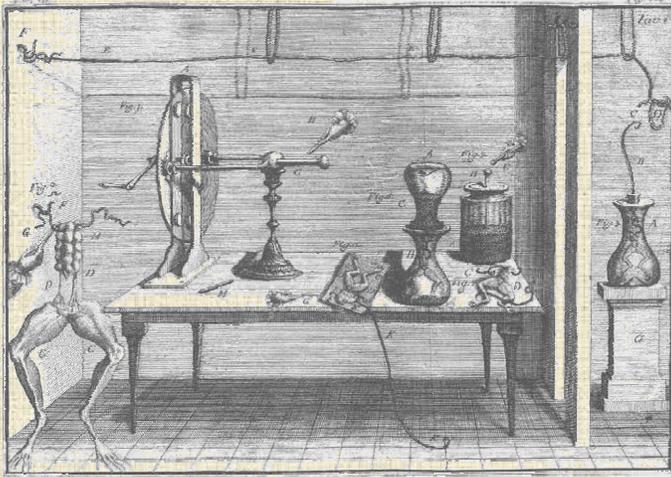


Universidad Tecnológica de Pereira

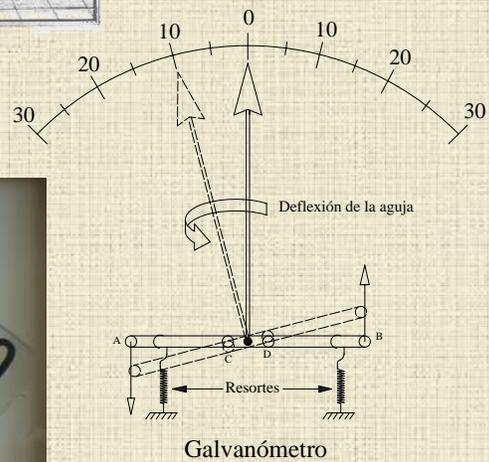
Física Experimental II

Ciclo I



Experimentos de primera generación con corriente eléctrica en músculo de rana (Galvani 1791)

Equipo de Medida



Galvanómetro

Carlos Arturo Holguín Tabares

Ms.C en Física Experimental

2008

Tabla de contenido

Certificación	2
Tabla de unidades del Sistema Internacional.....	3
Recomendaciones para los profesores y estudiantes de Laboratorio de física II.....	4
Programación de las prácticas de Laboratorio de Física II	5
Elementos de un informe de laboratorio de física.....	7
Introducción	8
Capitulo 1: Introducción al manejo de aparatos de medida	10
Capitulo 2: Verificación experimental de la ley de Ohm.....	24
Capitulo 3: Asociación de resistencia en serie y paralelo	36
Capitulo 4; Parámetros de un galvanómetro y construcción de un voltímetro	45
Capítulo 5: Construcción de un amperímetro y un ohmetro serie a partir de un galvanómetro	52
Bibliografía	62

Certificación

La sala de profesores del Departamento de Física de la Universidad Tecnológica de Pereira, en las reuniones de Departamento, oficiadas durante los días: agosto 29 y 12 de septiembre del año 2005 estudiaron y recomendaron el conjunto de guías que conforman este libro de laboratorio, reconocidos como programa oficial de la asignatura Laboratorio de Física II (se presenta el ciclo I), para acompañar la primera parte del curso teórico de Física II.

Tabla de unidades del Sistema Internacional

Potencia de 10	Prefijo	Valor	Símbolo
10^{-18}	atto	= 0,000 000 000 000 000 001	a
10^{-15}	femto	= 0,000 000 000 000 001	f
10^{-12}	pico	= 0,000 000 000 001	p
10^{-9}	nano	= 0,000 000 001	n
10^{-6}	micro	= 0,000 001	μ
10^{-3}	mili	= 0,001	m
10^{-2}	centi	= 0,01	c
10^{-1}	deci	= 0,1	d
10^0	UNIDAD		1
	→ Longitud	metro	<i>m</i>
	→ Masa	kilogramo	<i>kg</i>
	→ Tiempo	segundo	<i>s</i>
	→ Corriente eléctrica	ampere	<i>A</i>
	→ Resistencia eléctrica	Ohm	Ω
	→ Potencial eléctrico	volt	<i>V</i>
10^1	deca	= 10	da
10^2	hecto	= 100	h
10^3	kilo	= 1 000	k
10^6	mega	= 1 000 000	M
10^9	giga	= 1 000 000 000	G
10^{12}	tera	= 1 000 000 000 000	T
10^{15}	penta	= 1 000 000 000 000 000	P
10^{18}	exa	= 1 000 000 000 000 000 000	E

Recomendaciones para los profesores y estudiantes de Laboratorio de física II

El éxito en el desarrollo del laboratorio de Física II, depende en gran parte de promover entre los Profesores y los Estudiantes un conjunto de pasos sencillos, los cuales han sido probados durante varios años por el autor y otros profesores del Departamento de Física de la Universidad Tecnológica de Pereira, lo cual confirma su bondad, de esta manera se recomienda que, **el Docente de Laboratorio de Física II**, disponga al inicio de cada ciclo para su introducción de 2 horas (no opcional) y al comienzo de cada sesión de clase de 15 minutos para explicar los temas respectivos del capítulo correspondiente y evaluar las conductas de entrada de los estudiantes para cada práctica de laboratorio .

Igualmente preparar y presentar un fundamento conceptual en forma de clase magistral desarrollada por los docentes con el empleo de breves reseñas de tipo histórico, teórico, filosófico, anecdótico, de aplicación, descripción y funcionamiento de equipos, comportamiento de materiales, del análisis de los datos experimentales, o de cualquier otra naturaleza que sirva para ambientar el tema de la física experimental que va a desarrollarse durante el ciclo o la práctica particular correspondiente de laboratorio.

Interpretar correctamente que los objetivos son el conjunto de metas que se espera sean alcanzados por los estudiantes durante la ejecución de la práctica experimental, los cuales al final serán expresados en su informe, es decir cuando se supone han realizado y expresado, en el cuaderno de informes la discusión de aquellos resultados experimentales recopilados en el laboratorio y el análisis de los mismos.

Para la ejecución de cada capítulo de laboratorio, el equipo empleado según la práctica a realizar se describirá inequívocamente e indicará de la misma forma los dispositivos y componentes necesarios con sus características, los aparatos de medida, modo de operación, sus escalas y rangos, los valores nominales que proporciona, de ser posible debe auxiliarse con ejemplos sencillos de aplicación.

Los Estudiantes de Laboratorio de Física II, por su parte deben leer cuidadosamente cada capítulo del laboratorio correspondiente, antes de ingresar al laboratorio, lectura que exige un cuidado especial en el procedimiento conformado por un conjunto de instrucciones claras, precisas, sencillas y oportunamente dirigidas desde y por el profesor hacia los estudiantes quienes; poseedores éstos últimos de las conductas mínimas de entrada al tema de interés o de estudio, logradas con las consultas a través de la elaboración de los preinformes podrán seguir un normal desarrollo, de la práctica experimental, evitando además posibles accidentes a otros estudiantes, a ellos mismos y daños a los equipos de laboratorio. La explicación de cada experimento basado en la guía de laboratorio debe incluir: circuitos claros y tablas adecuadas para consignar los datos experimentales revisados previamente por el profesor, las cuales deben ser desprendidas de la guía para que sean incluidas en los informes finales; responder las preguntas de control dentro del desarrollo de la práctica como las de orientación para la presentación del informe final de laboratorio.

Se sugiere emplear de las 16 semanas del semestre: 2 para evaluación, es decir una por cada ciclo, 2 para prácticas introductorias de demostración realizadas por el respectivo profesor y las restantes 12 en sendas prácticas de laboratorio.

Programación de las prácticas de Laboratorio de Física II

Ciclo I

Capítulo 1: Introducción al manejo de aparatos de medida

Capítulo 2: Verificación experimental de la ley de Ohm

Capítulo 3: Asociación de resistencias en serie y paralelo

Capítulo 4: Parámetros de un galvanómetro y construcción de un voltímetro

Capítulo 5: Primera parte. Construcción de un amperímetro

Segunda parte. Construcción de un ohmetro serie

Se inicia el Laboratorio de Física II, con la introducción teórica-práctica realizada por el Profesor al primer ciclo en la primera semana (no opcional), igualmente se organiza a los alumnos en 6 subgrupos cada uno con 3 estudiantes, quienes serán distribuidos para trabajar en los 6 puestos de trabajo disponibles; allí, desde la semana siguiente todos los subgrupos de trabajo realizan la primera práctica experimental o capítulo 1 y continúan durante las semanas restantes con la segunda, tercera prácticas y así sucesivamente, según la propuesta de trabajo hasta agotar las primeras 6 experiencias, correspondiente a los primeros cinco capítulos.

Durante la primera clase magistral (cada docente empleará su sello personal), él provee la información teórico-práctica suficiente que permita a todos los estudiantes, familiarizarse con los conceptos de corriente eléctrica, señal de voltaje, carga dentro de un circuito, igualmente se le inicia en la lectura de circuitos eléctricos, identificando cada componentes con su respectivo símbolo y la presentación del ejemplar existente en el laboratorio.

Para el manejo de las fuentes de alimentación se indicará claramente los diferentes tipos de señal, la relación existente entre ellas, cual es la de mayor uso dentro de las prácticas que se va a desarrollar, particularmente en los circuitos de corriente continua DC. la importancia de respetar la polaridad en la conexión, las precauciones tanto para preservar los equipos como para el experimentador, etc.

Describir las características asociadas con los aparatos de medida sobre: diferencias entre equipos analógicos y digitales, manejo y lectura de sus escalas, rangos de medida, reporte correcto de las medidas suministradas, polaridad (para circuitos de DC.), puntos correctos de conexión acordes con la variable a medir, confiabilidad de una medida de acuerdo al equipo, forma de presentación de los valores registrados, símbolos aceptados y empleados en los diagramas y planos eléctricos, la aplicación específica de los aparatos de medida, las

precauciones en su uso e igualmente el manejo correcto del medidor, buscar ayuda si se tiene dudas {O'malley 1986;Ruiz de Lira 1982}.

Para las resistencias eléctricas del laboratorio (Reóstatos), es menester reconocer su símbolo dentro de un circuito en forma correcta y asociarla con la representación pictórica, diferenciar sus valores nominales de los medidos directamente con un óhmetro profesional o un puente de Wheastone; cuando se usa un valor fijo o si se requiere de un valor variable de resistencia, la imperiosa necesidad de **aislar o separar** una resistencia del circuito cuando se va a medir con un óhmetro, la chapa de características que la identifican y especifican los valores máximos de funcionamiento.

Finalmente ilustrar el montaje de circuitos o esquemas eléctricos, éste debe ser claro y además contener todas las conexiones y sus polaridades sin imprecisiones y así evitar errores por omisión o acciones incorrectas, se recomienda que el profesor lo construya paso a paso y luego invite a los subgrupos a construir los suyos bajo su supervisión y **NUNCA ENERGIZAR UN CIRCUITO SI PREVIAMENTE NO TIENE EL VISTO BUENO DEL PROFESOR O DEL MONITOR.**



Este símbolo empleado en las Guías de Laboratorio de Física II denota, **ALERTA CUIDADO, PRECAUCIÓN.**

Elementos de un informe de laboratorio de física

Los informes de cada laboratorio de Física II , deberán presentarlos los estudiantes a más tardar una semana después de realizada la práctica experimental en un cuaderno de notas de laboratorio, donde debe consignar toda la información necesaria, según la siguiente propuesta {Baird 1988a}.

Carátula - Portada - u Hoja De Presentación

1. Nombre de la institución.
2. Nombre de la facultad – sección – departamento.
3. Título ó nombre de la práctica experimental.
4. Fecha de ejecución.
5. Nombres de los integrantes del subgrupo que realizó la práctica.
6. Nombre del profesor del laboratorio a quien se le presenta el informe de la práctica.
7. Programas Académicos de los estudiantes que presentan el informe de laboratorio.

Cuerpo del Informe

0. Numerar todas las páginas del cuaderno de informes de laboratorio.
1. Índice: resumen del contenido debidamente paginado.
2. Introducción breve: comentarios originales sobre el tema objeto de la práctica, aportes históricos, anécdotas relacionadas con el tema.
3. Objetivos, estudiar y describir dentro del trabajo realizado, si surgen o existen objetivos adicionales, destacar aquellos que han sido identificados, localizados y logrados. Búsqueda y consideración de las competencias asociadas y derivadas del experimento.
4. Procedimiento: construir un diagrama de flujo sencillo con los pasos necesarios para la realización de la práctica (opcional).
5. Toma de datos experimentales organizados en tablas y comentarios alusivos al comportamiento de las variables estudiadas.
6. Elaboración de gráficas, circuitos, dibujos y diagramas, según se solicite en la guía o se requiera para expresar los resultados experimentales, una respuesta o clarificar un concepto.
7. Análisis crítico y científico de la información experimental, como parte final de la discusión de resultados.
8. Presentar tablas con las conversiones, análisis dimensional de las ecuaciones y al menos uno de los cálculos requeridos.
9. Solución de las preguntas formuladas en la guía de laboratorio para la práctica respectiva.
10. Conclusiones y recomendaciones.
11. Bibliografía.

Introducción

Este libro; laboratorio de física II ciclo I, pretende como texto, atender las prácticas pertinentes que acompañan los temas de la electricidad básica, recomendados para un curso teórico-práctico de física II ofrecidos para todos los programas académicos de pregrado de la Universidad Tecnológica de Pereira, incluye circuitos eléctricos sencillos con elementos básicos para corriente alterna AC y corriente continua DC. Se asigna prioridad a la actividad práctica desarrollada dentro del laboratorio por el estudiante; pero como actos responsables y conscientes tanto individuales como de grupos que apoyan su formación académica tomando como directriz y apoyo el material de laboratorio presentado, destacando el diseño de circuitos eléctricos con la identificación de las fallas más frecuentes que se presentan en los mismos.

