

# CUADERNO DE LABORATORIO **FISICA II**



Universidad  
Central

Facultad de Ingeniería  
y Arquitectura

## **Autores**

Nelson Sepúlveda N.  
Jaime Carrasco M.

## **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.

## INDICE

---

<b>PRESENTACIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>REGLAMENTO PARA ALUMNOS DEL LABORATORIO DE FÍSICA .....</b>	<b>5</b>
<b>TIEMPOS DEL LABORATORIO .....</b>	<b>6</b>
<b>SISTEMAS DE UNIDADES .....</b>	<b>7</b>
<b>ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO .....</b>	<b>13</b>
GUÍA N° 1: DISTRIBUCIÓN CONTINUA DE CARGAS .....	14
GUÍA N° 2: POTENCIAL Y CAMPO ELÉCTRICO .....	18
GUÍA N° 3: LEY DE OHM Y RESISTENCIAS ELÉCTRICAS .....	22
GUÍA N° 4: LEYES DE KIRCHHOFF .....	31
GUÍA N°5: MAGNETISMO, LEY DE FARADAY Y LENZ .....	34
<b>ONDAS, ÓPTICA Y CALOR .....</b>	<b>38</b>
GUÍA N° 1: OSCILACIONES .....	39
GUÍA N° 2: VELOCIDAD DE LA ONDA EN UNA CUERDA .....	44
GUÍA N° 3: EL SONIDO Y SUS SEÑALES .....	46
GUÍA N° 4: LENTES DELGADAS .....	52
GUÍA N° 5: DILATACIÓN LINEAL .....	57
<b>ANEXO .....</b>	<b>60</b>

## Presentación

---

El texto que tiene en sus manos, corresponde al libro de trabajo para la cátedra experimental de sus cursos de física; Electricidad y Magnetismo, y Ondas, Óptica y Calor de la Universidad Central de Chile. En las primeras páginas dedicamos una presentación de los aspectos formales de sistemas de unidades, temas relacionados con la toma de muestras, y un tópico tan relevante como es teoría de error, y dedicamos algunas páginas a los conceptos de propagación de errores. Este cuaderno se basa en el Libro de “Física Experimental con Enfoque Libre STEM” de los autores.

El objetivo de este cuaderno, se orienta principalmente al desarrollo de competencias básicas de trabajo en laboratorio, dividiéndose las primeras 5 guías de trabajo en aspectos de elementos de distribución de cargas, circuitos de corriente continua y magnetismo. La segunda parte de este texto, está orientada a problemas relacionados con Ondas, óptica geométrica y calor, se trabajan experimentalmente conceptos ondulatorios y de termodinámica. Las actividades se han diseñado de tal manera, que resulte de acceso fácil a los materiales o al desarrollo de la experiencia desde computadoras, tabletas o celular. Se ha optado cuando ha sido necesario por softwares libres de código abierto.

Un sello distintivo de las guías de trabajo, son las actividades Ingениare, actividades basadas en metodologías activas de aprendizaje, como son los problemas ricos en contenidos, invitando 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 Luciano Rocco en su estadía como practicante, a 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, Verónica Ramírez, Ricardo Pintanel y Luis Oliveros.

# Reglamento para alumnos del Laboratorio de Física

---

## 1.- Ética Estudiantil

Comportarse con dignidad y cultura de acuerdo con el nivel académico en el cual se está formando, mantener un trato leal y respetuoso en sus relaciones con todos los integrantes del Laboratorio de Física, esto comprende grupo curso, equipo de trabajo, funcionarios, profesoras y profesores.

## 2.- Asistencia

Se exige 100% asistencia al laboratorio, la inasistencia es causal de reprobación del ramo. Junto a esto y de manera implícita, debe cumplir con la puntualidad en la hora de entrada y salida, no se permitirá la entrada al Laboratorio una vez iniciada la sesión.

## 3.- Responsabilidad

Cada equipo integrado por alumnas y alumnos se hará responsable del equipamiento que utilice en cada sesión experimental, deberá solicitar al profesor las instrucciones necesarias para la correcta utilización de los equipos.

Los computadores son de uso exclusivo para la docencia.

El encendido y uso de los computadores será cuando el profesor lo autorice.

Las y los alumnos están obligados a informar ante cualquier desperfecto que presente algún computador o equipamiento del laboratorio, en el momento de ocurrido este hecho.

Queda prohibido la ingesta de alimentos al interior de los Laboratorios.

## 4.- Sistema de trabajo y evaluación

Por cada sesión de laboratorio debe realizar un informe en grupo, el cual será evaluado según rubrica adjunta al final de este libro. La evaluación de laboratorio equivale al 30% de la nota final del ramo, para aprobar el laboratorio debe obtener mayor o igual a 4.0, y para aprobar el curso de física nota ponderada  $30\%LAB + 70\%TEO$  mayor o igual a 4.5.

## Tiempos del Laboratorio

---

**1.-** La primera semana (día 0) corresponde al trabajo guiado, el profesor presenta la guía, y la leen en conjunto con las y los estudiantes, en este proceso se puede y deben hacer consultas, conformación de los equipos de trabajo, y la toma de muestras experimentales. Para una adecuada optimización del tiempo, deben leer la guía previamente de esa manera llegarán con dudas que puede resolver directamente con él o la profesora.

**2.-** La segunda semana (7 días después) corresponde al trabajo autónomo y retroalimentación, usted debe confeccionar el informe con sus compañeras y compañeros, comparar resultados, analizar los datos y obtener una conclusión común.

**3.-** La tercera semana (14 días) corresponde al trabajo autónomo, cada equipo al inicio de la clase debe entregar el informe vía digital o impreso, según informe su profesor o profesora, esto debe ser antes o al inicio, ya que esta clase se inicia la actividad siguiente.



## Sistemas de Unidades

(Tomado de: Laboratorio de Física con Enfoque Libre STEM. Sepulveda N. y Carrasco J., Universidad Central de Chile, 2023)

Medir es comparar, y la 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 para medir nuestro pulgar? Claro que sirve, pero esa medida es muy difícil que 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 fijada en nuestro sistema de unidades con una equivalencia de 25.4mm.

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

El sistema internacional de unidades (SI) se crean en 1960, en la 11ª conferencia general de pesos y medidas, y reconoce las seis unidades fundamentales de medida, en 1971 se reconoce 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 manera indirectas, eso ya 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, como por ejemplo la rapidez, que requiere de longitud y tiempo, o la fuerza que requiere de algunos parámetros como podría ser masa, velocidad y tiempo, o también se podría medir directamente por un sistema ya calibrado por ejemplo medir fuerzas con una pesa, o medir fuerzas con un sistema que mida tensiones. El problema es que, con cada instrumento de medición, cada investigador que realice una medida como 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, y 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, por 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 la entrega de 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, se tiene una medición que fue realizados con un instrumento que discriminaba hasta la centésima de centímetro. En cambio, en la segunda se utilizó un aparato que discriminaba sólo 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 debe de ir acompañada 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, deben de corresponder al mismo orden de magnitud (centenas, decenas, unidades, décimas, centésimas).

