la densidad de líquido es mayor a la del cuerpo se obtiene un valor negativo y el cuerpo se acelera hacia arriba hasta alcanzar la superficie. Por último si la densidad del líquido es menor a la del cuerpo se obtiene una aceleración hacia abajo menor a la gravedad como era de suponerse debido tanto a la fuerza de empuje que se opone al peso como a la viscosidad.

# Preguntas y Ejercicios de Caída de los Cuerpos

## Preguntas

---

1. ¿Por qué si existe una fuerza de atracción entre la Tierra y la Luna, esta última no cae?
2. Enuncie algunas evidencias experimentales que entre la Tierra y la Luna existe una fuerza de atracción
2. Explique el principio del funcionamiento de un paracaídas mientras cae en la Tierra; ¿funcionaría en la Luna?
3. De razones sustentadas del por qué los cuerpos más pesados tienden a caer primero en el aire.
4. ¿En la caída libre cuándo la aceleración es opuesta a la velocidad? ¿Cuándo van en la misma dirección?
5. Cuando un cuerpo cae desde un avión que está a volando a una altura de 1 km, ¿se puede tomar la gravedad como constante en todo el recorrido?
6. Cuando se deja caer una pelota desde una determinada altura y esta rebota contra el suelo, ¿por qué no sube hasta la misma altura?
7. Explique por qué dos cuerpos de diferente masa que son soltados simultáneamente cerca a la superficie de la Luna, caen con las mismas características.
8. Es un hecho que cuando nos acercamos al centro de la Tierra, la fuerza gravitacional varía. Explique este hecho y la forma en que ocurre esta variación.
9. Explique de forma amplia y generosa la manera en que se mueve un ladrillo que se deja caer en una piscina.
10. Con respecto a la situación anterior y comparándola con un cuerpo que cae en el aire, ¿dónde es mayor la gravedad?
11. Qué relación se puede establecer entre la fuerza de resistencia que ofrece un medio al movimiento de un cuerpo y la densidad del medio viscoso.
12. Si se deja caer una bola de icopor y otra de madera de igual radio, al mismo tiempo ¿Cuál caerá primero? ¿Por qué?
13. Qué implicaciones tiene para el movimiento de cuerpos que se mueven en medios viscosos como el aire o el agua, la forma que tienen.
14. ¿Cómo es posible calcular la masa de la Tierra?

## Ejercicios

*A menos que se especifique claramente lo contrario, en los siguientes problemas, considere que los objetos son lanzados o dejados caer en medios NO viscosos y de densidad cero para no considerar el efecto de la resistencia dinámica al movimiento,*

1. Una bola se lanza hacia arriba con una velocidad inicial de 40 m/s, determinar:
  - A. El tiempo total que demora en volver al mismo punto.
  - B. La altura máxima alcanzada por la bola
  
2. Una persona deja caer un balde dentro un pozo de 20 m de profundidad. Si la velocidad del sonido es aproximadamente 340 m/s, ¿Cuánto tiempo demora en escuchar el sonido una vez liberado el balde.



<http://www.freepik.es>

3. Posteriormente esta persona quiere medir la profundidad de un pozo, para eso deja caer simplemente el balde y este toca el fondo tres segundos después. Planteado lo anterior, ¿cuál sería la profundidad del pozo?
  
4. Con respecto al problema anterior, suponga ahora que la persona escucha cuando el balde golpea el fondo tres segundos después. Para esta nueva condición determinar la profundidad del pozo.
  
5. Un cuerpo de 4kg es lanzado verticalmente hacia arriba con una rapidez inicial de 60 m/s. La fuerza resistente del aire es de magnitud:

$$f = \frac{3}{100} v$$

Calcular:



- A. El tiempo que demora el cuerpo en alcanzar la altura máxima
- B. El valor de esta altura máxima

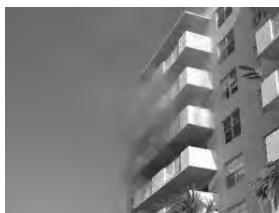
Recomendación  $\int \frac{dx}{ax+b} = \ln(ax + b)$

- 6. Se deja caer una pelota desde la parte alta de un edificio, si tarda 5 s en llegar al piso ¿Cuál es la altura del edificio? ¿Con qué velocidad llega al piso?
- 7. Se deja caer un objeto desde la terraza de un edificio. Cuando pasa junto a una ventana, de 2 m de altura, por debajo del punto inicial, se observa que el objeto invierte 0,30 s en recorrer la altura de la ventana.



