

Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA
FÍSICA
ENERGÍA ROTACIONAL

ASIGNATURA
**MECÁNICA Y
LABORATORIO**
Corte 03

CÓDIGO
CB03005

2 MARCO TEÓRICO

Energía rotacional

1. Objetivos

1.1. General

Calcular el momento de inercia para objetos con geometría circular y usar esta información para calcular la energía cinética total de un cuerpo.

1.2. Específicos

- Calcular el momento de inercia de distintos cuerpos mediante las ecuaciones de cinemática y las leyes de Newton.
- Entender cómo la fuerza de fricción estática es responsable de la rotación de ciertos objetos.
- Verificar el principio de conservación de energía en sistemas con grados de libertad traslacionales y rotacionales.
- Describir las fuerzas que realizan torque sobre un objeto que baja por un plano inclinado.
- Determinar la aceleración de objetos que ruedan sin deslizar.

2. Marco teórico

Para proceder con el laboratorio, por favor revise la bibliografía y responda las preguntas que se muestran abajo. Se recomienda al lector consultar las siguientes referencias: Serway y Jewett, 2018, Cap. 10. Adicionalmente, se sugiere también ver los siguientes videos Video 1, Video 2. Las preguntas a continuación tienen como propósito ayudarle a entender los conceptos de la práctica que será realizada.

1. Una esfera maciza, un cilindro macizo y un cilindro hueco se ponen a rotar respecto a su centro de masa. Si la masa de cada objeto es m y su radio es R , los momentos de inercia de los cuerpos son, respectivamente:

a) $\frac{1}{2}mR^2$, $\frac{3}{5}mR^2$ y mR^2 .

b) $\frac{2}{5}mR^2$, $\frac{1}{2}mR^2$ y mR^2 .

c) $\frac{1}{2}mR^2$, mR^2 y $\frac{2}{5}mR^2$.

d) $\frac{1}{2}mR^2$, $\frac{2}{5}mR^2$ y mR^2 .

2. Un cuerpo con geometría circular posee radio R y se traslada con una rapidez v . La relación entre su rapidez y su frecuencia angular ω es:

a) $v = \omega R$.

b) $v = \omega/R$.

c) $v = \omega/2R$.

d) $v = 2\omega R$.

3. La energía cinética traslacional de un cuerpo con momento de inercia I es $K_{rot} = \frac{1}{2}I\omega^2$. Note que, en la pregunta 1, el momento de inercia de los tres cuerpos se puede escribir como $I = \beta mR^2$, donde β es una constante adimensional positiva. La energía cinética rotacional también se puede escribir como:



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA

FÍSICA

ENERGÍA ROTACIONAL

ASIGNATURA

MECÁNICA Y
LABORATORIO

Corte 03

CÓDIGO

CB03005

2 MARCO TEÓRICO

- a) $K_{rot} = \beta mv^2$.
b) $K_{rot} = \frac{1}{2}\beta(vR)^2$.
c) $K_{rot} = \frac{1}{2}\beta m\omega^2$.
d) $K_{rot} = \frac{1}{2}\beta mv^2$.
4. Un objeto con geometría circular de masa m y radio R se deja caer por el plano mostrado en la figura 1.