### **Teoría de Error**

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

#### ***i. Errores Sistemáticos***

El *Error Sistemático* o también se podría hacer mención como error de protocolo, se deben a causas posibles de identificar y, en principio, se pueden corregir. Siempre afectan el resultado de una medición del mismo modo, de 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 pueden ser eliminado. Si es posible minimizarlos, mientras mayor sea el número de datos, menor será el efecto del error aleatorio en el experimento.

### Ejemplos:

- a) Mientras se mide temperatura, ingresa una ráfaga de viento por una ventana.
- b) Al medir el tiempo de recorrido de un carro, el carro pasa por una piedrecilla.
- c) Quien registraba los datos, ingresó o anoto 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 sistemáticas**, 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 numero grande de muestras.

### **Propagación de errores**

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

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

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

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

OPERACION	EXPRESION ALGEBRAICA	EXPRESION 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	$x = a \cdot b \cdot c$	$x = (\langle a \rangle \cdot \langle b \rangle \cdot \langle c \rangle) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} + \frac{\Delta c}{\langle c \rangle} \right) \right]$
DIVISION	$x = \frac{a}{b}$	$x = \left( \frac{\langle a \rangle}{\langle b \rangle} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} \right) \right]$
POTENCIA ( $n \in R$ )	$x = a^n$	$x = \langle a \rangle^n \left[ 1 \pm n \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} \right]$
PRODUCTO ( $k \text{ cte.} \in R$ )	$x = k \cdot a$	$x = k \cdot \langle a \rangle \pm k \cdot \Delta a$

### Ejemplos [3]:

1. La medida de los lados de un rectángulo son  $1.53 \pm 0.06 \text{cm}$ , y  $10.2 \pm 0.1 \text{cm}$ , 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 periodo  $T = 1.396 \pm 0.004 \text{s}$  de un péndulo de longitud  $l = 47.9 \pm 0.1 \text{cm}$ .

El periodo 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  $T^2$ :

$$T^2 = (\langle T \rangle \cdot \langle T \rangle) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta T}{\langle T \rangle} + \frac{\Delta T}{\langle T \rangle} \right) \right] = \langle T \rangle^2 \left[ 1 \pm 2 \frac{\Delta T}{\langle T \rangle} \right]$$

$$T^2 = (1.396)^2 \left[ 1 \pm 2 \frac{0.004}{1.396} \right] = 1.948 \pm 0.011 \text{s}^2$$

Entonces ahora podemos determinar el valor de  $g$ :

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

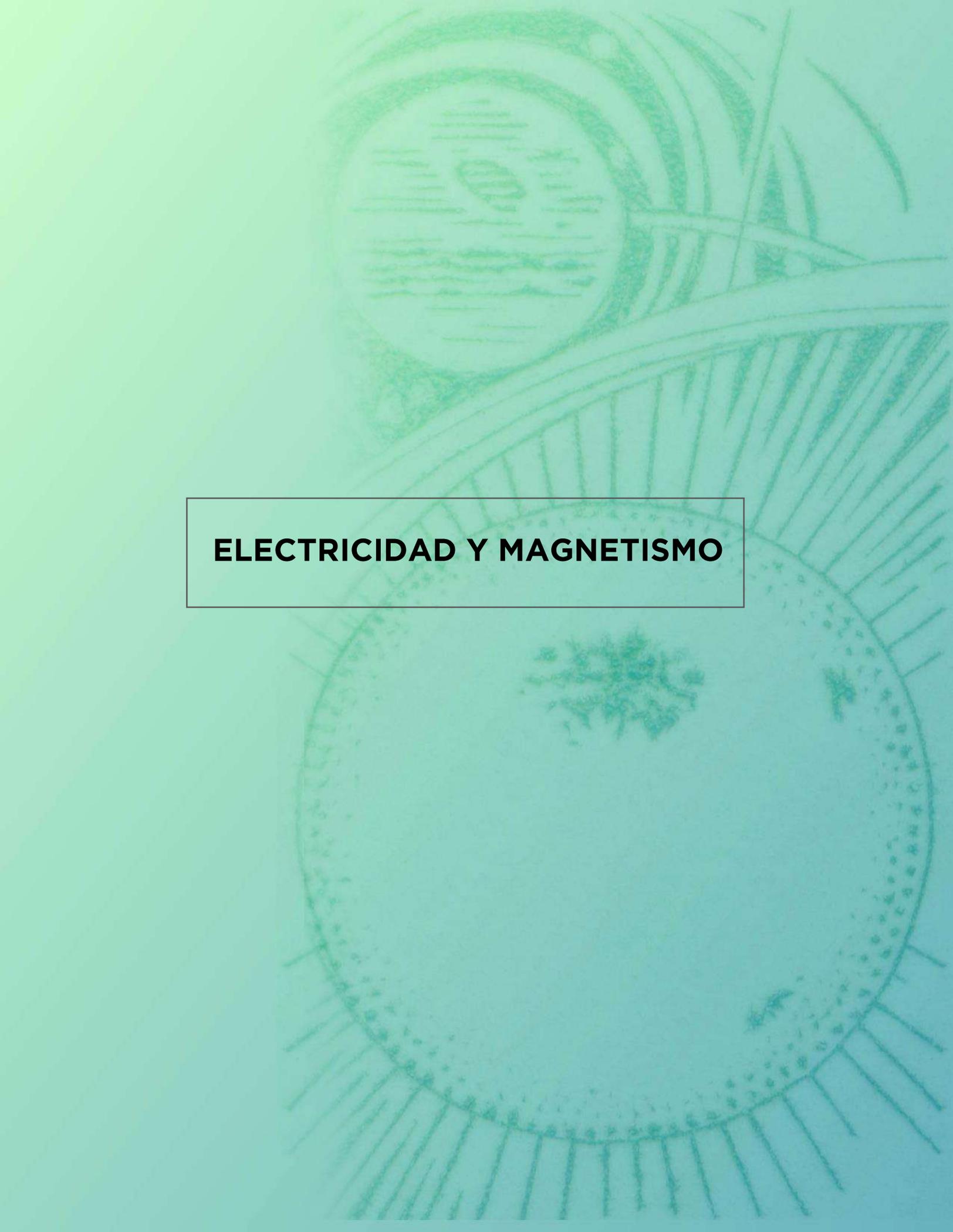
Para realizar la división, debemos seguir los pasos del algebra de errores para dicha operación, es decir:

$$g = \left( \frac{\langle a \rangle}{\langle b \rangle} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} \right) \right] \Rightarrow \left( \frac{\langle a \rangle}{\langle T \rangle^2} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} + \frac{\Delta T^2}{\langle T \rangle^2} \right) \right]$$
$$g = \left( \frac{1891}{1.948} \right) \left[ 1 \pm \left( \frac{4}{1891} + \frac{0.011}{1.948} \right) \right]$$
$$\therefore g = 970 \pm 8 \frac{cm}{s^2}$$

## 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.

The background features faint pencil sketches. At the top, there is a circular diagram with horizontal lines, possibly representing a globe or a cross-section of a sphere. Below it, a larger circular diagram with radial lines extending from its perimeter is visible, resembling a sun or a circular field of force. The entire image has a light green tint.

