+Cuaderno de apuntes de Física Experimental

Academia de Física Experimental

Introducción

La asignatura Física Experimental, dentro de los planes de estudio 2015 para las carreras de Ingeniería Geofísica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, pretende como un primer intento coadyuvar en la formación científica de los alumnos al introducirlos en el estudio de algunos de los fenómenos físicos que todo estudiante de ingeniería debe conocer, comprender y saber interpretar a través de la experimentación.

En virtud de que el curso de Física Experimental fue adaptado a las necesidades propias de los alumnos de las carreras de ingeniería mencionadas en el párrafo anterior, fue necesario trabajar en este cuaderno de apuntes, que tiene la finalidad de apoyar tanto a los profesores como a los alumnos en el tratado general de los temas que se abordan en el programa de la asignatura. Este cuaderno de apuntes tiene la particularidad de definir los conceptos de forma sencilla y concreta, además de describir algunos fenómenos físicos donde la variables involucradas tienen un comportamiento lineal, y que permiten un modelado matemático sencillo, de tal suerte que esto facilita que los alumnos entiendan su comportamiento y puedan inferir la importancia de las actividades en el laboratorio: desde el diseño de los experimentos, el manejo de los instrumentos de medición para la toma de lecturas, el tratamiento y análisis de los datos experimentales, hasta la obtención de modelos gráficos, modelos matemáticos y la interpretación física que representan en el modelo teórico.

Para la realización de cualquier experimento de laboratorio, es conveniente seguir el método científico, ese que desde la educación básica se aborda en los libros de texto. En este sentido, cabe mencionar que la asignatura de Física Experimental tiene laboratorio integrado, por tanto, el mismo profesor de teoría impartirá las sesiones experimentales apoyándose de un manual de prácticas con el enfoque del método científico.

El manual de prácticas de laboratorio de Física Experimental fue diseñado con base en el contenido del programa de la asignatura y consta de doce prácticas distribuidas como se indica en la tabla de abajo.

Tema	**Prácticas**
Conceptos básicos de metrología.	Caracterización de un voltímetro analógico.
	Caracterización de un dinamómetro.
Mecánica clásica.	Movimiento uniformemente acelerado.
	Movimiento y energía en un plano inclinado.
Mecánica de fluidos.	Propiedades de las sustancias.
	Gradiente de presión.
Termodinámica.	Algunas propiedades térmicas del agua.
	Leyes de la Termodinámica.
Electromagnetismo.	Carga y corriente eléctricas.
	Fuerza magnética sobre un conductor.
Movimiento ondulatorio.	Movimiento ondulatorio.
Óptica geométrica.	Reflexión y refracción (transmisión) de la luz.

Cada una de las prácticas de laboratorio está estructurada de tal forma, que el estudiante pueda aplicar el método científico para reproducir, analizar y comprobar el comportamiento de algunos fenómenos de las diferentes áreas de la Física. El formato de las prácticas contempla, las medidas de seguridad en la ejecución de los experimentos, los objetivos de aprendizaje, la lista de materiales y equipos de medición a utilizar, las instrucciones para realizar los experimentos, los diagramas de conexión y las actividades que el alumno debe registrar y reportar en su informe de práctica, esto incluye, los modelos gráficos y matemáticos correspondientes, así como una serie de preguntas finales a manera de corroborar el aprendizaje por parte del alumno. Al final de cada práctica se incluyen algunas expresiones matemáticas relacionadas con el tema y que servirán de recordatorio durante el trabajo experimental. Por último, se sugieren algunos títulos de libros como bibliografía para que el alumno pueda profundizar en el tema de la práctica.

Debido a que el laboratorio de Física Experimental se encuentra certificado bajo la norma ISO9001:2015, en el proceso de impartición de prácticas, es importante la participación tanto del profesor como de los alumnos en las actividades que repercutan en el buen desempeño del Sistema de Gestión de la Calidad, que busca ante todo, brindar el mejor servicio a los alumnos en cuanto al buen estado de las instalaciones, la suficiencia de material y equipo y la garantía de contar siempre con el apoyo académico necesario para realizar el trabajo experimental. Todo esto en espera de ver reflejada una buena formación científica en los alumnos como parte esencial en su proceso de aprendizaje.

Profesores que apoyaron en la elaboración y revisión de estos apuntes.

Elizabeth Aguirre Maldonado
Luis Javier Acosta Bernal †
Eduardo Bernal Vargas
Juan Carlos Cedeño Vázquez
Alicia María Esponda Cascajares
Rigel Gámez Leal
Beatriz Eugenia Hernández Rodríguez
Gabriel Alejandro Jaramillo Morales
Mayverena Jurado Pineda
Lucía Yazmín Juárez de la Mora
Eduardo López Molina
M. del Carmen Maldonado Susano
María del Carmen Melo Díaz
Carlos Alberto Pineda Figueroa
María Ofelia Rodríguez Durán
Luis Andrés Suárez Hernández
Rafael Guillermo Suárez Nájera
Manuel de Jesús Vacio González
Fernando Vega Calderón
Alfredo Velásquez Márquez
Salvador Enrique Villalobos Pérez

3. Mecánica clásica

Objetivo. El alumno determinará experimentalmente la aceleración gravitatoria local y analizará dinámicamente el movimiento uniformemente acelerado de un cuerpo.