Elementos considerados básicos:

- a. Diseños de circuitos eléctricos sencillos.
- b. Identificación de fallas frecuentes, para disminuir los errores cometidos por acción u omisión.
- c. Reconocer instrumentos de medidas eléctricos su empleo correcto diferenciación en corriente alterna y corriente continua.
- d. Expresar correctamente medidas directas e indirectas realizados en circuitos eléctricos.
- e. Emplear los métodos apropiados para expresar la incertidumbre en medidas eléctricas tomando como base la naturaleza análoga o digital del instrumento de medición.
- f. Identificación de los componentes pasivos en circuitos eléctricos destacando su funcionamiento desde la base conceptual de la física.

El libro parte desde el material clásico de los profesores Ricardo López y Carlos Alberto López A. el cual fue muy exitoso durante los años que fue empleado como texto guía y nutrió de manera importante este nuevo trabajo, recoge y recupera escrupulosamente las recomendaciones y aportes valiosos de profesores y colegas quienes por varios años han desarrollado los contenidos programáticos de la física II (Teoría) y el Laboratorio de Física II (prácticas experimentales) e igualmente los aportes presentados por los estudiantes, respetuosamente recogidos durante el desarrollo del laboratorio de física II {López et al. 1989}. La pretensión del autor está lejos de presentarlo como versión acabada o ser la mejor versión pero sí da, continuidad y acompañamiento al programa, respetando la actualidad académica y sirve como marco preliminar, de discusión para futuras ediciones más elaboradas que involucren un número mayor de experiencias, otras aplicaciones, nuevas tecnologías y sus actualizaciones u otras versiones modernas que permitan la interacción virtual ampliando las posibilidades de análisis de la información experimental o las simulaciones que se puedan proponer.

En la presentación definitiva se probó con numerosos formatos procesadores de texto editor de ecuaciones y esta última versión resultó ser el fruto de un prolongado trabajo el cual contó en su aplicación, a manera de grupo de control y para evaluar su bondad, la colaboración de muchos profesores durante varios años, quienes han contribuido

notablemente con nuevos criterios recomendaciones y sugerencias importante que han permitido un texto auto consistente básico.

Para el formato se cuidó de incluir, información teórica, partiendo de los conceptos básicos físicos de funcionamiento de equipos su operación reseñas históricas aplicaciones tecnológicas etc.

La intención de los preinformes, apunta a tender las conductas de entrada mínima a través de una lectura del estudiante para reforzar los conceptos físicos.

El ejercicio de la vida profesional de muchos egresados en su campo específico de desempeño les plantean nuevos retos, interpretación y comprensión de diversas situaciones concretas de diseño, seguridad, metrología, análisis de información experimental y otros factores, de tal manera que para la toma de decisiones evitando las más desafortunadas y acogiendo las de menor riesgo es perentorio una preparación académica conciente responsable y actualizada, para lo cual deberán de apropiarse técnicas de procedimiento, de procesamiento, fuentes de información confiable, empleo acorde con las operaciones del pensamiento y presentar por último sus respuestas como alternativa viable para atender y solucionar las responsabilidades de su cargo.

Para atender esta exigencia en las competencias respectivas de la parte experimental de la física II se presenta este libro laboratorio de física II ciclo I, como una contribución.

El autor expresa auténticos agradecimientos a todas las personas y compañeros de trabajo, quienes han contribuido desinteresadamente a la culminación de esta versión depurada de las Guías de Laboratorio de Física II, a ellos va mi eterno abrazo fraternal y mi compromiso académico permanente, a mi bella esposa, mi adorable unigénito y mi familia mi amor incondicional, como fuentes de inspiración.



Capítulo 1: Introducción al manejo de aparatos de medida

- Manejo de aparatos de medida.
- Identificación de componentes eléctricos de un circuito.
- Comparación entre los valores registrados por instrumentos de medidas eléctricas, uno análogo y otro digital.

:: OBJETIVOS [1.1]

- Identificar y distinguir los componentes eléctricos de un circuito.
- Leer e interpretar correctamente un esquema eléctrico.
- Instalar un circuito a la vista del esquema inequívocamente.
- Adquirir habilidad para leer y utilizar las diferentes escalas de un multímetro.
- Conectar correctamente un aparato de medida para medir intensidad de corriente en un circuito de corriente directa DC.
- Conectar correctamente un medidor de voltaje, para medir diferencias de potencial en circuitos de corriente continua.
- Medir resistencias eléctricas con un multímetro.

Esta práctica permite que el estudiante conozca instrumentos eléctricos de medida, se familiarice con ellos, establezca y distinga las características de los componentes básicos e igualmente entienda y trabaje con y a partir de un esquema ó plano eléctrico.

Además podrá aplicar una técnica sencilla para comparar los valores reportados por un instrumento análogo de medidas eléctricas, en un rango de escala determinado empleando como patrón un multímetro digital.

:: PREINFORME [1.2]

Discuta:

- El Concepto de Carga Eléctrica.
- ¿Qué es fuerza electromotriz *fem*?
- Explique el significado de diferencia de potencial y caída de potencial
- ¿Qué es una señal de corriente continua directa DC, una de corriente alterna AC y cuáles son sus diferencias?
- ¿Qué es un circuito eléctrico?

:: MATERIALES [1.3]

- Reóstatos Phywe de diferentes valores.
- Multímetro digital Fluke o Hi-Tech.
- Multímetros análogos Leybold.
- Fuente de alimentación de corriente directa DC y corriente alterna AC, Phywe.
- 10 Conductores.
- Recursos humanos.

:: MARCO TEÓRICO [1.4]

Componentes eléctricos de un circuito eléctrico [1.4.1]:

La magnitud que en física se ha llamado **carga eléctrica** se presenta ante los ojos del investigador como una propiedad intrínseca de ciertos componentes de la materia, más o menos en la misma forma como la **masa** parece algo intrínseco a todo lo que existe.

Para mover una carga es necesario localizarla en una diferencia de potencial o voltaje. Para crear esta diferencia de potencial se usan las pilas, llamadas genéricamente “fuentes de fuerza electromotriz $fem \rightarrow \mathcal{E}$ ”.

La unidad de diferencia de potencial en el Sistema Internacional es el volt y su símbolo es: V .

En todos los planos de circuitos eléctricos las fuentes de alimentación se indican con los siguientes símbolos, para una fuente de corriente continua de **valor fijo**, figura 1.1.a y para la fuente de alimentación de **valor variable** figura 1.1.b

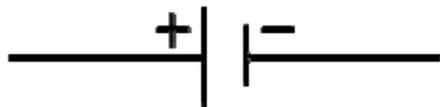


Figura 1.1.a



Figura 1.1.b

La línea más grande, marcada con el signo $+$ indica el punto de más alto potencial.

El paso de cargas (ó movimiento de electrones) por unidad de tiempo a través de una sección transversal de un conductor se llama corriente eléctrica, y su unidad de medida en el Sistema Internacional es el ampere y su símbolo es: A .

De la misma forma como la fricción y la viscosidad se oponen al movimiento de los cuerpos, dentro de los medios conductores se presenta una **oposición a los movimientos** de la carga eléctrica, efecto llamado resistencia eléctrica, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional es el ohm, y su símbolo es: Ω .

Cuando se quieren representar valores definidos de resistencia eléctrica en un circuito, se emplea el símbolo de la figura 1.2



Figura 1.2

En otros casos son necesarias resistencias variables o reóstatos, representados en los circuitos mediante los símbolos de las figuras 1.3.a y 1.3.b



Figura 1.3.a



Figura 1.3.b

Si la conexión del reóstato se realiza entre *a* y *b*, se estará tomando un valor fijo de resistencia; si es entre *a* y *c*, su valor es variable y depende de la posición del cursor *c* y su magnitud se mide con un multímetro, operando éste como óhmetro.

Un circuito eléctrico elemental se presenta esquemáticamente en la figura 1.4 En él los componentes están indicados por sus símbolos eléctricos y los conductores que van de un elemento a otro están representados por líneas rectas y continuas.

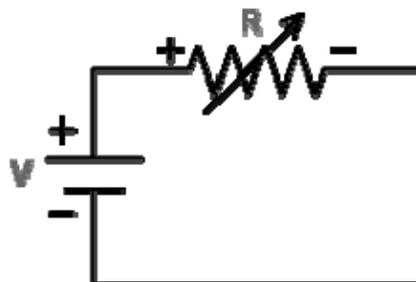


Figura 1.4

Aparatos de medida en un circuito eléctrico [1.4.2]:

Si se requiere medir la corriente eléctrica I en un circuito como el de la figura 1.4 debe insertarse un amperímetro y conectarlo tal como se indica en la figura 1.5



Es muy importante respetar la polaridad descrita en la figura 1.5 para el aparato de medida. Se entiende por polaridad la posición de los signos + y - que acompañan al símbolo $\text{---}(\text{A})\text{---}$ del amperímetro. Si se conecta el amperímetro en una forma diferente a la citada, puede causarse un daño grave al aparato.

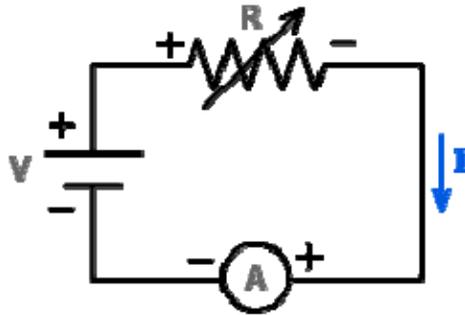


Figura 1.5

Este tipo de conexión en el cual la resistencia R y el amperímetro son atravesados por la misma corriente I , se llama conexión serie.

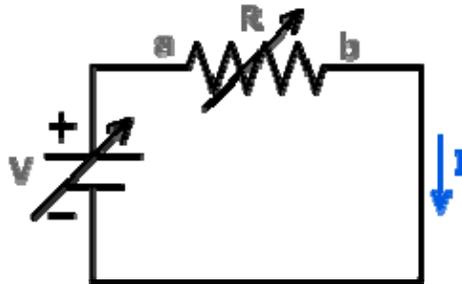


Figura 1.6

Si se requiere medir la diferencia de potencial entre los puntos a y b , donde se encuentra conectada la resistencia R (figura 1.6), debe recurrirse a un voltímetro $\text{---}(\text{V})\text{---}$ y conectarlo entre tales puntos según se indica en la figura 1.7

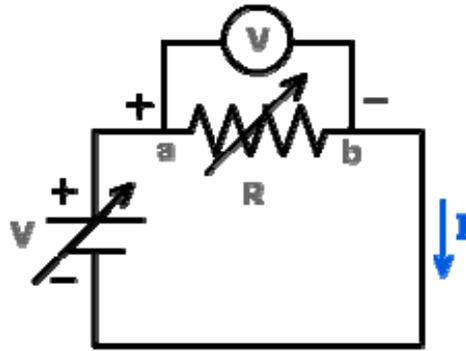


Figura 1.7



Es muy importante respetar la polaridad y el tipo de conexión mostrada en la figura 1.7 para el aparato de medida (Voltímetro).

Esta forma de conectar el voltímetro se llama conexión paralelo.
Conecte siempre un voltímetro en la forma indicada.

Características asociadas a un instrumento análogo de medidas eléctricas [1.4.3]:.

Las características fundamentales asociadas a instrumentos en relación con la calidad de la medida que proporcionan son: la exactitud, la sensibilidad, la constante del instrumento y la fidelidad, además sus correspondientes parámetros vienen definidos como {Mahecha 1992}:

- a. Rango de la escala escogida.
- b. Constante del instrumento.
- c. Sensibilidad, y
- d. Clase de exactitud.

- a. El rango de la escala x_m está determinada por la escala seleccionada y se expresa como la diferencia entre los valores de lectura máximo (x_{\max}) y mínimo (x_{\min}) de la escala es decir:

$$x_m = x_{\max} - x_{\min} \quad (1.1)$$

- b. La constante del instrumento C. Se define en términos de las características y la diferencia entre dos valores consecutivos, x' y x'' con $x'' > x'$, marcados en el instrumento con rayas y números, que cubren un intervalo x_u y su respectivo número de divisiones n_u correspondiente, es decir:

$$C = \frac{x_u}{n_u} = \frac{x'' - x'}{n_u} \quad (1.2)$$

Para expresar un valor x de una medida, si el investigador conoce la constante C del instrumento, se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$x = x' + C \times r,$$

con r número de divisiones que hay entre x' y la posición de la aguja indicadora, como se muestra en la figura 1.8.a, donde $x' = I'$.

- c. En los instrumentos de medidas eléctricas (análogos), la sensibilidad S es inversamente proporcional a la constante C del instrumento.

$$\text{O sea } S = \frac{1}{C} = \frac{n_u}{x_u} = \frac{n_u}{x'' - x'} \quad (1.3)$$

- d. La exactitud K de muchos instrumentos eléctricos de medida está asociada con los diferentes rangos que posee, es decir cada rango de escala tiene su respectivo error, así el error instrumental $\Delta''x$ para un equipo eléctrico con diferentes escalas, está definido como “LA MAYOR SEPARACIÓN ENTRE EL VALOR MEDIDO DE UNA CANTIDAD CON EL INSTRUMENTO DADO (LECTURA) Y EL VALOR MEDIDO CON UN ETALON (PATRON DE MEDIDA). $\Delta''x$ ES EL ERROR INSTRUMENTAL”. Si este error se multiplica por 100 y se divide por el rango de la escala del instrumento x_m , se obtiene la CLASE DE EXACTITUD DEL INSTRUMENTO K en porcentaje.

$$K = \frac{100 \times \Delta''x}{x_m} \quad (1.4)$$

Para determinar el error absoluto total Δx en la medida de una cantidad, se considera además del error instrumental $\Delta''x$, el error de lectura $\Delta'x$, siendo casi en general que $\Delta''x \gg \Delta'x$, donde la suma del error instrumental y el error de lectura proporcionan el error absoluto total así:

$$\Delta x = \Delta'x + \Delta''x \quad (1.5)$$

con el error de lectura definido como $\Delta'x = \frac{C}{n_u}$

Ejemplo: 1.1 Tómese como instrumento análogo de medidas eléctricas el multímetro Leybold del Laboratorio de Física II para medir intensidad de corriente en la escala visual negra desde 0 hasta 10 y rango de medidas de 0,0 – 0,01 ampere, o en forma equivalente 0,0 - 10,0 mA (figuras 1.8.a y 1.8.b).