# **ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO**

## Guía N° 1: 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.

---

### 1.2 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:

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

### 1.3 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.

## 1.4 Instrumentos y materiales

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

## 1.5 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.

- 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>.*

- 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.
- 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.

- 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° 2: Potencial y campo eléctrico

---

### Resumen

Una carga eléctrica, por el solo hecho de estar en alguna parte del espacio modifica el entorno. De ella saldrá o entrará radialmente líneas de campo eléctrico, y perpendicular al campo habrá superficies equipotenciales, es decir, curvas cerradas rodeando la carga y con el mismo valor de potencial. En este laboratorio explorarás una superficie conductora buscando las líneas equipotenciales para luego graficarlas y descubrir cómo se encuentran geoméricamente en el plano circundante a una carga.

---

### 2.1 Introducción

Los cuerpos cargados eléctricamente modifican las propiedades del espacio que los rodea. Para caracterizar el entorno que rodea un cuerpo cargado se asocia a cada punto de él, 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  $d$  a ellas.

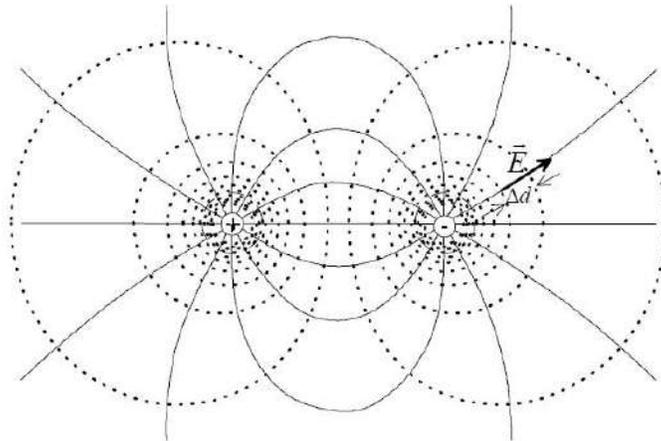


Figura 1: Líneas de campo eléctrico saliendo o entrando de un punto común ubicado en el centro de la carga, superficies equipotenciales bordeando las cargas.

La magnitud del campo eléctrico  $E$  y el potencial  $V$  están relacionados 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, esto es:

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

## 2.2 Objetivos

- Determinar experimentalmente las líneas equipotenciales para una configuración de electrodos.
- Determinar experimentalmente la relación entre el potencial y la posición para una configuración de electrodos.
- Determinar experimentalmente el campo eléctrico para una configuración de electrodos.

## 2.3 Instrumentos y Materiales

- Fuente de poder corriente continua o generador de frecuencias.
- Cables puntas y terminales tipo caimán.
- Cubeta de agua.
- Papel milimetrado (guía de sistema cartesiano).
- Voltímetro (Multitester, Tester).
- Configuración de electrodos de placas paralelas.

## 2.4 Procedimiento experimental

### Actividad 1: Superficies Equipotenciales

1. Realizar el montaje ilustrado en la figura 2.

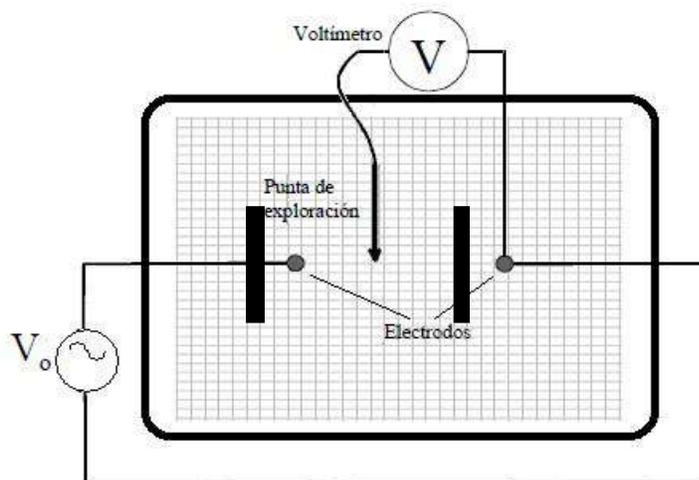


Figura 2: Esquema experimental, configuración de electrodos para explorar superficies equipotenciales.

2. Fijar uno de los extremos del sensor de voltaje en uno de los electrodos. Usando el otro extremo del sensor (punta de exploración), medir la diferencia de potencial en un punto, y posteriormente buscar al menos otros 5 puntos, distantes entre ellos ( $\approx 1$ [cm]), que tengan el mismo valor de potencial. Registre la posición de cada punto (distancia de separación de electrodos 10cm aproximadamente).

3. Repetir el procedimiento 2., al menos para 5 nuevos valores de potencial.



*Figura 3: Montaje experimental, configuración de placas paralelas para explorar superficies equipotenciales.*

**Hint:** Es importante fijar un sistema de referencia al hacer el procedimiento experimental, el cual tendrá que estar bien definido al momento de analizar los resultados.

### **Actividad 2: Potencial y campo eléctrico**

1. Fije un extremo del sensor de voltaje en el centro de la base acrílica y con el otro extremo (punta de exploración) mida el potencial a lo largo del eje axial entre las placas.

2. Realice el mismo procedimiento anterior al menos 3 veces con el objetivo de tener una estadística asociada a cada medición.

### **Actividad N°3, *Ingeniare***

Construya un prototipo o experimento, en el cual permita visualizar directamente las líneas de campo eléctrico.

Para ello saque fotografías del proceso de construcción, y detalle cada paso del proyecto, la finalidad es que otro equipo de su mismo nivel académico pudiese construirlo.

## **2.5 Análisis**

### **Actividad 1**

1. Realice un gráfico similar al de la figura 1, mostrando las superficies equipotenciales obtenidas en el procedimiento experimental.

### **Actividad 2**

1. Grafique el potencial  $v/s$  la posición de los datos registrados.
2. Encuentre la relación funcional entre el potencial y la posición.
3. Utilizando la relación funcional encontrada, determine el valor de campo eléctrico con las unidades respectivas.
4. Grafique el campo eléctrico en función de la posición.

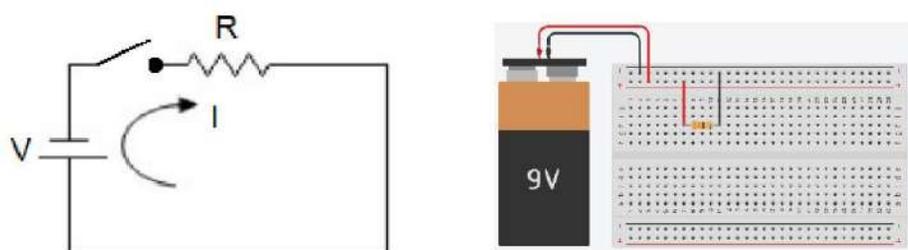
## Guía N° 3: Ley de Ohm y resistencias eléctricas

### Resumen

Este laboratorio corresponde a la determinación experimental de ciertas variables fundamentales. Para ello se utilizarán componentes básicos 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.

### 3.1 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  $P = 0,5 W$ .

### 3.3 Objetivos

1. Identificar instrumentos comunes de medición en los tópicos de electricidad y magnetismo.
2. Determinar experimentalmente, 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.

