



Universidad  
Central

Facultad de Ingeniería  
y Arquitectura

# Laboratorio de Física con **Enfoque Libre STEM**



Autores

**Nelson Sepulveda N.**  
**Jaime Carrasco M.**

*Laboratorio de Física con Enfoque Libre STEM © 2023 by Nelson Sepulveda y Jaime Carrasco is licensed under Attribution-NonCommercial 4.0 International. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>*

ISBN 978-956-330-078-9  
Sello Editorial Universidad Central 978-956-330

## AUTORES

---

- **Nelson Sepúlveda Navarro**

Doctor en Ciencias c/m en Física, profesor de Física y Matemáticas, académico del departamento de Ciencias Básicas, coordinador del área de física de la Escuela de Ingeniería de la **Universidad Central de Chile**. Ha generado una línea de trabajo con el uso de metodologías activas de aprendizaje, desarrollo de actividades STEM y de Vinculación con el Medio con Arduinos.

- **Jaime Carrasco Maturana**

Magister en Docencia Universitaria, licenciado en Física Aplicada, es académico del departamento de Ciencias Básicas de la Escuela de Ingeniería y de la Escuela de Salud de la **Universidad Central de Chile**. Participe activo de proyectos de Innovación educativa y de Vinculación con el Medio, en el área STEM.

# ÍNDICE

---

## Laboratorio I: Mediciones y tratamientos de gráficos

Guía N° 1: Medición y cifras significativas .....	13
Guía N° 2: Medición indirecta y propagación de error .....	18
Guía N° 3: Gráficos – Relaciones funcionales (Parte I) .....	24
Guía N° 4: Gráficos – Relaciones funcionales (Parte II) .....	27
Guía N° 5: Gráficos – Relaciones funcionales (Parte III) .....	32

## Laboratorio II: Elementos de Mecánica

Guía N° 1: Lanzamiento de proyectiles .....	38
Guía N° 2: Cantidad de movimiento .....	43
Guía N° 3: Fuerza de roce .....	47
Guía N° 4: Ley de Hooke y energía potencial elástica .....	52
Guía N° 5: Torque y momento de inercia .....	59

## Laboratorio III: Elementos de electricidad y magnetismo

Guía N° 1: Potencial y campo eléctrico .....	64
Guía N° 2: Distribución continua de cargas .....	69
Guía N° 3: Capacitor y condensador .....	73
Guía N° 4: Ley de Ohm y resistencias eléctricas .....	78
Guía N° 5: Campo magnético e inducción .....	88

## Laboratorio IV: Elementos de ondas, óptica y temperatura

Guía N° 1: Oscilaciones .....	93
Guía N° 2: Ondas electromagnéticas (“velocidad de la luz”) .....	98
Guía N° 3: El sonido y sus señales .....	102
Guía N° 4: Lentes delgadas .....	108
Guía N° 5: Ley de enfriamiento .....	114

RÚBRICA GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INFORME SINTETIZADO .....	123
--	-----

## Presentación

El cuaderno de trabajo que tiene en sus manos es un compendio de actividades experimentales posibles de realizar tanto en casa como en la universidad, que tienen como objetivo el desarrollo de competencias básicas de trabajo en un laboratorio de física. Por enfoque **libre STEM**, nos referimos a que todas las actividades de este libro son propuestas con softwares libres, de código abierto, y en la medida de lo posible experiencias de bajo costo.

Este cuaderno inicia con una presentación de los aspectos formales de sistemas de unidades, temas relacionados con la toma de muestras y un tópico tan relevante como es la Teoría de Error. Asimismo, dedicamos algunas páginas a conceptos fundamentales de propagación de errores.

Posteriormente se desarrollan 20 experiencias, las cuales se dividen en cuatro partes con 5 ejercicios cada una. La primera parte trata aspectos de sistemas de unidades y mediciones, gráficos y rectificaciones; la segunda, está orientada a problemas relacionados con mecánica y se trabajan experimentalmente los conceptos de cinemática y dinámica; la tercera parte aborda experiencias del campo de electricidad y magnetismo; y las últimas 5 guías están orientadas a conceptos de ondas, óptica geométrica y temperatura. Al finalizar, también se propone un formato de informe para quienes se inician en actividades experimentales en física, así como la rúbrica propuesta para la evaluación según este prototipo de informe.

Las actividades se han diseñado para que resulte fácil acceder a los materiales o al desarrollo de la experiencia desde computadoras, tabletas o celular. Cuando ha sido necesario, se ha optado por softwares libres de código abierto. Además, en este libro encontrará actividades para desarrollar en casa, actividades con simulaciones Phet de la Universidad de Colorado, análisis de imágenes con el Software Tracker y tratamiento de datos con algún software de análisis, incentivando el uso de plantillas de cálculo Excel de Microsoft Office u OpenOffice Calc.

Un sello distintivo de las guías de trabajo son las actividades **Ingeniare**, las cuales están basadas en metodologías activas de aprendizaje, como son estudios de caso o problemas ricos en contenidos. De esta forma se invita a las y los estudiantes a investigar, a someter a juicio sus preconceptos y, particularmente, profundizar y contextualizar los objetivos de cada guía de trabajo con su eje temático.

Finalmente, queremos agradecer por hacer posible este texto a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Central de Chile; a los fondos concursables de innovación educativa de la Universidad Central de Chile años 2017 y 2018; a Luciano Rocco estudiante en práctica, y Enrique Kritzner pañolero de los laboratorios de física, y a las y los profesores que aportaron con discusiones y conversaciones en el desarrollo de estas actividades: profesora Verónica Ramírez, profesor Luis Oliveros y Ricardo Pintanel.

## Sistemas de unidades

Medir es comparar. Y toda comparación requiere de patrones lo más robustos posibles, es decir, que al cambiar una serie de elementos del entorno, los patrones sigan siendo los mismos. Por ejemplo, para medir una longitud pequeña podemos usar un patrón propio como el dedo pulgar. ¿Sirve nuestro pulgar para medir? Claro que sirve, pero es muy difícil que esa medida podamos compartirla con otra persona y que una medida de 10 pulgares sea igual para ambos; es innegable que serán parecidas, pero no necesariamente idénticas.

Un aspecto metodológico diferente es definir un patrón y que no pueda ser alterado. Por ejemplo, la pulgada establecida en nuestro sistema de unidades tiene una equivalencia de 25,4 mm.

En las ciencias en general, y particularmente en física, las mediciones son trascendentes para nuestros cometidos. Es por ello que nos basamos en sistemas internacionales de pesos, patrones y medidas.

El sistema internacional de unidades (SI) fue creado en 1960, en la 11ª conferencia general de pesos y medidas, reconociendo las seis unidades fundamentales de medida. En 1971 se reconoció una séptima, sobre cantidad de sustancia [1]:

Magnitud	Nombre	Símbolo
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Temperatura termodinámica	Kelvin	K
Intensidad de corriente eléctrica	Ampere	A
Intensidad luminosa	Candela	cd
Cantidad de sustancia	Mol	mol



*Tabla 1. Magnitudes fundamentales del Sistema Internacional de Unidades (SI) [1].*

Como se ha mencionado, medir es comparar, y se puede medir una magnitud física directamente o de maneras indirectas. Eso depende de las características técnicas de la medición y de la magnitud a considerar.

Las magnitudes derivadas son aquellas que se componen de una o más magnitudes fundamentales. Por ejemplo, para medir la rapidez se requiere de longitud y tiempo; para calcular la fuerza se necesita de algunos parámetros como podrían ser masa, velocidad y tiempo, o también se podría medir directamente mediante un sistema ya calibrado como una pesa o un sistema que mida tensiones. El problema es que, con cada instrumento de medición, cada investigador que realice una medida registrará un error.

Entonces, como aspectos claves tenemos que una **medición directa** es aquella en la cual la magnitud a medir se compara directamente con la unidad patrón en un instrumento, mientras que la **medición indirecta** es aquella en la cual su valor se calcula o determina como función de una o más magnitudes físicas medidas directa o indirectamente. Como resultado de una medición se obtiene una cantidad física, es decir, un número con su respectiva unidad de medida.

Cualquiera sea el método empleado en una medición, siempre estará presente el error, debido a causas que producen imprecisión en la medida. El problema de la determinación del valor de una magnitud ha sido estudiado con el nombre de *Teoría de Error*. La importancia de determinar, estimar y cuantificar los errores está en que se pueda entregar una indicación de cuán cerca se encuentra un resultado experimental de su verdadero valor.

Entonces, el error o incerteza se define como la diferencia entre la medida realizada y su valor verdadero.

### Medidas y Mediciones

El resultado de cualquier medición de una magnitud física se debe expresar como: [2]

$$x = \langle x \rangle \pm \Delta x,$$

donde  $\langle x \rangle$  corresponde al valor principal, el cual puede ser un promedio de datos medidos, y  $\Delta x$  corresponde al error absoluto de la medición.

Al expresar una medida, la cantidad de *cifras significativas* son las que permiten hacer la diferencia entre una medida y otra. Por ejemplo, al medir la longitud de un perno se han utilizado dos instrumentos, dando como resultado  $L = 3,00 \text{ cm}$  y  $L = 3 \text{ cm}$ , pero se debe advertir que como cantidades físicas **no son iguales**, pues la cantidad de cifras significativas no es la misma. En el primer caso, la medición fue realizada con un instrumento que discriminaba hasta la centésima de centímetro. En cambio, en la segunda se utilizó un aparato que discriminaba solo hasta la unidad de centímetro. De lo anterior se deduce que la cantidad de cifras significativas está íntimamente relacionada con el instrumento de medición. No se debe expresar una cantidad física con más cifras significativas que las que el instrumento utilizado puede discriminar.

Al acortar la cantidad de cifras significativas, se utiliza la “regla de redondeo”: si la última cifra es mayor o igual a cinco, se suma uno, si es menor a cinco, queda igual.

### **Reglas para expresar una medida (con su error)**

Hay algunos elementos fundamentales para escribir las medidas de un instrumento. Lo primero es que cada medida debe ir acompañada de su unidad física, respetando el sistema de unidades utilizado. Según la normativa chilena, acuñamos el Sistema Internacional de Unidades.

Las reglas más importantes para expresar una medida se pueden resumir en: [3]

1. Todo resultado experimental o medida hecha en el laboratorio se debe acompañar del valor estimado del error de la medida y, a continuación, las unidades empleadas.
2. Los errores se deben dar solamente con una única cifra significativa.
3. La última cifra significativa en el valor de una magnitud física y en su error, expresados en las mismas unidades, debe corresponder al mismo orden de magnitud (centenas, decenas, unidades, décimas, centésimas).



## **Teoría de Error**

Si bien puede haber una discusión respecto a la identificación de los tipos de errores, según su origen y posterior clasificación, para efectos de este documento los englobaremos en dos grupos: errores sistemáticos y errores aleatorios.

### ***i. Errores sistemáticos***

El *Error Sistemático*, conocido también como error de protocolo, se debe a causas posibles de identificar y que, en principio, se pueden corregir. Siempre afecta el resultado de una medición del mismo modo, es decir, desplazan y/o afectan a todas las medidas en la misma dirección.

#### **Ejemplos:**

- a) Calibración deficiente de un instrumento.
- b) Aplicación de fórmulas incorrectas.
- c) Al medir una magnitud, no se registró la unidad.

### ***ii. Errores aleatorios***

El *Error Aleatorio* proviene de variaciones incontrolables de un gran número de factores experimentales. Es un error accidental que no puede ser eliminado, pero sí es posible minimizarlo: mientras mayor sea el número de datos, menor será el efecto del error aleatorio en el experimento.



### Ejemplos:

- Mientras se mide temperatura, ingresa una ráfaga de viento por una ventana.
- Al medir el tiempo de recorrido de un vehículo, el vehículo pasa sobre una piedrecilla.
- La persona encargada de registrar los datos ingresó o anotó un valor errado.

Todas las mediciones tienen asociado un error por el solo hecho de compararlas con un patrón; las fuentes pueden provenir de los instrumentos mismos, del protocolo, del medio o del mismo investigador. En el caso de los **errores sistemáticos**, si se logra identificar la fuente de error podría ser posible corregir las mediciones realizadas. En el caso de los **errores aleatorios**, no se pueden eliminar, pero el error total se puede minimizar con un número grande de muestras.

### Propagación de errores

Consideremos las magnitudes físicas  $a$ ,  $b$  y  $c$ , con sus errores, y las fórmulas para las operaciones algebraicas básicas para la propagación de errores. Sean:

$$a = \langle a \rangle \pm \Delta a$$

$$b = \langle b \rangle \pm \Delta b$$

$$c = \langle c \rangle \pm \Delta c$$

Operación	Expresión Algebraica	Expresión Algebraica de la Medida Indirecta
SUMA	$x = a + b + c$	$x = (\langle a \rangle + \langle b \rangle + \langle c \rangle) \pm (\Delta a + \Delta b + \Delta c)$
RESTA	$x = a - b$	$x = (\langle a \rangle - \langle b \rangle) \pm (\Delta a + \Delta b)$
PRODUCTO	$x = a \cdot b \cdot c$	$x = (\langle a \rangle \cdot \langle b \rangle \cdot \langle c \rangle) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} + \frac{\Delta c}{\langle c \rangle} \right) \right]$
DIVISIÓN	$x = \frac{a}{b}$	$x = \left( \frac{\langle a \rangle}{\langle b \rangle} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} \right) \right]$
POTENCIA ( $n \in \mathbf{R}$ )	$x = a^n$	$x = \langle a \rangle^n \left[ 1 \pm n \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} \right]$
PRODUCTO ( $k$ cte. $\in \mathbf{R}$ )	$x = k \cdot a$	$x = k \cdot \langle a \rangle \pm k \cdot \Delta a$

### Ejemplos: [3]

1. La medida de los lados de un rectángulo son  $1,53 \pm 0,06$  cm y  $10,2 \pm 0,1$  cm, respectivamente. Hallar el área del rectángulo y el error de la medida indirecta.

La medida del área se obtiene aplicando la fórmula del producto de dos magnitudes.

$$x = (\langle a \rangle \cdot \langle b \rangle) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} \right) \right]$$
$$x = (1,53 \cdot 10,2) \left[ 1 \pm \left( \frac{0,06}{1,53} + \frac{0,1}{10,2} \right) \right]$$
$$x = 15,606 [1 \pm 0,04901] = 15,606 \pm 0,7648$$
$$\therefore x = 15,6 \pm 0,8 \text{ cm}^2$$

2. Determinar la aceleración de la gravedad  $g$ , midiendo el período  $T = 1,396 \pm 0,004$  s de un péndulo de longitud  $l = 47,9 \pm 0,1$  cm.

El período de un péndulo viene dado por la siguiente expresión algebraica:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

Para calcular el valor de  $g$ , primero consideremos  $a = 4\pi^2 l$  y después dividimos  $a$  por  $T^2$ .

$$a = 4\pi^2 [\langle l \rangle \pm \Delta l]$$
$$a = 39,4784 [47,9 \pm 0,1] = 1891 \pm 4 \text{ cm}$$

Ahora debemos determinar  $T^2$ :

$$T^2 = (\langle T \rangle \cdot \langle T \rangle) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta T}{\langle T \rangle} + \frac{\Delta T}{\langle T \rangle} \right) \right] = \langle T \rangle^2 \left[ 1 \pm 2 \frac{\Delta T}{\langle T \rangle} \right]$$
$$T^2 = \langle 1,396 \rangle^2 \left[ 1 \pm 2 \frac{0,004}{1,396} \right] = 1,948 \pm 0,011 \text{ s}^2$$

Entonces ahora podemos determinar el valor de  $g$ :

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} = 4\pi^2 \frac{[\langle l \rangle \pm \Delta l]}{\langle T \rangle^2} = \frac{a}{\langle T \rangle^2}$$

Para realizar la división, debemos seguir los pasos del álgebra de errores para dicha operación, es decir:

$$g = \left( \frac{\langle a \rangle}{\langle b \rangle} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} \right) \right] \Rightarrow \left( \frac{\langle a \rangle}{\langle T \rangle^2} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta T^2}{\langle T \rangle^2} \right) \right]$$
$$g = \left( \frac{1891}{1,948} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{4}{1891} + \frac{0,011}{1,948} \right) \right]$$
$$\therefore g = 970 \pm 8 \frac{cm}{s^2}$$

## Referencias

---

- [1] *Bureau International des Poids et Mesures*. <https://www.bipm.org/en/measurement-units/>, consultada el 24 de diciembre, 2020.
- [2] Taylor J. R. *An Introduction to Error Analysis. The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. University Science Books, 1982.
- [3] *Errores en las medidas*. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/medidas/medidas.htm>, consultada el 24 de diciembre, 2020.



## Guía N° 1: Medición y cifras significativas

---

### Resumen

En esta actividad nos acercaremos a los sistemas de mediciones, patrones y medidas, necesarias tanto en la vida cotidiana como para el pensamiento crítico. Son tan importantes las medidas como la cantidad de dígitos a utilizar. Por ello, en esta actividad utilizaremos patrones basados en el Sistema Internacional de Unidades, revisado en páginas anteriores de este libro.

---

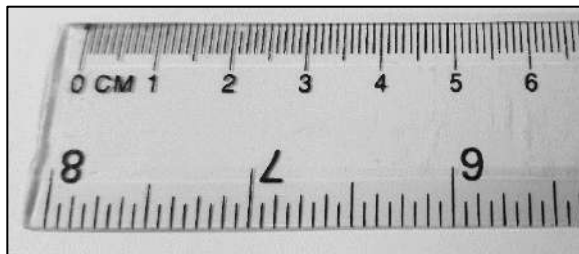
### 1.1. Introducción

Tanto en ciencias como en ingeniería, la forma de expresar una medida es por medio de mediciones, las que provendrán de instrumentos que pueden ser **análogos** o **digitales**. Análogo como una regla, una cinta de medir o un reloj con punteros. Digital como un cronómetro, una balanza eléctrica o un termómetro infrarrojo.

Cada instrumento tiene una **sensibilidad** característica, que corresponde a la mínima medida capaz de realizar.

Cada medida tiene asociado un error instrumental, es decir, cada vez que usted mide, incluye un error en la medición. En los instrumentos análogos, el **error instrumental** es la mitad de la sensibilidad.

Es decir, si la sensibilidad o la mínima medida que puede medir una regla es 1 mm, como muestra la Figura 1:



*Figura 1. Regla análoga de sensibilidad 0,1 cm o 1 mm, que corresponde a la mínima medida capaz de leer.*

Entonces, el error asociado a medir con la **regla análoga** de la Figura 1, es la sensibilidad dividida por 2.

$$\text{error} = \pm \frac{\text{sensibilidad}}{2} = \pm \frac{1}{2} \text{ mm} = \pm 0,5 \text{ mm}$$

Y esto ocurrirá para todos los instrumentos análogos.

Ahora que has visto cómo se obtiene el error de un instrumento análogo, en el caso de los instrumentos digitales es más sencillo: el error instrumental corresponde simplemente a la sensibilidad, es decir, a la mínima medida capaz de medir, como se observa en la figura 2.

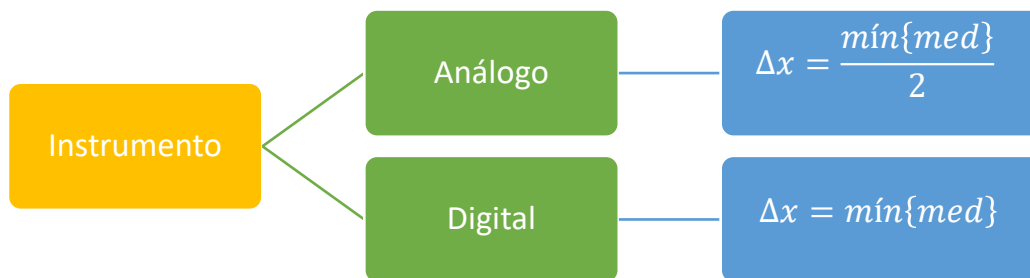


*Figura 2. Balanza digital de sensibilidad 0,01 gramo. Esta medida corresponde a la mínima medida capaz de leer.*

Entonces, el error asociado a medir con la **balanza digital** de la Figura 2, es igual a la sensibilidad.

$$error = \pm sensibilidad = \pm 0,01 g$$

En síntesis, el valor del error del instrumento de medición finalmente depende de las características análogas o digitales de los instrumentos, ver figura 3.



*Figura 3. El error en los instrumentos análogos es la sensibilidad dividida en 2, mientras que el error en los instrumentos digitales es igual al valor de su sensibilidad.*

La **precisión** de una medida tiene que ver con la cantidad de decimales que nos entrega el instrumento que realizó la medición. Si la medida de una distancia se realiza con la regla de la Figura 1, cuya sensibilidad es el milímetro, entonces la podremos expresar, por ejemplo, como  $L = 1,320 m$ , pero si otro instrumento es más preciso, nos señalará, por ejemplo, que  $L = 1,3201 m$ .

**Ningún instrumento nos entregará una cantidad infinita de dígitos;** esto es, ningún instrumento posee precisión infinita, porque no serán significativos y no tendrán valor en física.

La **exactitud**, en cambio, tiene que ver con cuanto se acerca al “valor verdadero” de la medición.

Nunca podremos conocer con certeza el valor verdadero de una medición, porque, a pesar de que se utilicen instrumentos de una tecnología cada vez más avanzada, que los haga ser cada vez más precisos, siempre tendrán un rango de error. Si bien este se puede ir minimizando, al final, de acuerdo con Heisenberg, una de las variables quedará indeterminada.

Es necesario definir previamente las cifras significativas a utilizar para representar los valores medidos. Las cifras significativas son aquellas que aportan información relevante respecto a la cantidad con que se está trabajando. Por ejemplo, una medida de longitud específica de 48,5 m posee 3 cifras significativas; en tanto, la misma medida, pero expresada como 48,54223 m, posee 7 cifras significativas. Ambas miden la misma cantidad, solo que una lo hace con mayor precisión que la otra.

Ahora, en el caso de los ceros, estos dependen de la precisión del instrumento de medida que se esté utilizando. Los valores 0,0004258, 0,004258 y 0,04258 tienen la misma cantidad de cifras significativas, es decir, 4 cifras significativas cada uno. La diferencia estará al expresarlos en notación científica, la potencia de 10 tendrá exponentes diferentes.

El número 236000 posee 3 cifras significativas. Y los números  $2,36 \cdot 10^5$ ,  $2,360 \cdot 10^5$  y  $2,3600 \cdot 10^5$  poseen respectivamente 3, 4 y 5 cifras significativas, aun cuando matemáticamente representan el mismo valor. En este laboratorio, usted debe expresar todas las cantidades con cierta cantidad de cifras significativas, junto con expresar cada valor medido con su respectivo error.

## 1.2. Objetivos

1. Expresar magnitudes físicas correctamente, considerando la cantidad de cifras significativas.
2. Expresar correctamente una magnitud física, considerando el error asociado a medidas experimentales tanto para instrumentos análogos como digitales.

## 1.3. Instrumentos y materiales

- Instrumento análogo de medición de longitud (cinta de sastre, cinta métrica, regla).
- Cronómetro del teléfono celular.
- Cordel o hilo de coser.
- Pelota de *ping pong* o tapa de plástico de botella.

## 1.4 Procedimiento experimental

### Actividad N° 1

Si bien con una regla o cinta métrica es posible medir sin inconveniente el largo y ancho de una sola hoja de cuaderno, no resulta sencillo si queremos medir su espesor.

- I. Mida el espesor de una pila de hojas de 100 y 50 hojas, respectivamente. Para esta actividad puede unir las hojas de más de un cuaderno, pero deben ser del mismo tipo.
- II. Sobre la base del valor obtenido y la cantidad de hojas por pila, calcule el espesor de una hoja en ambos casos.
- III. Discuta el error asociado, que puede considerar en la medida, al realizar este procedimiento.
- IV. Calcule el error relativo y el error porcentual.

### Actividad N° 2

Se sabe que Pi ( $\pi$ ) es un número constante que se obtiene a partir del cociente entre el perímetro L de una circunferencia y su diámetro D.

- I. Posicione el cordel sobre la longitud de la circunferencia (perímetro) de cualquier objeto circular, por ejemplo, un disco, una botella, una lata, un reloj. Posteriormente, mida con una regla el largo de la cuerda.
- II. Mida el diámetro del objeto.
- III. Registre sus mediciones con la cantidad de cifras significativas que corresponda.
- IV. Basándose en las medidas anteriores, obtenga el valor de  $\pi$  considerando las reglas en la operatoria con cifras significativas.
- V. Repita los pasos anteriores para 3 objetos circulares diferentes.
- VI. Compare su resultado con el valor teórico conocido. Para ello, obtenga la diferencia porcentual entre el valor obtenido y el valor conocido para  $\pi$ .

Objeto	Longitud circunferencia	Diámetro	$\pi = \frac{\text{longitud circunferencia}}{\text{diámetro}}$

### Actividad N° 3



- I. Deje caer la pelota de ping pong o la tapa de bebida desde una altura  $h = 1,80[m]$  y mida el tiempo de caída empleando un cronómetro. Repita la experiencia 5 veces y registre sus resultados en una tabla.
- II. Determine el tiempo que tarda la pelota de ping pong (o la tapa) en caer desde dicha altura, presentando su resultado con la cantidad correcta de cifras significativas y su correspondiente error instrumental asociado.
- III. Determine el error relativo y el error porcentual entre las medidas obtenidas.

#### Actividad N° 4, *Ingeniare*:

Si bien existen instrumentos que permiten determinar el volumen de un fluido, estos no siempre permiten medir, por ejemplo, el volumen de una gota de agua. Diseñen en equipo un experimento para determinar el volumen de una gota de agua.

### 1.4. Análisis (para las conclusiones)

#### Actividad N° 1

- ¿Es mayor, menor o igual el error asociado al determinar el espesor de una hoja, midiendo indirectamente con 100 o 50 hojas?

#### Actividad N° 2

- ¿Qué representa Pi?
- ¿Se cumple que Pi (cociente entre el perímetro de una circunferencia y su diámetro) posee el mismo valor para cualquier circunferencia?

#### Actividad N° 3

- Compare el error instrumental con el error cometido por quien realizó el experimento. ¿Cuál de estos errores es mayor? ¿Cuál debe ser el error a considerar al momento de informar la medida?

#### Actividad N° 4

- Según la opinión del equipo de trabajo, ¿el valor obtenido experimentalmente será cercano al valor verdadero de una sola gotita de agua?

**Observación:** Las preguntas de análisis son para guiar sus conclusiones. **No es un cuestionario.** En las conclusiones ustedes responden estas preguntas como parte de un todo.

## Guía N° 2: Medición indirecta y propagación de error

---

### Resumen

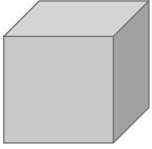
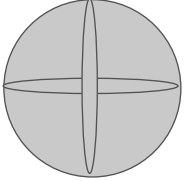
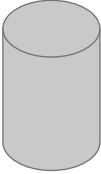
En la sesión experimental anterior fue posible estudiar mediciones directas, aquellas que quedan definidas por el solo hecho de efectuar la medida con un instrumento calibrado, como por ejemplo masa, tiempo, longitud.

En esta sesión experimental se trabajará con aquellas que no están definidas directamente, siendo necesario realizar diversas mediciones para que estas puedan ser determinadas mediante cálculo. Por ejemplo, para registrar la rapidez media es necesario conocer la longitud recorrida y el tiempo empleado; para la fuerza, se necesita medir la masa y conocer la aceleración; para el momentum se requiere conocer la masa y la velocidad, entre otros parámetros físicos. Además, cada medición tiene asociado un error. En esta sesión trabajaremos con el procedimiento que se debe realizar cuando las variables poseen cada una un error (Teoría de Error).