<http://cosadeinformatica.blogspot.com>

- A. ¿Qué velocidad llevaba en lo alto de la ventana?
- B. ¿Cuál es la altura del edificio, si el borde inferior de la ventana está a 6 metros del suelo?
- 8. Usted está parado en la calle y observa que a su hermana se le cayó una pelota desde una ventana que está situada 450 m de altura. ¿Con qué velocidad debe correr para atrapar la pelota a una altura de 1m si está a una distancia de 30 m del pie del edificio?
- 9. Usted se encuentra en la terraza de un edificio de 89 pisos –cada piso es de tres metros–. En el piso 32 ocurre un incendio, no hay posibilidad de llamar a los bomberos, el ascensor está bloqueado y no se puede subir ni bajar escaleras; un amigo suyo está en el piso 15 asomado por la ventana mirando hacia arriba exactamente en la línea de caída. Usted en la desesperación decide lanzar bombas con agua hacia abajo con una velocidad de 15 m/s.



<http://tumundovirtual.wordpress.com>



- A. ¿Cuánto tiempo tiene su amigo para evitar que le caiga una bomba encima?  
B. Si su amigo permanece asomado, ¿Con qué velocidad lo golpea la bomba?
10. La tabla muestra el valor de gravedad en algunos planetas y en la Luna.

Objeto	Gravedad ( $m/s^2$ )
Mercurio	3,70
Tierra	9,8
Luna	1,6
Marte	3,7
Júpiter	26,4
Saturno	11,7

Para cada uno determine cuánto tarda en caer un cuerpo a 100 m por encima de su superficie.

11. Un cañón lanza verticalmente hacia arriba una bala de 2kg en el aire a una velocidad de 800 km/h, dadas estas condiciones determine el tiempo que tarda la bala en subir, la altura máxima que alcanza la bala en el recorrido y el tiempo que le toma a la bala regresar a la Tierra.
12. Luisa Lane es dejada caer desde el piso 102 del Empire State en la ciudad de New York cuando pasa frente a la ventana donde se encuentra Clark Kent quien inmediatamente la ve, se convierte en Superman y empieza su persecución para alcanzarla.
- A. Si debe atraparla un instante antes de que Luisa toque el suelo, con qué aceleración constante debe volar Superman para rescatarla.  
B. Si Clark tarda 2 segundos en transformarse en Superman y empezar a volar, con qué aceleración debe moverse para alcanzar a Luisa justo antes de que toque el suelo.

## 5.4. Laboratorio de Caída de los Cuerpos

A continuación se proponen una serie de prácticas de laboratorio tanto virtuales como remotas que buscan la reconstrucción de saberes relacionados con la comprensión del conocimiento científico en física, la solución de problemas contextualizados y el método científico como herramienta para la investigación. Recuerde programar su agenda para no congestionar la plataforma y teniendo en cuenta el cronograma de actividades del plan de asignatura, hacer las reservas de los equipos para las prácticas remotas con suficiente tiempo.

### Fase Preparatoria

Lea con cuidado el siguiente contenido, en él recordará algunos conceptos y categorías importantes tratadas en el libro y en clase

---

#### Recordemos

La caída de los cuerpos ha tomado importancia desde tiempos antiguos, su naturaleza y características ha inspirado a muchos pensadores; a continuación se plantean algunos de sus argumentos.

#### POSTULADOS DE ARISTÓTELES (350 a.C.)



<http://www.venamimundo.com>

**Figura 1.** Aristóteles

### NO EXISTE EL VACÍO...

1. Todo cuerpo tiende a moverse con menos velocidad entre más sea la resistencia del medio en que se mueve, por lo tanto NO existe el vacío porque la velocidad del cuerpo sería infinita.