3.1 Campo de estudio de la Mecánica clásica y de la Dinámica. Conceptos de posición, desplazamiento, velocidad media, velocidad instantánea, rapidez, aceleración media y aceleración instantánea, masa, fuerza, peso, trabajo, energía, energía cinética y energía potencial gravitatoria. Planeación del experimento.

3.1.1 Introducción

Aristóteles estudió los fenómenos físicos sin llegar a conceptualizar una noción de velocidad. En efecto, sus explicaciones (que posteriormente algunas se demostrarían incorrectas) solo describían los fenómenos en palabras, sin usar las matemáticas como herramienta.

Mientras estudiaba el movimiento de los cuerpos en un plano inclinado, Galileo Galilei llegó a un concepto de velocidad. Lo que hizo fue dividir la distancia recorrida en unidades de tiempo. Es decir, fijó un patrón de una unidad de tiempo, como por ejemplo 1 segundo, y a partir de esto relacionó la distancia recorrida por un cuerpo en cada segundo. De esta manera, Galileo desarrolló el concepto de la velocidad como una variación de la distancia recorrida por unidad de tiempo. A pesar del gran avance de la introducción de esta nueva noción, sus alcances se restringían a los alcances mismos de las matemáticas. Por ejemplo, era relativamente sencillo calcular la velocidad de un móvil que se desplaza a velocidad constante, puesto que en cada segundo recorre distancias iguales. A su vez, también lo era calcular la velocidad de un móvil en aceleración constante, como en un cuerpo en caída libre. Sin embargo, cuando la velocidad del objeto variaba, no había herramienta, en épocas de Galileo, que ayudase a determinar la velocidad instantánea de un objeto.

En el siglo XVI con el desarrollo del cálculo por parte de Isaac Newton y Gottfried Leibniz, se pudo solucionar la cuestión de obtener la velocidad instantánea de un objeto. Dicha velocidad se determina con la derivada de la posición del objeto respecto del tiempo.

En el lenguaje cotidiano empleamos las palabras rapidez y velocidad de manera indistinta. En Física hacemos una distinción entre ellas: de manera muy sencilla, la diferencia es que la velocidad es una rapidez en una dirección determinada. Cuando se dice que un auto viaja a 60 km/hora estamos indicando su rapidez. Pero si se dice que un auto se desplaza a 60 km/h hacia el norte estamos especificando su velocidad y la velocidad nos dice que tan aprisa lo hace y en qué dirección.

Las aplicaciones de la velocidad, con el uso de Cálculo, es una herramienta fundamental en Física e Ingeniería, extendiéndose en prácticamente todo estudio donde haya una variación de la posición respecto del tiempo.

3.1.2 Campo de estudio de la Mecánica clásica y de la Dinámica.

La Mecánica clásica es la ciencia que estudia las leyes del comportamiento de cuerpos físicos macroscópicos en reposo y a velocidades pequeñas comparadas con la velocidad de la luz. La etapa

inicial en el desarrollo de la mecánica clásica se refiere a menudo como la mecánica newtoniana, y se asocia a los conceptos físicos empleados y los métodos matemáticos inventados por Newton.

En la tabla 3.1 se muestra una clasificación de la Mecánica clásica.

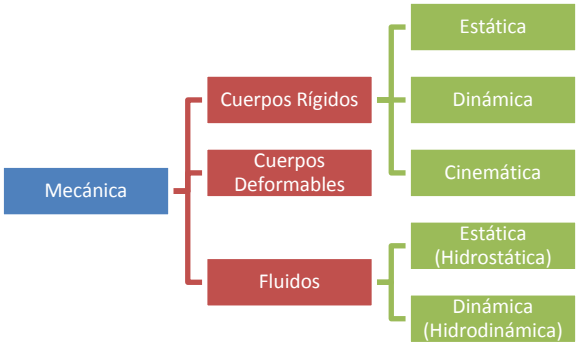


Tabla 3.1. Clasificación de la Mecánica clásica.

Para fines de la asignatura de Física Experimental, en este tema se estudiará la dinámica, como la rama de la Física que describe la evolución en el tiempo de un sistema físico con relación a las causas que provocan los cambios de estado físico y/o estado de movimiento. El objetivo de la Dinámica es describir los factores capaces de producir alteraciones de un sistema físico, cuantificarlos y plantear ecuaciones de movimiento para dicho sistema de operación.

Para el estudio de los fenómenos relacionados con la Dinámica, es importante comenzar identificando algunas definiciones básicas.

3.1.3 Concepto de posición

En mecánica clásica la posición de una partícula (o de un punto en el espacio) se representa mediante un vector de posición, este último tiene la característica de que su punto inicial se encuentra en el origen del sistema de referencia y su punto final se ubica en el punto de interés, como se observa en la figura 3.1. Su unidad de medida en el Sistema Internacional (SI) es el metro [m]. En este curso bastará con analizar el movimiento en un plano por lo que en él su representación matemática es $\vec{r} = x\hat{\imath} + y\hat{\jmath}$.