---

### 2.1. Introducción

La medición indirecta es aquella, valga la redundancia, en la que se mide indirectamente una magnitud física. Esto quiere decir que se deben medir ciertos valores directamente con un instrumento, y luego realizar un cálculo (fórmula) con estos valores para obtener el parámetro físico buscado. Pero si sabemos que cada medición directa que realizamos posee un error asociado, a la vez cada magnitud física determinada a partir de estas medidas también poseerá un error, que se desprende del error de las medidas utilizadas en su determinación (lo que se conoce como *propagación de errores*). Por lo tanto, cada medida se debe trabajar con los errores asociados, ya sea si se deben multiplicar, dividir, sumar o restar. Un caso interesante es el de las figuras geométricas tridimensionales como; un cubo, cilindro o una esfera, para determinar parámetros físicos como su superficie o su volumen que son magnitudes indirectas, necesitamos medir directamente algún parámetro como su radio, diámetro o altura. Considere que se tiene un cubo con aristas de lado  $a$ , y que tanto la esfera como un cilindro poseen un diámetro  $D$  y una altura  $h$ . Complete los datos faltantes de la Figura 1.

	Superficie	Volumen
 Cubo de arista $a$		
 Esfera de diámetro $D$		
 Cilindro de diámetro $D$ y altura $h$		

*Figura 1. Recordando superficies y volúmenes de cuerpos solidos regulares.*

En otros casos físicos, por ejemplo, supongamos una caja desplazándose por un plano con fricción despreciable.

- Con una regla medimos directamente que se movió 40 centímetros, con un error asociado de 0,2 cm.
- Con un cronómetro medimos que tarda 8 segundos en recorrer dicha distancia, y hay un error asociado de 0,17 s.
- Y con una balanza se midió que la masa del bloque es de 400 gramos y la balanza posee un error de 0,1 g.

Entonces,

Parámetro	Instrumento	CGS	Sistema Internacional (SI)
Longitud	Regla	$40,0 \pm 0,2$ cm	$0,400 \pm 0,002$ m
Tiempo	Cronómetro	$8,0 \pm 0,2$ s	$8,0 \pm 0,2$ s
Masa	Balanza	$400,0 \pm 0,1$ g	$0,4000 \pm 0,0001$ kg

A partir de estos parámetros es posible obtener **mediciones indirectas** de parámetros físicos.

**Ejemplo 1:** Si se divide la longitud recorrida por el tiempo empleado en ello, podemos obtener la medida indirecta conocida como rapidez media del bloque,

$$Rapidez_{media} = \frac{longitud}{tiempo}$$

Para realizar el cálculo se debe considerar que cada medición debe emplear propagación de errores. Entonces, al **dividir la longitud (a) por el tiempo (b)** se obtiene:

$$v_m = rapidez_{media} = \left( \frac{\langle a \rangle}{\langle b \rangle} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} \right) \right]$$

$$v_m = \left( \frac{0,400}{8,0} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{0,002}{0,400} + \frac{0,2}{8,0} \right) \right]$$

$$v_m = (0,05) [1 \pm (0,005 + 0,025)]$$

$$v_m = (0,05) [1 \pm 0,03]$$

$$v_m = 0,05 \pm 0,0015$$

$$\therefore v_m = 0,050 \pm 0,002 \text{ m/s}$$

**Ejemplo 2:** También en el caso de conocer el valor del parámetro físico aceleración de gravedad (g) como  $9,8 \pm 0,1 \text{ m/s}^2$ , podemos obtener una nueva magnitud física a partir del producto de la masa por “g”, a este parámetro se le conoce como peso del bloque. Esta será:

$$peso = masa \cdot aceleración_{gravedad}$$

Pero, al igual que el caso anterior se debe tener en cuenta que se debe emplear la Teoría de Error. Entonces, al **ponderar la masa (a) por la aceleración (b)**, se obtiene:

$$peso = (\langle a \rangle \cdot \langle b \rangle) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} \right) \right]$$

$$peso = (0,4000 \cdot 9,8) \left[ 1 \pm \left( \frac{0,0001}{0,4000} + \frac{0,1}{9,8} \right) \right]$$

$$peso = (3,92) [1 \pm (0,00025 + 0,01020)]$$

$$peso = (3,92) [1 \pm 0,01045]$$

$$peso = 3,92 \pm 0,04 \text{ N}$$

## 2.2. Objetivos

- Cuantificar correctamente magnitudes físicas indirectas a partir de medidas directas de parámetros físicos.
- Utilizando propagación de errores, cuantificar correctamente el error asociado a una magnitud física.

## 2.3. Instrumentos y materiales

- Balanza.
- Regla.
- Pie de metro (ideal).
- Moneda de \$100 pesos chilenos.
- Esfera pequeña (bolita, pelota de ping-pong o de tenis).
- [Micrómetro](#) (simulación educaplus.org).
- [Esfera virtual en simulación Micrómetro](#) (simulación educaplus.org).

## 2.4. Procedimiento experimental

### Actividad N° 1: Caracterizando de moneda de \$100

La primera actividad consiste en caracterizar la moneda de \$100 pesos chilenos. Para ello deberá medir la masa, diámetro y espesor de la moneda. Posteriormente, buscar en internet el artículo: **Lectura semiótica de cuatro monedas chilenas**, de Yenny Paredes (ver referencias). Luego, con los parámetros físicos declarados en el documento, compare con sus medidas experimentales.

Entonces, mida directamente las cantidades físicas de la moneda: espesor, diámetro y masa.

- a) ¿Cuál es el porcentaje de error entre los valores teóricos y los medidos?
- b) Además, determine la densidad de la moneda, recordando que la densidad se define como:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Siendo  $\rho$  la densidad,  $M$  la masa y  $V$  el volumen del cuerpo.

### Actividad N° 2: Densidad de una esfera

Abra la [simulación del Micrómetro](#) con las esferas, como muestra la Figura 1. Luego, mida el diámetro de una esfera a elección, utilizando para ello el micrómetro de la simulación. Debe

considerar el error que comete con este *instrumento virtual análogo*. También considere que las masas de cada esfera fueron medidas con una balanza digital de sensibilidad 0,02 g.

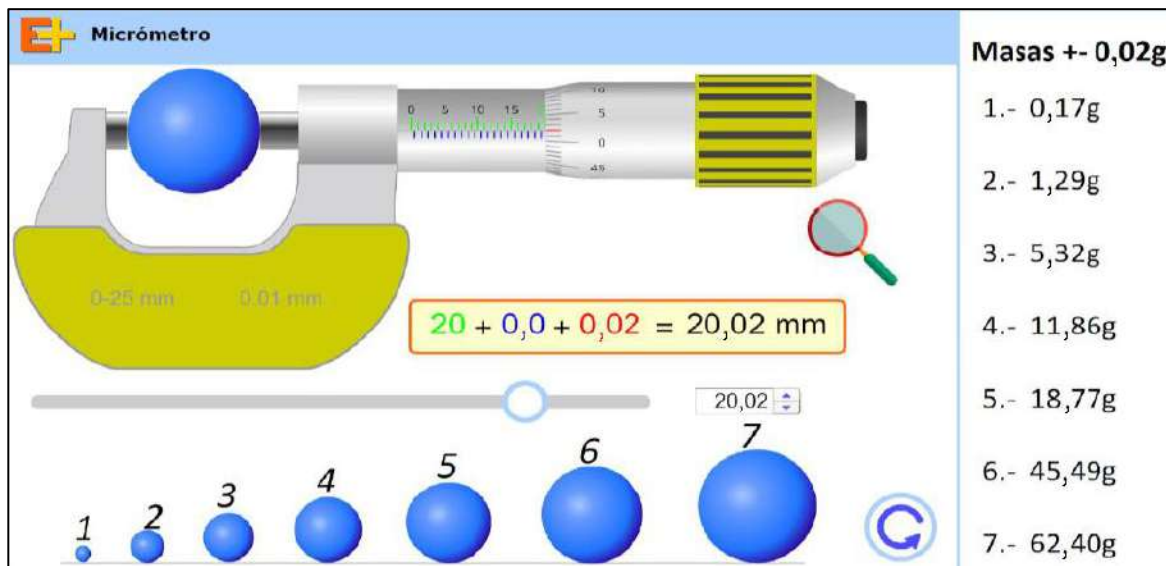


Figura 1. Simulación de micrómetro y set de esferas. Adaptado de <http://www.educaplus.org>

### Tabla propuesta

	Masa	Diámetro
<b>Esfera virtual</b>		
<b>Esfera pequeña</b> (bolita, pelota de ping-pong o de tenis)		

	Volumen $\left(\frac{4}{3}\pi r^3\right)$	Densidad $\left(\frac{\text{masa}}{\text{volumen}}\right)$
<b>Esfera virtual</b>		
<b>Esfera pequeña</b> (bolita, pelota de ping-pong o de tenis)		

### Actividad N° 3: Densidad del Hielo

Construya un cuerpo de hielo con un volumen de 200 cm<sup>3</sup> de agua. Incluya en su informe una fotografía del agua en fase líquida en el recipiente elegido con el volumen requerido, y una fotografía del agua en fase sólida luego de haberse congelado. Extraiga el hielo del recipiente, mida todas las dimensiones y obtenga la densidad del cuerpo de hielo con el error respectivo.

Discuta posteriormente el valor obtenido para su densidad y el observado teóricamente. Discuta las fuentes de error.

#### Actividad N° 4, *Ingeniare*:

Si bien existen instrumentos que permiten determinar el volumen de un fluido, estos no siempre permiten medir, por ejemplo, el volumen de una gota de agua. Diseñen en equipo un experimento en 4 fases como se debe realizar el experimento, luego deben **cuantificar** el error asociado a su propuesta.

### 2.5. Análisis

#### Actividad N° 1

1. Utilizando propagación de errores, realice los cálculos necesarios para obtener la caracterización de la moneda de \$100.
2. Investigue y compare con el documento referenciado respecto a la: “Lectura semiótica de monedas chilenas”.

#### Actividad N° 2

3. Utilizando propagación de errores, realice los cálculos necesarios para obtener la **densidad** de cada bolita. Recuerde que la densidad se obtiene dividiendo la masa por el volumen de la bolita (considere que cada bolita es perfectamente esférica).
4. Investigue valores de densidades y compare los valores obtenidos con los valores calculados a partir de sus mediciones.

#### Actividad N° 3

1. Utilizando propagación de errores, realice los cálculos necesarios para obtener la **densidad del hielo**.
2. ¿Qué concluye a partir de la información obtenida?
3. Mencione y describa las principales fuentes de error asociadas a este experimento. ¿Cómo podría minimizarlas?
4. ¿Es posible eliminar todas las fuentes de error? Argumente su respuesta.

#### Referencias

---

Oficina Internacional de Pesos y Medidas, <http://www.bipm.org>  
Red Nacional de Metrología (Chile), <http://www.metrologia.cl>

Centro Español de Metrología, <http://www.cem.es/>

Simulación Micrómetro Educaplus.org. <https://www.educaplus.org/game/micrometro> (consultada por última vez el 25 de enero de 2023).

Yenny Paredes. 2001-2002. «[Lectura semiótica de cuatro monedas chilenas](#)». *Documentos Lingüísticos y Literarios* 24-25 (2001) (consultado por última vez el 25 de enero de 2023).

## Guía N° 3: Gráficos – Relaciones funcionales (Parte I)

---

### Resumen

Permanente y sistemáticamente, tanto en ciencias como en ingeniería, para entender el fenómeno en estudio dependeremos de una cantidad de datos que puede ser pequeña o muy grande. Sin lugar a duda, la manera técnica de observarlos no será dato por dato, sino el conjunto de ellos, agrupados y ordenados por medio de un gráfico. Al hacerlo, tendremos la ventaja de reconocer si los datos siguen cierta tendencia, observar máximos y mínimos y obtener relaciones funcionales, entre otras. Por esto, la construcción de gráficos es, en sí, un tema muy importante, que requiere de ciertos elementos comunes que trabajaremos detalladamente en este laboratorio.

---

### 3.1.1 Introducción

Un gráfico es la herramienta que nos permite que hablemos el mismo idioma en un equipo multidisciplinario. Un ingeniero no trabaja solo, lo hace con grupos muy heterogéneos a los que debe presentar una cantidad innumerable de variables. El idioma común es proporcionado por la presentación de los datos de manera ordenada y visualmente clara, con sus respectivos parámetros definidos en unidades bien declaradas.

En un gráfico, los espacios en cada eje deben estar igualmente separados para mantener la proporcionalidad visual en la presentación de los datos. Si por ejemplo decide realizar una separación de longitud de 5 mm, esta debe mantenerse en el eje.

Todos los gráficos deben tener:

- a) Título del gráfico.
- b) Nombre de las variables en los ejes, con las unidades utilizadas.
- c) El gráfico debe ser de **dispersión**, sin líneas que unan los puntos.
- d) En cada gráfico se debe trazar una línea de tendencia, y observar el parámetro  $R^2$ . Discutirá esto con su profesor.
- e) Identificar el tipo de función que representa, y si esta no es del tipo lineal; discutir procedimientos adecuados para su **rectificación** (este último tipo de gráficos se realizará en la siguiente sesión experimental).

### 3.2 Objetivos

- Elaboración y construcción adecuada de gráficos.
- Encontrar la relación funcional entre variables físicas directamente proporcionales, mediante el uso de software en conjunto con el método de los mínimos cuadrados.



### 3.3 Instrumentos y materiales

- Computador con software de análisis de tablas de datos; se recomienda Excel.
- Instrumento de medición de longitud (regla, huincha de medir, etc.).
- Cronómetro (puede usar el de su celular).
- Tapa rosca plástica (cada integrante del equipo necesita una tapa, las que deben ser similares).

#### 3.3.1 Procedimiento experimental

Para cada una de las siguientes actividades, utilice el software de análisis de tablas de datos elegido. Se recomienda Excel de Microsoft Office u OpenOffice Calc.

##### Actividad N° 1: *Grafica posición y tiempo*

Considerando la siguiente tabla de datos, que fue obtenida midiendo la distancia en línea recta de un móvil en intervalos de tiempo de 1,0 s, realice el gráfico correspondiente. Tal como fue descrita la recopilación de datos, ¿cuál es la variable independiente y cuál es la dependiente? Luego de observar el gráfico, ¿qué puede concluir respecto de la forma de este?

x (m)	0,0	3,0	6,2	8,8	12,2	15,0	17,8	21,2	24,0	26,8
t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

##### Actividad N° 2: *Grafica posición y tiempo (datos desde ecuación)*

Una ecuación de la recta muestra cómo cambia la distancia recorrida  $x$  por un móvil en función del tiempo  $t$ . La ecuación que da cuenta del movimiento es  $x(t) = 3t + 1$ . Sabiendo esto y que la posición está expresada en metros y el tiempo en segundos, construya una tabla de 10 valores para posición versus tiempo. Luego, realice el gráfico de los datos obtenidos. ¿Cuál es la variable independiente y cuál es la dependiente? ¿Qué debe ir en el eje  $x$ , y qué en el eje  $y$ ? ¿Qué puede concluir al respecto?

##### Actividad N° 3: *Grafica rapidez y tiempo*

La siguiente tabla de datos, fue obtenida observando el velocímetro de un vehículo mientras este se mantiene en línea recta, así se obtuvieron valores de rapidez en km/h para 10 instantes de tiempo en segundos. Entones, primero realice las transformaciones de unidades que considere necesarias y luego discuta; tal como fue descrita la recopilación de datos, ¿cuál es la variable independiente y cuál es la dependiente? Luego de observar el gráfico, ¿qué puede concluir respecto de la forma de este?

v (km/h)	13,0	23,0	33,3	43,3	53,0	63,3	73,3	83,3	93,3	103,3
t (s)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20

#### Actividad N° 4, *Ingeniare*:

Desde un punto de vista muy acotado y genérico, la instalación de la NASA “Power Facility”, en Cleveland, Estados Unidos, es un galpón donde se puede realizar vacío. Esto significa que, al activar un sistema de bombas de aire, se puede sacar el aire del interior en un proceso que tarda 3 horas. Esto posibilita realizar múltiples experimentos “en el vacío” acá en la Tierra.

Si usted tuviera una pluma y una pelota de fútbol llena de arena y las dejara caer a la par desde una altura considerable, **¿cuál toca primero el suelo?**

Observe cuidadosamente el video grabado por la BBC desde el centro “Power Facility”. Discutan como equipo y realicen *a mano* 8 gráficos sobre cómo debería ser su movimiento (luego de dibujarlos muy ordenadamente, escanéelos para ponerlos en su informe).

- 1) En un mismo gráfico, posición versus tiempo para la esfera sólida y para la pluma, antes de “hacer el vacío”.
- 2) En un mismo gráfico, velocidad versus tiempo para la esfera sólida y para la pluma, antes de “hacer el vacío”.
- 3) En un mismo gráfico, posición versus tiempo para la esfera sólida y para la pluma, en el vacío.
- 4) En un mismo gráfico, velocidad versus tiempo para la esfera sólida y para la pluma, en el vacío.



### 3.4 Análisis

- 1.- Respecto a cada gráfico, ¿qué puede concluir de cada una de las cuatro actividades?
- 2.- ¿Cuál es la relación entre las variables?
- 3.- ¿Se identifican máximos y mínimos?
- 4.- En la Actividad 3, indique qué representa físicamente la pendiente de la relación funcional obtenida.

## Guía N° 4: Gráficos – Relaciones funcionales (Parte II)

### Introducción

En el laboratorio anterior, *Gráficos – relaciones funcionales (Parte I)*, has podido darte cuenta de la necesidad de tener un número importante de datos para poder obtener conclusiones respecto a ciertas variables. En el mejor de los casos, dos variables pueden estar linealmente relacionadas; es decir, presentan una proporcionalidad directa entre ellas, por tanto, la relación funcional entre variables es una recta.

En esta oportunidad, el caso en estudio, las variables físicas por sí solas no poseen un comportamiento directamente proporcional. Para ello hay que **realizar cambios en las variables** para poder **rectificar el gráfico** y, entonces, encontrar la **relación funcional**.

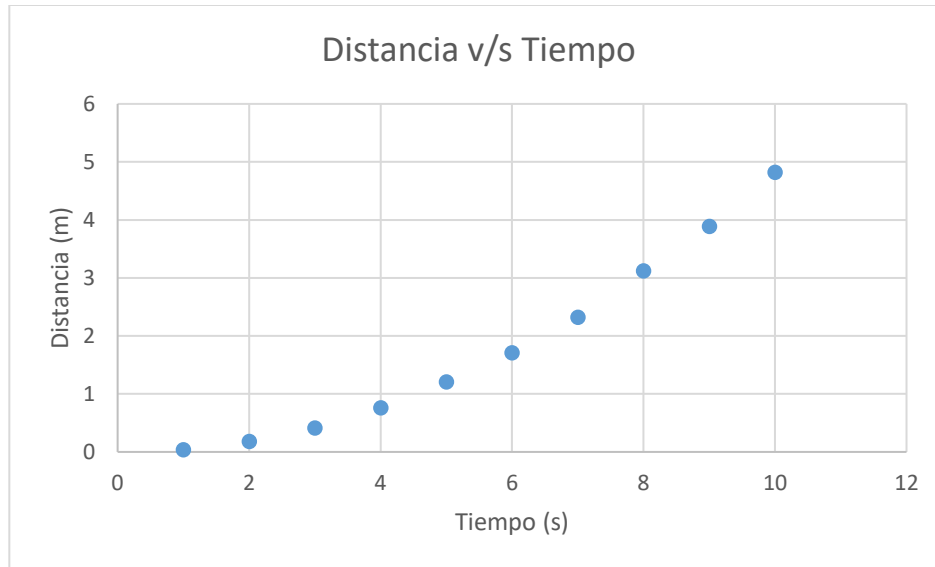
*Rectificación por cambio o sustitución de variables.*

Consideremos que se quiere determinar la aceleración de gravedad a partir de la caída libre de un cuerpo. Para esto se diseñó un experimento donde se suelta una bolita desde una altura determinada y se mide la distancia recorrida en ciertos instantes de tiempo, obteniéndose la siguiente tabla de datos:

Tiempo (s)	Distancia (m)
1	0,035
2	0,182
3	0,451
4	0,760
5	1,207
6	1,710
7	2,322
8	3,120
9	3,889
10	4,821

**Tabla 1.** Distancia recorrida vs. Tiempo.

Al graficar los valores de la Tabla 1, se obtiene el siguiente gráfico:



**Gráfico 1.** Distancia vs. Tiempo graficadas en Excel.

Podemos ver claramente que no existe una relación lineal entre las variables, pero además a partir del conocimiento que poseemos de caída libre, se sabe que existe una relación funcional que rige este movimiento:

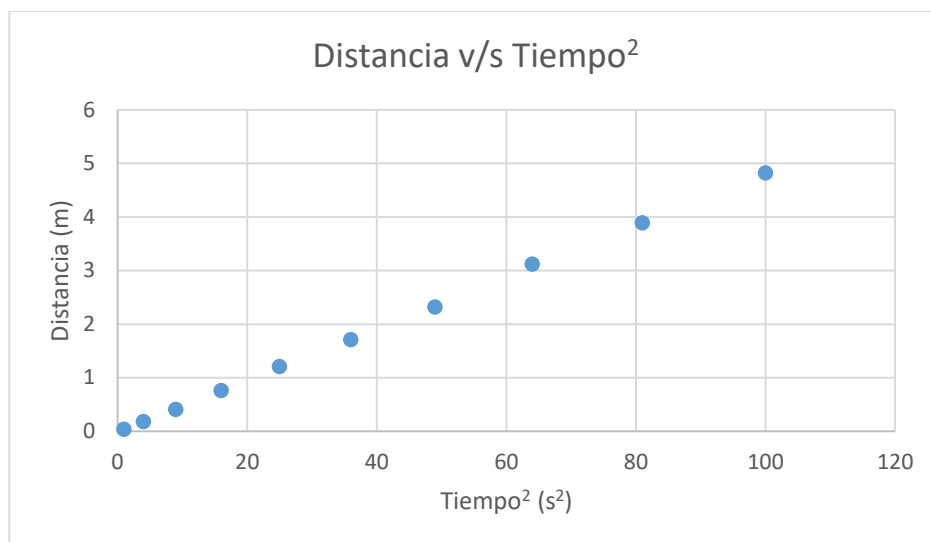
$$h(t) = \frac{1}{2}gt^2$$

Por lo tanto, nos podemos dar cuenta que  $h(t)$  es directamente proporcional con  $t^2$ . En este sentido, se realizará el cambio de variable y obtendremos una tabla de datos de  $h$  vs.  $t^2$ :

Tiempo <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> )	Distancia (m)
1	0,035
4	0,182
9	0,451
16	0,760
25	1,207
36	1,710
49	2,322
64	3,120
81	3,889
100	4,821

**Tabla 2.** Distancia vs. Tiempo<sup>2</sup>.

Al graficar los datos obtenidos en la Tabla 2, se puede observar:



**Gráfico 2.** Distancia vs. Tiempo<sup>2</sup> graficadas en Excel.

Gráfico al que, por medio de métodos numéricos, podemos extraer los coeficientes de la relación funcional. Notemos que, en este caso, la pendiente de la recta encontrada está relacionada con el valor experimental de la aceleración de gravedad.

Recuerde que todos los gráficos, para estudiar posibles relaciones funcionales, deben poseer:

- Título del gráfico.
- Título de las variables en los ejes, y sus unidades.
- El gráfico debe ser de **dispersión** sin unión de los puntos.
- Trazar una línea de tendencia, y observar la representación de  $R^2$ .
- Identificar el tipo de función que representa, y si este necesita ser **rectificado** (de ser así, debe buscar el procedimiento adecuado que genera una recta con los datos que usted posee).

#### 4.1 Objetivos

- Construir gráficos correctamente mediante el uso de software y del análisis de tablas de datos.
- Determinar la relación funcional entre variables no directamente proporcionales, por medio de la rectificación del gráfico que los relaciona y el método de los mínimos cuadrados para la obtención de los parámetros relevantes.

#### 4.2 Instrumentos y materiales

- Computador con software de análisis de tablas de datos; se recomienda Excel.
- Cinta graduada en centímetros de 2,0 metros.
- Masa experimental: pelota de ping-pong, de tenis o goma.

- Software de análisis de video [Tracker](#).
- Celular con cámara.

### 4.3 Procedimiento experimental

Para cada una de las actividades presentadas a continuación:

- Realice el gráfico correspondiente.
- Realice el procedimiento adecuado, necesario para transformar el gráfico en una recta (rectificar).
- Determine la relación funcional entre las variables.

#### Actividad N° 1

A partir de los datos entregados en la Tabla 1, en el experimento con el cual se pretende obtener la aceleración de gravedad, grafique nuevamente esos datos, realice la rectificación y con ayuda del software Excel grafique la relación funcional, para luego poder obtener el valor de la aceleración de gravedad y del intercepto.

#### Actividad N° 2

La relación entre el período de oscilación de un péndulo y su longitud es la mostrada en la Tabla 3:

L (m)	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
T (s)	1,42	1,49	1,55	1,62	1,68	1,74	1,79	1,85	1,90

*Tabla 3. Relación entre período de oscilación y la longitud de un péndulo.*

Encuentre la relación funcional Período como función del Largo (realice la rectificación en caso de ser necesaria). Luego a partir de la relación funcional obtenida, determine el período de oscilación de un péndulo de 120 cm.

Y de igual modo, a partir de la relación funcional obtenida, determine la longitud que debe tener un péndulo para que su período corresponda a 3,0 s.

#### Actividad N° 3

Gradúe una cinta de papel, de centímetro en centímetro, con un largo total aproximado de 2 m. Fije la cinta graduada a una pared de modo vertical. Desde una altura arbitraria, puede ser 2 m,



deje caer el objeto elegido. **Simultáneamente, con su celular grabe el movimiento de caída del objeto** (en el informe agregue 2 fotografías de su montaje experimental).

Para esta actividad necesitará trabajar con el [software de análisis de video Tracker](#). Este es un **software libre y de código abierto**, siendo su última versión (a enero 2023) la 6.1.1. Se recomiendan dos tutoriales del profesor Rodolfo Fernández, del Instituto Tecnológico de Monterrey sobre las funcionalidades del software Tracker:

1. [Tutorial \*Tracker\* parte 1, video análisis](#)
2. [Tutorial \*Tracker\* parte 2](#)

A partir del video grabado, cárguelo en el *software Tracker*. Al obtener los datos, haciendo uso de Excel u OpenOffice confeccione una tabla de distancia recorrida vs. tiempo empleado; luego, usted estará en condiciones de poder determinar la relación funcional entre ambas variables, así como interpretar físicamente los parámetros obtenidos y compararlos con los parámetros teóricos que rigen el movimiento de caída libre.

A continuación, se pone a disposición 2 videos de prueba (con tres intentos) que puede descargar o ver por YouTube, en caso que no pueda grabar su experimento de caída libre.

1. [Video 1: Pelota de ping pong cayendo desde 2,0 m.](#) 
2. [Video 2: Pelota de esponja cayendo desde 2,0 m.](#) 

#### Actividad N° 4, *Ingeniare*:

En las diferentes carreteras en cada país existen límites de velocidad. En función de los límites de velocidad en Colombia se presenta un caso. Realice un gráfico del vehículo que se muestra en el video del canal de @MundoActuales, desde 20 metros cuando va a velocidad constante a 100 km/h hasta que posteriormente aprieta el freno y se queda completamente detenido. Incluya los valores en los ejes de coordenada. Posteriormente explique cuál es el tipo de relación funcional cuando va a velocidad constante hasta que se queda detenido.



#### 4.4 Análisis

Después de cada gráfico luego de haber realizado los cambios de variables respectivos, su análisis local debe responder:

- 1.- ¿Qué puede concluir respecto a cada gráfico, de cada una de las tres actividades?
- 2.- ¿Cuál es la relación funcional entre las variables de cada actividad?

## Guía N° 5: Gráficos – Relaciones funcionales (Parte III)

---

### Resumen

En el laboratorio anterior de *Gráficos - Parte II*, has podido darte cuenta de la necesidad de tener un número importante de datos para poder obtener conclusiones plausibles respecto a ciertas variables que no necesariamente siguen una relación lineal. En este laboratorio continuaremos estudiando variables físicas que por sí solas no poseen un comportamiento directamente proporcional. Para ello habrá que registrar los datos, realizar las tablas, analizar las curvas de los gráficos de dispersión, en algunos casos **realizar cambios de variable** para poder **rectificar el gráfico**, y encontrar las **relaciones funcionales**.

