

Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Física

Guías de Laboratorio de Electricidad y Magnetismo
FIS 1532

Elaboradas por Rosa Bahamondes y Mario Favre

a partir del trabajo inicial de A.Cabrera (1994), A.Deza, F.Mariani, A.Román y J.Vignolo.

Parte de los experimentos están basados en la Guía de experimentos de “*Power Amplifier*” de
PASCO Scientific

El equipamiento en uso de estos laboratorios ha sido financiado parcialmente por proyectos del
Fondo de Desarrollo Institucional del Ministerio de Educación.

Agosto 2001

PRECAUCIONES CON SHOCK ELECTRICOS

Tan importante como efectuar mediciones exactas y conectar adecuadamente los elementos constituyentes de un circuito, es realizar el trabajo en condiciones de seguridad.

Podría suponerse, a primera vista, que una descarga de 15000 volts tendría peores consecuencias que una de 40 volts ó 100 volts. No es cierto. La verdadera medida de la descarga es la intensidad de la corriente que atraviesa el cuerpo. Si bien cualquier corriente de intensidad mayor que 0.005 Amperes puede producir una descarga entre dolorosa y grave, las corrientes entre 0.1A y 0.2A son letales, ya que dentro de éste rango se produce frecuentemente la fibrilación ventricular del corazón, es decir, adquiere un ritmo completamente irregular. Por encima de 0.2A las contracciones musculares son tan violentas, que el corazón puede quedar prácticamente inmóvil con la descarga, y de ese modo no aparece la fibrilación ventricular. Entonces aunque se producen quemaduras graves, pérdida del conocimiento y detención de la respiración, la descarga generalmente no es fatal si a la víctima se le práctica inmediatamente la **respiración artificial**.

Aunque se requiera una tensión para hacer circular la corriente por un cuerpo, la intensidad de la corriente depende tanto de la tensión como de la resistencia del cuerpo entre los puntos de contacto. La resistencia del cuerpo humano al paso de la corriente varía según los puntos de contacto y la condición de la piel.

Hay información en la literatura de muerte por electrocución con tensiones tan bajas como 42 volts de corriente continua, la que implica una resistencia corporal del orden de los 400 Ohm. La única conclusión con respecto a la tensión **es que 50 V pueden ser tan fatales como 500 V ó 5000 V**. (La resistencia puede variar desde unos 1000 Ohm para piel húmeda, hasta unos 500.000 Ohm si ella está muy seca y gruesa).

EMERGENCIAS

Si una persona recibe una descarga eléctrica, se debe cortar la corriente o retirar a la víctima lo antes posible, sin tocarla directamente.

Si la víctima está inconsciente y hay detención de la respiración, comenzar con la respiración artificial inmediatamente. NO interrumpir la respiración hasta la llegada de auxilio médico.

¡RECUERDE QUE LOS EQUIPOS PUEDEN REPONERSE, LAS PERSONAS NO!

SERVICIO DE URGENCIA DEL HOSPITAL CLINICO PUC
Teléfono 633-2051 anexos:3230-3266

III) Equipamiento Básico

Casi todos los instrumentos utilizados para medir señales eléctricas detectan la corriente como proceso indicativo básico. Un amperímetro es un dispositivo que mide la intensidad de corriente de un circuito eléctrico. La medición sería exacta si el instrumento tuviese una resistencia interna cero, ya que solo entonces su introducción en un circuito no produciría alteración en las corrientes y en las tensiones existentes en él. Análogamente un voltímetro mide la diferencia de potencial o voltaje entre dos puntos de un circuito y debiera tener una resistencia interna infinita para que la medida sea exacta; solo en estas condiciones su inserción no modifica ni las tensiones ni las corrientes que circulan en él.

Como todos los instrumentos reales, los voltímetros y los amperímetros que usaremos solo se aproximan a las características ideales, en la practica .

AMPERIMETRO DE C.C.

Para que un amperímetro se aproxime al caso ideal, su resistencia interna R_i debe ser muy pequeña en comparación con la resistencia del circuito cuya corriente se quiere medir. Mientras menor sea la resistencia del amperímetro en comparación con la del circuito, mayor será la exactitud de la medición obtenida.

Se puede aumentar la capacidad de medición de corrientes por el instrumento, conectando en paralelo a éste una resistencia de valor adecuado y conocido, llamada *resistencia de shunt*. Disponiendo de una combinación de shunts, seleccionable por la acción de una perilla de cambio o dial, se puede medir corrientes con precisión adecuada, en distintos rangos de valores. Esto se muestra n la figura 1.

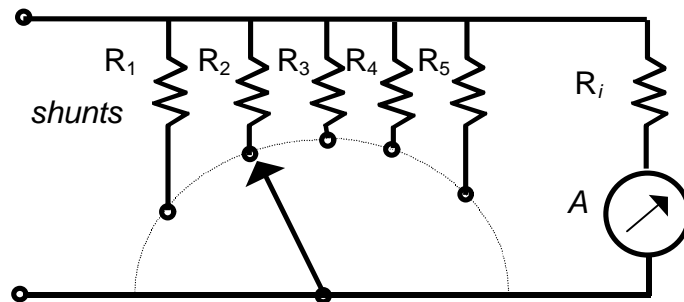


Figura 1: resistencias de shunt en un amperímetro.

Un amperímetro se conecta siempre en serie con el circuito que se quiere medir.

VOLTIMETROS DE C.C

Como el voltímetro ideal debería tener una resistencia infinita, la resistencia R , conectada en serie con el instrumento básico, debe ser muy grande comparada con las resistencias del circuito en el cual se quiere hacer medidas, y ella es generalmente mucho mayor que la resistencia interna R_i . Como en el caso del amperímetro, se puede construir un voltímetro con varias escalas de medida seleccionando diversas resistencias en serie con el instrumento básico, utilizando una llave de cambio adecuada.

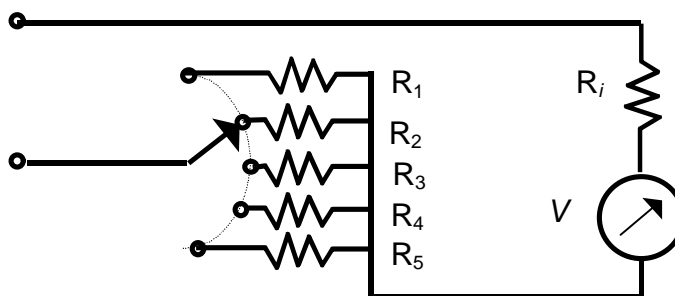


Figura 2: resistencias de shunt en un voltímetro

La sensibilidad de un voltímetro se puede expresar a través de la tensión que debe aplicarse a sus bornes para obtener una desviación a fondo de escala. Otra medida de la sensibilidad, la mas usada, se obtiene dividiendo la resistencia total del voltímetro, en determinada escala, por la tensión a fondo de escala en ese caso. Esta característica tanto Ohms (Ω) por volt (V), establece en realidad la condición de no ideal que posee el voltímetro.

Un voltímetro se conecta siempre en paralelo con el circuito que se quiere medir

MULTIMETROS O TESTER

Es usual utilizar en mediciones en electricidad o electrónica los llamados tester o multímetros. Estos son dispositivos de medida con un instrumento básico, llaves de cambio, resistencias, rectificadores y otros que permiten, luego de una ubicación adecuada de los diferentes controles, medir corrientes, voltajes y resistencias (corriente y voltaje tanto en C.C. como en C.A.). Aparentemente, esto complica el problema; sin embargo, una observación cuidadosa del instrumento le permitirá usarlo sin dificultades.

ERRORES DE LOS INSTRUMENTOS

La exactitud de un instrumento es su capacidad para indicar la tensión o intensidad verdadera. Depende no sólo de efectos externos, tales como la carga del circuito, errores de observación, temperatura, etc., sino también de la exactitud intrínseca del propio instrumento. La exactitud intrínseca normalmente se especifica como un tanto por ciento de la **desviación a fondo de escala** (f.s.d.). Por consiguientes para desviaciones pequeñas, la lectura del instrumento puede ser muy incierta. Para hacer mínimo este error sistemático es conveniente pues, seleccionar la escala de medida que tenga el mayor rango posible de los valores a medir.

MULTIMETROS DIGITALES: DM-747A

Nuestros instrumentos digitales tienen una exactitud que va desde 0.4 % hasta 1.2% del valor leído, dependiendo de que se mida voltaje o corriente continua o alterna. Como el multimetedor digital presenta numéricamente el resultado de la medición, en lugar del movimiento de una aguja sobre una escala graduada, es más fácil la lectura y hay menor riesgo de error.

El multimetedor digital es básicamente un voltímetro digital para corriente continua. La corriente continua se mide a través de la caída de voltaje en un shunt. Los voltajes y corrientes alternas se miden del mismo modo luego de conversión a continua. La resistencia se mide haciendo pasar una corriente constante por ella y midiendo la caída de voltaje.

El corazón de medidor electrónico digital es el dispositivo que convierte el voltaje de una forma analógica a una forma digital. Esto es lo que se conoce como convertidor analógico o digital, o A.D.C. Hay varios métodos para el trabajo de un A.D.C. El nuestro lo hace por integración y en última instancia la medida se hace comparando con un patrón interno de alta precisión.

Características Generales :

- Mide 10 Amp.corriente AC y DC
- Visor: 3 ½ dígitos LCD de 5"
- Polaridad automática o Autocero
- Indicación de sobrerango y de batería débil
- Excelentes protecciones
- Usa batería corriente 9VDC

PARAMETRO	RANGO	PRECISION	PROTECCION
VOLTAJE DC	200mV/2V/20V/200V/ 1000V	±0.4% ± 2 dígitos	1000VDC/peak AC
VOLTAJE AC	200mV/2V/20V/200V/ 750V	±0.7% ± 2 dígitos	750 VAC/250 VAC por 15 seg
CORRIENTE DC	2mA/20mA/200mA 10A	±0.7% ± 2 dígitos ±0.7% ± 2 dígitos	Fusible NO
CORRIENTE AC	2mA/20mA/200mA 10A	±1.2% ± 2 dígitos ± 2 dígitos	Fusible NO
RESISTENCIA	200/2K/20K/200K/200 0K/20M	±0.7% ± 2 dígitos	250 VAC

REGLAS DE SEGURIDAD

- 1.- Lea en detalle las siguientes instrucciones antes de intentar usar su DM-747A.
- 2.- Seleccione siempre en su DM-747A el rango **MAS ALTO** de la función que va a medir: **NUNCA** mida si el valor de la función pudiera ser **MAYOR** que el rango **MAS ALTO** de su DM-747A para esa función.
- 3.- Manténgase siempre aislado de tierra cuando efectúe mediciones.
- 4.- **JAMAS** toque conductores desnudos.
- 5.- **JAMAS** reemplace el fusible protector de su DM-747A por otro diferente al original o de mayor capacidad.

OPERACION

La figura 3 muestra una imagen del multímetro digital DM-747A.

Medición de VOLTAJE AC y DC

- 1.- Inserte la punta de prueba **NEGRA** en la entrada: **“COM”** y la **ROJA** en la entrada **“V-Ω”**
- 2.- Seleccione VDC o VAC dejando afuera o presionando respectivamente el switch F2.
- 3.- Seleccione el rango 1000VDC/750 VAC presionando el switch R5.
- 4.- Compruebe que el switch F1 esté afuera.
- 5.- Ponga las puntas de prueba en los dos puntos en que desea medir el voltaje y lea su valor en el display. Si la lectura está dentro del rango inferior o siguientes presione el switch selector correspondiente para obtener una mayor resolución en la medición.

Medición de CORRIENTE AC y DC hasta 2000 mA-

- 1.- Inserte la punta de prueba **NEGRA** en la entrada: **“COM”** y la **ROJA** en la entrada **“mA”**
- 2.- Seleccione DC o AC dejando afuera o presionando respectivamente el switch F2.

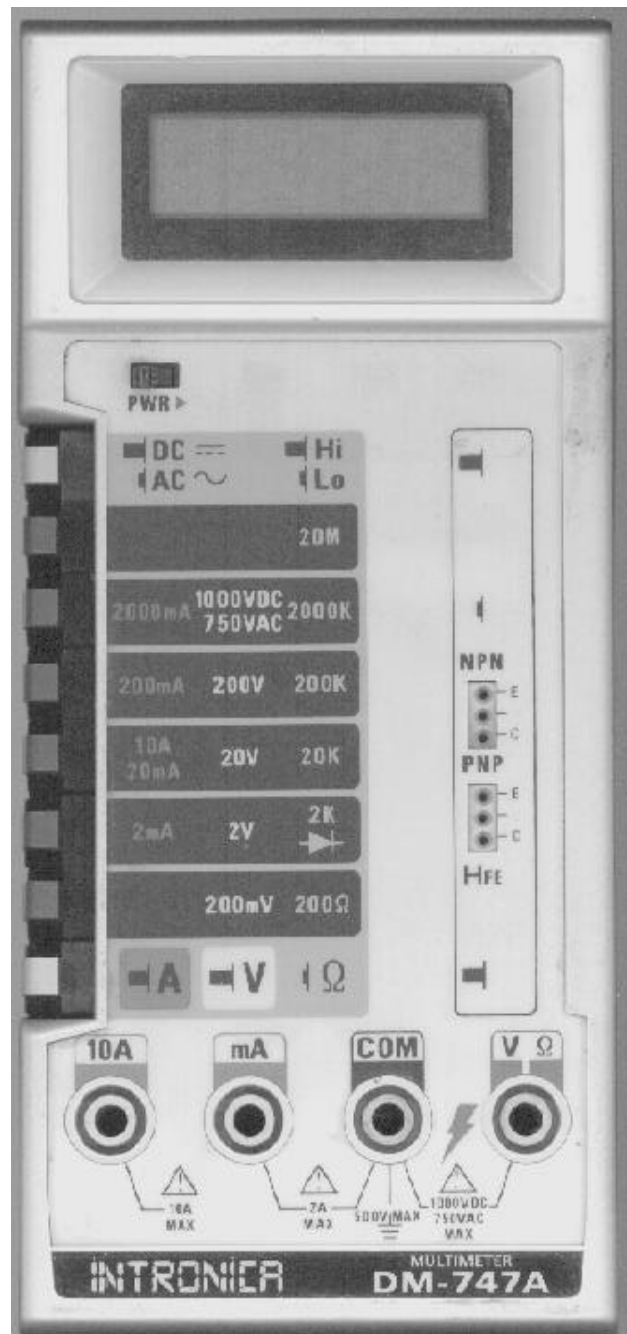


Figura 3: multímetro digital DM-747A

- 3.- Compruebe que el switch F1 esté afuera.
- 4.- Seleccione el rango 2000 mA presionando el switch R5.
- 5.- Conecte su DM-747A en serie con el conductor en el cual se desea medir la corriente.
- 6.- Lea el valor de la corriente en el display. Si fuera menor de 200 mA, Ud puede cambiar el instrumento a un rango menor y obtener mayor resolución.
- 7.- Recuerde que su instrumento está protegido con un fusible de 2 Amp. para estas mediciones.

Medición de **CORRIENTE** AC y DC hasta 10 A

- 1.- Inserte la punta de prueba **NEGRA** en la entrada: “**COM**” y la **ROJA** en la entrada “10A”
- 2.- Proceda como en puntos 2 y 3 del párrafo anterior.
- 3.- Seleccione el rango 10 Amp. presionando el switch R3.
- 4.- Conecte su DM-747 en serie con el conductor en el cual desea medir la corriente y lea su valor en el display.

NOTA : El instrumento no tiene protección en el rango de 10 Amp.

Medición de **RESISTENCIAS**

- 1.- Inserte la punta de prueba **NEGRA** en la entrada: “**COM**” y la **ROJA** en la entrada “ Ω -V”.
- 2.- Presione el switch F1 para seleccionar resistencia.
- 3.- Asegúrese que la resistencia o circuito en que va a medir esté desenergizado.
- 4.- Seleccione el rango deseado presionando uno de los switches R1 a R6.
- 5.- Conecte las puntas de prueba en cada extremo de la resistencia y lea su valor en el display.

CONSIDERACIONES GENERALES

Indicación de sobrerango

Cuando el Display de su DM-747A indica

1

significa que el valor medido es mayor que el rango seleccionado.

Indicación de batería débil

Cuando el Display de su DM-747A indica

BAT

significa que su batería debe reemplazarse.

Como ejemplo: en C.C. el instrumento, en la escala de 20 V, lee: 17.98V. El error es entonces \pm (0.4% de 17.98 + 0.02), es decir, $\pm(0.07+0.02)$, entonces, el voltaje medido es $V = (17.98 \pm 0.09)V$

AMPLIFICADOR DE POTENCIA PASCO CI-6502

El Amplificador de Potencia CI-6502 es un accesorio del sistema de interfaz Serie 6500, manufacturado por PASCO. Usado en conjunto con el programa *Power Amplifier*, permite generar voltajes en el rango 0-10 V, 1 A máximo, con distintas formas de onda, que incluyen onda sinusoidal, cuadrada, triangular, y diente de sierra, con frecuencia en el rango 0.01 a 2000 Hz. Esto significa que el sistema formado por el computador, la interfaz 6500 y el Amplificador de Potencia CI-6502, configura un generador de onda AC para energizar circuitos externos, que pueden ser monitoreados simultáneamente, usando las entradas análogas de la interfaz 6500.

El programa *Power Amplifier* opera como una pantalla de osciloscopio, que permite visualizar el voltaje de salida del amplificador, como una de las trazas, y dos trazas adicionales, para medir señales del circuito en operación. El programa contiene una conjunto de procedimientos que permiten analizar y guardar e imprimir trazas registradas en el modo osciloscopio.

La pantalla de osciloscopio puede monitorear señales hasta 2000 Hz, pero el rango más útil está por debajo de 300 Hz, puesto que la estabilización de la traza respectiva se dificulta a frecuencias mayores. El Amplificador de Potencia también puede ser usado en conjunto con el programa *Data Monitor*, para amplificar señales DC, generadas por el programa.

Para usar la salida del Amplificador de Potencia, conecte el circuito respectivo a los conectores de entrada tipo banana, ubicados en el panel frontal del amplificador. El interruptor está localizado posterior inferior izquierda del amplificador.

☛ **PRECAUCION:** no encienda el Amplificador de Potencia hasta que algún programa de control (*Power Amplifier* o *Data Monitor*) ha sido activado y se ha seleccionado un voltaje de salida. Cuando el computador se encuentra en modo DOS, sin un programa activo, y está encendido el interruptor, el Amplificador de Potencia entrega un voltaje de salida de 10 V, que puede sobrecargar el circuito respectivo conectado a él. Este voltaje es controlado por software.