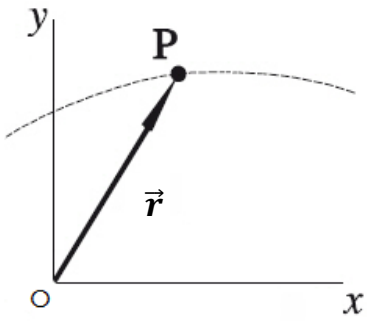


Figura 3.1. Representación de un vector de posición.

3.1.4 Concepto de desplazamiento

Es una cantidad vectorial que se define como la diferencia entre los vectores de posición final e inicial. Su unidad de medida en el SI es el metro [m].

3.1.5 Velocidad media

Es la razón entre el desplazamiento y el intervalo de tiempo en el cual el primero ocurrió. Es una cantidad vectorial cuya unidad de medida en el SI es el metro sobre segundo [m/s].

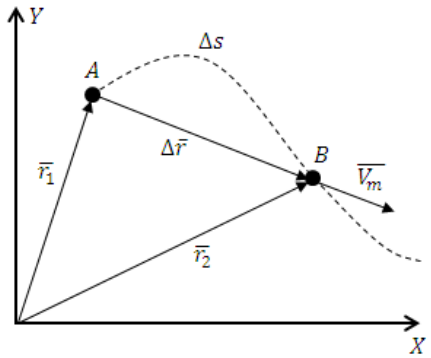


Figura 3.2. Representación geométrica de la velocidad media ($\overline{V_m}$).

3.1.6 Velocidad instantánea

Es la velocidad del móvil en un solo tiempo específico, equivalente a la derivada del vector de posición con respecto al tiempo evaluada en el valor temporal particular. Es una cantidad vectorial cuya unidad de medida en el SI es el metro sobre segundo [m/s]. En el sistema cartesiano, el vector velocidad se representa de la forma $\vec{v} = v_x\hat{\imath} + v_y\hat{\jmath}$ [m/s].

3.1.7 Rapidez

Se refiere a la magnitud del vector velocidad; se trata de una cantidad escalar cuya unidad de medida en el SI es el metro sobre segundo [m/s].

3.1.8 Aceleración media

Se define como la razón entre el cambio en la velocidad (final menos inicial) y el intervalo de tiempo durante el cual el primero ocurrió. Es una cantidad vectorial cuya unidad de medida en el SI es el metro sobre segundo al cuadrado [m/s^2].

3.1.9 Aceleración instantánea

Es la aceleración del móvil en un tiempo específico, equivalente a la derivada del vector velocidad con respecto al tiempo evaluada en el valor temporal particular. Es una cantidad vectorial cuya unidad de medida en el SI es el metro sobre segundo al cuadrado [m/s^2]. En el espacio cartesiano, el vector aceleración toma la forma $\vec{a} = a_x\hat{\imath} + a_y\hat{\jmath}$ [m/s^2].

3.1.10 Masa

Es la propiedad de un objeto que especifica cuánta oposición muestra para hacer que cambie su estado de movimiento. Su unidad de medida en el SI es el kilogramo [kg], siendo una cantidad escalar.

3.1.11 Fuerza

Si bien la fuerza es una cantidad física que representa la variación de la cantidad de movimiento con respecto al tiempo, para este curso es suficiente con decir que es la interacción entre dos cuerpos (o más) o entre un cuerpo y su ambiente. Es la causa de por qué siempre nos referimos a la fuerza que un cuerpo *ejerce* sobre otro. La fuerza es una cantidad vectorial, cuya unidad de medida en el SI es el newton [N]. En el sistema cartesiano, el vector fuerza se representa matemáticamente como $\vec{F} = F_x\hat{\imath} + F_y\hat{\jmath}$ [N].

3.1.12 Peso

Fuerza ejercida sobre un cuerpo debida al campo gravitacional de la Tierra. Es decir, es la fuerza con que la Tierra *atrae* al cuerpo. Es una cantidad vectorial y se calcula como el producto de la masa por la aceleración gravitatoria.

3.1.13 Trabajo

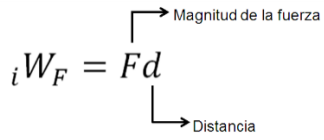
Es una medida de la energía transferida a un sistema debido a una fuerza. Es una cantidad escalar cuya unidad de medida en el SI es el joule [J].

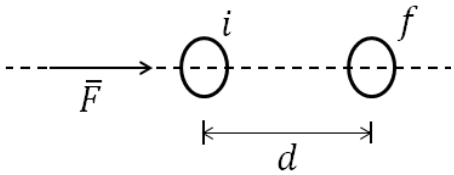
El trabajo es una forma de energía que se manifiesta cuando una fuerza aplicada sobre un objeto o sistema es capaz de producir un desplazamiento. El cual se puede determinar a través de la expresión

