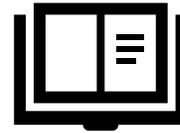




+Cuaderno de apuntes de Física Experimental



Introducción

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Conceptos básicos de Metrología

Objetivo: El alumno comprenderá la importancia de la medición en el estudio de la Física y aplicará algunos de los procedimientos de obtención y manejo de datos experimentales.

2.1 La importancia de la medición en la Física.

Dentro de la Física, para realizar un experimento es necesario primero recurrir a la observación y para saber qué tanto está variando aquello de lo que deseamos conocer su comportamiento, requerimos *patrones* que nos ayuden a comparar entre lo que está ocurriendo y lo que idealmente sucedería o se espera como reacción, otorgando a esta variación una unidad que lo caracteriza. Por ejemplo, cuando deseamos conocer una longitud, lo que hacemos es compararlo con algún aparato de medición o algún objeto conocido, el cual se haya definido con anterioridad en alguna escala, puede ser una regla, un pie, una cuerda o alguna otra referencia determinada que facilite su análisis o identificación.

Con el fin de caracterizar las medidas bajo ciertos estándares y evitar errores al llevar a cabo las mediciones, ha surgido la metrología, definida como la ciencia de la medición. Ésta comprende las determinaciones experimentales y teóricas a cualquier nivel de incertidumbre dentro de cualquier campo de estudio.

Ahora bien aterrizando esto hacia el campo de la Física, para poder conocer el comportamiento de diferentes fenómenos, como es la medición de la fuerza producida por un peso, la medición de la masa de un cuerpo cualquiera o el cambio de temperatura que sufre un sistema, por mencionar algunos, es necesario llevar a cabo su medición empleando instrumentos adecuados y una vez conocido esto, es posible obtener matemáticamente otros valores derivados; por ejemplo, si se tiene en un vaso de precipitados que contiene una cantidad de aceite que ocupa un determinado volumen (V) y se conoce la masa del vaso y la masa total medidas en una balanza ($m_T = m_v + m_a$), haciendo el despeje correspondiente se puede conocer la masa del aceite, y con base en la definición de la densidad $\rho = m/V$ se puede conocer la densidad de dicha sustancia.

2.2 Conceptos de dimensiones y unidades.

2.1.1 Concepto de dimensión

Una cantidad física se caracteriza mediante dimensiones. Una dimensión es el espacio al cual está referida la unidad, por ejemplo, el “metro” está referido al espacio de la longitud mientras que el “segundo” está referido al espacio del tiempo. Además, las dimensiones son cantidades físicas que se seleccionan para definir un sistema de unidades.

2.1.2 Concepto de unidad

En cuanto a la unidad la podemos definir como una cantidad estandarizada que sirve para ser comparada contra otra, por ejemplo en longitud tenemos al metro, en masa al kilogramo y en tiempo al segundo; el Sistema Internacional de unidades (SI) busca estandarizar todas las unidades de medida en la mayoría de países del mundo aunque existen países como E.U.A. o regiones como Reino Unido que aun emplean el Sistema Inglés de unidades o sistema imperial siguiendo una tradición de los países de habla inglesa.

2.3 Definiciones de unidades fundamentales y unidad derivada

Una unidad fundamental es aquella que no depende de otras para su definición, en cambio, la unidad derivada es aquella que se forma seleccionando algunas de las unidades fundamentales, por ejemplo: el newton [N], conformado por las unidades fundamentales $\left[\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}\right]$; el pascal [Pa], conformado por las unidades fundamentales $\left[\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{m}^2}\right]$ o el joule [J], conformado por las unidades fundamentales $\left[\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}\cdot\text{m}\right]$.

2.4 Dimensiones de los sistemas de unidades absolutos y gravitatorios. Distinción esencial entre estos tipos de sistemas.

Un sistema absoluto es aquel que tiene por dimensiones fundamentales a la longitud, la masa y el tiempo (L, M, T). Dentro de este se hallan otros dos sistemas, el sistema absoluto M.K.S. que tiene por unidades el metro, el kilogramo y el segundo respectivamente y por otro lado está el C.G.S este sistema tiene por unidades el centímetro, el gramo y el segundo, este último sistema surge como submúltiplo del M.K.S.

Un sistema gravitatorio en cambio tiene por dimensiones a la longitud, la fuerza y el tiempo.