---

### 5.1 Introducción

En ciencias e ingeniería, generalmente se debe buscar una relación funcional, es decir, la relación directa entre variables. En esta etapa del curso continuamos con el estudio experimental de gráficos, recordando que, para encontrar las funcionalidades entre diferentes parámetros, primero se deben fijar las variables a estudiar, luego se debe generar un proceso de adquisición de datos, para posteriormente graficarlos y obtener finalmente la relación funcional.

De las experiencias de los laboratorios previos, debe recordar que, en todo gráfico, los espacios en un eje deben estar igualmente separados. Si decide realizar una separación de longitud de 5 mm, esta debe mantenerse a lo largo del eje, tanto a la derecha como a la izquierda en el **eje x**, o tanto hacia arriba como abajo en el **eje y**. Recuerde también que todos los gráficos son de dispersión.

### 5.2 Objetivos

1. Elaboración y construcción de gráficos con software de análisis de tablas de datos.
2. Determinar la relación funcional entre variables adquiridas experimentalmente.
3. Identificar correctamente los parámetros físicos en las relaciones funcionales determinadas.

### 5.3 Instrumentos y materiales

- Computador con software de análisis de tablas de datos; se recomienda Excel.
- Software de simulación PhET: “Masas y Resortes” (<https://bit.ly/2XF142T>).
- Masa experimental: moneda de \$100 pesos o auto de juguete.
- Cinta de medir o cinta graduada en centímetros de mínimo 1,0 metro de longitud.



- Software de análisis de video [Tracker](#).
- Superficie lisa de 1,0 m mínimo; puede ser útil una mesa o una tabla.
- Teléfono celular para el uso de la cámara.

#### 5.4 Procedimiento experimental

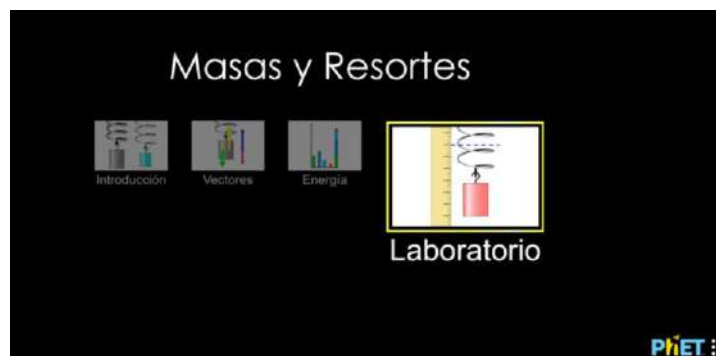
A continuación, se presentan dos experiencias que usted con su equipo deberán realizar experimentalmente. Ambas corresponden a experiencia de mecánica con constantes utilizadas regularmente: el primer caso se conoce como estudio de la **Ley de Hooke**, que relaciona una masa colgante con la elongación experimentada por un resorte; y en el segundo caso, usted estudiará experimentalmente la caída libre de un cuerpo por un plano inclinado.

Entonces, para cada caso experimental:

- Debe planear un montaje experimental.
- Cada integrante del equipo debe registrar 10 datos de las dos variables a estudiar.
- Realice el gráfico correspondiente.
- Recuerde que debe incluir el título del gráfico y los títulos en los ejes coordenados con sus unidades respectivas.
- Realice el **cambio de variable** necesario para transformar la curva de su gráfico en una línea recta (rectificar).
- Determine la relación funcional entre las variables.

#### Actividad N° 1

1. Cargue la simulación PhET “Masas y Resorte” en su computador desde el link <https://bit.ly/2XFI42T>.
2. Seleccione el ítem Laboratorio, como muestra la Figura 1.



*Figura 1. Simulación PhET: “Masas y Resortes”. Tomada de Simulaciones PhET Colorado.*

3. Seleccione una constante del resorte en el tercer nivel, como muestra la Figura 2.



**Figura 2.** Selección de constante del Resorte, en tercer nivel.  
Tomada de Simulaciones PhET Colorado.

4. Configure un valor cualquiera de amortiguamiento del resorte. Para ubicación espacial, seleccione la Tierra con aceleración de gravedad  $9,8 \text{ m/s}^2$  como muestra la Figura 3:



**Figura 3.** Selección de amortiguamiento y selección de ubicación espacial planeta Tierra.  
Tomada de Simulaciones PhET Colorado.

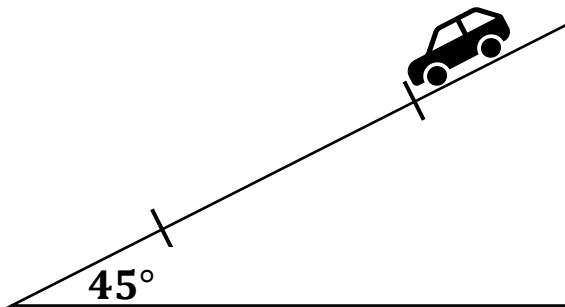
5. En el resorte cuelgue 10 masas de diferente valor. Observe que puede ir variando los valores a un costado del resorte, desde el cuadro superior izquierdo. Construya una tabla de valores de masas v/s longitud de estiramiento. Para medir la longitud, utilice la regla virtual. Considere el margen de error al medir con esa regla.

Evento	Masa	Peso ( $m \cdot 9,8 \text{ m/s}^2$ )	Elongación
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

6. Realice un gráfico (lo deberá incluir en su informe) de **pesos v/s elongación**. A partir de ese gráfico, determine la relación funcional entre el peso de las masas y la elongación en el resorte. A partir de la relación funcional encontrada, determine la constante elástica de su resorte.

### Actividad N° 2

Gradúe de centímetro en centímetro una mesa o tabla a emplear de superficie. Puede superponer una cinta de papel graduada o utilizar una huincha de medir, por el cual pueda moverse el autito o la moneda. Luego debe generar un ángulo de inclinación de  $45^\circ$  en la mesa o tabla; para ello puede hacer uso de una aplicación para medir ángulos o hacer uso de conceptos geométricos. Desde una altura arbitraria, deje avanzar el autito o la moneda de tal manera que usted pueda **simultáneamente grabar con su celular el movimiento de caída del cuerpo por un metro**, como se muestra en la Figura 4 (en el informe agregue 2 fotografías de su montaje experimental).



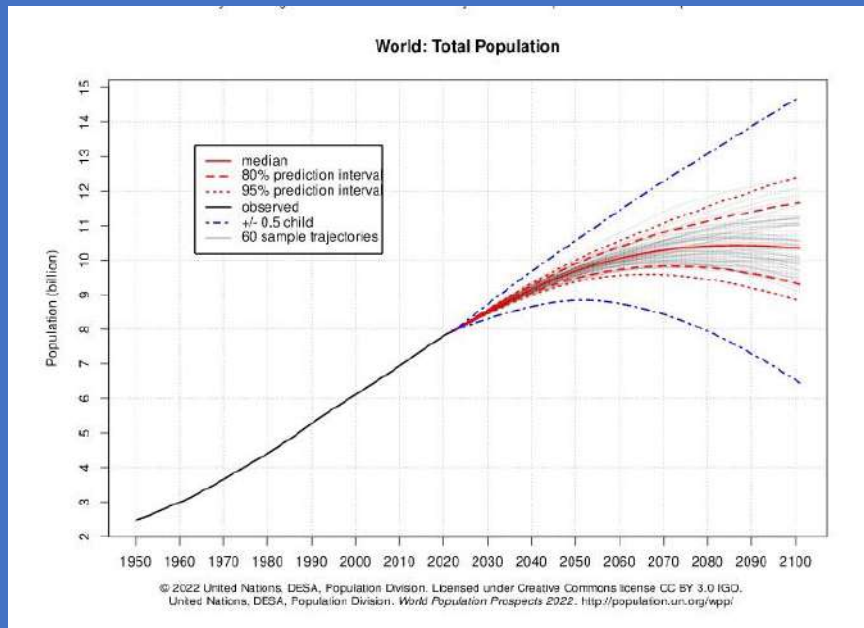
*Figura 4. Esquema de montaje experimental, caída de auto o moneda por plano inclinado.*

Para esta actividad necesitará trabajar con el [software de análisis de video Tracker](#). Este es un **software libre y de código abierto**, que usted ya utilizó en la experiencia anterior a estas actividades.

A partir de su video grabado, cárguelo en el *software Tracker*. Al obtener los datos, en el software Excel confeccione una tabla de distancia recorrida vs. tiempo empleado, a partir del cual usted estará en condiciones de poder determinar la relación funcional entre ambas variables, interpretar físicamente los parámetros obtenidos y compararlos con los parámetros teóricos que rigen el movimiento de caída libre.

### Actividad N° 3, *Ingeniare*:

El siguiente cuadro, muestra las estimaciones y proyecciones probabilísticas de la población Mundial del *Department of Economic and Social Affairs, Population Division* de las Naciones Unidas:



**Figura 5.** Gráfico de población, obtenido desde:  
<https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>

En base a la información observada en el gráfico, estime la población mundial para el año 2030 y para el año 2050, ¿Qué factores son los más relevantes que usted tomó en cuenta para su estimación?. Argumente, discuta, explique sus respuestas y análisis.

## 5.5 Análisis

- 1.- Respecto a cada gráfico, ¿qué puede concluir de cada una de las dos actividades?
- 2.- ¿Cuál es la relación funcional entre las variables de cada actividad?
- 3.- Determine la constante  $k$  de elasticidad del resorte a partir de la gráfica de fuerza  $v/s$  elongación.
- 4.- Determine la constante  $g$  de aceleración de gravedad.

**Observación:** Las preguntas de análisis son para guiar sus conclusiones. **No es un cuestionario.** En las conclusiones ustedes responden estas preguntas como parte de un todo.



# Guía N° 1: Lanzamiento de proyectiles

---

## Resumen

En este laboratorio de conceptos de mecánica, se estudiará el movimiento de un proyectil, utilizando para ello el software libre Tracker, en la primera actividad analizarás un extracto de un video correspondiente a un emocionante partido de voleibol femenino, celebrado en ocasión de los Juegos Panamericanos de Guadalajara 2011, entre las selecciones de Brasil y Cuba.

En la segunda actividad deberás registrar un video del lanzamiento de una bolita, y analizar tal video para ser capaz de describir su movimiento haciendo uso de las expresiones cinemáticas de movimiento con aceleración constante.

---

## 1.1 Introducción

Un aspecto central de la física experimental en el lanzamiento de proyectiles, es que estamos hablando de dos movimientos combinados a la vez, tenemos un movimiento horizontal, y un movimiento vertical cambiante producto de la aceleración de gravedad.

Si lanzamos una pelota por los aires, podremos observar que la trayectoria está descrita por una curva característica, desarrollando un movimiento parabólico. Para poder analizar con relativa sencillez, es preciso considerar algunos aspectos teóricos:

- a.- El cuerpo está sometido a una aceleración constante, la cual corresponde a la aceleración de gravedad, que apunta hacia el centro de la Tierra.
- b.- Se considerará un caso ideal, donde los efectos de rozamiento con el aire son despreciables.

Bajo estas condiciones se puede demostrar que la ecuación de itinerario y de velocidad que describe tal movimiento viene dada por:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2$$

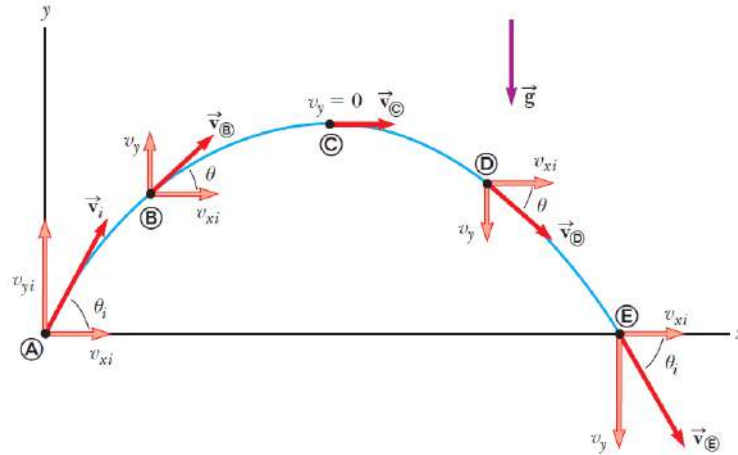
$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a} t$$

En donde  $t$  representa el tiempo,  $g$  la aceleración de gravedad,  $v_0$  la rapidez inicial y  $r_0$  la posición inicial. Notemos, además, que:

$$v_{0x} = v_0 \sin \theta$$

$$v_{0y} = v_0 \cos \theta$$

En donde  $\theta$ , es el ángulo que forma la velocidad inicial con el eje coordenado X.



**Figura 1.** Trayectoria descrita por un proyectil.

Imagen tomada de *Física para Ciencias e Ingeniería, Vol. I. Serway R., 7ª ed. p77.*

## 1.2 Objetivos

1. Determinar experimentalmente la velocidad de lanzamiento de un proyectil, por medio del análisis de un video, haciendo uso del software "Tracker."
2. Determinar experimentalmente la ecuación de itinerario y velocidad, expresiones matemáticas desprendidas del estudio del lanzamiento de proyectiles, relacionadas por el parámetro t.

## 1.3 Instrumentos y materiales

- Software de análisis de video "[Tracker](#)".
- Regla o cinta de medir.
- Bolita de vidrio, goma de borrar o tapa rosca de plástico.
- Teléfono celular con cámara.

## 1.4 Procedimiento experimental

### Actividad N° 1: Análisis de lanzamiento en juego de Voleibol


- 1.- Una vez descargado el software "Tracker" en tu computador, descarga el video que encontrarás en el siguiente enlace: [Voleibol Brasil-Cuba](#).


2.- Desde el menú “**Archivo**” selecciona “**Abrir**” y “**File Chooser...**” y carga el video referenciado de YouTube “**Sección partido voleibol Brasil-Cuba**”. En él se muestra el lanzamiento del balón por parte de una jugadora de Voleibol, y la recepción de otra, el que corresponderá al movimiento de interés.

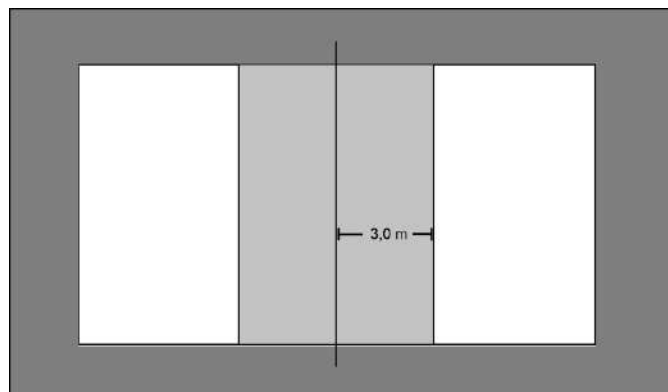
3.- Con el seleccionador del cuadro inicial y final, fija los cuadros de interés (inicial y final) en el movimiento del balón (proyectil), los que están señalados con un recuadro negro en la figura 2.



*Figura 2. En los recuadros negros se muestran los selectores de los fotogramas inicial y final, además del fotograma actual.*

4.- Fija un sistema de coordenadas, se recomienda del tipo X-Y, el que se señala con el ícono , aparecerán los ejes coordenados los que puedes desplazar, presionando botón izquierdo del ratón del PC, en el origen de este, y rotar presionando en cualquier punto de algún eje.

5.- Para incorporar las proporcionalidades respectivas de distancia, debemos establecer una distancia conocida, por medio de la herramienta  de calibración, “**Nuevo**” para luego seleccionar “**Vara de Calibración**”, se sugiere el largo de la zona de ataque (3,0 m), como se puede observar en la figura 3, corresponde al sector señalado con gris desde el centro de la cancha hacia un extremo:



*Figura 3. Cancha de Voleibol; Zona de Ataque señalada en el centro de la cancha con gris.*

6.- Ahora debes definir la trayectoria del balón, para ello, selecciona “**Trayectorias**”, “**Nuevo**” y “**Masa Puntual**”, en esta actividad nos interesa la trayectoria del balón. Para



iniciar el seguimiento del balón, debes presionar “Shift”, cuando el cursor esté posicionado sobre el punto a seguir (un punto del balón), el botón izquierdo del ratón. con esto el video avanzará un cuadro y repetirás el procedimiento hasta alcanzar el cuadro final del intervalo de interés. Verás en el recuadro derecho del video los datos obtenidos.

### Actividad N° 2: Lanzamiento de Projectil

1. Fija un extremo de la regla a una superficie lisa horizontal, puede ser el borde de una mesa, en que el otro extremo quede libre, para que nos sirva de trampolín de la bolita o masa, tal como muestra la figura 4:

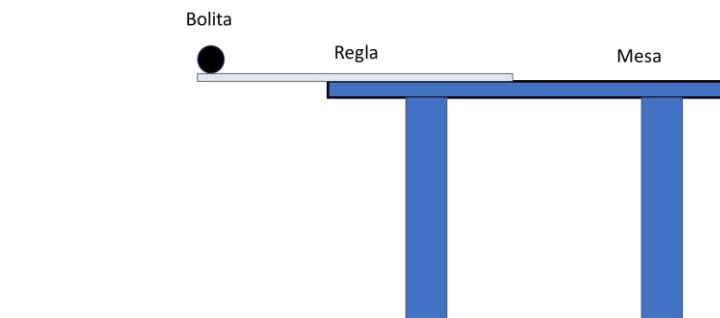


Figura 4. Montaje para el lanzamiento de una bolita.

2. Fija la cámara de modo lateral a la mesa de modo de poder apreciar la curva generada por el movimiento de la bolita.
3. Mide alguna distancia fácil de apreciar en el video a registrar, esta servirá para incorporar la calibración de las distancias.
4. En el extremo libre de la regla ubica la masa y desplaza el conjunto regla-masa ligeramente hacia abajo, iniciando el registro del video en la cámara. Suelta la regla, y la masa iniciará su movimiento.
5. Con la ayuda del software Tracker, y de manera similar a la descrita en la actividad anterior, analiza el video registrado.

### Actividad N° 3, Ingениare:

En las noticias indicaron sobre un objeto entrando en la atmósfera, como muestra el siguiente enlace: <https://youtu.be/eLNxDxw5Ge4>, dando cuenta de la desintegración de un meteorito captada en Chile. Considerando el tiempo en que se aprecia el movimiento, ¿es posible cuantificar la velocidad de ingreso a la atmósfera terrestre?, ¿se puede considerar como el movimiento de un proyectil?, ¿qué factores afectan a este movimiento?.



## 1.5 Análisis

### Actividad 1

1. En base a los datos obtenidos, luego de Exportarlos en un archivo de texto, transfórmelos y abra en un archivo "Excel", para el posterior análisis de estos, tanto para los datos en el eje X como para el eje Y.
2. Se recomienda rectificar cuando sea necesario, y por medio del método de los mínimos cuadrados encontrar la ecuación de itinerario para cada eje independiente.

### Actividad 2

1. En base a los datos obtenidos, luego de Exportarlos en un archivo de texto, transfórmelos y abra en un archivo "Excel", para el posterior análisis de estos, tanto para los datos correspondientes al eje X como para los datos correspondientes al eje Y.
2. Se recomienda rectificar cuando sea necesario, y por medio del método de los mínimos cuadrados encontrar la ecuación de itinerario para cada eje independiente.

## Guía N° 2: Cantidad de movimiento

---

### Resumen

La cantidad de movimiento o momentum diferencia el nivel de impacto, que puede tener un choque en dos cuerpos desplazándose a la misma velocidad, una bicicleta y un camión en un choque a la misma velocidad, pero en direcciones opuestas tendrá resultados desastrosos para el ciclista, en esta experiencia se estudiarán algunos tipos de colisiones, experimentando choques de bolitas y el uso de la teoría de conservación de momentum por medio del software Tracker.

---

### 2.1 Introducción

La cantidad de movimiento o El momentum para una partícula de masa  $m$  que se mueve con velocidad  $\vec{v}$  está definido por:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

La expresión general para la conservación del momentum en una colisión de dos partículas está dado por:

$$\vec{p}_{1i} + \vec{p}_{2i} = \vec{p}_{1f} + \vec{p}_{2f}$$

Debido a lo anterior, al hacer colisionar un objeto de masa  $M_1$  a una velocidad  $V$  con un objeto de masa  $M_2$ , el cual se encuentra en reposo y obtener como consecuencia de esta colisión que ambos objetos queden unidos, moviéndose a una velocidad  $V'$ , es decir, es causa que se produzca una colisión **completamente inelástica**, se deduce que la conservación del momentum lineal se traduce en la expresión:

$$M_1 \vec{v} = (M_1 + M_2) \vec{v}_f$$

Será motivo de estudio de este laboratorio, verificar experimentalmente esta expresión, y, por lo tanto, comprobar la conservación del momentum para este caso.

### 2.2 Objetivos

1. Verificar experimentalmente el principio de conservación de movimiento en una colisión inelástica.

### 2.3 Instrumentos y materiales

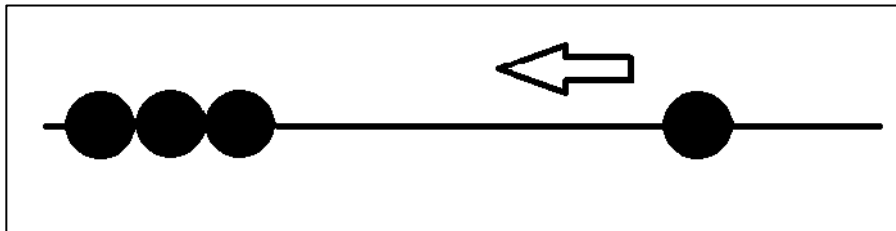
- Celular con cámara.
- Software de análisis de video [Tracker](#).
- Cuatro bolitas de vidrio.
- Cinta métrica.
- Tiza o plumón de pizarra (que se pueda borrar donde dibuje).
- Balanza.

### 2.4 Procedimiento experimental

Para cada una de las siguientes actividades, mida las masas de las bolitas, y realice un esquema experimental indicando claramente un sistema de referencia.

#### Actividad N° 1

Con el plumón de pizarra o la tiza, trace una delgada y fina línea a lo largo de una superficie plana. En un sector de la línea ubique tres bolitas en una fila, y a lo largo de la misma fila, pero separada de las tres bolitas 5 cm a 10 cm ubique la cuarta bolita, como muestra la figura 1.



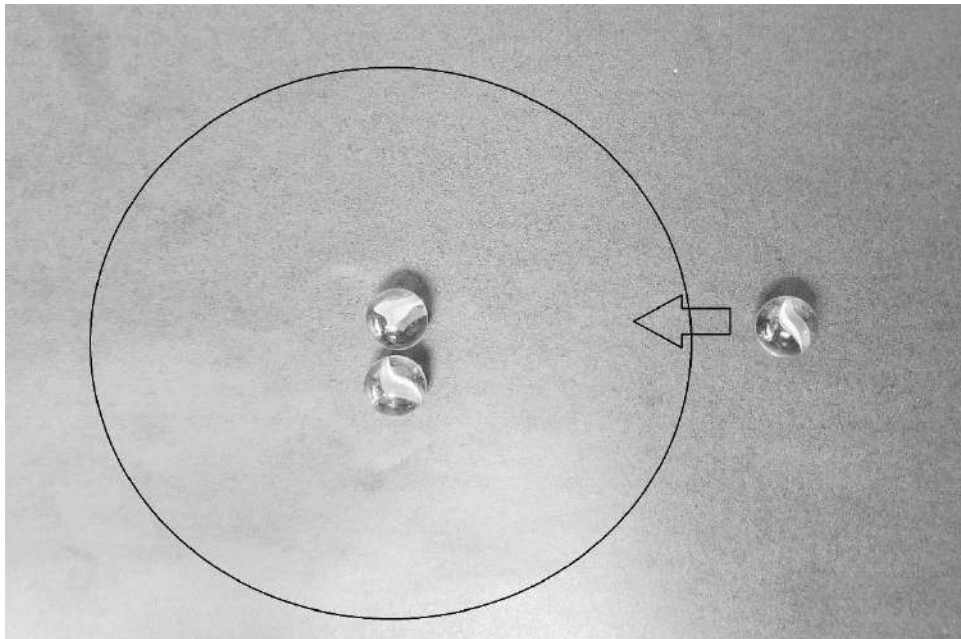
*Figura 1. Disposición de bolitas en una fila antes de la colisión.*

Puede realizar un sistema de apoyo o solicitar ayuda de otra persona que sostenga su teléfono celular o cámara de video, justo desde arriba de la bolita central. La actividad consiste en que lance la cuarta bolita que impacte con las otras tres en la misma fila.

Realice la actividad 3 veces a diferentes rapidezces iniciales de la bolita que impacta. En base a ello realice un esquema, realice los cálculos necesarios y explique si se cumple la conservación de momentum.

## Actividad N° 2

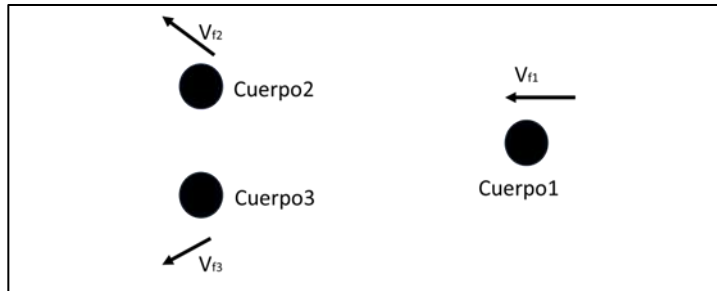
Con el plumón de pizarra o la tiza, realice un círculo de diámetro 30 cm a 50 cm del suelo o de la mesa. En el centro de la circunferencia ubique 2 bolitas, puede realizar un sistema o apoyarse en otra persona que sostenga su teléfono celular o cámara de video, justo desde arriba del centro de la circunferencia. La actividad consiste en que lance la tercera bolita que impacte con las otras dos, para estudiar ese fenómeno, ver figura 2.



*Figura 2. Disposición de las bolitas antes de la colisión.*

Antes de lanzar la bolita que colisionará, debe iniciar la grabación desde su celular o cámara, y lanzar la bolita rodando por la superficie contra las bolitas que están en el centro del círculo, de modo que impacte simultáneamente ambas bolitas.

Con el registro de video obtenido, y utilizando el software [Tracker](#), analizar la situación en el momento de la colisión e inmediatamente posterior a la colisión como muestra la figura 3. Debe considerar las velocidades que presentan los tres cuerpos en el instante inicial y final al choque. Para ello, tendrá también las trayectorias seguidas por cada una de las tres bolitas inmediatamente posterior al choque.



**Figura 3.** Disposición de las bolitas en el instante posterior a la colisión.

### Actividad N° 3, *Ingeniare*:

Dos vehículos se aproximan a un cruce, se acercan desde calles perpendiculares entre sí. La masa de uno de los vehículos es el doble que el otro, y la magnitud de la velocidad del vehículo menor es el doble que la magnitud de la velocidad del vehículo de mayor masa. ¿Cómo será el movimiento resultante en un choque completamente elástico?, ¿Y cómo será el movimiento final de los vehículos en un choque completamente inelástico?. En ambos casos recree la situación planteada, realice un esquema, los cálculos correspondientes, y describa la situación final.

## 2.5 Análisis

Para cada una de las actividades 1 y 2 determine:

1. la rapidez de las bolitas antes y después de la colisión.
2. el momentum antes y después de la colisión.
3. ¿Se cumple la conservación de movimiento?
4. ¿Qué sucede en cada caso, si se aumenta al doble la masa de la bolita que es lanzada?

## Guía N° 3: Fuerza de roce

---

### Resumen

Cada vez que un cuerpo se mueve, hay una fuerza que se opone a ese movimiento (en la misma dirección, pero en sentido contrario). Esta fuerza está siempre presente, como el caso del roce del aire o el roce con el suelo; es posible minimizarla, pero no eliminarla. En este laboratorio se medirá experimentalmente el coeficiente de roce estático y dinámico entre dos superficies.