$$\delta W = \bar{F} \cdot d\bar{l}$$

Fuerza y desplazamiento en la misma dirección

$${}_iW_F = F \cdot d$$





Fuerza y desplazamiento en diferente dirección

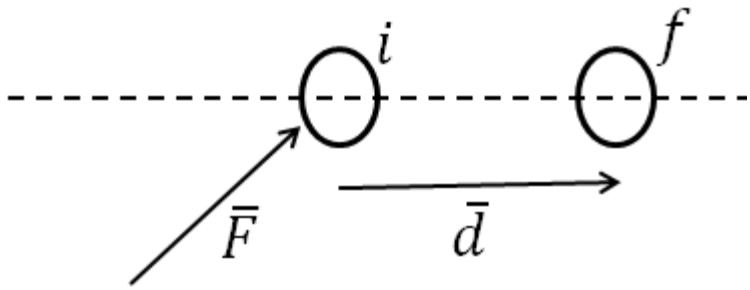
$$_iW_F = \bar{F} \cdot \bar{d}$$

$$_iW_F = \underbrace{\bar{F}}_{\text{Fuerza}} \cdot \underbrace{\bar{d}}_{\text{Desplazamiento}}$$

$$\bar{F} = (F_x, F_y, F_z) = F_x\hat{\imath} + F_y\hat{\jmath} + F_z\hat{k}$$

$$\bar{d} = (d_x, d_y, d_z) = d_x\hat{\imath} + d_y\hat{\jmath} + d_z\hat{k}$$

$$\bar{F} \cdot \bar{d} = F_x d_x + F_y d_y + F_z d_z$$



Fuerza y desplazamiento sobre un grupo de objetos

$$_iW_F = \int_i^F \bar{F} \cdot d\bar{\ell}$$

3.1.14 Energía

Es la capacidad aparente o latente de producir cambios. Es una cantidad escalar cuya unidad de medida en el SI es el joule [J].

Teorema trabajo-energía

El trabajo neto realizado por la fuerza que actúa sobre un objeto o sistema es igual al cambio de su energía mecánica (energía cinética y potencial gravitatoria).

$$W_{neto} = \Delta E = E_f - E_i$$

3.1.15 Energía cinética

Es la energía asociada al movimiento de un cuerpo y es directamente proporcional a la masa y al cuadrado de la rapidez: $E_c = \frac{1}{2}mv^2$, donde m es la masa del cuerpo.

La energía cinética se asocia a objetos o sistemas en movimiento, su valor depende de la masa y rapidez.

3.1.16 Energía potencial gravitatoria.

Es la energía que tiene un cuerpo debido a su posición en un campo gravitatorio. La energía potencial gravitatoria asociada al sistema conformado por una partícula (cuya masa es *m*) y la Tierra, viene dada por la expresión $E_P = mgy$, donde g es la magnitud de la aceleración gravitacional terrestre, mientras que y denota la posición de la partícula con respecto a un nivel de referencia que bien puede ser la superficie terrestre.

La energía potencial gravitacional se asocia a objetos o sistemas inmersos en una región espacial que contiene un campo gravitacional, su valor depende de la posición del objeto y la masa.

$$U = -\frac{GMm}{r}$$

$$G = 6.673 \times 10^{-11}\left[\frac{N \cdot m^2}{kg^2}\right]$$

3.2 Registro y tabulación de las variables desplazamiento y tiempo.

Para estudiar el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA), se realiza un experimento en el cual se deja caer un balín sujetado por un electroimán que a diferentes alturas (*h*) es desactivado, tomándose el respectivo tiempo entre la posición inicial (en donde parte el balín) y la final de dicho cuerpo. El sistema se muestra en la figura 3.3. La finalidad de este experimento es determinar la magnitud de la aceleración que experimenta el balín en su caída libre.

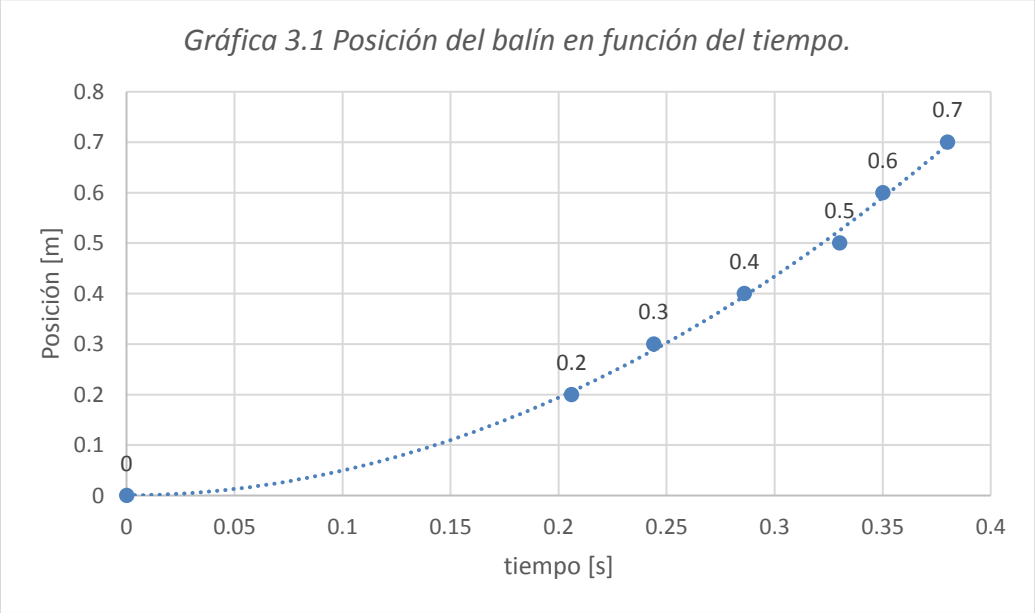
Figura 3.3 Dispositivo experimental para el cálculo de la aceleración de la gravedad.