Cuando el Amplificador de Potencia se encuentra en operación, una luz indicadora de color verde se enciende en el panel frontal.

Adicionalmente existe en el panel frontal una luz roja, que se enciende en cuanto la corriente máxima de 1 A es excedida. Al encenderse esta luz, la forma de onda en uso se distorsiona, y el usuario **debe** reducir el voltaje de salida determinado por el software.

La figura 4 muestra el panel frontal del Amplificador de Potencia

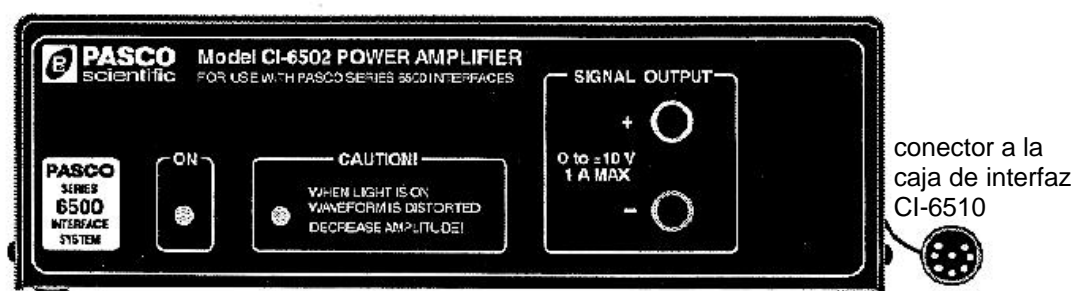


Figura 4: panel frontal del Amplificador de Potencia PASCO CI-6502.

PRECAUCIONES GENERALES EN EL USO DE LOS INSTRUMENTOS

Asegúrese siempre de elegir para empezar la máxima escala de medida y luego, cuidadosamente, pase a una escala inferior. Si el indicador de medida, ya sea visor de multímetro o pantalla de osciloscopio, se va fuertemente fuera de escala, desconecte rápidamente su circuito y pida ayuda a su profesor o a su ayudante.

NO CONECTE LA FUENTE DE CORRIENTE SIN UNA SUPERVISION PREVIA.

Ley de Ohm

Nota: esta guía está basada en el manual “*Power Amplifier*”, publicado por *PASCO Scientific*.

Objetivo

Estudiar empíricamente la relación existente entre el voltaje aplicado a un conductor y la corriente eléctrica que circula como resultado de la aplicación del mismo.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO 6500
- Amplificador de Potencia, PASCO CI-6502
- Circuito *RLC*, PASCO CI-6512
- Conectores
- Programa *Power Amplifier*

Teoría

La *Ley de Ohm* establece una relación entre voltaje, V , aplicado a un conductor y corriente, I , circulando a través del mismo.

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

R es la resistencia del conductor. De acuerdo con la Ec. (1), la relación entre I y V es lineal. Un conductor que satisface esta relación es llamado *óhmico*. Existen conductores en que no se satisface esta relación, debido a cambios en la resistencia por efectos, principalmente térmicos, asociados a la circulación de la corriente.

Montaje Experimental

Conecte el Amplificador de Potencia en el Canal Análogo C de la interfaz sin encenderlo y arme el circuito que muestra la figura 1. El experimento consiste de dos partes:

- 👉 voltaje y corriente en una resistencia de 10Ω
- 👉 voltaje y corriente en una ampolleta de 7.5 V

PARTE A: Resistencia

Procedimiento

- ① Conecte los cables a la resistencia de $10\ \Omega$ en el circuito. Mida la resistencia con un óhmetro y anote el valor.
- ② Ponga en ejecución el programa Power Amplifier. Encienda el Amplificador de Potencia.
- ③ En este momento debería tener una traza en la pantalla, que representa el voltaje de salida del Amplificador de Potencia. Ajuste la salida para que la amplitud, forma de onda y frecuencia, sean las adecuadas para este experimento. Para ello, siga el siguiente procedimiento:

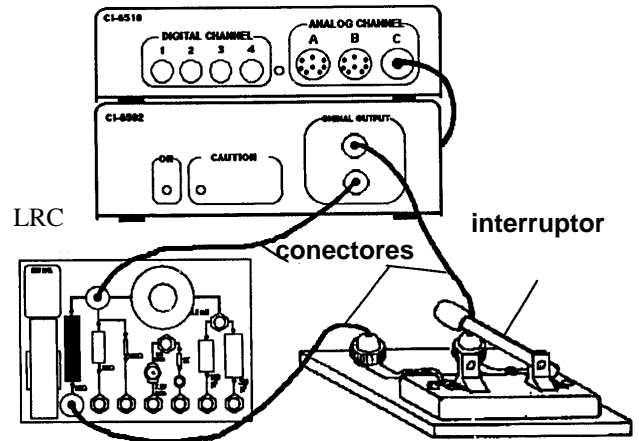


Figura 1: montaje experimental

[A] - AMPLITUDE

Ingrese [5] ; ↵

[W] - WAVEFORM ; ↵

[T] - TRIANGLE ; ↵

[F] - OUTPUT FREQ.; ↵

Ingrese [0.1] ; ↵

[R] - RETURN ; ↵

- ④ Luego de esta secuencia de comandos, usted debe estar de regreso en la pantalla que muestra la traza de voltaje. Ajuste las condiciones de disparo ("trigger") de la señal, con el siguiente procedimiento:

[T] - TRIGGERING

[O] - ON GOING HIGHT ; ↵

↵

Ahora la traza debe iniciarse en la pantalla cuando el voltaje de salida pasa por cero, desde negativo a positivo.

- ⑤ Cambie la velocidad de barrido en la pantalla a 200 ms/div, para ver una porción mayor de la forma de onda:

[➡] - aumenta la cantidad de ms/div (disminuye la velocidad de barrido)

[⬅] - disminuye la cantidad de ms/div (aumenta la velocidad de barrido)

⑥ Cambie la altura de la traza de salida cambiando los V/div a 1.00 /div

Control [↑] - aumenta la altura de la traza (disminuye los V/div)

Control [↓] - disminuye la altura de la traza (aumenta los V/div)

⑦ Active el interruptor del Amplificador de Potencia. Cierre el interruptor del circuito.

⑧ Presione [C] para definir el canal de entrada. Esto selecciona la salida C, que corresponde a la corriente de salida del Amplificador de Potencia, y la despliega en pantalla.

⑨ Aumente la amplitud de la corriente en la pantalla presionando [↑] hasta que el “A/div IN C” es 0.100 A. Cuando se ha completado un barrido completo del ciclo de la forma de onda, presione [F], para acceder el FILE MENU.

Análisis de Datos

Imprima la pantalla usando:

[P] - PRINT SCREEN ; ↵

Seleccione el tipo de tarjeta de interfaz de impresora. ↵

[R] - RETURN TO SCOPE ; ↵

Compare la pendiente de la curva *corriente vs. tiempo* con la pendiente de la curva *voltaje vs. tiempo*.

PARTE B: Ampolleta

① Reemplace la conexión a la resistencia por una conexión a la ampolleta de 7.5 V.

② Cambie la velocidad de barrido a 500 ms/div, para ver una porción mayor de la forma de onda.

③ Repita el procedimiento de la *PARTE A*, para obtener trazas de voltaje y corriente en la pantalla.

④ Imprima la pantalla con las trazas de voltaje y corriente.

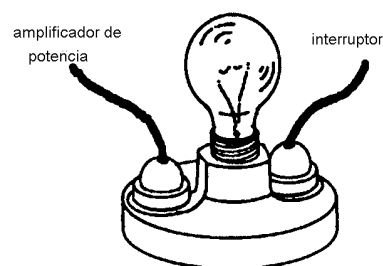


Figura 2: ampolleta de 7.5 V.

Preguntas

- ❶ ¿Se comporta la resistencia de $10\ \Omega$ como un dispositivo “*óhmico*”? Justifique su respuesta.
- ❷ ¿Se comporta la ampollita de $7.5\ \text{V}$ como un dispositivo “*óhmico*”? Justifique su respuesta.
- ❸ A partir del gráfico correspondiente, determine el valor experimental de la resistencia de $10\ \Omega$.
- ❹ A partir del gráfico para la ampollita, estime su resistencia cuando está “fría” y cuando está “caliente”.

Comportamiento de una Pila Eléctrica

Objetivo

Estudiar el comportamiento de una pila seca cuando ella entrega energía a un circuito externo, y a partir de la información obtenida, calcular el valor de parámetros importantes de la misma, ε y R_i .

Equipamiento

- Una pila de 1.5 V
- Dos multímetros DM-747A
- Un reóstato (resistencia variable)
- Conectores

Teoría

El voltaje V a través de una resistencia R , se relaciona con la corriente I que circula por la resistencia de acuerdo con la *Ley de Ohm*:

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

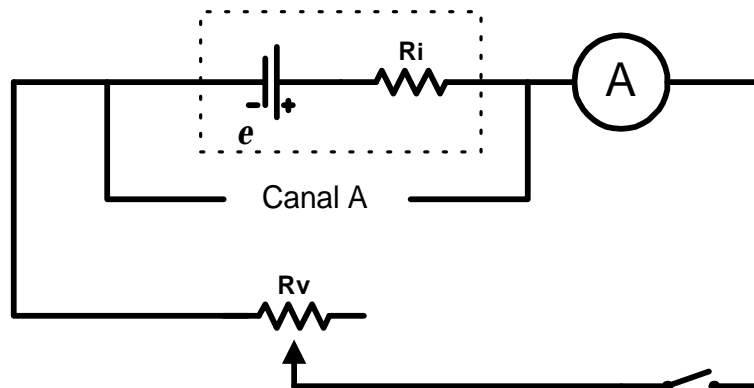
Una pila se puede representar por una fuente de *fuerza electromotriz* (*fem*) ε , conectada en serie con una resistencia R_i , que corresponde a la *resistencia interna* de la pila. Así, si la pila entrega una corriente I , la caída de tensión V a través de la pila esta se relaciona con la fem y la resistencia interna, mediante la ecuación:

$$V = \varepsilon - I \cdot R_i \quad (2)$$

Montaje Experimental

Disponga los materiales y equipos conformando el circuito que muestra la figura 1.

A es un amperímetro de C.C con un alcance máximo de 1A, V es un voltímetro electrónico y R_v es un reóstato variable adecuado que está conectado en serie con la pila y el amperímetro, a través de cables.



Procedimiento

- ① Ingrese al subdirectorio DATMONIT y ponga en ejecución el programa DM.
- ② Para calibrar el canal A (para que lea voltajes), del menú principal seleccione la opción:

[Z] - CALIBRATION ↵

[L] - LOAD CALIBRATION FILE ↵

Ponga en ON el Canal A. Presione ↵. Escoja el archivo VOLTS.CAL. ↵

Presione ↵. Para volver al menú principal seleccione:

[X] - EXIT TO MAIN MENU ↵

- ③ Para tomar los datos seleccione:

[K] - MONITOR INPUT VS KEYBOARD ENTRY ↵

“ Enter new label for independent (Horizontal Axis) :” Ingrese Corriente ↵

“ Enter new units for independent (Horizontal Axis) :” Ingrese Amp. ↵

“ Enter offset (If an offset is used, it will be subtracted from each entry) :” Ingrese 0 ↵

- ④ En este momento el computador comenzará a tomar los valores de voltaje. Ud. deberá posicionar la pinza sobre el alambre en un lugar determinado, cuando los valores del voltaje se hayan estabilizado presione la barra espaciadora. En ese momento ingrese a través del teclado la lectura del amperímetro. Presione ↵. Repita para por lo menos 10 posiciones distintas.

⑤ Al finalizar las mediciones, presione \leftarrow y vuelva al menú principal.

⑥ Para graficar los datos obtenidos seleccione :

[P] - PLOT GRAPH \leftarrow

Ponga en ON :

[P] - POINT PROTECTORS \leftarrow

[R] - REGRESSION LINE \leftarrow

[S] - STATISTICS \leftarrow

[T] - SPECIFY GRAPH TITLE \leftarrow

Análisis de Datos

① Escriba, a partir de la Ley de Ohm, una ecuación que describa el circuito usado en el experimento, incluyendo los términos de fem, resistencia interna de la pila, resistencia externa y voltaje y corriente medidos.

② Grafique V en volts *versus* I en amperes.

③ Obtenga el valor de la pendiente y del intercepto de la curva graficada. Interprete físicamente el resultado.

④ Utilizando el Gráfico y la ecuación que describe el circuito, responda las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto vale ε ?
- ¿Cuánto vale R_i ?

Preguntas

❶ ¿Cómo es la R_i de su pila comparada con las de sus compañeros?. Comente.

❷ ¿Cuánto vale I para $V=0$?. Discuta su resultado.

❸ A una pila nueva y sin uso se le mide su voltaje con un voltímetro y luego la misma pila conectada a una ampolleta se le mide nuevamente su voltaje, mientras esté energizado el circuito. ¿Qué cree Ud. que marcaría el circuito en ambas situaciones?. Explique

Circuitos RC y LR

Nota: esta guía está basada en el manual “*Power Amplifier*”, publicado por *PASCO Scientific*.

Objetivo

Estudiar empíricamente la existencia de constantes de tiempo características, asociadas a capacidades e inductancias en circuitos eléctricos.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO 6500
- Amplificador de Potencia, PASCO CI-6502
- Circuito *RLC*, PASCO CI-6512
- Conectores
- Interruptor
- Programa *Power Amplifier*

PARTE A: *circuito RC*

Teoría

Al conectar un condensador cargado a una fuente de voltaje continuo, la razón a la cual se carga, decrece con el tiempo. Al comienzo, el condensador se carga fácilmente, debido a que hay poca carga acumulada en sus placas, pero a medida que ésta se acumula, el voltaje debe realizar un mayor trabajo para mover cargas adicionales hacia las placas, para así vencer las fuerza repulsiva debida a acumulación de carga de igual signo. Como resultado de esto, el condensador aumenta su carga exponencialmente en el tiempo, rápidamente al principio, pero más lentamente a medida que transcurre el tiempo. La carga en las placas en un tiempo t cualquiera, está dada por,

$$q = q_0(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

donde q_0 es la máxima carga en las placas y τ es la constante de tiempo capacitiva ($\tau = RC$, donde R es la resistencia y C la capacidad). Considerando límites extremos, note que cuando $t = 0$, $q = 0$, lo que significa que no hay carga inicial en las placas. Note también, que

El tiempo que toma la carga del condensador par alcanzar la mitad del máximo se llama *tiempo de vida media*, y se relaciona con la constante de tiempo a través de,

En este experimento la carga del condensador será medida de forma indirecta, midiendo el voltaje a través del condensador, dado que ambos son proporcionales: $q = CV$.

Usando la placa PASCO con componentes eléctricos, arme el circuito que muestra la figura 1, usando la salida del Amplificador de Potencia como fuente de voltaje.



Procedimiento

- ① Ponga en ejecución el programa *DATA MONITOR*
- ② Seleccione los canales a ser usados y fije el voltaje del amplificador de potencia en 4 V:

[I] - SELECT CHANNELS ;

Use las flechas de espaciamento para apagar (“off”) los canales B y C, dejando encendido el canal A (“on”)

[Y] - SET THE POWER AMPLIFIER VOLTAGE ; ↵

Ingrese [4] ; ↵

↵

[X] - RETURN TO MAIN MENU; ↵

- ③ Ingrese al modo osciloscopio para tomar datos:

[L] - OSCILLOSCOPE ; ↵

[↑] - CHANGE THE GAIN TO 1 V/DIV ; ↵

Fije el gatillo en modo “barra de espaciamento”; ↵

[T] - TRIGGERING ; ↵

[S] - SPACEBAR ; ↵

[R] - RETURN TO SCOPE ; ↵

[→] - CHANGE THE SWEEP SPEED TO 50 MS/DIV ; ↵

- ④ Presione la barra de espaciamento y cierre de inmediato el circuito. Aparecerá en pantalla el voltaje a través del condensador. Este voltaje es proporcional a la carga del condensador, dado que $q = CV$.

- ⑤ Abra el circuito.

- ⑥ Para encontrar el tiempo de vida media, examine su tabla de datos:

↵

[O] - EXIT - STORE DATA ; ↵

[D] - DISPLAY/PRINT TABLE ; ↵

Use las flechas de movimiento en la pantalla, para encontrar el punto en que el voltaje empieza a subir. Anote ese tiempo. Luego, muévase hasta el punto en que el voltaje alcanza la mitad del máximo (2 V). Anote este tiempo (interpole si es necesario).

$t_{v=0} =$ _____

$t_{V/2} =$ _____

- ⑦ Mida a continuación la resistencia con un óhmetro. Si dispone de un medidor de capacidad, úselo para medir la capacidad del condensador usado. En caso contrario, suponga que el valor correcto es 330 μF .

$R =$ _____

$C =$ _____

NOTA :El valor de la inductancia de la bobina con el núcleo es de 30 mH aproximadamente.

Análisis de Datos

- ① Encuentre la diferencia entre ambos tiempos, para determinar el tiempo de vida media:

$$t_{1/2} = t_{V/2} - t_{v=0}$$

- ② Calcule el valor teórico, usando la Ecuación (2)
- ③ Calcule la diferencia porcentual entre los valores teórico y experimental de $t_{1/2}$.

Preguntas

- ❶ $t_{1/2}$ indica el tiempo que el condensador demora en cargarse a la mitad de la carga total. De acuerdo con esto, ¿Cuánto demora un condensador en alcanzar 75% de la carga total?
- ❷ Luego de cuatro vidas medias, ¿Qué porcentaje de la carga total ha alcanzado el condensador?
- ❸ ¿Cuál es la máxima carga, en términos de la carga total, que alcanza el condensador en este experimento?