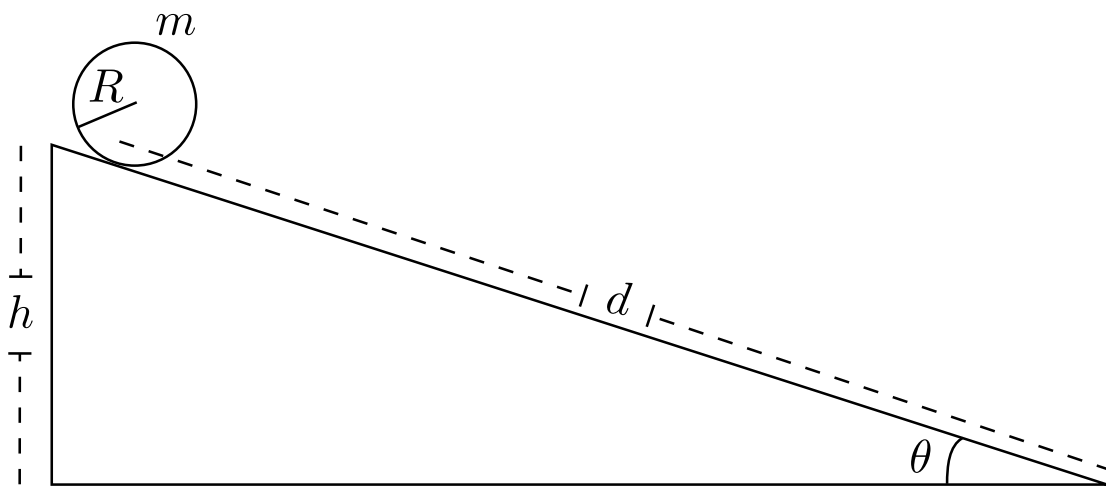


Figura 1: Sistema que será estudiado en esta práctica: un objeto circular que rueda a lo largo de un plano inclinado. Montaje indicado para el procedimiento 2.

Elabore los diagramas de cuerpo libre de las fuerzas y los torques que actúan sobre el objeto. Tome x como la dirección paralela a la dirección de movimiento y y la dirección perpendicular a la misma. Si N denota la magnitud de la fuerza normal y fr la magnitud de la fuerza de fricción, las tres ecuaciones que surgen de analizar los diagramas de cuerpo libre son (α denota la aceleración angular):

- a) $\sum F_x = mg \sin \theta - fr = ma$, $\sum F_y = N - mg \cos \theta = 0$, $\sum \tau_z = Rmg = I\alpha$.
b) $\sum F_x = mg \sin \theta - N = ma$, $\sum F_y = N - fr = 0$, $\sum \tau_z = Rfr = I\alpha$.
c) $\sum F_x = mg \cos \theta - fr = ma$, $\sum F_y = N - mg \sin \theta = 0$, $\sum \tau_z = Rfr = I\alpha$.
d) $\sum F_x = mg \sin \theta - fr = ma$, $\sum F_y = N - mg \cos \theta = 0$, $\sum \tau_z = Rfr = I\alpha$.

5. Si despeja la aceleración a a partir de las ecuaciones anteriores encuentra que esta toma la forma $a = \frac{gh}{d(1+\beta)}$. Aquí se han usado la altura h del triángulo y su hipotenusa d para expresar el seno del ángulo. Ahora, si el objeto circular del experimento parte desde el reposo, la distancia d recorrida por el objeto toma la forma $d = \frac{1}{2}at^2$. Use el resultado del punto anterior para deducir una ecuación para la constante β en términos del tiempo t que le toma al objeto recorrer la distancia d ; esta relación es:

- a) $\beta = \frac{ght^2}{2d^2} - 1$.
b) $\beta = \frac{ght^2}{2d^2} + 1$.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA

FÍSICA

ENERGÍA ROTACIONAL

ASIGNATURA

MECÁNICA Y
LABORATORIO

Corte 03

CÓDIGO

CB03005

3 PROCEDIMIENTO

c) $\beta = \frac{ght^2}{2d^2}$.

d) $\beta = \frac{gt^2}{2}$.

6. Cuando el objeto circular del experimento parte desde el reposo, su energía mecánica inicial es mgh , si el marco de referencia se toma en la base del plano inclinado. Cuando el cuerpo recorre la distancia d , su energía potencial se ha transformado en cinética: traslacional más rotacional: $K = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$. Exprese la velocidad v en términos del tiempo que le toma al cuerpo recorrer la distancia d ; además, use los resultados anteriores para expresar K . Esta se puede escribir como:

a) $K = \frac{mg^2h^2t^2}{d^2(1+\beta)}$.

b) $K = \frac{mg^2h^2t^2}{2d^2(1+\beta)}$.

c) $K = \frac{\beta mg^2h^2t^2}{2d^2(1+\beta)}$.

d) $K = \frac{2mg^2h^2t^2}{d^2(1+\beta)}$.

3. Procedimiento

Materiales:

- Conjunto de esferas macizas.
- Conjunto de cilindros macizos.
- Conjunto de cilindros huecos.
- Plano inclinado (riel metálico).
- Soportes.
- Metro.
- Regla o calibrador.
- Cronómetro (procedimiento 1).
- Fotopuertas (opcional para el procedimiento 1).
- Sensor de movimiento (procedimiento 2).
- Interfaz Pasco y computador (procedimiento 2).