#### ¿Y TU QUE PIENSAS?

*Piensa un momento en lo que hay fuera del planeta. ¿Hay aire fuera de la Tierra? ¿En la luna podrías respirar normalmente? Entonces, ¿Existe o no existe el vacío?*

### EL MOVIMIENTO NATURAL

2. Todo cuerpo tiende a moverse a su “lugar natural”. Por ejemplo, el humo tiende a moverse hacia arriba por ser este su lugar natural; mientras otros se mueven naturalmente hacia abajo y por esto caen; y no se necesita ninguna fuerza para que se muevan hacia su lugar natural.



#### ¿Y TU QUE PIENSAS?

*Recoge un libro pesado y pon tu mano entre el libro y la mesa. ¿Qué sientes sobre tu mano? ¿Es esto una fuerza? ¿Qué es lo que empuja el libro hacia abajo? Entonces, ¿Ninguna fuerza hace que se mueva hacia abajo?*

### EL MOVIMIENTO VIOLENTO

3. Para mover un cuerpo en contra a su lugar natural es necesario aplicarle una fuerza; esto se llama movimiento violento. Así que para levantar una piedra hacia arriba, es decir en contra de su lugar natural es necesario aplicar una fuerza. Pero cuando esta cae no actúa ninguna fuerza.



#### ¿Y TU QUE PIENSAS?

*Si lanzas un objeto para que se deslice sobre la pista de hielo. ¿Por qué se detiene? ¿Sería posible que siguiera indefinidamente? Entonces, ¿Es siempre necesario aplicarle una fuerza para mover un cuerpo?*

“Aristóteles vs. Galileo” escrito por María Inés Aguilar, Mariana Ceraolo y Mónica Pose

Fragmento tomado de <http://www.cienciaredcreativa.org/informes/caida%202.pdf>

*Durante siglos la idea de que la Tierra estaba en su lugar natural de reposo fue muy aceptada y, ya que ponerla en movimiento requería de una enorme fuerza, lo más lógico era pensar que la Tierra no se movía, sino que el resto del universo se movía alrededor de ella. De esta manera, el Sol era el que giraba alrededor de la Tierra. Este punto de vista de Aristóteles perduró hasta el tiempo de Copérnico aproximadamente en el año 1.500 d.C. quien afirmó que era la Tierra la que se movía alrededor del sol. Toda la física que se conocía hasta el momento era deducida a partir de la lógica y se llegó a conclusiones erróneas, hasta que apareció Galileo Galilei, quien por primera vez hizo experimentos para deducir las leyes del movimiento.*

## POSTULADOS DE GALILEO GALILEI (1.600 d.C)



[http://es.wikipedia.org/wiki/Galileo\\_Galilei](http://es.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei)

**Figura 2.** Galileo Galilei

### NO SE NECESITA FUERZA PARA MANTENER UN OBJETO EN MOVIMIENTO

1. En ausencia de rozamiento no se necesita aplicar una fuerza para que un cuerpo se mueva indefinidamente.



#### **¿Y TU QUE PIENSAS?**

*Si dejas rodar una pelota por un plano inclinado, ¿Por qué se detiene al llegar a la superficie plana? ¿Cómo se puede hacer que la pelota siga moviéndose indefinidamente? ¿Es necesario aplicarle una fuerza?*

### TODO CUERPO TIENDE A CONSERVAR SU ESTADO DE MOVIMIENTO

2. Todo cuerpo se resiste a cambiar su estado de movimiento. Por ejemplo un cuerpo en reposo presenta una resistencia a moverse; así mismo todo cuerpo en movimiento presenta resistencia a detenerse. Esta resistencia se llama inercia.



#### **¿Y TU QUE PIENSAS?**

*Cuando estás en un bus que de repente empieza a moverse, ¿Qué te sucede? Y una vez el bus está en movimiento y frena ¿Qué te sucede? ¿Qué puedes concluir de estas experiencias?*

### LOS CUERPOS CAEN SIN IMPORTAR SU MASA

3. En ausencia de aire, una pluma caerá al mismo tiempo y con la misma velocidad que una piedra. Esto sucede aunque tengan masas diferentes.



