

## Trabajo Práctico de Laboratorio N° 3

### Mediciones con Corriente Continua

#### Objetivos:

- Este trabajo práctico abarcará varias experiencias, a saber:
- Medición de una resistencia usando el denominado Puente de Wheatstone.
  - Determinación de las curvas tensión-corriente de una lamparita.
  - Medición de resistencias y tensiones con un multímetro digital (*tester*).

#### 1. Introducción

##### Instrumentos digitales - Téster - Multímetro - Resistencias de carbón

Las mediciones de resistencias con un tester (ver Apéndice I) son sencillas y rápidas y, por lo tanto, son las más habituales.

Parte de las resistencias que se utilizarán en las experiencias son las denominadas **resistencias de carbón**. Estas son utilizadas en circuitos electrónicos. El valor de las mismas está codificado en bandas de colores. Se fabrican en grandes cantidades y siguiendo un conjunto de valores normalizados. Obviamente es imposible que todas las resistencias de un mismo lote sean fabricadas de exactamente el mismo valor. Por eso son clasificadas según su valor y tolerancia. La tolerancia nos da una idea de la dispersión en la producción y por lo tanto cuanto más baja es la tolerancia, menos dispersión aparece en los valores medidos de los elementos del lote. En el apéndice 2 se explica cómo determinar el valor de la resistencia y su tolerancia.

Al medir una resistencia es importante determinar la incerteza de la medida. La incerteza al medir una vez el valor de una resistencia con un téster se puede estimar a partir de las especificaciones dadas por el fabricante. Para ello recurrimos al manual del usuario, donde se encuentra descrito cómo estimar la incerteza para cada rango de medición. Para el Modelo 3520 usado en el Laboratorio, se encuentra en el manual:

**TABLA 1**

Rango	Resolución	Precisión	Corriente de prueba
200Ω	0.1Ω	±0.7%rdg±3dgt	<0.7 mA
2000Ω	1Ω	±0.7%rdg±1dgt	<0.1mA
20kΩ	10Ω	±0.7%rdg±1dgt	<30μA
200kΩ	100Ω	±0.7%rdg±1dgt	<4μA
2000kΩ	1kΩ	±1.0%rdg±2dgt	<0.4μA
20MΩ	10kΩ	±2.0%rdg±2dgt	<40nA

rdg: "reading", lectura del instrumento.

dgt: es la cantidad de dígitos de la última cifra significativa de la medición.

Por ejemplo: se registra un valor de  $R=165.2 \Omega$  corresponde al primer rango, luego el valor de la incerteza es

$\Delta R = 0.7\% \cdot 165.2 \Omega + 0.3 \Omega \cong 1.5 \Omega$  y el resultado se expresará con una sola cifra significativa:

$$R = (165 \pm 2) \Omega$$

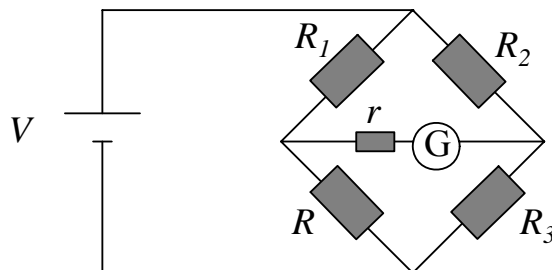
Un valor medido de  $R=12.45 \text{ k}\Omega$  corresponde a la tercera fila y

$$\Delta R = 0.7\% \cdot 12.45 \text{ k}\Omega + 10 \Omega \cong 100 \Omega$$

$$\text{El resultado se expresará: } R = (12.5 \pm 0.1) \text{ k}\Omega$$

## Puente de Wheatstone

Un circuito muy preciso y utilizado para medir resistencias por el “**método de cero**” es el que emplea el circuito puente conocido como puente de Wheatstone. Este se presenta en la siguiente figura.



Consta de cuatro resistencias  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  y  $R$  dispuestas según los lados de un cuadrilátero en una de cuyas diagonales se ubica un galvanómetro (amperímetro muy sensible)  $G$  y en la otra la fuente de alimentación  $V$ .