Identifique un conjunto de dos esferas macizas, dos cilindros macizos y dos cilindros huecos. Mida su masa y sus dimensiones y registre sus resultados en la tabla 1. Use las etiquetas del 1 al 6 para los objetos y téngalas en cuenta para todo el experimento.



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA
FÍSICA

ASIGNATURA
MECÁNICA Y
LABORATORIO
Corte 03

CÓDIGO
CB03005

ENERGÍA ROTACIONAL

3.1 Procedimiento 1

3 PROCEDIMIENTO

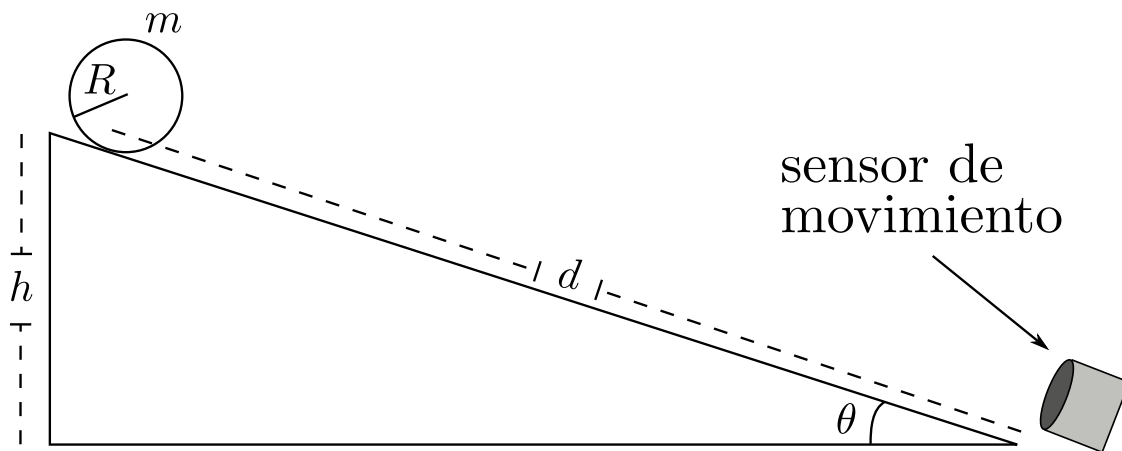


Figura 2: Sistema que será estudiado en esta práctica: un objeto circular que rueda a lo largo de un plano inclinado. Montaje indicado para el procedimiento 2.

Núm. obj.	Objeto	Radio	Altura	Masa
1	Esfera sólida		N/A	
2	Esfera sólida		N/A	
3	Cilindro sólido			
4	Cilindro sólido			
5	Cilindro hueco			
6	Cilindro hueco			

Tabla 1: Dimensiones para los seis objetos usados en el experimento. No olvide incluir las unidades y las incertidumbres.

Hay dos posibles procedimientos que puede llevar a cabo; el profesor le indicará cuál debe implementar. A continuación se mostrarán los detalles de cada uno de ellos.

A continuación monte el experimento, que se asemejará al mostrado en la figura 1 (procedimiento 1) o al de la figura 2 (procedimiento 2). Mida la distancia d , la altura h y el ángulo θ . Si está realizando el procedimiento 1 registre estos valores en la tabla 2; para el procedimiento 2 consígnelos en la tabla 3.

3.1. Procedimiento 1

Deje rodar cada uno de los seis objetos desde el reposo y cronometre el tiempo que le toma a cada objeto llegar hasta el piso (la mesa). Tenga cuidado, pues necesita tomar muy buenos tiempos para que el experimento sea exitoso; para disminuir el margen de error tome cinco tiempos y promédíelos. De hecho, es posible que varios tiempos tomados deban ser registrados de nuevo, si su valor no fue tomado correctamente y dista mucho del esperado. Registre estos tiempos también en la tabla 2. No olvide incluir



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA

FÍSICA

ENERGÍA ROTACIONAL

ASIGNATURA

MECÁNICA Y
LABORATORIO

Corte 03

CÓDIGO

CB03005

3.2 Procedimiento 2

3 PROCEDIMIENTO

las unidades e incertidumbre, si aplica.