### ¿Y TU QUE PIENSAS?

*Toma un lapicero y una hoja de papel y déjalos caer al mismo tiempo ¿Cuál de los dos cae primero? ¿Cómo explicas lo anterior? Ahora, toma el papel, arrúgalo y déjalos caer de nuevo. ¿Cuál cae primero? ¿Concluyes que el tiempo de caída depende de la masa o no?*

### POSTULADOS DE ISAAC NEWTON (1685 d.C.)



<http://www.biografiasyvidas.com>

**Figura 3.** Sir. Isaac Newton

#### LEY DE INERCIA

1. Todo cuerpo tiende a conservar su estado de movimiento o de reposo, a no ser que actúe una fuerza externa sobre él.



### ¿Y TU QUE PIENSAS?

*Piensa que tienes que hacer para mover una caja ¿Cómo es la forma para lograrlo? ¿Qué debes aplicarle a la caja? Por otro lado, si un carro frena ¿Qué hace que este pare? ¿Qué pasaría si no hubiera rozamiento?*

#### LEY DEL MOVIMIENTO

2. Todo cuerpo al cual se le aplique una fuerza, acelera de forma proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a su masa. Esta ley se enuncia como:

$$\text{Fuerza neta} = \text{masa} \times \text{aceleración}$$



### ¿Y TU QUE PIENSAS?

*Cuando vas al supermercado y empujas el carrito de compras ¿Cuándo acelera más el carrito?, ¿cuando está vacío o cuando está lleno? ¿Es decir que la aceleración aumenta o disminuye con la masa? Si deseas que el carro acelere más, ¿Debes aplicar más o menos fuerza?*

### LEY DE ACCIÓN Y REACCIÓN

3. A toda fuerza de acción le corresponde otra fuerza de reacción de igual magnitud y sentido contrario.



#### ¿Y TU QUE PIENSAS?

*Cuando le pegas a una puntilla con el martillo, ¿Hacia dónde se mueve la puntilla? Quién la empuja en esa dirección y ¿hacia dónde se mueve el martillo después? ¿Quién lo empuja? Entonces, ¿cuál es la fuerza de acción y cual la de reacción?*

### Actividades

Elabore un pequeño informe sobre los siguientes conceptos matemáticos y físicos, compartiendo sus desarrollos en un foro o una Wiki. Puede trabajar con sus compañeros de curso o si lo prefiere, previa autorización del docente, formar un equipo de trabajo con compañeros de las otras universidades.

Los conceptos y categorías a desarrollar son:

1. Fuerza, masa, peso –ecuaciones y consideraciones especiales–.
2. La ley de inercia, ley del movimiento y ley de acción y reacción.
3. La caída de los cuerpos en el vacío.

## Fase Experimental

A continuación usted va a realizar un conjunto de prácticas virtuales y remotas con el fin de poner en acción la construcción conceptual y categorial de los saberes. Esto también le permitirá afianzar lo comprendido, incrementando la capacidad para dar respuesta a situaciones cada vez más complejas dentro del pensamiento científico en física.

## Objetivos

Con el presente conjunto de prácticas de laboratorio, se busca que el alumno adquiera los siguientes desempeños de competencia:

- ☑ Establece críticamente las condiciones necesarias para considerar la caída de un cuerpo como un movimiento de caída libre, e igualmente predice el comportamiento del cuerpo en cualquier instante de tiempo.
- ☑ Describe de forma gráfica y analítica el comportamiento de objetos que caen en el aire o en otros medio viscosos.
- ☑ Comprende las implicaciones de la aceleración gravitacional que una masa planetaria ejerce sobre el movimiento de un cuerpo cerca a su superficie.

## Práctica de Laboratorio Virtual

Ingrese a la página oficial de PHYSILAB, [www.physilab.edu.co](http://www.physilab.edu.co) y en la barra de estado, ingrese a la sección de “**Simulaciones**” para desarrollar la práctica virtual

### CAÍDA DE LOS CUERPOS



**Figura 4.** Pantalla de la página WEB para las simulaciones virtuales.

Una vez se cargue el plugging debe ver una pantalla similar a la que se muestra a continuación.