### 3.4 Instrumentos y materiales

- Voltímetro.
- Amperímetro.
- Potenciómetro.
- Resistencias eléctricas de igual orden de magnitud.
- Protoboard.
- Fuente de poder (podría utilizar batería de 9V)

### 3.5 Procedimiento experimental

#### Actividad N° 1: Reconociendo los instrumentos de medición

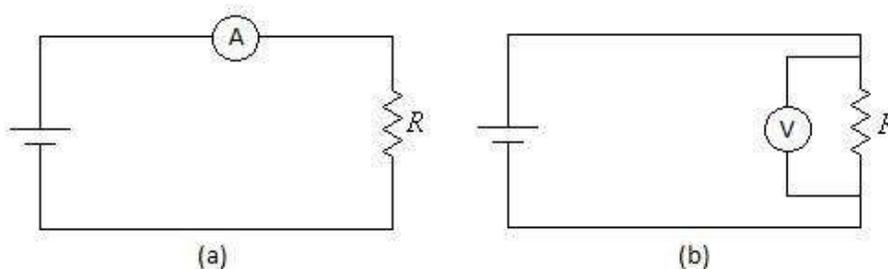
Los instrumentos comúnmente utilizados para medir parámetros eléctricos se conocen como voltímetros (medidor de diferencia de potencial o *voltaje*), amperímetro (medidor de intensidad de corriente eléctrica), óhmetro (medidor de resistencia eléctrica) y osciloscopio (medidor de señales de parámetros 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.

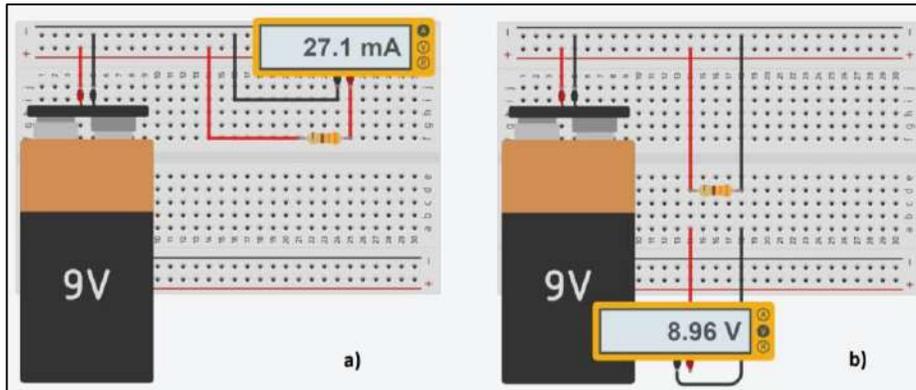
#### Voltímetro

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.

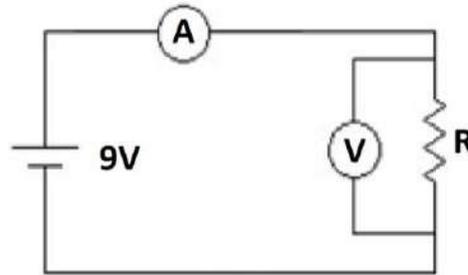


**Figura 4.** (a) Circuito TINKERCAD con amperímetro conectado en serie para medir intensidad de corriente eléctrica. (b) Circuito TINKERCAD con voltímetro conectado en paralelo para medir diferencia de potencial en los extremos de una resistencia eléctrica de  $330 \Omega$ .

### Actividad N°2

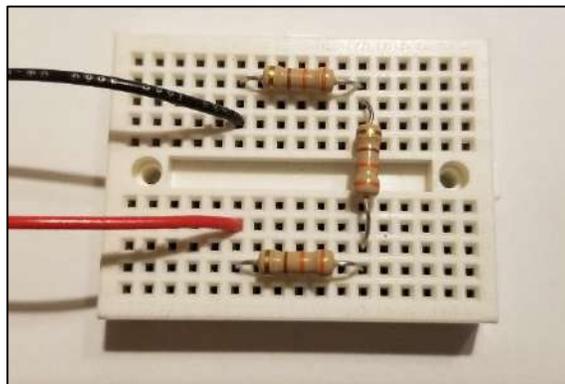
- i. Construya un circuito compuesto de una fuente de poder de 9 V, una resistencia de  $330 \Omega$  y un potenciómetro de  $12 \Omega$ .
- ii. Verifique que la resistencia de su circuito tenga correctamente las franjas según el código de colores.
- iii. El circuito que debe armar es una *malla* cerrada 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.

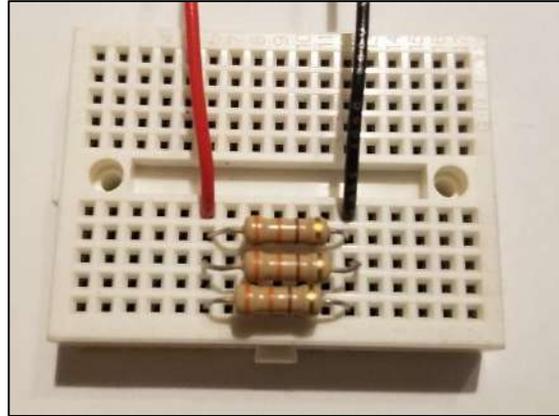
- iv. Varíe el voltaje del potenciómetro, registrando la diferencia de potencia y la intensidad de corriente en cada caso. Realice una tabla con al menos 10 valores distintos de voltaje e intensidad de corriente eléctrica.
  - i. Elegir 3 valores de resistencias eléctricas de similar orden de magnitud, 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 (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 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.



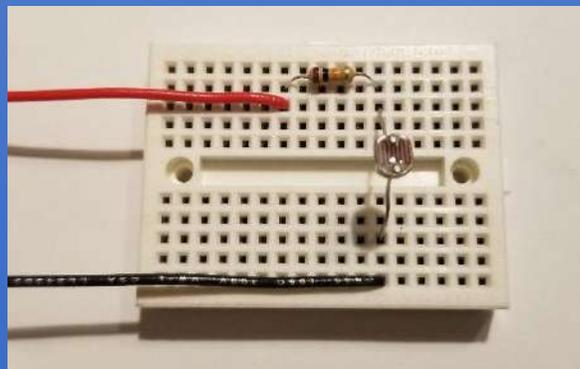
*Figura 7. Circuito eléctrico compuesto de tres resistencias en paralelo.*

- 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  $1\text{ M}\Omega$ ; 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 ( $10\text{ k}\Omega$ ) 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?

### 3.6 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° 4: Leyes de Kirchhoff

---

### Resumen

*El circuito que controla un equipo o un aparato electrónico está integrado no solo de muchos componentes, sino también de múltiples bifurcaciones y mallas al interior del mismo circuito.*

*Muchos componentes conectados en serie y paralelo, entonces hay una manera de tratar este tipo de conexiones en los circuitos, particularmente en términos de las bifurcaciones y la conservación de la intensidad de corriente y las mallas con las conservaciones de la diferencia de potencial. A estas leyes se les conoce como leyes de Kirchhoff y las estudiaras con un montaje experimental*

---

### 4.1 Introducción

Un circuito es llamado mixto cuando los elementos que lo componen se encuentran conectados de tal modo, que algunos de ellos se encuentran en serie y otros en paralelo. En este tipo de circuitos determinar la resistencia equivalente resulta sencillo al utilizar un método para encontrar la corriente en cada rama. Conociendo la *fem* de la fuente y los valores de todas las resistencias.