PARTE B: circuito LR

Teoría

Al aplicar un voltaje DC (continuo) a un inductancia y una resistencia conectadas en serie, se establece una corriente estacionaria, dada por,

$$I_{max} = \frac{V_0}{R} \quad (3)$$

donde V_0 es el voltaje aplicado y R es la resistencia total del circuito. Para alcanzar esta condición estacionaria se requiere un cierto tiempo, dado que la inductancia produce una *fem* (fuerza electromotriz) en respuesta al incremento de corriente. La corriente sube exponencialmente, de acuerdo con

$$I(t) = I_{max} \left(1 - e^{-(R/L)t}\right) = I_{max} \left(1 - e^{-(t/\tau)}\right) \quad (4)$$

donde L es la inductancia y $\tau = L/R$ es la *constante de tiempo inductiva*. La constante de tiempo inductiva es una medida de cuanto tiempo toma alcanzar la condición de corriente estacionaria. Una vez el tiempo de la constante de tiempo inductiva equivale al tiempo que toma la corriente en subir a 63% de su valor máximo (o bajar a 37% de su máximo). El tiempo que demora la corriente en subir o bajar a la mitad de su máximo se relaciona con la constante de tiempo inductiva a través de,

$$t_{1/2} = \tau \ln 2 \quad (5)$$

Dado que el voltaje a través de la resistencia está dado por $V_R = IR$, el voltaje varía exponencialmente, con

$$V_R = V_0 \left(1 - e^{-(t/\tau)}\right) \quad (6)$$

Como el voltaje a través de la inductancia está dado por $V_L = L(dI/dt)$, este voltaje parte en $t = 0$ en su valor máximo, y luego decrece exponencialmente:

$$V_L = V_0 e^{-t/\tau} \quad (7)$$

Luego de un tiempo $t \gg \tau$, se establece una corriente estacionaria I_{\max} y el voltaje a través de la resistencia es igual al voltaje aplicado, V_0 . El voltaje a través de la inductancia es cero. Si, luego de que se ha establecido la corriente máxima, se apaga la fuente de voltaje, la corriente decrece exponencialmente a cero, mientras el voltaje a través de la resistencia hace lo mismo, produciendo la inductancia nuevamente una *fem*, mientras el voltaje cae a cero.

En cualquier instante de tiempo se cumplen las Reglas de Kirchhoff. Es decir, la suma algebraica del voltaje a través de la resistencia más el voltaje a través de la inductancia debe ser igual al voltaje de la fuente en ese instante de tiempo.

Montaje experimental

- ① Conecte el amplificador de potencia al canal C de la interfaz.

⚡ **CUIDADO:** no encienda el amplificador de potencia hasta que el programa Power Amplifier esté en ejecución. El hacerlo antes puede resultar en sobre carga del circuito.

② Conecte el circuito, como muestra la Figura 2, usando la señal de salida del amplificador de potencia como fuente DC.

③ Conecte el enchufe DIN al Canal A de la caja de interfaz. Conecte los enchufes banana a ambos extremos de la inductancia. Coloque el núcleo de hierro en el interior de la inductancia

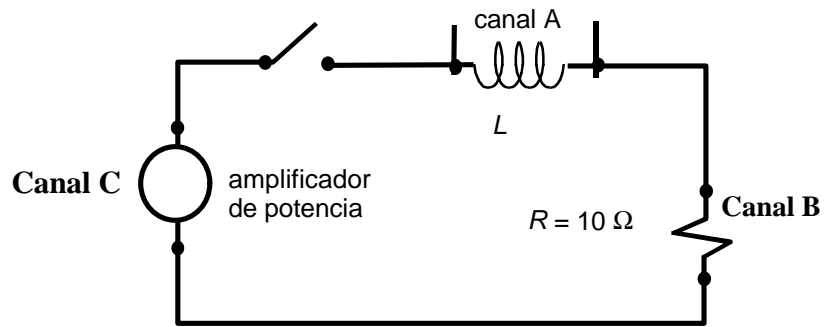


Figura 2.

④ Ponga en ejecución el programa *POWER AMPLIFIER*.

Procedimiento

Cuando el programa Power Amplifier se encuentre en ejecución, la señal de voltaje corresponde a una senoide. Para simular una fuente DC que se enciende y apaga de manera repetitiva, se usará una señal de onda cuadrada, de amplitud 3 V y frecuencia 20 Hz.

① Fije la salida del amplificador de potencia a 3 V, 20 Hz, onda cuadrada:

[O] - OTHER OPTIONS

[A] - AMPLITUDE

Ingrese [3] ; ↵

[W] - WAVEFROM ; ↵

[T] - SQUARE WAVE ; ↵

[F] - OUTPUT FREQUENCY ; ↵

Ingrese [20] ; ↵

[R] - RETURN ; ↵

② De vuelta en la pantalla que muestra la señal, cambie la velocidad de barrido a 5 ms/div.

[➡] - aumenta la cantidad de ms/div (disminuye la velocidad de barrido)

[⬅] - disminuye la cantidad de ms/div (aumenta la velocidad de barrido)

③ Cambie la altura de la traza de salida cambiando el #V/div OUT a 1.0 V/DIV

[control]+[↑] - aumenta la altura de la traza (disminuye los #V/div)

[control]+[↓] - disminuye la altura de la traza (aumenta los #V/div)

④ Encienda el amplificador de potencia y cierre el circuito.

⑤ Seleccione la señal de corriente del amplificador de potencia tipeando [C].

⑥ Aumente la amplitud de la señal de corriente a una valor adecuado.

⑦ Guarde en memoria un barrido de la pantalla, tipeando [D].

⑧ Examine el gráfico de la siguiente forma: 

[P] - PLOT GRAPH; 



Ponga en ON:

[G] - BACKGROUND GRID OF DOTS

[L] - LINE CONNECTING POINTS

[T] - SPECIFY GRAPH TITTLE

[Z] – SEPARATED GRAPH

Presione . En la pantalla aparecerá el gráfico Potencial vs Tiempo. Presione  y seleccione en el menú EXAMINE DATA. Use las flechas de movimiento en la pantalla, para obtener las coordenadas.

⑨ Encuentre la constante de tiempo inductiva usando los datos de corriente y tiempo. Encuentre el valor máximo de corriente y el tiempo en que el voltaje era cero.

$$I_{\max} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad t_{v=0} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Encuentre el tiempo en que la corriente sube a la mitad del máximo. Anótelo, interpolando si ello resulta necesario.

$$t_{1/2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

A partir de la diferencia entre ambos tiempos anteriores, encuentre el tiempo de vida 4media y, a partir de él, la constante de tiempo inductiva.

$$t_{1/2} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad \tau = \underline{\hspace{2cm}}$$

⑩ Seleccione la señal de voltaje a través de la inductancia tipeando [A]. Aumente la amplitud de la señal de voltaje a una valor adecuado.

①① Seleccione la señal de voltaje a través de la resistencia tipeando [B].

①② Guarde en memoria un barrido de la pantalla, tipeando [S].

- ①③ Ingrese al menú de análisis de datos. Imprima su tabla de datos y genere los gráficos que necesite para la discusión
- ①④ Imprima los gráficos V_L (voltaje de la bobina) vs tiempo, V_R (voltaje de la resistencia) vs tiempo y V_F (voltaje de la fuente) vs tiempo.

Preguntas

- ❶ ¿Cómo se compara el valor medido de la constante de tiempo inductiva con el valor teórico dado por $\tau = L/R$? Recuerde que R representa la resistencia total del circuito.
- ❷ ¿Se cumple la regla de Kirchhoff? Compare al menos para tres tiempos distintos la suma algebraica del voltaje a través de la resistencia y la inductancia, con el voltaje de la fuente. Para esta comparación use los gráficos obtenidos anteriormente.
- ❸ Ud. trabajó con una resistencia de $10\ \Omega$, ¿cree Ud que es la única resistencia ohmica presente en el circuito?. Si su respuesta es afirmativa ¿que dispositivo estaría afectando a la medida de τ y a la comprobación de la segunda ley de Kirchhoff?.

Equivalente Mecánico del Calor por un Método Eléctrico

Nota: esta guía está basada en el manual “Power Amplifier”, publicado por PASCO Scientific.

Objetivo

Estudiar la transferencia de energía desde una resistencia eléctrica al agua, obteniendo a partir de los resultados una medición del equivalente eléctrico del calor.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO 6500
- Amplificador de Potencia, PASCO CI-6502
- Sensor de Temperatura, PASCO CI-6505
- Resistencia de $10\ \Omega$, 1 W
- Balanza
- 200 ml de agua
- Vaso plástico
- Conectores
- Interruptor
- Programa *Data Monitor*

Teoría

El agua es calentada por una resistencia eléctrica sumergida en ella, por la que circula una corriente. El calor disipado por efecto Joule en la resistencia es transferido al agua. Usamos el Principio de Conservación de la Energía, suponiendo que no hay pérdidas de calor, lo que equivale a que toda la energía entregada por la resistencia es absorbida por el agua.

La energía disipada en la resistencia es

$$E = \bar{P}t \tag{1}$$

donde t es el tiempo que circula la corriente y \bar{P} es la potencia promedio, dada por,

$$\bar{P} = \bar{IV} \tag{2}$$

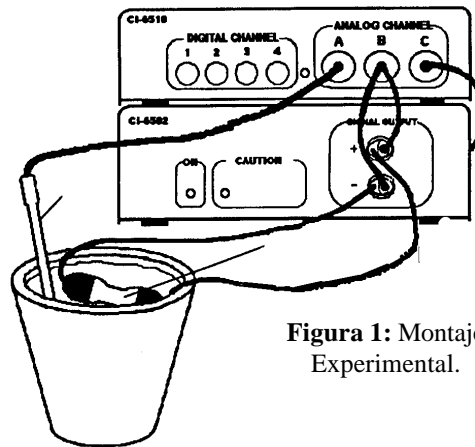


Figura 1: Montaje Experimental.

con \bar{I} la corriente promedio y \bar{V} el voltaje promedio.
La energía absorbida por el agua está dada por,

$$Q = mc\Delta T \quad (3)$$

donde m es la masa de agua, c es el calor específico del agua (1 cal/gr°C) y ΔT es el cambio en la temperatura del agua. Para obtener el equivalente eléctrico del calor, se iguala la energía disipada por la resistencia (en Joule) a la energía ganada por el agua (en calorías).

Montaje Experimental

- ① Pese el vaso plástico.
- ② Prepare la resistencia de 10 Ω , uniendo a ella los conectores aislados necesarios.
- ③ Conecte el Amplificador de Potencia en el Canal C de la interfaz.
- ④ Conecte el sensor de temperatura en el Canal A de la interfaz.
- ⑤ Conecte cables para la medición de voltaje en el Canal B de la interfaz.

⚠ **⚠ CUIDADO:** asegúrese que la resistencia esté sumergida en agua cuando conecte el circuito. En caso contrario, ésta se quemará al aplicar el voltaje.

💧 **⚠ PRECAUCION :** asegúrese de que no se produzcan corrientes de aire en el interior del laboratorio, para no alterar las mediciones de la temperatura.

- ⑥ Ponga 200 ml de agua en el vaso plástico y péselo.
- ⑦ Use agua que esté a unos tres grados por debajo de la temperatura ambiente al iniciar la recolección de datos.
- ⑧ Tome datos hasta que la temperatura esté a unos tres grados por sobre la temperatura ambiente. Estas condiciones minimizan efectos del medio, ya que el agua gana energía de éste durante la mitad del experimento y le cede durante la otra mitad.
- ⑨ Reste la masa del vaso, de la masa total, para obtener la masa del agua. Sumerja la resistencia en el agua. Cubra la parte superior del vaso con papel aluminio, para minimizar pérdidas por radiación y convección.

- ⑩ Encienda el computador y el Amplificador de Potencia. Ponga en ejecución el programa *DM* el cual se encuentra en el subdirectorio *DATMONIT*.

PARTE I: CALIBRACIÓN DEL PROGRAMA

Procedimiento

- ① Para que el sensor de temperatura lea directamente en grados Celcius, cargue el archivo de calibración correspondiente, usando los siguientes comando

[Z] - CALIBRATION; ↵

[L] - LOAD NEW CALIBRATION FILE ; ↵

ON - [A] - CHANNEL A (sólo A requiere esta calibración. Los otros canales deben quedar “OFF”)

↵ (Debe aparecer un directorio, con archivos de calibración)

Selecione TEMP.CAL ; ↵

Ahora la pantalla debe indicar qué archivo ha sido cargado en el sistema ; ↵

- ② Para que la lectura de voltaje sea en Volts, cargue el archivo de calibración correspondiente, usando los siguientes comando

[Z] - CALIBRATION; ↵

[L] - LOAD NEW CALIBRATION FILE ; ↵

ON - [B] - CHANNEL B (sólo B requiere esta calibración. Los otros canales deben quedar “OFF”)

↵ (Debe aparecer un directorio, con archivos de calibración)

Selecione VOLTS.CAL ; ↵

Ahora la pantalla debe indicar qué archivo ha sido cargado en el sistema ; ↵

- ③ Para que la lectura de corriente sea en Amperes, cargue el archivo de calibración de corriente:

[L] - LOAD NEW CALIBRATION FILE ; ↵

ON - [C] - CHANNEL C (sólo C requiere esta calibración. Los otros canales deben quedar “OFF”)

↵ (Debe aparecer un directorio, con archivos de calibración)

Selecione AMPS.CAL ; ↵

Ahora la pantalla debe indicar qué archivo ha sido cargado en el sistema ; ↵

[X] - RETURN TO MAIN MENU; ↵

- ④ Para fijar el voltaje de salida del Amplificador de Potencia:

[O] - OTHER OPTIONS; ↵

[Y] - SET POWER AMPLIFIER VOLTAGE; \rightarrow
Ingrese [9] ; \rightarrow (el voltaje queda ahora fijo en 9 V)
 \rightarrow ; (lo lleva de regreso al MENU *Other Options*)

⑤ Para desplegar los canales A, B, y C (temperatura, voltaje y corriente), haga la siguiente elección del MENU *Other Options*:

[I] - SELECT CHANNELS ; \rightarrow
ON - [A] - CHANNEL A
ON - [B] - CHANNEL B
ON - [C] - CHANNEL C
[X] - RETURN TO MAIN MENU ; \rightarrow

⑥ Para preparar el proceso de toma de datos:

[M] - MONITOR INPUT; \rightarrow
ON - [S] -STORE DATA IN MEMORY; \rightarrow

Se le pedirá que ingrese el lapso de tiempo en el cuál se toman los datos (“HOW LONG DO YOU WANT TO TAKE READINGS?”). Ingrese [0-00:10:00], para fijar el tiempo en 10 minutos. Luego debe ingresar el número de lecturas a ser tomadas en este período (“HOW MANY READINGS (PER CHANNEL) DO YOU WANT TO STORE DURING THIS INTERVAL?”). Ingrese [60]. En estas condiciones se tomarán 60 datos en los 10 minutos, lo que equivale a un punto cada 10 segundos.

No presione \rightarrow hasta que se inicie la adquisición de datos.

PARTE II: Ejecución del Experimento

① Presione \rightarrow para empezar la recolección de datos y cierre de inmediato el circuito eléctrico, aplicando el voltaje a la resistencia.

\rightarrow IMPORTANTE: mientras se realice la adquisición de datos, agite suavemente el agua, para asegurar calentamiento uniforme.

② Cuando la temperatura alcance un valor tres grados por encima de la ambiente, abra el circuito eléctrico. Continúe agitando el agua y tomando datos. La temperatura subirá hasta un valor máximo, cuando todo el calor de la resistencia se haya disipado, y luego empezará a descender, por disipación al medio.

③ Cuando la recolección de datos esté terminada, presione \rightarrow para volver al MENU PRINCIPAL.

④ Imprima su tabla de datos:

[T] - DISPLAY/PRINT DATA TABLE ; \rightarrow

[P] - PRINT DATA TABLE ; \rightarrow

⑤ Anote las temperaturas máxima y mínima de la tabla, en el rango válido de mediciones.

⑥ Grafique Temperatura vs tiempo

[P] - PLOT GRAPH; \rightarrow

ON - [S] - STATISTICS

ON - [R] - REGRESSION LINE

ON - [O] - SELECTED CHANNELS ONLY (Selecciona solamente un canal, que será el de la temperatura)

ON - [A] - CHANNEL A (El resto de los canales deben quedar OFF); \rightarrow

\rightarrow

\rightarrow

[X] - RETURN TO MAIN MENU; \rightarrow

⑦ Para encontrar el voltaje y la corriente promedios:

\rightarrow

[T] - DATA TABLE/STATISTICS ; \rightarrow

[D] - DISPLAY STATISTICS ; \rightarrow

Anote los valores medios de voltaje y corriente que figuran en la pantalla.

Análisis de Datos

❶ Calcule la Potencia Promedio disipada por la Resistencia, usando la Ec. (2)

❷ Calcule la Energía (en Joules) disipada por la resistencia durante el tiempo de circulación de la corriente, usando la Ec. (1).

❸ Calcule la Energía (en calorías) absorbida por el agua usando la Ec. (4).

❹ Iguale la Energía disipada con la energía absorbida y obtenga a partir de la igualdad, el número de Joules por caloría (equivalente mecánico del calor). Calcule la diferencia porcentual entre el valor medido y el valor aceptado (4.184 J/cal).

Calcule la pendiente del gráfico T° vs t.

Obtenga el equivalente eléctrico del calor a través de la pendiente y compárelo con el valor aceptado.

Preguntas

- ❶ La energía ganada por el sistema agua-calorímetro resultó ser ¿Mayor o menor que la energía cedida por la resistencia? Explique el resultado.
- ❷ La resistencia usada es de 1W. ¿Cuánto mayor que este valor fue la potencia característica disipada por la resistencia en el experimento?
- ❸ ¿Por qué la resistencia no se quemó?
- ❹ ¿Por qué se produce una variación de la intensidad de la corriente y es necesario corregirla?

¿Qué error se pretende corregir en la experiencia cuando se le pide que tome un promedio de V ?, ¿Por qué puede variar durante el experimento si mantenemos I constante?

¿Qué porcentaje de error tiene el valor de J calculado por Ud., con respecto al valor aceptado?

Si Ud. no dispusiera de un voltímetro, ¿qué dato adicional necesitaría para calcular J ?, ¿Qué inconveniente presenta realizar la experiencia de ésta manera?

Indique las posibles fuentes de error en este experimento y como corregirlas y evitarlas.

Inducción Magnética

Objetivo

- Estudiar cualitativamente el fenómeno de Inducción.
- Medir la fuerza electromotriz (FEM) inducida en una bobina por una barra magnética, a través del centro de la bobina.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO 6500
- Bobina 10000 vueltas, 0.1 A
- Barra magnética
- Conectores
- Programa *Data Monitor*

Teoría

Cuando una barra magnética pasa a través de una bobina se produce un cambio en el flujo magnético a través de la bobina el cual induce una fem en la bobina. De acuerdo con la Ley de Faraday de la Inducción :

$$\epsilon = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

onde ϵ es la fem inducida, N es el número de vueltas del alambre en la bobina y $\Delta \phi / \Delta t$ es la razón de cambio del flujo a través de la bobina.