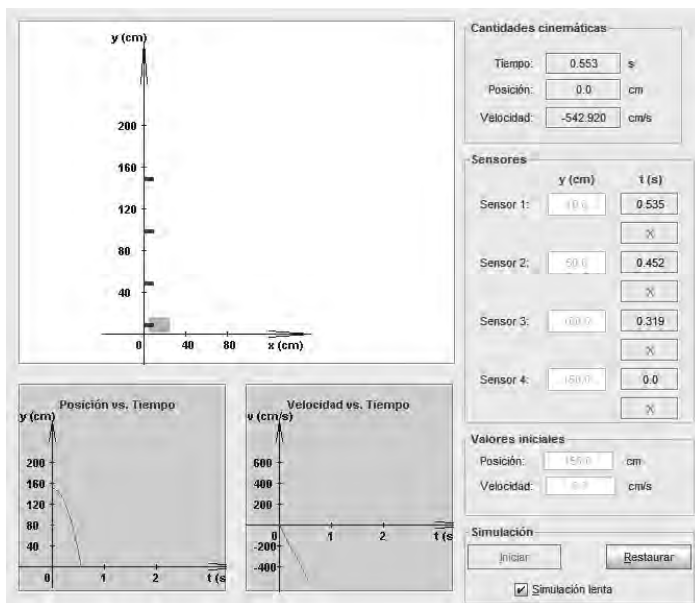


Figura 5. Applet para el movimiento vertical.

El sistema representa un disparador que lanza verticalmente un objeto desde el suelo con cierta velocidad inicial; tanto la posición de disparo como la velocidad del lanzamiento se pueden cambiar. A lo largo de la trayectoria se tienen una serie de sensores que determinan el tiempo según la altura a la que se coloquen. Finalmente en la parte inferior izquierda están las representaciones gráficas para la posición y la velocidad en función del tiempo del movimiento.

### Práctica Virtual A. Caída Libre variando La Altura

- A.1. Corra la simulación de la caída de los cuerpos en el vacío para una altura determinada. Observe las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída.
- A.2. Duplique y triplique la altura de caída y corra de nuevo la simulación. Observe las gráficas obtenidas.

### Preguntas

1. Explique cómo cambiaron las gráficas de aceleración, velocidad final distancia y tiempo de caída al duplicar y/o triplicar la altura.



2. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en la velocidad final? Establezca el tipo de relación.
3. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en la aceleración? Establezca el tipo de relación.
4. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en la distancia? Establezca el tipo de relación.
5. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en el tiempo de caída? Establezca el tipo de relación.

### Práctica Virtual B. Caída Libre variando la velocidad inicial

- B.1. Corra la simulación con una velocidad inicial de cero. Observe las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída.
- B.2. Corra de nuevo la simulación con velocidades de 200 cm/s y 400 cm/s tanto positivos como negativos. Observe las gráficas obtenidas.

#### Preguntas

1. Explique cómo cambiaron las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída al cambiar la velocidad a 200 cm/s, 400 cm/s, -200 cm/s y -400 cm/s.
2. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en la velocidad final? Establezca el tipo de relación.
3. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en la aceleración? Establezca el tipo de relación.
4. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en la distancia? Establezca el tipo de relación.
5. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en el tiempo de caída? Establezca el tipo de relación.

### Práctica Virtual C. Variando la Gravedad.

- C.1. Corra la simulación con la aceleración de la gravedad de la tierra  $9,8\text{m/s}^2$ . Observe las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída.
- C.2. Cambie la aceleración de la gravedad al doble y después a la mitad. Observe las gráficas obtenidas.

#### Preguntas

1. Explique cómo cambiaron las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída al cambiar la aceleración de la gravedad al doble y a la mitad.
2. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la gravedad en la velocidad final? Establezca el tipo de relación.
3. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la gravedad en la distancia? Establezca el tipo de relación.



4. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la gravedad en el tiempo de caída? Establezca el tipo de relación.

### **Práctica Virtual D. Caída en medio resistivo cambiando el medio.**

- D.1. Corra la simulación de la caída de los cuerpos en el vacío con velocidad inicial cero. Observe las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída.
- D.2. Cambie el medio de resistencia a agua y aceite. Observe la gráficas obtenidas.

#### **Preguntas**

1. Explique cómo cambiaron las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída al cambiar el medio a agua y a aceite.
2. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la resistencia de caída del medio, en la velocidad final? Establezca el tipo de relación.
3. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la resistencia de caída del medio, en la distancia? Establezca el tipo de relación.
4. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la resistencia de caída del medio, en el tiempo de caída? Establezca el tipo de relación.

