



## Experiencia 1: Mediciones DC

Guía previa

---

### 1. Objetivos

Esta guía busca preparar al alumno para el trabajo de laboratorio de la primera experiencia, en la que se utilizarán el multímetro y la fuente de potencia.

Se explican las funcionalidades y limitaciones de ambos instrumentos, y se presenta además una introducción teórica sobre la incertidumbre, precisión y exactitud de las mediciones de laboratorio.

Por último, se plantea un breve trabajo previo en el que el alumno deberá investigar ciertas características del multímetro y la fuente de potencia.

### 2. Material de estudio

#### 2.1. Precisión y exactitud de las mediciones

En el trabajo de laboratorio siempre existe un error asociado a la precisión limitada de los instrumentos y otras incertidumbres experimentales. Por lo anterior, es fundamental saber cuantificar este error e incluirlo en el resultado. Con esto se logra determinar la precisión de una medición que establece la validez de los resultados, y además permite identificar maneras de mejorar el experimento.

Es necesario distinguir dos términos en una medición: precisión y exactitud. Una medición exacta es aquella en la que el resultado concuerda con el valor real. En la Fig. 1, el centro de los blancos representa el valor real. Mientras más cerca del centro, más exacta es la medición. La dispersión de los datos representa la precisión.

Se pueden identificar tres tipos de errores:

- Errores sistemáticos: afectan la exactitud del resultado.
- Errores aleatorios: afectan la precisión.
- Puntos equivocados.

Para reducir el error sistemático es importante que los instrumentos de medición estén debidamente calibrados y el experimento considere las no idealidades de éstos que puedan alterar el resultado. Los errores aleatorios pueden ser causados por la precisión limitada de un instrumento de medición o la aleatoriedad del experimento (por ejemplo, ruido electrónico).

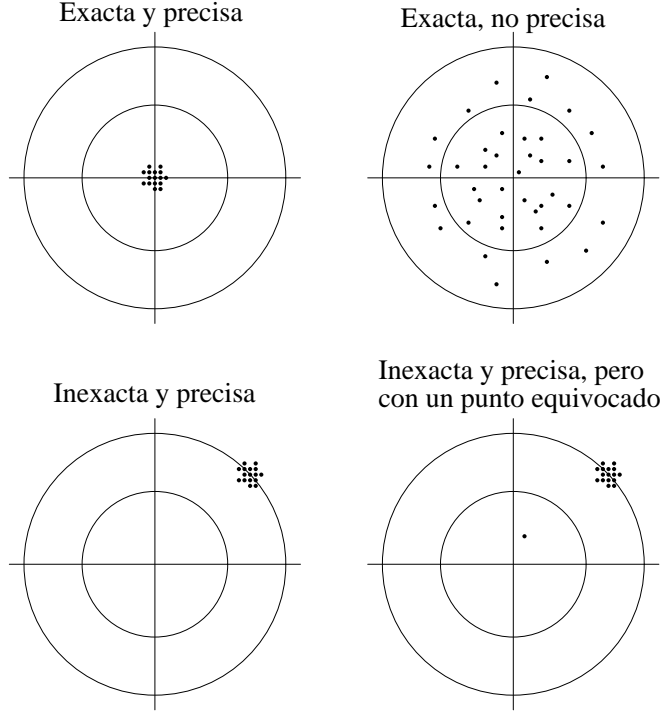


Figura 1: Precisión y exactitud [3].

La forma de estimar el resultado de una medición es con la media ( $\bar{x}$ ), y el error está asociado a la desviación estándar ( $\sigma$ ). Cuando se toman un set de mediciones, se obtiene un valor medio  $\bar{x}$  que es reportado como resultado. Si se toman varios sets de  $N$  mediciones, en cada uno de ellos se obtiene un resultado  $\bar{x}$  ligeramente diferente, pero con una desviación estándar similar. Por lo anterior, la media de un set de  $N$  mediciones tiene un grado de incertidumbre, conocida como el error estándar ( $\alpha$ ), el cual se define según (1) y cuantifica la precisión con la que se puede definir la media. Se puede apreciar que mientras más muestras se tomen, el error estándar es menor, obteniendo así un resultado más preciso.

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

El resultado de un experimento se debe expresar, entonces, con una estimación del error estándar, tal como se muestra en (2), indicando su respectiva unidad.

$$x = \bar{x} \pm \alpha \quad (2)$$

## 2.2. Multímetro

La Fig. 2 muestra un multímetro digital estándar. Este instrumento permite medir variables eléctricas tales como resistencia, voltaje y corriente tanto de carácter alterno como

continuo. Además, este instrumento permite medir frecuencia, capacitancia, continuidad y voltaje de diodo, entre otras cosa.