- a. El rango de la escala será según la ecuación 1.1 y la figura 1.8.b $x_m = I_m = I_{\text{máx}} - I_{\text{mín}}$

$$I_m = (10,0 - 0,0) \text{ mA}$$

$$I_m = 10,0 \text{ mA} \rightarrow I_m = 0,010 \text{ A} . \text{ Rango de la escala escogida}$$

- b. Constante C, al tomar $x' = I' = 2$; $x'' = I'' = 4$ y $n_u = 20$ divisiones como aparece en la figura 8.1.a y aplicando la ecuación 1.2 se tiene: $C = 0,1 \text{ mA} . \rightarrow C = 0,0001 \text{ A}$

- c. Sensibilidad $S = \frac{1}{C} = \frac{100 \text{ divis.}}{0,1 \text{ mA}}$ al emplear la ecuación 1.3



Figura 1.8.a

- d. Según el fabricante la clase de exactitud del miliamperímetro es $K = 1,5$ y posee rayas numeradas cada 2 mA con 20 divisiones entre ellas.



Figura 1.8.b

Proceso para reportar una medida realizada con un instrumento análogo [1.4.4.1]

Determinar el valor de la intensidad de corriente cuando la aguja se halla en la posición de la figura 1.8.a

El error instrumental $\Delta''I$, según la ecuación 1.4 es $\Delta''x = \Delta''I = \frac{K \times I_m}{100}$

$$\Delta''I = 0,15mA$$

El error de lectura $\Delta'I$ es $\rightarrow \Delta'I = \frac{C}{20} = 0,005mA$ donde comparándolos se evidencia que $\Delta'I \ll \Delta''I$

↑

de divisiones entre marcas con número.

Finalmente el error total en este rango de escala para el miliamperímetro, conforme con la ecuación 1.5 es: $\Delta I = \Delta'I + \Delta''I \rightarrow \Delta I = \frac{C}{20} + \frac{k \times I_m}{100} \Rightarrow \Delta I \approx 0,16mA$

Por lo que la lectura correcta para la figura 1.8.a se expresa como se observa a continuación:

$$I = I' + C \times r = 2mA + 0,1mA \times 5 = 2,5mA \text{ y finalmente se declara el resultado de la medida y su incertidumbre, incluyendo el error absoluto total así :}$$

$$I = 2,5mA \pm 0,16mA .$$

Proceso para expresar una medida realizada con un instrumento digital [1.4.4.2]

El reporte de la medición de una variable realizada con un instrumento de medida digital como el multiamperímetro fluke del laboratorio de física II se logra escribiendo la medida reportada por el dispositivo \pm la incertidumbre en la medida conforme indica el manual de funcionamiento suministrado por la casa fabricante cuyas características aparecen descritas a continuación {Fluke 1991}:

Función	Gama	Resolución	Precisión
Voltímetro DC	3,200 V	0,001 V	$\pm(0,3\%+1)$
	32,00 V	0,01 V	$\pm(0,3\%+1)$
	320,0 V	0,1 V	$\pm(0,3\%+1)$

Las especificaciones de precisión se dan como:

$$\pm ([\% \text{ de lectura}] + [\text{Cantidad de dígitos menos significativos}])$$

Función	Gama	Resolución	Precisión
Ω	320,0 Ω	0,1 Ω	$\pm(0,5\% + 2)$
	3,200 k Ω	0,001 k Ω	$\pm(0,5\% + 1)$
	320,0 k Ω	0,01 k Ω	$\pm(0,5\% + 1)$

Ejemplo: 1.2

El valor registrado por un óhmetro fluke digital de una resistencia es de 4,48 k Ω de tal forma que la resistencia se reporta así:

$$R = \text{Medida registrada por el óhmetro} \pm (0,5\% + 1)$$

Para el valor registrado anteriormente la medida se expresa de la siguiente manera:

$$R = 4,48 \text{ k}\Omega \pm 0,0224 + 0,01$$

y finalmente $R = 4,48 \text{ k}\Omega \pm 0,03 \text{ k}\Omega$

:: PROCEDIMIENTO [1.5]**Manejo de componentes y equipos para mediciones eléctricas [1.5.1]:.**

- a. Instale el circuito de la figura 1.9

Donde: V es una fuente Phywe de corriente directa, los signos $+$ y $-$ corresponden a los bornes positivo y negativo que tiene la fuente en la escala cuyo rango va desde 0,0 hasta 20,0 volt de corriente continua. R es un reóstato de 330 Ω de valor nominal conectado como resistencia variable, Médala con el óhmetro y consigne su valor en la tabla 1.1 donde: $\text{---}\text{A}\text{---}$ y $\text{---}\text{V}\text{---}$ son los medidores de corriente y voltaje respectivamente y S un interruptor inicialmente abierto.

- b. Mueva con cuidado el dial de la fuente de la figura 1.9 hasta que el voltímetro señale 5,0 volt ó un valor cercano en la escala de corriente directa (símbolo: =). Desplace el cursor del reóstato de tal manera que empleé su máximo valor. Cierre el interruptor S .



Seleccione la escala más adecuada para los medidores. Empiece por la más alta y vaya en sentido decreciente, hasta llegar a una escala donde la aguja ocupe una posición alrededor del punto de media escala.

Anote las lecturas de los medidores en la tabla 1.1

- c. Repita el procedimiento del literal b desplazando el cursor del reóstato hasta que abarque $\frac{4}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{4}$ y $\frac{1}{4}$ de su longitud plena, no olvide medir la resistencia en cada caso y completar la tabla de datos 1.1 para 5,0 volt, como alimentación en la fuente.

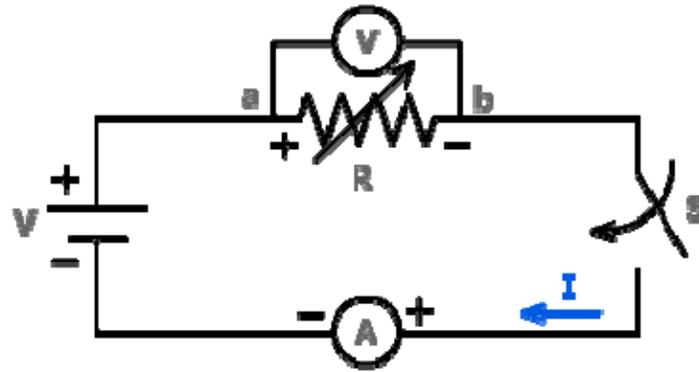


Figura 1.9

FUENTE	REÓSTATO (RESISTENCIA)		AMPERÍMETRO	
	LONGITUD APROXIMADA	MEDIDA CON ÓHMETRO (Ω)	I (A)	RANGO DE ESCALA SELECCIONADO I_m
V = 5,0 V	4/4			
	3/4			
	2/4			
	1/4			
V = 10,0 V	4/4			
	3/4			
	2/4			
	1/4			

Tabla 1.1

d. Mueva el dial de la fuente de la figura 1.9 hasta que señale 10,0 volt y repita el procedimiento descrito en los literales b y c, llene la tabla 1.1

Para determinar el rango de la escala, emplee la ecuación 1.1 del numeral [1.4.3.]



El símbolo que aparece en la figura 1.9 identificado con la letra *R*, es equivalente a la representación de la figura 1.3.a ó 1.3.b, cuando la conexión está entre los terminales variables *a* y *c*.

Dado que el terminal *b* no está conectado, puede renombrarse el terminal *c* con la letra *b*.

Comparación entre las medidas registradas por un voltímetro Leybold (análogo) en la escala de 10 V y las proporcionadas por un voltímetro digital [1.5.2]:.

a. Instalar el circuito de la figura 1.10

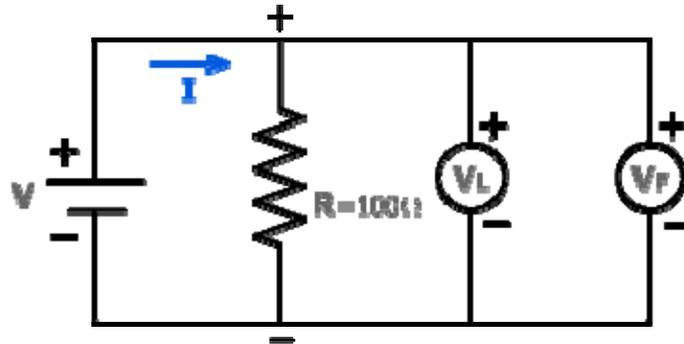


Figura 1.10

b. Desde el dial de la fuente varíe la alimentación partiendo de cero (0,0 V), con incrementos de 1,0 volt hasta marcar en el voltímetro patrón (Fluke) 9,0 V o un valor cercano y consigne los datos de los dos voltímetros en la tabla 1.2



De las lecturas en el voltímetro patrón (Fluke) no considere el dígito inestable que aparece en la pantalla.

c. Realice ahora las lecturas desde el voltímetro Leybold, empezando en 10,0 V, luego 9,5 V y a partir de este valor en pasos decrecientes de 1,0 volt hasta 0,5 V y complete la tabla 1.2

:: ANÁLISIS Y PREGUNTAS [1.6]

- Discutir el comportamiento de la corriente en los circuitos del numeral [1.5.1] a medida que cambia R .
- Explicar la relación existente entre la intensidad de corriente y los diferentes valores de R al duplicarse el voltaje en la alimentación.
- Calcular el rango de la escala seleccionada V_m empleando la ecuación 1.1 y comentarlo.
- Calcule el error absoluto en cada par de medidas tomadas en el numeral [1.5.2] y llene la columna respectiva de la tabla 1.2 e igualmente calcule el error instrumental y regístrelos en la respectiva columna de la misma tabla.

- e. Analizar las diferencias entre datos suministrados por los voltímetros Fluke y Leybold registrados en la tabla 1.2 ¿A qué se podrían atribuir tales diferencias? ¿Existe alguna variación si la toma de datos es creciente o decreciente?

Rango 0,0 ... 10,0 V.

Tolerancia 0,15

Clase k = 1,5

Voltímetro Fluke (Digital) PATRON (V)	Voltímetro LEYBOLD (ANÁLOGO) LECTURA (V)	ERROR ABSOLUTO LECTURA-PATRON (V)	ERROR INSTRUMENTAL ΔV RESPECTO AL RANGO $\frac{\text{LECTURA} - \text{PATRON}}{\text{RANGO}} \times 100$
1,			
2,			
3,			
4,			
5,			
6,			
7,			
8,			
9,			
	10,0		
	9,5		
	8,5		
	7,5		
	6,5		
	5,5		
	4,5		
	3,5		
	2,5		
	1,5		
	0,5		

Tabla 1.2

- f. Justificar por qué **es o no confiable** el voltímetro Leybold como instrumento de medida.
- g. Asociar la columna derecha de la tabla 1.2 con la ecuación 1.4 del error instrumental ΔV ¿que concluye?
- h. Exprese medidas de voltaje e intensidad de corriente considerando lecturas que suministra el instrumento **análogo** y su correspondiente error absoluto total, empleando el procedimiento descrito en el numeral [1.4.3] literales a, b, c y d; auxíliese con el ejemplo 1.1 y el numeral [1.4.4.1].
- i. Exprese medidas de voltaje y resistencia considerando la lectura que suministra el instrumento **digital** y su correspondiente error absoluto; se recomienda utilizar la información que aparece en la hoja “Especificaciones de instrumentos de medida usados en el laboratorio de Física II”, siguiendo el proceso descrito en el numeral [1.4.4.2].
- j. Mencione aplicaciones de señales eléctricas de corriente alterna y corriente directa.

VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA LEY DE OHM

Capítulo 2

**Capítulo 2: Verificación experimental de la ley de Ohm****:: OBJETIVOS [2.1]**

- Comprobar experimentalmente la ley de Ohm.
- Analizar las diferencias existentes entre elementos lineales (óhmicos) y no lineales (no óhmicos).
- Aplicar técnicas de análisis gráfico y ajuste de curvas a los datos obtenidos en el laboratorio.
- Expresar correctamente la incertidumbre en medidas eléctricas.

A través de esta práctica experimental, el estudiante podrá verificar la ley de Ohm, identificará y diferenciará comportamientos lineales y no lineales que presentan elementos de circuitos eléctricos y además aplicará técnicas de análisis sobre datos experimentales, discutidas en el laboratorio de física I.

:: PREINFORME [2.2]

- Consulte y explique los conceptos de energía potencial gravitacional; energía potencial eléctrica, y explicar su analogía.
- Explique ¿que es? potencial gravitacional; potencial eléctrico y discutir la analogía asociada a estos conceptos físicos.
- Expresar el concepto de resistencia eléctrica (R) como función de la longitud (L), el diámetro (ϕ) del conductor e igualmente como función de la resistividad del material (ρ) de que está construida.

:: EQUIPOS Y MATERIALES [2.3]

- Reóstatos 100Ω ó 330Ω .
- Multímetro digital Fluke o Hi- Tech.
- Multímetro análogo Leybold.
- Fuente de alimentación de corriente directa DC variable Phywe.
- 10 conductores.

:: MARCO TEÓRICO [2.4]

La ley de Ohm [2.4.1]:.

La ley de Ohm establece que, a una temperatura dada, existe una proporcionalidad directa entre la diferencia de potencial V aplicada entre los extremos de una resistencia R y la intensidad de corriente I que circula por dicho conductor. La relación matemática que expresa la ley de Ohm, fue descubierta y demostrada por el físico alemán Georg Simon Ohm en 1827 y la podemos escribir como:

$$V = I \times R \quad (2.1)$$

Donde R representa la resistencia del conductor, que se mide en ohm Ω , siempre que la diferencia de potencial V se mida en volt y la corriente I en ampere A .