En este experimento un gráfico de la FEM vs tiempo es hecho, y el área bajo la curva es encontrado por integración. Esta área representa el flujo, ya que :

$$\epsilon \Delta t = - N \Delta \phi$$

Parte I: Estudio Cualitativo de la Inducción Magnética

Procedimiento

- ① Arme el sistema de la figura 1, conectando 2 bobinas iguales, entre 250 y 600 vueltas y el sistema imán-resorte.

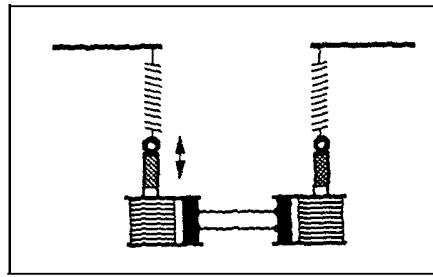
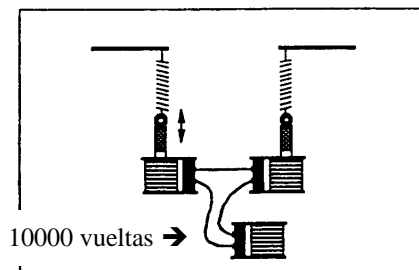


Figura 1: Montaje Experimental

Asegúrese de que ambas bobinas estén lo suficientemente separadas conectándose con cables largos para que el campo magnético de los imanes no influyan entre sí.

- ② Mueva el imán de una de las bobinas hacia arriba, y luego suéltelo de tal modo que el imán tenga un movimiento armónico simple. Note la reacción del segundo imán. Explique lo sucedido.
- ③ Invierta la orientación de una de las dos bobinas y repita el paso ② . ¿Qué sucede con el movimiento?. Explique
- ④ ¿Qué sucede si usa diferentes números de vueltas en una bobina?

- ⑤ Inserte una tercera bobina en el circuito, (fig.2), la cual tenga un número de vueltas, de aproximadamente 10000. Enseguida haga oscilar uno de los imanes. Observe ¿Qué sucede?.



- ⑥ Ponga en cortocircuito la tercera bobina. ¿Qué sucede? . Explique.

- ⑦ Cambie la bobina de 10000 vueltas por una mucho menor (similar en número de vueltas a las usadas en un principio). Inserte un tercer imán (fig.3) y haga oscilar éste último. ¿Qué sucede?

Figura 2: Montaje experimental con 3 bobinas.

- ⑧ Ponga en cortocircuito la tercera bobina y repita. Explique

Análisis

- ① ¿Por qué los imanes tienen ese comportamiento?. Relacione su respuesta con el concepto de Inducción.

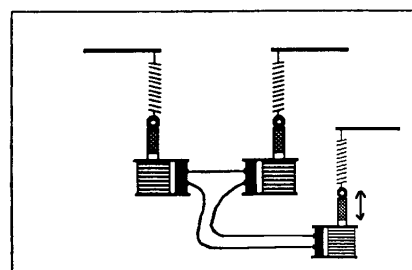


Figura 3

- ② ¿Cuál ha sido el efecto al cambiar la polaridad de los cables que conectan las dos bobinas?
- ③ Al acoplar la tercera bobina de alta inductancia, explique y fundamente el efecto observado en los imanes. (Punto ⑤ del procedimiento)
- ④ Al acoplar una tercera bobina de un menor número de espiras y al hacer oscilar uno de los imanes, explique y fundamente el efecto observado en los imanes. (Punto ⑦ del procedimiento).
- ⑤ A la luz del experimento realizado, ¿Cómo puede explicar Ud. en términos de energía el fenómeno de Inducción?.

Parte II: Medición de la Fuerza Electromotriz (FEM)

Montaje Experimental

- ① Sujete la bobina de tal modo que el orificio quede en posición vertical, para que a través de él caiga la barra magnética sin obstáculos.
- ② Bajo la bobina posicione un recipiente con plumavit para proteger al imán del golpe
- ③ Conecte el voltímetro a la bobina. Enseguida conecte con un DIN el voltímetro al Canal A de la interfaz.

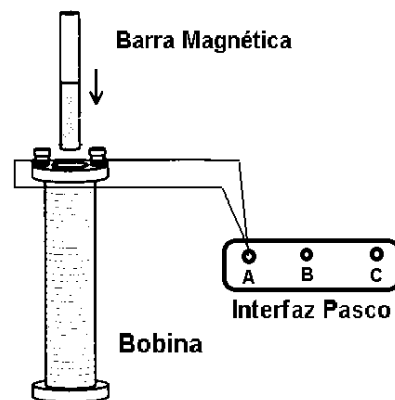


Figura 3: Montaje experimental

Procedimiento

- ① Ejecute el programa Data Monitor tipeando

[DM] -

- ② Use el modo osciloscopio para obtener los datos

[L] - OSCILOSCOPIO

Ponga la ganancia del canal A en 1 V/div. Usando las teclas [] [], flechas arriba/abajo
Ponga en OFF los canales B y C presionando [B] [C] .

Ponga la velocidad de barrido a 100 ms/div usando [←] [→], flechas izquierda, derecha.

Ponga el triggering en Auto (A, 0.05 V, Down)

[T] - TRIGGERING

[A] - AUTO

VOLTAJE : 0.05

- ③ Asegúrese que la barra magnética esté de tal modo que el extremo sur este levemente sobre la bobina. Suelte la barra magnética para que atraviese la bobina por completo. Observe la señal en la pantalla del osciloscopio.

Análisis de Datos

- ① Para salir del modo osciloscopio, escoja

[O] - OTHER OPTIONS;

[S] - EXIT SAVE DATA ;

- ② Para dibujar los datos escoja :

[P] - PLOT GRAPH;

[B] - AUTO SCALING ;

[B] - AUTO SCALING ; (el gráfico será dibujado ahora);

- ③ Para integrar bajo el primer pic : escoja:

[I] - INTEGRATE;

Mueva el cursor a través del primer pic. Registre el valor dado bajo la parte inferior de la pantalla para el flujo.

- ④ Repita el paso ③ para integrar bajo el segundo pic. Registre el valor.

Preguntas

- ❶ ¿Cómo es el flujo entrante con respecto al saliente?.
- ❷ ¿Porqué es el pic. saliente mas alto que el pic. entrante?. Explique.
- ❸ ¿Porqué son los pic. opuestos en dirección?
- ❹ Amarre dos barras magnéticas, de tal modo que queden juntos ambos polos Sur y suéltelos a través de la bobina, ¿Qué sucede con los peak?. Explique.

Reordene las barras magnéticas de tal modo que queden juntos un polo Norte con uno Sur. ¿Qué sucede con el flujo?. Explique.

Cuociente entre Carga Eléctrica y Masa del Electrón:

Objetivo

Medir el cuociente entre la masa y la carga del electrón, usando la interacción del electrón con campos eléctricos y magnéticos.

Materiales

- Tubo electrónico (tipo “*ojo mágico*”)
- Bobina
- Dos multímetros
- Fuente de Poder de C.C.
- Cámara digital con software **Photomax** (Escritorio Windows)
- Conectores
- Compás
- Pie de Metro

Introducción

En este experimento se estudia el efecto de los campos eléctricos y magnéticos sobre partículas cargadas, lo que permite medir el cuociente entre la carga eléctrica y la masa de los electrones. Los electrones se pueden liberar en un ambiente adecuado, calentado a una temperatura conveniente un metal que tenga una función de trabajo baja. Los electrones se originan en un cátodo de calentamiento indirecto; ellos tienen una energía cinética muy pequeña y son focalizados por una lente electrostática, el electrodo de Wehnelt, conformando un haz fino de electrones que se aceleran mediante un potencial positivo aplicado al ánodo. El haz puede desviarse mediante un campo eléctrico, creado al aplicar un potencial a un par de electrodos de desviación colocados delante del ánodo. La desviación del haz puede producirse, además, mediante un imán permanente o mediante un campo magnético producido por una o más bobinas por las que circula una corriente eléctrica.

Los electrodos, cátodo, focalizador de Wehnelt, ánodo y placas desviadoras, están dispuestos excéntricamente dentro de una ampolla de vidrio. La ampolla de vidrio contiene una pantalla fosforescente. Los electrones provenientes del cátodo chocan con la pantalla, la excitan y ésta emite luz, indicando de esta manera la trayectoria seguida por los electrones.

Teoría

Consideremos un electrón de masa m describiendo una circunferencia de radio r , como muestra la figura 1. El electrón está sometido a una fuerza centrípeta dada por :

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (1)$$

donde m es la masa del electrón, v la velocidad con que se mueve, y r es el radio de la trayectoria circular. En el caso de un electrón realizando una trayectoria circular en un campo magnético perpendicular al plano de la órbita, la fuerza centrípeta está dada por la *Fuerza de Lorentz*,

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

Dado que en este caso $v \perp B$, se puede escribir :

$$F = evB = F_c \quad (3)$$

Al aplicar una diferencia de potencial V entre cátodo y ánodo, los electrones son acelerados, adquiriendo una energía cinética E_c :

$$E_c = \frac{mv^2}{2} = eV \quad (4)$$

Combinando la Ecs. (1), (3) y (4) se obtiene :

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2} \left[\frac{\text{Coul}}{\text{kg}} \right] \quad (5)$$

El campo magnético en el interior de una bobina larga es paralelo al eje de la bobina y aproximadamente constante. Está dado por la expresión

$$B = \mu_0 \cdot N \cdot I \quad (6)$$

donde $\mu_0 = 1.26 \cdot 10^{-6}$ H/m es la permitividad del vacío, I es la corriente que circula por la bobina, y N es el número de vueltas por unidad de longitud de la bobina.

En la Ec. (5), V se puede medir, r se determina mediante el uso de una regla graduada y B se puede calcular con la expresión para el campo magnético en el interior de una bobina.

Montaje Experimental

- ① Utilizaremos un tubo electrónico al vacío, del tipo ojo mágico. La figura 2 muestra un esquema del tubo.

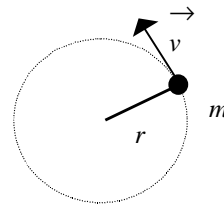


Figura 1: electrón en trayectoria circular.

- ② Los componentes del tubo, que están dentro de un cilindro de vidrio en el cual existe vacío, son los siguientes:
- En la parte central se encuentra el cátodo (K).
 - Internamente el cátodo tiene una resistencia que se denomina filamento; su función es calentar el cátodo (K).
 - El filamento se alimenta con un voltaje de 6V.
 - En torno al cátodo están ubicadas 4 placas, llamadas placas deflectoras; su función es encauzar el haz de electrones que emerge del cátodo.
 - (Los elementos antes indicados no se observan a simple vista porque están cubiertos por una placa circular).
 - Rodeando completamente al cátodo, se encuentra una lámina en forma de cono, a la que se le da el nombre de ánodo; el ánodo se conecta al borne positivo de la fuente, a un potencial de 100 a 250 V con respecto al cátodo.
- ③ El cátodo (K) al ser calentado por el filamento, emite electrones que son acelerados por la diferencia de potencial existente entre el cátodo y el ánodo (A), y se desplazan radialmente hacia el exterior en un haz en forma de abanico, como muestra la figura 3. Su máxima velocidad la alcanzan cuando emergen por detrás de la placa circular central; el resto de su trayectoria hacia el ánodo la hacen a una velocidad casi constante. El ánodo (A) está cubierto con una substancia fluorescente que emite luz cuando los electrones chocan contra él.

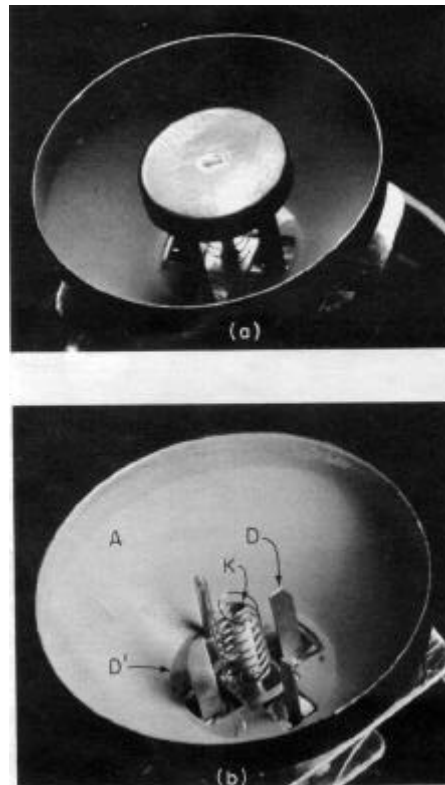


Figura 2 (a): **Tubo electrónico sin la envoltura de vidrio.**

Figura 2 (b) : La placa central antes indicada en (a) ha sido removida de sus soportes metálicos revelándose las partes importantes de la estructura del tubo. **K** es el cátodo emisor de electrones. **D** y **D'** son los electrodos deflectores que originan la sombra y **A** es el ánodo sobre el que se ha depositado un material fluorescente.

Por otra parte, las placas deflectoras que están cargadas negativamente rechazan a los electrones, dando lugar a una sombra prismática bien definida.

- ④ El tubo de vacío se conecta a una fuente de alimentación adecuada para aplicar los distintos voltajes a los diferentes electrodos.

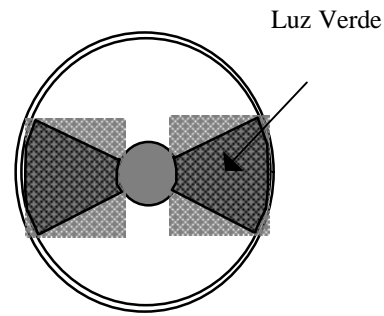


Figura 3: vista superior de la pantalla fosforescente, con campo magnético cero.

- ⑤ Los distintos voltajes aplicados al tubo tiene el siguiente propósito:
- En K se aplica una tensión de 6.3 V CA o CC para calentar el cátodo emisor de electrones.
 -
 - los electrodos desviadores D y D' se conectan entre sí y al ánodo ya que, en este caso no es necesario producir deflexión electrostática.

- ⑥ Los voltajes aplicados a los electrodos D y D' se miden con un voltímetro de CC con alcance de 0 V-300V

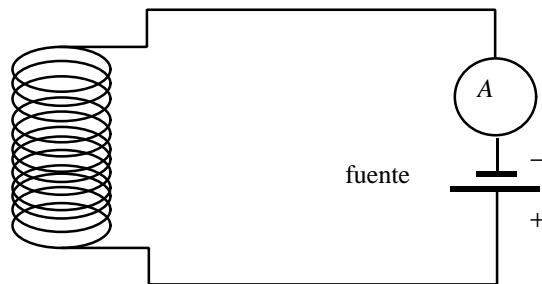


Figura 4: conexión del solenoide.

- ⑦ La bobina (solenoides) que produce el campo magnético se alimenta con una fuente de CC de baja tensión y la corriente se mide con un amperímetro (en la escala de 10A).
- ⑧ Arme el circuito del tubo. No conecte a la tensión sin el visto bueno de un ayudante.
- ⑨ Arme el circuito del solenoide de acuerdo al esquema de la figura 4. El solenoide tiene cuatro capas de bobinado de alambre. Con esta información, y midiendo la longitud del solenoide, puede determinar el número N de vueltas por unidad de longitud.

**Los voltajes con que se trabaja en esta experiencia son
PELIGROSOS**

Procedimiento Experimental

- ① Introduzca el tubo en el solenoide y coloque ambos verticalmente sobre la mesa, de tal modo que sea posible observar el tubo por el extremo libre del solenoide.
- ② Conecte el circuito del tubo (con visto bueno del ayudante). Ajuste el voltaje alrededor de los 150 V. Observe y anote lo que sucede.
- ③ Monte sobre la parte superior del solenoide una cámara digital, la que permitirá que Ud. pueda observar la imagen en el computador. Realice la conexión de la cámara a través de la puerta paralela y del puerto del teclado del computador como lo indica la figura 6.
- ④ Encienda el computador e ingrese al software **Photomax** que maneja la cámara digital. Dentro del software seleccione **Obtener Foto**, de esta forma la cámara enfocarará el haz de electrones a estudiar.
- ⑤ Conecte el circuito del solenoide, y haga observaciones cualitativas de lo que ve en pantalla. Cuando haya ubicado la imagen deseada seleccione en el software **Captar**, en seguida guarde la foto (de preferencia en formato JPG para que pueda ser manipulada la imagen con el software del Windows) en el disco duro de su PC.
- ⑥ Ejecute directamente su archivo JPG para obtener una mejor imagen de su experiencia. Mida cuidadosamente sobre la imagen impresa, con un pie de metro el diámetro de curvatura del haz de electrones. En seguida mida cuidadosamente el diámetro del tubo RCA. Obtenga la escala equivalente.
- ⑦ Explíquelo cualitativamente y discuta con sus compañeros y ayudante otro método para medir el radio de curvatura de los bordes de la sombra, que se muestran esquemáticamente en la figura 5.

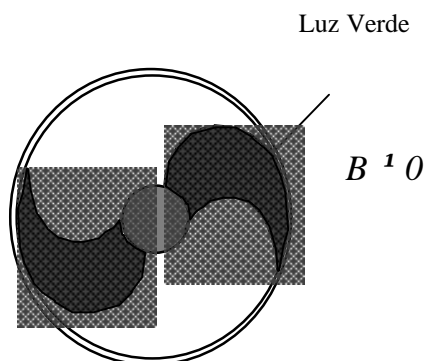


Figura 5: vista superior de la pantalla fosforescente, con campo magnético distinto de cero.

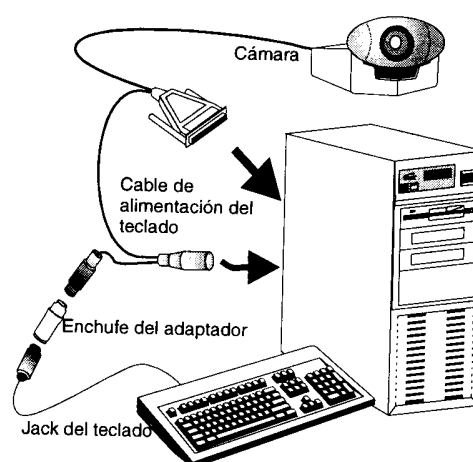


Figura 6 : Conexión de la cámara al PC.

- ⑧ Usando las mediciones hechas y aplicando las expresiones de la teoría, calcule e/m del electrón.

Preguntas

- ❶ Al variar la corriente que circula por el solenoide, ¿Cómo cambia el radio de curvatura de los electrones que se observa en la pantalla fosforescente?. Discuta cualitativamente en función de la relación entre el radio de curvatura r y la corriente I que circula por el solenoide, que se puede obtener combinando las Ecs. (5) y (6).
- ❷ Discuta por qué la trayectoria de los electrones, como muestra la pantalla fosforescente, es circular.
- ❸ Compare el valor obtenido con el valor de tabla: $e/m = 1.76 \cdot 10^{11}$ Cb/kg. Discuta la precisión de su medición.
- ❹ Discuta el significado y trascendencia de obtener una medición experimental de e/m para el electrón.