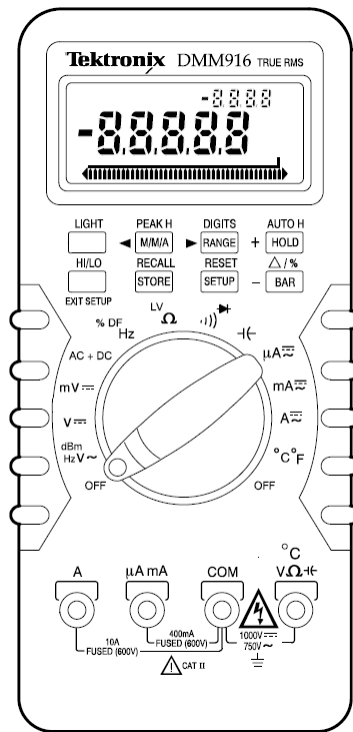


Figura 2: Multímetro Digital [2].

En general los multímetros poseen tres terminales, denominados *COM*, *V/R* y *A*. El primero es la conexión común, normalmente de color negro, y se usa para todas las mediciones. El terminal *V/R* se utiliza principalmente en las mediciones de voltaje y resistencia, mientras que el terminal *A* se utiliza para medir corriente. Algunos multímetros cuentan una cuarta entrada, también para medir corriente, pero en otra escala de magnitud.

Es importante utilizar las entradas que corresponden a cada tipo de variable a medir, ya que en caso contrario se pueden obtener mediciones erróneas y/o dañar el instrumento. Cada multímetro tiene diferentes formas de configurar sus funciones, por lo que es importante leer el manual de instrucciones del instrumento antes de usarlo.

A continuación, algunas de las funciones más comunes de los multímetros son estudiadas.

1. Voltímetro: el multímetro permite medir voltajes, que pueden ser DC o AC. Es importante saber qué tipo de voltaje se está midiendo. Algunos multímetros miden valores RMS, y según la configuración del instrumento este valor puede incluir o no la componente DC. Puede consultar el manual para saber cómo configurar cada tipo de medición.

El voltímetro se debe conectar en paralelo con el circuito, tal como se muestra en la Fig. 3, e idealmente tiene impedancia infinita para no perturbar la medición. En la

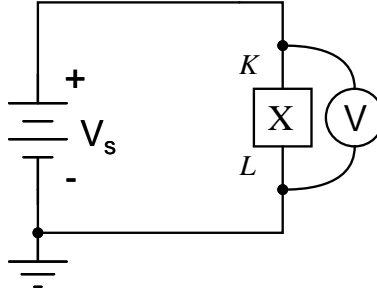


Figura 3: Conexión de un voltímetro.

práctica, esta impedancia tiene un valor finito que es relevante conocer, ya que puede ser causa de errores de medición si no es considerada.

Además de la magnitud, al medir un voltaje DC es relevante conocer su polaridad. El multímetro entrega el potencial del terminal  $V/R$  con respecto a  $COM$ . Tomando el ejemplo de la Fig. 3, si se quiere medir el potencial del punto  $K$  con respecto a  $L$ , el electrodo del terminal  $V/R$  debe estar conectado en  $K$  y el terminal común en  $L$ . Si realiza las conexiones al revés, obtendrá el mismo voltaje con signo contrario.

2. Amperímetro: los multímetros permiten medir corrientes DC y AC, y en algunos casos valores RMS. Puede consultar el manual para saber cómo configurar cada tipo de medición.

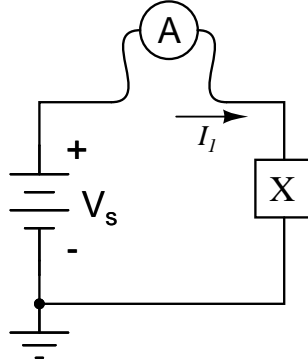


Figura 4: Conexión de un amperímetro.

Algunos multímetros tienen una segunda entrada para medir corriente, normalmente denominada  $\mu A$ , que se utiliza para magnitudes menores. Para saber el rango de valores que permite medir cada uno de los terminales de corriente, consulte el manual del instrumento. Si no conoce el orden de magnitud de la corriente que va a medir, comience utilizando el terminal de mayor corriente. En caso contrario, es posible que queme el fusible del terminal  $\mu A$ .

Un amperímetro ideal se comporta como un conductor perfecto sin resistencia, por lo que no produce una caída de potencial. Sin embargo, en el multímetro se genera una

pequeña caída de voltaje que depende de la cantidad de corriente que circule por él.