Los valores arrojados en este experimento se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Tiempos de recorrido medidos durante la caída libre del balín.

$\mathbf{h}$ [m]	$\mathbf{t_1}$ [s]	$\mathbf{t_2}$ [s]	$\mathbf{t_3}$ [s]	$\mathbf{t_4}$ [s]	$\mathbf{t_5}$ [s]	$\bar{\mathbf{t}}$ [s]
0.2	0.18	0.21	0.22	0.19	0.23	0.206
0.3	0.24	0.25	0.26	0.25	0.22	0.244
0.4	0.28	0.30	0.28	0.27	0.30	0.286
0.5	0.33	0.30	0.35	0.33	0.34	0.330
0.6	0.37	0.35	0.36	0.34	0.33	0.350
0.7	0.39	0.37	0.40	0.36	0.38	0.380

Con base en la tabla previa, puede identificarse que a mayor recorrido el tiempo necesario para ello también es mayor. Considerando que el balín parte del reposo en la posición inicial $h_0 = 0$ en el tiempo inicial $t_0 = 0$, en la gráfica 3.1 se muestra cómo varía la posición de dicho cuerpo en función del tiempo. En dicha gráfica se observa que la dependencia no es lineal puesto que se trata de un movimiento acelerado uniformemente; sin embargo, cualitativamente la curva sugiere que la relación entre posición y tiempo es cuadrática (parabólica).



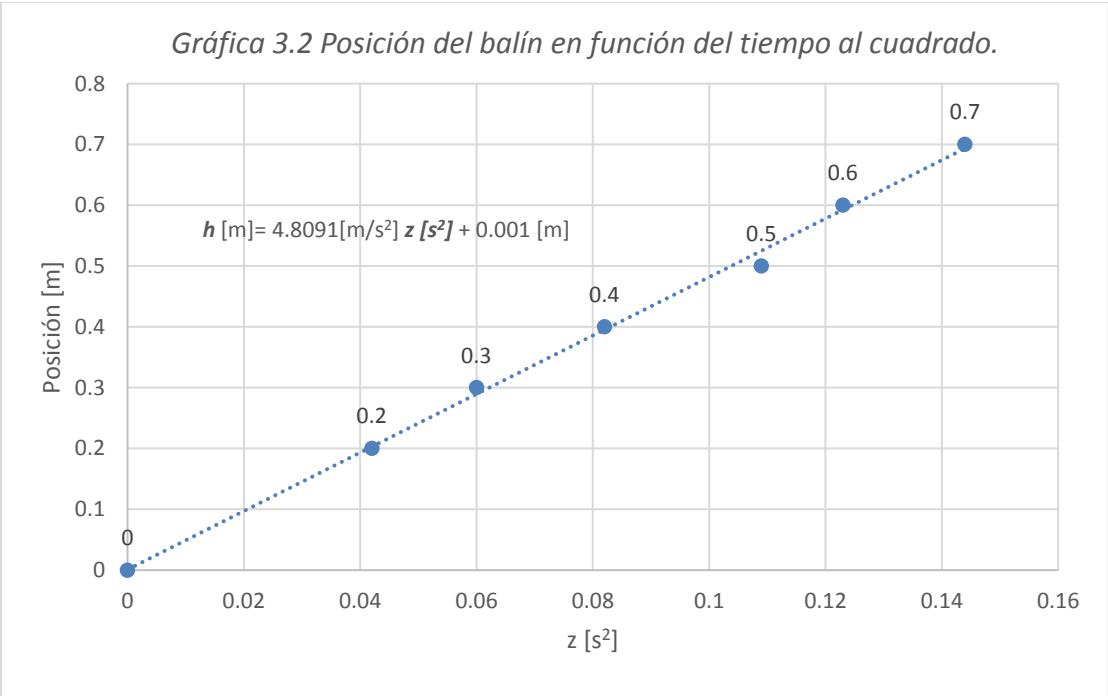
3.3 Modelo matemático que describe la relación entre el desplazamiento y el cuadrado del tiempo. Significado físico de la pendiente. Modelos matemáticos y gráficos que relacionan la rapidez y la aceleración con el tiempo.

En la tabla 3.2 se muestran los valores arrojados en el experimento anterior, en la cual se presenta el tiempo promedio de recorrido elevado al cuadrado. Estos valores corroboran que la relación entre la distancia y el tiempo de recorrido no es lineal.

Tabla 3.2. Tiempo promedio de recorrido elevado al cuadrado de la caída libre del balín.