Experimento Recuperativo: Circuito RLC

Objetivo

Estudiar la resonancia de un circuito RLC, examinando la corriente a través del circuito como función de la frecuencia del voltaje aplicado.

Materiales

- Computador PC con interfaz Pasco
- Amplificador de Potencia PASCO CI-6502
- Circuito RLC, PASCO CI-6512
- Conectores
- Multímetro

Teoría

La amplitud de la corriente AC(I_0) en un circuito en serie RLC depende de la amplitud del voltaje aplicado(V_0) y la impedancia (Z). Lo anterior queda expresado como:

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} \quad (1)$$

Ya que la impedancia depende de la frecuencia, entonces la corriente varía con la frecuencia de la siguiente forma:

$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2} \quad (2)$$

donde:

X_L = reactancia inductiva

X_C = reactancia capacitiva

R = resistencia del circuito

R_L = resistencia de la bobina

ω = frecuencia angular

$X_L = \omega L$

$X_C = 1/\omega C$

$\omega = 2\pi f$, (siendo f la frecuencia lineal)

La corriente será máxima cuando el circuito sea dirigido a una frecuencia de resonancia:

$$W_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

sabiendo que $\omega_{res} = 2\pi f$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

Se puede demostrar que en resonancia $X_L = X_C$ y entonces la impedancia será igual a R . En resonancia, la impedancia tiene el valor mas bajo posible y la corriente tiene el valor mas alto.

Procedimiento

En esta actividad el amplificador de potencia produce una corriente alterna a través del circuito RLC. La amplitud de la corriente depende de la impedancia en el circuito, el cual varía con la frecuencia.

El generador de señales controla la frecuencia. El sensor de voltaje mide la diferencia de potencial a través de la resistencia en el circuito.

Ud. usará el generador de señales para cambiar la frecuencia de voltaje aplicado.

Deberá investigar la fase que relaciona el voltaje aplicado y el voltaje de la resistencia, así como varía la frecuencia.

Deberá determinar la amplitud de la corriente a través de la resistencia y dibujar corriente vs frecuencia.

Montaje Experimental

- ① Arme el circuito de la figura 1, usando el Generador de señales como fuente de voltaje.
- ② Conecte los conectores DIN de los sensores de voltaje a los canales A y C de la interfaz.
- ③ Luego conecte el sensor de voltaje ajustado en el canal C a través del generador de señales y el del canal A a través de la resistencia de 10Ω .
- ④ En el generador de señales, seleccione **3 V** en amplitud y **10 Hz** en frecuencia.
- ⑤ Ejecute el programa Data Monitor, tipeando DM.

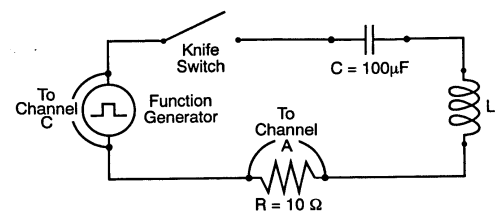


Figura 1: Circuito experimental

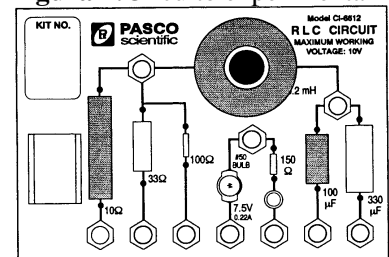


Figura 2: Montaje en la tarjeta RLC.

NOTA: Verifique con su multímetro en la salida del generador, que el voltaje eficaz no varíe en todo el experimento.

NOTA: El valor de la inductancia de la bobina con el Núcleo (L) es 30 mH aprox.

Procedimiento

- ① Ponga el Generador de señales en la función onda sinusoidal, con una frecuencia de 10 Hz y una amplitud de 8 V.
- ② Para ver la salida del Generador de Señales, seleccione en el programa
[L]- Oscilloscope; ↵
- ③ Para ver la traza deseada, cambie la velocidad de barrido a 5 ms/div
[→] aumenta el número de ms/div (disminuye la velocidad de barrido)
[←] disminuye el número de ms/div (aumenta la velocidad de barrido)
- ④ Cambie la altura de la traza de la fuente de voltaje © cambiando #V/div a 2 V/div:
[] aumenta la altura de la traza (disminuye el #V/div)
[] disminuye la altura de la traza (aumenta el #V/div)
- ⑤ Una vez cerrado el circuito presione la barra espaciadora para activar el canal A, el cual corresponde a la corriente. Use la flecha con dirección hacia arriba para ajustar la altura de la traza del canal A, de tal forma que la onda pueda ser vista.
- ⑥ Para ver la resonancia, haga un barrido de frecuencias en el generador de señales.

Importante : Note que mientras esté haciendo el barrido que la corriente aumenta así como la frecuencia se aproxima a la frecuencia de resonancia y entonces la corriente disminuye así como la frecuencia aumenta mas allá de la frecuencia de resonancia.

- ⑦ Vuelva a 10 [hz] en el generador de señales. Cambie la velocidad de barrido en la pantalla a 20 ms/div.[→]

Dibujando Corriente vs Frecuencia.

- ① Para ver el voltaje a través de la resistencia y la fuente, es necesario analizar los datos en el computador:
[O] - Other

[S] - Exit-Store Data; ↵
 [P] – Plot Graph; ↵
 On-[O]-Selected Channels Only; ↵
 Off-Output On-Input ; ↵
 [B]- Automatic Scaling; ↵
 [B] ↵
 (El gráfico de corriente vs tiempo será mostrado) ↵
 ↵- Examine Data; ↵

Use las flechas para mover el cursor a la parte superior del primer Peak y registre el peak del voltaje para una frecuencia de 10 [Hz]. Registre los voltajes en la tabla 1.

↵;
 [X]- Return to Main Menu; ↵
 [L] –Oscilloscope; ↵

- ② Aumente la frecuencia en 10 [Hz].Registre esta frecuencia y repita el paso ① para encontrar los nuevos voltajes.
- ③ Repita los pasos ① y ② hasta alcanzar 150 [Hz]. Así como la frecuencia es aumentada, puede ser necesario ajustar la velocidad de barrido y la escala vertical para ver una traza limpia de la corriente en la pantalla.
- ④ Observe los datos tomados y determine aproximadamente a que frecuencia de resonancia ocurrida la corriente era máxima. Haga finos ajustes en la frecuencia hasta que la traza de la corriente esté en fase con el voltaje. El circuito está ahora siendo manejado por la frecuencia de resonancia.
- ⑤ Para ver si la corriente está exactamente en fase con el voltaje:

[O] – Other
 [S] – Plot Graph; ↵
 On-[Z]-Separate Graphs (los otros en off) ↵
 [B] ↵
 [B] ↵
 [B] ↵

(Dos gráficos deben ser dibujados) ↵

[E]- Examine Data ;↵
 Output; ↵

Mueva el cursor al primer peak y note el tiempo que aparece en la parte inferior del gráfico. Si la corriente está en fase con el voltaje este tiempo puede ser el mismo para ambos gráficos. De otra forma el circuito no está a la frecuencia de resonancia y la frecuencia puede ser ajustada nuevamente. Si las curvas están en fase, vuelva a la pantalla del osciloscopio y registre la frecuencia de resonancia. Para volver al osciloscopio:

↵
 [X]-Return to main menu; ↵
 [L]-Oscilloscope; ↵

⑥ Grafique la corriente (o V_R/V_o) vs. Frecuencia lineal.

NOTA: la frecuencia dada en la pantalla es frecuencia lineal.

Análisis de Datos

- ① Usando la frecuencia de resonancia encontrada a partir de la pantalla, calcule la frecuencia de resonancia angular.
- ② Mida la inductancia y capacitancia , y calcule la frecuencia de resonancia angular teórica.
- ③ Calcule la frecuencia de resonancia medida con el valor teórico.
- ④ En resonancia, la reactancia del inductor y el capacitor se cancelan mutuamente, por lo que la impedancia (Z) es igual a la resistencia (R). Calcule la resistencia del circuito usando la amplitud de la corriente en resonancia en la ecuación $R=V/I$. (donde V es la amplitud del voltaje aplicado): ¿Es ésta resistencia igual a $10\ \Omega$? ¿Por qué?
- ⑤ Es la curva de corriente vs. Frecuencia simétrica con respecto a la frecuencia de resonancia.

Tabla de Datos

Frec. (Hz)	V_R	$I=V_R/R$
10		
20		
30		
40		
50		
60		

FIS1532
Electricidad y magnetismo

Laboratorio Recuperativo: Leyes de Kirchhoff

Objetivo

- Comprobar las Leyes de Kirchhoff.

Materiales

- 3 cajas de Resistencias
- 3 Multímetros
- 6 Cables
- Fuente de Poder CC

Introducción

Existen 2 leyes que nos permiten determinar las variables de intensidad de corriente y de voltaje en un circuito. Estas son las Leyes de Kirchhoff, las cuales se enuncian a continuación:

1.- Ley de las Corrientes: La suma algebraica de las corrientes que llegan y salen de un nudo debe ser nula, o sea:

$$\sum_{n=0}^{n=\infty} I_n = 0$$

donde n es el número de corrientes medidas.

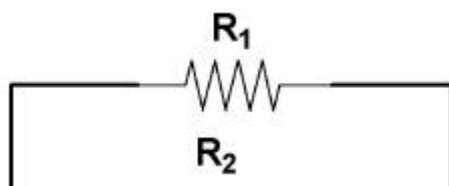
2.- Ley de los Potenciales: donde n es el número de corrientes medidas. La suma algebraica de los potenciales existentes en una malla de un circuito cerrado es cero. o sea:

$$\sum_{n=0}^{n=\infty} V_n = 0$$

donde n es el número de potenciales medidos.

Procedimiento Experimental

- ① Conecte las tres resistencias en paralelo, tal como lo indica la figura 1. Asegúrese de que estas sean de distinto valor entre ellas.
- ② Escoja en el circuito un nudo(a, b, c ó d) y mida las corrientes que llegan o salen de él. Asegúrese de que el multímetro esté en el



modo amperímetro y escalas apropiadas (a modo de ejemplo ver figura 1).

- ③ Conecte las mismas resistencias, pero esta vez en serie, tal como lo indica la figura 2.
- ④ Mida los potenciales de cada resistencia, incluyendo la fuente. Verifique que el multímetro esté en el modo voltímetro y escalas apropiadas (a modo de ejemplo vea en la figura la conexión del voltímetro).

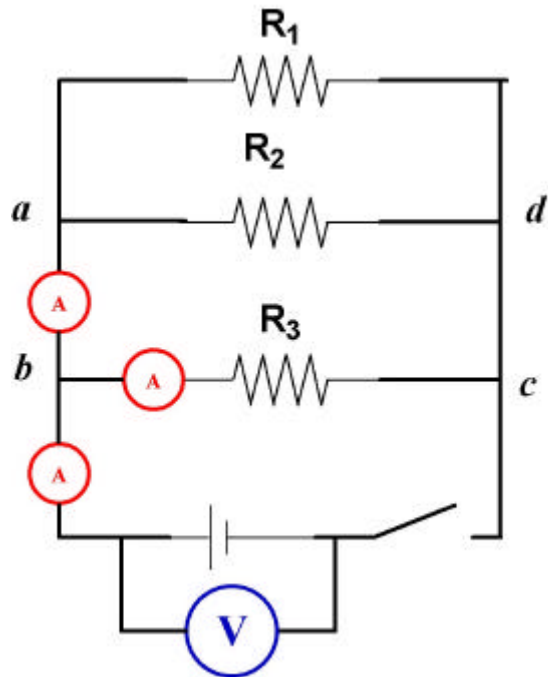


Figura 1: Circuito en paralelo.

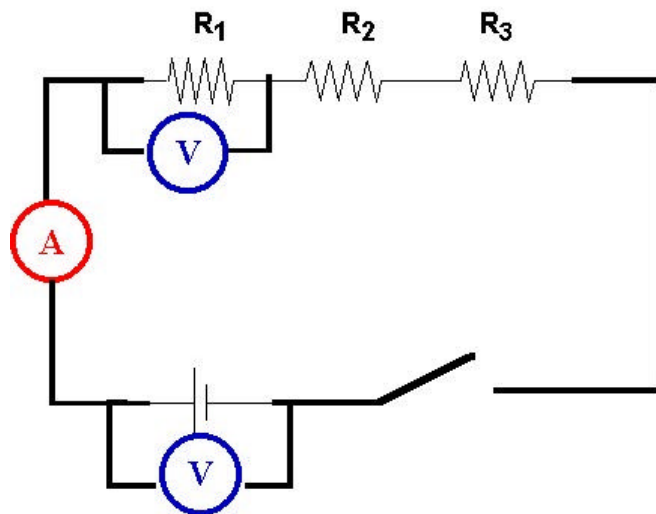


Figura 2: Circuito en serie.

Análisis

- ① Con las mediciones obtenidas con el amperímetro, compruebe si se cumple la Primera Ley de Kirchhoff.
- ② Con las mediciones obtenidas con el voltímetro, compruebe si se cumple la Segunda Ley de Kirchhoff.
- ③ Compruebe experimentalmente, para el circuito en serie, que la corriente que circula por las tres resistencias es la misma.
- ④ Compruebe experimentalmente, para el circuito en paralelo, que los potenciales en cada resistencia tienen el mismo valor que el de la fuente.

Conclusión

- ① ¿Cómo podría Ud. comprobar la Ley de Ohm a partir del circuito de la figura 1?. Demuestre a partir de sus mediciones experimentales.
- ② ¿Cómo podría Ud. comprobar la Ley de Ohm a partir del circuito de la figura 2?. Demuestre a partir de sus mediciones experimentales.
- ③ ¿Qué porcentaje de error obtuvo para probar la primera Ley de Kirchhoff?.
- ④ ¿Qué porcentaje de error obtuvo para probar la segunda Ley de Kirchhoff?.

Introducción al Uso de la Interfaz *Science Workshop*.

Equipamiento Básico

El equipamiento complementario a usar en esta serie de experiencias de laboratorio manufacturado por PASCO Scientific consiste basicamente de:

- Tarjeta RLC
- Amplificador de Potencia
- Sensores de Voltaje
- Sensores de Temperatura
- Computador PC con interfaz PASCO SCIENCE WORKSHOP CI-6560
- Programa de adquisición y procesamiento de datos *SCIENCE WORKSHOP*

La figura 1 muestra la interfaz computacional *PASCO* 6560. La salida de la interfaz se conecta directamente a una tarjeta en el interior del computador, a través de un cable plano múltiple. La interfaz tiene cuatro puertas digitales y 3 puertas análogas. Estas se usan para entrada y salida de señales eléctricas asociadas a distintos experimentos de laboratorio.




Figura 1: interfaz *PASCO SCIENCE WORKSHOP 700*

A esta interfaz se conectan diversos tipos de sensores. En el caso particular de este laboratorio de FIS1512, se hará uso extensivo de sensores de voltaje.

Notas básicas de operación del programa *Science Workshop*

Para iniciar la operación del programa *Science Workshop*, siga la siguiente secuencia.

- ① Encienda el computador presionando el interruptor respectivo.
- ② Ingrese al Windows 3.1 o Windows 95.
- ③ Seleccione el icono *Science Workshop* 
- ④ Aparecerá una pantalla que corresponderá a la pantalla de preparación del experimento (figura 5).

FIS1532
Electricidad y magnetismo

Ley de Ohm

Objetivo

Estudiar empíricamente la relación existente entre el voltaje aplicado a un conductor y la corriente eléctrica que circula como resultado de la aplicación del mismo.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO Science Workshop.
- Amplificador de Potencia, PASCO CI-6502
- Circuito *RLC*, PASCO CI-6512
- Conectores
- Programa *Science Workshop*

Teoría

La *Ley de Ohm* establece una relación entre voltaje, V , aplicado a un conductor y corriente, I , circulando a través del mismo.

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

R es la resistencia del conductor. De acuerdo con la Ec. (1), la relación entre I y V es lineal. Un conductor que satisface esta relación es llamado *óhmico*. Existen conductores en que no se satisface esta relación, debido a cambios en la resistencia por efectos, principalmente térmicos, asociados a la circulación de la corriente.

Montaje Experimental

Conecte el Amplificador de Potencia en el Canal Análogo A de la interfaz sin encenderlo y arme el circuito que muestra la figura 1. El experimento consiste de dos partes:

- 👉 voltaje y corriente en una resistencia de $10\ \Omega$
- 👉 voltaje y corriente en una ampolla de 7.5 V

PARTE A: RESISTENCIA

Procedimiento

- ① Conecte los cables a la resistencia de $10\ \Omega$ en el circuito. Mida la resistencia con un óhmetro y anote el valor.
- ② Ponga en ejecución el programa Science Workshop. Encienda el Amplificador de Potencia.
- ③ Ajuste la salida para que la amplitud, forma de onda y frecuencia, sean las adecuadas para este experimento. Para ello, siga el siguiente procedimiento:

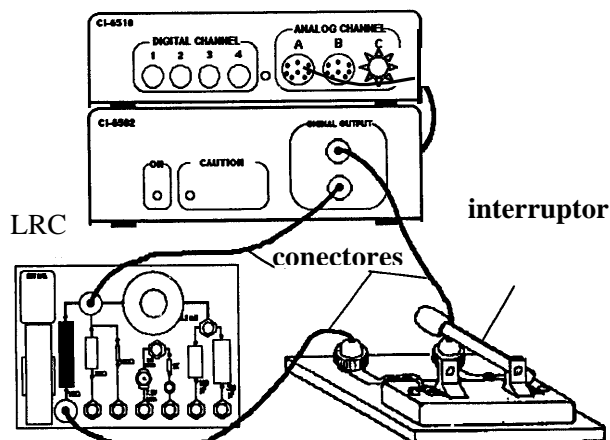



Figura 1: montaje experimental

- Lleve el icono del sensor analógico al canal A, y seleccione del menú **Amplificador de Potencia**.
 - Aparecerá una ventana de Generador de Señales, en ella seleccione en la **Amplitud**, 2.97 V y en la **frecuencia** 0.1 Hz.
 - Seleccione la señal de onda triangular y luego presione el botón **Auto**. Cierre la ventana
- ④ Lleve el icono que representa el osciloscopio al canal A y ejecute el siguiente procedimiento:
 - En el icono del eje vertical seleccione **Salida del Analógico** (voltaje), y seleccione **0.5V/div**
 - En el segundo icono del eje vertical seleccione **Analógico A** (corriente), y seleccione **1 V/div**.
 - En el icono del eje horizontal seleccione **entrada de tiempo** y con la velocidad de barrido **500 ms/div**.
 - ⑤ Presione **ALT-R** para iniciar el proceso de recolección de datos, y **ALT ·** para terminar.
 - ⑥ Presione **Mostrar-Gráfico**. En el icono del eje horizontal seleccione las opciones para Salida del Analógico para el gráfico voltaje vs tiempo, o Analógico A para el gráfico corriente vs tiempo.