Si tiene fotopuertas disponibles use un conjunto de dos para medir el tiempo, en vez de usar el cronómetro. disponibles las fotopuertas.

Nota: tenga cuidado con la medición de la altura, ya que la pista tiene un grosor específico. Tenga en cuenta que la distancia recorrida debe ser corregida debido al tamaño del objeto; en otras palabras, el tiempo puede registrarse cuando el borde del objeto llegue a la meta, no su centro.

Distancia $d =$		Altura $h =$		Ángulo $\theta =$		
Objeto	5 tiempos (t)					$t_{promedio}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Tabla 2: Datos de tiempo tomados para la altura registrada. No olvide incluir las unidades y las incertidumbres. Complete esta tabla solo si está llevando a cabo el procedimiento 1.

3.2. Procedimiento 2

Deje rodar cada uno de los seis objetos desde el reposo y mida la aceleración de caída a partir del sensor de movimiento (el profesor o laboratorista le ayudará); esto se hace realizando una regresión lineal para una gráfica de velocidad contra tiempo, seleccionando un intervalo de posición donde el comportamiento es parabólico, como todo movimiento de aceleración constante (ver figura 3 para más indicaciones). Es posible que, debido a interferencias y pequeñas imprecisiones en la medida, se presenten datos inconsistentes; por este motivo se pide seleccionar un intervalo de la gráfica donde los datos tengan un comportamiento parabólico. En los recuadros superiores mostrados en la figura 3 se pueden visualizar unas opciones que le permiten hacer la selección del intervalo y realizar la regresión. Consigne sus resultados en la tabla 3.



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA
FÍSICA
ENERGÍA ROTACIONAL

ASIGNATURA
MECÁNICA Y
LABORATORIO
Corte 03

CÓDIGO
CB03005

4 ANÁLISIS DE DATOS

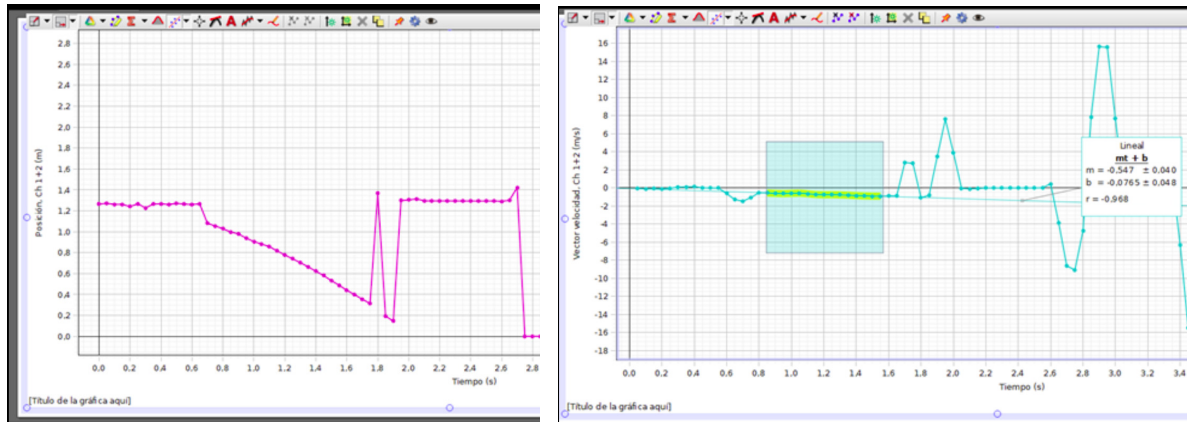


Figura 3: Gráficas obtenidas para la caída del objeto circular a lo largo del plano inclinado usando el sensor de movimiento. Izquierda: gráfica de posición contra tiempo. Note el comportamiento parabólico en el intervalo aproximado de $0,8 \leq t \leq 1,6$ s. Derecha: gráfica de velocidad contra tiempo; se ha seleccionado el mismo intervalo, ya que la gráfica de velocidad se comporta linealmente (la de posición de manera parabólica). En el recuadro blanco se muestra el resultado de la regresión.

Nota: Tenga cuidado con la medición de la altura, ya que la pista tiene un grosor específico. Tenga en cuenta que la distancia recorrida debe ser corregida debido al tamaño del objeto; en otras palabras, el tiempo puede registrarse cuando el borde del objeto llegue a la meta, no su centro.