### **Práctica Virtual E. Caída en Medio Resistivo variando la Altura**

- E.1. Corra la simulación de la caída de los cuerpos en agua. Observe las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída.
- E.2. Duplique la altura de caída y triplique la altura inicial. Corra la simulación y observe las gráficas obtenidas.

#### **Preguntas**

1. Explique cómo cambiaron las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída al duplicar y triplicar la altura.
2. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en la velocidad final? Establezca el tipo de relación.
3. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en la aceleración? Establezca el tipo de relación.
4. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en la distancia? Establezca el tipo de relación.
5. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la altura de caída en el tiempo de caída? Establezca el tipo de relación.

## F. Práctica Virtual F. Caída en Medio Resistivo variando la Velocidad Inicial.

- F.1. Corra la simulación de la caída de los cuerpos en agua con una velocidad inicial de cero. Observe las gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída.
- F.2. Corra de nuevo la simulación con velocidades de 200cm/s y 400cm/s tanto positivas como negativas. Observe la gráficas obtenidas.

### Preguntas

1. Expliqué cómo cambiaron la gráficas de aceleración, velocidad final, distancia y tiempo de caída al cambiar la velocidad a 200cm/s, 400cm/s, -200cm/s y -400cm/s.
2. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en la velocidad final? Establezca el tipo de relación.
3. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en la aceleración? Establezca el tipo de relación.
4. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en la distancia? Establezca el tipo de relación.
5. ¿Qué puede concluir sobre la influencia de la velocidad inicial en el tiempo de caída? Establezca el tipo de relación.

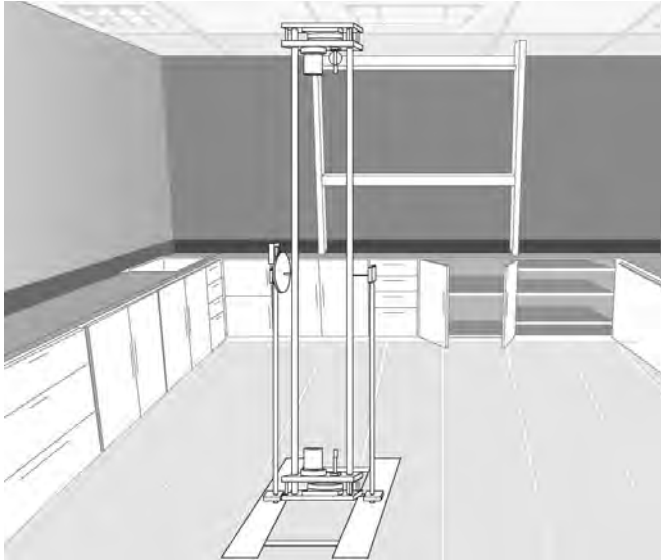
## Práctica de Laboratorio Remoto

Usted va a encontrar en la Universidad Católica de Manizales un montaje que consiste en un tubo transparente, unos sensores y unos actuadores con los cuales usted puede interactuar de manera REAL, pero a distancia. Recuerde que para utilizarlos, debe realizar previamente la reserva de equipos. Para iniciar entre al sistema proporcionando nombre y clave dada previamente por el administrador.



Figura 6. Pantalla de control de acceso al laboratorio remoto

Una vez allí, ingrese a [Laboratorios](#) y finalmente a los laboratorios de la [UCM](#), donde encontrará un tubo transparente acompañado de unos sensores, actuadores y cámaras de video. El tubo de caída está hecho de material transparente y hace la función de aislar la caída de los objetos del medio para evitar turbulencias, vientos y demás factores que puedan incidir en las mediciones.



*Figura 7. Applet para el movimiento vertical.*

Mediante un sistema se suelta la esfera que cae dentro de un tubo transparente, a lo largo del cual hay sensores que detectan el tiempo transcurrido para llegar a una altura determinada. Estos sensores se pueden mover a lo largo del tubo para ajustar la posición deseada. Usted puede controlar el material de la esfera que se lanza y las alturas a las cuales se medirán los tiempos, esto con el fin de realizar la experiencia en diferentes escenarios y corroborar los principios físicos que explican y predicen el comportamiento de los objetos que caen en condiciones reales.

