

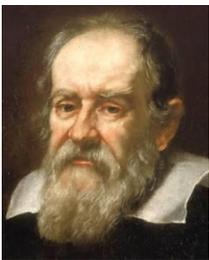


## Caída Libre y Caída con Roce

### Objetivo

Estudiar el movimiento de un cuerpo en caída libre y el efecto que produce una fuerza de roce viscoso sobre éste.

### Introducción



Galileo Galilei  
(1564-1642)

El italiano *Galileo Galilei* originó las ideas actuales en relación a la caída de objetos. Formuló que todos los objetos que se dejen caer cerca de la superficie de la Tierra se encuentran bajo la misma influencia terrestre, la gravedad, y además, en ausencia de la resistencia del aire, caen hacia ésta con la misma aceleración constante.

Un objeto en caída libre es aquel que se mueve únicamente bajo la influencia de la *Fuerza de gravedad*, cualesquiera sean sus condiciones iniciales de movimiento. Los objetos lanzados hacia arriba o hacia abajo, así como los que se dejan caer desde el reposo, caen todos libremente una vez que son liberados.

Denotaremos la magnitud de la aceleración en caída libre por el símbolo  $g$  (aceleración de gravedad). En la superficie de la Tierra, el valor de  $g$  es aproximadamente  $9,8 \text{ m/s}^2$ .

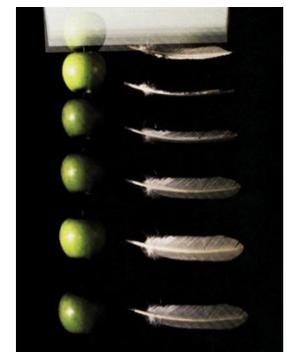
El movimiento de un objeto en caída libre equivale al *movimiento en una dimensión bajo aceleración constante*. Por lo tanto, las ecuaciones de posición (1) y velocidad (2) en función del tiempo que describen este movimiento son las siguientes:

$$y(t) = y_i + v_{yi}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

$$v(t) = v_{yi} - gt \quad (2)$$

donde  $y_i$  y  $v_{yi}$  son la posición y velocidad iniciales, respectivamente; notar que considerar negativa la aceleración de gravedad implica que los desplazamientos hacia arriba se consideran positivos.

A pesar de que las ecuaciones nos muestran que la aceleración debida a la fuerza de gravedad para todos los cuerpos en caída libre cerca de la superficie de la Tierra es constante e independiente de su masa, esta afirmación podría parecernos cuestionable cuando comparamos la caída de una hoja de papel con la de una piedra. Esto se debe a que en las ecuaciones anteriores no se considera el efecto del roce con el aire.



Caída de una manzana y una pluma en un medio sin roce.



Al estudiar la caída de objetos, se percibe que el efecto del roce es significativo, en especial en objetos con mayor relación “área superficial/masa” o en medios de mayor viscosidad, y por lo tanto, no se puede despreciar. La descripción del movimiento de un cuerpo en un fluido considera esta fuerza de roce.

Para describir el movimiento del cuerpo dentro del fluido debemos conocer todas las fuerzas que actúan sobre él para luego obtener las ecuaciones de movimiento utilizando la segunda ley de Newton. Comenzaremos por modelar el efecto del roce del agua sobre el cuerpo sumergido como una fuerza proporcional a la velocidad de caída del cuerpo. Esto es:

$$F_{roce} = bv \quad (6)$$

donde  $b$  es una constante y  $v$  la velocidad del cuerpo dentro del fluido. Además, sobre el cuerpo sumergido actúa la fuerza de empuje  $E$  y la fuerza peso  $P$ , donde el empuje está dado por el principio de Arquímedes, el cual afirma que “Un cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido en reposo, recibe un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del fluido que desaloja”, lo cual nos lleva a definir el empuje como:

$$E = \rho_F V g \quad (7)$$

donde  $\rho_F$  es la densidad del fluido,  $V$  el volumen del cuerpo sumergido y  $g$  es la aceleración de gravedad.

En nuestro experimento de caída con roce no dejaremos caer “libremente” al cuerpo en el fluido, sino que éste se encontrará amarrado desde arriba a una cuerda que produce una tensión  $T$ , fuerza que podrá ser controlada por medio de masas y una polea.

Consideradas todas las fuerzas ( $F_{roce}$ ,  $E$ ,  $P$  y  $T$ ), la ecuación que describe el movimiento del cuerpo sumergido es entonces:

$$a + \frac{b}{(M+m)} v + \frac{E-(M-m)g}{(M+m)} = 0 \quad (8)$$

Note que  $F_{roce}$  apunta en la misma dirección que  $E$  y opuesta a  $P$ .