Se dice que el puente está en equilibrio cuando por la rama del galvanómetro no circula corriente (por eso se denomina un “**método de cero**”). En este caso se cumple la relación:

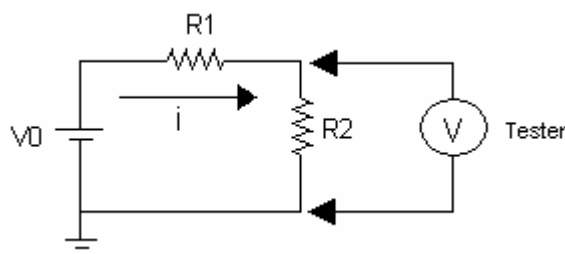
$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R$$

$R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  son resistencias conocidas (la última es variable) y  $R$  es la incógnita. Variando  $R_3$  hasta llevar al puente al equilibrio,  $R$  se determina por la anterior relación.

## La influencia del aparato de medida en el resultado

Siempre que se realiza una medición, el instrumento de medición utilizado alterará el circuito que queremos medir. En muchos casos esta alteración es muy pequeña y podemos considerar que lo que estamos midiendo es virtualmente igual al existente en el circuito original (sin el instrumento conectado). Pero en algunos casos nos encontramos con que el aparato de medida utilizado no se comporta idealizadamente y entonces altera el sistema a medir mucho más de lo que podemos tolerar como error. Por esta razón es que debemos estar conscientes de esta perturbación y conocer bien lo que queremos medir y con qué instrumentos contamos para medir para poder realizar una medición adecuada o, en caso de no ser posible, tener en cuenta que nuestro instrumento está alterando dicha medición.

Un caso en el que se puede ver claramente este problema es el de un circuito con dos resistencias.



### Medición ideal

Para calcular la caída de tensión que mediría un voltímetro ideal, primero se computa la corriente que circula por las resistencias.

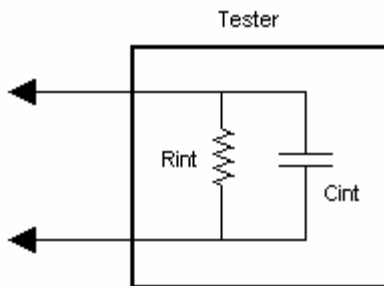
$$I = \frac{V_0}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

luego la tensión medida será:  $V_{leida} = I R_2$  (2); despejando  $I$  de (2) y reemplazando en (1) resulta:

$$V_{Leida} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_0 \quad (3) \quad \text{que es la lectura del circuito que llamamos divisor resistivo.}$$

Esta medición sólo es válida en el caso ideal, ya que en un caso real el voltímetro (tester) influye en la medición mediante su impedancia de entrada.

El circuito equivalente de la impedancia de entrada de un tester digital es el siguiente :

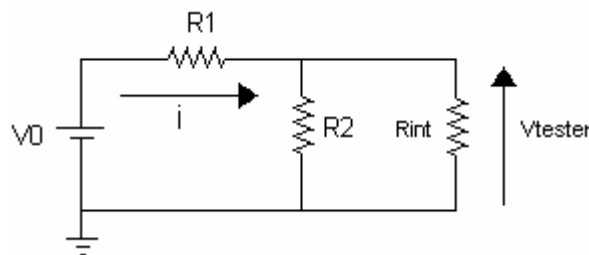


donde :  $R_{int} = 10 \text{ M}\Omega$   
 $C_{int} < 50 \text{ pF}$

Para mediciones en corriente continua el capacitor es un circuito abierto y por lo tanto sólo influye la resistencia de entrada ( $R_{int}$ ).

### Medición real

Si ahora se toma en cuenta la resistencia de entrada del tester , el circuito a utilizar sería el siguiente:



utilizando la ecuación (3) la lectura es :  $V_{leida} = \frac{R'_2}{R_1 + R'_2} V_0$

donde :  $R'_2 = \frac{R_2 \cdot R_{int}}{R_2 + R_{int}}$

Ahora, la lectura no coincide con el valor dado por la expresión ideal y la diferencia es tanto más marcada cuanto más cercana sea la resistencia de entrada del voltímetro a las del circuito. El mismo problema habría aparecido si se hubiera medido la caída de tensión sobre  $R_1$ . Para evidenciar la influencia de voltímetro sobre el circuito se intentará verificar la segunda ley de Kirchooff y entonces se sumarán (con signo) las caídas de tensión en el circuito. ¿Qué resultado se espera? ¿Qué se obtuvo?