	Distancia $d =$		Altura $h =$		Ángulo $\theta =$
Objeto	3 aceleraciones (a)			$a_{promedio}$	
1					
2					
3					
4					
5					
6					

Tabla 3: Datos de aceleración tomados para la altura registrada. No olvide incluir las unidades y las incertidumbres. Complete esta tabla solo si está llevando a cabo el procedimiento 2.

4. Análisis de datos

Cálculo del coeficiente β : como primer objetivo, se desea calcular el momento de inercia de los objetos estudiados en este laboratorio. Esto se logra al calcular el factor β (ver marco teórico), cuya relación teórica debió haber sido encontrada en la pregunta 5 del marco teórico. **Procedimiento 1:** con



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA
FÍSICA

ASIGNATURA
MECÁNICA Y
LABORATORIO
Corte 03

CÓDIGO
CB03005

ENERGÍA ROTACIONAL

4.1 Sección de preguntas

4 ANÁLISIS DE DATOS

los datos encontrados y los tiempos registrados en la tabla 2 (los promedios, en particular), complete la tabla 4; use la pregunta 5 del marco teórico como referencia. **Procedimiento 2:** con los datos encontrados y las aceleraciones registradas en la tabla 3 (los promedios, en particular), complete la tabla 4; use la pregunta 5 del marco teórico como referencia.

β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6
$\beta_{promedio} =$	$\beta_{promedio} =$			$\beta_{promedio} =$	
$P_{error} =$	$P_{error} =$			$P_{error} =$	

Tabla 4: Valores del coeficiente β para los objetos usados.

Conservación de la energía: la idea ahora es verificar el principio de conservación de la energía. Dada la relación $v = at$, donde a es la aceleración y t el tiempo de caída, registre, en la tabla 5, la velocidad lineal al final del recorrido para cada uno de los seis objetos usados. Si realizó el procedimiento 1 deberá calcular cada aceleración a partir de los tiempos, con base en la explicación ofrecida en la pregunta 5 del marco teórico. Para el procedimiento 2, la velocidad final, v_f , puede ser calculada directamente, a partir de la aceleración, mediante la relación $v_f^2 = v_0^2 + 2ad$; v_0 es la rapidez inicial del objeto y d la distancia recorrida por este.

Calcule la energía potencial U al inicio de recorrido y la cinética K , al final (ver pregunta 6 del marco teórico). Por conservación de la energía, estas deben coincidir, así que calcule el porcentaje de error; tome la energía potencial como valor teórico.

v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6
K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
P_{error}	P_{error}	P_{error}	P_{error}	P_{error}	P_{error}

Tabla 5: Valores calculados para distintas cantidades físicas que describen el principio de conservación de energía que se puede verificar en el experimento. No olvide incluir las unidades.

4.1. Sección de preguntas

Para complementar su entendimiento de la práctica realizada responda las siguientes preguntas, con base en sus datos y resultados obtenidos:



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA

FÍSICA

ENERGÍA ROTACIONAL

ASIGNATURA

MECÁNICA Y
LABORATORIO

Corte 03

CÓDIGO

CB03005

5 CONCLUSIONES

1. ¿Importa el valor de la masa para el tiempo de llegada, si los dos objetos tienen la misma geometría, por ejemplo, si ambos son esferas sólidas? Explique.
2. ¿Importa el valor del radio para el tiempo de llegada, si los dos objetos tienen la misma geometría, por ejemplo, si ambos son cilindros sólidos? Explique.
3. ¿Por qué la rotación de los objetos a lo largo del plano es consecuencia de la fricción estática y no de la dinámica?
4. Si actuara la fricción dinámica, ¿cómo se moverían los objetos?
5. Si los cuerpos deslizaran, en vez de rotar, ¿llegarían al mismo tiempo? Explique.
6. Si los cuerpos deslizaran, en vez de rotar, ¿se conservaría la energía mecánica? Explique.
7. ¿Qué bajaría más rápido por la rampa: una esfera maciza o una hueca? Explique.