La ley de Ohm no es una propiedad general de la materia, ya que no todas las sustancias y dispositivos la obedecen. Una sustancia que se comporta de acuerdo con la ley de Ohm, recibe el nombre de “conductor óhmico” o “conductor lineal”; en caso contrario, el conductor se denomina “no lineal” {Fishbane et al. 1994; Sears et al. 2004}.

Mediante el montaje del circuito de la figura 2.1 se puede verificar si es lineal o no la resistencia R en dicho circuito.

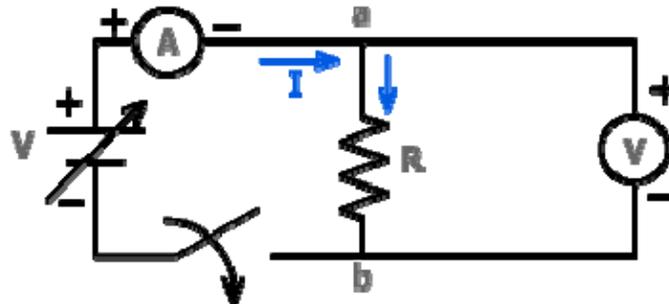


Figura 2.1

Cálculo de la incertidumbre total de una variable eléctrica [2.4.2]:

El Cálculo diferencial ofrece una simplificación considerable para calcular la incertidumbre δz para una función Z de varias variables {Baird 1988c; Holman 1984b}.

$$\text{Por ejemplo Si } Z = f(x, y) \quad (2.2)$$

Se tendrá entonces que para calcular la incertidumbre $\delta z \equiv \Delta z$, se toma como apropiada la diferencial exacta (diferencial total).

$$\text{Así } dz = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy \quad (2.3)$$

Se toma esta diferencial exacta y se trata por diferencias finitas δz , que se pueden calcular a partir de las incertidumbres δx y δy , así:

$$\delta z = \frac{\partial f}{\partial x} \delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \delta y \quad (2.4. a)$$

O su forma equivalente:

$$\Delta z = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \quad (2.4. b)$$

$$\text{donde: } \delta z \equiv \Delta z \quad ; \quad \delta x \equiv \Delta x \quad ; \quad \delta y \equiv \Delta y \quad (2.4. c)$$

La aplicación de esta metodología se visualiza mejor a través del siguiente caso.

Ejemplo: 2.1

La diferencia de potencial a través de una resistencia es $V = (9,7 \pm 0,1)$ volt y la intensidad de corriente es $I = (1,2 \pm 0,1)$ ampere, se ha expresado las respectivas incertidumbres $\Delta V = 0.1$ volt y $\Delta I = 0.1$ ampere, asociadas a cada medida. Los cuales serán empleados más adelante según la ecuación 2.4.c. El valor de la resistencia según la ley de Ohm al aplicar la ecuación (2.1) será:

$$R = \frac{V}{I} \text{ es decir } R = 8,08 \Omega$$

¿Cómo se calcula la incertidumbre absoluta, asociada a éste valor de resistencia?

Solución:

Sobre la ecuación (2.1) se aplica la ecuación (2.4.a), para evaluar las derivadas parciales de la función $R(V, I)$.

$$\text{Así } R = \frac{V}{I} \Rightarrow \delta R = \left| \frac{\partial R}{\partial V} \right| \delta V + \left| \frac{\partial R}{\partial I} \right| \delta I$$

Resultado después de calcular las derivadas y aplicando (2.4.c)

$$\text{Se tiene: } \Delta R = \left(\frac{1}{I} \right) \Delta V + \left(\frac{V}{I^2} \right) \Delta I$$

En esta ecuación se reemplazan los valores pertinentes que proporcionan el resultado: $\Delta R = 0,75 \Omega$.

$$\begin{aligned} \text{Y aplicando la técnica de redondeo de datos experimentales} \quad & R = 8,08\Omega \sim 8,1\Omega \\ & \Delta R = 0,75\Omega \sim 0,8\Omega \end{aligned}$$

Ahora con la anterior información, finalmente se declara el resultado de la medida y su respectiva incertidumbre absoluta ΔR así:

$$\begin{aligned} \text{Valor de Resistencia} &= R \pm \Delta R \\ &= (8,1 \pm 0,8) \Omega. \end{aligned}$$

Nota: Otra forma alterna de expresar la incertidumbre absoluta para una función de varias variables viene dada.

$$\text{Por la expresión: } \frac{\delta R}{R} = \frac{\delta V}{V} + \frac{\delta I}{I} \quad (2.5.a)$$

$$\text{o en forma equivalente } \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} \quad (2.5.b)$$

:: PROCEDIMIENTO [2.5]

Estudio de elementos óhmicos [2.5.1]:.

Para instalar el circuito de la figura 2.2:

- Seleccione un reóstato de 100Ω ó 300Ω de valor nominal de resistencia y luego médala con el óhmetro Fluke y consigne su valor, en la parte superior externa de la tabla 2.1
- En el circuito de la figura 2.2 **asegúrese de la correcta conexión de los equipos de medida considerando su polaridad y la escala adecuada de trabajo.**

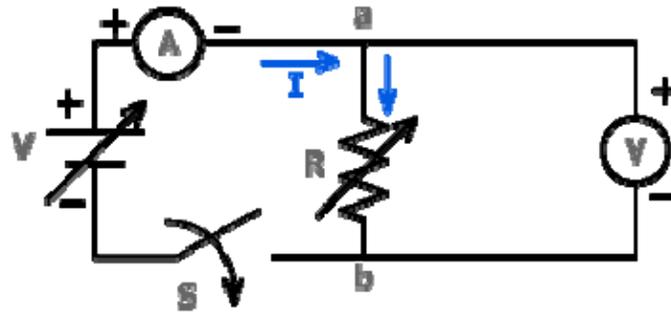


Figura 2.2

- c. **Cuando encienda la fuente inicialmente, este seguro de que marca el valor mínimo**, luego desde su dial aumente la tensión de volt en volt a partir de 1,0 volt o un valor cercano (controle la correcta ejecución de este paso anotando las lecturas correspondientes del voltímetro), hasta llegar a 10,0 volt y luego en forma descendente, desde 9,5 volt disminuya hasta regresar a cero volt. Tome también las lecturas respectivas en el amperímetro y consigne los datos en la tabla 2.1

Amperímetro $I_m = \underline{\hspace{2cm}}$

Rango de escala:

Voltímetro $V_m = \underline{\hspace{2cm}}$

$R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ valor medido (Fluke)

V(V)	I(A)	V(V)	I(A)
1,		9,5	
2,		8,5	
3,		7,5	
4,		6,5	
5,		5,5	
6,		4,5	
7,		3,5	
8,		2,5	
9,		1,5	
10,		0,	

Tabla 2.1



No invierta demasiado tiempo ajustando la fuente de alimentación hasta que le proporcione exactamente 1,0 volt puede emplear valores cercanos y completar la tabla con las cantidades respectivas.



El reóstato de 100 Ω ó 330 Ω instalado entre los terminales *a* y *b*, según la figura 2.2, debe medirse con el óhmetro profesional y luego conectarse entre los bornes fijos.

Estudio de un elemento óhmico como variación de la figura 2.2

En el circuito de la figura 2.2 instale la siguiente variación: el reóstato situado entre los puntos *a* y *b*, debe ser conectado entre los terminales variables y el cursor en una posición intermedia, mida el nuevo valor de *R* con el óhmetro y repita el procedimiento descrito en el numeral [2.5.1] literal c y llene la tabla 2.2

Amperímetro $I_m =$ _____

Rango de escala:

Voltímetro $V_m =$ _____

$R =$ _____ Ω valor medido (Fluke)

V(V)	I(A)	V(V)	I(A)
1,		9,5	
2,		8,5	
3,		7,5	
4,		6,5	
5,		5,5	
6,		4,5	
7,		3,5	
8,		2,5	
9,		1,5	
10,		0,	

Tabla 2.2

Estudio de un elemento no óhmico [2.5.2]:.

- a. Instale el circuito de la figura 2.3

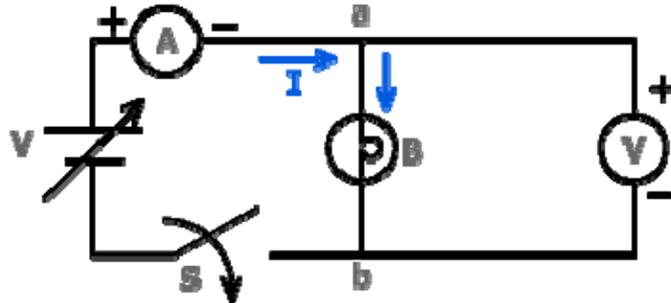


Figura 2.3

El elemento conectado ahora entre los puntos *a* y *b*, es un bombillo *B* que tiene unas especificaciones suministradas por el fabricante las cuales **NO DEBEN SER SOBREPASADAS**.

- b. Mida la resistencia de la lámpara antes de insertarla en el circuito.



Cambiar la escala del amperímetro a una de mayor valor para su protección.

- c. Repita el procedimiento del numeral [2.5.1] literal c y llene la tabla 2.3

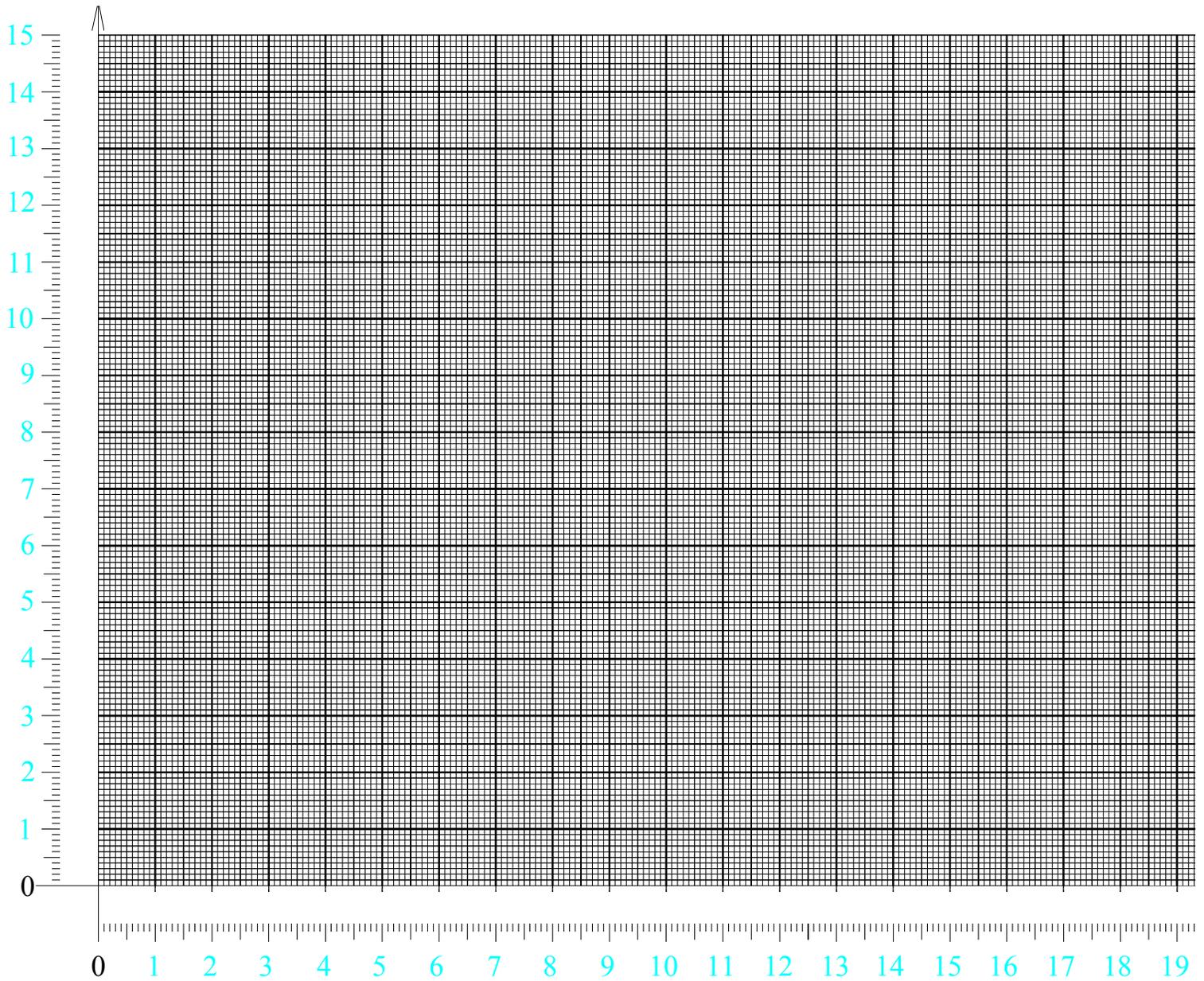
$R = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$ valor medido (Fluke) sin instalar

V(V)	I(A)	V(V)	I(A)
1,		9,5	
2,		8,5	
3,		7,5	
4,		6,5	
5,		5,5	
6,		4,5	
7,		3,5	
8,		2,5	
9,		1,5	
10,		0,	

Tabla 2.3

A continuación se presentan dos métodos diferentes para construir las relaciones que pueden existir entre dos variables, la primera a través del análisis gráfico, posteriormente regresión lineal y regresión no lineal.

Papel milimetrado para construir las gráficas V vs I correspondientes con la ley de Ohm.



Si la gráfica obtenida es una línea recta, se puede establecer una correspondencia lineal entre las dos variables y expresar que el voltaje V es directamente proporcional a la intensidad de corriente I , lo cual se representa así $V \propto I$.

Realizar el correspondiente análisis gráfico con los datos experimentales de su laboratorio para deducir la ley de Ohm.

Tablas explicativas para la obtención de ajuste de curvas mediante el método de regresión lineal o mínimos cuadrados para construir la ecuación que relaciona las variables V e I .

REGRESIÓN LINEAL O AJUSTE POR MINIMOS CUADRADOS

Dado un conjunto de valores experimentales, para hallar el coeficiente a y el intercepto desde el origen de coordenadas b , se realizan primero los cálculos indicados en las casillas superior e inferior de la tabla 2.4. Posteriormente resuelve las ecuaciones pertinentes.