El sistema cuenta con tres sensores de tiempo que se pueden mover libremente dentro de un rango definido y que se muestra en la tabla.

**Tabla 1.**

Sensor	Posición Mínima	Posición Máxima
S01	150	160
S02	90	120
S03	20	60

Usted debe tener en cuenta estos datos en las prácticas que desarrolle con el tubo de caída.

## Test de Diagnóstico del Sistema.

Va a probar que el sistema funciona correctamente y que tiene control sobre los diferentes elementos y dispositivos con que cuenta la práctica.

**Protocolo 1. Cámara.** Revise que tenga una buena calidad de video, mueva la cámara y obtenga la visual de todo el tubo de caída.

**Protocolo 2. Sistema de liberación.** Accione el motor de tal forma que la esfera se pueda liberar desde su posición inicial.

**Protocolo 3. Variación del material.** Cambie una esfera por otra de diferente material de forma que verifique el funcionamiento adecuado y que corresponde al material solicitado.

**Protocolo 4. Sensores.** Cambie la posición de los sensores de tiempo, corrobore que el valor solicitado corresponde con la posición real donde se ubique finalmente el sensor, sírvase de la cámara para esto.

**Protocolo 5.** Libere la esfera con los sensores en diversas alturas, asegúrese que el sistema le entregue valores.

Si uno de estos protocolos no se cumple, usted no puede realizar la práctica de laboratorio y debe comunicarse con el administrador del sistema a través del correo que se encuentra en la plataforma. Después de corroborar que el sistema funciona correctamente, usted va a desarrollar una serie de pruebas para comprobar los principios físicos del movimiento de caída de los cuerpos.

## Practica Remota 1

- 1.1. Solicite que el cuerpo a trabajar sea el balón
- 1.2. Ubique el primer sensor de tiempo a 150 cm del suelo y manténgalo fijo en esa posición. (Use la cámara para verificar la posición de los sensores)
- 1.3. Fije los demás sensores en otras posiciones tomando nota del sitio y consignándolo en la parte superior de la tabla.
- 1.4. Para la primera posición del actuador deje caer el balón, capture las medidas de tiempo y consígnelas en la tabla

Tabla 2

<b>Material</b>				
<b>Altura (m)</b>	$y=1,5m$	$y=$	$y=$	$y=$
<b>Tiempo (s)</b>	$t=$	$t=$	$t=$	$t=$

- 1.5. Obtenga la gráfica de posición contra tiempo para las cuatro posiciones, use la cuadrícula anexa especificando para cada eje la escala utilizada

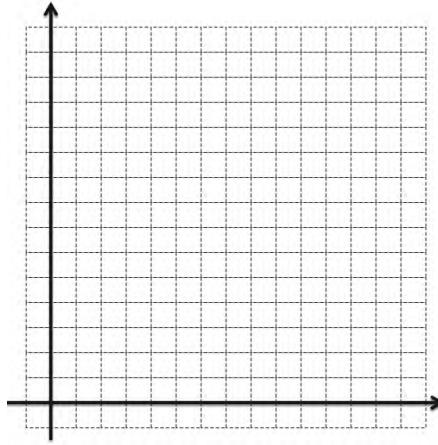


Figura 8. Gráfica de la posición contra el tiempo para la caída de un cuerpo.

- 1.6. Determine la forma de la gráfica anterior. ¿Qué tipo de movimiento es? ¿Se aproxima a movimiento de caída libre o caída en un medio con resistencia?
- 1.7. Utilice los datos obtenidos anteriormente para calcular los datos de velocidad final. Llene la siguiente tabla con los resultados obtenidos.

Tabla 3

<b>Material</b>				
<b>Tiempo (s)</b>	$t=$	$t=$	$t=$	$t=$
<b>Velocidad (m/s)</b>	$V=$	$V=$	$V=$	$V=$

- 1.8. Obtenga la gráfica de velocidad contra tiempo, use la cuadrícula anexa especificando para cada eje la escala utilizada.