En un circuito eléctrico, se llama nudo a la unión de tres o más conductores. La *ley de las corrientes de Kirchhoff*, establece que debido a que la carga no se puede crear ni destruir, sino que se conserva, la suma de las corrientes que ingresan en un nudo debe ser a la suma de las corrientes que salen desde el nudo, formalmente:

$$\sum_{i=1}^n i_{IN} = \sum_{i=1}^n i_{OUT}$$

Se habla de malla a cualquier trayectoria cerrada dentro de un circuito.

La *ley de los voltajes de Kirchhoff* establece que, como la energía no se pierde ni se crea en un circuito eléctrico, la suma de los voltajes asociados con las fuentes, debe ser igual a la suma de las diferencias de potenciales de las resistencias, es decir:

$$\sum_{i=1}^n V_i = 0$$

Donde  $V_n$  corresponde a los voltajes individuales alrededor de un circuito cerrado.

En la figura 1 es posible observar un circuito mixto, en este circuito es posible aplicar las leyes de Kirchhoff para caracterizarlo completamente.

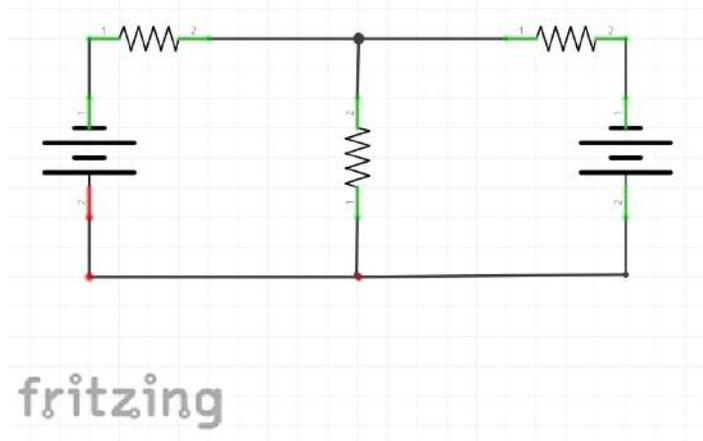


Figura 1: Circuito mixto compuesto de dos fuentes de poder  $V$  y tres resistencias  $R_i$ . Diseñado en Fritzing.

### 4.3 Objetivos

- Reconocer nudos y mallas en un circuito eléctrico.
- Comprobar experimentalmente las leyes de Kirchhoff en un circuito eléctrico.

### 4.4 Instrumentos y Materiales

- Fuente de voltaje DC (pueden ser baterías de 9 V).
- Resistencias eléctricas.
- Multitester.
- Cables.
- Protoboard.

### 4.5 Procedimiento Experimental

#### Actividad: Ley de Kirchhoff

1. Medir las resistencias con el multitester.
2. Construir el circuito de la figura 1, en el protoboard.
3. Ajustar la fuente de poder a un voltaje cercano a 9 volt (comprobar salida con voltímetro).
4. Medir la diferencia de potencial, y las intensidades de corriente eléctrica, en cada resistencia

Componente	Diferencia de potencial (V)	Intensidad de corriente (mA)
$V_1$		
$V_2$		
$R_1$		
$R_2$		
$R_3$		

### Actividad N°2, *Ingeniare*

Construya en Tinkercad un circuito compuesto por tres resistencias de diferentes valores, dos baterías de 9V, y que cumpla con tener 3 mallas. Luego haciendo uso de las leyes de Kirchhoff, resuelva el circuito para determinar las intensidades de corriente en cada resistor. Compare los valores calculados con los valores de la simulación en Tinkercad.

#### 4.6 Análisis

- 1.- Con los valores obtenidos de intensidad de corrientes y diferencias de potencial para cada resistencia, comprobar si se cumplen experimentalmente las leyes de Kirchhoff.
- 2.- Comparar los cálculos teóricos con los valores obtenidos experimentalmente, de las leyes de Kirchhoff, esto, para intensidad de corriente en nodo, y en las mallas.

## Guía N°5: Magnetismo, Ley de Faraday y Lenz

---

### Resumen

*En este último laboratorio del semestre se observará la unión de la electricidad y el magnetismo por medio de la inducción. Esta unión ha sido la base de la mayor parte de los avances tecnológicos y científicos de la era de las comunicaciones instantáneas.*

---

### 5.1 Introducción

Alrededor del año 800 a.C. Los griegos descubrieron que la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) atrae fragmentos de hierro. En el año 1269 un francés de nombre Pierre de Maricourt descubrió que las direcciones a las que apuntaba una aguja al acercarle un imán esférico 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: uno norte (N) y otro sur (S), los cuales ejercen fuerzas sobre otros polos. Los polos iguales se repelen y los opuestos se atraen. Nunca ha 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, éste 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 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 ( $\mathcal{E}$ , 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:

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Con:

$$d\Phi_B = \int B \cdot dA$$

Donde  $d\Phi_B$  es el flujo magnético a través del circuito,  $B$  el campo magnético y  $A$  la 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, de suman quedando la expresión:

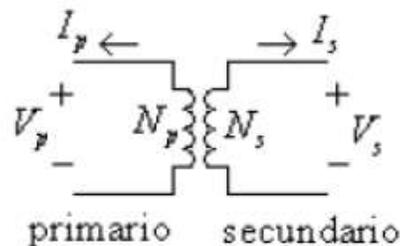
$$\epsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

El signo negativo que aparece en las ecuaciones anteriores tiene una interpretación física conocida como la (Ley de Lenz), la cual 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 el flujo magnético original cambie. Esta ley es una consecuencia de la ley de conservación de energía.

### Aplicación Inducción (Transformadores)

Un transformador es un elemento que acopla magnéticamente dos circuitos CA (corriente alterna). Un transformador ideal (ver figura 1) consta de dos bobinas acopladas magnéticamente, esto es, no existe conexión eléctrica entre ellas. La bobina del lado de la entrada se llama primaria y la del lado de la salida secundaria; la bobina del primario tiene  $N_p$  espiras y la del secundario  $N_s$  espiras. La relación entre el número de espiras secundaria y primaria,  $N$ , se define como:

$$N = \frac{N_s}{N_p} \tag{4}$$



Los transformadores no funcionan cuando el voltaje primario es CC (corriente continua). Sin embargo, cuando circula una corriente variable con el tiempo en el bobinado primario, por ejemplo, se genera un voltaje variable con el tiempo en el secundario debido al acoplamiento magnético entre las dos bobinas. Este desempeño se explica por medio de la ley de Faraday. La relación entre las cantidades eléctricas de la bobina primaria y secundaria se establece como:

$$V_s = N V_p$$

$$I_S = \frac{I_P}{N}$$

Las ecuaciones anteriores representan que un transformador ideal multiplica un voltaje de entrada sinusoidal por un factor N y divide una corriente de entrada sinusoidal por el mismo factor. Un transformador ideal se puede usar en cualquier dirección (cualquiera de sus bobinas puede ser primaria). Por otra parte, se debe saber que para una señal sinusoidal el voltaje eficaz se define como:

$$V = V_{eficaz} = V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

Donde  $V_{rms}$  corresponde al voltaje eficaz o rms (root mean square) y  $V_{max}$  corresponde a la amplitud del voltaje alterno aplicado desde la fuente.