Análisis de Datos

- ① Grafique corriente vs tiempo y voltaje vs tiempo de la traza obtenida en el punto ⑤.
- ② Compare la pendiente de la curva *corriente vs. tiempo* con la pendiente de la curva *voltaje vs. tiempo*.
- ③ Realice el gráfico V vs I. ¿Qué representa físicamente la pendiente del gráfico?. Interprete.

Para realizar el análisis estadístico, en la parte inferior izquierda del gráfico debe presionar luego . Seleccione **Ajuste de curva** y **Ajuste Lineal**.



PARTE B: AMPOLLETA

- ① Reemplace la conexión a la resistencia por una conexión a la ampolla de 7.5 V.
- ② Cambie la velocidad de barrido a 500 ms/div, para ver una porción mayor de la forma de onda.
- ③ Repita el procedimiento de la *PARTE A*, para obtener trazas de voltaje y corriente en la pantalla.
- ④ Imprima la pantalla con las trazas de voltaje y corriente.

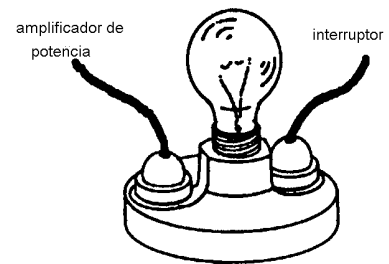


Figura 2: ampolla de 7.5 V.

Preguntas

- ❶ ¿Se comporta la resistencia de $10\ \Omega$ como un dispositivo “óhmico”? Justifique su respuesta.
- ❷ ¿Se comporta la ampolla de 7.5 V como un dispositivo “óhmico”? Justifique su respuesta.
- ❸ A partir del gráfico correspondiente, determine el valor experimental de la resistencia de $10\ \Omega$.
- ❹ A partir del gráfico para la ampolla, estime su resistencia cuando está “fría” y cuando está “caliente”.

Comportamiento de una Pila Eléctrica

Objetivo

Estudiar el comportamiento de una pila seca cuando ella entrega energía a un circuito externo, y a partir de la información obtenida, calcular el valor de parámetros importantes de la misma, ε y R_i .

Equipamiento

- Una pila de 1.5 V
- Dos multímetros DM-747A
- Un reóstato (resistencia variable)
- Conectores

Teoría

El voltaje V a través de una resistencia R , se relaciona con la corriente I que circula por la resistencia de acuerdo con la *Ley de Ohm*:

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

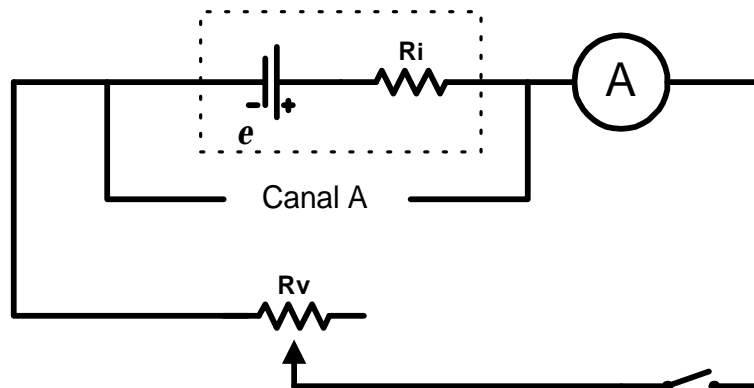
Una pila se puede representar por una fuente de *fuerza electromotriz* (*fem*) ε , conectada en serie con una resistencia R_i , que corresponde a la *resistencia interna* de la pila. Así, si la pila entrega una corriente I , la caída de tensión V a través de la pila esta se relaciona con la fem y la resistencia interna, mediante la ecuación:

$$V = \varepsilon - I \cdot R_i \quad (2)$$

Montaje Experimental

Disponga los materiales y equipos conformando el circuito que muestra la figura 1.

A es un amperímetro de C.C con un alcance máximo de 1A, V es un voltímetro electrónico y R_v es un reóstato variable adecuado que está conectado en serie con la pila y el amperímetro, a través de cables.



Procedimiento

- ① Ponga en ejecución el programa *Science Workshop*.
- ② Para calibrar el canal A (para que lea voltajes), del menú de iconos seleccione **Sensor de Voltaje**
- ③ Presione la tecla **Opciones** y seleccione:
 - **Teclado**
 - Ingrese Corriente en el cuadro de **Parámetro**
 - Ingrese mA en cuadro de **Unidades**

Presione aceptar

- ④ Presione el botón **Grabar** (o **Alt R**) en este momento aparecerá en la pantalla una ventana que indica **corriente**, Ud. deberá posicionar la pinza sobre el alambre en un lugar determinado, e ingresar por el teclado el valor que indica el amperímetro, una vez que los valores se hayan estabilizado. En ese momento ingrese a través del teclado la lectura del amperímetro. Presione **ingresar**. Repita para por lo menos 10 posiciones distintas.

Para graficar los datos obtenidos arrastre el icono que indica el gráfico y llévelo hasta el canal A. Seleccione en el eje vertical el voltaje y en el horizontal la corriente.

Análisis de Datos

- ① Escriba, a partir de la Ley de Ohm, una ecuación que describa el circuito usado en el experimento, incluyendo los términos de fem, resistencia interna de la pila, resistencia externa y voltaje y corriente medidos.
- ② Grafique V en volts *versus* I en amperes.

- ③ Obtenga el valor de la pendiente y del intercepto de la curva graficada. Interprete físicamente el resultado.
- ④ Utilizando el Gráfico y la ecuación que describe el circuito, responda las siguientes preguntas:
- ¿Cuánto vale ε ?
 - ¿Cuánto vale R_i ?

Preguntas

- ❶ ¿Cómo es la R_i de su pila comparada con las de sus compañeros?. Comente.
- ❷ ¿Cuánto vale I para $V=0$?. Discuta su resultado.
- ❸ A una pila nueva y sin uso se le mide su voltaje con un voltímetro y luego la misma pila conectada a una ampolleta se le mide nuevamente su voltaje, mientras esté energizado el circuito. ¿Qué cree Ud. que marcaría el circuito en ambas situaciones?. Explique

Objetivo

Estudiar empíricamente la existencia de constantes de tiempo características, asociadas a capacidades e inductancias en circuitos eléctricos.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO 6500
- Amplificador de Potencia, PASCO CI-6502
- Circuito *RLC*, PASCO CI-6512
- Conectores
- Interruptor
- Programa *Science Workshop*

PARTE A: *circuito RC*

Teoría

Al conectar un condensador cargado a una fuente de voltaje continuo, la razón a la cual se carga, decrece con el tiempo. Al comienzo, el condensador se carga fácilmente, debido a que hay poca carga acumulada en sus placas, pero a medida que ésta se acumula, el voltaje debe realizar un mayor trabajo para mover cargas adicionales hacia las placas, para así vencer las fuerza repulsiva debida a acumulación de carga de igual signo. Como resultado de esto, el condensador aumenta su carga exponencialmente en el tiempo, rápidamente al principio, pero más lentamente a medida que transcurre el tiempo. La carga en las placas en un tiempo t cualquiera, está dada por,

$$q = q_0(1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

donde q_0 es la máxima carga en las placas y τ es la constante de tiempo capacitiva ($\tau = RC$, donde R es la resistencia y C la capacidad). Considerando límites extremos, note que cuando $t = 0$, $q = 0$, lo que significa que no hay carga inicial en las placas. Note también, que

- ③ Presione el botón **Opciones** y seleccione la frecuencia de muestreo **100 Hz, rápido**. Luego seleccione Condición de Parada **Tiempo, 2 seg**. Presione **Aceptar**.
- ④ Lleve el icono del osciloscopio al canal A. Seleccione la velocidad de barrido a 200 ms/div. Seleccione el icono A (Sensor de Voltaje).
- ⑤ Presione **ALT R** y rápidamente cierre el circuito. Aparecerá en pantalla el voltaje a través del condensador. Este voltaje es proporcional a la carga del condensador, dado que $q = CV$. Abra el circuito.
- ⑥ Para encontrar el tiempo de vida media, examine su tabla de datos. Para ello arrastre el icono de la **Tabla** y llévelo hacia el canal A.
- ⑦ Arrastre el icono del **Gráfico** para ver la curva Voltaje vs Tiempo. Use las flechas de movimiento en la pantalla, para encontrar el punto en que el voltaje empieza a subir. Anote ese tiempo. Luego, muévase hasta el punto en que el voltaje alcanza la mitad del máximo (2 V). Anote este tiempo (interpole si es necesario).

$t_{v=0} =$ _____

$t_{V/2} =$ _____

- ⑧ Mida a continuación la resistencia con un ohmetro. Si dispone de un medidor de capacidad, úselo para medir la capacidad del condensador usado. En caso contrario, suponga que el valor correcto es 330 μF .

$R =$ _____

$C =$ _____

NOTA :El valor de la inductancia de la bobina con el núcleo es de 30 mH aproximadamente.

Análisis de Datos

- ① Encuentre la diferencia entre ambos tiempos, para determinar el tiempo de vida media:

$$t_{1/2} = t_{V/2} - t_{v=0}$$

- ② Calcule el valor teórico, usando la Ecuación (2)
- ③ Calcule la diferencia porcentual entre los valores teórico y experimental de $t_{1/2}$.

Preguntas

- ❶ $t_{1/2}$ indica el tiempo que el condensador demora en cargarse a la mitad de la carga total. De acuerdo con esto, ¿Cuánto demora un condensador en alcanzar 75% de la carga total?
- ❷ Luego de cuatro vidas medias, ¿Qué porcentaje de la carga total ha alcanzado el condensador?
- ❸ ¿Cuál es la máxima carga, en términos de la carga total, que alcanza el condensador en este experimento?

PARTE B: circuito LR

Teoría

Al aplicar un voltaje DC (continuo) a un inductancia y una resistencia conectadas en serie, se establece una corriente estacionaria, dada por,

$$I_{max} = \frac{V_0}{R} \quad (3)$$

donde V_0 es el voltaje aplicado y R es la resistencia total del circuito. Para alcanzar esta condición estacionaria se requiere un cierto tiempo, dado que la inductancia produce una *fem* (fuerza electromotriz) en respuesta al incremento de corriente. La corriente sube exponencialmente, de acuerdo con

$$I(t) = I_{max} \left(1 - e^{-(R/L)t} \right) = I_{max} \left(1 - e^{-(t/\tau)} \right) \quad (4)$$

donde L es la inductancia y $\tau = L/R$ es la *constante de tiempo inductiva*. La constante de tiempo inductiva es una medida de cuanto tiempo toma alcanzar la condición de corriente estacionaria. Una vez el tiempo de la constante de tiempo inductiva equivale al tiempo que toma la corriente en subir a 63% de su valor máximo (o bajar a 37% de su máximo). El tiempo que demora la corriente en subir o bajar a la mitad de su máximo se relaciona con la constante de tiempo inductiva a través de,

$$t_{1/2} = \tau \ln 2 \quad (5)$$

Dado que el voltaje a través de la resistencia está dado por $V_R = IR$, el voltaje varía exponencialmente, con

$$V_R = V_0 \left(1 - e^{-(t/\tau)} \right) \quad (6)$$

Como el voltaje a través de la inductancia está dado por $V_L = L(dI/dt)$, este voltaje parte en $t = 0$ en su valor máximo, y luego decrece exponencialmente:

$$V_L = V_0 e^{-t/\tau} \quad (7)$$

Luego de un tiempo $t \gg \tau$, se establece una corriente estacionaria I_{\max} y el voltaje a través de la resistencia es igual al voltaje aplicado, V_0 . El voltaje a través de la inductancia es cero. Si, luego de que se ha establecido la corriente máxima, se apaga la fuente de voltaje, la corriente decrece exponencialmente a cero, mientras el voltaje a través de la resistencia hace lo mismo, produciendo la inductancia nuevamente una *fem*, mientras el voltaje cae a cero.

En cualquier instante de tiempo se cumplen las Reglas de Kirchhoff. Es decir, la suma algebraica del voltaje a través de la resistencia más el voltaje a través de la inductancia debe ser cero.

Montaje experimental

- ① Conecte el amplificador de potencia al canal C de la interfaz.

⚠ **CUIDADO:** no encienda el amplificador de potencia hasta que el programa Power Amplifier esté en ejecución. El hacerlo antes puede resultar en sobre carga del circuito.

- ② Conecte el circuito, como muestra la Figura 2, usando la señal de salida del amplificador de potencia como fuente DC.

- ③ Conecte el enchufe DIN al Canal A de la caja de interfaz. Conecte los enchufes banana a ambos extremos de la inductancia. Coloque el núcleo de hierro en el interior de la inductancia

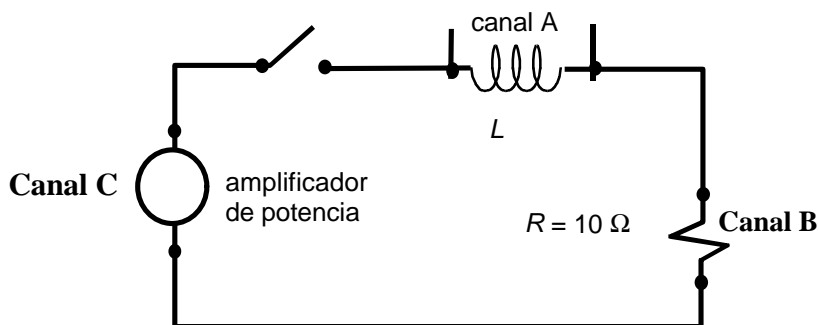
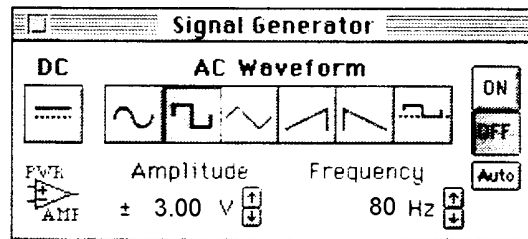





Figura 2.

- ④ Ponga en ejecución el programa *Science Workshop*.

Procedimiento

- ① Seleccione en los canales análogos A y B el **Sensor de Voltaje**. En el canal C seleccione **Amplificador de Potencia**. En la ventana del **Generador de Señales** fije la señal de onda cuadrada, de amplitud 3 V y frecuencia 80 Hz. Presione **Auto** y cierre la ventana.



- ② Presione el botón **Opciones** y escoja **10000 Hz** para la frecuencia de muestreo y seleccione **0.02 seg** para la condición de parada.
- ③ En la opción **Gráfico**, seleccione Canal A vs Tiempo y agregue con el botón  para agregar los gráficos Canal B vs Tiempo, Voltaje de Salida vs Tiempo Canal C vs Tiempo.
- ④ Encienda el amplificador de potencia y cierre el circuito. Presione **ALT R** para iniciar la recolección de datos.
- ⑤ Una vez terminada la adquisición de datos, presione  para obtener una mejor escala del gráfico.
- ⑥ Examine el gráfico usando el cursor de movimiento en la pantalla,  para obtener las coordenadas.
- ⑦ Encuentre la constante de tiempo inductiva usando los datos de corriente y tiempo. Encuentre el valor máximo de corriente y el tiempo en que el voltaje era cero.

$$I_{\max} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$t_{v=0} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Encuentre el tiempo en que la corriente sube a la mitad del máximo. Anótelo, interpolando si ello resulta necesario.

$$t_{1/2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

A partir de la diferencia entre ambos tiempos anteriores, encuentre el tiempo de vida media y, a partir de él, la constante de tiempo inductiva.

$$t_{1/2} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\tau = \underline{\hspace{2cm}}$$

- ⑧ Imprima los gráficos V_L (voltaje de la bobina) vs tiempo, V_R (voltaje de la resistencia) vs tiempo y V_F (voltaje de la fuente) vs tiempo

Preguntas

- ❶ ¿Cómo se compara el valor medido de la constante de tiempo inductiva con el valor teórico dado por $\tau = L/R$? Recuerde que R representa la resistencia total del circuito.
- ❷ ¿Se cumple la regla de Kirchhoff? Compare al menos para tres tiempos distintos la suma algebraica del voltaje a través de la resistencia y la inductancia, con el voltaje de la fuente. Para esta comparación use los gráficos obtenidos anteriormente.

Equivalente Mecánico del Calor por un Método Eléctrico

Objetivo

Estudiar la transferencia de energía desde una resistencia eléctrica al agua, obteniendo a partir de los resultados una medición del equivalente eléctrico del calor.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO Science Workshop
- Amplificador de Potencia, PASCO CI-6502
- Sensor de Temperatura, PASCO CI-6505
- Resistencia de $10\ \Omega$, 1 W
- Balanza
- 200 ml de agua
- Vaso plástico
- Conectores

Teoría

El agua es calentada por una resistencia eléctrica sumergida en ella, por la que circula una corriente. El calor disipado por efecto Joule en la resistencia es transferido al agua. Usamos el Principio de Conservación de la Energía, suponiendo que no hay pérdidas de calor, lo que equivale a que toda la energía entregada por la resistencia es absorbida por el agua.

La energía disipada en la resistencia es

$$E = \bar{P}t \quad (1)$$

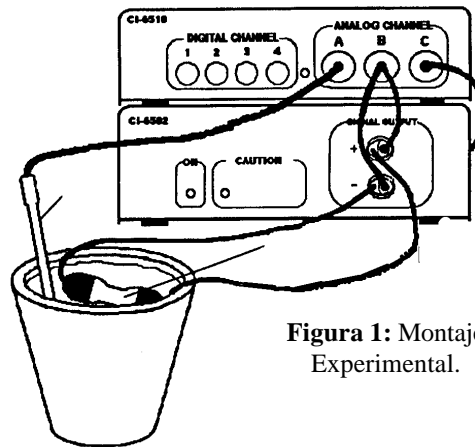


Figura 1: Montaje Experimental.

donde t es el tiempo que circula la corriente y \bar{P} es la potencia promedio, dada por,

$$\bar{P} = \bar{I}\bar{V} \quad (2)$$

con \bar{I} la corriente promedio y \bar{V} el voltaje promedio.
La energía absorbida por el agua está dada por,

$$Q = mc\Delta T \quad (3)$$

donde m es la masa de agua, c es el calor específico del agua ($1 \text{ cal/gr}^\circ\text{C}$) y ΔT es el cambio en la temperatura del agua. Para obtener el equivalente eléctrico del calor, se iguala la energía disipada por la resistencia (en Joule) a la energía ganada por el agua (en calorías).