---

### 3.1 Introducción

Por definición, la fuerza de roce es aquella que se opone al movimiento libre de los cuerpos. La dependencia del valor que posee esta fuerza ha motivado estudios muy antiguos, acercándose a valores similares a los contemporáneos. En el siglo XVI, Leonardo da Vinci determinó que el coeficiente de fricción tenía un valor de  $\frac{1}{4}$  de la masa del cuerpo, hoy por hoy se sabe que el coeficiente de fricción se divide en estático y dinámico, siendo mayor el primero. Además, el coeficiente de fricción es independiente de las dimensiones de las superficies en contacto, y depende solo del material que compone dos superficies en contacto.

La fuerza de roce  $F_r$  estático se determina por:

$$F_r \leq \mu_s N$$

Siendo  $\mu_s$  el coeficiente de fricción estático, y  $N$  la fuerza normal del cuerpo.

En tanto, la fuerza de roce cinética es la que actúa cuando el cuerpo ya se encuentra en movimiento, y se determina por:

$$F_r = \mu_k N$$

Siendo  $\mu_k$  el coeficiente de fricción cinético, y  $N$  la fuerza normal del cuerpo.

Un método para determinar el coeficiente de fricción estática consiste en determinar un ángulo crítico  $\theta_c$ , justo cuando un cuerpo se mueve sobre otro. La manera de determinar el coeficiente es:

$$\mu_s = \tan(\theta_c)$$

A continuación, se presenta una tabla de 5 valores de coeficiente de fricción estática y dinámica, entre diversas superficies. Se debe hacer hincapié que el coeficiente no depende de las áreas en contacto, sino que solamente del material entre las dos superficies en contacto, como muestra la Tabla 1.

Superficies	$\mu_s$	$\mu_k$
Madera-Madera	0,4	0,2
Hielo-Hielo	0,1	0,03
Metal-Metal	0,15	0,07
Hule-Concreto	1,0	0,5
Articulaciones	0,01	0,01

**Tabla 1.** Coeficientes de fricción estática y dinámica para 5 superficies.

### 3.2 Objetivos

1. Determinar experimentalmente el coeficiente de fricción estática de papel sobre papel.
2. Determinar experimentalmente el coeficiente de fricción estática de madera sobre madera.
3. Determinar experimentalmente el coeficiente de fricción estático de un cubo de hielo sobre un material a elección.

### 3.2 Instrumentos y materiales

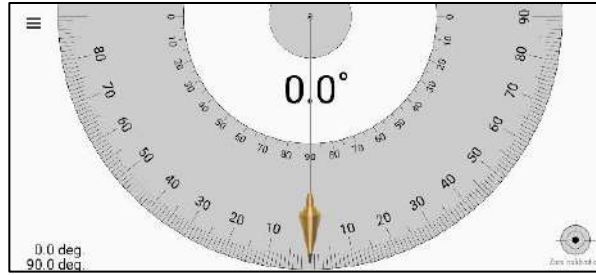
- Superficies de madera.
- Hojas de papel de diario.
- Superficie de material que usted elija: madera, metal, vidrio o caucho (Actividad 3).
- App Compas (**Aplicación Protractor** - Android).
- Cubo de Hielo.
- Software de análisis de video [Tracker](#).

### 3.3 Procedimiento experimental

#### Actividad N° 1: Coeficiente de fricción estática en plano inclinado papel – papel

1. Sobre una superficie plana amplia (mesa plana), fije una hoja de papel de diario. Puede fijarla con cinta adhesiva, debe quedar completamente estirada.
2. Con el mismo tipo de papel de diario, forre un bloque lo más homogéneamente rectangular posible.
3. Active la **aplicación Protractor** y fíjela a la superficie de la mesa, como muestra la Figura 1.





*Figura 1. Compás análogo de la aplicación Android Protractor.*

4. Con el bloque envuelto en papel sobre la mesa con papel, y con la aplicación funcionando, levante progresivamente la mesa, de manera muy lenta, hasta alcanzar el ángulo mayor posible que haga que este se mueva.
5. Repita la operación tres veces, registre los datos de ángulo y obtenga un valor de ángulo crítico promedio.

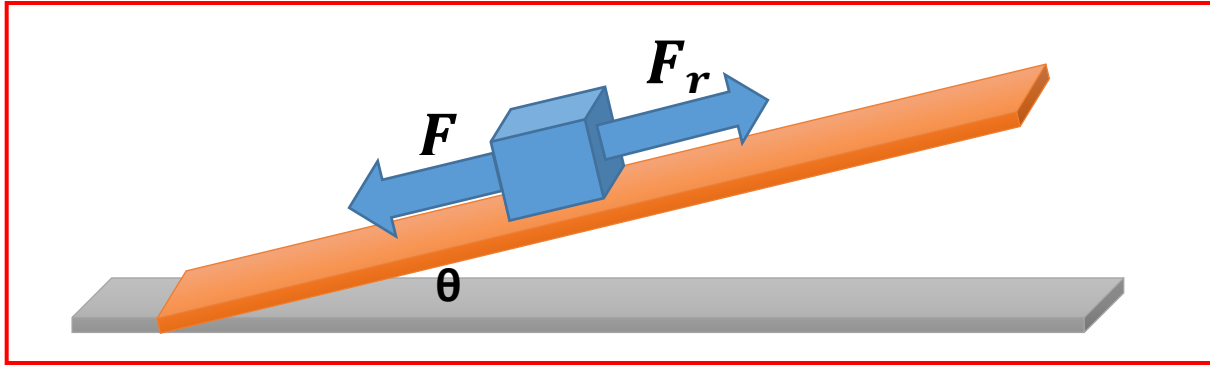
**Actividad N° 2:** Coeficiente de fricción estática en plano inclinado madera – madera

1. Escoja una superficie plana amplia de madera (mesa plana).
2. Active la **aplicación protractor** y fíjela a la superficie de la mesa de madera, como muestra la Figura 1.
3. Ubique una segunda superficie de madera sobre la superficie de madera plana; levante progresivamente la mesa, de manera muy lenta, hasta alcanzar el ángulo mayor posible que permita que se mueva el bloque de madera sobre la mesa.
4. Repita la operación tres veces, registre los datos de ángulo y obtenga un valor de ángulo crítico promedio. Obtenga el coeficiente de fricción madera – madera representativo.

**Actividad N° 3:** Coeficiente de fricción estática en plano inclinado hielo – superficie

1. Sobre una superficie plana elegida previamente (madera, metal, vidrio o caucho), ubique y active la **aplicación protractor** para medir ángulos, como muestra la Figura 1.
2. Ponga el cubo de hielo sobre la superficie que usted eligió.
3. Con un segundo celular, inicie la grabación de un video de su experimento.
4. Empiece por levantar **muy lentamente** la superficie plana, de tal manera de ir aumentando el ángulo respecto a la horizontal, hasta que en el algún momento se deslice el hielo sobre la superficie, como muestra la figura 2.

5. Cargue el video en el [software Tracker](#), observe el ángulo crítico y obtenga los datos de ángulo, para poder generar un gráfico de **Fuerza de roce vs Fuerza paralela al plano**, producto de la componente de la fuerza peso.



*Figura 2. Cubo de hielo deslizando, sobre superficie de "material X" en un ángulo  $\vartheta$ .*

#### Actividad N° 4, Ingeniare:

En la instalación de la NASA "Power Facility", en Cleveland, Estados Unidos, es posible realizar experimentos en el vacío. Al activar un sistema de bombas de aire, se puede sacar el aire del interior en un proceso que tarda 3 horas.

Observe cuidadosamente el video grabado por la BBC desde el centro "Power Facility", discutan como equipo y realicen los gráficos sobre cómo deberían ser los movimientos

- 1.- Sin tomar dato alguno, grafique la **posición, velocidad y la aceleración versus tiempo** para la pluma, antes de "hacer el vacío" en el *Power Facility*.
- 2.- Sin tomar dato alguno, grafique la **posición, velocidad y la aceleración versus tiempo** para la pluma, en el vacío del *Power Facility*.



### 3.5 Análisis

#### Actividad N° 1

Sobre la base de los datos obtenidos, determine el promedio de los ángulos medidos y determine el coeficiente de fricción estático papel–papel. En el informe incluya una fotografía representativa de su montaje experimental.

#### Actividad N° 2

Sobre la base de los datos obtenidos, determine el promedio de los ángulos medidos y determine el coeficiente de fricción estático madera–madera. En el informe incluya una fotografía representativa de su montaje experimental.

#### Actividad N° 3

Sobre la base del experimento diseñado, y conforme a los datos obtenidos, determine el promedio de los ángulos medidos y calcule el coeficiente experimental de fricción estático hielo – “material X”. En el informe incluya una fotografía representativa de su montaje experimental.

## Guía N°4: Ley de Hooke y energía potencial elástica

---

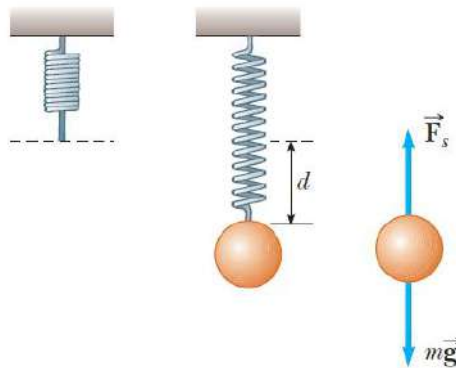
### Resumen

Un principio básico establece que en el universo la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma. En mecánica es posible identificar algunas energías características en los cuerpos: por una parte, la energía cinética asociada al movimiento; y por otra, la energía en potencia, o energía potencial, energía que está latente en un cuerpo debido a la posición respecto a un valor de referencia. En este caso, podemos citar dos ejemplos: la energía potencial gravitatoria, dependiente directamente de la altura respecto al sistema de referencia; y la energía potencial elástica, que, al encontrarse en elásticos o en resortes, depende de la posición del cuerpo respecto de la posición de equilibrio del resorte. En este laboratorio determinará la constante elástica de un resorte y la energía potencial elástica del resorte.

---

### 4.1 Introducción

La fuerza que se ejerce sobre un cuerpo colgado de un resorte es una fuerza restauradora, ya que tiende a regresar forzosamente a la posición de equilibrio del resorte.



**Figura 1.** Fuerza restauradora ejercida sobre un cuerpo colgante.  
Imagen tomada de *Física para Ciencias e Ingeniería*, Vol. I. Serway R., 7ª ed. p173.

La fuerza que ejerce un resorte sobre un cuerpo se establece como:

$$F = -k\Delta x$$

Siendo  $\Delta x$  la diferencia entre la posición del cuerpo y la posición de equilibrio del resorte. Y  $k$  la constante elástica del resorte.

Supongamos se ubica un resorte en un sistema vertical, donde el resorte se encuentra en equilibrio en una posición inicial  $y_0$ . Si se cuelga una masa  $M$  y se estira hasta una posición final  $y_{max}$ , al soltarlo este tenderá a restaurar su posición de equilibrio y pasar por la posición  $y_0 = 0$ .

El trabajo  $W_s$  invertido por la fuerza del resorte en el bloque conforme este se traslada de  $+y_{max}$  hasta 0. Al aplicar la ecuación del trabajo en su forma integral, y suponer que el bloque se puede modelar como una partícula, se obtiene:

$$W_s = \int \vec{F}_s \cdot d\vec{r} = \int_{+y_{max}}^0 (-ky\hat{j}) \cdot dy\hat{j} = -k \int_{+y_{max}}^0 y dy = +\frac{1}{2}ky_{max}^2$$

$$\Rightarrow W_s = \frac{1}{2}ky_{max}^2$$

En este caso el trabajo es positivo, porque se está realizando hacia la restauración de la posición de equilibrio. Cuando el resorte se estire de 0 a  $y_{max}$ , en este caso el trabajo será negativo, ya que la fuerza restauradora siempre intenta volver a su posición original.

En definitiva, si un bloque en un resorte se somete a un desplazamiento arbitrario desde  $y = y_i$  hasta  $y = y_f$ , el trabajo invertido por la fuerza del resorte en el bloque será:

$$W_s = \int_{y_i}^{y_f} -ky dy = \frac{1}{2}ky_i^2 - \frac{1}{2}ky_f^2 = -\Delta U_e$$

$$\therefore W_s = -\Delta U_e$$

## 4.2 Objetivos

1. Determinar experimentalmente el valor de la constante elástica de un resorte.
2. Determinar las energías cinéticas y potencial elástica de un resorte con masa colgante.

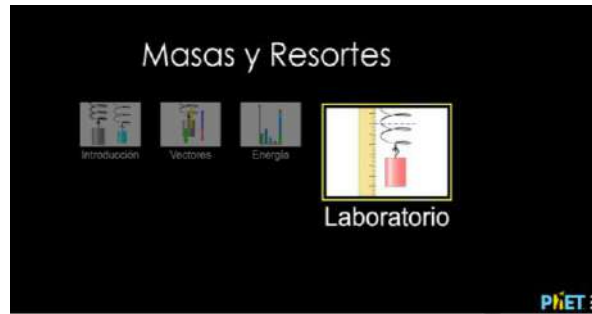
## 4.3 Instrumentos y materiales

- Software de simulación PhET: "Masas y Resortes" (<https://bit.ly/2XFI42T>).
- Resorte (virtual).
- Regla (virtual).
- Masas (virtuales).
- Resorte o banda elástica.
- Botella de plástico cortada o bolsa contenedora.
- Bolitas o piedras pequeñas.

## 4.4 Procedimiento experimental

### Actividad N° 1

1. Cargue la simulación PhET “Masas y Resorte” en su computador desde el link: <https://bit.ly/2XF142T>.
2. Seleccione el ítem Laboratorio, como muestra la Figura 2.



*Figura 2. Simulación PhET: “Masas y Resortes”. Tomada de Simulaciones PhET Colorado.*

3. Seleccione una constante del resorte en el tercer nivel, como muestra la Figura 3.



*Figura 3. Selección de constante del Resorte, en tercer nivel. Tomada de Simulaciones PhET Colorado.*

4. Configure un valor cualquiera de amortiguamiento del resorte. Para la ubicación espacial, seleccione la Tierra con aceleración de gravedad  $9,8 \text{ m/s}^2$ , como muestra la Figura 4:



*Figura 4. Selección de amortiguamiento y selección de ubicación espacial planeta Tierra. Tomada de Simulaciones PhET Colorado.*

5. En el resorte, cuelgue 10 masas de diferente valor. Observe que puede ir variando los valores a un costado del resorte, desde el cuadro superior izquierdo. Construya una tabla de valores de masas vs. longitud de estiramiento, ver Tabla 1. Para medir la longitud, utilice la regla virtual. Considere el margen de error al medir con esa regla y  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ . Trabaje en el Sistema Internacional de Unidades.

Evento	Masa	Peso	Elongación
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

*Tabla 1. Pesos colgantes vs. elongación.*

6. Realice un gráfico de **pesos vs. elongación**. A partir de ese gráfico, determine la relación funcional entre el peso de las masas y la elongación en el resorte. A partir de la relación funcional encontrada, determine la constante elástica de su resorte.
7. Con la constante elástica determinada, **encuentre el valor de la masa celeste**. Para ello puede colgarla del resorte y realizar el análisis de fuerzas.

## Actividad N° 2

En esta actividad se colgó un resorte desde un soporte universal. En forma paralela a este último, se fijó una cinta métrica, mientras que en el extremo del resorte se ubicó un contenedor (botella de plástico con piedras pequeñas), como se muestra la figura 5. El eje de esta actividad es medir la elongación del resorte cada vez que se deposita una cantidad de piedras en el contenedor. Considere el error asociado a la medición, para medir la masa de las piedras se utilizó la balanza que se muestra en la figura 2, página 14 de este libro.



*Figura 5. Montaje experimental, sistema botella plástica con resorte y cinta métrica.*

1. Confeccione una tabla de datos de masa de las piedras o bolitas vs. estiramiento del resorte. No olvide incluir las unidades de medida.
2. Con un procedimiento análogo al de la actividad anterior, determine la constante elástica del resorte.
3. Ahora considere la constante elástica obtenida. Realice un gráfico de energía potencial elástica vs. estiramiento.

Si no dispone de algún material para realizar la experiencia, tenemos datos previos con sus fotografías, adquiridos de la misma manera como se declara en la actividad. Estas imágenes están disponibles en el enlace siguiente:

<https://acortar.link/3eweMn>

El formato del nombre de cada imagen es el siguiente:



IMG\_2023\_a\_b.jpg

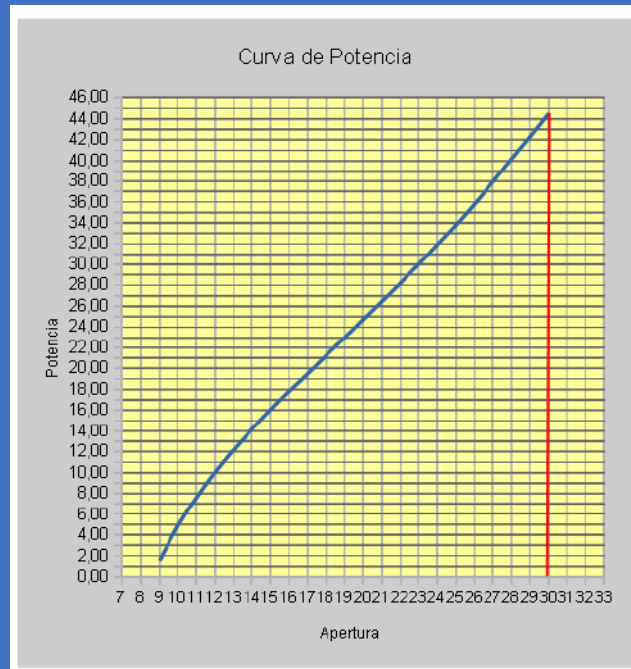
Siendo la masa colgante en cada caso: a.b gramos de piedras.



### Actividad N° 3, Ingeniare:

Desde hace 10.000 años se ha utilizado el arco y la flecha. En un principio, como herramienta de caza y guerra; en la actualidad, como actividad competitiva. En particular, el tiro de *arco con diana* fue incorporado como deporte olímpico en París (1900), pero fue discontinuado en 1920, reintroduciéndose en Múnich 1972. Desde entonces, ha permanecido como disciplina olímpica.

La curva de Potencia es una herramienta muy útil en la caracterización de un arco. Esta consiste en un gráfico **Potencia** (que es la fuerza, en libras, desarrollada hacia adelante por la cuerda del arco) vs. **Apertura** (que es el estiramiento horizontal que experimenta el arco, medido en pulgadas), como muestra la Figura 6.



**Figura 6.** Curva de Potencia [lb] vs Apertura [inch] para un arco.  
(Imagen obtenida de <https://www.lignumvitaebows.es/2018/08/01/la-curva-de-potencia-i/>)

A partir de este gráfico, realice un nuevo gráfico, sin realizar ningún cálculo, de la Energía almacenada en el arco vs. Apertura, explicando qué representa la curva de la energía.

## 4.5 Análisis

### Actividad N° 1

Habiendo encontrado el valor de la masa celeste, cuelgue esa masa en el resorte y espere hasta que alcance el equilibrio. Cuando haya alcanzado el equilibrio, estire la masa 30 cm más, y suéltela.

- a) Determine la energía potencial elástica del resorte sobre la masa celeste cuando la estiró 30 cm más.
- b) Determine la máxima velocidad alcanzada por la masa celeste al soltarla desde la elongación de 30 cm.
- c) Determine el trabajo realizado sobre la masa celeste desde que hizo la elongación de 30 cm hasta que alcanzó su posición de equilibrio nuevamente.

### Actividad N° 2

Luego de determinar la constante elástica de la banda, y considerando la expresión para la energía potencial elástica  $U(x) = \frac{1}{2}kx^2$ , realice el gráfico de  $U(x)$  vs.  $x$ . ¿Qué tipo de gráfico representa?, ¿Qué muestra este gráfico?.

## Guía N° 5: Torque y momento de inercia

---

### Resumen

Un cuerpo en movimiento se puede caracterizar en virtud de la velocidad que experimenta. Si consideramos también su masa, el parámetro que abarque ambos términos será la cantidad de movimiento o momento del cuerpo. Pero en general, cada cuerpo posee su masa distribuida de distinta manera: dos cuerpos de igual masa pueden poseer geometrías muy diversas y, por ello, el momento que experimentará bajo una fuerza también será distinto. En este laboratorio se medirá experimentalmente el momento de inercia de un cuerpo rígido.

---

### 5.1 Introducción

Un cuerpo rígido que realiza una rotación con aceleración angular  $\alpha$ , bajo la acción de un torque  $\tau$ , posee un momento de inercia  $I$  tal, que se pueden relacionar estas variables por:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

Como es sabido, el torque debido a una fuerza  $F$  aplicada a una distancia  $r$  del eje de giro se escribe:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$|\vec{\tau}| = rF \sin\theta$$

donde  $\theta$  es el ángulo que forman los vectores de fuerza y posición donde se aplica la fuerza, como se muestra en la Figura 1. Debido a esto, si se conoce el torque aplicado al sistema recién calculado y la aceleración angular que adquiere el sistema, entonces se puede determinar el momento de inercia del sistema.

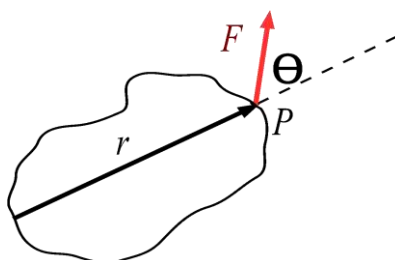


Figura 1. Fuerza  $F$  aplicada en el punto  $P$  arbitrario.

## 5.2 Objetivos

- Determinar experimentalmente el torque de una barra, a partir de una distribución de masas.

## 5.3 Instrumentos y materiales

- Software de simulación PhET: “Ley de Equilibrio”: <https://url2.cl/zL2qJ>
- Barra (virtual).
- Masas (virtuales).
- Regla (virtual).

## 5.4 Procedimiento experimental

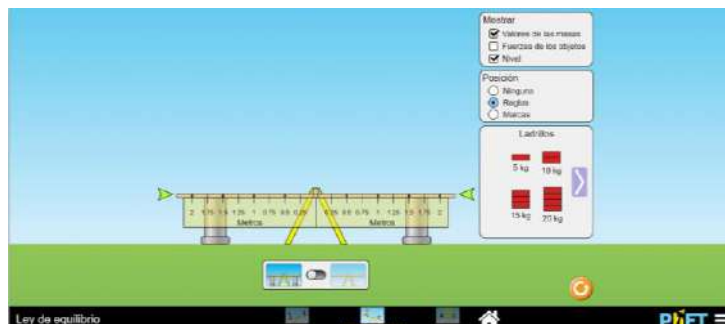
### Actividad N° 1

1. Cargue la simulación PhET “**Ley de Equilibrio**” en su computador desde el link: <https://url2.cl/zL2qJ>.
2. Seleccione el ítem **Laboratorio de Equilibrio**, como muestra la Figura 2.



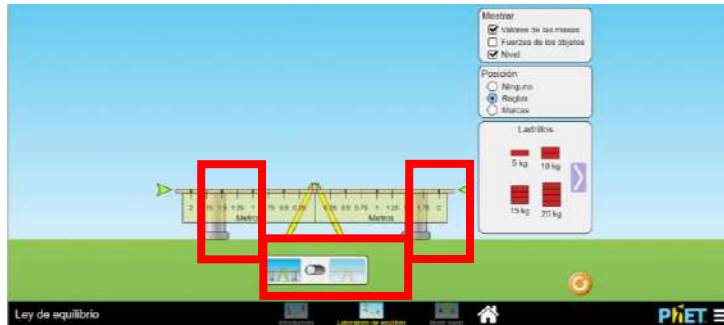
*Figura 2. Simulación PhET: “Ley de Equilibrio: Laboratorio de Equilibrio”.  
Tomada de Simulaciones PhET Colorado.*

3. Seleccione nivel y regla, como muestra la Figura 3.



*Figura 3. Selección de nivel y regla PhET “Ley de Equilibrio”.*

- Ubique una **masa de 20 kg** al costado izquierdo, a cierta distancia del pivote en el centro de la barra. Mida esa distancia.
- Quite los barrotes laterales de la barra que la sostienen horizontal, como muestra la Figura 4.



*Figura 4. Control de barrotes laterales PhET "Ley de Equilibrio".*

- Ubique solo y exclusivamente **tres masas** (de los valores que usted quiera) al costado derecho, hasta equilibrar su sistema. Mida la distancia de cada masa hasta el pivote central.
- Con las medidas de la izquierda y la derecha puede obtener los torques respectivamente. Tome una imagen de su sistema en equilibrio rotacional, y desarrolle paso a paso las ecuaciones de equilibrio para su sistema.
- Quite las masas de la barra horizontal y ponga nuevamente los cilindros que sostienen la barra en los extremos.

## Actividad N° 2

- Nuevamente ubique una **masa de 20 kg** y además ubique una **masa de 5 kg** al costado izquierdo. Mida las distancias de las masas respecto al pivote.
- Quite los barrotes laterales de la barra horizontal, como muestra la Figura 4.
- Ubique solo y exclusivamente **tres masas** (de los valores que usted quiera) al costado derecho, hasta equilibrar nuevamente su sistema. Mida la distancia de cada masa hasta el pivote central.
- Obtenga los respectivos torques con las medidas a la izquierda y a la derecha. Tome una imagen de su sistema en equilibrio rotacional, y desarrolle paso a paso las ecuaciones de equilibrio para su sistema.

### Actividad N° 3

1. Seleccione en la parte inferior “Modo Juego”



2. En el nivel Juego diríjase al nivel 4 (4 estrellas). Debe contestar las preguntas y alcanzar 5 puntos de los 6 que están en juego (1 por cada juego). Para demostrar su realización, incluya imágenes que así lo demuestren de los juegos 3, 5 y 6. No hay dos juegos iguales.

### Actividad N° 4, *Ingeniare:*

Según Cartes (2004), la capacidad máxima de carga es determinada por el fabricante de las Grúas de Torre. Mientras menor es la distancia de la carga respecto de la punta de la pluma, menor será la capacidad máxima de carga; por el contrario, si menor es la distancia de la carga hasta la torre, mayor es la capacidad de carga. En general, Cartes nos comenta que la pluma actúa como una viga en voladizo. En el caso de una grúa torre con una pluma de longitud de 30,0 m, se tiene por ejemplo que es capaz de levantar una carga de 750 kg en el extremo de la pluma; de igual modo, a 9,0 m del tronco puede levantar una carga de 2.000 kg

Sobre la base de sus conocimientos de equilibrio de rotación, explique este comportamiento haciendo uso de esquemas y diagramas de cuerpo libre.

### Análisis

1. Calcule paso a paso el equilibrio estático (fuerzas) y rotacional (torques) en cada uno de los dos casos planteados de las actividades 1 y 2. Primero con la masa de 20 kg a la derecha, y luego con la masa de 20 kg y 5 kg a la derecha.
2. Discuta si es posible determinar los momentos de inercia de la barra, conociendo las masas y las distancias respecto al pivote.