Podemos diferenciar estos dos sistemas de la forma siguiente: para el primero (sistema absoluto) independientemente de dónde se tomen las mediciones estas no se verán afectadas por el entorno, sin embargo, las gravitacionales tienen por unidad a la fuerza de aceleración gravitatoria, la cual variará respecto del lugar en que se realicen las mediciones, cambiarán con la altura o la atmósfera, es por esto por lo que podemos decir que un sistema gravitatorio es "local".

2.5 Dimensiones, unidades de base y derivadas del Sistema Internacional. Principio de homogeneidad dimensional. Reglas para la escritura de unidades. Prefijos utilizados en las unidades.

La formación del Sistema Internacional de unidades (SI) quedó establecido por dos partes:

1. Unidades fundamentales o de base. Son aquellas cantidades físicas básicas aceptadas por convención y que son independientes unas de otras.
2. Unidades derivadas. Son aquellas que se forman combinando las unidades fundamentales, a través de expresiones algebraicas que las relacionan entre sí.

Las siete unidades fundamentales en el SI se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Dimensiones y unidades fundamentales o de base en el SI.

Magnitud o dimensión		Unidades SI	
Nombre	Símbolo Dimensional	Nombre	Símbolo
Longitud	L	metro	m
Masa	M	kilogramo	kg
Tiempo	T	segundo	s
Temperatura Termodinámica	θ	kelvin	K
Intensidad de corriente eléctrica	I	ampere	A
Cantidad de sustancia	N	mol	mol
Intensidad luminosa	J	candela	cd

Algunos ejemplos de unidades derivadas son: *el watt, el volt, el pascal, el joule, etc.*

El principio de homogeneidad dimensional establece que todos los términos de las ecuaciones físicas deben tener las mismas dimensiones.

Por ejemplo, en la ley de la gravitación universal que establece que “todo cuerpo del universo atrae a cualquier otro cuerpo con una fuerza central que es directamente proporcional a las masas de ambos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa” y que matemáticamente se formula como:

$$\vec{F}_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u}_r$$

Donde:

\vec{F}_g es la fuerza gravitatoria entre los dos cuerpos.

m_1 y m_2 son las masas de los cuerpos.

r es la distancia que separa a los dos cuerpos.

\vec{u}_r es un vector unitario

G es la constante de gravitación universal, su valor es $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ [Nm}^2/\text{kg}^2]$

Al aplicar el principio de homogeneidad dimensional en ambos miembros de la ecuación, y simplificar, se deben de tener las mismas dimensiones:

$$\vec{F}_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{u}_r$$

$$M L T^{-2} = \frac{M L T^{-2} L^2}{M^2} \cdot \frac{M^2}{L^2}$$

simplificando algunas dimensiones del lado derecho de la igualdad se tiene

$$M L T^{-2} = M L T^{-2}$$

Por lo que se comprueba la igualdad.

En general, existen reglas para la correcta escritura de las unidades en el SI, algunas son:

- Los símbolos de las unidades no van acompañados de un punto final y nunca se pluralizan.
- Los símbolos de las unidades se escriben con letras latinas no cursivas y minúsculas, a excepción de aquellos que proceden de algún nombre propio. Por ejemplo, el pascal, en el cual sólo la primera letra se escribe con mayúscula [Pa].
- Al referirnos al nombre de una unidad sin importar si ésta proviene del nombre y/o apellido de un científico (como el newton) siempre se escribe en minúscula. Es importante hacer la distinción de que en este caso nos referimos al nombre de la unidad, mientras que en el punto anterior nos referimos al símbolo.
- Los valores decimales son separados ya sea mediante un punto o una coma (4.8 o 4,8).

En Ingeniería se recomienda el uso de la notación científica para expresar cantidades ya sean muy grandes o muy pequeñas, con el fin de no tener que escribir todas las cifras. En otros casos, es común el uso de prefijos en la unidad de medida. En la tabla 2.2 se muestran las equivalencias entre los prefijos y su valor en potencia de 10, así como sus abreviaturas.

Tabla 2.2 Prefijos de unidades.

Valor en potencia de 10	Prefijo	Abreviatura
10^{24}	yotta	Y
10^{21}	zetta	Z
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a
10^{-21}	zepto	z

10^{-24}	yocto	y
------------	-------	---

2.6 Mediciones directa e indirecta.

Se define como una medición al proceso bajo el cual se asigna un número a alguna propiedad física de algún objeto o fenómeno con el propósito de comparación.