Medición No	X	Y	X^2	$X \times Y$
1	3,25	0,50		
2	3,50	1,00		
3	3,75	1,47		
4	4,00	1,95		
5	4,25	2,45		
6	4,45	2,90		
7	4,75	3,45		
8	4,95	3,90		
9	5,20	4,40		
10	5,45	4,90		
	$\sum X =$	$\sum Y =$	$\sum X^2 =$	$\sum X \times Y =$

Tabla 2.4

$$a = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad b = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$Y = aX + b$$

ECUACION DE LA LINEA DE MEJOR AJUSTE

Ejercicios tipos de aplicación:

En la siguiente tabla 2.5 ha de encontrar en las primeras dos columnas datos de una experiencia donde se midió la deformación $X(m)$ de un resorte que es sometido a una fuerza de perturbación $F(N)$ {Baird 1988b; Holman 1984a}.

En las otras dos columnas de la derecha se presentan datos experimentales obtenidos del laboratorio de la ley de Ohm.

$X (m)$	$F (N)$	$V (volt)$	$I (ampere)$
3,25	0,50	1,0	0,0030
3,50	1,00	1,5	0,0045
3,75	1,47	2,0	0,0061
4,00	1,95	2,5	0,0076
4,25	2,45	3,0	0,0091
4,45	2,90	3,5	0,0106
4,75	3,45	4,0	0,0121
4,95	3,90	4,5	0,0136
5,20	4,40	5,0	0,0152
5,45	4,90	6,0	0,0182

Tabla 2.5

REGRESION NO LINEAL

Conjunto de valores de las variables x , y de un experimento arbitrario que no reproducen una línea recta, deben calcularse las cantidades k y b , realizando primero las operaciones indicadas en las casillas superior e inferior de la tabla 2.6 y posteriormente resolviendo las ecuaciones correspondientes.

Valores a trabajar en: →	Papel Log-Log		Papel Milimetrado		X^2	$X \times Y$
	x	y	$X = \ln x$	$Y = \ln y$		
Medida No						
1	1.50	2.45				
2	1.30	2.30				
3	1.10	2.10				
4	1.00	2.00				
5	0.90	1.90				
6	0.80	1.80				
7	0.70	1.70				
8	0.50	1.40				
9	0.45	1.30				
10	0.30	1.10				
			$\sum X =$	$\sum Y =$	$\sum X^2 =$	$\sum X \times Y =$

Tabla 2.6

$$a = \frac{n \sum X \times Y - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$b = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum X \times Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$y = kx^b$$

→ Calcular primero → $k = e^a$

Altura	Período
<i>L(m)</i>	<i>T(s)</i>
1,50	2,45
1,30	2,30
1,10	2,10
1,00	2,00
0,90	1,90
0,80	1,80
0,70	1,70
0,50	1,40
0,45	1,30
0,30	1,10

Tabla 2.7

Volumen	Presión
<i>V(ml)</i>	<i>P(pa)</i>
0,10	0,017
0,40	0,413
0,70	1,497
0,90	2,668
1,10	4,233
1,30	6,217
1,50	8,640
1,70	11,522
1,90	14,880
2,10	18,732

Tabla 2.8

Para construir las ecuaciones se recomiendan las siguientes correspondencias entre las variables de la tabla 2.7 usted elige las de la tabla 2.8 {Baird 1988b}.

Tomar $x = L (m)$
 $y = T (s)$

Corresponder $x = \dots\dots\dots$
 $y = \dots\dots\dots$

Al resolver las ecuaciones pertinentes se obtendrán los valores de los coeficientes y exponentes respectivos.

Ecuación 1 $a_1 = \dots$
 $b_1 = \dots$
 $k_1 = \dots$

Ecuación 2 $a_2 = \dots$
 $b_2 = \dots$
 $k_2 = \dots$

Realizar análisis dimensional para todas las cantidades.



Capítulo 3: Asociación de resistencia en serie y paralelo

:: OBJETIVOS [3.1]

- Verificar que la resistencia equivalente a una asociación de resistencias en serie se obtiene sumando aritméticamente las resistencias conectadas.
- Verificar que la resistencia equivalente a una asociación de resistencias en paralelo se obtiene tomando el inverso de la suma de los inversos de las resistencias conectadas.
- Comprobar que la suma de las caídas de tensión en cada una de las resistencias de un circuito serie es igual al ascenso de tensión en la fuente.
- Comprobar que la suma algebraica de las intensidades de corriente que llegan a un punto común del circuito es cero.

:: PREINFORME [3.2]

- Dé el significado de la Ley de Ohm en términos de la densidad de corriente y el campo eléctrico.
- Explique el concepto de diferencia de potencial en los terminales de una resistencia.
- Realice el análisis dimensional de las ecuaciones 3.6 y 3.7
- Estudie y discuta el comportamiento de las corrientes eléctricas que fluyen desde y hacia un nodo en un circuito eléctrico.

:: EQUIPOS Y MATERIALES [3.3]

- Reóstatos Phywe, valores nominales de 100Ω , 330Ω , $3\ 300\Omega$ ó $10\ 000\Omega$.
- Multímetro Digital Fluke o Hi-Tech.
- Amperímetros análogos Pasco o Phywe.
- Fuente de alimentación 0...20 V DC.
- 10 Conductores.

:: MARCO TEÓRICO [3.4]

Asociación de resistencias en serie[3.4.1] :

Un conjunto de n resistencias conectadas una a continuación de la otra de tal manera que la corriente circule por todas ellas a través de un único camino, forman una asociación de resistencias en serie, tal como lo indica la figura 3.1 {O'malley 1986;Ruiz de Lira 1982}.

Se nota que

$$V_{o-n} = V_{o-1} + V_{1-2} + \dots + V_{n-1,n} \quad (3.1)$$

De acuerdo con la ley de Ohm, los términos del lado derecho de la anterior ecuación tienen la siguiente equivalencia:

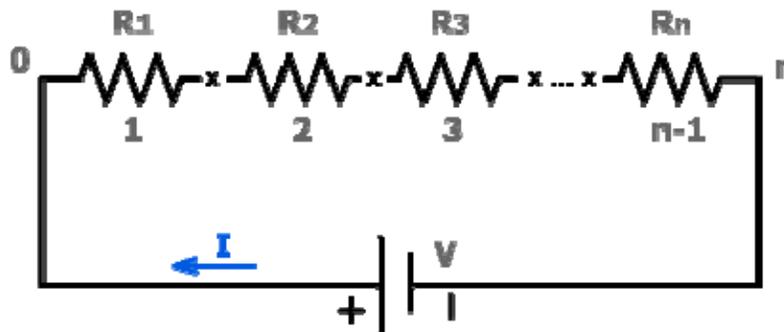


Figura 3.1

$$V_{o-n} = I \times R_1 + I \times R_2 + \dots + I \times R_n \quad (3.2)$$

$$V_{o-n} = I \times (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (3.3)$$

$$V_{o-n} = I \times \sum_{i=1}^n R_i \quad (3.4)$$

Donde I es la corriente única que circula por la asociación de resistencias en serie y $R_1, R_2 \dots R_n$ son las n resistencias conectadas en serie.

Dado que $V_{o-n} + V_{n-o} = V_{o-o} = V_o - V_o = 0 \text{ Volt}$ y

$V_{o-n} = V$, entonces

$$V = I \times \sum_{i=1}^n R_i \quad (3.5)$$

El término $\sum_{i=1}^n R_i$ Tiene dimensiones de resistencia y es conveniente llamarlo **resistencia equivalente serie** R_{eq} , por lo tanto $V = I \times R_{eq}$, que atendiendo a la ley de Ohm puede ser interpretado a través de la figura 3.2

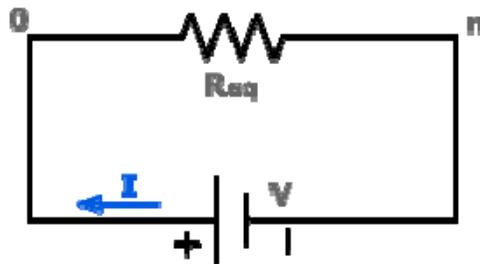


Figura 3.2

La anterior figura se interpreta como la red equivalente con la asociación de resistencias de la figura 3.1

Asociación de resistencias en paralelo [3.4.2] :

Un conjunto de n resistencias están conectadas en paralelo cuando sus respectivos terminales están conectados a puntos comunes, tal como se indica en la figura 3.3

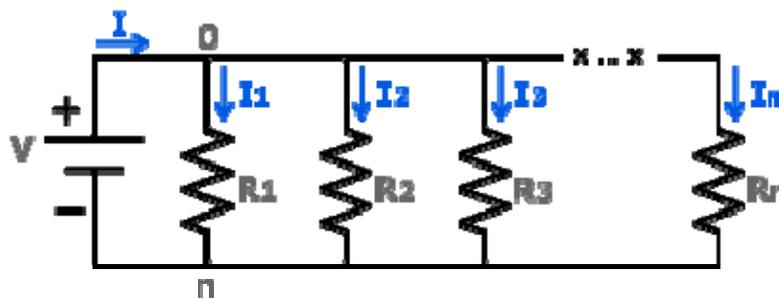


Figura 3.3

La tensión entre los terminales de cada una de las n resistencias del circuito en paralelo es la misma para cada una de ellas.

Aplicando la ley de Ohm a cada una de las resistencias del circuito paralelo, se tiene:

$$V = I_1 \times R_1 = I_2 \times R_2 = \dots = I_n \times R_n \quad (3.6)$$

Porque en los cables que conectan los nodos no se registra caída de tensión.

De igual manera

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

Ya que los cables que conectan **los nodos no son fuentes ni sumideros de cargas eléctricas**, es decir, allí no se crea ni se destruye carga eléctrica, y por lo tanto la tasa de cambio de la carga con el tiempo (la corriente) no cambia.

Atendiendo a los resultados anteriores y al hecho de que en una proporción, la suma de los antecedentes es a la suma de los consecuentes como cualquier antecedente es a su respectivo consecuente, se concluye que

$$V = \frac{I_1}{\frac{1}{R_1}} = \frac{I_2}{\frac{1}{R_2}} = \dots = \frac{I_n}{\frac{1}{R_n}} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} = \frac{I}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}}$$

El término $\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$ tiene dimensiones de inverso de resistencia y es conveniente

llamarlo $\frac{1}{R_{eq}}$ entonces:
$$\frac{I}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}} = \frac{I}{\frac{1}{R_{eq}}} = V \quad (3.7)$$

De nuevo, de acuerdo con ley de Ohm se llega a la siguiente configuración 3.4 que es equivalente a la de la figura 3.3 {Fishbane, Gasiorowicz, & Thornton 1994; Sears, Zemansky, Young, & Freedman 2004}.

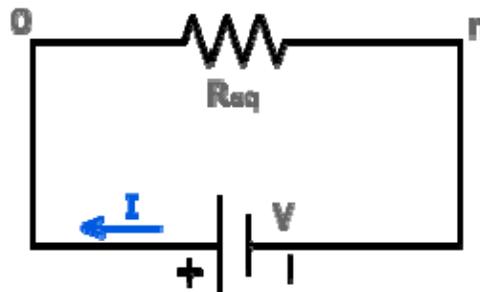


Figura 3.4



Si en la conexión serie de resistencias se conecta una resistencia adicional, la resistencia equivalente aumenta y la corriente disminuye; además si se presenta una falla en la continuidad de cualquiera de los elementos conectados, el flujo de corriente se interrumpe en el circuito.



En la conexión paralelo de resistencias podemos apreciar que la resistencia equivalente es menor que la menor de las resistencias conectadas y la falla de uno de los elementos conectados no afecta la operación del resto del circuito.

:: PROCEDIMIENTO [3.5]

Asociación de resistencias en serie[3.5.1] ::

- a. Instale el circuito de la figura 3.5, previamente con el óhmetro profesional **mida cada resistencia** y anótela en la tabla 3.1
- b. Cierre el interruptor *S* y **anote la lectura del amperímetro A. Además mida las caídas de tensión en cada resistencia** y consigne la información en la tabla 3.1

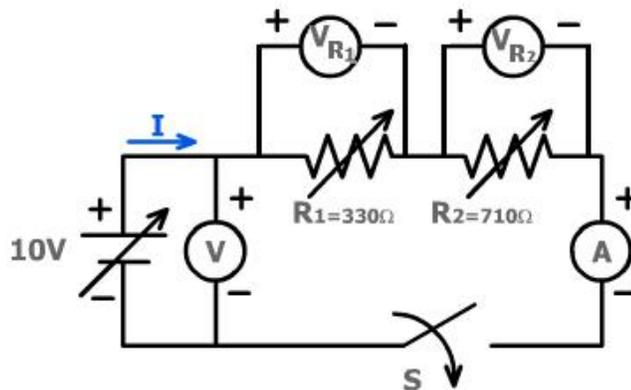


Figura 3.5

Valor de Resistencia	Nominal	Medido con el óhmetro
$R_1 (\Omega)$	330	
$R_2 (\Omega)$	710	

Caídas de tensión

$V_{R1} (V)$	
$V_{R2} (V)$	
$V (V)$	

Lectura Amperímetro $I =$ A

Tabla 3.1

- c. Reemplace la combinación serie de resistencias, por un reóstato de valor nominal $R = 3\ 300\ \Omega$, de acuerdo con la figura 3.6 y empezando con el valor máximo de resistencia, varíe el reóstato en sentido decreciente hasta obtener en el amperímetro la lectura registrada en la instrucción 3.5.b y escribala en la tabla 3.2

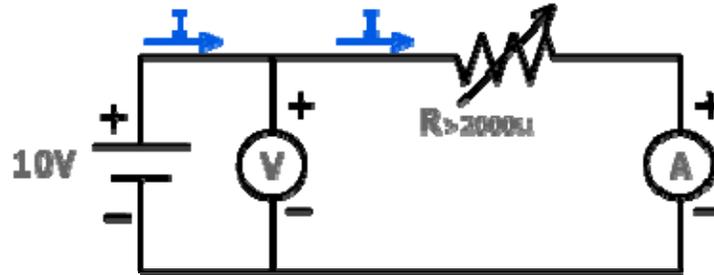


Figura 3.6

Lectura del Amperímetro (A)	R_{eq} serie equivalente medida con el óhmetro (Ω)

Ascenso de tensión en la fuente $V = \underline{\hspace{2cm}} V$

Tabla 3.2

- d. Una vez realizado lo indicado en el paso anterior y sin mover el cursor del reóstato, mida su resistencia con un óhmetro profesional. Este valor corresponde a la resistencia equivalente de la conexión serie. Lleve este valor a la tabla 3.2
- e. Incidentalmente verifique que la suma de las caídas de tensión V_{R1} y V_{R2} medidas en las resistencias de $R_1 = 330\ \Omega$ y $R_2 = 710\ \Omega$ es igual al ascenso de tensión en la fuente, como quedo registrado en la tabla 3.1 (columna derecha).