### Referencias

Cartes M., Grúas Torre. (2004). [Tesis para optar al título de Constructor Civil. Universidad Austral de Chile. Chile.](#)

**LABORATORIO III**  
Elementos de electricidad y  
magnetismo

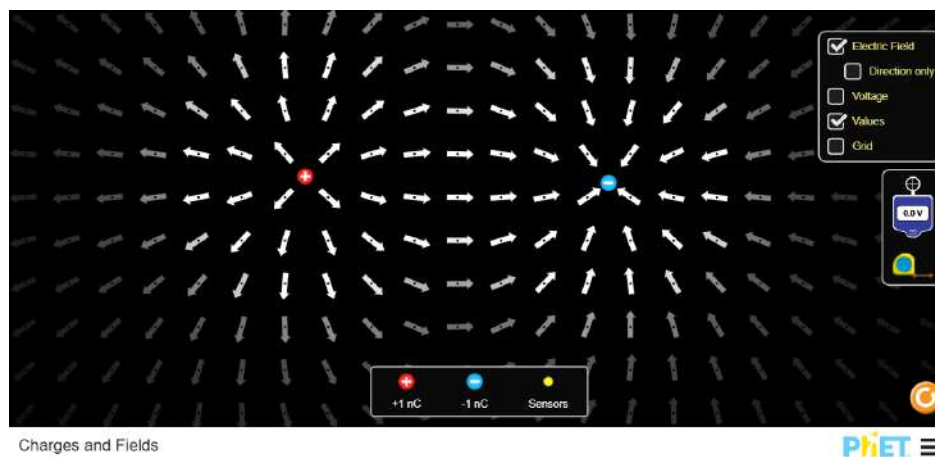
## Guía N° 1: Potencial y campo eléctrico

### Resumen

Una carga eléctrica puntual, por el solo hecho de estar en alguna parte del espacio, modifica las propiedades de este. De ella saldrán o entrarán radialmente líneas de campo eléctrico. Perpendicular a este campo, se generarán superficies equipotenciales concéntricas a la carga, es decir, superficies cerradas rodeando la carga y con el mismo valor de potencial. En este laboratorio explorará, por medio del **Software PhET**, dos cargas eléctricas puntuales cercanas, desde donde, por medio de un voltímetro virtual, podrá determinar las líneas equipotenciales que rodean cada carga.

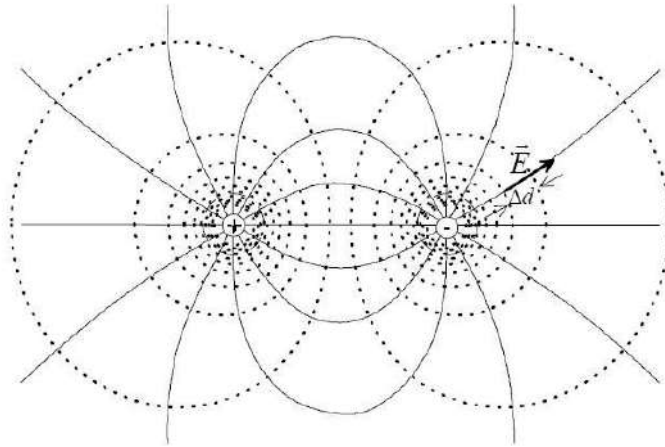
### 1.1 Introducción

Los cuerpos cargados eléctricamente modifican las propiedades del espacio que los rodea. Para caracterizar el entorno que rodea un cuerpo cargado, a cada punto de él se asocia el valor de una magnitud física denominada campo eléctrico  $E$ , que depende de la geometría de las cargas que lo producen y de la distancia entre ellas.



**Figura 1.** Vectores de campo eléctrico saliendo de una carga positiva e ingresando en una carga negativa. Imagen obtenida con el Software PhET: "Charges and Fields". La intensidad de los vectores está relacionada con la intensidad del campo eléctrico.





**Figura 2.** Las líneas continuas representan la trayectoria de las líneas de campo eléctrico; las líneas punteadas representan las líneas de igual diferencia de potencial (equipotencial) que rodean las cargas eléctricas o electrodos.

La magnitud del campo eléctrico  $\mathbf{E}$  y diferencia de potencial  $\mathbf{V}$  están relacionadas entre sí. El campo eléctrico es siempre perpendicular a las superficies o líneas equipotenciales (líneas punteadas de la Figura 1): apunta en la dirección en que el potencial decrece y su magnitud es igual a la razón entre la diferencia de potencial  $\Delta V$  entre dos superficies equipotenciales muy cercanas y la distancia  $\Delta d$  que las separa. La relación funcional entre estas variables se puede encontrar como:

$$\Delta V = -E\Delta d$$

## 1.2 Objetivos

1. Observar experimentalmente, por medio de la simulación PhET, las líneas equipotenciales para una configuración de electrodos puntuales.
2. Determinar, mediante el análisis de datos, la relación entre el potencial ( $V$ ) y la posición ( $x$ ) para una configuración de electrodos puntuales.
3. Determinar, a partir de la expresión obtenida  $V(x)$ , el campo eléctrico para una configuración de electrodos puntuales.

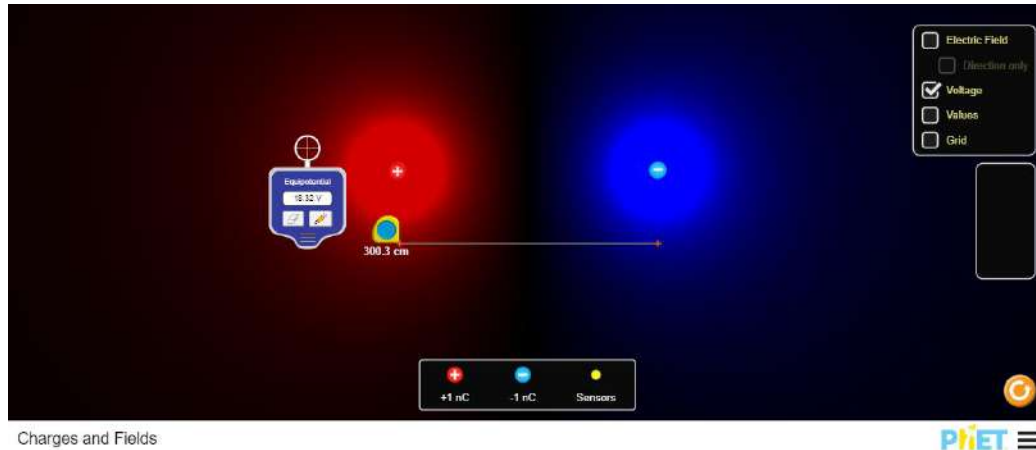
## 1.3 Instrumentos y materiales

- Simulador PhET: “Charges and Fields”.
- Herramienta Voltímetro (virtual).
- Herramienta posición (virtual).
- Hoja similar papel milimetrado (ver prototipo informe).

## 1.4 Procedimiento experimental

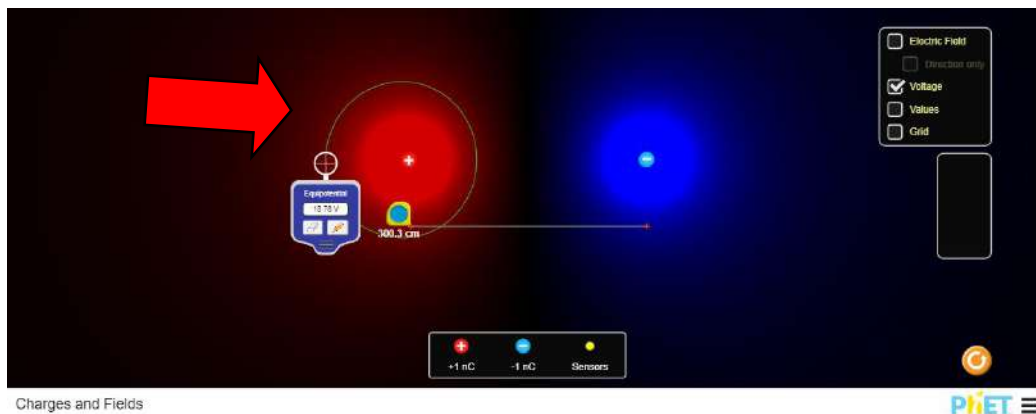
### Actividad N° 1: Superficies equipotenciales

1. Abra el Simulador PhET: “Charges and Fields”. Ubique una carga positiva y una carga negativa, a una distancia aproximada de 3,00 metros. Ubique la herramienta Voltímetro de la simulación cerca de una carga (electrodo).



**Figura 3.** Vectores de campo eléctrico saliendo de una carga positiva e ingresando en una carga negativa. Imagen obtenida con el Software PhET: “Charges and Fields”. La intensidad de los vectores está relacionada con la intensidad del campo eléctrico.

2. Luego de ubicar la herramienta Voltímetro de la simulación cerca de una de las cargas eléctricas, presione el ícono lápiz dentro del Voltímetro de la simulación: aparecerá una línea cerrada que representa la superficie equipotencial en dos dimensiones.

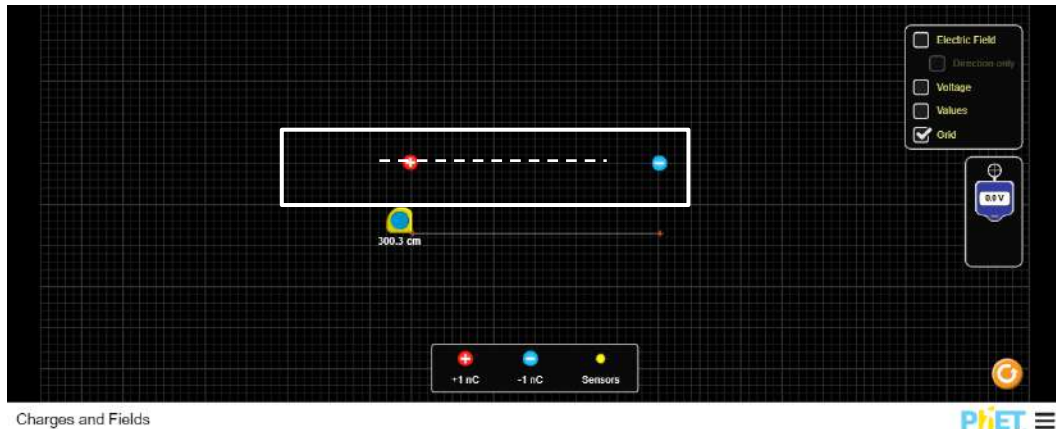


**Figura 4.** Al apretar el lápiz del Software PhET: “Charges and Fields”, se muestra una línea verde cerrada equipotencial. Es decir, en esa curva todos los valores de diferencia de potencial poseen el mismo valor.

3. Repitiendo el procedimiento anterior, para 6 valores diferentes de potencial cercanos a cada carga obtenga 6 curvas equipotenciales, de manera que permita observar la distribución espacial de las curvas equipotenciales en una distribución de dos cargas. Grabe la imagen con las 6 curvas en cada carga, en total 12 curvas equipotenciales en la misma figura, puesto que esto servirá de evidencia en la confección de su informe.

### Actividad N° 2: Potencial y campo eléctrico

1. Defina un sistema de referencia unidimensional coherente con la línea que une ambas cargas. Considere como el origen de su sistema de referencia, el centro entre ambas cargas. Con la herramienta Voltímetro, **mida 10 valores de diferencia de potencial para 10 posiciones distintas, tanto a la izquierda como a la derecha de su origen. Registre sus datos V vs. X.**



**Figura 5.** El rectángulo del Software PhET: “Charges and Fields” resalta la ubicación de las dos cargas eléctricas, y muestra con línea punteada la recta que une ambas cargas.

### Actividad N° 3, *Ingeniare*:

Diseñe correctamente un experimento, paso a paso, que permita visualizar directamente las líneas de campo eléctrico.

No es necesario construir el experimento. Solo debe indicar paso a paso cómo se debe construir, para que otro compañero(a) de su mismo nivel pudiese armarlo.

## Análisis

### Actividad N° 1

1. Obtenga una imagen que muestre 12 curvas equipotenciales, alrededor de cada carga eléctrica, similar a las curvas observadas en la Figura 2.

### Actividad N° 2

1. Grafique el potencial (V) vs. la posición (X) de los datos registrados.
2. Por medio de una sustitución adecuada de variables en el eje X, rectifique el gráfico anterior.
3. Encuentre la relación funcional entre el potencial y la posición.

Utilizando la **relación funcional** encontrada, y considerando la expresión:

$$\Delta V = -E\Delta d$$

Determine el valor de campo eléctrico con las unidades respectivas.



*Código QR para descargar Simulación PhET: "Charges and Fields". University of Colorado Boulder.*

## Guía N° 2: Distribución continua de cargas

---

### Resumen

Cuando un cuerpo se carga por electrización con alguno de los tres métodos, este queda con carga neta positiva o negativamente, es decir, con déficit o exceso de electrones. Hablamos de distribuciones que pueden ser o no homogéneas, dependiendo de la geometría del cuerpo. En estos casos es posible encontrar densidades lineales, volumétricas o superficiales de carga.

En este laboratorio realizará un sencillo experimento para identificar fenomenológicamente este tipo de distribución electrostática.

---

### 2.2 Introducción

Del experimento de Millikan, se saben antecedentes respecto a la cuantificación de la carga; y cuando se habla de cuerpos cargados eléctricamente, se hace referencia a un número grande de cargas elementales ( $1,602 \cdot 10^{-19} C$ ). Dependiendo de la forma de la superficie, cambia la forma del elemento diferencial  $dq$  en el cual se encuentra la distribución de cargas: estas pueden ser **lineales** ( $\lambda$ ), **superficiales** ( $\sigma$ ) o **volumétricas** ( $\rho$ ). Es decir, alambres o líneas cargadas, mantos o cascarones, o volúmenes de las más diversas geometrías.

$$\lambda = dq/dl \quad \sigma = dq/dS \quad \rho = dq/dV$$

Así, en los casos de alto nivel de simetría en la geometría se puede observar distribución homogénea de carga, siendo constantes las distribuciones de carga por unidad de longitud, de superficie y de volumen. Obteniendo las distribuciones y conociendo los vectores de posición, es posible determinar, por medio del principio de superposición y de la ley de Coulomb, el campo eléctrico causado en algún lugar determinado del espacio debido a esa geometría, como:

$$\vec{E} = \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right) \int \frac{dq}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^3} (\vec{r} - \vec{r}_i)$$

### 2.3 Objetivos

1. Comprender fenomenológicamente el concepto de distribución continua de cargas eléctricas.
2. Estimar la distribución superficial de carga en dos cuerpos eléctricamente cargados.

3. Identificar las líneas de campo eléctrico, en superficie de diversas geometrías con distribución continua de cargas.

## 2.4 Instrumentos y materiales

- Hilo de coser.
- globos, idealmente pequeños (tipo bombas de agua).
- Regla plástica.
- Lata de aluminio vacía, seca y sin aplastar.
- Teléfono celular o cámara digital.

## 2.5 Procedimiento experimental

### Actividad N° 1: Electrización e inducción eléctrica

En esta actividad se electrizarán globos y se estudiará cuantitativamente, la interacción entre las cargas. Para ello primero debe inflar un globo y amarrarlo, para luego electrizarlo por medio de frotamiento con algún material, o su cabello.

- a) Posteriormente acerque el globo electrizado a la lata de aluminio como se muestra en la figura 1, saque una fotografía a la situación para anexarla a su informe, y describa físicamente lo observado.



Figura 1. Globo electrizado cerca de lata de aluminio 330 cm<sup>3</sup>.



- b) En su descripción física, debe incluir un esquema sobre la distribución de cargas sobre cada uno de los objetos. También debe considerar en caso de existir, las líneas de campo eléctrico entre los objetos.
- c) Nuevamente electrice por frotamiento el globo, y acérquelo, pero sin tocar a una caída continua de agua (sin gotas), se recomienda al agua que cae desde la llave de un lavaplatos como se muestra en la figura 2, y acerque el globo cargado.



**Figura 2.** Globo electrizado con chorro continuo de agua.

- d) Saque una fotografía a la situación para anexarla a su informe, y describa físicamente lo observado, repita el paso b) sobre el esquema de la situación, distribución de cargas y de líneas de campo eléctrico.

### Actividad N° 2: Fuerza eléctrica

- Infle dos globos de tal manera que queden de tamaños similares (volúmenes idénticos), cuide que estén completamente secos, y ate cada uno a un hilo de igual tamaño de 1.00m.
- Posteriormente sujételos superiormente desde un punto intermedio del hilo.
- Electricice por frotamiento los globos, de manera que producto solo de fenómenos de electrostática los globos queden separado en un ángulo  $\theta$ , como muestra la figura 3.



**Figura 3.** Globos electrizados colgantes desde hilo de longitud  $L$  y ángulo  $\theta$ .

- Saque una fotografía del arreglo experimental que debe incluir en su informe. Por medio del diagrama de cuerpo libre, determine la tensión y la fuerza eléctrica.
- Por medio de las estimaciones que considere necesarias, determine experimentalmente la distribución de cargas en la superficie y la carga total en cada globo.

### Actividad N° 3, *Ingeniare*:

En el siguiente video se muestra el generador Van de Graaff que se encuentra en el Museo Interactivo Mirador (<https://acortar.link/eNGKGI>). La actividad ingeniare consiste en que, luego de observar este breve video, pueda describir en no más de 10 líneas:

- Cómo funciona el generador Van de Graaf (puede hacer un esquema).
- Cómo se distribuyen las cargas para que se levante el pelo de la expositora.
- Cómo se realiza el proceso para que el pelo se baje (min 1:30).



## 2.6 Análisis

Responda las siguientes actividades:

- De manera clara y ordenada realice un esquema que incluya cómo se distribuyen las cargas y las líneas de campo eléctrico, desde los siguientes cuerpos geométricos cargados positivamente:
  - Esfera
  - Cubo
  - Prisma
- Si usted frota vidrio con teflón, ¿cuál será la carga del vidrio y cuál la carga del teflón?
- Si usted frota aluminio con goma, ¿cuál será la carga del aluminio y cuál la de la goma?
- Si usted frota aluminio con lana, ¿cuál será la carga del aluminio y cuál la de la lana?
- Explique de manera sintetizada y a partir de primeros principios, es decir, desde el modelo atómico, cómo se entiende que un material es conductor y cómo un material es aislante eléctrico. Entregue tres ejemplos de cada uno.



## Guía N° 3: Capacitor y condensador

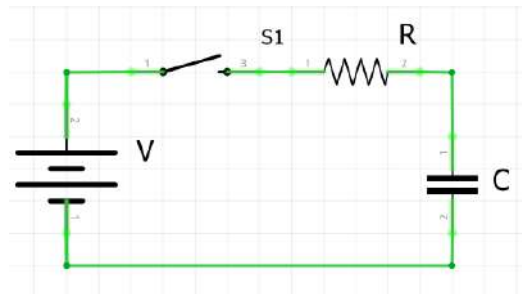
### Resumen

Uno de los principales problemas de la tecnología actual es la autonomía que tiene cada equipo. Esto consiste en que la energía que se le ha entregado la disipe de la manera más eficiente posible. Al interior de cada circuito hay un componente que cumple una función similar a las baterías: el “condensador”, el cual se carga y descarga según la distribución de corriente que se le solicite.

En este laboratorio se estudiará el proceso de carga y descarga y las características que permiten definir cuándo está cargado y cuándo descargado. Para ello se utilizará el software de simulación de circuitos **AUTODESK® TINKERCAD®**.

### 3.1 Introducción

Básicamente, un condensador cumple la función de almacenar carga en un circuito. Uno de los esquemas más simples de carga es un circuito en serie compuesto de una fuente de poder, un switch  $S$ , una resistencia  $R$  y un condensador  $C$ , ver Figura 1.



**Figura 1.** Circuito RC en serie, con switch abierto, previa a carga de un condensador.  
Diseño del circuito realizado en Fritzing.

Si se considera un *switch* inicialmente abierto, al cerrarlo se puede modelar de manera equivalente a que se dará inicio a un flujo de cargas al interior del circuito. Al circular la intensidad de corriente, pasa por la resistencia eléctrica que frenará el paso de las cargas, luego llegan al condensador donde se inicia el proceso de carga.

La ecuación que da cuenta del proceso de carga del condensador es:

$$V_C = V_0(1 - e^{-t/RC})$$

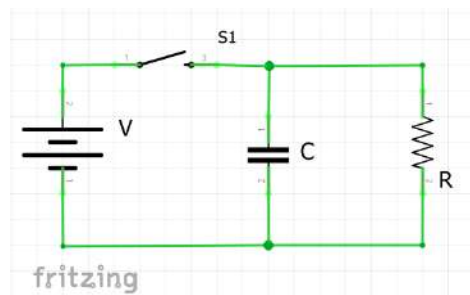
Donde es posible observar que para  $t = 0$ , la diferencia de potencial medida en el condensador es nula, es decir,  $V_C = 0$ . En cuanto se da inicio al proceso de carga, esta se incrementa progresivamente hasta un tiempo “muy grande”, cuando tiende a estabilizarse el voltaje en el condensador, como se ha mencionado, en un tiempo  $t \gg 0$ . La estabilización mencionada es en un valor constante  $V_C = V_0$  donde el condensador ha alcanzado un voltaje similar al de alimentación  $V_0$  he implícitamente, su máxima carga.

Luego de observar la forma que toma la curva de carga en función del tiempo, se observa que esta no será lineal. Entonces, es necesario realizar una rectificación de la curva, lo cual se logra realizando un cambio de variable en el grafico  $V_C$  en función del tiempo.

Observando cuidadosamente la ecuación, y a partir de un álgebra sencilla, **se debe realizar el siguiente cambio de variable** y graficar  $\ln(1 - V_C/V_0)$  Vs  $t$ . Esto debería arrojar como resultado una curva lineal, cuya pendiente debe ser igual al valor recíproco de la constante de tiempo de carga del condensador.

Cuando el condensador está cargado y se abre el *switch*, se inicia un proceso de descarga del mismo. Un ejemplo donde es posible observar este fenómeno es en las luces led en múltiples artículos eléctricos o electrónicos: al apagar o desconectar el instrumento o artículo, esta luz permanece aún encendida, pero su intensidad va decreciendo en el tiempo hasta extinguirse. Este fenómeno se debe a la carga remanente en el condensador: al desconectar el instrumento, esta cae lentamente mientras los condensadores del circuito que lo componen terminan de descargarse.

En virtud de lo comentado sobre los instrumentos eléctricos o electrónicos, una forma práctica de descargar un condensador en un tiempo razonable de observar experimentalmente se puede desarrollar a partir de un circuito muy simple en paralelo compuesto de una resistencia y un condensador. Es decir, el condensador, luego de alcanzar su máximo nivel de carga, se desconecta de la fuente de poder y se descarga a través de la resistencia en el circuito, ver figura 2.



**Figura 2.** Circuito en RC en paralelo, con switch abierto, previa a descarga de un condensador.  
Diseño del circuito realizado en Fritzing.

En términos físicos, la ecuación que da cuenta de la descarga de un condensador es:

$$V_C = V_0 e^{-t/RC}$$

De esta ecuación es posible observar que para  $t = 0$ , el voltaje en el condensador corresponderá precisamente al voltaje de máxima carga, es decir,  $V_C = V_0$  (justo antes de abrir el *switch*). En tanto que para cualquier otro tiempo el voltaje será menor progresivamente hasta un tiempo muy largo  $t \gg 0$ , donde el voltaje tenderá a cero, es decir,  $V_C = 0$ . Entonces, el condensador se encontrará completamente descargado.

De manera análoga al proceso de carga, luego de haber observado el voltaje en el condensador en función del tiempo, para rectificar esta curva es necesario realizar el cambio de variable  $\ln(V_C/V)$  Vs  $t$ . Con ello se debería obtener una curva lineal, cuya pendiente es igual al valor recíproco de la constante de tiempo de descarga del condensador.

### 3.2 Objetivos

1. Desarrollar correctamente el diseño e implementación del circuito de carga del condensador, en el software de simulación AUTODESK® TINKERCAD®.
2. Identificar experimentalmente la curva de carga de un condensador.
3. Determinar experimentalmente la constante de tiempo de carga.

### 3.3 Instrumentos y materiales

- Software de simulación de circuitos **AUTODESK® TINKERCAD®**.
- Fuente virtual de voltaje CC (DC).
- Resistencia eléctrica virtual ( $300\text{ k}\Omega$  a  $500\text{ k}\Omega$ ).
- Condensador virtual de  $330\text{ }\mu\text{F}$ .
- Tester, Multitester o multímetro virtual.
- Cronómetro.

### 3.4 Procedimiento experimental

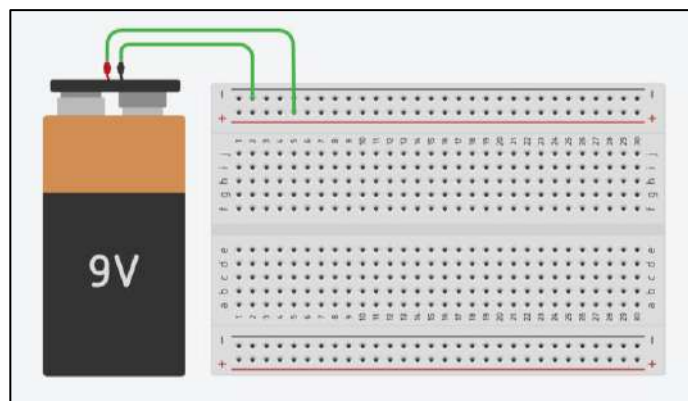
**Actividad N° 1:** Implementación de software de simulación **TINKERCAD**

- i. Para el desarrollo de la actividad por medio del software de simulación Tinkercad, debe dirigirse a la página para simulación de circuitos <http://www.Tinkercad.com> y deberá crear una cuenta gratuita.
- ii. Al ingresar, se abrirá una página en la cual debe escoger la opción **Circuits**, y luego **Create new Circuit**.



## Actividad N° 2: Carga del condensador

1. En el Software Tinkercad, ubique un protoboard, y una batería de 9V, alimentando las líneas + y – del protoboard, como muestra la figura 3.



*Figura 3. Protoboard en Tinkercad, alimentado por batería de 9 V.*

2. Armar el circuito de carga de un condensador (ver circuito RC en Figura 2).
3. Utilice un condensador electrolítico **C** de  $330 \mu F$  (ver Figura 4)

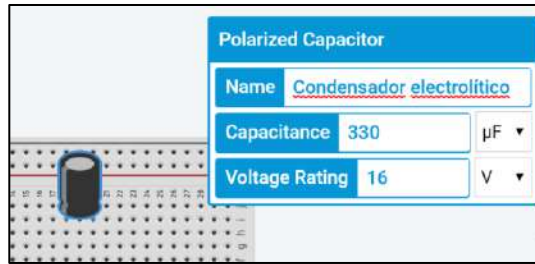


Figura 4. Condensador electrolítico en Tinkercad.

4. Utilice una resistencia virtual de  $300\text{ k}\Omega$  a  $500\text{ k}\Omega$ . Revisar el laboratorio N° 2.
5. Ubique un multímetro en el condensador para medir el voltaje de carga, puede ubicarlo como muestra la Figura 5.

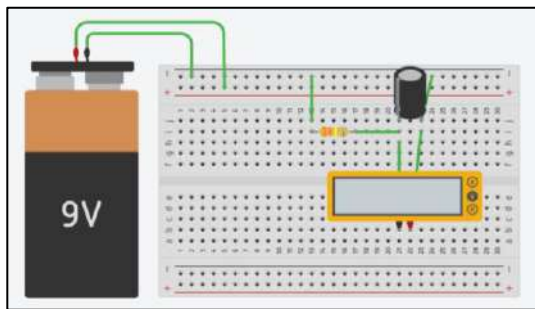


Figura 5. Multímetro conectado a condensador electrolítico para carga del condensador.

6. Medir  $V_c$  cada 5 s hasta que en el condensador se establezca un valor constante.

### Análisis

1. Construir un gráfico  $V_c$  vs.  $t$  para observar la forma de la curva mientras se produce la carga del condensador.
2. Rectificar el gráfico obtenido según lo mencionado en la introducción. Lea las veces necesarias cómo se realiza o pregunte a su profesor.
3. Determinar experimentalmente la constante de tiempo de carga. ¿Qué representa este valor? Puede apoyar su respuesta sobre la base del texto *Física para Ciencias e Ingeniería*, Raymond Serway, Vol. II.
4. ¿Qué ocurre con el tiempo de carga si se cambian los valores de las resistencias?

### Actividad N° 3, *Ingeniare*:

Investigue al menos tres tipos diferentes de condensadores. En una hoja copie las imágenes (una por cada condensador), indique el nombre del condensador y la función específica que cumple en un dispositivo, sistema o equipo.