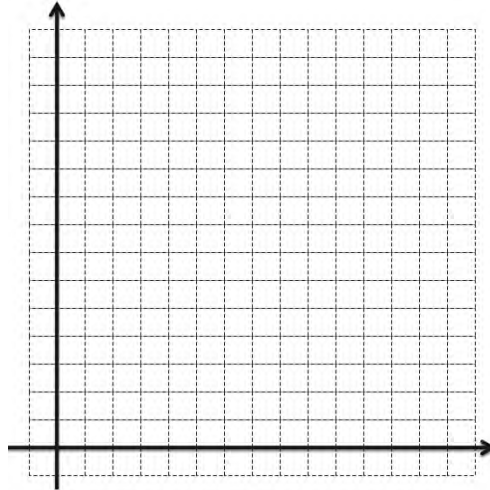


Figura 9. Gráfica de velocidad contra tiempo de un cuerpo que cae.

- 1.9. Determine la forma de la gráfica anterior. ¿Qué tipo de movimiento es? ¿Se aproxima a movimiento de caída libre o caída en un medio con resistencia?
- 1.10. Obtenga una regresión en matemática con el conjunto de datos y estime la función que mejor representa los valores mostrados en la gráfica, de igual forma estime el error de las medidas y consigne estos valores en el siguiente esquema.

$$V(t) = \text{_____} + \text{_____}t$$

Donde el primer y segundo espacio corresponde al término independiente y a la pendiente de la ecuación obtenida por regresión. Finalmente compárela con la forma general para la posición en movimiento uniformes rectilíneos.

$$V_f = V_o + gt$$

- 1.11. ¿Cuál es el valor de la aceleración de la gravedad en Manizales? Obtenga sus propias conclusiones sobre si la caída es libre o si es en medio de resistencia. Relacione esta conclusión con los análisis hechos para las gráficas anteriores.
- 1.12. Cambie la posición de los sensores, y repita la práctica en todos sus puntos. ¿Se obtiene el mismo valor para la gravedad? ¿Qué indica esto?

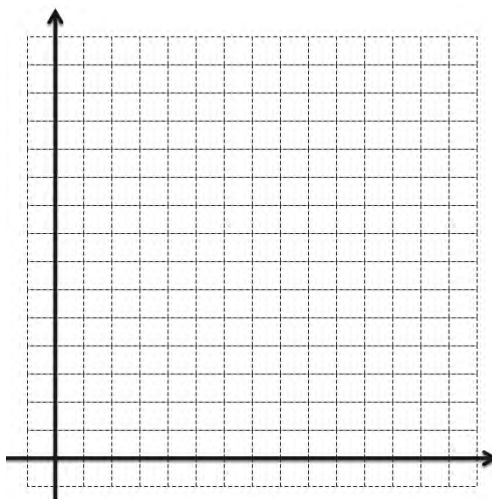


### Práctica Remota 2.

- 2.1. Cambie el balón por la esfera de madera.
- 2.2. Repita los puntos 1.2 hasta 1.12 de práctica 1.
- 2.3. ¿El valor obtenido de la aceleración de la gravedad en Manizales es el mismo que el obtenido para el balón?, ¿Qué indica esto?, ¿El movimiento se puede aproximar a una caída libre?

### Práctica Remota 3.

- 3.1. Cambie la esfera de madera por la bola de icopor.
- 3.2. Repita los puntos 1.2 hasta 1.12 de la práctica 1.
- 3.3. ¿El valor obtenido de la aceleración de la gravedad en Manizales es el mismo que el obtenido para el balón?, ¿Qué indica esto?, ¿El movimiento se puede aproximar a una caída libre?
- 3.4. Grafique en un solo plano, las alturas de caída contra tiempo para los cuerpos 1, 2 y 3. Use la cuadrícula anexa especificando para cada eje la escala utilizada



**Figura 10.** Altura contra tiempo para cuerpos que caen.



- 3.5. ¿Cuál está por encima de todas?, ¿Cuál está por debajo?, ¿Qué se puede concluir?
- 3.6. Grafique en un solo plano las velocidades contra tiempo para los cuerpos 1, 2 y 3. Use la cuadrícula anexa especificando para cada eje la escala utilizada
- 3.7. ¿Cuál está por encima de todas? ¿Cuál está por debajo? ¿Qué se puede concluir?
- 3.8. Saque sus propias conclusiones de toda la práctica.