Montaje Experimental

- ① Pese el vaso plástico.
- ② Prepare la resistencia de 10Ω , uniendo a ella los conectores aislados necesarios.
- ③ Conecte el Amplificador de Potencia en el Canal C de la interfaz.
- ④ Conecte el sensor de temperatura en el Canal A de la interfaz.
- ⑤ Conecte cables para la medición de voltaje (Sensor de Voltaje) en el Canal B de la interfaz.



⚡ **PRECAUCION** :asegúrese de que no se produzcan corrientes de aire en el interior del laboratorio, para no alterar las mediciones de la temperatura.

⚠ **CUIDADO**: asegúrese que la resistencia esté sumergida en agua cuando conecte el circuito. En caso contrario, ésta se quemará al aplicar el voltaje.





- ⑥ Ponga 200 ml de agua en el vaso plástico y péselo.
- ⑦ Use agua que esté a unos tres grados por debajo de la temperatura ambiente al iniciar la recolección de datos.
- ⑧ Tome datos hasta que la temperatura esté a unos tres grados por sobre la temperatura ambiente. Estas condiciones minimizan efectos del medio, ya que el agua gana energía de éste durante la mitad del experimento y le cede durante la otra mitad.
- ⑨ Reste la masa del vaso, de la masa total, para obtener la masa del agua. Sumerja la resistencia en el agua. Cubra la parte superior del vaso con papel aluminio, para minimizar pérdidas por radiación y convección.
- ⑩ Encienda el computador y el Amplificador de Potencia. Ponga en ejecución el programa *Science Workshop*.

PARTE I: CALIBRACIÓN DEL PROGRAMA

Procedimiento

- ① Seleccione el icono de **Sensor de Temperatura** para el Canal A, para el Canal B seleccione **Sensor de Voltaje** y para el Canal C **Amplificador de Potencia**.
- ② En la ventana del Generador de Señales presione el botón CC y fije el voltaje de salida del Amplificador de Potencia en 9 volt. Presione el botón **Auto**.
- ③ Presione **Opciones** y ponga la **Frecuencia de Muestreo** en **10 Hz**.
- ④ En **Condición de Parada** seleccione **Tiempo** y **10 min**. En estas condiciones se tomarán 60 datos en los 10 minutos, lo que equivale a un punto cada 10 segundos. Presione aceptar y cierre la ventana.
- ⑤ Seleccione el icono  y arrástrelo hacia el canal A.
Table
- ⑥ Para desplegar la tabla de datos de los canales B y C presione  para agregar los canales restantes.
- ⑦ Presione **ALT R** para iniciar la recolección de datos y cierre de inmediato el circuito eléctrico, aplicando el voltaje a la resistencia.

PARTE II: Ejecución del Experimento

- ① ➔ **IMPORTANTE:** mientras se realice la adquisición de datos, agite suavemente el agua, para asegurar calentamiento uniforme.
- ② Cuando la temperatura alcance un valor tres grados por encima de la ambiente, abra el circuito eléctrico. Continúe agitando el agua y tomando datos. La temperatura subirá hasta un valor máximo, cuando todo el calor de la resistencia se haya disipado, y luego empezará a descender, por disipación al medio.
- ③ Imprima su tabla de datos.
- ④ Anote las temperaturas máxima y mínima de la tabla, en el rango válido de mediciones.
- ⑤ Grafique Temperatura vs tiempo. Para ello lleve el icono  hacia el Canal A.
Graph
- ⑥ Para realizar el análisis estadístico presione  y , seleccione **Ajuste de Curva** y **Ajuste Lineal**
- ⑦ Para encontrar el voltaje y la corriente promedios vuelva a la tabla de datos y en los canales B y C presione  :

Anote los valores medios de voltaje y corriente que figuran al final de la tabla.

Análisis de Datos

- ❶ Calcule la Potencia Promedio disipada por la Resistencia, usando la Ec. (2)
- ❷ Calcule la Energía (en Joules) disipada por la resistencia durante el tiempo de circulación de la corriente, usando la Ec. (1).
- ❸ Calcule la Energía (en calorías) absorbida por el agua usando la Ec. (4).
- ❹ Iguale la Energía disipada con la energía absorbida y obtenga a partir de la igualdad, el número de Joules por caloría (equivalente mecánico del calor). Calcule la diferencia porcentual entre el valor medido y el valor aceptado (4.184 J/cal).

Calcule la pendiente del gráfico T° vs t .

Obtenga el equivalente eléctrico del calor a través de la pendiente y compárelo con el valor aceptado.

Preguntas

- ❶ La energía ganada por el sistema agua-calorímetro resultó ser ¿Mayor o menor que la energía cedida por la resistencia? Explique el resultado.
- ❷ La resistencia usada es de 1W. ¿Cuánto mayor que este valor fue la potencia característica disipada por la resistencia en el experimento?
- ❸ ¿Por qué la resistencia no se quemó?
- ❹ ¿Por qué se produce una variación de la intensidad de la corriente y es necesario corregirla?

¿Qué error se pretende corregir en la experiencia cuando se le pide que tome un promedio de V ?, ¿Por qué puede variar durante el experimento si mantenemos I constante?

¿Qué porcentaje de error tiene el valor de J calculado por Ud., con respecto al valor aceptado?

Si Ud. no dispusiera de un voltímetro, ¿qué dato adicional necesitaría para calcular J ?, ¿Qué inconveniente presenta realizar la experiencia de ésta manera?

Indique las posibles fuentes de error en este experimento y como corregirlas y evitarlas.

Inducción Magnética

Objetivo

- Estudiar cualitativamente el fenómeno de Inducción.
- Medir la fuerza electromotriz (FEM) inducida en una bobina por una barra magnética, a través del centro de la bobina.

Equipamiento

- Computador PC con interfaz PASCO 6500
- Bobina 10000 vueltas, 0.1 A
- Barra magnética
- Conectores
- Programa *Science Workshop*

Teoría

Cuando una barra magnética pasa a través de una bobina se produce un cambio en el flujo magnético a través de la bobina el cual induce una fem en la bobina. De acuerdo con la Ley de Faraday de la Inducción :

$$\epsilon = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

onde ϵ es la fem inducida, N es el número de vueltas del alambre en la bobina y $\Delta \phi / \Delta t$ es la razón de cambio del flujo a través de la bobina.

En este experimento un gráfico de la FEM vs tiempo es hecho, y el área bajo la curva es encontrado por integración. Esta área representa el flujo, ya que :

$$\epsilon \Delta t = - N \Delta \phi$$

Parte I: Estudio Cualitativo de la Inducción Magnética

Procedimiento

- ① Arme el sistema de la figura 1, conectando 2 bobinas iguales, entre 250 y 600 vueltas y el sistema imán-resorte.

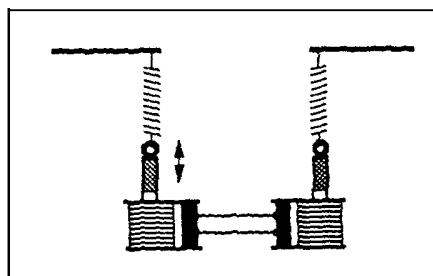
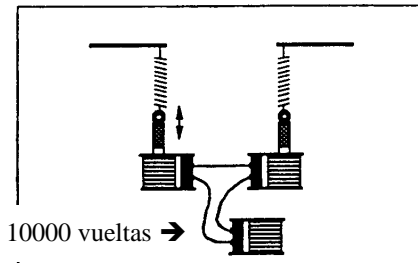


Figura 1: Montaje Experimental

Asegúrese de que ambas bobinas estén lo suficientemente separadas conectándose con cables largos para que el campo magnético de los imanes no influyan entre sí.

- ② Mueva el imán de una de las bobinas hacia arriba, y luego suéltelo de tal modo que el imán tenga un movimiento armónico simple. Note la reacción del segundo imán. Explique lo sucedido.
- ③ Invierta la orientación de una de las dos bobinas y repita el paso ② . ¿Qué sucede con el movimiento?. Explique
- ④ ¿Qué sucede si usa diferentes números de vueltas en una bobina?

- ⑤ Inserte una tercera bobina en el circuito, (fig.2), la cual tenga un número de vueltas, de aproximadamente 10000. Enseguida haga oscilar uno de los imanes. Observe ¿Qué sucede?.



- ⑥ Ponga en cortocircuito la tercera bobina. ¿Qué sucede? . Explique.

- ⑦ Cambie la bobina de 10000 vueltas por una mucho menor (similar en número de vueltas a las usadas en un principio). Inserte un tercer imán (fig.3) y haga oscilar éste último. ¿Qué sucede?

Figura 2: Montaje experimental con 3 bobinas.

- ⑧ Ponga en cortocircuito la tercera bobina y repita. Explique

Análisis

- ① ¿Por qué los imanes tienen ese comportamiento?. Relacione su respuesta con el concepto de Inducción.

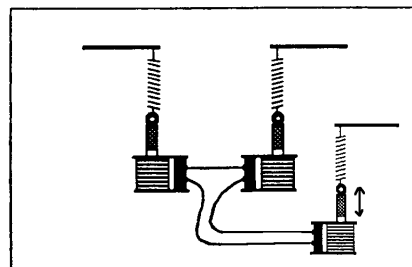


Figura 3

- ② ¿Cuál ha sido el efecto al cambiar la polaridad de los cables que conectan las dos bobinas?
- ③ Al acoplar la tercera bobina de alta inductancia, explique y fundamente el efecto observado en los imanes. (Punto ⑤ del procedimiento)
- ④ Al acoplar una tercera bobina de un menor número de espiras y al hacer oscilar uno de los imanes, explique y fundamente el efecto observado en los imanes. (Punto ⑦ del procedimiento).
- ⑤ A la luz del experimento realizado, ¿Cómo puede explicar Ud. en términos de energía el fenómeno de Inducción?

Parte II: Medición de la Fuerza Electromotriz (FEM)

Montaje Experimental

- ① Sujete la bobina de tal modo que el orificio quede en posición vertical, para que a través de él caiga la barra magnética sin obstáculos.
- ② Bajo la bobina posicione un recipiente con plumavit para proteger al imán del golpe
- ③ Conecte el voltímetro a la bobina. Enseguida conecte con un DIN el voltímetro al Canal A de la interfaz.

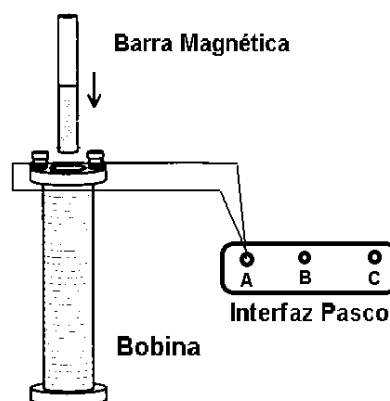





Figura 3: Montaje experimental

Procedimiento

- ① Ejecute el programa Science Workshop. Presione **Sampling Options** y seleccione: **Periodic Samples = Fast= 200 Hz.**
- ② Use el modo osciloscopio para obtener los datos. Ponga la ganancia del canal A en **1 V/div.** Seleccione la velocidad de barrido **100 ms/div.**
- ③ Seleccione en el canal análogo A **Voltage Sensor**. Asegúrese que la barra magnética esté de tal modo que el extremo sur esté levemente sobre la bobina.
- ④ Presione el botón **REC.** Suelte el imán para que caiga a través de la bobina. Presione **STOP.**

- ⑤ Abra el gráfico Voltaje vs Tiempo. Observe la señal en la pantalla del osciloscopio.
- ⑥ Presione el botón  para abrir el área de estadísticas. Presione  para cambiar la escala del gráfico.
- ⑦ Presione  y seleccione del menú **Integration**.
- ⑧ En el gráfico mostrado seleccione la zona del primer peak. Anote los datos correspondientes.
- ⑨ Repita para el la zona del segundo peak.

Preguntas

- ❶ ¿Cómo es el flujo entrante con respecto al saliente?
- ❷ ¿Porqué es el pic. saliente mas alto que el pic. entrante?. Explique.
- ❸ ¿Porqué son los pic. opuestos en dirección?
- ❹ Amarre dos barras magnéticas, de tal modo que queden juntos ambos polos Sur y suéltelos a través de la bobina, ¿Qué sucede con los peak?. Explique.

Reordene las barras magnéticas de tal modo que queden juntos un polo Norte con uno Sur. ¿Qué sucede con el flujo?. Explique.

Cuociente entre Carga Eléctrica y Masa del Electrón:

Objetivo

Medir el cuociente entre la masa y la carga del electrón, usando la interacción del electrón con campos eléctricos y magnéticos.

Materiales

- Tubo electrónico (tipo “ojo mágico”)
- Bobina
- Dos multímetros
- Fuente de Poder de C.C.
- Cámara digital con software **Photomax** (Escritorio Windows)
- Conectores
- Compás
- Pie de Metro

Introducción

En este experimento se estudia el efecto de los campos eléctricos y magnéticos sobre partículas cargadas, lo que permite medir el cuociente entre la carga eléctrica y la masa de los electrones. Los electrones se pueden liberar en un ambiente adecuado, calentado a una temperatura conveniente un metal que tenga una función de trabajo baja. Los electrones se originan en un cátodo de calentamiento indirecto; ellos tienen una energía cinética muy pequeña y son focalizados por una lente electrostática, el electrodo de Wehnelt, conformando un haz fino de electrones que se aceleran mediante un potencial positivo aplicado al ánodo. El haz puede desviarse mediante un campo eléctrico, creado al aplicar un potencial a un par de electrodos de desviación colocados delante del ánodo. La desviación del haz puede producirse, además, mediante un imán permanente o mediante un campo magnético producido por una o más bobinas por las que circula una corriente eléctrica.

Los electrodos, cátodo, focalizador de Wehnelt, ánodo y placas desviadoras, están dispuestos excéntricamente dentro de una ampolla de vidrio. La ampolla de vidrio contiene una pantalla fosforescente. Los electrones provenientes del cátodo chocan con la pantalla, la excitan y ésta emite luz, indicando de esta manera la trayectoria seguida por los electrones.

Teoría

Consideremos un electrón de masa m describiendo una circunferencia de radio r , como muestra la figura 1. El electrón está sometido a una fuerza centrípeta dada por :

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad (1)$$

donde m es la masa del electrón, v la velocidad con que se mueve, y r es el radio de la trayectoria circular. En el caso de un electrón realizando una trayectoria circular en un campo magnético perpendicular al plano de la órbita, la fuerza centrípeta está dada por la *Fuerza de Lorentz*,

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

Dado que en este caso $v \perp B$, se puede escribir :

$$F = evB = F_c \quad (3)$$

Al aplicar una diferencia de potencial V entre cátodo y ánodo, los electrones son acelerados, adquiriendo una energía cinética E_c :

$$E_c = \frac{mv^2}{2} = eV \quad (4)$$

Combinando la Ecs. (1), (3) y (4) se obtiene :

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{B^2 r^2} \left[\frac{\text{Coul}}{\text{kg}} \right] \quad (5)$$

El campo magnético en el interior de una bobina larga es paralelo al eje de la bobina y aproximadamente constante. Está dado por la expresión

$$B = \mu_0 \cdot N \cdot I \quad (6)$$

donde $\mu_0 = 1.26 \cdot 10^{-6}$ H/m es la permitividad del vacío, I es la corriente que circula por la bobina, y N es el número de vueltas por unidad de longitud de la bobina.

En la Ec. (5), V se puede medir, r se determina mediante el uso de una regla graduada y B se puede calcular con la expresión para el campo magnético en el interior de una bobina.

Montaje Experimental

- ① Utilizaremos un tubo electrónico al vacío, del tipo ojo mágico. La figura 2 muestra un esquema del tubo.

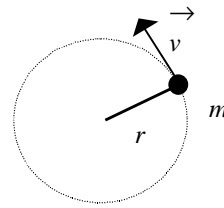


Figura 1: electrón en trayectoria circular.

- ② Los componentes del tubo, que están dentro de un cilindro de vidrio en el cual existe vacío, son los siguientes:
- En la parte central se encuentra el cátodo (K).
 - Internamente el cátodo tiene una resistencia que se denomina filamento; su función es calentar el cátodo (K).
 - El filamento se alimenta con un voltaje de 6V.
 - En torno al cátodo están ubicadas 4 placas, llamadas placas deflectoras; su función es encauzar el haz de electrones que emerge del cátodo.
 - (Los elementos antes indicados no se observan a simple vista porque están cubiertos por una placa circular).
 - Rodeando completamente al cátodo, se encuentra una lámina en forma de cono, a la que se le da el nombre de ánodo; el ánodo se conecta al borne positivo de la fuente, a un potencial de 100 a 250 V con respecto al cátodo.
- ③ El cátodo (K) al ser calentado por el filamento, emite electrones que son acelerados por la diferencia de potencial existente entre el cátodo y el ánodo (A), y se desplazan radialmente hacia el exterior en un haz en forma de abanico, como muestra la figura 3. Su máxima velocidad la alcanzan cuando emergen por detrás de la placa circular central; el resto de su trayectoria hacia el ánodo la hacen a una velocidad casi constante. El ánodo (A) está cubierto con una substancia fluorescente que emite luz cuando los electrones chocan contra él.

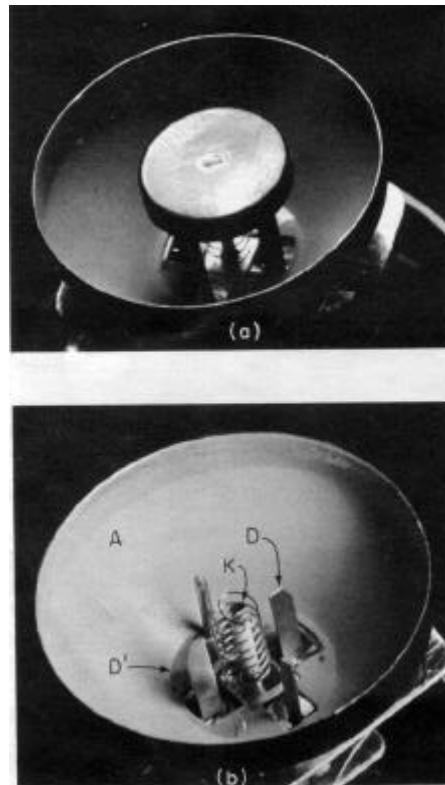


Figura 2 (a): **Tubo electrónico sin la envoltura de vidrio.**

Figura 2 (b) : La placa central antes indicada en (a) ha sido removida de sus soportes metálicos revelándose las partes importantes de la estructura del tubo. **K** es el cátodo emisor de electrones. **D** y **D'** son los electrodos deflectores que originan la sombra y **A** es el ánodo sobre el que se ha depositado un material fluorescente.