## Guía N° 4: Ley de Ohm y resistencias eléctricas

---

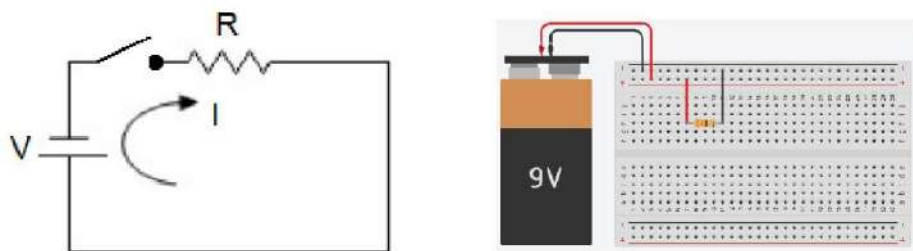
### Resumen

Este laboratorio corresponde a la determinación experimental (virtual) de ciertas variables fundamentales. Para ello se utilizará el software de simulación de circuitos **AUTODESK® TINKERCAD®** en temas de circuitos de corriente continua, donde trabajaremos con resistencias, con fuentes de poder (batería) y los instrumentos imprescindibles en mediciones, como son los *Téster* o *Multímetros*.

---

### 4.1 Introducción

Un circuito eléctrico está compuesto por una fuente de poder o alimentación, además de un conjunto de dispositivos eléctricos unidos por líneas de transmisión o cables que forman una trayectoria cerrada. Los componentes o dispositivos eléctricos pueden ser resistencias, condensadores, inductancias (o bobinas), interruptores, semiconductores, etc. La Figura 1 representa el circuito más básico de encontrar y que cuenta con un amplio espectro de aplicaciones: desde una lámpara, un calentador o una ducha eléctricos. Este circuito está compuesto por una fuente de poder con voltaje  $V$  y una resistencia  $R$  que, al ser conectadas y cerrar un interruptor, permite la circulación de una corriente  $I$ .



**Figura 1.** El lado izquierdo de la figura muestra el esquema de circuito compuesto de una fuente de poder, una resistencia eléctrica y un interruptor. En el esquema de la figura derecha se muestra cómo deberían estar conectados los componentes en la realidad con el interruptor cerrado.

El alemán George Simón Ohm (1787-1854) determinó en 1826 la ley que lleva su nombre. Ohm tomó una sección de alambre delgado muy largo y **lo conectó con diferentes baterías en serie**, midiendo la intensidad de corriente que circulaba a través del alambre (imagina el esquema del circuito descrito). Con los datos obtenidos, logró deducir que la intensidad de corriente eléctrica  $I$  era directamente proporcional a la diferencia de potencial  $V$ . Con ello logró concluir que, para un alambre dado, la razón entre la diferencia de potencial (llamada coloquialmente voltaje)  $V$  y la intensidad de corriente  $I$  equivale a una constante denominada  $R$ .

$$V = R \cdot I$$

Por otra parte, Ohm estableció que la corriente es directamente proporcional a la diferencia de potencial solo cuando el largo y diámetro del alambre son constantes. En su trabajo comprobó además que con una diferencia de potencial  $V$ , la intensidad de corriente eléctrica  $I$  en el circuito era inversamente proporcional a la longitud del alambre usado. Esto es, cuando se duplicaba la longitud del alambre (con  $V = cte.$ ), la corriente se reduce a la mitad de su valor original.

Finalmente, encontró que el diámetro del alambre y el tipo de material también afectaban a la intensidad de corriente eléctrica. Con esto, dedujo que cada alambre tiene una propiedad específica que impedía el flujo de la corriente. Esta propiedad fue más tarde llamada **resistencia eléctrica**.

En el sistema internacional de unidades, la unidad de la resistencia eléctrica es el Ohm ( $\Omega$ ), es decir:

$$1\Omega = \frac{1\text{Volt}}{\text{Ampere}} = \frac{1V}{A}$$

#### Sobre las cantidades fundamentales:

- **Fuente de poder (fuente de alimentación)**

La fuente de poder suministra la fuerza electromotriz  $\varepsilon$  (fem) para alimentar el circuito. Esta fem se define como la energía que se debe suministrar a una carga eléctrica  $q$  para que se mueva desde puntos de menor potencial a puntos de mayor potencial. Los dispositivos utilizados para entregar esta fuerza electromotriz se llaman generadores eléctricos o fuentes de voltaje, tales como pilas eléctricas o baterías, y se mide en unidades de diferencia de potencial  $\Delta V$ .

La diferencia de potencial se mide en unidades de Volt, representado con la letra  $V$ , y puede ser continuo **CC** o **DC** (su valor es constante a través del tiempo), o alterno **AC** (su valor varía periódicamente a través del tiempo).

Cuando el voltaje es alterno, como lo es en la red pública para la alimentación de los aparatos eléctricos (Chile: señal sinusoidal 220 V), existe un *voltaje eficaz* o *rms* (root mean square = raíz cuadrática media)  $V_{rms}$  y un voltaje dado por la amplitud de la señal periódica  $V_{max}$ , los cuales se relacionan como:

$$V_{eficaz} = V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

- **Intensidad de corriente eléctrica,  $I$**

La intensidad de corriente eléctrica  $I$  corresponde al flujo de cargas eléctricas  $q$  que se mueven a través de un material. Es decir, se define como la carga neta  $q$  que atraviesa el área de sección transversal de un material por unidad de tiempo  $t$ . Por lo tanto, solo es posible producir un flujo de corriente al conectar un conductor (cables) a los terminales de una fuente o generador.

La corriente se mide en unidades de *Ampere*, representado con la letra  $A$ . Al igual que el voltaje, puede ser AC o DC.

- **Resistencia eléctrica,  $R$**

Es una propiedad de los materiales a oponerse al paso de corriente eléctrica. Esta propiedad depende del tipo de material (conductor o aislador), de su geometría y, en algunos casos, de la temperatura. Un material conductor, en particular los metales, tiene baja resistencia eléctrica debido a que los electrones se pueden mover libremente a través de estos materiales. En cambio, un aislador, cerámicos y polímeros tienen alta resistencia eléctrica debido a que se oponen al movimiento de electrones.

La resistencia eléctrica  $R$  es una cantidad que se mide en unidades de Ohm, representado por la letra griega omega  $\Omega$ , y determina la diferencia de potencial  $V$  que atraviesa un material cuando se ha inducido una intensidad de corriente eléctrica  $I$ .

Las resistencias con fines académicos (utilizadas en el laboratorio) son componentes de material cerámico, de igual geometría, cuya influencia de la temperatura es despreciable y cuyo valor numérico puede ser determinado por el código de colores de cada resistencia o medido directamente por un óhmetro.

El código colores, como se muestra en la figura 2, consiste en cuatro bandas impresas sobre las resistencias, que indican la magnitud de la resistencia: la primera y la segunda banda representan los dos primeros valores, la tercera banda representa el exponente de  $10^x$  y la cuarta banda se llama tolerancia, que es el rango de error de la resistencia dada por el fabricante. Esta última banda puede ser gris, equivalente a una tolerancia de 10%, o dorada (oro), con una tolerancia de 5%.





Negro	Café	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde	Azul	Violeta	Gris	Blanco	Oro	Plata
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	5%	10%

*Figura 2. Resistencia eléctrica de  $330\Omega$  y código de colores de las resistencias.*

En general, un circuito eléctrico contiene más de una resistencia, las cuales pueden estar configuradas en serie, paralelo o ambas. En la clase de laboratorio siguiente realizará ambos circuitos y podrá medir las variables involucradas.

- **Potencia eléctrica,  $P$**

La potencia eléctrica es la velocidad por la cual la energía eléctrica es transferida a través de circuito eléctrico. En un circuito de corriente continua (DC), la potencia se define como  $P = V \cdot I$ . Esta cantidad se mide en *Watt*, representado por la letra  $W$ , y en general es un valor explícito en todos los dispositivos que requieren electricidad para funcionar.

Las resistencias utilizadas en el laboratorio tienen una potencia  $P = 0,5 W$ .

### 4.3 Objetivos

1. Identificar instrumentos comunes de medición por medio de simulación *TINKERCAD*, en los tópicos de electricidad y magnetismo.
2. Determinar experimentalmente, por medio de simulación *TINKERCAD*, la relación funcional entre intensidad de corriente eléctrica y diferencia de potencial.
3. Reconocer las características comunes para todos los circuitos eléctricos en serie y en paralelo.

### 4.4 Instrumentos y materiales

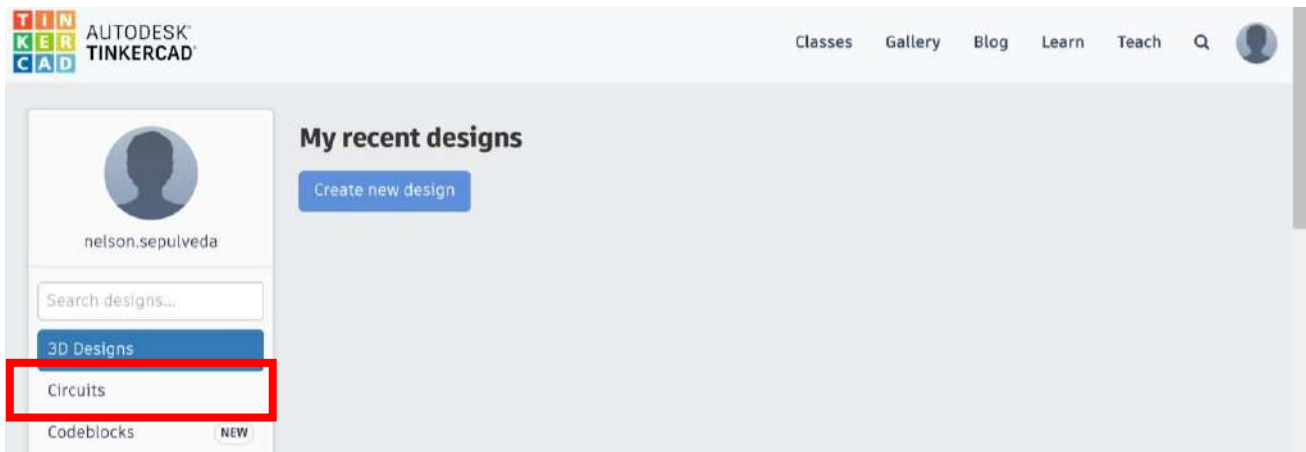
- Software de simulación de circuitos **AUTODESK® TINKERCAD®**.
- Herramienta multímetro virtual (utilizada como voltímetro).
- Herramienta amperímetro virtual (utilizada como amperímetro).

- Potenciómetro virtual (*TINKERCAD*).
- resistencias eléctricas de igual orden de magnitud (*TINKERCAD*).
- Protoboard virtual (*TINKERCAD*).
- Fuente de poder virtual, batería de 9 V (*TINKERCAD*).

#### 4.5 Procedimiento experimental

##### Actividad N° 1: Implementación de software de simulación TINKERCAD

- Dirigirse a la página para simulación de circuitos <http://www.Tinkercad.com> y crear una cuenta gratuita.
- Al ingresar, se abrirá una página en la cual debe escoger la opción **Circuits**, y luego **Create new Circuit**.



##### Actividad N° 2: Reconociendo los instrumentos de medición

Los instrumentos comúnmente utilizados para medir parámetros eléctricos se conocen como voltímetros (medidor de diferencia de potencial o *voltaje*), amperímetro (medidor de intensidad de corriente eléctrica), óhmetro (medidor de resistencia eléctrica) y osciloscopio (medidor de señales de parámetros eléctricos). También existen instrumentos capaces de medir indistintamente varias variables, solo cambiando la magnitud a considerar y la escala pertinente. A estos instrumentos se les conoce como multímetro, multitester o simplemente téster.

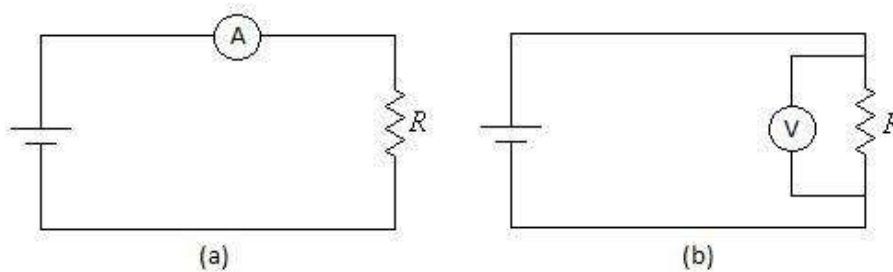
##### Amperímetro

El instrumento para medir la intensidad de corriente eléctrica que circula por un componente o un sector del circuito se llama amperímetro. Su **conexión debe ser en serie** y se representa con la letra **A**, tal como muestra la Figura 3(a). Para que no haya alteración en la intensidad de la

corriente que se desea medir, este instrumento no debe ofrecer resistencia al paso de la corriente; es decir, su resistencia interna debe ser prácticamente nula (amperímetro ideal). Sin embargo, los amperímetros reales tienen resistencia interna que depende de la escala utilizada y viene especificada por el fabricante.

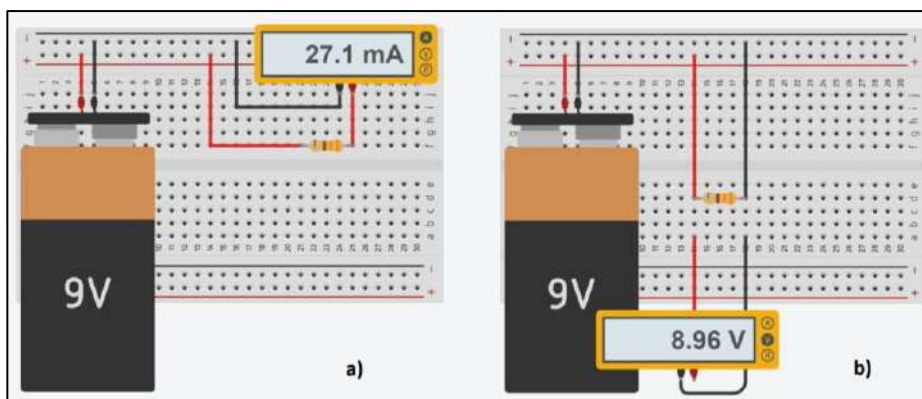
### Voltímetro

El voltímetro es un instrumento que permite medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito. Su **conexión debe ser en paralelo** y se representa con la letra **V**, tal como muestra la Figura 3(b). El voltímetro ideal debería tener una resistencia interna infinita, de modo que la intensidad de corriente a través de él sea prácticamente nula. Como aquello es solo en el caso ideal, los voltímetros reales solucionan aquello con una resistencia interna muy grande, de modo que por ellos circula una corriente de intensidad muy pequeña: cuanto más pequeña sea esta intensidad, más sensible es el voltímetro.



**Figura 3.** (a) Circuito con amperímetro conectado en serie para medir intensidad de corriente eléctrica. (b) Circuito con voltímetro conectado en paralelo para medir diferencia de potencial en los extremos de una resistencia eléctrica.

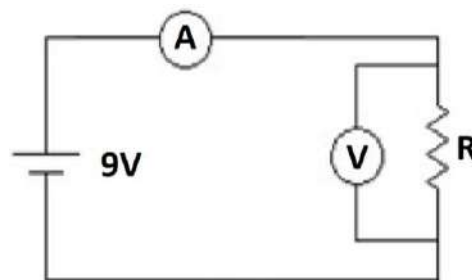
Un circuito análogo al expuesto en la figura anterior, diseñado en TINKERCAD, se muestra en la Figura 4.



**Figura 4.** (a) Circuito TINKERCAD con amperímetro conectado en serie para medir intensidad de corriente eléctrica. (b) Circuito TINKERCAD con voltímetro conectado en paralelo para medir diferencia de potencial en los extremos de una resistencia eléctrica de 330  $\Omega$ .

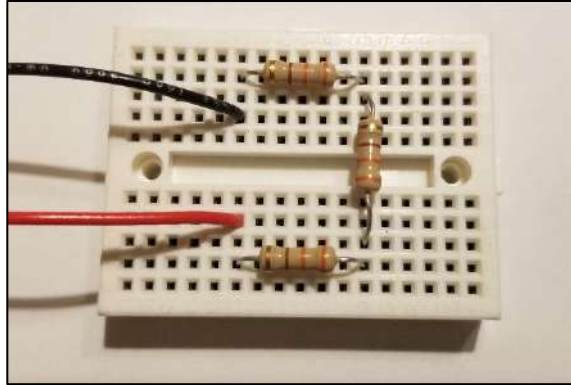
- i. [Construya un circuito en TINKERCAD compuesto de una fuente de poder de 9 V, una resistencia de 330  \$\Omega\$  y un potenciómetro de 12  \$\Omega\$ .](#)
- ii. Verifique que la resistencia de su circuito tenga correctamente las franjas según el código de colores.
- iii. El circuito que debe armar es una *malla* cerrada donde se encuentren los componentes, como se muestra en la Figura 5. Pero además debe incluir en el circuito un amperímetro y un voltímetro para, a la vez, medir intensidad de corriente y diferencia de potencial.

### Actividad N° 3: Circuitos en serie y paralelo



**Figura 5.** Circuito eléctrico en serie para actividad experimental Ley de Ohm. *R* es una **resistencia variable** (potenciómetro) y la fuente de poder, en este caso, es una batería de 9 V.

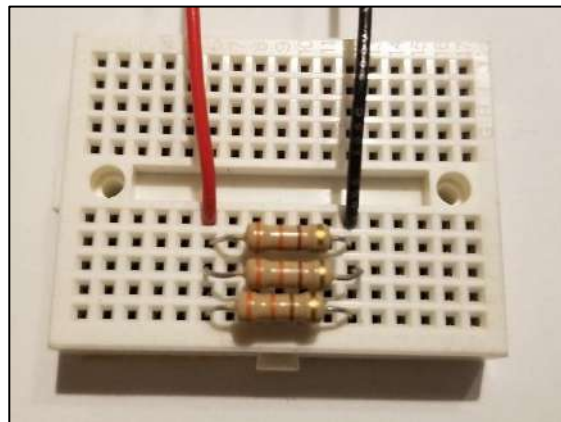
- iv. Varíe el voltaje del potenciómetro, registrando la diferencia de potencia y la intensidad de corriente en cada caso. Realice una tabla con al menos 10 valores distintos de voltaje e intensidad de corriente eléctrica.
  - i. Elegir 3 valores de resistencias eléctricas de similar orden de magnitud, y de **la misma potencia** máxima ( $P = 0,5 W$ ) (solo igual orden de magnitud, no valores idénticos).
  - ii. Leer directamente (código de colores) y medir cada resistencia utilizando el multímetro de TINKERCAD (óhmetro).
  - iii. Determine para cada resistencia el voltaje que pueden soportar, antes de quemarlas e inutilizarlas, sabiendo que la potencia en cada una de sus resistencias es de  $P = 0,5 W$ .
  - iv. Construya en TINKERCAD un circuito en serie, que incluya las resistencias elegidas como se muestra en la Figura 6.



*Figura 6. Circuito eléctrico compuesto de tres resistencias en serie.*

- v. Medir las intensidades de corrientes que circulan por cada resistencia.
- vi. Medir la diferencia de potencial (voltaje) en cada resistencia eléctrica.
- vii. Medir la Resistencia Equivalente de las resistencias en serie.

Luego de medir y dejar escritas las magnitudes en el circuito en serie, construya un nuevo circuito utilizando las mismas resistencias. Esta vez en paralelo, como se muestra en la figura 7.

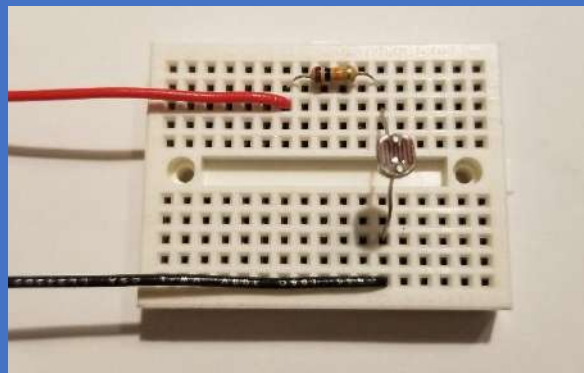


*Figura 7. Circuito eléctrico compuesto de tres resistencias en paralelo.*

- viii. Medir las intensidades de corrientes que circulan por cada resistencia.
- ix. Medir la diferencia de potencial (voltaje) en cada resistencia eléctrica.
- x. Medir la resistencia equivalente de las resistencias en paralelo.

#### Actividad N° 4: Ingeniare

Un dispositivo electrónico muy interesante y útil es la foto-resistencia o *Light Dependent Resistor* (LDR). Es una resistencia dependiente de la intensidad de la luz que incide en ella. En ausencia de luz, adquiere valores de resistencia tan altos como 1 M $\Omega$ ; y en presencia de luz, este valor cae generalmente a valores tan bajos como unos pocos Ohm. Esta variación en la resistencia respecto de la intensidad de la luz puede ser usada para la construcción de un sensor de luminosidad. Se propone la construcción de un circuito en serie con una resistencia y un LDR, haciendo uso del software de simulación TINKERCAD:



**Figura 5:** Circuito Serie con resistencia (10 k $\Omega$ ) y LDR.

Observe que, durante la simulación, al posicionarse sobre la fotorresistencia puede variar la luminosidad del ambiente, como se muestra en la figura siguiente.

Al mida la tensión (diferencia de potencial) máxima y mínima alcanzada en la fotorresistencia LDR, y suponiendo que R es capaz de disipar una potencia máxima de 0,5 W, ¿es aceptable alimentar tal circuito con la fuente de 9 V?, y finalmente ¿Qué utilidad práctica posee el circuito presentado?

#### 4.6 Análisis

1. Grafique los datos de diferencia de potencia e intensidad de corriente obtenidos en el procedimiento experimental. Grafique y estudie la relación funcional existente entre estas variables.
2. Discuta la relación funcional entre las variables.

3. Determine la pendiente con su respectivo error e indique explícitamente a qué magnitud física corresponde.
4. En los circuitos en serie y paralelo, compare los valores medidos con los expresados en las relaciones anteriores.
5. Diseñe una matriz con la situación de las resistencias (serie o paralelo), valores de resistencias, voltajes e intensidad de corriente de cada resistor.

## Guía N° 5: Campo magnético e inducción

---

### Resumen

En este laboratorio virtual se discutirán conceptos relacionados con los campos magnéticos, cuyo origen siempre se encuentra de a par en la misma barra imantada o imán. Esto, a diferencia del campo eléctrico, donde es posible encontrar cargas individuales. En el caso de los imanes, los polos siempre están de a pares.

---

### 5.1 Introducción

Alrededor del año 800 AC, los griegos descubrieron que la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) atrae fragmentos de hierro. En el año 1269, el francés Pierre de Maricourt descubrió que, al acercar un imán esférico a una aguja, esta apuntaba a direcciones que formaban líneas que rodeaban a la esfera y pasaban a través de esta en dos puntos diametralmente opuestos uno del otro, a los que llamó **polos del imán**.

Experimentos subsecuentes demostraron que todo imán, independiente de su forma, tiene dos polos, **norte (N) y sur (S)**, los cuales ejercen fuerzas sobre otros polos. Los polos iguales se repelen y los opuestos se atraen. No hay evidencia experimental que haya sido posible aislar un polo magnético, es decir, los polos magnéticos siempre se encuentran en pares. Las líneas de campo magnético, en el exterior de un imán, apuntan hacia afuera del polo norte y entran en el polo sur.

Los polos son llamados así por la forma en que un imán, como el de una brújula, se comporta en presencia del campo magnético de la tierra. Si un imán, en forma de barra, es suspendido de su punto medio de manera que oscile con libertad en un plano horizontal, este girará de forma que su polo norte apunte al polo norte geográfico de la Tierra (correspondiente al polo sur magnético).

En 1831, los experimentos de Michael Faraday y Joseph Henry mostraron que también es posible inducir una **fem** en un circuito, utilizando un campo magnético variable. Los resultados de estos experimentos sirvieron para enunciar una ley básica del electromagnetismo, que se conoce como "**Ley de Inducción de Faraday**". Una **fem** (y por lo tanto, también una corriente) puede ser inducida por varios procesos que involucran un cambio en el flujo magnético. En general, la **fem** inducida en un circuito es directamente proporcional a la rapidez del cambio del flujo del circuito.



Este enunciado, conocido como ley de inducción de Faraday, puede ser escrita de la forma:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

con:

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad (2)$$

Donde  $\Phi_B$  es el flujo magnético,  $\vec{B}$  corresponde al campo magnético y  $\vec{A}$  es el vector de superficie que atraviesa el campo magnético. Si el circuito es una bobina de N espiras, todas ellas de la misma superficie, habrá una *fem* inducida en todas las espiras, las cuales están en serie y, por lo tanto, se suman quedando la expresión:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3)$$

El signo negativo que aparece en las ecuaciones (1) y (3) tiene una interpretación física conocida como **Ley de Lenz**. Esta dice que la corriente inducida en una espira está en la dirección que creará un campo magnético opuesto al cambio en el flujo magnético en el área encerrada por la espira; es decir, la corriente inducida tiende a impedir que cambie el flujo magnético original. Esta ley es una consecuencia de la ley de conservación de energía.

## 5.2 Objetivos

1. Determinar la relación funcional entre campo magnético y posición.
2. Identificar fenómenos relacionados con inducción magnética.

## 5.3 Instrumentos y materiales

- Computador con software de análisis de tablas de datos; se recomienda Excel.
- Software de simulación PhET: “Generador” (<https://bit.ly/3fX8Ry3>).
- Imán (virtual).
- Brújula (virtual).
- Sensor de campo magnético (virtual).
- Regla, huincha de medir.

## 5.4 Procedimiento Experimental

### Actividad N° 1

Descargue la simulación PhET “Generador” versión 2.07 en su computador desde el link <https://bit.ly/3fX8Ry3>.

Active la simulación en su computador (es una aplicación java).

Seleccione el ítem “Barra Imantada”, como muestra la Figura 1.

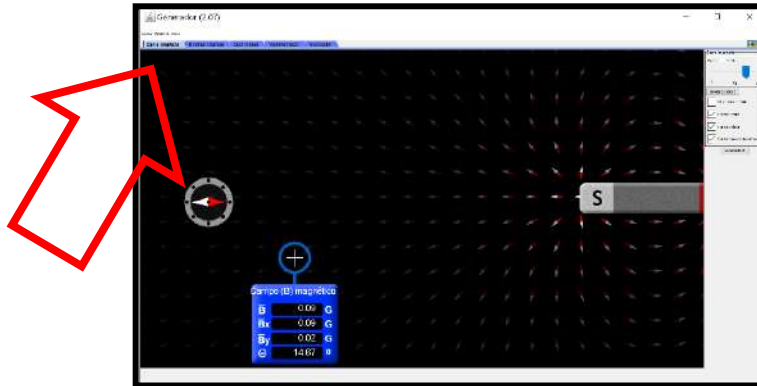


Figura 1. Simulación PhET: “Generador”. Tomada de Simulaciones PhET Colorado.

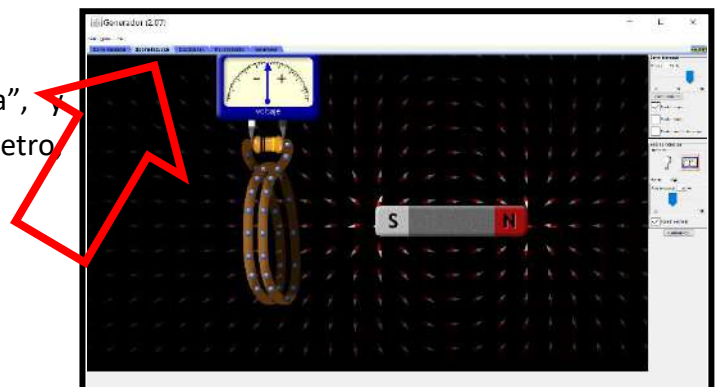
Seleccione “Mostrar Campo”, “Mostrar Brújula”, “Mostrar medidor de Campo”. Agrande al máximo la ventana de la simulación.

Realice 10 mediciones de valor de campo magnético en Gauss (G) en el eje que contempla la brújula y el imán. **Mida con la regla sobre su pantalla de computador**, para tener 10 valores de posición (cm) vs. campo magnético (G). Se debe destacar que la regla solo será usada como referencia de posición (esto lo puede discutir con su profesor de Laboratorio).