2.6.1 Medición directa

Una medición directa se realiza comparando la magnitud que se desea medir con un patrón o con las unidades de la escala. Posteriormente contando el número de veces que la unidad está contenida en la magnitud.

2.6.2 Medición indirecta

Una medición indirecta es el resultado de una operación matemática de una o varias mediciones directas. Por ejemplo, para obtener el volumen de un cubo se tienen que multiplicar las longitudes del ancho, largo y altura del cubo.

2.7 Conceptos de error, error sistemático y error aleatorio.

En cualquier proceso de medición, es común incurrir en errores debidos a diferentes factores, como pueden ser: el propio instrumento de medición, el operador o el método empleado para la obtención de lecturas.

2.7.1. Concepto de error

Un error de medición se define como la diferencia entre el valor patrón o de referencia y el valor medido de la cantidad física bajo estudio (valor experimental).

Existen diversas clasificaciones de los errores, una de las más comunes es la que contempla: los errores sistemáticos y los errores aleatorios.

2.7.2 Error sistemático

El error sistemático es un error que se produce en una medición y este puede ser originado ya sea por falta de ajuste a cero del instrumento de medición, por el método de medición empleado, o bien por la persona que la está realizando. El error de paralaje es un ejemplo típico de error sistemático que se puede evitar si la persona que realiza la lectura lo hace en una posición adecuada colocándose frente al instrumento de medición, sobre todo cuando se trata de aparatos analógicos. En general, los errores sistemáticos se pueden evitar, corregir o compensar.

2.7.3 Error aleatorio

El error aleatorio como su nombre lo indica, es un error que se presenta por cambios aleatorios en el proceso de medición, es decir, cuando resulta difícil tener control de las condiciones bajo las cuales se realiza la medición. Este tipo de error no se puede corregir ni eliminar, por lo tanto, es recomendable realizar varias mediciones con el fin de minimizarlo y cuantificarlo a través de métodos estadísticos.

2.8 Sensibilidad de un instrumento de medición. Obtención experimental de la precisión y de la exactitud de un instrumento de medición. Proceso de calibración.

Antes de utilizar cualquier instrumento de medición es recomendable conocer las características que definen al mismo, es decir, caracterizar el instrumento de medición. Estas características se clasifican en: estáticas y dinámicas.

Las características estáticas son aquellas que se pueden identificar directamente observando el instrumento de medición, y son:

- Rango. Intervalo de valores entre un mínimo y un máximo donde se puede llevar a cabo la medición.
- Resolución. Mínima lectura que se puede obtener con certeza en el instrumento de medición.
- Legibilidad. Representa la facilidad o dificultad para realizar la lectura del instrumento. A diferencia del rango y la resolución que se pueden cuantificar, la legibilidad es cualitativa y se puede expresar como: buena, regular o mala.

Las características dinámicas se identifican al utilizar el instrumento de medición, describen el comportamiento de la lectura ante una entrada de referencia variable; es decir, es necesario realizar mediciones y comparar la lectura obtenida con respecto a la variable de entrada. Dichas características son: la precisión, la exactitud y la sensibilidad.

2.8.1 Sensibilidad de un instrumento de medición

La sensibilidad se refiere a la capacidad de respuesta que tiene un instrumento de medición a una entrada de referencia y se representa con "S". Matemáticamente la sensibilidad para un cierto valor patrón, se determina como:

$$S = \frac{\bar{V}_L}{V_P}$$

Donde:

\bar{V}_L es el valor promedio de las lecturas.

V_P es el valor patrón o de referencia.

Para conocer la sensibilidad de un instrumento de medición, es necesario determinar la curva de calibración, la cual establece una relación lineal entre la variación de los valores leídos promedio y los valores patrón o de referencia; donde la pendiente de la curva representa la sensibilidad del instrumento de medición.