Reemplazando  $a$  por  $\frac{dv}{dt}$ , se observa que la ecuación (8) es una ecuación diferencial que tiene por solución:

$$v(t) = v_T \left( 1 - \exp\left(\frac{-b}{M+m} t\right) \right) \quad (9)$$

donde la cantidad  $v_T$  es conocida como *velocidad terminal*, la cual corresponde al valor máximo de la velocidad de caída y está dada por:

$$v_T = \frac{g(M-m)-E}{b} \quad (10)$$

Este experimento se ha separado en dos experiencias, donde la primera parte consiste en discutir los aspectos físicos del problema de la caída libre de un objeto. Específicamente, queremos discutir si la caída natural de los cuerpos es un movimiento uniformemente acelerado o no lo es.

Debido a la dificultad de medir experimentalmente el roce de los objetos con el aire, en la segunda parte de esta experiencia se estudiará el movimiento de un cuerpo al caer en agua. Usted podrá, posteriormente, comparar y analizar los comportamientos bajo ambas condiciones.

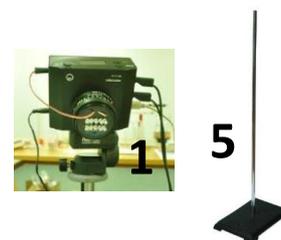
## Parte I: Caída Libre

- **Objetivo específico**

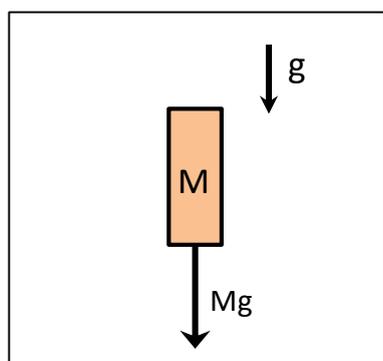
Estudiar la caída libre de un objeto para obtener una medición experimental de la aceleración de gravedad.

### Materiales Disponibles

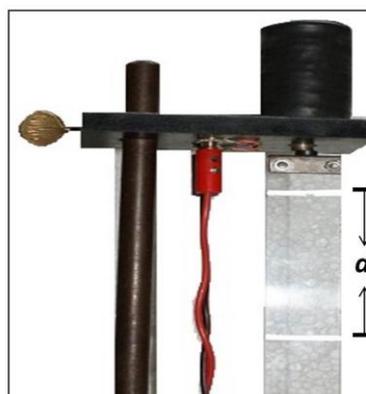
1. Cámara *VideoCom*
2. Trípode
3. Electroimán (se muestra en la **Figura 3**)
4. Cables
5. Soporte universal
6. Placa de acrílico
7. Computador con programa *VideoCom Movimiento*



**Figura 1:** Se muestran algunos de los materiales disponibles para el desarrollo de la primera parte de esta experiencia.



**Figura 2:** Esquema de la situación que deberá replicar en su montaje.



**Figura 3:** Imagen referencial del montaje experimental.

En la **Figura 3** se muestra una imagen del montaje experimental propuesto para esta experiencia.



## Montaje Experimental y Procedimiento

1. Construya el montaje que permita estudiar el comportamiento de un cuerpo en caída libre (equivalente a la situación descrita en la **Figura 2**). Utilizar el electroimán permite disminuir errores aleatorios que se producirían al sostener la placa manualmente. Este electroimán obtiene energía de la cámara *VideoCom*. (Un electroimán es básicamente una bobina que genera campos magnéticos cuando circula corriente a través de ella).
2. Monte la cámara *VideoCom* verticalmente sobre el trípode y frente a su montaje (El arreglo CCD de la cámara debe quedar paralelo al recorrido de la placa de acrílico). Ajuste la posición, foco y apertura de la cámara de manera que ésta registre el movimiento de la placa en el mayor rango posible. Recuerde que la cámara registrará los movimientos de cualquier objeto dentro de su campo de visión que refleje luz sobre cierta intensidad. Debe lograr que la cámara sólo registre los movimientos de dos franjas adheridas horizontalmente a la placa de acrílico.
3. Para lograr el punto anterior, deberá configurar en el programa *VideoCom Movimientos* el tiempo de muestreo y la intensidad de los leds. Ingrese los valores que sean necesarios para cumplir su objetivo. También deberá ingresar el valor de la distancia entre las franjas reflectantes. Esto último con el fin de que el programa *VideoCom Movimientos* transforme los desplazamientos observados de píxeles a metros.
4. Realice pruebas previas para asegurarse que la cámara registra correctamente los movimientos. El electroimán funciona mientras no se estén realizando mediciones. Éste se apaga inmediatamente al comenzar a medir liberando la placa. Regule al mínimo el potenciómetro de la *VideoCom* que alimenta al electroimán para disminuir el efecto de fuerzas magnéticas sobre el movimiento de la placa.
5. Comience el registro del movimiento. (**Guarde sus datos en una planilla Excel frecuentemente**).