Para ejercitar antes de la realización de la práctica, resuelva los siguientes problemas:

## PROBLEMAS

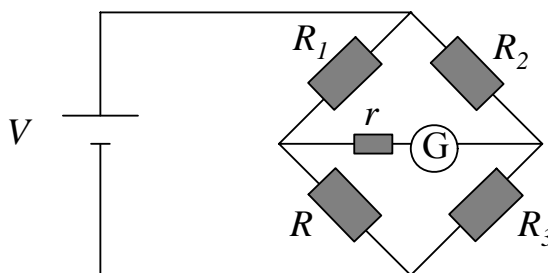
**Problema 1:** Indique el valor y la tolerancia de las resistencias de carbón que tienen los siguientes códigos:

- naranja negro rojo dorado
- rojo azul marrón plateado

**Problema 2:** Se tienen los siguientes valores de resistencia medidos una vez con el téster de la práctica. En base a las especificaciones, estimar la incerteza de cada lectura (Use la tabla 1):  $1.1\Omega$ ,  $180.5\Omega$ ,  $1500\Omega$ ,  $6800\Omega$ ,  $180.3\text{ k}\Omega$  y  $4.710\text{ M}\Omega$ . ¿Cuál de las incertezas influye más en la calidad de la medida? ¿El porcentual o el relativo a los dígitos que indica el téster? Justificar.

**Problema 3:** Determinar la condición de equilibrio del puente de Wheatstone a partir de las leyes de Kirchoff.

**Problema 4:** Calcular en el circuito de la figura los valores máximo y mínimo que puede tener la resistencia  $R$  para que la corriente por el galvanómetro  $G$  no supere  $1\text{ mA}$  (valor a fondo de escala). Considere los casos  $r=10, 20$  y  $50\Omega$ . Datos:  $R_1=R_2=R_3=1000\Omega$ ;  $V=12\text{V}$



**Problema 5:** Para el circuito de la figura, calcular las caídas de tensión sobre las resistencias y computamos la suma algebraica de dichas caídas:

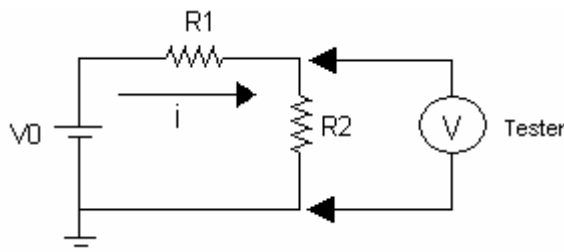
a) considerando el tester ideal, con los siguientes valores:

i)  $V=10\text{V}$ ,  $R_1=R_2=5,6\text{ K}\Omega$

ii)  $V=10\text{V}$ ,  $R_1=R_2=560\text{ K}\Omega$

iii)  $V = 10V$  ,  $R_1 = R_2 = 5,6 M\Omega$

b) considerando el tester real ( $R_{int} = 10 M\Omega$ ) , para el mismo juego de valores del punto a.



### Medición de una resistencia por distintos métodos

Los valores obtenidos al medir una vez o pocas veces una resistencia tienen incertezas distintas según sea el método utilizado. Compararemos dos métodos de medición de resistencias: i) con un tésfer, ii) con un puente.

#### Parte a): Medición con un tésfer

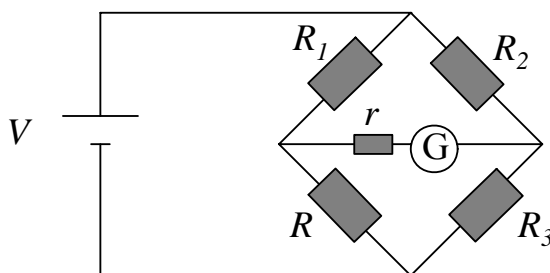
La incerteza al medir una vez el valor de una resistencia se puede estimar, según hemos visto, a partir de las especificaciones dadas por el fabricante. Para ello recurrimos al manual del usuario, donde se encuentra descrito cómo estimar la incerteza para cada rango de medición. Para el Modelo 3520 usado en el Laboratorio, las especificaciones se encuentran en la Tabla 1.