$\mathbf{h}$ [m]	$\bar{\mathbf{t}}^{\mathbf{2}}$ [$\mathbf{s}^{\mathbf{2}}$]
0.2	0.042
0.3	0.060
0.4	0.082
0.5	0.109
0.6	0.123
0.7	0.144

Con base en los datos mostrados en la tabla 3.2 se obtiene la gráfica 3.2, en esta última se muestra la posición del balín en función del cuadrado del tiempo (z). Para ello, de nuevo se consideró que en $t_0 = 0$, $h_0 = 0$. Nótese que, gracias a este cambio de variable, se llega a una relación lineal entre los parámetros involucrados.



En la gráfica previa se observa que la posición (h) del balín es directamente proporcional al cuadrado del tiempo (t^2), cuyo modelo matemático es $h = 4.81\ t^2$ [m], despreciando la ordenada al origen.

El valor de la pendiente (m) de esta recta tiene relación con la aceleración constante que experimenta el balín durante su caída. Por la naturaleza de este experimento, es de esperarse que la magnitud de dicha aceleración corresponda al de la aceleración de la gravedad. Por ello, obsérvese que si $m = \frac{1}{2}a$, entonces $a = 2m = 9.62\ [\mathrm{m/s^2}]$. Por otra parte, de acuerdo con el Instituto de Geofísica de la UNAM, en la Ciudad de México $g \approx 9.78\ [\mathrm{m/s^2}]$; por lo que el error de exactitud entre este valor y el calculado experimentalmente es 1.64%.

Con base en este ejercicio, se identifica que el modelo matemático que describe la posición del balín en función del tiempo durante su caída libre es

$$y = \frac{1}{2}at^2 \qquad (3.1)$$

En la ecuación previa, conviene expresar la posición con la variable ***y***, puesto que el movimiento del balín es a lo largo de la vertical (eje *y*). En este experimento, la posición y la velocidad iniciales son cero; sin embargo, la manera más general de expresar la ecuación 3.1 es

$$y = y_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \qquad (3.2)$$

que precisamente corresponde al modelo matemático de la posición de una partícula que experimenta un movimiento rectilíneo con aceleración constante. En este caso unidimensional, el vector posición adopta la forma $\vec{r} = y\hat{\jmath}$.

Ahora cabe preguntarse cómo obtener el módulo de la velocidad del balín en función del tiempo. Al respecto, se sabe que la velocidad instantánea ($\vec{v}$) se define como:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dy}{dt}\hat{\jmath} \qquad (3.3)$$

Por lo que el módulo de dicha cantidad corresponderá a la rapidez instantánea del balín evaluada en cierto tiempo específico. Entonces, con base en las ecuaciones 3.2 y 3.3, el modelo matemático para la velocidad del balín en función del tiempo es

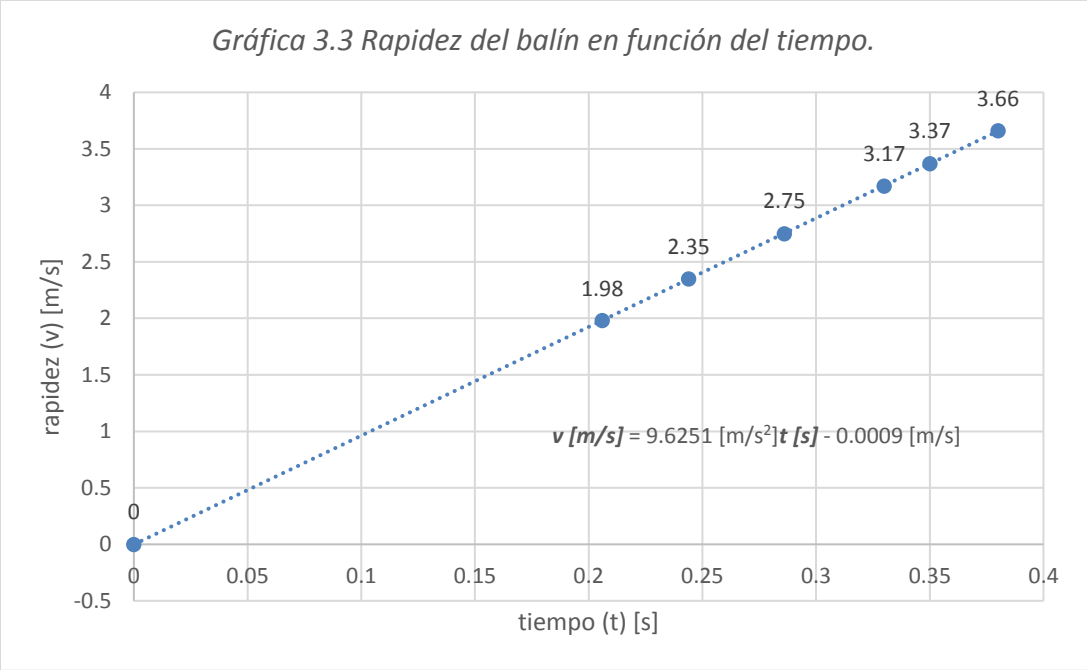
$$v = v_0 + at \qquad (3.4)$$

Recuérdese que en este caso particular $v_0 = 0$; por lo que el vector velocidad entonces toma la forma $\vec{v} = v\hat{\jmath}$. Conocidas la magnitud de la aceleración que experimenta el balín durante su movimiento, $9.62\ [\mathrm{m/s^2}]$, y el tiempo en el cual se encuentra en una cierta posición, es posible evaluar la ecuación 3.4 y así calcular la rapidez de este cuerpo en función de dicho parámetro. Estos cálculos se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Cálculo de la rapidez del balín en función del tiempo.