Asociación de resistencias en paralelo [3.5.2] ∴

- a. Instale el circuito de la figura 3.7 Mida la resistencia de cada reóstato con el óhmetro profesional, son los datos experimentales que serán anotados en la tabla 3.3

Nota: Por limitaciones de equipo para el desarrollo de esta práctica, cada puesto de trabajo solo dispone de un instrumento para medir intensidad de corriente, por lo tanto se debe interrumpir solo la rama elegida en la cual se insertará el amperímetro para medir las intensidades respectivas I , I_{R1} a través de R_1 e I_{R2} a través de R_2 .

Tabla 3.3

Valor de resistencia	Nominal	Medido con el óhmetro
R_1 (Ω)	100	
R_2 (Ω)	330	

Intensidad de corriente medida en cada rama

I_{R1} (A)	
I_{R2} (A)	
I (A)	

Voltaje de la fuente $V = \underline{\hspace{2cm}}$ V

- b. Cierre el interruptor, y anote cada lectura de los amperímetros en la tabla 3.3

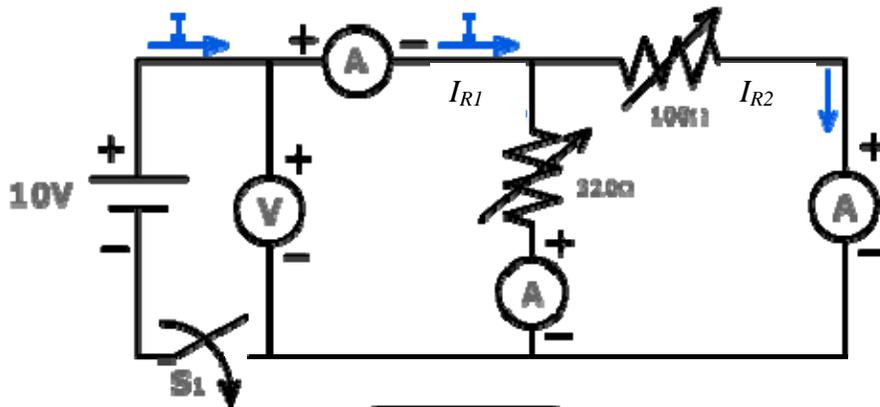


Figura 3.7

- c. Reemplace la combinación paralelo de resistencias por un reóstato $R = 100 \Omega$ de valor nominal, según se indica en la figura 3.8

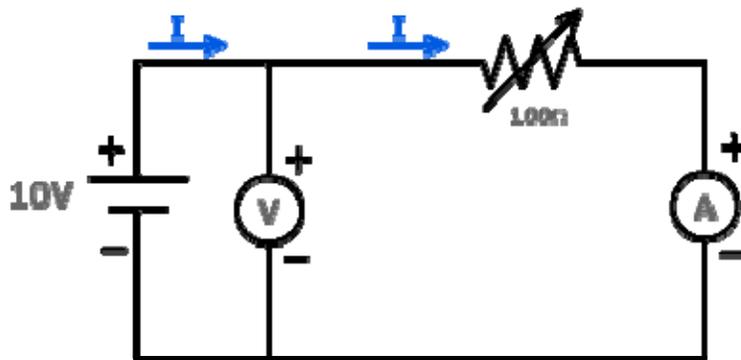


Figura 3.8

Tome el reóstato desde su máximo valor y varíe en sentido decreciente, hasta obtener la mayor de las lecturas registradas (I total) en el numeral [3.5.2] literal b. y llene la tabla 3.4

- d. Una vez realizado lo indicado en la instrucción anterior y sin mover el cursor del reóstato, mida su resistencia con un óhmetro profesional y consigne éste dato en la

tabla 3.4, compare éste valor con la resistencia equivalente a la asociación paralelo de resistencias.

Lectura del Amperímetro (A)	R_{eq} equivalente paralelo medida con el óhmetro (Ω)

Ascenso de tensión en la fuente $V = \underline{\hspace{2cm}} V$

Tabla 3.4

:: PREGUNTAS [3.6]

- Demuestre que la R_{eq} en la asociación serie de resistencia es mayor que cualquiera de las resistencias componentes R_i y explique este resultado comparativamente con los datos experimentales.
- Demuestre que la R_{eq} en la asociación paralelo de resistencias es menor que cualquiera de las resistencias componentes R_i . y analice las diferencias con los valores experimentales.
- Discuta y explique lo que sucede en un circuito serie si falla un elemento de la red.
- Explique lo que pasa en un circuito paralelo si se interrumpe la corriente a través de uno de sus elementos.
- Analice para el circuito de la figura 3.5 los voltajes V_{R1} y V_{R2} medidos con el voltímetro (tabla 3.1) y compárelos con los valores $V_{R1} = R_1 I_{R1}$ y $V_{R2} = R_2 I_{R2}$ calculados con los valores experimentales de R_1 , R_2 e I .
- Analice para el circuito de la figura 3.7 los valores de las intensidades de corrientes medidas I , I_{R1} e I_{R2} en las ramas respectivas (tabla 3.3) del circuito y compárelos con las cantidades calculadas $I_{R1} = \frac{V}{R_1}$ e $I_{R2} = \frac{V}{R_2}$ conformes a las medidas de V , R_1 y R_2 respectivas.
- Discutir las diferencias básicas que existen entre circuitos que asocian resistencias en serie con asociaciones de resistencias en paralelo.

- h. Identifique como son los circuitos domiciliarios.
- i. Diseñe y resuelva analítica y numéricamente un circuito mixto sencillo, (no emplee más de 5 resistencias).

PARÁMETROS DE UN GALVANÓMETRO Y CONSTRUCCIÓN DE UN VOLTÍMETRO

Capítulo 4



Capítulo 4; Parámetros de un galvanómetro y construcción de un voltímetro

:: OBJETIVOS [4.1]

- Medir los parámetros de un galvanómetro: es decir su resistencia interna, la corriente de plena escala y su sensibilidad.
- Convertir un galvanómetro en un voltímetro que permita realizar mediciones en los siguiente rangos de escala V_m : a) 0,0 V... 3,0 V, b) 0,0 V...4,0 V, c) 0,0 V...5,0 V y d) 0,0 V...6,0 V, u otro valor sugerido por el profesor conectando una resistencia en serie en cada caso con el galvanómetro (Resistencia multiplicadora: R_m).
- Verificar experimentalmente el valor de la resistencia multiplicadora necesaria para convertir el galvanómetro en un medidor de voltaje de un alcance especificado.

:: PREINFORME [4.2]

- Explicar el fenómeno magnético en la periferia de un conductor rectilíneo circulado por una corriente eléctrica.¿Qué interpretación se le asocia a la ecuación $\vec{F}_m = e\vec{V} \times \vec{B}$
- ¿Qué respuesta tiene una espira alimentada con corriente continua si se encuentra dentro de un campo magnético? (considere la interacción durante un instante).
- ¿Cómo funciona un galvanómetro?
- Discuta la linealidad ó proporcionalidad de la escala de medición en un voltímetro.

:: EQUIPOS Y MATERIALES [4.3]

- Reóstatos Phywe, valores nominales de 100Ω , 330Ω , $3\ 300\Omega$ ó $10\ 000\Omega$.
- Amperímetro Análogo Pasco o Phywe.
- Galvanómetro Cenco o Pasco.
- Pila comercial de 6V .
- Fuente de Alimentación de voltaje desde: 0 ...20 V DC.
- 10 Conductores.

:: MARCO TEÓRICO [4.4]

Parámetros de un Galvanómetro [4.4.1]:

Un galvanómetro es un dispositivo electromecánico que detecta y mide pequeñas intensidades de corriente en un circuito eléctrico de tal forma que como instrumento transductor puede ser convertido en un amperímetro, voltímetro u óhmetro.

Los parámetros de un galvanómetro permiten identificarlo y distinguirlo de otros galvanómetros.

La sensibilidad de un galvanómetro análogo ó analógico es un parámetro que se define como el cociente entre la corriente de plena escala y el número máximo de divisiones presentes en el dispositivo a usar (30 ó 50). En lo sucesivo se usará la siguiente notación:

S : es la sensibilidad del galvanómetro.

$I_{max} = I_{pe}$ es la corriente máxima o de plena escala.

N : es el número máximo de divisiones del galvanómetro.

Con la anterior notación, la sensibilidad se define como:

$$S = \frac{I_{max}}{N} \quad (4.1)$$

Construcción de un Voltímetro [4.4.2]:

Para construir un voltímetro a partir de un galvanómetro es necesario insertar en serie con el galvanómetro una resistencia muy alta R_m (resistencia multiplicadora).

La resistencia multiplicadora R_m puede ser calculada una vez conocida la resistencia interna del galvanómetro R_g y la corriente requerida I_{pe} para producir la desviación de plena escala del instrumento.

La escala del instrumento construido es lineal, lo cual puede ser verificado mediante el análisis del siguiente circuito {O'malley 1986;Ruiz de Lira 1982}:

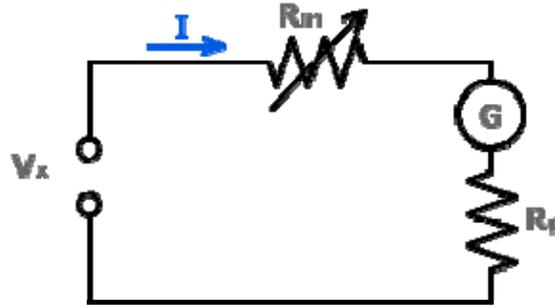


Figura 4.1

En la figura 4.1, los terminales donde está abierto el circuito se inserta el elemento (resistencia ó pila.) a través del cual se medirá el voltaje V_x , R_m es la resistencia multiplicadora, G el galvanómetro y R_g es la resistencia interna del galvanómetro, allí es claro que:

$$V_x = I (R_m + R_g) \quad (4.2)$$

$$S = \frac{I_{pe}}{N} = \frac{I}{n} \quad (4.3)$$

Donde S es la sensibilidad del galvanómetro, según se definió en la ecuación (4.1) y además, como $I_{pe} = I_{max}$, por tanto

$$V_x = S (R_m + R_g) n \quad (4.4)$$

En la última ecuación (V_x en función de n) como se ilustra en la gráfica siguiente, establece una relación lineal entre estas variables y además se consideran otros valores $V_{max} = S(R_m + R_g) N$, (por extrapolación).

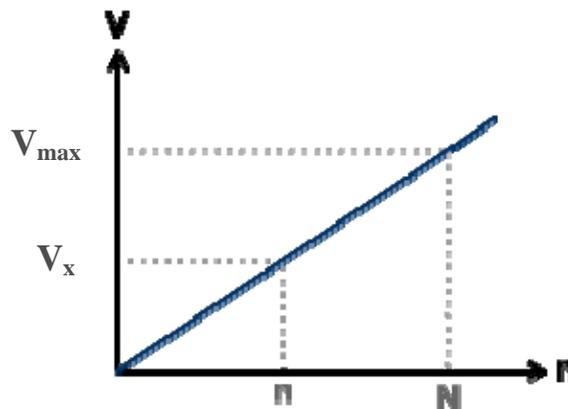


Figura 4.2

Nota: V_x cubre todo el rango especificado de valores de voltaje que se pueden medir con el voltímetro diseñado en el laboratorio de tal manera que $0 < V_x \leq V_{max}$

De la anterior gráfica por semejanza de triángulos se desprende que:

$$V_x = \left(\frac{V_{max}}{N} \right) n \quad (4.5)$$

relación que implica que conocido el voltaje máximo en el rango escogido, el número máximo N de divisiones del galvanómetro y el número n de divisiones que se deflecta la aguja en una medida real, podremos conocer el voltaje registrado ó leído por el voltímetro diseñado.

Nótese una vez más que la relación entre V_x y n es **lineal**. Además si en la ecuación $V_x = I(R_m + R_g)$, I llega a ser igual a la corriente de plena escala I_{pe} , obviamente $V_x = V_{max}$

$$V_{max} = I_{pe} (R_m + R_g) \quad (4.6)$$

De donde

$$R_m = \left(\frac{V_{max}}{I_{pe}} \right) - R_g \quad (4.7)$$

Como puede verse en la ecuación anterior, la resistencia multiplicadora puede calcularse conocidos los parámetros del galvanómetro y el voltaje máximo V_{max} equivalente al V_m o rango de escala del voltímetro diseñado.

:: PROCEDIMIENTO [4.5]

Medición de los parámetros de un galvanómetro [4.5.1]:.