## Análisis y discusión (Parte I)

Se espera que describa el comportamiento de los cuerpos bajo las condiciones de esta experiencia. Para esto debe comparar un análisis teórico del sistema con los resultados obtenidos en el laboratorio. En particular, compruebe si las posiciones, velocidades y/o aceleraciones predichas por la teoría se observan durante la experiencia. Incluya los conceptos de desviación estándar, error relativo y diferencia relativa en su análisis.

## Parte II: Caída con Roce

- **Objetivo específico**

Estudiar el movimiento de un objeto en caída vertical experimentando la acción de una fuerza de roce.

### Materiales adicionales disponibles:

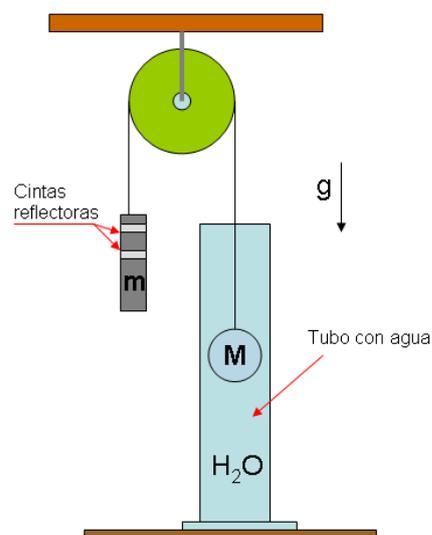
1. Polea
2. Hilo
3. Canicas de vidrio
4. Tarugo de madera con gancho
5. Golillas
6. Probeta
7. Nuez
8. Pinza de soporte



**Figura 4:** Se muestran algunos materiales adicionales disponibles para el desarrollo de la segunda parte de esta experiencia.

### Montaje Experimental y Procedimiento

1. Construya el montaje que permita estudiar el movimiento de un cuerpo en un medio con roce (equivalente a la situación descrita en la **Figura 5**). La **ecuación 8** supone que  $M$  desciende, por lo que utilice masas adecuadas para que esto suceda.
2. Utilice las condiciones de adquisición de datos óptimas que obtuvo en la Parte I. Volver a configurar distancia entre cintas en el programa.
3. Verificar que la *VideoCom* registra recorridos en una distancia suficiente para realizar un análisis.
4. Comience el registro del movimiento. (**Guarde sus datos en una planilla Excel frecuentemente**).



**Figura 5:** Se muestra un esquema de la situación que deberá replicar en laboratorio. Sobre la masa  $M$  actuarán las fuerzas  $F_{roce}$ ,  $E$ ,  $P$  y  $T$ . La tensión se realiza conectando la masa  $M$  a la masa  $m$  a través de hilo y una polea.

## Análisis y discusión Parte II

Lo que debe discutir en este experimento es el comportamiento de los cuerpos en medios viscosos (con roce). Para esto debe comparar un análisis teórico del sistema con los resultados obtenidos en el laboratorio. En particular, compruebe si las velocidades y/o aceleraciones predichas por la teoría se observan durante la experiencia.

Se espera que presente un análisis teórico de ambas situaciones que sea comprobable o refutable cualitativa y cuantitativamente por sus datos experimentales.

Asimismo, compare las dos situaciones desarrolladas entre sí (con roce y sin roce), para comprobar en qué se asemejan y en qué difieren. Analice los casos en que algunas variables tienden a cero y/o a infinito.

Obtenga experimentalmente las variables, en principio, desconocidas.



**Figura 6:** Imagen de un montaje realizado para estudiar la caída de un cuerpo en un medio viscoso.

## Observaciones generales

Recuerde tomar nota de todas las posibles fuentes de error, intente cuantificar ese error y considere sólo las fuentes relevantes (que más influyan en el resultado) para su resultado final argumentando sus decisiones.

**Con el fin de extraer información relevante desde los datos recopilados es preferible utilizar un método gráfico a calcular un promedio o utilizar algún dato instantáneo, ya que el método gráfico considera una tendencia de muchos datos (más datos disminuirán el error) en un rango de tiempo determinable por el experimentador (es posible determinar una “zona” en la cual el comportamiento del sistema se asemeja más a lo descrito por la teoría).**