Medir con el tester las tres resistencias dadas, determinar sus incertezas y compararlas con el valor nominal de las mismas. ¿Existen diferencias significativas? (ver Trabajo Práctico N°1)

#### Parte b): Medición de resistencias con un puente de Wheatstone

##### Desarrollo de la experiencia:

$R_1$  y  $R_2$  son dos reóstatos de valores conocidos (medidos con el tésfer),  $R_3$  es una resistencia variable (caja de resistencias) y  $R$  es la resistencia incógnita. Por lo tanto el esquema del circuito a armar es el siguiente:



donde  $r$  es una resistencia limitadora de corriente.

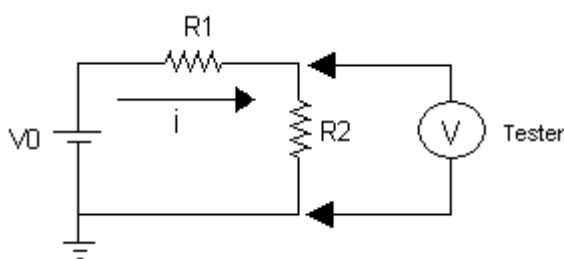
- Elija una de las resistencias incógnita ( $R$ ).
- Armar el circuito de la figura.
- Con la resistencia de protección ( $r$ ) intercalada se variará la resistencia  $R_3$  (hay dos modelos, el primero opera girando perillas selectoras y el segundo quitando clavijas de

conexión) hasta que no circule corriente por el galvanómetro. Se cortocircuitará entonces la resistencia de protección y se repite el ajuste hasta conseguir la corriente más baja posible.

- d) Determinar el valor de la resistencia incógnita. Discutir las fuentes de incerteza en la medición de la resistencia incógnita por este método.
- e) Repita los pasos anteriores con la otra resistencia incógnita.
- f) Medir ambas resistencias incógnitas con el tester y sacar conclusiones.
- g) Discuta el uso del puente para 1) medir resistencias 2) comparar resistencias

### Parte c): Mediciones de tensión con un tester

Arme el circuito que se indica en la siguiente figura:



Mida las tensiones sobre las resistencias y sobre la fuente con el téster (**no** use el display de la fuente porque se deben tomar todas las medidas con el mismo instrumento) y registre sus valores. ¿Cuántas veces la mide? ¿Por qué?

Repetir la experiencia reemplazando el juego de resistencias por cada una de las otras dos resistencias utilizadas en la **parte a**.

Para cada uno de los tres circuitos, calcular el valor de tensión teórico sobre la resistencia  $R_2$  (resultados del problema 5) y compararlo con el valor medido con el téster.

¿Qué sucede con la segunda ley de Kirchooff?

### Curvas Tensión-Corriente de una lamparita.

La resistividad de un material es una magnitud dependiente de la temperatura y tal cambio debe ser tomado en cuenta en el caso de tratar con circuitos muy sensibles o cuando los cambios de temperatura son grandes. Para una dada temperatura podemos relevar la resistividad en función de la temperatura  $\rho(T)$ . Como toda función, la resistividad puede ser expandida en serie de Taylor alrededor de una temperatura de referencia  $T_0$ . Si consideramos que la aproximación a primer orden puede ser adecuada, será

$$\rho(T) \cong \rho(T_0) + \left. \frac{d\rho}{dT} \right|_{T_0} (T - T_0) = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad \text{con} \quad \alpha = \left. \frac{1}{\rho_0} \frac{d\rho}{dT} \right|_{T_0}$$

La resistividad de referencia  $\rho_0$  suele ser tomada a  $0^\circ\text{C}$  ó  $20^\circ\text{C}$ , y el coeficiente  $\alpha$  nos brinda la variación fraccional de la resistividad con la temperatura. Cuando las variaciones de temperatura no son pequeñas, puede ser necesario incluir términos de orden superior en la serie de Taylor.

En esta parte de la experiencia mediremos cómo varía la resistencia de una lamparita conforme aumenta su temperatura.