$\mathbf{h}$ [m]:	$\bar{\mathbf{t}}$ [s]:	$\mathbf{v}$ [m/s]:
0.2	0.206	1.98
0.3	0.244	2.35
0.4	0.286	2.75
0.5	0.330	3.17
0.6	0.350	3.37
0.7	0.380	3.66

Con base en los datos de la tabla 3.2, en la gráfica 3.3 se muestra la rapidez del balín en función del tiempo. Para ello, de nuevo se consideró que en $t_0 = 0$, $h_0 = 0$ y $v_0 = 0$.



En la gráfica 3.3 puede identificarse que conforme transcurre el tiempo, el balín alcanza mayores rapideces puesto que se trata de un movimiento acelerado. Ajustando una recta a los puntos mostrados en dicha gráfica, mediante el método del mínimo de la suma de los cuadrados, se puede observar que la pendiente de la misma equivale a la magnitud de la aceleración que experimenta el balín como era de esperarse. De hecho, con base en el modelo matemático: *v[m/s]* = 9.6251[m/s^2]*t [s]*-0.0009 [m/s], la aceleración constante se puede determinar al derivar esta ecuación con respecto al tiempo.

Para finalizar con este subtema, cabe resaltar que formalmente la posición como función del tiempo de una partícula que experimenta un movimiento rectilíneo con aceleración constante se representa mediante el modelo $\vec{r} = y\hat{\jmath}$, donde

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \qquad (3.5)$$

En la ecuación 3.5 se enfatiza con el subíndice "*y*" la componente correspondiente de los vectores velocidad y aceleración. De manera similar, se tiene que $\vec{v} = v_y\hat{\jmath}$, donde

$$v_y = v_{0y} + a_y t \qquad (3.6)$$

En todas las ecuaciones tratadas en esta exposición, la variable $\boldsymbol{t}$ representa el tiempo final, ya que de antemano se supone que $t_0 = 0$. Obsérvese que en este caso particular del balín $a_y = -g$, donde $g = 9.62\ [m/s^2]$ (valor obtenido experimentalmente en este ejercicio). Para el caso unidimensional con aceleración constante, al combinar las ecuaciones 3.5 y 3.6 se puede llegar a la siguiente expresión:

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2a_y\Delta y \qquad (3.7)$$

Por otro lado, con base en las ecuaciones 3.5 y 3.6 se puede verificar que, si la aceleración es cero, entonces las expresiones resultantes corresponden a las del llamado movimiento rectilíneo uniforme; es decir, en este caso la partícula experimentaría un movimiento a velocidad constante.

3.4 Prueba del modelo y su aplicación en la solución de problemas de Dinámica.

En esta sección se verificarán algunos resultados obtenidos previamente mediante el experimento del balín en caída libre; pero ahora empleando a la vez el principio de conservación de la energía mecánica. Cabe aclarar que en el análisis previo se consideró que el nivel de referencia cero se encontraba en la posición inicial del balín antes de caer. Sin embargo, en el estudio que se hará en esta sección se considerará que el nuevo nivel de referencia cero se encuentra por debajo del balín, de tal manera que ahora inicialmente este cuerpo se ubica a una posición inicial $y_0 = 0.7\ [m]$ a partir de dicho nivel. De este modo, por ejemplo, es de interés calcular aproximadamente la rapidez con la cual el balín llega al nivel de referencia cero; es decir, a la posición $y = 0$.

Para calcular lo solicitado, se debe aplicar el principio de conservación de la energía mecánica ($E_M = EC + EP$) en ambas posiciones del balín y de ahí despejar la variable incógnita. En la posición inicial se tiene que

$E_{c0} = \frac{1}{2}mv_0^2 = 0$, puesto que $v_0 = 0$; $E_{U0} = mgy_0$. Por lo que $E_0 = 0 + mgy_0$.

En la posición final, es decir en $y = 0$, se tiene que

$E_c = \frac{1}{2}mv^2$; $E_U = 0$, ya que $y = 0$. Por lo que $E = \frac{1}{2}mv^2$.

Puesto que la energía mecánica se conserva, se tiene que $E_0 = E$, por lo que

$$mgy_0 = \frac{1}{2}mv^2$$

Al resolver esta ecuación para la rapidez final se obtiene:

$$v = \sqrt{2gy_0} = \sqrt{2(9.78)(0.7)}\ [\mathrm{m/s}] = 3.70\ [\mathrm{m/s}]$$

Con base en los resultados mostrados en la tabla 3.3, se observa que la rapidez del balín en dicha posición es 3.66 m/s; por lo que el error de exactitud entre este valor y el que se ha obtenido es 1.08%. Esta pequeña discrepancia entre el valor teórico y el obtenido experimentalmente se debe a varios factores, como por ejemplo la fuerza de fricción que ejerce el aire sobre el balín durante su caída. Este efecto sería más notable si el balín se dejara caer desde una mayor altura, ya que en dicho caso de hecho este cuerpo alcanzaría una rapidez terminal aproximadamente constante (posiblemente esta situación la estudiará posteriormente en Mecánica de Fluidos). En el caso ideal (sin fricción), el balín en todo momento experimentaría una aceleración constante correspondiente a la de la gravedad; y por este motivo en el experimento se sugiere emplear posiciones no mayores a 1.0 [m] para así aproximarse al caso ideal. Por otro lado, adviértase que se podría haber obtenido el último resultado usando la ecuación 3.7.