5. Conclusiones

Esta sección se incluye para que el estudiante redacte sus propias conclusiones sobre el experimento. Con base en sus resultados, comente el éxito de la práctica. ¿Se cumple la teoría? ¿Qué hipótesis se pudieron verificar? ¿Qué resultados no están de acuerdo con lo esperado? Justifique sus respuestas.

Apéndices

Torque

El torque o momento de torsión es una cantidad vectorial que se define mediante la fórmula $\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$. La magnitud del vector está dada por la expresión $\tau = rF \sin \theta$, en la cual θ es el ángulo formado entre los dos vectores. Para un cuerpo rígido, cuyo momento de inercia es I , la magnitud del momento de torsión es $\tau = I\alpha$, en la cual α es la aceleración angular.

Momento de inercia

El momento de inercia determina cuánto se opone un cuerpo a ser rotado. Esta cantidad depende de cómo esté distribuida la masa alrededor de un cuerpo y dónde se encuentra el eje de rotación (el que permite que un cuerpo rote). Su definición es $I = \sum_j m_j r_j^2$. Note que las unidades, en el sistema internacional, son $\text{kg} \cdot \text{m}^2$. Una lista de momentos de inercia para distintos objetos, rotados a lo largo de distintos ejes, se encuentra en el siguiente enlace [Click me!](#).

Leyes de Newton

1. Primera ley: un cuerpo seguirá su movimiento de velocidad constante o permanecerá en reposo hasta que una fuerza externa actúe sobre él.
2. Segunda ley: la fuerza neta que actúa sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración del sistema. La constante de proporcionalidad se llama la masa inercial. En otras palabras, $\sum_j \vec{F}_j = m\vec{a}$. La segunda ley, en términos de rotación, toma la forma (a lo largo de una dirección específica) $\sum_j \tau_j = I\alpha$.
3. Tercera ley: toda fuerza (acción) genera una reacción de igual intensidad, pero en sentido opuesto.

Energía cinética

La energía cinética es aquella que posee un objeto debido a su estado de movimiento. Si m es la masa del cuerpo y v su rapidez, esta se puede escribir como:

$$K = \frac{1}{2}mv^2. \quad (1)$$



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia



Departamento de Ciencias Básicas

Coordinación de Laboratorios

ÁREA

FÍSICA

ENERGÍA ROTACIONAL

Bibliografía

ASIGNATURA

MECÁNICA Y
LABORATORIO

Corte 03

CÓDIGO

CB03005

Bibliografía

Energía potencial gravitacional

La energía potencial gravitacional describe la energía almacenada por un cuerpo de masa m en presencia de un campo gravitacional. Si h describe la altura del objeto respecto a un punto de referencia (donde se establece la energía potencial como cero), esta se escribe como (bajo la aproximación de campo constante):

$$U = mgh. \quad (2)$$

Principio de conservación de la energía

Este principio establece que la energía mecánica, la suma entre la energía cinética y la energía potencial de un cuerpo, permanece constante. Si E_1 representa la energía mecánica en un instante inicial y E_2 representa la misma cantidad en un instante final, se puede concluir que $E_1 = E_2$.

Porcentaje de error

El porcentaje de error es una medida que trata de cuantificar cuán lejos o cerca está el resultado obtenido en un experimento, en comparación con el valor esperado teóricamente. Un porcentaje de error bajo quiere decir que nuestro resultado es muy similar al esperado; por el contrario, un error alto implica una alta discrepancia entre nuestro resultado y el esperado. Sea V_{exp} el valor encontrado de la variable V a partir de un experimento y sea V_{teo} el valor esperado asociado a la misma variable. El porcentaje de error asociado a la variable V es:

$$P_{error}(V) = \left| \frac{V_{exp} - V_{teo}}{V_{teo}} \right| 100\%. \quad (3)$$

Referencias

Coloque acá sus referencias, en formato APA. Al final del documento, se muestran las referencias citadas a lo largo de la guía. Las citas están en formato APA, para que entienda el formato y las adapte a los artículos, libros, u otra fuente de información que quiera citar.

Bibliografía

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Física Para Ciencias e Ingeniería, ed. 10, Vol 1*. Cengage.
<https://login.ucatolica.basesdedatosezproxy.com/login?qurl=https://www.ebooks7-24.com%2fstage.aspx%3fil%3d%26pg%3d%26ed%3d272>



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