### 5.3 Objetivos

- Verificar la ley de Faraday Lenz
- Aplicar la ley de inducción de Faraday a un transformador de dos bobinas

### 6.4 Instrumentos y Materiales

- Fuente de voltaje AC.
- Bobinas con diferente número de espiras.
- Multitester.
- Imán.
- Cables.

### 5.5 Procedimiento experimental

#### Actividad 1: Observación

Conectar un amperímetro a una bobina e introducir un imán a esta, mediante movimientos relativos y usando ambos polos.

#### Actividad 2: Aplicación

1. Conectar la bobina primaria del transformador a la fuente de corriente alterna (señal sinusoidal).

2. Determinar el voltaje secundario  $V_s$  de transformador abierto en función del número de espiras de la bobina secundaria  $N_s$  y del número de espiras de la bobina primaria  $N_p$ .

### Actividad N°3, *Ingeniare*

Construya un prototipo o simulación de la bobina de Tesla.

Para ello saque fotografías del proceso de construcción, y detalle cada paso del proyecto, la finalidad es que otro equipo de su mismo nivel académico pudiese construirlo.

## 5.6 Análisis

### Actividad 1

1. Analizar el comportamiento de la fem inducida (o bien corriente inducida) de acuerdo a la velocidad a la cual se introdujo el imán.
2. Analizar el comportamiento de la fem inducida (o bien corriente inducida) según el polo introducido.
3. Explicar físicamente cada fenómeno anterior.

### Actividad 2

1. Encontrar la relación funcional entre el voltaje secundario  $V_s$  y el número de bobinas secundario  $N_s$ , ( $V_s$  v/s  $N_s$ ), Rectificando si corresponde.
2. Interpretar los resultados con el valor de la pendiente con las ecuaciones planteadas.
3. Encontrar la relación funcional entre el voltaje secundario  $V_s$  y el número de bobinas primario  $N_p$ , ( $V_s$  v/s  $N_p$ ), Rectificando si corresponde.

**Hint:** recordar que la pendiente se determina directamente sólo si la relación funcional entre dos parámetros es lineal.



**ONDAS, ÓPTICA Y CALOR**

## 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:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

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:

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

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.

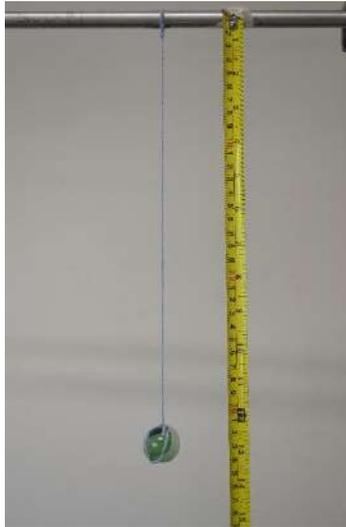
## 1.3 Instrumentos y materiales

- 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° 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.

## 1.5 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: Velocidad de la onda en una cuerda

---

### Resumen

*Las ondas se pueden diferenciar según necesiten o no de un medio para propagarse, así las ondas mecánicas necesitan de un medio para propagarse, en este laboratorio realizaras la experiencia de generar ondas en una cuerda tensa, y determinar experimentalmente la velocidad con la cual se propagan.*

---

### 2.2 Introducción

Una onda se puede diferenciar por la necesidad de un medio para propagarse, las ondas electromagnéticas no necesitan de un medio, en el vacío la luz se propaga a la velocidad límite  $c$ , equivalente a  $3 \cdot 10^8 \text{ km/s}$ . En el caso del sonido corresponde a una onda mecánica ya que necesita de un medio para propagarse, la velocidad de propagación del sonido en el aire es de  $340 \text{ m/s}$ , en el agua es aproximadamente  $1500 \text{ m/s}$  y aumenta a  $3700 \text{ m/s}$  en el caso de la madera.

La velocidad de una onda en función de la frecuencia y de la longitud de onda se puede determinar por:

$$v = \lambda \cdot f$$

En tanto si se considera la dependencia con las propiedades del medio en el cual viaja, como en el caso de una onda propagándose en una cuerda de densidad  $\mu$  de masa  $M$  por unidad de longitud  $L$  ( $\mu = M/L$ ), con una tensión dada  $T$ , entonces la velocidad de la onda viajando en esta cuerda será:

$$v = \left( \frac{T}{\mu} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Así la onda se propagará en la cuerda con nodos y antinodos, una onda estacionaria es aquella en la cual el nodo permanece inmóvil, una onda estacionaria se establecerá en la cuerda cuando:

$$L(n) = n \frac{\lambda}{2}$$

Siendo  $n$  el número de antinodos.

### 2.3 Objetivos

- Comprobar experimentalmente la ecuación que da cuenta de la velocidad de propagación de una onda, en función de las características de una cuerda.

### 2.4 Instrumentos y Materiales

- Balanza.
- Set de masas.
- Generador de oscilaciones.
- Huincha de medir.
- Cuerda.
- Lámpara estroboscópica.
- **Excel** o Data Studio.

### 2.5 Procedimiento Experimental

1. Determine la densidad lineal de masa de la cuerda.
2. Elija una masa y un portaobjetos, a partir del diagrama de cuerpo libre determine la tensión en la cuerda.
3. Utilizando la lámpara estroboscópica, mida la frecuencia del generador de oscilaciones.

### 2.6 Análisis

1. Realice una tabla y grafico de Longitud de la cuerda Vs número de antinodos.
2. Analice la pendiente del gráfico e intérprete físicamente el valor encontrado.
3. Analice la ecuación de ajuste encontrada.
4. Determine a partir de la pendiente encontrada, la densidad de masa lineal compare con el valor teórico.

#### 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:

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

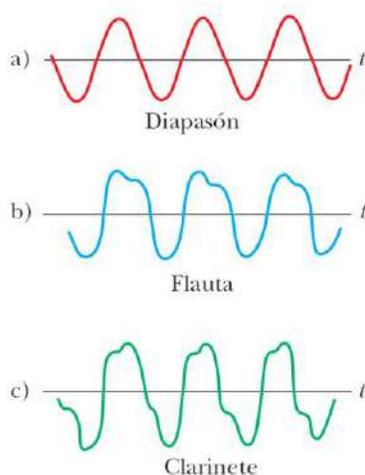
Donde  $r$  representa la posición y  $t$  el tiempo. Si consideramos que la onda se desplaza solo en una dirección, es posible escribirla como:

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

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:

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

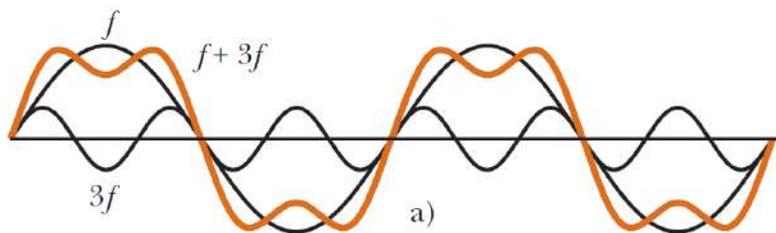
La forma de las ondas de distintos instrumentos se puede observar en la Figura 1.