Por otra parte, las placas deflectoras que están cargadas negativamente rechazan a los electrones, dando lugar a una sombra prismática bien definida.

- ④ El tubo de vacío se conecta a una fuente de alimentación adecuada para aplicar los distintos voltajes a los diferentes electrodos.

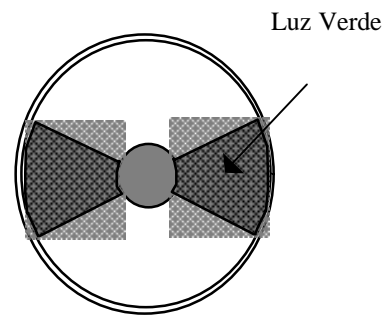


Figura 3: vista superior de la pantalla fosforescente, con campo magnético cero.

- ⑤ Los distintos voltajes aplicados al tubo tiene el siguiente propósito:
 - En K se aplica una tensión de 6.3 V CA o CC para calentar el cátodo emisor de electrones.
 -
 - los electrodos desviadores D y D' se conectan entre sí y al ánodo ya que, en este caso no es necesario producir deflexión electrostática.

- ⑥ Los voltajes aplicados a los electrodos D y D' se miden con un voltímetro de CC con alcance de 0 V-300V

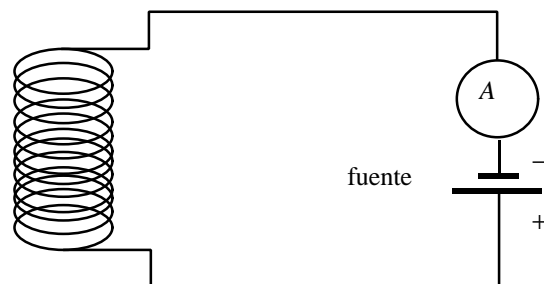


Figura 4: conexión del solenoide.

- ⑦ La bobina (solenoides) que produce el campo magnético se alimenta con una fuente de CC de baja tensión y la corriente se mide con un amperímetro (en la escala de 10A).
- ⑧ Arme el circuito del tubo. No conecte a la tensión sin el visto bueno de un ayudante.
- ⑨ Arme el circuito del solenoide de acuerdo al esquema de la figura 4. El solenoide tiene cuatro capas de bobinado de alambre. Con esta información, y midiendo la longitud del solenoide, puede determinar el número N de vueltas por unidad de longitud.

**Los voltajes con que se trabaja en esta experiencia son
PELIGROSOS**

Procedimiento Experimental

① Introduzca el tubo en el solenoide y coloque ambos verticalmente sobre la mesa, de tal modo que sea posible observar el tubo por el extremo libre del solenoide.

② Conecte el circuito del tubo (con visto bueno del ayudante). Ajuste el voltaje alrededor de los 150 V. Observe y anote lo que sucede.

③ Monte sobre la parte superior del solenoide una cámara digital, la que permitirá que Ud. pueda observar la imagen en el computador. Realice la conexión de la cámara a través de la puerta paralela y del puerto del teclado del computador como lo indica la figura 6.

④ Encienda el computador e ingrese al software **Photomax** que maneja la cámara digital. Dentro del software seleccione **Obtener Foto**, de esta forma la cámara enfocará el haz de electrones a estudiar.

⑤ Conecte el circuito del solenoide, y haga observaciones cualitativas de lo que ve en pantalla. Cuando haya ubicado la imagen deseada seleccione en el software **Captar**, en seguida guarde la foto (de preferencia en formato JPG para que pueda ser manipulada la imagen con el software del Windows) en el disco duro de su PC.

⑥ Ejecute directamente su archivo JPG para obtener una mejor imagen de su experiencia. Mida cuidadosamente sobre la imagen impresa, con un pie de metro el diámetro de curvatura del haz de electrones. En seguida mida cuidadosamente el diámetro del tubo RCA. Obtenga la escala equivalente.

⑦ Explíquelo cualitativamente y discuta con sus compañeros y ayudante otro método para medir el radio de curvatura de los bordes de la sombra, que se muestran esquemáticamente en la figura 5.

Luz Verde

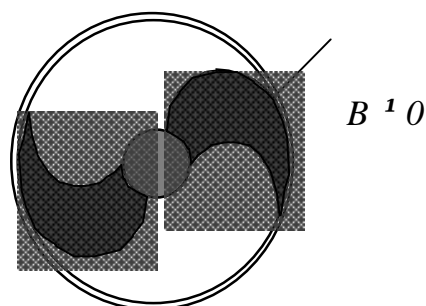


Figura 5: vista superior de la pantalla fosforescente, con campo magnético distinto de cero.

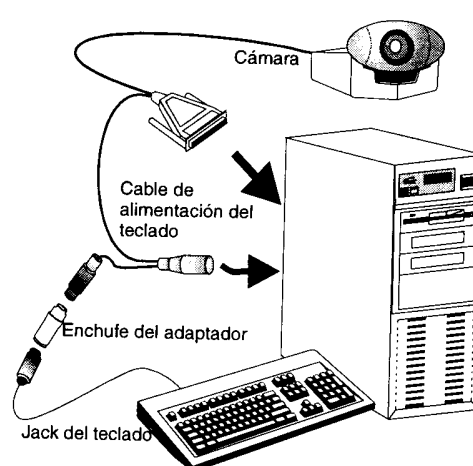


Figura 6 : Conexión de la cámara al PC.

- ⑧ Usando las mediciones hechas y aplicando las expresiones de la teoría, calcule e/m del electrón.

Preguntas

- ❶ Al variar la corriente que circula por el solenoide, ¿Cómo cambia el radio de curvatura de los electrones que se observa en la pantalla fosforescente?. Discuta cualitativamente en función de la relación entre el radio de curvatura r y la corriente I que circula por el solenoide, que se puede obtener combinando las Ecs. (5) y (6).
- ❷ Discuta por qué la trayectoria de los electrones, como muestra la pantalla fosforescente, es circular.
- ❸ Compare el valor obtenido con el valor de tabla: $e/m = 1.76 \cdot 10^{11}$ Cb/kg. Discuta la precisión de su medición.
- ❹ Discuta el significado y trascendencia de obtener una medición experimental de e/m para el electrón.

Experimento Recuperativo: Circuito RLC

Objetivo

Estudiar la resonancia de un circuito RLC, examinando la corriente a través del circuito como función de la frecuencia del voltaje aplicado.

Materiales

- Computador PC con interfaz Science Workshop
- Amplificador de Potencia PASCO CI-6502
- Circuito RLC, PASCO CI-6512
- Conectores
- Multímetro

Teoría

La amplitud de la corriente AC(I_0) en un circuito en serie RLC depende de la amplitud del voltaje aplicado(V_0) y la impedancia (Z). Lo anterior queda expresado como:

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} \quad (1)$$

Ya que la impedancia depende de la frecuencia, entonces la corriente varía con la frecuencia de la siguiente forma:

$$Z = \sqrt{(X_L - X_C)^2 + R^2} \quad (2)$$

donde:

X_L = reactancia inductiva

X_C = reactancia capacitiva

R = resistencia del circuito

R_L = resistencia de la bobina

ω = frecuencia angular

$X_L = \omega L$

$X_C = 1/\omega C$

$\omega = 2\pi f$, (siendo f la frecuencia lineal)

La corriente será máxima cuando el circuito sea dirigido a una frecuencia de resonancia:

$$W_{res} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3)$$

sabiendo que $\omega_{res} = 2\pi f$

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

Se puede demostrar que en resonancia $X_L = X_C$ y entonces la impedancia será igual a R. En resonancia, la impedancia tiene el valor mas bajo posible y la corriente tiene el valor mas alto.

Procedimiento

En esta actividad el amplificador de potencia produce una corriente alterna a través del circuito RLC. La amplitud de la corriente depende de la impedancia en el circuito, el cual varía con la frecuencia.

El generador de señales controla la frecuencia. El sensor de voltaje mide la diferencia de potencial a través de la resistencia en el circuito.

Ud. usará el generador de señales para cambiar la frecuencia de voltaje aplicado.

Deberá investigar la fase que relaciona el voltaje aplicado y el voltaje de la resistencia, así como varía la frecuencia.

Deberá determinar la amplitud de la corriente a través de la resistencia y dibujar corriente vs frecuencia.

Montaje Experimental

- ① Arme el circuito de la figura 1. Ejecute el programa Science Workshop.
- ② Conecte el amplificador de potencia al canal análogo A. Conecte el sensor de voltaje al canal B.(fig.2)
- ③ Presione **Sampling Options** y luego seleccione **Periodic Samples = Fast a 1000hz.**
- ④ En el generador de señales, seleccione **2.97V** en amplitud y **10 Hz** en frecuencia.

NOTA: Verifique con su multímetro en la salida del generador, que el voltaje eficaz no varíe en todo el experimento.

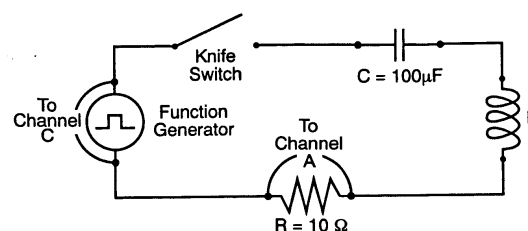


Figura 1: Circuito experimental

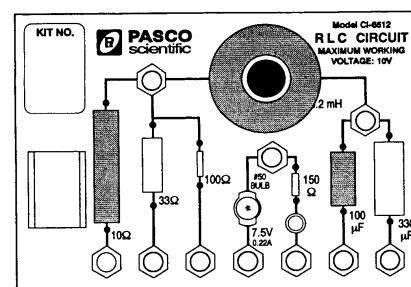


Figura 2: Montaje en la tarjeta RLC

NOTA: El valor de la inductancia de la bobina con el Núcleo (L) es 30 mH aprox.

Procedimiento

- ① Encienda el amplificador de potencia. Presione MON para comenzar a monitorear los datos. El generador de señales comenzará automáticamente.
- ② En el osciloscopio presione **smart cursor** , y muévelo a través de los peak de la curva del voltaje a través de la resistencia, V_R (media traza). Registre el voltaje para el canal B.
- ③ Encuentre 10 Hz en la tabla de datos y registre el voltaje en la tabla de datos. En la ventana **Generador de Señales** aumente la frecuencia en 10 Hz. Encuentre la nueva frecuencia en la tabla de datos. Repita el proceso usando el **smart cursor** para encontrar el nuevo valor del voltaje de la resistencia, V_R .
- ④ Repita el proceso hasta que alcance los 50 Hz. A esta frecuencia active el osciloscopio. Ajuste la velocidad de barrido de 1000 samples/seg. A 5000 samples/seg. Encuentre el valor para V_R a esta frecuencia.
- ⑤ Active la ventana del **Generador de Señales**. Aumente la frecuencia a 60 Hz. Encuentre el nuevo valor de V_R para esta frecuencia.
- ⑥ Incremente la frecuencia en 10 Hz y repita el proceso hasta llegar a 150 Hz.
- ⑦ A partir de la tabla de datos determine la frecuencia de resonancia (donde el voltaje a través de la resistencia alcanza el valor máximo y el voltaje de salida con el voltaje de la resistencia está, en fase).
- ⑧ Realice ajustes finos de la frecuencia hasta que la traza del voltaje del canal B esté en fase con la traza de salida.

Análisis

- ① Calcule la corriente que circula a través de la resistencia y registre los valores obtenidos en la tabla de datos.
- ② Haga un gráfico Corriente vs Frecuencia Lineal.
- ③ Usando el valor de la frecuencia de resonancia (obtenida del osciloscopio), calcule la frecuencia de resonancia angular y registre el valor en la tabla de datos.
- ④ Calcule la frecuencia de resonancia angular teórica usando los valores de la inductancia y capacitancia. Compare éste valor con el obtenido en ③.

Tabla de Datos

Frec. (Hz)	V_R	$I=V_R/R$
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

Inductancia	mH
Resistencia del circuito	Ω
Resistencia de la bobina	Ω
Capacitancia	μF .
Frec. Resonancia lineal teórica	Hz.
Frec. Resonancia lineal exp.	Hz.
Intensidad máxima	Amp.

Preguntas

- ① ¿Cuál es el porcentaje de diferencia entre la frecuencia de resonancia lineal medida con el valor teórico?.
- ② ¿Es la curva corriente vs frecuencia simétrica acerca de la frecuencia de resonancia?.
Explique.
- ③ En resonancia, las reactancias del inductor y del capacitor se cancelan las unas a las otras por lo que la impedancia (Z) es igual a la resistencia (R). Calcule la resistencia del circuito usando la amplitud de la corriente en resonancia en la ecuación $R=V/I$ (donde V es la amplitud del voltaje aplicado) ¿Es ésta resistencia igual a $10\ \Omega$? Explique.
- ④ ¿Qué ventajas se obtienen al trabajar en un circuito de radiofrecuencia en resonancia?.
Explique 4 situaciones ventajosas.

Laboratorio Recuperativo: Leyes de Kirchhoff

Objetivo

- Comprobar las Leyes de Kirchhoff.

Materiales

- 3 cajas de Resistencias
- 3 Multímetros
- 6 cables
- Fuente de Poder CC

Introducción

Existen 2 leyes que nos permiten determinar las variables de intensidad de corriente y de voltaje en un circuito. Estas son las Leyes de Kirchhoff, las cuales se enuncian a continuación:

1.- Ley de las Corrientes: La suma algebraica de las corrientes que llegan y salen de un nudo debe ser nula, o sea:

$$\sum_{n=0}^{n=\infty} I_n = 0$$

donde n es el número de corrientes medidas.

2.- Ley de los Potenciales: donde n es el número de corrientes medidas. La suma algebraica de los potenciales existentes en una malla de un circuito cerrado es cero. o sea:

$$\sum_{n=0}^{n=\infty} V_n = 0$$

donde n es el número de potenciales medidos.

Procedimiento Experimental

- ① Conecte las tres resistencias en paralelo, tal como lo indica la figura 1. Asegúrese de que estas sean de distinto valor entre ellas.
- ② Escoja en el circuito un nudo(*a, b, c* ó *d*) y mida las corrientes que llegan o salen de él. Asegúrese de que el multímetro esté en el modo amperímetro y escalas apropiadas (a modo de ejemplo ver figura 1).
- ③ Conecte las mismas resistencias, pero esta vez en serie, tal como lo indica la figura 2.
- ④ Mida los potenciales de cada resistencia, incluyendo la fuente. Verifique que el multímetro esté en el modo voltímetro y escalas apropiadas (a modo de ejemplo vea en la figura la conexión del voltímetro).

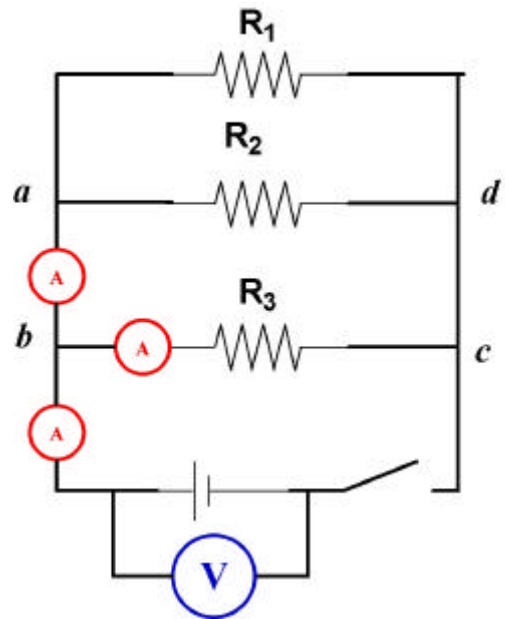


Figura 1: Circuito en paralelo.

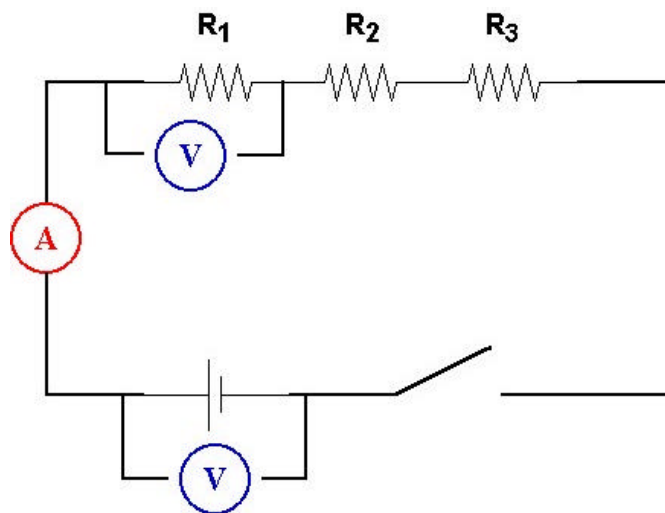


Figura 2: Circuito en serie.

Análisis

- ① Con las mediciones obtenidas con el amperímetro, compruebe si se cumple la Primera Ley de Kirchhoff.
- ② Con las mediciones obtenidas con el voltímetro, compruebe si se cumple la Segunda Ley de Kirchhoff.
- ③ Compruebe experimentalmente, para el circuito en serie, que la corriente que circula por las tres resistencias es la misma.
- ④ Compruebe experimentalmente, para el circuito en paralelo, que los potenciales en cada resistencia tienen el mismo valor que el de la fuente.

Conclusión

- ① ¿Cómo podría Ud. comprobar la Ley de Ohm a partir del circuito de la figura 1?. Demuestre a partir de sus mediciones experimentales.
- ② ¿Cómo podría Ud. comprobar la Ley de Ohm a partir del circuito de la figura 2?. Demuestre a partir de sus mediciones experimentales.
- ③ ¿Qué porcentaje de error obtuvo para probar la primera Ley de Kirchhoff?.
- ④ ¿Qué porcentaje de error obtuvo para probar la segunda Ley de Kirchhoff?.