2.8.2 Obtención experimental de la precisión

La precisión es la capacidad de un instrumento de medición de repetir una misma lectura cuando la cantidad que se mide no cambia, es decir, bajo las mismas condiciones.

$$\%EP = \left| \frac{\overline{V_L} - V_{+a}}{\overline{V_L}} \right| \times 100 \quad \text{y} \quad \%P = 100 - \%EP$$

Donde:

%EP es el porcentaje de error de precisión

%P es el porcentaje de precisión

$\overline{V_L}$ es el valor promedio de las lecturas

V_{+a} es el valor más alejado del promedio de las lecturas

2.8.3 Obtención experimental de la exactitud.

La exactitud es la característica del instrumento de medición que permite obtener una lectura de cierta cantidad física lo más cercana posible al valor patrón o de referencia.

$$\%EE = \left| \frac{V_P - \overline{V_L}}{V_P} \right| \times 100 \quad \%E = 100 - \%EE$$

Donde:

%EE es el porcentaje de error de exactitud

%E es el porcentaje de exactitud

V_P es el valor patrón o de referencia

$\overline{V_L}$ es el valor promedio de las lecturas

2.8.4 Proceso de calibración.

Previo a la utilización de un instrumento de medición es necesario realizar el proceso de calibración, con el objetivo de minimizar los posibles errores sistemáticos. Para fines de la asignatura de Física Experimental, el proceso de calibración se reduce a:

- Conocer las características estáticas del instrumento
- Realizar el ajuste a cero cuando sea posible
- Conocer las características dinámicas del instrumento
- Obtener los modelos gráfico y matemático e interpretar el significado físico de la pendiente como la sensibilidad del instrumento y de la ordenada al origen como el error de calibración de éste.

2.9 Manejo de datos experimentales, incertidumbre de una medición, análisis estadístico elemental de datos experimentales, ajuste gráfico de curvas y el método del mínimo de la suma de los cuadrados.

2.9.1 Manejo de datos experimentales

En cualquier experimento donde se lleven a cabo mediciones de las variables involucradas, se presentan errores inherentes al instrumento de medición y los propios del observador que es quien

manipula el instrumento y quien decide el procedimiento experimental. Ante esta situación, es necesario aplicar métodos estadísticos, utilizados en todas las ramas de la ciencia con el objeto de interpretar los resultados, es decir, indicar un valor que sea el más representativo, así como la desviación de los datos respecto a este valor.

2.9.2 Incertidumbre de una medición

La incertidumbre es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podría razonablemente ser atribuida a la magnitud de estudio. La incertidumbre se puede interpretar como el rango en donde se encuentra el posible error aleatorio y se determina por medio del parámetro estadístico desviación estándar, la cual es un índice numérico que indica la dispersión de un conjunto de datos.

2.9.3 Análisis estadístico elemental de datos experimentales

Una forma de determinar la incertidumbre es mediante un análisis estadístico, para ello, es necesario revisar algunos conceptos básicos de estadística como los siguientes:

2.9.3.1 Media aritmética o promedio (\bar{x}). Es el valor más representativo de un conjunto de mediciones, se conoce también como valor esperado o valor más probable.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde, n: número de mediciones

x_i : representa cada una de las mediciones

2.9.3.2 Desviación estándar (S_x). Representa el grado de dispersión entre un conjunto de mediciones con referencia a la media aritmética. Cabe aclarar que ésta es la *desviación estándar de la distribución asociada a una muestra finita*, y que representa una medida de la dispersión de los valores observados alrededor del promedio.

$$S_x = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n - 1}}$$

Esta desviación estándar representa la incertidumbre aleatoria asociada a cada una de las mediciones del conjunto.

Donde,

\bar{x} es el promedio del conjunto de mediciones.

x_i representa cada una de las mediciones

n es el número mediciones realizadas.

2.9.3.3 Incertidumbre (Δx). Representa los límites de confianza dentro de los cuales se está seguro de que el valor verdadero se encuentra en dicho intervalo.

$$\Delta x = \frac{S_x}{\sqrt{n}}$$

Donde, S_x : es la desviación estándar

n : es el número mediciones realizadas.

En resumen, dado un conjunto de resultados de n mediciones realizadas bajo las mismas condiciones de una cierta magnitud; se puede afirmar que el valor más representativo de estos datos es la media aritmética \bar{x} que tiene asociada una incertidumbre aleatoria Δx :

$$\bar{x} \pm \Delta x$$

2.9.4 Ajuste gráfico de curvas

Los científicos e ingenieros con frecuencia analizan los datos experimentales por métodos gráficos en vez de métodos analíticos, no solo porque son más sencillos sino porque constituyen una herramienta que tiene muchas ventajas, ya que permiten al experimentador darse cuenta del comportamiento de las variables que intervienen en el proceso y la relación que existe entre ellas.