**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.

### 3.1 Objetivos específicos

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

### 3.2 Instrumentos y materiales

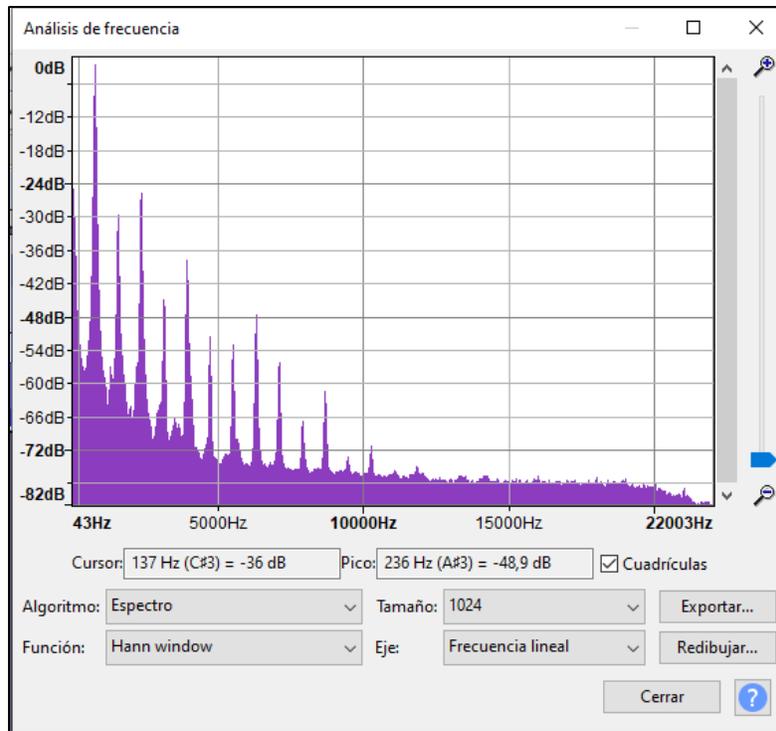
- Software libre de código abierto [Audacity®](#), disponible para Windows, Mac y Linux.
- Flauta dulce o botella de vidrio.

### 3.3 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.

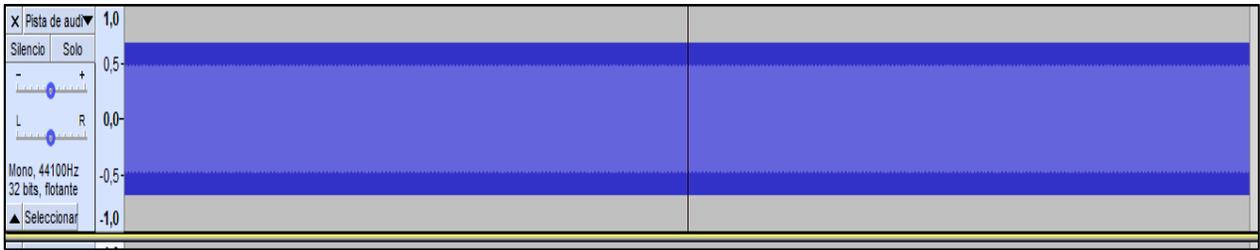


Figura 4. Señal obtenida de un tono.

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/jyxw5j>



### 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.

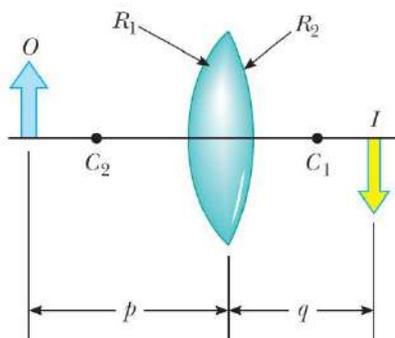


Figura 1. Lente biconvexa (convergente).

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:

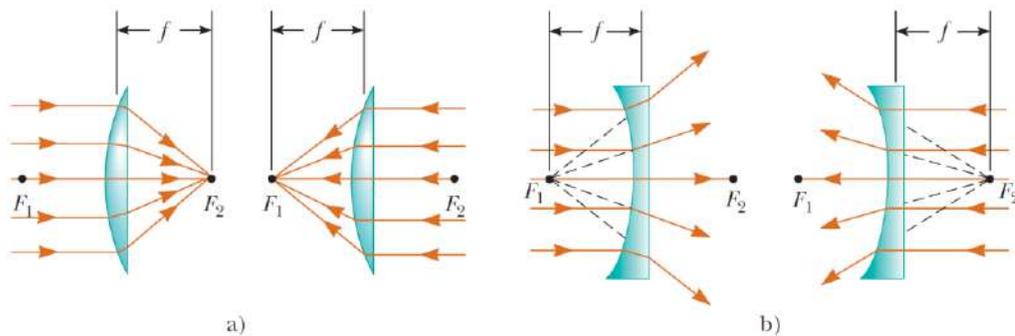
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{q}$$

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:

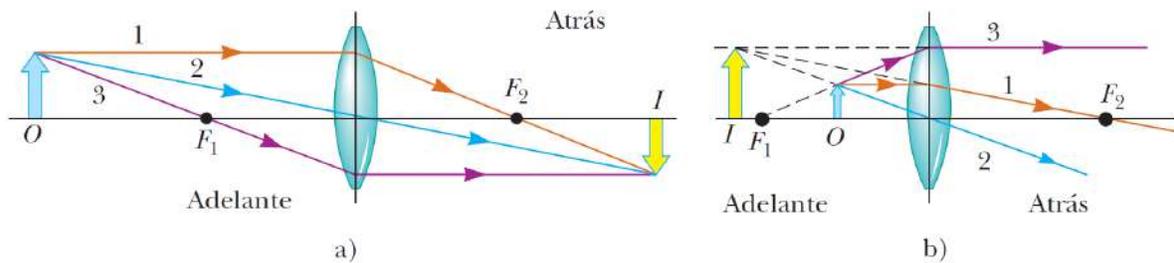
$$M = -\frac{q}{p}$$

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 experimentalmente la distancia focal de dos lentes convergentes.
2. Determinar las diferencias en la magnificación de una imagen, entre el valor teórico y el valor calculado.

### 4.3 Instrumentos y materiales

- Set de lentes convergentes y divergentes.
- Cinta métrica.
- Pantalla para formación de imagen.
- Software Excel.

#### 4.4 Procedimiento experimental

##### Actividad N° 1: Lentes convergente

1. Debe ubicar en un eje óptico un sistema de lentes convergentes y una pantalla. Debe medir las distancias de la lente a la imagen ( $q$ ). Para cuatro posiciones diferentes de la imagen ( $p$ ), para cada par de valores  $p$  y  $q$ , determine el valor de la distancia focal.