Realice un gráfico (lo deberá incluir en su informe) de **campo magnético vs. posición**. A partir de ese gráfico, determine la relación funcional entre ambas variables.

### Actividad N° 2

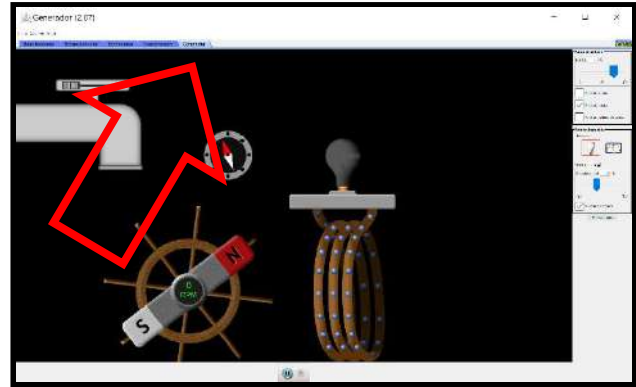
1. Seleccione el ítem “Bobina Inducida”, y reemplace la ampolla por un voltímetro como muestra la figura.



2. Mueva la barra imantada al interior de la bobina. ¿Qué observa?
3. Invierta el polo de la barra imantada y observe nuevamente.
4. Mueva la barra a diferentes velocidades.

### Actividad N° 3

1. Seleccione el ítem “Generador”, como muestra la figura.



2. Abra la llave de la simulación con diferentes flujos de agua.
3. Manteniendo la llave a un flujo constante de agua, cambie la cantidad de espiras en la bobina.

### Actividad N° 4, *Ingeniare:*

Investigue en qué consiste el sistema de transporte público de Shanghai Maglev, qué ciudades recorre, en qué lugares del mundo es posible encontrarlo. Realice una tabla de datos que indique ciudades que recorre, tiempos entre ciudades y velocidades tanto medias como máximas alcanzadas.



### Análisis

- 1.- Determine la relación funcional entre el campo magnético y la posición.
- 2.- Analice el comportamiento de la  $fem$  inducida (o bien corriente inducida) de acuerdo con la velocidad a la cual se introdujo la barra imantada en la bobina.
- 3.- Analice el comportamiento de la  $fem$  inducida (o bien corriente inducida) según el polo introducido.
- 4.- Explique la relación de la inducción eléctrica con la cantidad de espiras en una bobina, sobre la base de su observación con el flujo de agua de la llave.
- 5.- Explique físicamente cada fenómeno anterior.

**LABORATORIO IV**  
Elementos de ondas,  
óptica y temperatura

# Guía N° 1: Oscilaciones

---

## Resumen

Los estudios en mecánica de una partícula o un cuerpo no solo se reducen al movimiento en una o dos dimensiones de manera lineal. También existen las perturbaciones en el espacio, las que a partir de un pulso pueden dar origen a oscilaciones en un medio. En el estudio de las oscilaciones, el caso más sencillo es el movimiento armónico simple, en el cual, despreciando los efectos de roce, existe una periodicidad espacio temporal. Si estos efectos no se desprecian como ocurre en la mayoría de los fenómenos, entonces se está en presencia de oscilaciones amortiguadas. Este laboratorio es una invitación a investigar y medir ambos fenómenos con los sensores de su celular.

---

## 1.1 Introducción

En la naturaleza, un gran número de fenómenos está asociado al movimiento oscilatorio: el movimiento ondulatorio de propagación en el agua o el deslizamiento de dos placas tectónicas provoca ondas que se propagan, reconociendo estas como un temblor, por ejemplo. Lo anterior, sin mencionar la importancia que posee el estudio del desplazamiento de las ondas, en el mundo de las comunicaciones

Hacia los inicios del siglo XVII, un Galileo incomprendido socialmente, debido al paradigma dogmático reinante, había observado las oscilaciones de un campanario: notado algunas características sobre el movimiento oscilatorio de un péndulo, lo que utilizó para medir el tiempo mientras tomaba el pulso en sus estudios de medicina. Para una masa colgante de una cuerda rígida, se obtiene que, para pequeñas oscilaciones, la frecuencia es independiente de la masa del cuerpo. Y se puede determinar el período de oscilación de un péndulo  $T$  como:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}} \quad (1)$$

siendo  $\ell$  el largo de la cuerda y  $g$  la aceleración de gravedad.

En las oscilaciones en general, ante un caso particular donde el roce sea despreciable, como es el caso de un resorte sobre una superficie horizontal, se puede considerar un movimiento armónico simple (MAS), el cual conserva la periodicidad espacial y temporal. En este caso, es posible describir este tipo de movimiento por la ecuación diferencial

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx$$

donde una de las soluciones a esta ecuación diferencial se puede escribir como:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$$

Con esta solución de la ecuación diferencial surge un problema cuando nos encontramos con que el roce no es despreciable y se presentan las condiciones de fricción del fluido. En este caso, se agrega un término a la ecuación anterior. Entonces la ecuación con el término de amortiguamiento se puede escribir como:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -b \frac{dx}{dt} - kx$$

Y la solución de esta ecuación:

$$x(t) = A e^{-\left(\frac{b}{2m}\right)t} \cos(\omega t + \phi)$$

donde la frecuencia angular contiene a la frecuencia natural  $\omega_0$  de oscilación:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2} = \sqrt{\omega_0^2 - \left(\frac{b}{2m}\right)^2}$$

De esta manera, se obtiene una solución que está condicionada por los valores que tenga el coeficiente de amortiguamiento del fluido  $b$ , en relación con las cercanías del valor de la frecuencia natural de oscilación.

## 1.2 Objetivos específicos

1. Determinar experimentalmente la aceleración de gravedad, a partir del estudio de las oscilaciones de un péndulo.
2. Determinar experimentalmente la función de onda amortiguada de un péndulo.

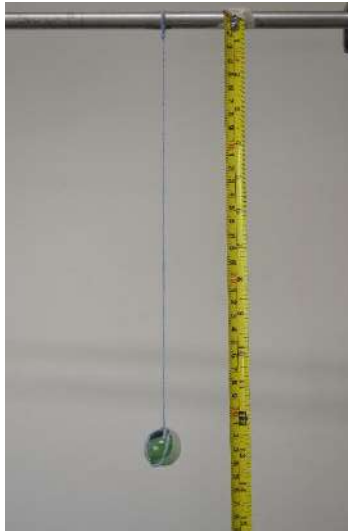
## 1.3 Instrumentos y materiales

- Cuerda.
- Cronómetro (puede usar el de su celular).
- Bolita de vidrio, metal o trozo de goma de borrar.
- Cinta métrica.
- Smartphone: App Physics Toolbox Suite.
- Bolsa que contendrá el celular al oscilar.

## 1.4 Procedimiento experimental

### Actividad N° 1

1. Construya un péndulo con la bolita de vidrio (o trozo de goma) y el cordel, atando un extremo de la cuerda a la bolita de vidrio como se muestra en la figura 1.



*Figura 1. Esquema experimental de masa colgante oscilando.*



2. Con la cinta de medir, mida el largo **L** del péndulo.
3. Luego de hacer oscilar el péndulo, mida el tiempo que tarda en realizar **10 oscilaciones**. Para determinar el período, este tiempo deberá ser dividido entre 10.
4. Repita la experiencia para **10 longitudes** diferentes.
5. Registre en una tabla las medidas obtenidas de Longitud vs. Período de oscilación.

### Actividad N° 2

1. Ponga su smartphone al interior de una bolsa.
2. Amarre una cuerda en la parte central superior de la bolsa, de tal manera que pueda oscilar libremente con el celular al interior.
3. Deje colgando la bolsa con la cuerda de longitud **L**, hasta alcanzar el equilibrio
4. En el celular al interior de la bolsa, active la aplicación *Physics Toolbox Suite* con el botón rojo que tiene el símbolo más (+).

5. Lleve la bolsa con el celular a un ángulo de  $45^\circ$  y deje oscilar 10 segundos.
6. Detenga las muestras y envíe los datos a su correo electrónico para analizarlas posteriormente.
7. Repita tres veces el procedimiento para la misma altura. De estas tres curvas obtenidas, seleccione la que muestre mejor sus datos en un gráfico.

### Actividad N° 3, *Ingeniare*:

En el texto *Péndulo Antisísmico* de la CChC. (s.f). Titulado Aprende Resiliencia es posible leer:

*“En el nuevo edificio de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), inaugurado a mediados del año 2018, yace colgada una bola de acero de 3,5 m de diámetro que cumple la función de péndulo para otorgar contrapeso en caso de movimiento por sismo al imponente edificio de 82,5 metros de altura, 24 pisos y nueve subterráneos, que se encuentra en las esquinas de las avenidas Apoquindo y Las Condes. Esta impresionante bola roja de 150 toneladas se encuentra dentro del espacio de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) en el piso 22 del edificio de la CChC, sostenida por 12 cadenas y dos amortiguadores viscosos formando parte de un sistema antisísmico basado en amortiguadores de masa sintonizada denominado por ello Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS). Debido a su enorme masa, el objeto de acero tuvo que ser armado en el mismo piso 22, teniendo que subir poco a poco las 335 láminas que lo componen...”*

[\(https://aprenderesiliencia.cl/pendulo-antisismico-en-la-cchc/\)](https://aprenderesiliencia.cl/pendulo-antisismico-en-la-cchc/)

Investiga dos métodos antisísmicos utilizados en la actualidad, con sus fortalezas, debilidades y proyecciones, tanto económicas como tecnológicas, para su implementación en Chile.

## Análisis

### Actividad N° 1

1. Realice un gráfico Longitud L vs. período T.



2. Rectifique el gráfico anterior.
3. Determine la relación funcional, utilizando las herramientas del software Excel, e interprete el valor de la pendiente con su respectivo error.
4. A partir del valor de la pendiente obtenida y la expresión (1), determine el valor de la aceleración de gravedad con su respectivo error (no olvide utilizar la propagación del error).

## Actividad N° 2

1. Realice los filtros necesarios a sus datos, y por medio de Excel determine:
  - a) Período
  - b) Frecuencia angular
  - c) Constante de amortiguamiento  $b$
  - d) Función de onda del movimiento amortiguado del péndulo
  
- 2.- Discuta el tipo de movimiento amortiguado.

## Guía N° 2: Ondas electromagnéticas (“velocidad de la luz”)

### Resumen

En esta actividad, usted podrá medir experimentalmente la velocidad de la luz, haciendo uso de un horno de microondas. Realizando la aproximación que este instrumento genera una onda estacionaria en el interior del horno, cuya frecuencia coincide con la **frecuencia de resonancia** de la molécula de agua.

### 2.1 Introducción

Las microondas pertenecen a una parte del espectro electromagnético, cuyas longitudes de onda van desde 10 mm a 1 m (ver Figura 1). En 1945, el ingeniero estadounidense Percy Spencer estaba trabajando en la construcción de magnetrones (elementos capaces de generar ondas electromagnéticas). Fue ahí que percibió que una barra de chocolate que estaba en su bolsillo se había derretido. Luego, se dio cuenta que las microondas eran capaces de calentar los alimentos y vislumbró las posibilidades de ese generador en la cocina. Así surgió, en el inicio de los años 50, el primer horno de microondas.

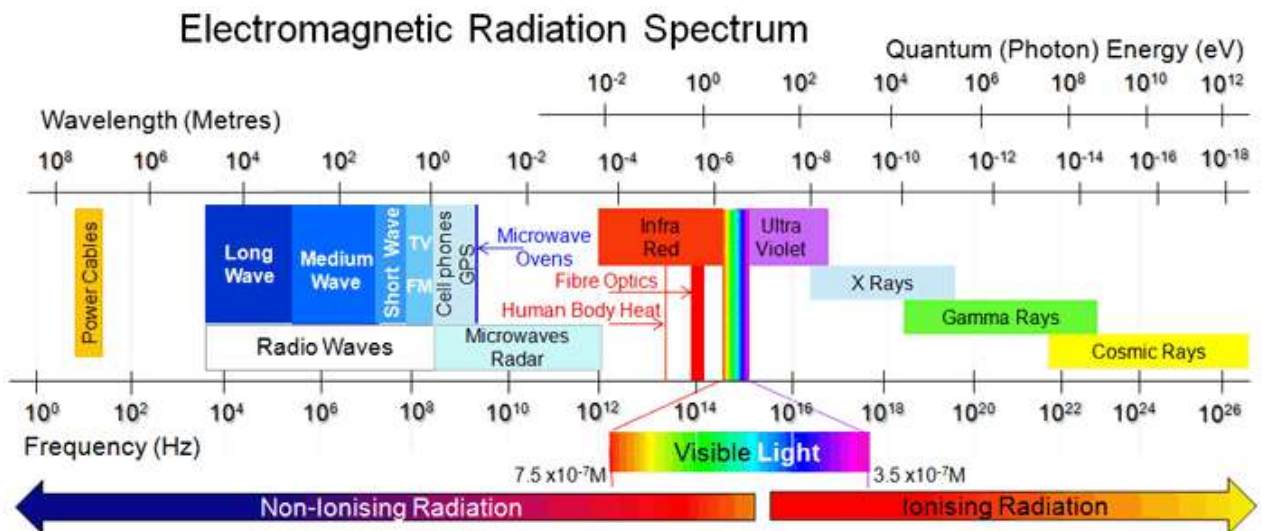
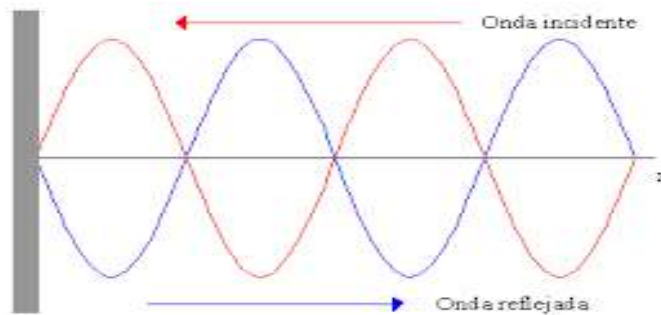


Figura 1. Espectro electromagnético. (Figura obtenida desde <https://www.mpoweruk.com/radio.htm>)

El horno de microondas funciona con frecuencia de alrededor de  $2,45 \text{ GHz}$  ( $2,45 \cdot 10^9 \text{ Hz}$ ), frecuencia de resonancia que poseen las moléculas de agua. Así, la radiación estimula las moléculas asimétricas, como por ejemplo las del agua. Por tanto, cuando el horno es utilizado, esas ondas son reflejadas en las paredes metálicas del horno, generándose una onda estacionaria (ver Figura 2).



**Figura 2.** Representación de una onda estacionaria, los puntos nodales y los anti nodales.

La onda estacionaria generada al interior del horno de microondas incide sobre el alimento, causando el aumento de la energía interna de estas moléculas y, consecuentemente, el aumento de temperatura del alimento. Sin embargo, la onda estacionaria presenta nodos y antinodos. En los puntos nodales, la oscilación es nula, por lo tanto, en esos puntos no existirá una elevación de la energía interna del alimento; en los puntos anti-nodales, ese aumento de energía será máximo y, por tanto, su temperatura. Luego, los alimentos no elevarán su temperatura de manera homogénea. A partir de la ingeniería del mecanismo del horno de microondas, este problema es resuelto con una base giratoria, que provoca que el aumento de energía interna sea “más homogéneo” que si tuviese un plato estático.

## 2.2 Objetivo

- Determinar experimentalmente la velocidad de la luz, con el uso de un horno microondas.

## 2.3 Instrumentos y materiales

- Un horno microondas.
- Un plato de vidrio.
- Tres láminas de queso.
- Regla.

## 2.4 Procedimiento experimental

### Actividad N° 1

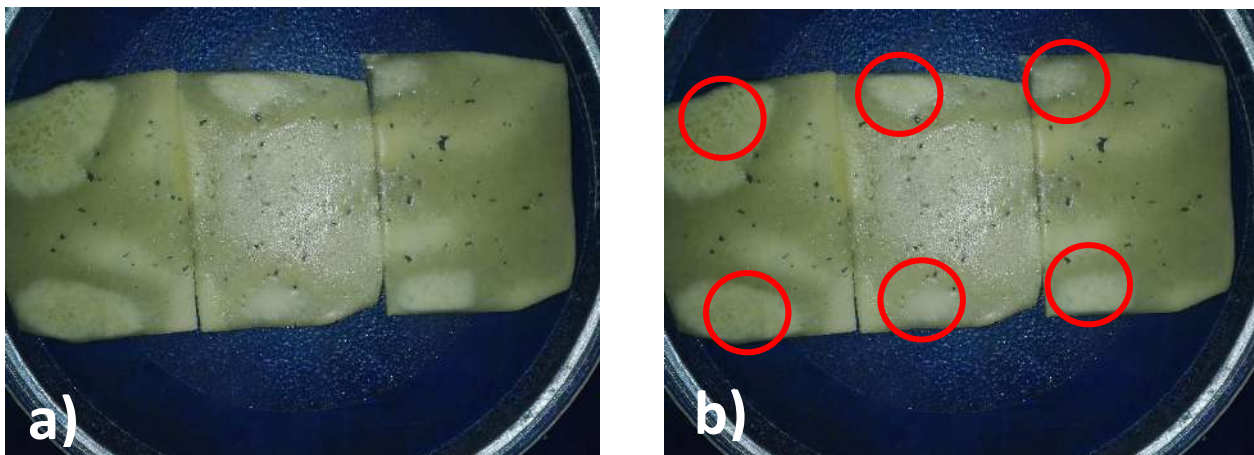
Para la realización de esta actividad puede utilizar el horno de microondas de algún integrante del equipo. En caso de no disponer de un horno de microondas, puede usar los datos que obtendrá al observar el video realizado por su profesor o profesora al realizar esta experiencia.

- 1.- Retirar del horno microondas la base giratoria, de modo que el plato de vidrio que se introduzca en el interior del horno no pueda girar.
- 2.- En el plato de vidrio, ordenar las láminas de queso, tal como muestra la Figura 3.



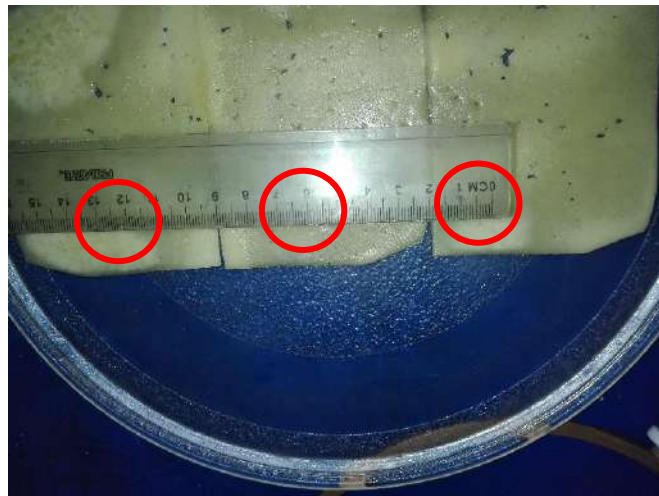
*Figura 3. Disposición de las láminas de queso en un plato de vidrio.*

- 3.- Luego de introducir el plato con las láminas de queso, someter el queso a la acción de la radiación de las microondas, entre 10 a 20 segundos. Este tiempo dependerá de varios factores, entre ellos el tipo de horno y la potencia aplicada. La experiencia consiste en que se logre que ciertas regiones de queso estén fundidas, como se muestra en la Figura 4. Apenas se visualice esto, proceda a apagar el horno.



*Figura 4. a) Regiones de las láminas de queso fundido. b) Estas regiones se han destacado en rojo para mayor claridad.*

- 4.- Utilizando una regla, mida la distancia entre los centros de tres regiones fundidas consecutivas. Esta distancia corresponderá a la longitud de onda  $\lambda$  de la radiación. Puede medir esta distancia basándose en la experiencia realizada por los profesores, que se muestra en la figura 5.



*Figura 5. Láminas de queso fundido en horno microondas, con regla sobre los máximos de radiación.  
(Fotografía: Prof. J. Carrasco)*

## 2.6 Análisis

1. A partir de la ecuación para determinar la rapidez de propagación de una onda:

$$v = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$$

Y sabiendo que la frecuencia de la radiación al interior del microondas es aproximadamente 2,45 GHz, es posible calcular experimentalmente la velocidad de la radiación, que es equivalente a determinar la velocidad de la luz en el aire.

2. Determine el valor del error obtenido, respecto del valor aceptado para la velocidad de la luz “c” en el vacío, que es aproximadamente el mismo valor para la velocidad de la luz en el aire:  $c = 299.792,5 \pm 3,0 \text{ km/s}$  (¿el error está escrito correctamente?).

### Actividad N° 2, *Ingeniare*:

En YouTube hay un sinnúmero de videos de muchas vistas, uno de estos videos viral es el [“ave que vuela sin mover las alas”](#). A partir de sus conocimientos de ondas y óptica, investigue y explique el fenómeno, y determine la frecuencia de aleteo del ave. Explique cada aproximación o consideración realizada. También puede realizar un esquema.



## Guía N° 3: El sonido y sus señales

---

### Resumen

Esta actividad corresponde a la obtención de características de la señal por medio de análisis espectral, la cual es una de las principales técnicas de análisis de señales. Actualmente, esta es una herramienta muy importante en el tratamiento de imágenes, sonidos y, en general, de la información. En este laboratorio se descompondrá una señal de sonido haciendo uso del análisis espectral y después se reconstruirá a partir de la información obtenida.

---

### 3.1 Introducción

Una onda consiste básicamente en la propagación de una perturbación en el espacio; implica un transporte de energía, pero sin transporte de materia.

La magnitud física que se desplaza como onda, cuya perturbación se propaga en el medio, se expresa como una función tanto de la posición como del tiempo. Matemáticamente, se puede expresar en su forma general como la función de onda:

$$\varphi(\vec{r}, t) = \varphi(\vec{k}\vec{r} - \omega t)$$

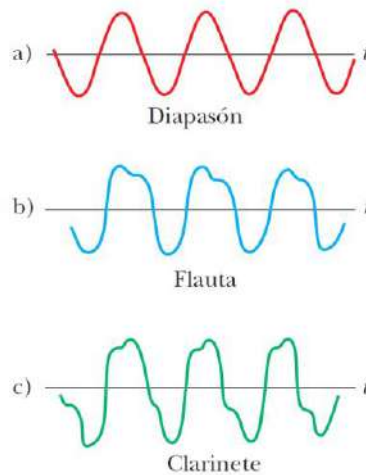
Donde  $r$  representa la posición y  $t$  el tiempo. Si consideramos que la onda se desplaza solo en una dirección, es posible escribirla como:

$$\varphi(x, t) = \varphi(kx - \omega t)$$

En el caso del sonido, se debe hacer notar que, desde una fuente puntual, el sonido se propaga radialmente en superficies concéntricas, las cuales forman esferas concéntricas conocidas como frentes de onda. La intensidad del sonido a una distancia  $r$  desde la fuente se puede escribir como:

$$I = \frac{P_{prom}}{4\pi r^2} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

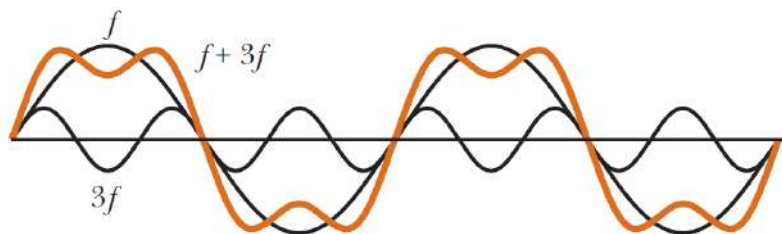
La forma de las ondas de distintos instrumentos se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1.** Perfil de onda para diferentes fuentes emisoras: Diapasón, Flauta y Clarinete.  
 Imagen tomada de Física para Ciencias e Ingeniería, Vol. I. Serway R., 7ª ed. p520.

Una onda de sonido o una nota musical, particularmente hablando, tiene una estructura diferente en cada instrumento. Una onda de sonido se distingue, según su intensidad, a su tono y a su timbre.

El **Teorema de Fourier** muestra que toda onda compuesta periódica puede descomponerse en un número, en general, limitado de ondas sinusoidales simples, llamadas **armónicos**. La frecuencia de cada una de estas ondas es múltiplo de la frecuencia fundamental. Estos armónicos son tales que su combinación, es decir, su suma algebraica conforme al principio de superposición **da lugar de nuevo a la onda original**, ver Figura 2.



**Figura 2.** Composición de una onda a partir de ondas sinusoidales, sumando ondas de frecuencias  $f$  y  $3f$ .  
 Imagen tomada de Física para Ciencias e Ingeniería, Vol. I. Serway R., 7ª ed. p521.

El umbral de audición estándar se puede expresar en términos de presión. La intensidad de sonido en “decibeles” se puede expresar en términos de la **presión acústica**:

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$I(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left[ \frac{I}{I_0} \right] = 10 \log_{10} \left[ \frac{P^2}{P_0^2} \right] = 20 \log_{10} \left[ \frac{P}{P_0} \right]$$

La presión P debe entenderse como la amplitud de la onda de presión.

### 3.3 Objetivos específicos

- Descomponer y reconstruir un sonido a partir del análisis espectral.






### 3.4 Instrumentos y materiales

- Software libre de código abierto [Audacity®](#), disponible para Windows, Mac y Linux.
- Flauta dulce o botella de vidrio.

### 3.5 Procedimiento experimental

#### Actividad N° 1: Descomposición y Reconstrucción de un Sonido

Para esta actividad, puede generar una grabación propia o utilizar la grabación de sonido que ponemos a disposición en el siguiente vínculo: [enlace archivo.aup3](#).

1. Previo a las actividades, debe descargar el [software Audacity®](#).
2. Una vez abierto el programa Audacity, grabe el sonido de una nota de flauta dulce o el sonido que se genera cuando se sopla en una botella. Para ello, debe presionar el ícono de *grabación* (  ) y hacerlo con una duración un poco superior a 3 s. Para detener la grabación, presione *stop* (  ) en la barra de menú; en este punto debería verse la señal capturada. Puede presionar *play* (  ) para oírla. Además, puede hacer zoom para ver la señal obtenida.
3. Con la Herramienta de Selección (  ), escoja aproximadamente 3 s de la grabación. Esto se logra haciendo *click* en el inicio de su selección y luego arrastrando hasta el final de la selección deseada. Presione (Ctrl+T) (  ) y se recortará la señal que quedó fuera de dicha selección.
4. En el menú de herramientas, seleccione Analiza -> Análisis de espectro, se verá la ventana siguiente:



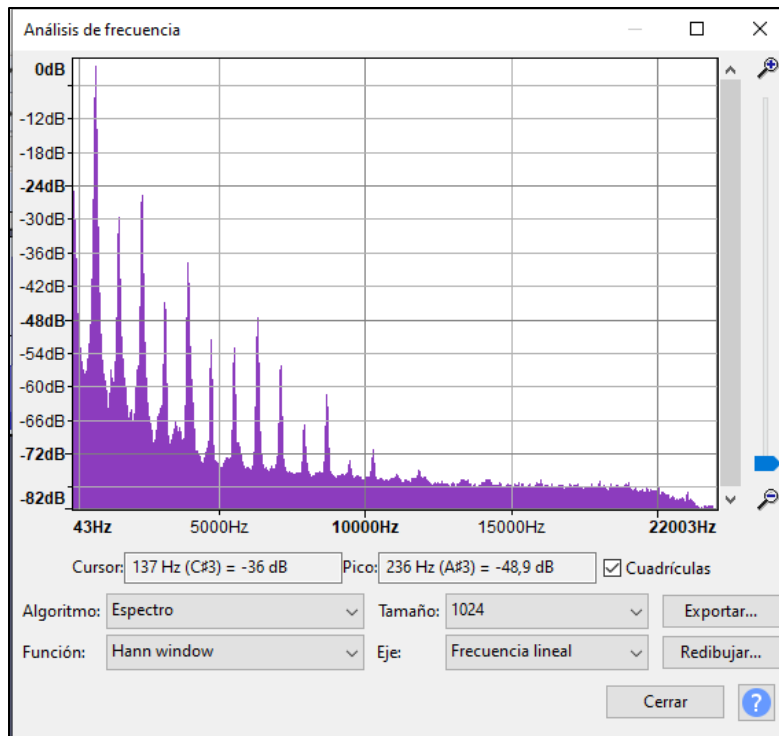


Figura 3. Ventana análisis espectral.