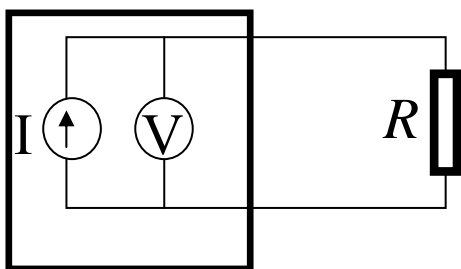
### Desarrollo de la experiencia:

- Medir con un téster la resistencia de la lámpara de 12V en frío. Relacionar la resistencia con la tensión de 12 V para la cual está fabricada y la potencia indicada en la lámpara. Discutir.
- Armar el circuito con la lámpara y una fuente que tiene incorporados un voltímetro que mide la tensión en los bornes de salida y un amperímetro que mide la corriente entregada por la fuente.
- Poner la tensión a cero y llevar la perilla de limitación de la corriente a aproximadamente tres cuartas partes del recorrido.
- Ir subiendo la tensión en pasos de 0.5 V hasta llegar a 12 V. Registrar tensión y corriente.
- ¿Qué ocurre si invierte los terminales de la lamparita? Repetir las mediciones del punto anterior con los terminales de la lamparita invertidos (valores negativos de tensión y corriente respecto de las mediciones anteriores). Analice los resultados con los obtenidos en el punto anterior. Discuta.
- Graficar  $I$  vs  $V$  para las mediciones realizadas en los dos puntos anteriores. ¿Cómo es cualitativamente la relación entre la corriente y la tensión? ¿Cómo esperaba que fuera?
- ¿Se puede atribuir la relación entre corriente y tensión a la variación de temperatura de la lamparita? En caso afirmativo, estimar el valor de  $a$  a temperatura ambiente.

### Apéndice I: Tester o multímetro

Este instrumento digital muestra en un "display" el valor numérico de la medida que puede ser una tensión, una corriente o una resistencia. Este conjunto de medidas posibles son comunes a todos los modelos y los más complejos incluyen la posibilidad de medir capacitancias e inductancias..

El principio de funcionamiento de un tester usado como medidor de resistencias (óhmetro u ohmímetro) es simple y lo vemos en la siguiente figura



El téster posee un voltímetro  $V$  cuya resistencia de entrada es muy elevada (en aparatos de calidad puede llegar a  $100\text{M}\Omega$ ) por lo que se puede considerar como un circuito abierto. Este voltímetro mide la caída de potencial entre los bornes de la resistencia  $R$  cuyo valor se quiere determinar. La corriente es provista por una fuente de corriente  $I$  incluida dentro del tester y alimentada por la batería del mismo. Usualmente el voltímetro del tester tiene una lectura a fondo de escala de  $200\text{mV}$ , por lo que

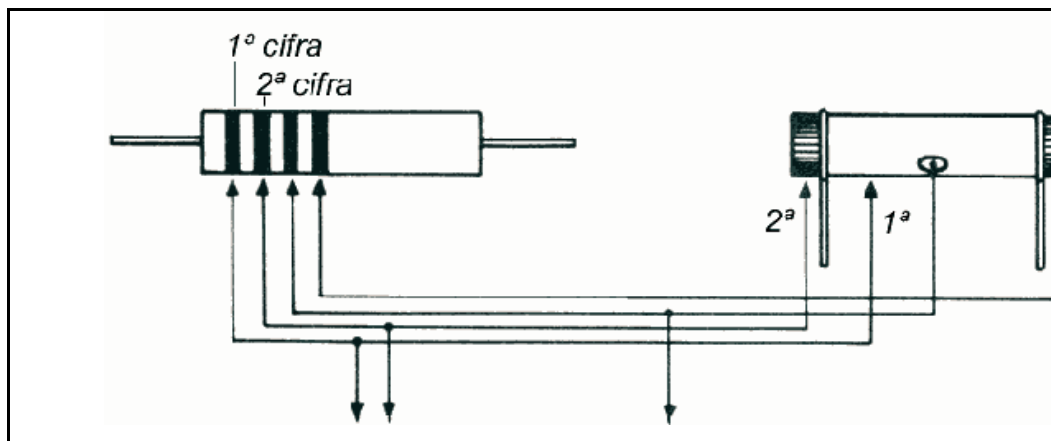
si se desean medir resistencias de hasta, por ejemplo,  $200\Omega$ , la corriente debe ser de  $1\text{mA}$  ( $1\text{mA} \times 200\Omega$ ). Para el caso de medir resistencias de hasta  $2\text{k}\Omega$ , la corriente se reduce a  $0.1\text{mA}$ , y así sucesivamente con los otros rangos.