	$q$	$p$	$f$
1.-			
2.-			
3.-			
4.-			

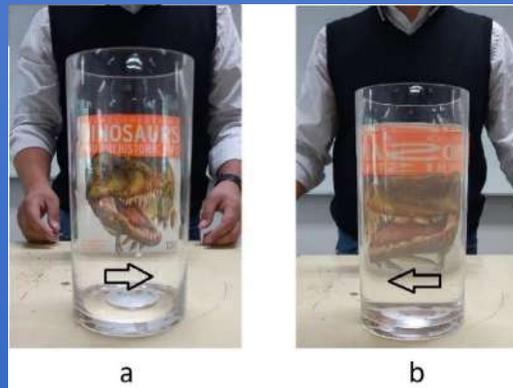
2. Determine la distancia focal de la lente, a partir del promedio y haciendo uso de la desviación estándar. Compare la diferencia porcentual dada por el fabricante de la lente.
3. Realizar la actividad para dos lentes convergentes.

##### Actividad N°2: Magnificación de la lente

1. A partir de la información obtenida en la actividad N°1, determine la magnificación experimental de un objeto.
2. Determine la diferencia porcentual de la magnificación teórica y experimental, para las dos lentes estudiadas en la actividad N°1.

### 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?

## Guía N° 5: Dilatación Lineal

---

### Resumen

Cuando un material es sometido a una diferencia de temperatura, a nivel microscópico las moléculas responden con movimiento al aumento de energía. Este movimiento en el caso de un sólido se refleja a nivel macroscópico por medio de la dilatación del material. En este laboratorio se determinará experimentalmente la dilatación experimentada por cuerpos de diferentes materiales.

---

### 5.1 Introducción

El calor es definido como energía en tránsito, y el sentido del tránsito es desde lugares de mayor a menor temperatura. El cambio de temperatura induce la dilatación térmica en un material, si la longitud de este es mucho mayor que su ancho, el cambio geométrico principal será dilatación lineal, donde el cuerpo cambia de una longitud inicial a una final, según el cambio de temperatura experimentado.

Un parámetro característico de este fenómeno, es el coeficiente de dilatación lineal  $\alpha$ , el cual es característico de cada material. Este parámetro indica el factor de dilatación por cada cambio de un grado Celsius, por ejemplo en el caso del cobre el coeficiente de dilatación lineal tiene un valor de  $\alpha_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , esto quiere decir que por cada grado Celsius, la longitud crece en este factor. Si se tiene una barra de cobre de 1 metro a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ , luego se expone a  $21^\circ\text{C}$ , la longitud final de la barra será de  $(1,0 + 1,7 \cdot 10^{-5})$  metros.

La siguiente tabla muestra el valor del coeficiente de dilatación lineal, para diferentes materiales.

Material	$\alpha [^\circ\text{C}^{-1}]$
Cobre	$1.7 \times 10^{-5}$
Aluminio	$2.4 \times 10^{-5}$
Bronce	$1.9 \times 10^{-5}$
Hormigón	$1.0 \times 10^{-5}$

Y el valor final de la longitud de un material, se puede determinar por:

$$L = L_0 + \alpha L_0 \Delta T$$

Siendo  $L_0$  la longitud inicial,  $L$  la longitud final de la barra y  $\Delta T$  la diferencia de temperatura  $T_f - T_i$ .

## 5.2 Objetivos

- Determinar experimentalmente el coeficiente de dilatación lineal de diferentes materiales.

## 5.3 Instrumentos y Materiales

- Fuente de calor.
- Barras de Cobre, Bronce y Aluminio.
- Pie de metro.
- Excel.
- Reloj comparador.

## 5.4 Procedimiento Experimental

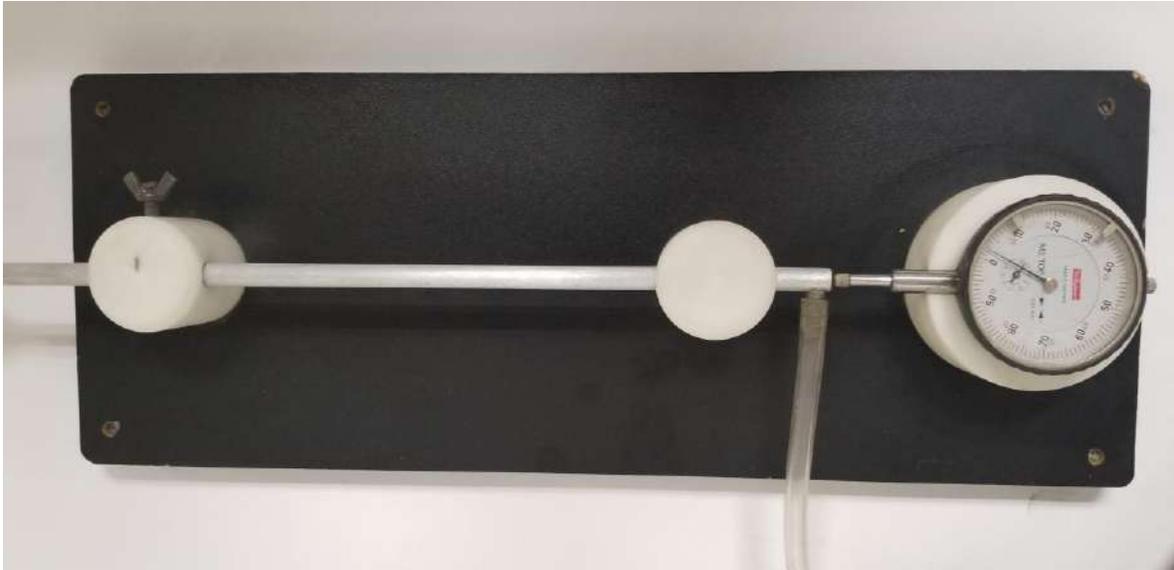
1. Mida las longitudes iniciales  $L_0$  y temperatura inicial  $T_0$  de cada barra. Complete la tabla.

Material	$L_0$	$T_0$	Dilatación
Cobre			
Bronce			
Aluminio			

2. La dilatación será el valor observado en el reloj comparador, al experimentar la diferencia de temperatura.



*Figura 1: Montaje experimental, dilatación lineal.*



*Figura 2: Vista superior del montaje experimental, dilatación lineal.*

### **Actividad N°2, Ingeniare**

Teóricamente: ¿En cuánto podría variar el volumen de una casa totalmente de madera?, un caluroso día de verano.

Para ello describa claramente los supuestos y valores considerados, para argumentar su respuesta.

### **5.5 Análisis**

1. Determine el coeficiente de dilatación lineal para cada material.
2. Compare porcentualmente sus resultados experimentales con los valores teóricos.
3. Estime las variaciones de longitud que experimentan diariamente los marcos de las ventanas del laboratorio. Para ello, considere sus resultados experimentales, y las condiciones típicas de temperaturas y cambios de temperaturas en invierno y en verano.

# ANEXO

## ANEXO 1

[Formato Informe](#)



## ANEXO 2

[Rubrica para Informe](#)