5. Con ayuda del cursor, ubicándolo en el pico más alto del espectro, determine la frecuencia a la que ocurre y su amplitud. Sin olvidar de registrar sus datos, repita este procedimiento para los 3 o 4 picos más prominentes; la altura de cada pico viene expresada en decibeles ( $dB$ ). A partir de la expresión (5), determine el cociente ( $V/V_0$ ), en donde  $V_0 = 1$ . El valor obtenido para  $V$  representará la amplitud de la onda sinusoidal para dicha frecuencia. Luego, genere una tabla de Frecuencia vs. Amplitud. Para guardar este proyecto, vaya a “Archivo” y “Guardar Como”.
6. En “Audacity” abra un nuevo proyecto: “Archivo->Nuevo”
7.
  - En la barra de menú, marque “Generar” y seleccione “Tono”. Se abrirá el cuadro de diálogo “Generador de Tonos”.
  - En “Forma de Onda” seleccione “Sinusoide”.
  - En “Frecuencia/Hz”, introduzca el valor de frecuencia obtenido para el primer valor de su tabla, en Hz.
  - En Amplitud (0 - 1), introduzca el valor obtenido para la primera amplitud de su tabla; este valor debe estar entre 0 y 1.
  - En Duración (segundos), introduzca 5 s, recuerde seleccionar la unidad de medida segundos. Aparecerá la señal definida, como muestra la Figura 4. Haciendo zoom la podrá ver en detalle.

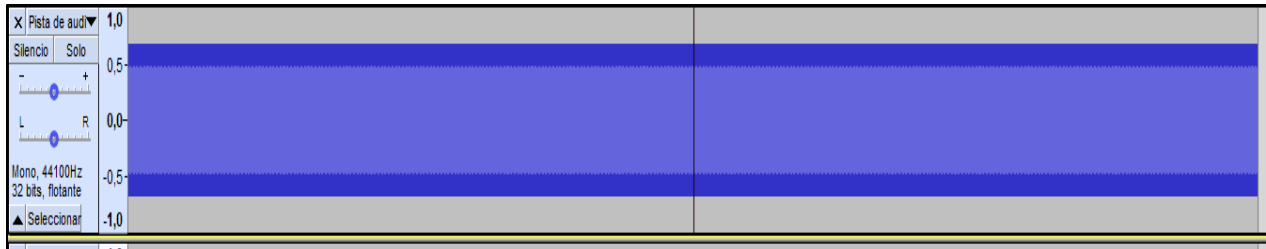



Figura 4. Señal obtenida de un tono.

8. En la barra de Menú, seleccione “Pistas>Agregar Nueva >Pista Mono”.
9.
  - En la barra de menú, marque “Generar” y seleccione “Tono”. Se abrirá el cuadro de diálogo “Generador de Tonos”.
  - En “Forma de Onda” seleccione “Sinusoide”.
  - En “Frecuencia/Hz”, introduzca el valor obtenido para el segundo pico en Hz.
  - En “Amplitud (0 - 1)”, introduzca el valor obtenido para el segundo pico.
  - En “Duración (segundos)”, introduzca 5 s, recuerde seleccionar la unidad de medida segundos.
10. Repita los pasos 2 y 3 para el resto de su tabla.
11. Al pulsar “Play” (  ), oirá la reconstrucción del sonido original de la flauta (o uno parecido a este).
12. Para guardar este proyecto, vaya a “Archivo” y “Guardar Como”.

### Actividad N° 2, *Ingeniare*:

Una de las obras emblemáticas del compositor ruso **Piotr Ilich Tchaikovsky** (1840–1893) es la Ouverture 1812, una composición sobre un encuentro entre rusos y franceses que ha sido utilizada en comerciales, series y en películas como **V for Vendetta** (2006). Su tarea consiste en oír la “mezcla de sonidos” que da origen a esta composición e indicar uno de los instrumentos que le llame la atención a lo largo de la obra, y por qué encuentra usted que resalta entre todos los demás. Por otra parte, realice un esquema sobre cómo se ubican los instrumentos en una filarmónica como la que realiza esta presentación. <https://acortar.link/ivxw5j>



### 3.5 Análisis

Confeccione su informe de laboratorio, incluyendo evidencia gráfica de las señales obtenidas.



Código QR Actividad Experimental: Descomposición y reconstrucción de una señal de sonido. Prof. Jaime Carrasco.

## Guía N° 4: Lentes delgadas

### Resumen

La óptica geométrica estudia la reflexión y refracción de la luz en configuraciones geométricas diversas. Existen diversos dispositivos ópticos, entre ellos se encuentran los espejos planos y curvos, así como lentes de distinto tipo. En este laboratorio se experimentará, por medio de una simulación, la formación de imágenes producto de lentes delgadas convergente y divergente.

### 4.1 Introducción

Una lente consiste básicamente de un material transparente, pulido y curvo que, por medio de refracción de la luz a través del material, puede permitir observar objetos lejanos. Comúnmente son utilizados en anteojos, lupas, cámaras fotográficas, telescopios y microscopios.

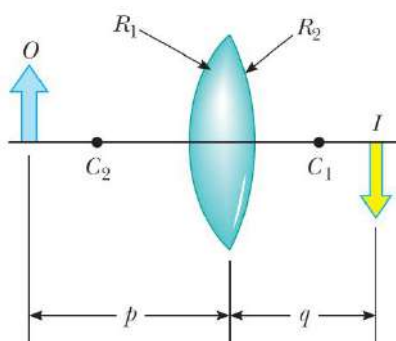


Figura 1. Lente biconvexa (convergente).

Imagen tomada de Física para Ciencias e Ingeniería, Vol. II. Serway R., 7ª ed. p1022.

A partir de la óptica geométrica se determina que la **ecuación de las lentes delgadas** está dada por:

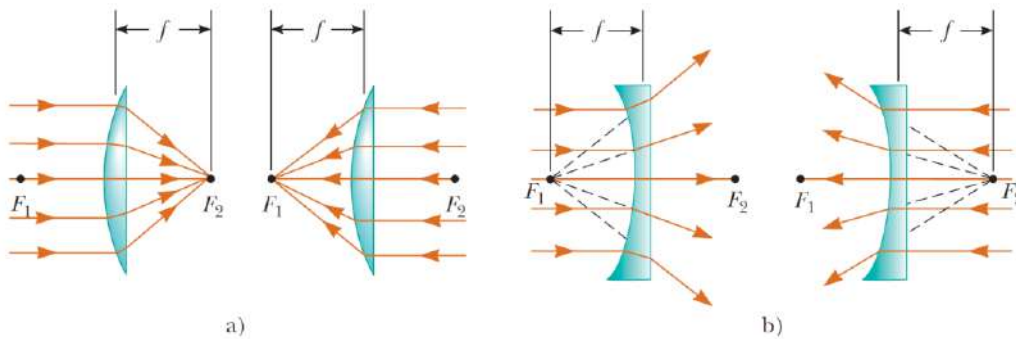
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

Donde  $p$  es la distancia entre el objeto y la lente,  $q$  es la distancia entre la lente y la imagen, y  $f$  es la distancia focal de la lente, la que depende, en la aproximación a lentes delgadas, exclusivamente del índice de refracción de la lente y el medio circundante, y sus radios de curvatura  $R_1$  y  $R_2$ . Tal dependencia, si el medio circundante es aire ( $n_{\text{aire}} \approx 1,0$ ) queda dada por la conocida ecuación del fabricante de lentes:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left\{ \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right\}$$

En la expresión anterior, dado que el centro de curvatura de la primera superficie está detrás de la lente respecto del rayo incidente, entonces  $R_1$  debe considerarse **positivo**, por el contrario, el centro de curvatura de la segunda superficie está delante de la lente, respecto del rayo incidente, luego  $R_2$  debe considerarse **negativo** (en concordancia con el convenio de signos adoptado en “Física para Ciencias e Ingeniería con Física Moderna”, Vol. 2, Serway R., 7ª ed.).

Dado que la luz puede pasar en ambas direcciones a través de una lente, cada lente tiene dos puntos focales: uno para los rayos que pasan en una dirección y el otro para rayos luminosos que pasan en la otra dirección. Esto queda ilustrado en la figura 2 a).



**Figura 2.** a) Lentes convergentes. b) Lentes divergentes. Los focos  $F_1$  y  $F_2$  están a la misma distancia de cada lente. Imagen tomada de Física para Ciencias e Ingeniería, Vol. II. Serway R., 7ª ed. p1023.

Cuando se tienen dos superficies convexas, dan origen a una lente convergente, por otra parte, cuando se tienen dos superficies cóncavas, éstas dan como resultado una lente divergente.

### Aumento de las imágenes:

Al considerar una lente delgada a través de la cual atraviesan los rayos luminosos provenientes de un objeto, es posible, por medio de analizar la construcción geométrica para demostrar que el aumento vertical (magnificación) de la imagen es igual a:

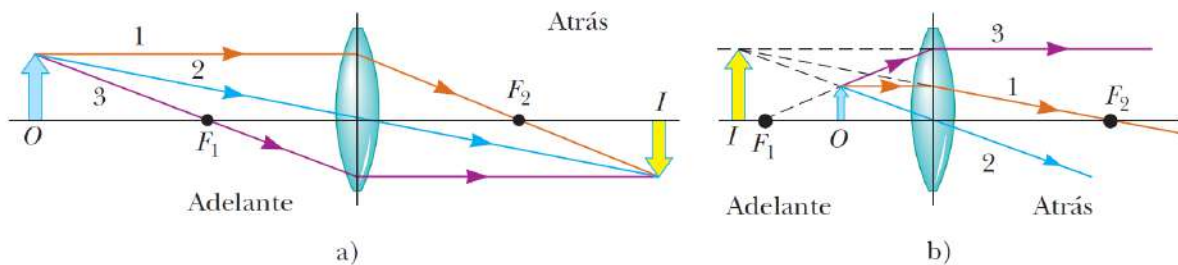
$$M = -\frac{q}{p}$$

Partiendo de esta expresión, se deduce que cuando  $M$  es positiva, la imagen está cabeza arriba y del mismo lado de la lente que el objeto. Cuando  $M$  es negativa, la imagen aparece invertida y del lado de la lente opuesta al objeto.

### Diagramas de rayos para lentes delgadas:

Los diagramas de rayos resultan convenientes para localizar las imágenes formadas por lentes de sistema de lentes delgadas. Para localizar la imagen generada por una lente convergente, se trazan los tres rayos siguientes a partir de la parte superior del objeto:

1. El rayo 1, paralelo al eje principal. Una vez refractado por la lente, este rayo pasa a través del punto focal por detrás de la lente.
2. El rayo 2, atrás del centro de la lente y sigue en línea recta.
3. El rayo 3, a través del punto focal del lado anterior de la lente (o como si saliera del punto focal en el caso de que  $p < f$ ) y emerge de esta en forma paralela al eje principal.



**Figura 3.** Formación de imágenes en lente convergente: a) Objeto  $O$  ubicado a la izquierda del foco. b) Objeto  $O$  ubicado entre foco y lente. Imagen tomada de Física para Ciencias e Ingeniería, Vol. II. Serway R., 7ª ed. p1024.

### 4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la distancia focal de una lente convergente.
2. Determinar la distancia focal de una lente divergente.
3. Determinar la magnificación de una imagen en lentes convergente y divergente.

### 4.3 Instrumentos y materiales

- Lentes delgadas virtuales (convergente y divergente) obtenidas desde [PhET Interactive Simulations](#).
- Reglas virtuales.

#### 4.4 Procedimiento experimental

##### Actividad N° 1: Lente convergente

Previo a la realización de esta actividad, debe conectar al siguiente enlace:

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/geometric-optics>.

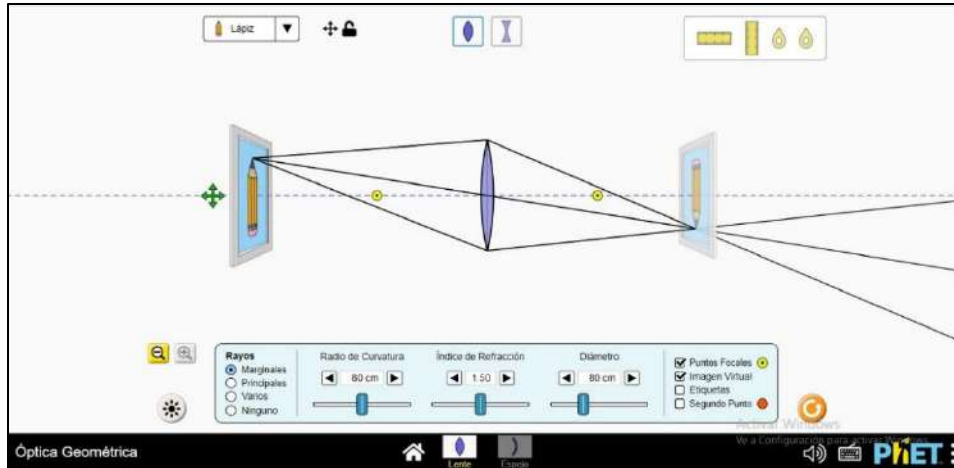





Figura 4. Vista de lente delgada convergente en simulador PhET.

1. Selecciona la opción “Lente”.
2. Selecciona la lente convergente, ícono siguiente: 
3. Fija los parámetros de la lente en índice de refracción 1,5 y radio de curvatura 80 cm, nota que con estos parámetros la distancia focal  $f$  es 80 cm, la que puedes determinar por medio de la ecuación del fabricante de lentes, con la herramienta “Regla Horizontal”,  corrobora tal medida.
4. Ubica el objeto a la izquierda del foco. Para mover el Objeto, presiónalo y arrástralo a la posición deseada. Con la herramienta “Regla Horizontal” mide la distancia del objeto al centro de la lente ( $p$ ), mide la distancia de la lente a la imagen ( $q$ ), mide, además, el tamaño del objeto ( $h$ ) y tamaño de la imagen ( $h'$ ) con la herramienta “Regla Vertical”  Complete la siguiente tabla:

$p$	$q$	Altura objeto ( $h$ )	Altura imagen ( $h'$ )

5. Ahora ubique el objeto en la misma posición del foco. Complete la tabla siguiente:

$p$	$q$	Altura objeto ( $h$ )	Altura imagen ( $h'$ )

6. Finalmente, ubique el objeto entre el foco y la lente. Complete la tabla siguiente:

p	q	Altura objeto (h)	Altura imagen (h')

**Actividad N°2: Lente divergente**

6. Seleccione la opción “Lente Divergente”.
7. Fija una distancia focal para la lente, recuerde que esto lo logrará cambiando el radio de curvatura, que es negativo, o bien el índice de refracción, por medio de la fórmula del fabricante de lentes, calcule esta distancia focal con  $R_1 = R_2$ , y corrobore este resultado midiéndola directamente con la herramienta “Regla Horizontal”.
8. Ubique el objeto a la izquierda del foco. Para mover el Objeto, presiónalo y arrástralo a la posición deseada. Con la herramienta “Regla Horizontal” mide la distancia del objeto al centro de la lente (p), mide la distancia del lente a la imagen (q), mida el tamaño del objeto (h) y tamaño de la imagen (h'), con la herramienta “Regla Vertical”. Complete la siguiente tabla:

p	q	Altura objeto (h)	Altura imagen (h')

5. Ahora ubique el objeto en la misma posición del foco. Complete la tabla siguiente:

p	q	Altura objeto (h)	Altura imagen (h')

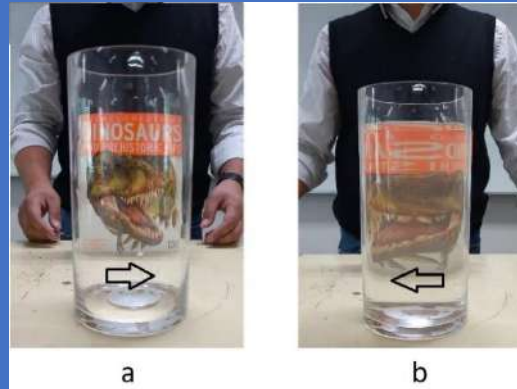
6. Finalmente, ubique el objeto entre el foco y la lente. Complete la tabla siguiente:

p	q	Altura objeto (h)	Altura imagen (h')



### Actividad N° 3, *Ingeniare*:

Las imágenes mostradas a continuación muestran a un dinosaurio a través de un vaso de vidrio, primero vacío (a) y luego colmado de agua (b).



*Figura 5: Vista del cambio de lateralidad del dinosaurio: (a) vaso vacío, (b) vaso lleno de agua.*

Como puedes apreciar, la lateralidad del dinosaurio se ha invertido. Tomando en consideración las leyes de la refracción, la formación de imágenes en lentes y trazando diagramas de rayos apropiados, explica el porqué de este fenómeno.

#### 4.5 Análisis

1. Determine la distancia focal para la lente convergente utilizando la ecuación de las lentes delgadas.
2. Determine la distancia focal para la lente divergente utilizando la ecuación de las lentes delgadas.
3. Determine la magnificación provocada por la lente convergente para un objeto que está a la izquierda del foco. Utilizando la ecuación  $M = -q/p$  y comparando su resultado con  $M = h'/h$ , ¿qué puede concluir al respecto?
4. Determine la magnificación provocada por la lente divergente para un objeto que está a la izquierda del foco. Utilizando la ecuación  $M = -q/p$  y comparando su resultado con  $M = h'/h$ , ¿qué puede concluir al respecto?

## Guía N° 5: Ley de enfriamiento

---

### Resumen

Es conocido el hecho de que si uno no se sienta a la mesa cuando un plato “caliente” es recién servido, a medida que pase el tiempo estará cada vez “más frío” hasta alcanzar el equilibrio térmico con el ambiente. En ambos conceptos, ambiguos pero perceptibles por todos, no vemos más que el fenómeno estudiado por Newton sobre el “enfriamiento” de los cuerpos: básicamente, la disipación que experimentan cuando son ubicados a temperaturas menores. En este laboratorio se estudiará la Ley de enfriamiento de Newton para el caso del agua.

---

### 5.1 Introducción

Como elemento fundamental para la existencia de la vida en el planeta, el agua presenta un comportamiento característico. Por ejemplo, el hecho de que pueda haber vida en el mar cuando se congelan los lagos, se debe a la anomalía del agua, situación que se presenta con una disminución de su volumen cuando aumenta entre  $0^{\circ}\text{C}$  a  $4^{\circ}\text{C}$ . También se puede advertir que al ubicar un recipiente con agua en ebullición a temperatura ambiente (el punto de **ebullición del agua a nivel del mar** es de  $100^{\circ}\text{C}$ ), en un comienzo se produce una rápida caída de temperatura y luego lo hace lentamente por un largo período de tiempo hasta alcanzar la temperatura ambiente.

En la formulación matemática de este planteamiento, podemos inicialmente considerar que la temperatura decae en el tiempo de manera proporcional al producto de la diferencia de temperatura ambiente e inicial del cuerpo, y la constante de proporcionalidad del enfriamiento.

$$\frac{dT}{dt} = -K(T - T_{ma})$$

Siendo  $T$  la temperatura del cuerpo,  $T_{ma}$  la temperatura del medio ambiente, y  $K$  la constante de proporcionalidad de enfriamiento. Entonces, la temperatura del cuerpo en función del tiempo queda expresada como:

$$T(t) = T_{ma} + (T_0 - T_{ma})e^{-Kt}$$

### 5.2 Objetivo

- Determinar experimentalmente la constante de enfriamiento del agua.

### 5.3 Instrumentos y materiales

- Sensor de temperatura DS18B20 (-55°C a +125°C).
- Vaso de plumavit de 120 mL, 177 mL o 355 mL.
- Agua purificada en ebullición.
- Cronómetro (puede usar el de su celular).

### 5.4 Procedimiento experimental

**Para evitar accidentes al replicar el experimento**, esta actividad será trabajada con datos del experimento ya realizado:

1. A continuación, se explica el procedimiento para estudiar la ley de enfriamiento en tres vasos precipitados. Usted debe elegir solo uno de los vasos para obtener sus datos. Los volúmenes de los vasos son:  $V_1 = 120 \text{ mL}$ ,  $V_2 = 177 \text{ mL}$  y  $V_3 = 355 \text{ mL}$ .
2. En primer lugar, se construyó un dispositivo con el sensor de temperatura utilizando la placa Arduino UNO, de tal manera que la pantalla lcd entregara la temperatura del agua ( $T_{water}$ ) y, de manera paralela, midiera la temperatura ambiente ( $T_0$ ). Instrumento que se muestra en la figura 1 (no es necesario construir el equipo).



**Figura 1.** Instrumento de medición con sensor de temperatura ambiental (DHT11) y sensor de temperatura para agua cercana a 100°C (DS18B20) basado en placa Arduino UNO.

3. El extremo del sensor de temperatura fue ubicado al interior del vaso de plumavit. En cuanto el agua alcanzó el punto de ebullición, se vació en el vaso. Cuando se alcanza el valor máximo de temperatura, usted debe registrar este valor como temperatura del agua en  $t = 0 \text{ s}$ .

4. Debe generar un protocolo de medición para registrar los datos de tiempo y temperatura por cada período de tiempo que estime considerable, recordando hacerlo en solo de uno de los tres vasos.
5. **En la clase debe inscribir con su grupo cuál recipiente seleccionará, ya que cada vaso de plumavit ofrece diferentes curvas para analizar.**

[Experimento vaso plumavit de 120 mL](#)



[Experimento vaso plumavit de 177 mL](#)



[Experimento vaso plumavit de 355 mL](#)



### Actividad N° 2, *Ingeniare*:

De la ley cero de la termodinámica, se sabe que el equilibrio térmico se alcanza cuando dos o más cuerpos se encuentran a la misma temperatura.

En no más de 10 líneas, redacte una explicación física basada en termodinámica para el siguiente problema: ¿Qué se enfría más rápido: una taza de café caliente a la cual se le agrega un poco de leche fría para beber un “cortado” o la misma taza con la leche fría a la cual se agrega café caliente?

Para su análisis, en ambos casos el proceso debe realizarse con la misma taza, en el mismo momento, con las mismas cantidades de leche y de café, y con las mismas temperaturas respectivamente.

### 5.5 Análisis

1. Grafique los datos de temperatura  $T$  en función del tiempo  $t$ .
2. Realice un cambio de variables logarítmico que le permita rectificar la curva anterior.
3. Interprete físicamente los valores obtenidos.
4. Determine la constante de enfriamiento del agua.

Responda las siguientes preguntas:

- 4.1 ¿Cuáles son los factores de los cuales depende la constante de enfriamiento?
- 4.2 ¿Qué significa el valor obtenido para  $K$  en términos de transferencia de energía?

[Formato de Informe](#)



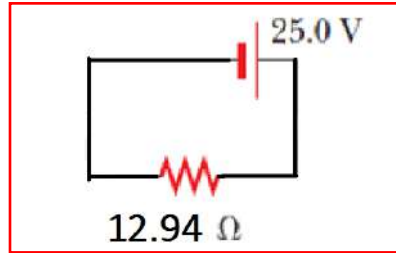






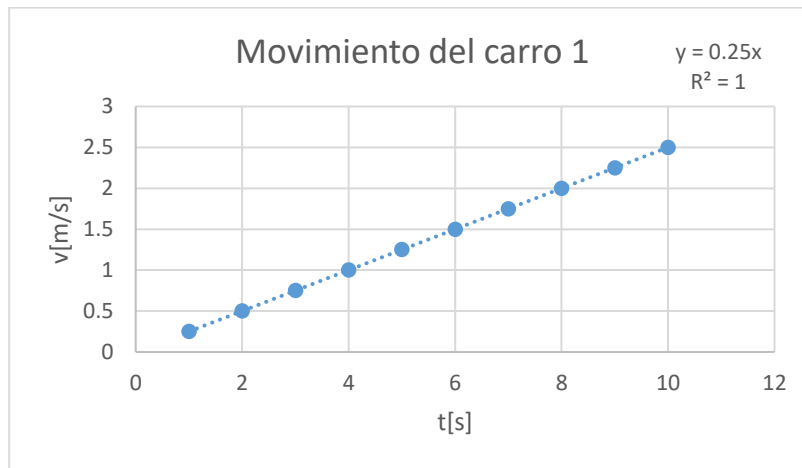
**Gráficos y/o Tablas:** Debe incluir sus gráficos y/o tablas, cada una debe ser comentada que se está observando, y enumerarla indicando de manera concisa que se está muestra en la tabla o figura. No basta con solo poner un gráfico debe explayarse, que se observa desde su mirada científica en ese gráfico. **(25%)**

- Ejemplo 1:



*Figura 1. Esquema del circuito experimental compuesto de una batería y una resistencia.*

- Ejemplo 2:



*Figura 2. Gráfico del movimiento de velocidad del carro 1 en función del tiempo.*

- Ejemplo 3:

	Desplazamiento [m]	Tiempo promedio [s]	Velocidad [m/s]
Carro 1	0,90	4,50	0,20
Carro 2	0,90	8,50	0,11

Tabla 1. Velocidad experimental obtenida para el carro 1 y carro 2.

**Conclusiones:** Conclusiones redactadas de acuerdo con objetivos planteados. Explicación física adecuada a parámetros observados (¿Se cumplieron el o los objetivos del experimento y su hipótesis?) **(20%)**


**Observaciones:** Espacio para sus observaciones, si lo estima necesario, esto no es parte de la calificación, pero puede ser considerado para el análisis de sus resultados.


## RÚBRICA GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE INFORME SINTETIZADO

Alumnos:

CATEGORÍA	EXCELENTE	SATISFACTORIO	NECESITA MEJORAR	PUNTAJE
<b>Introducción</b>	Portada: Título, nombres integrantes y profesor(a), fecha experiencia. Introducción: Síntesis de marco teórico y presentación de trabajo experimental (máx. 1 hoja).  Plantea correctamente los objetivos de la actividad a desarrollar.	Portada: Ausencia de nombre profesor y/o fecha de experiencia. Introducción: débil marco teórico y/o presentación de trabajo experimental (más de 1 hoja).	Portada: Ausencia de título y/o nombre alumnos. Introducción: Falta de síntesis de marco teórico, o falta de presentación de trabajo experimental.	
	<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	
<b>Instrumentos y materiales</b>	Se enuncian todos los instrumentos y materiales utilizados en la experiencia, incluyendo en cada uno: <b>Marca, modelo y tipo.</b>	Se enuncian todos los instrumentos y materiales utilizados en la experiencia, pero no incluye marca, modelo y tipo.	Falta el 50% de los instrumentos y materiales utilizados en la experiencia.	
	<b>15%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	
<b>Desarrollo experimental</b>	Cuerpo del informe de laboratorio. Recuerde escribir en tercera persona, en tiempo pasado, lo que se midió, realizó y observó. En definitiva, qué se hizo con el sistema experimental para lograr los objetivos.  Gráficos y/o tablas e incluye resultados parciales.	Desarrollo de la actividad sin uso de lenguaje científico claro, explica la actividad, pero inadecuados gráficos y/o tablas y no incluye resultados parciales.	Deficiente o poco claro desarrollo de la actividad, no utiliza lenguaje científico claro, y no incluye resultados parciales.	
	<b>45%</b>	<b>30%</b>	<b>10%</b>	
<b>Conclusiones</b>	Conclusiones redactadas de acuerdo a objetivos planteados. Explicación física adecuada a parámetros observados.	Conclusiones con falta de claridad de acuerdo a objetivos planteados. Explicación física poco adecuada a parámetros observados.	Conclusiones sin claridad, no se apega a los objetivos planteados. Ausencia de explicación física adecuada.	
	<b>20%</b>	<b>10%</b>	<b>5%</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>100%</b>			