Por otra parte, con base en estos resultados se puede identificar que mediante las ecuaciones de la cinemática o a través del principio de conservación de la energía se llegan a los mismos resultados; por lo que es importante advertir en qué casos conviene utilizar dicho principio o los modelos de la cinemática en la resolución de problemas.

Para finalizar, a continuación, se resuelven los siguientes problemas:

1. Un vehículo que parte del reposo alcanza una rapidez de 216 [km/h] en 10 [s]. Calcule su aceleración suponiendo que su trayectoria es recta.

   Como datos se tiene:

$$v_{0x} = 0, v_x = 216\left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\right] = 60\ \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right], t = 10[\mathrm{s}]$$

   Para calcular lo solicitado, se utiliza la expresión (x)

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

   Y despejando la aceleración, se obtiene que

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} = \frac{60 - 0}{10}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right] = 6\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

Es decir, para que este móvil alcance dicha rapidez final en ese lapso de tiempo, se requiere que su rapidez incremente gradualmente 6 [m/s] cada segundo.

2. Una locomotora necesita 10 segundos para alcanzar su rapidez normal que es 25 [m/s]. Suponiendo que su movimiento es rectilíneo y uniformemente acelerado, ¿qué aceleración debe experimentar y qué distancia ha recorrido antes de alcanzar dicha rapidez?

Como datos se tiene:

$$v_{0x} = 0, v_x = 25\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right], t = 10[\mathrm{s}]$$

Calculando la aceleración:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{t} = \frac{25-0}{10}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right] = 2.5\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

Debido a que el movimiento es rectilíneo y en una sola dirección, se puede encontrar la distancia que recorre la locomotora en términos del desplazamiento que experimenta; por lo que

$$x - x_0 = v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

En este caso, ya que $v_{0x} = 0$ en $x_0 = 0$ se obtiene:

$$x = \frac{1}{2}a_x t^2 = \frac{1}{2}(2.5)(10)^2\ [\mathrm{m}] = 125\ [\mathrm{m}]$$

3. Un avión despega de la pista en un aeropuerto, con una rapidez de 144 km/h después de recorrer 1000 m de la misma. Considerando que partió del reposo, calcule:

A) la aceleración durante dicho trayecto.

Datos:

$$v_{0x} = 0, v_x = 144\left[\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}\right] = 40\ \left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right], x_0 = 0\ , x = 1000[\mathrm{m}],$$

En este caso, como por el momento se desconoce el tiempo empleado en el despegue, se puede usar la expresión

$$v_x^2 = v_{0x}^2 + 2a_x\Delta x$$

Y despejando la aceleración:

$$a_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2\Delta x} = \frac{40^2 - 0}{2(1000)}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right] = 0.8\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$$

B) El tiempo que ha tardado en despegar.

Ahora, para calcular el tiempo se emplea la ecuación

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$t = \frac{v_x - v_{0x}}{a_x} = \frac{40 - 0}{0.8}\,[\mathrm{s}] = 50[\mathrm{s}]$$

C) La distancia recorrida en tierra durante el último segundo.

Debido a que el movimiento es rectilíneo y en una sola dirección, se puede encontrar la distancia que recorre el avión durante el último segundo en términos del desplazamiento que experimenta en ese tiempo. En el segundo 49, el avión va a una rapidez de

$$v_{49} = v_{0x} + a_x t = 0 + 0.8(49)\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$$

$$v_{49} = 39.2\,\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right]$$

Por lo que el desplazamiento experimentado en el intervalo temporal $\Delta t = 50 - 49\ [\mathrm{s}] = 1\ [\mathrm{s}]$ es

$$x_{50} - x_{49} = v_{49}\,\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

$$x_{50} - x_{49} = 39.2(1) + \frac{1}{2}(0.8)(1)^2\ [\mathrm{m}] = 39.6\ [\mathrm{m}]$$

Es decir, durante el último segundo previo al despegue del avión, éste recorrió 39.6 [m] sobre la pista.

<u>Bibliografía:</u>

I. Serway R., Jewett J. *Física para ciencias e ingeniería*, volumen 1, 9ª edición. México: CENGAGE Learning, 2017.

II. Young H. David, Freedman Roger. *Sears y Zemansky Física Universitaria con Física Moderna,* volumen 1, 13ª edición. México: Pearson, 2013.

III. AGUIRRE, Elizabeth, et al. Manual de prácticas de Laboratorio de Física Experimental. Disponible en: <http://dcb.ingenieria.unam.mx/index.php/coordinaciones/fisica-quimica/fisica/fisica-experimental>.