A diferencia de lo que ocurre con otros tipos de instrumentos de medición como un calibre donde se sabe que la incerteza sistemática introducida por el instrumento es menor que la mínima

división (aunque no se sabe cuánto vale), los instrumentos como el tester traen especificados (según su clase y valor de la magnitud medida) la “precisión” de la medición a través de un porcentaje de la lectura más un cierto número de dígitos. Esto nos permite acotar fácilmente el valor de una magnitud haciendo una sola medición. Esto no da el valor de la incerteza de medición, ya que no asegura cuánto es sino cuanto es lo máximo que se puede esperar.

## Apéndice II: CÓDIGO DE COLORES PARA RESISTENCIAS

El valor de las resistencias se representa componiéndolo según la tabla de colores adjunta, expresándose el resultado en Ohmios. Habitualmente las resistencias tienen cuatro franjas de colores, la cuarta franja es la tolerancia, que puede ser dorada (5%) o plateada (10%). Las primeras dos son las cifras significativas y la tercera es la cantidad de ceros que se debe agregar. Si la tercer franja es dorada multiplicar por 0.1 y si es plateada multiplicar por 0.01. Como este párrafo es particularmente difícil de entender, es mejor recurrir a un ejemplo



COLOR	DIGITO	MULTIPLICADOR	TOLERANCIA ±
Negro	0	1	20%
Rojo	2	100	2%
Naranja	3	1.000	-
Amarillo	4	10.000	0 + 100% (val. min. garantizado)
Verde	5	100.000	5%
Azul	6	1.000.000	
Gris	8	0,01	
Blanco	9	0,1	10%



<b>Oro</b>		<b>0,1</b>	<b>5%</b>
<b>Plata</b>		<b>0,01</b>	<b>10%</b>
<b>Sin color</b>			<b>20%</b>

**Ejemplo:**

Rojo = 2 - Rojo = 2 - Naranja = \*1000 - Dorado = 5%



(El color dorado aparece como amarillo por culpa del editor)

= 22000 Ohmios = 22 KOhmios = 22 K $\Omega$

Naranja-blanco-marrón-dorado: 390  $\Omega$  con una tolerancia de 5%

Marrón-verde-amarillo-plateado: 150.000  $\Omega$  con una tolerancia de 10%

**Apéndice III: Exactitud, precisión y sensibilidad de los aparatos de medida**

En lo que respecta a los aparatos de medida hay tres conceptos muy importantes que vamos a definir: Exactitud, precisión y sensibilidad.

Un aparato es exacto si las medidas que se realizan con él son todas muy próximas al valor "cierto" o "verdadero" de la magnitud medida. (¿Qué es el valor "cierto" o "verdadero"? ¿Existe?)

Un aparato será preciso si las diferentes medidas de la misma magnitud difieren muy poco entre sí. La exactitud implica normalmente precisión, pero la inversa no es cierta, ya que pueden existir aparatos muy precisos que posean poca exactitud debido a errores sistemáticos. En general se puede decir que es más fácil conocer la precisión de un aparato que su exactitud.

La sensibilidad de un aparato está relacionada con el valor mínimo de la magnitud que es capaz de medir. Por ejemplo, decir que la sensibilidad de una balanza es de 5 mg significa que para masas inferiores a la citada, la balanza no presenta ninguna desviación. Normalmente se **admite** que la sensibilidad de un aparato viene indicada por el valor de la división más pequeña de la escala de medida (aunque no es cierto). En muchas ocasiones los conceptos de sensibilidad y precisión se toman como idénticos, aunque en realidad hay diferencias entre ellos.

En general cuando se trate de medidas que sólo se han podido realizar una vez, se toma como incerteza absoluta de una medida la sensibilidad del aparato, admitiendo que la precisión será del mismo orden que la sensibilidad.