- a. Para medir la corriente de plena escala I_{pe} del galvanómetro instale el circuito de la figura 4.3. En éste circuito R es uno de los reóstatos disponibles en el laboratorio con valor nominal superior a $2\ 500\Omega$, G es el galvanómetro suministrado para la práctica y V como fuente de alimentación puede ser empleada, **una pila de 6 volt en buen estado** ó una fuente de DC (Phywe) inicialmente en 0 volt. **“Verifíquelo”**

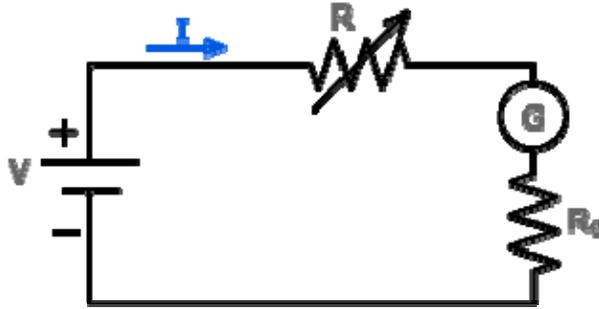


Figura 4.3

- b. Conecte la pila o encienda la fuente (en este último caso) y cuidadosamente mueva el dial hasta que la aguja del galvanómetro se ubique en una posición intermedia de la escala.
- c. Inicie el movimiento del cursor del reóstato desde la posición que indica el máximo valor de resistencia cuidadosamente, hasta aquella en la cual la aguja sobre la escala del galvanómetro llegue a su posición máxima posible (línea 30 ó 50 de acuerdo al galvanómetro que se le haya entregado).
- d. En el circuito anterior sustituya el galvanómetro por un amperímetro **cuya escala inicial sea la máxima que el aparato permite**. La lectura de la corriente máxima I_{pe} (plena escala) del galvanómetro, se hará en aquella escala del amperímetro donde la aguja de éste se posiciona alrededor de la división central. Ahora determine la sensibilidad de su galvanómetro de acuerdo con lo definido en la ecuación (4.1)
- e. Para medir la resistencia interna del galvanómetro R_g instale el circuito de la figura 4.4, donde R , V , G , y R_g ya han sido descritos anteriormente y R_{sh} (Resistencia shunt ó puente) es un reóstato que permite medir indirectamente la resistencia del galvanómetro; S_1 y S_2 que funcionan como interruptores son dos conductores que se interrumpen. Con el interruptor S_1 cerrado y el S_2 abierto lleve la aguja del galvanómetro nuevamente a la posición de plena escala.
- f. Con los interruptores S_1 y S_2 cerrados mueva el cursor de la resistencia shunt hasta que la aguja del galvanómetro tome la posición de media escala (15 ó 25 divisiones) **realice esta medición lo más rigurosamente posible**; en estas condiciones la resistencia del galvanómetro R_g es igual a la resistencia R_{sh} .

NOTA: Este procedimiento indirecto para medir la resistencia interna del galvanómetro es necesario fundamentalmente porque:

- Los terminales de la resistencia interna del galvanómetro no son necesariamente accesibles.
- Los óhmetros profesionales normalmente entregan corrientes muy superiores a aquellas permitidas por el galvanómetro (mirar capítulo 5, segunda parte).

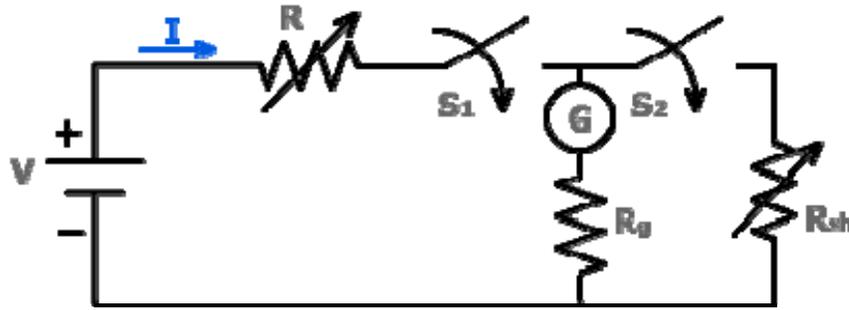


Figura 4.4

- g. Mida la resistencia R_{sh} con un óhmetro profesional. El valor de R_g coincide con el de R_{sh} .

Diseño y construcción de un voltímetro [4.5.2]:

- a. Determine analíticamente el valor de la resistencia multiplicadora, para los valores máximos de voltaje descritos en el numeral 4.4.2, mediante la ecuación (4.7)

$$R_m = \left(\frac{V_{\max}}{I_{pe}} \right) - R_g \quad (4.7)$$

- b. Verifique experimentalmente el valor de la resistencia multiplicadora R_m , calculada en la instrucción anterior para los rangos de valores sugeridos de voltaje V_x , considerados como voltajes máximos V_{\max} : 3,0 V; 4,0 V; 5,0 V y 6,0 V, u otro sugerido que usted podría medir con el voltímetro diseñado, mediante el circuito mostrado en la figura 4.5

Nota: $V_{\max} = V_m$ **rango de la escala del instrumento diseñado (mirar pagina 14 capítulo 1).**

Recuerde que R_m debe ser un reóstato que, conforme al valor de V_{\max} produzca la máxima deflexión en el galvanómetro.

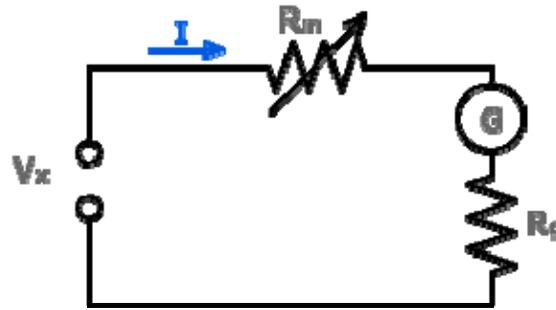


Figura 4.5

- c. Con el montaje del circuito de la figura 4.5 (que es el voltímetro diseñado), mida voltajes desde los terminales de la fuente Phywe para varios valores de voltaje dentro de cada rango de escala calculado y además compárelos con los valores registrados en el voltímetro análogo Leybold, construya una tabla con dichos valores.

:: PREGUNTAS Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXPERIMENTAL [4.6]

- Discuta los resultados arrojados en el numeral 4.5.2.c y explique las diferencias y/o similitudes y calcule el error absoluto de las medidas registradas.
- ¿Es posible medir con un óhmetro profesional la resistencia interna de un galvanómetro? Sustente su respuesta.
- Explique las consecuencias de conectar un voltímetro equivocadamente en un circuito (análisis circuital si se conecta en serie con la resistencia) para medir caídas de tensión.
- Determine la incidencia de la resistencia interna de un voltímetro en la medida de un voltaje especificado. Si requiere medir la resistencia interna de su voltímetro análogo Leybold, utilice un óhmetro profesional.
- Para medir la caída de potencial en los terminales de una resistencia ¿es indiferente emplear cualquier escala de un voltímetro? ¿Es confiable ésta medida?
- ¿Explique cual sería el valor de la resistencia interna de un voltímetro ideal y argumente su respuesta?

Capítulo 5

CONSTRUCCIÓN DE UN AMPERÍMETRO Y UN
ÓHMETRO SERIE A PARTIR DE UN GALVANÓMETRO

Capítulo 5: Construcción de un amperímetro y un ohmetro serie a partir de un galvanómetro

Primera parte Construcción de un amperímetro (2 horas)

Segunda parte Construcción de un óhmetro serie (2 horas)

::: OBJETIVOS [5.1]

- Convertir un galvanómetro en un medidor de corriente de alcance más alto que el de su propia corriente máxima (**amperímetro**).
- Verificar experimentalmente el valor de la Resistencia shunt R_{sh} necesaria para convertir el galvanómetro en un medidor de corriente de un alcance especificado.
- Convertir un galvanómetro en un **óhmetro serie** (medidor de resistencias en un rango especificado), conectando en serie el galvanómetro con una fuente de voltaje y una resistencia.
- Calcular analíticamente el valor de la resistencia serie necesaria para construir un óhmetro con el cual se pueda medir resistencias en un rango específico y además localizar cortocircuitos e identificar componentes “abiertos”.

::: PREINFORME [5.2]

- Explique cual es la función de la resistencia R_l , en el circuito de la figura 5.1
- Deduzca la ecuación 5.2
- Obtenga la ecuación 5.5
- ¿Discuta que papel juega una resistencia en un circuito eléctrico?
- ¿Explique que es un cortocircuito y que es un circuito abierto?
- Consulte en que consiste la resistencia eléctrica del cuerpo humano.

:: EQUIPOS Y MATERIALES [5.3]

- Un galvanómetro Cenco, Pasco, u otro disponible.
- Reóstatos Phywe, diferentes valores nominales.
- Pila comercial de 6V en buen estado o fuente de alimentación variable Phywe de corriente continua DC.
- Amperímetro análogo Pasco o Phywe.
- Multímetro Fluke.
- 10 conductores.

:: MARCO TEÓRICO [5.4]

Capítulo 5 primera parte

Construcción de un amperímetro [5.4.1]

Si en un circuito, como el de la figura 5.1 la corriente que interesa medir es menor que I_{\max} , no es necesaria la introducción de la resistencia shunt R_{sh} .

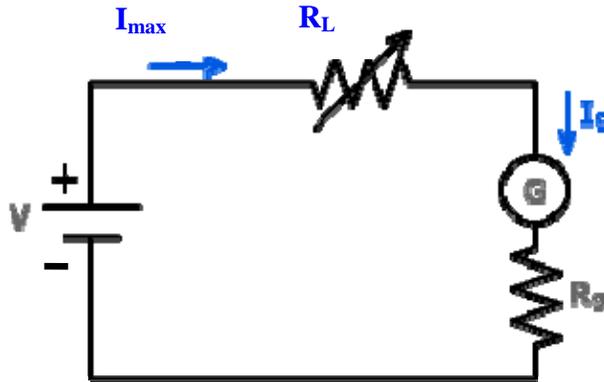


Figura 5.1

Para esta situación la aguja del galvanómetro se deflejará hasta una división $n \leq N$ y se debe determinar la corriente A en amperes, correspondiente a la división n donde se ha posicionando la aguja {Holman 1984b; O'malley 1986; Ruiz de Lira 1982}.

Para ello se examina la curva de la corriente I del circuito en función de n , donde la variable dependiente es el número de divisiones n de la aguja del galvanómetro.

Como se observa el valor de I cuando $n = N$, es $I = I_{\max}$, el valor de I para un número de divisiones n diferente de N , se obtiene de la figura 5.2, con $I_{\max} > I > 0$

De la figura 5.2 por semejanza de triángulos se deriva la siguiente expresión:

$$I = \frac{n}{N} I_{\max} \quad (5.1)$$

El resultado anterior se fundamenta en la dependencia de I linealmente con n , es decir, **la escala del amperímetro es lineal.**

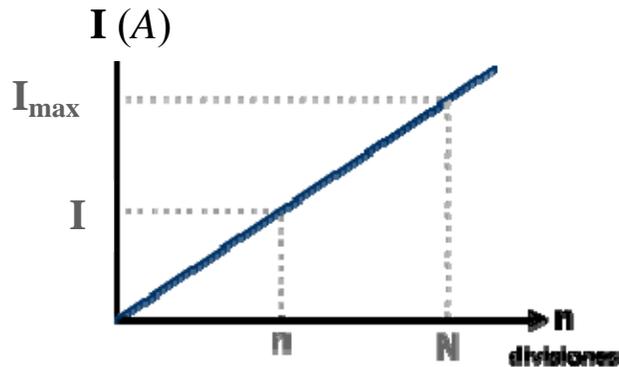


Figura 5.2

¿Cómo medir una corriente mayor que I_{\max} ? [5.4.2]:

Si la corriente de interés o que se desea medir supera el parámetro I_{\max} , es imprescindible la intercalación de una resistencia puente denominada resistencia shunt R_{sh} como se muestra en la figura 5.3

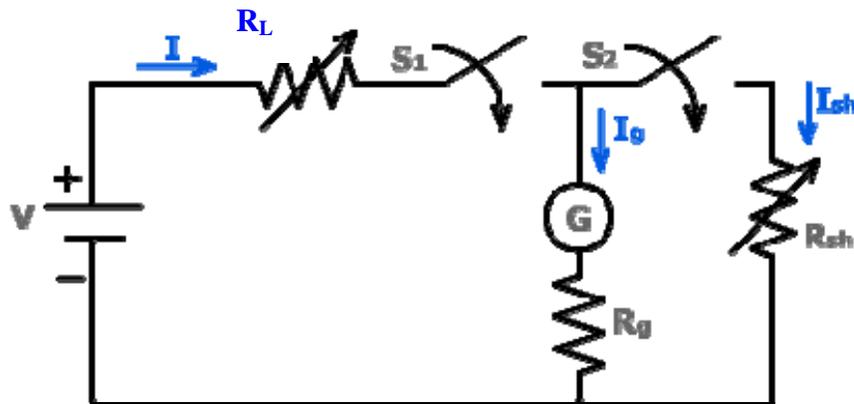


Figura 5.3

Una inspección cuidadosa de la figura 5.3 evidencia que si I crece y dado que $I_g = I_{pe}$ no puede superar el valor de I_{max} , I_{sh} debe aumentar y por lo tanto R_{sh} debe disminuir.

Se debe establecer una relación cuantitativa que permita calcular el valor de R_{sh} para cada I especificado así: $I = I_g + I_{sh}$ (5.2)

y además $I_g \times R_g = I_{sh} \times R_{sh}$ (5.3)

entonces $R_{sh} = \frac{R_g I_g}{(I - I_g)}$ (5.4)

donde: $I \rightarrow$ rango de escala del instrumento diseñado para medir intensidad de corriente. $I_g = I_{pe}$

¿Cómo medir la magnitud de una resistencia eléctrica R_x ? [5.4.3]:

En un óhmetro serie el rango de resistencias susceptibles de medición está restringido por el valor de la resistencia serie R_l , la cual juega el papel de resistencia limitadora de corriente, que se coloca en serie con un instrumento (el galvanómetro) a fin de protegerlo, por lo tanto, R_l en éste caso, no debe permitir el paso de una corriente mayor que la de plena escala I_{pe} .