Los fenómenos físicos pueden modelarse mediante gráficas, en las cuales se asignan variables a los ejes coordenados; por ejemplo, la variable independiente se sitúa en el eje de las abscisas y la variable dependiente en el eje de las ordenadas.

En la asignatura de Física Experimental se busca modelar matemáticamente algunos fenómenos a través de una gráfica con comportamiento lineal, siempre que la relación entre las variables lo permita. En estos casos, habrá que encontrar una función lineal que relacione a las variables involucradas, cuya pendiente y ordenada al origen, pueden obtenerse de una forma sencilla con la ecuación de la recta y empleando el método del mínimo de la suma de los cuadrados.

2.9.5 Método del mínimo de la suma de los cuadrados.

Cuando se realizan pruebas experimentales difícilmente se obtienen los mismos resultados debido a los errores que suelen presentarse. Para establecer el comportamiento de una función lineal y respecto a una variable independiente x , se hace uso de diferentes técnicas de análisis numérico. El caso más simple es ajustar este comportamiento mediante un modelo lineal. El método matemático que se utiliza se conoce como método del mínimo de la suma de los cuadrados. En este método se establece que, y es una función lineal de una variable independiente x , en donde, los valores experimentales se aproximan a una recta $y=mx+b$ de tal forma que la suma de los cuadrados de las desviaciones de todos los puntos (x_i, y_i) sea mínimo.

Las expresiones que se utilizan para obtener los valores de pendiente m y de la ordenada al origen b respectivamente, son las siguientes:

$$m = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Donde,

x_i representa cada uno de los valores de la variable independiente.

y_i representa cada uno de los valores de la variable dependiente.

n es el número de pares de datos

2.9.6 Ejemplo de aplicación

Para aplicar los conceptos vistos en este tema se propone el ejercicio de caracterización de un **voltímetro analógico**. Mediante el montaje experimental mostrado en la figura 2.1 se han realizado

varias mediciones de diferencia de potencial de un foco el cual es alimentado por una fuente de poder.

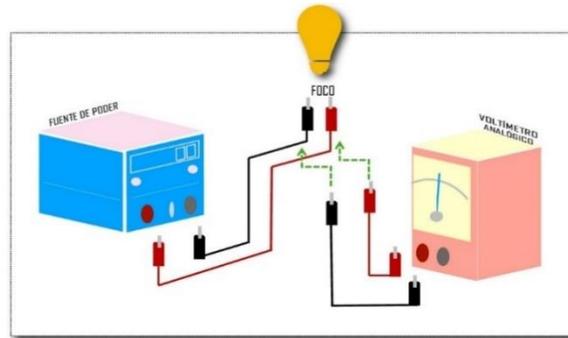


Figura 2.1 Esquema de la conexión de un foco a una fuente de poder y a un voltímetro analógico.

Para la realización del experimento se iniciará con una diferencia de potencial de 2 [V] suministrada por la fuente y se harán incrementos también de 2[V] para cada lectura hasta llegar a 16[V], repitiéndose esto mismo 4 veces.

Tabla 2.1 Mediciones de diferencia de potencial y análisis del voltímetro analógico.

$V_p[V]$	$V_1[V]$	$V_2[V]$	$V_3[V]$	$V_4[V]$	$\bar{V}_L [V]$	%EE	%E	%EP	%P	S_V	ΔV	$\bar{V}_L \pm \Delta V$
2	2	3	3	2	2.5	25	75	20	80	0	0.25	2.5 ± 0.25
4	4	5	5	4	4.5	12.5	82.5	11.11	88.8	0.4472	0.25	4.5 ± 0.25
6	6	7	7	7	6.75	12.5	82.5	3.7	96.3	0	0.215	6.75 ± 0.215
8	7	9	8	9	8.25	3.125	96.8	0.9	99.1	0.4472	0.41	8.25 ± 0.41
10	10	10	9	11	10	0	100	0	100	0.5477	0.35	10 ± 0.35
12	12	13	11	12	12	0	100	0	100	0.5477	0.35	12 ± 0.35
14	14	15	14	14	14.25	1.78	98.2	1.75	98.5	0.4472	0.215	14.25 ± 0.215
16	16	16	16	16	16	0	100	0	100	0.4472	0	16 ± 0

donde:

V_p es la diferencia de potencial patrón

V_i es la diferencia de potencial medida con el multímetro

\bar{V}_L es la diferencia de potencial medida promedio

% EE es el porcentaje de error de exactitud

% E es el porcentaje de exactitud

% EP es el porcentaje de error de precisión

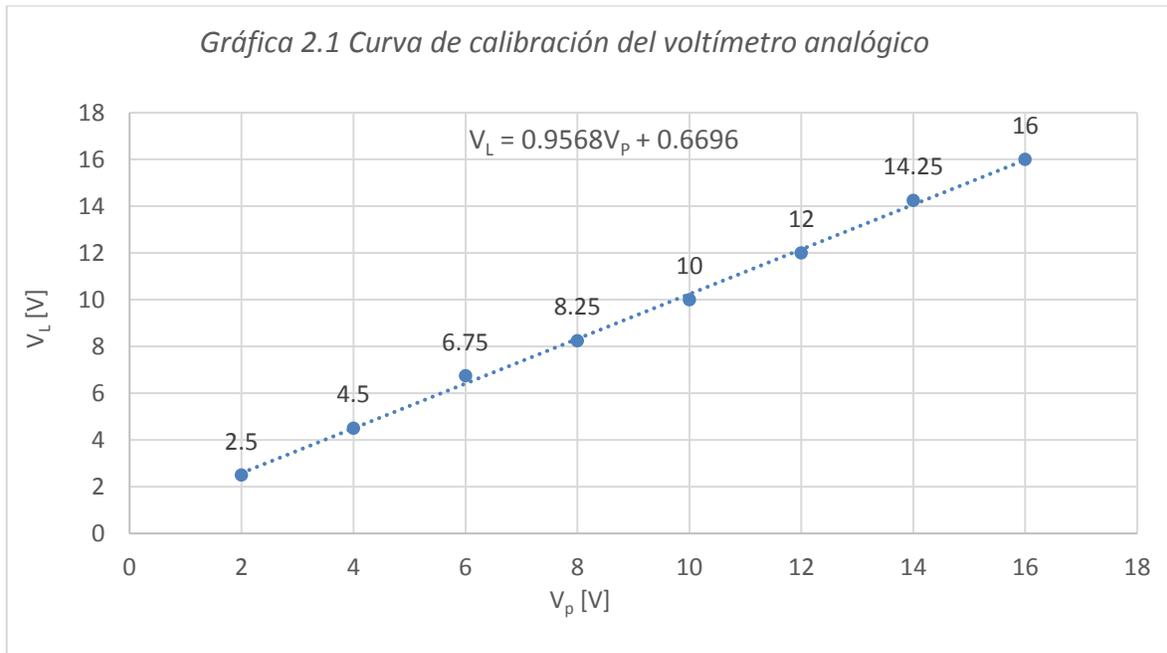
% P es el porcentaje de precisión

S_V es la desviación estándar

ΔV es el error estándar o incertidumbre

$\bar{V}_L \pm \Delta V$ es el valor más representativo con su incertidumbre

La curva de calibración en este caso es la representación gráfica de los valores leídos promedio V_L contra los valores patrón V_p .



Cabe resaltar que, el significado de la pendiente obtenida a través del método del mínimo de la suma de los cuadrados es la sensibilidad del instrumento y la ordenada al origen representa el error de calibración de dicho instrumento.

Bibliografía:

- I. QUIRANTES, Arturo. *Apuntes Homogeneidad dimensional*. Formato: .pdf. Disponible en: <<http://www.ugr.es/~aquiran/docencia/apuntes/Apuntes%20Homogeneidad%20dimensional.pdf>>.
- II. *Cálculo de incertidumbres*. Formato: .pdf. Disponible en: <<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/Geofis/practicas/errores.pdf>>.
- III. *Métodos de medición, prueba y colaboración*. Institución apasionada por la metrología. Disponible en: <<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-05-07-metodos-de-medicion.pdf>>.
- IV. ZEMANSKY, Mark W., SEARS, Francis W., et al. *Física universitaria con física moderna*. Volumen 2. Undécima edición. PEARSON Educación. México, 2005.
- V. AGUIRRE, Elizabeth, et al. Manual de prácticas de Laboratorio de Física Experimental. Disponible en: <<http://dcb.ingenieria.unam.mx/index.php/coordinaciones/fisica-quimica/fisica/fisica-experimental>>.