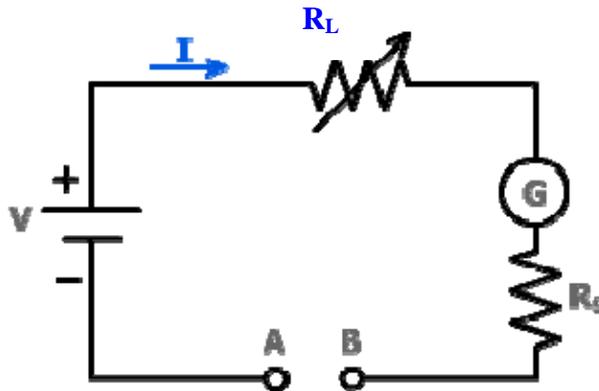


Figura 5.4

El óhmetro serie es un instrumento en cuyo interior se encuentran conectados en serie los siguientes elementos: una fuente de voltaje V , una resistencia limitadora R_L y un galvanómetro G con su respectiva resistencia R_g tal como se ilustra en la figura 5.4; **A** y **B** son los terminales del óhmetro serie diseñado en esta práctica experimental.

Para medir una resistencia desconocida R_x conéctela entre los terminales **A** y **B**, según se indica en la figura 5.5, allí R_L es la resistencia que se va a medir, e I es la corriente que circula por el circuito.

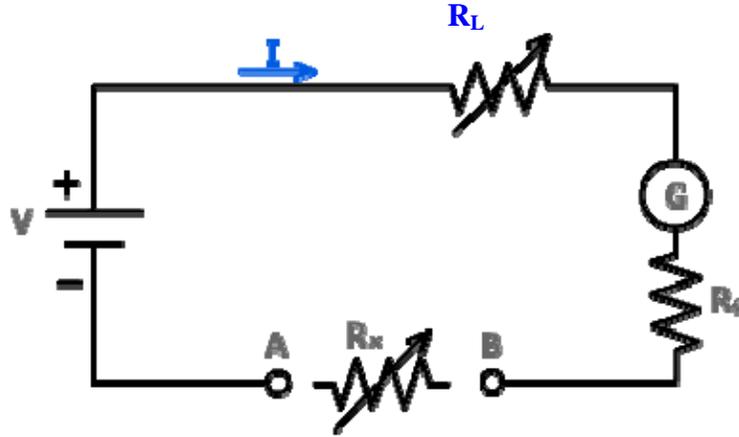


Figura 5.5

Por la ley de Ohm es evidente que:

$$V = ((R_L + R_g) + R_x) \times I, \quad (5.5)$$

Si en la anterior ecuación $R_x = 0$ óhms y con el ajuste de R_L , de tal manera que la aguja del galvanómetro llegue hasta la posición de plena escala, se tendrán los dos puntos extremos de la escala del óhmetro y como:

$$V = (R_L + R_g) \times I_{pe} \quad (5.6)$$

en lo sucesivo $R_L + R_g = R_{Total}$ por lo tanto $V = R_{Total} \times I_{pe}$

y $R_{Total} \times I_{pe} = (R_{Total} + R_x) \times I$ con $0 < I < I_{max}$, despejando R_x de la última ecuación y considerando que la sensibilidad S del galvanómetro es :

$$S = \frac{I}{n} = \frac{I_{pe}}{N}, \text{ se encuentra finalmente que: } R_x = R_{Total} \times \left(\frac{N}{n} - 1 \right) \quad (5.7)$$

Al construir la gráfica de R_x en función de n (n es el número de divisiones que se defleca la aguja del galvanómetro cuando es atravesado por una corriente I), se encuentra que la gráfica tiene la forma que se observa en la figura 5.6



La escala del óhmetro serie es evidentemente no lineal, en consecuencia su escala debe construirse punto a punto.

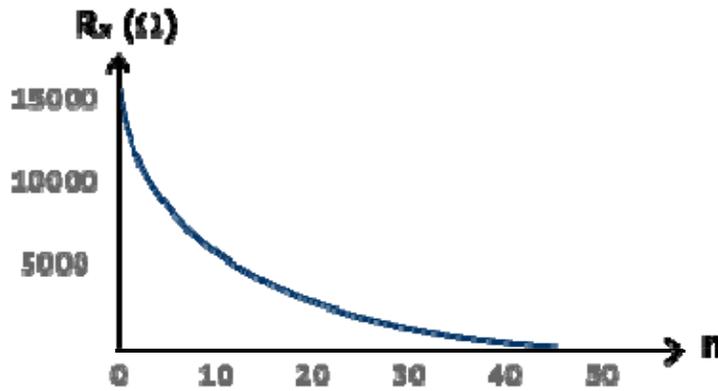


Figura 5.6

:: PROCEDIMIENTO [5.5]

Diseño y construcción de un amperímetro [5.5.1]:.

- Instale el circuito para determinar los parámetros del galvanómetro que se le suministra: I_{\max} , R_g , S y tenga en cuenta su número máximo de divisiones N , marca y características.
- Calcular analíticamente el valor que debe tener la resistencia shunt R_{sh} , empleando la ecuación 5.2, para convertir el galvanómetro G en un amperímetro con un rango que mida: desde 0,0 hasta 1,0 mA, **(no olvide que 1,0 mA es el máximo valor que puede registrar el amperímetro diseñado)** cuando circule una corriente por él.
- Instale el circuito de la figura 5.7 con la resistencia de shunt R_{sh} calculada en el literal anterior, en paralelo con el galvanómetro y varíe R_l hasta que la aguja en la escala del galvanómetro se deflecte a su valor máximo. **Cuando esto ocurra la corriente total que circula por el amperímetro diseñado por usted en esta práctica debe ser (máximo) de 1,0 miliampere (mA).**

En la figura 5.7 los puntos **C** y **L** delimitan a la derecha el amperímetro diseñado

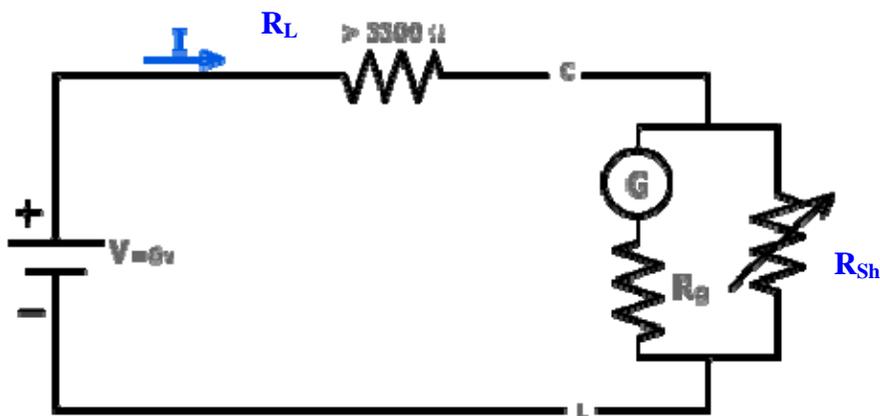


Figura 5.7

- d. Remueva el galvanómetro y la resistencia shunt y mida la corriente total que pasa por el circuito, usando uno de los amperímetros Leybold, compare éste valor con lo con el medido por usted en el numeral anterior.
- e. Repita los numerales 5.5.1.b y 5.5.1.c para nuevos rangos y escalas de medidas, desde: 0,0 hasta 2,0 mA ... desde 0,0 hasta 10,0 mA, u otro rango sugerido por el profesor o permitido por el instrumento.

Nota: algunos de los galvanómetros de el laboratorio se deben emplear en los rangos de escalas de 0,0 a 10,0 mA; de 0,0 a 20,0 mA ... hasta 60,0 mA (Galvanómetros grises).

Diseño y construcción de un óhmetro serie [5.5.2]:.

- a. Emplee los parámetros del galvanómetro ya encontrado en el numeral 5.5.1.a e instale el circuito de la figura 5.8

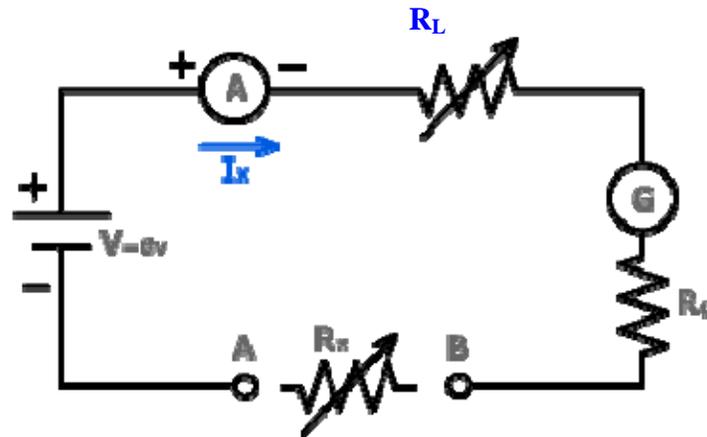


Figura 5.8

Donde: V es una pila de 6 voltios en buen estado o una fuente de DC variable inicialmente en 0,0 volt, G es el galvanómetro, R_L es un reóstato cuyo valor de placa es mayor o igual a $3\,300\ \Omega$, R_x es la resistencia que se desea medir y la corriente I_x es medida con un amperímetro Leybold.

- Localice el punto de $0,0\ \Omega$ de la escala del óhmetro serie, para ello una los terminales **A** y **B**, y ajuste R_L para que la aguja del galvanómetro alcance la posición de plena escala
- Localice el punto de infinito (resistencia infinita) de la escala del óhmetro serie, para ello, separe los terminales **A** y **B**, la aguja del galvanómetro se ubicará en la posición 0,0 de la escala.
- Localice el punto de media escala del óhmetro para ello conecte entre los terminales **A** y **B** una resistencia R_x de valor R_{Total} con $R_{Total} = (R_g + R_L)$ y anote el valor de la corriente I_x que registra el amperímetro Leybold.
- Conecte entre los terminales **A** y **B** las resistencias R_x adecuadas a su galvanómetro para construir la escala del óhmetro diseñado punto a punto. Para ello emplee una resistencia variable de $10\,000\ \Omega$ ó de $3\,000\ \Omega$ según sea el galvanómetro que se le a suministrado para la práctica y para cada valor de R_x (mínimo 10 valores) lea en el amperímetro Leybold el valor de I_x respectivo y además registre el n correspondiente en la escala del galvanómetro. **Haga una tabla de datos con esta información.** Al concluir la práctica desconecte todos los equipos y regréselos al monitor ó al profesor.

- f. Para probar el óhmetro diseñado en esta práctica el profesor le suministrará una resistencia R_x que solo él conoce y los estudiantes investigadores reportarán el valor arrojado por el instrumento de medida empleando la gráfica de la instrucción anterior y éste valor se debe comparar con el arrojado al emplear la ecuación 5.7
- g. Con el óhmetro Fluke midan las resistencias de cada uno de los integrantes del subgrupo de trabajo (resistencia del cuerpo humano) para ello primero tome los extremos del óhmetro con sendas manos y apriete los terminales firmemente y registre el valor arrojado por el instrumento de medida, luego repita la medición después de haber humedecido ligeramente sus manos, escriba esta nueva lectura.

:: GRÁFICAS, ANÁLISIS Y PREGUNTAS [5.6]

- a. Explique el significado de la expresión 5.1
- b. ¿Como se instala correctamente un amperímetro en un circuito y cuales son las consecuencias de una conexión errónea?
- c. ¿Cual es el valor de la resistencia ideal de un amperímetro y explique él porque?
- d. ¿Que limitaciones prácticas encuentra usted en la construcción de medidores para corrientes de 1,0 ampere o valores mayores?
- e. Determine el error absoluto y el porcentual entre las corrientes medidas con el amperímetro Leybold y las corrientes medidas con el amperímetro diseñado por el subgrupo de trabajo en éste experimento y discútalas.
- f. ¿Cuál será el error instrumental del amperímetro diseñado para esta práctica por el subgrupo de trabajo? Consulte el capítulo 1.
- g. Construya la gráfica de R_x en función n , cantidades asociadas a la escala con los valores obtenidos en la instrucción [5.5.2] literal e, analícela y dé su significado.
- h. Haga una gráfica de R_x contra I_x y explique su significado.
- i. ¿En que rango de valores de resistencia es confiable la escala del óhmetro serie?
- j. Consulte como podría modificar su óhmetro serie para medir resistencias muy pequeñas.
- k. Consulte como funciona la plancha eléctrica de su casa.

- l. Intente una explicación de la resistencia del cuerpo humano, su posible variación y los riesgos que ello encierra.
- m. Mediante el código de colores explique como se reporta el valor de una resistencia y dé ejemplos.

Bibliografía

1. Baird, D. 1988c, "Medición e incertidumbre," in *Experimentación una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos*, segunda edn, Prentice-Hall hispanoamericana S.A., pp. 8-25.
2. Baird, D. 1988b, "Evaluación de experimentos," in *Experimentación una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos*, segunda edn, Prentice-Hall hispanoamericana S.A., pp. 111-148.
3. Baird, D. 1988a, "Redacción de informes científicos," in *Experimentación una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos*, segunda edn, Prentice-Hall hispanoamericana S.A., pp. 149-163.
4. Fishbane, P., Gasiorowicz, S., & Thornton, S. 1994, *Física para ciencias e ingeniería*, primera edn, Prentice Hall, Mexico.
5. Fluke, J. Manual de instrucciones *Fluke serie 70*. 28-29. 1-3-1991.
6. Holman, J. 1984a, "Análisis de la información experimental," in *Métodos Experimentales para Ingenieros*, cuarta edn, McGraw Hill, pp. 51-102.
7. Holman, J. 1984b, "Mediciones eléctricas básicas y dispositivos sensores," in *Métodos Experimentales para Ingenieros*, cuarta edn, McGraw Hill, pp. 109-196.
8. López, R. & López, C. Guía para el laboratorio de física II. [1], 1-59. 1989. Centro de publicaciones Universidad Tecnológica de Pereira.
9. Mahecha, J. Manual de laboratorio Física I (*mecánica*). [primera], 1-40. 1-9-1992. Editorial Universidad de Antioquia.
10. O'malley, J. 1986, *Análisis de circuitos eléctricos*, primera edn.
11. Ruiz de Lira, C. 1982, *Elementos y circuitos eléctricos*, primera edn, Alambra.
12. Sears, F., Zemansky, M., Young, H., & Freedman, R. 2004, *Física Universitaria*, Undecima edn, Addison Wesley.