Para medir corriente se debe cortar el circuito e introducir el amperímetro en serie, tal como se muestra en la Fig. 4. El multímetro mide la corriente que entra por el terminal *A* y sale por el terminal *COM*. Si el valor es negativo, significa que la corriente circula en la dirección contraria. Si conecta el amperímetro en paralelo producirá un cortocircuito y es altamente probable que queme el instrumento o al menos un fusible.

3. Medición de resistencias: el multímetro también puede funcionar como óhmmetro. Para esto se debe conectar el resistor a medir directamente al multímetro como se muestra en la Fig. 5. El instrumento hace circular una corriente por el resistor (o bien aplica un voltaje) y calcula su resistencia según la ley de Ohm.

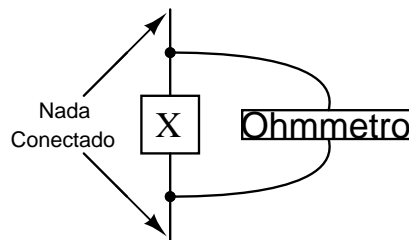


Figura 5: Conexión de un óhmmetro.

Es importante que desconecte cualquier fuente de alimentación de los nodos entre los que mide resistencia, pues si no lo hace obtendrá una medición errónea y puede dañar el multímetro. Además, si existen otros componentes conectados entre los nodos en los que realiza la medición, éstos serán considerados por el multímetro. Por lo anterior, si quiere medir un único resistor, éste no puede estar conectado a nada.

### 2.2.1. Rango de error

Los fabricantes de multímetros digitales presentan las especificaciones de precisión en el siguiente formato:

$$\pm(\% \text{ de medición} + \text{número de dígitos menos significativos})$$

Esto significa que el rango de valores posibles de su medición depende de un porcentaje del valor medido y de cierta cantidad de veces el bit menos significativo mostrado en la pantalla (también llamados cuentas).

Suponga que un multímetro de cuatro dígitos especifica la precisión de mediciones de voltajes DC como  $\pm(0.5\% + 3)$  para todos los rangos posibles, y que se mide un voltaje conocido de 1.2 V.

Primero, se escoge un rango de 200 V, en el que el multímetro muestra los valores de la forma *XXX.X*. El porcentaje de la medición corresponde a  $1.2 \text{ V} \times 0.5\% = 0.006 \text{ V}$ . Este error no se verá reflejado en la pantalla del multímetro ya que solo muestra un decimal. Sin

embargo, el dígito menos significativo tiene un valor de 0.1 V. Al considerar el error de tres cuentas, el multímetro puede mostrar en la pantalla un valor de  $1.2 \text{ V} \pm 3 \times 0.1 \text{ V}$ , es decir, entre 0.9 V y 1.5 V. Considerando ambos factores, el rango de error puede calcularse como  $\pm(1.2 \text{ V} \times 0.5 \% + 3 \times 0.1 \text{ V}) = \pm 0.306 \text{ V}$ .

Si se escoge el rango de 20 V, el multímetro muestra los valores de la forma  $XX.XX$ . De esta forma, el dígito menos significativo ahora tiene un valor de 0.01 V. Así, se puede calcular el rango de error de la medición como  $\pm(1.2 \text{ V} \times 0.5 \% + 3 \times 0.01 \text{ V}) = \pm 0.036 \text{ V}$ .

Finalmente, si se escoge un rango de 2 V, en el que el multímetro muestra los valores de la forma  $XXX.X$ , el dígito menos significativo corresponde a 0.001 V y se puede calcular el rango de error como  $\pm(1.2 \text{ V} \times 0.5 \% + 3 \times 0.001 \text{ V}) = \pm 0.009 \text{ V}$ . De esta manera, la medición del multímetro puede estar en un rango entre 1.191 V y 1.209 V.

Algunos multímetros pueden escoger el rango de forma automática, sin embargo, la mayoría de éstos permiten elegir el rango de forma manual. Puede revisar las especificaciones del multímetro para conocer la precisión de cada funcionalidad, ya sea medir voltaje, corriente, resistencia, etc. Cada prestación tiene su propia especificación de precisión, la que incluso puede variar según el rango escogido.

## 2.3. Fuente de potencia

La fuente de potencia (conocida normalmente con términos poco precisos como fuente DC, de voltaje o de poder) se utiliza para energizar los circuitos. Internamente pueden tener una o más fuentes independientes, también llamadas canales. La fuente de potencia usada en el laboratorio cuenta con dos fuentes variables, llamadas  $Ch_1$  y  $Ch_2$ , y una fija de 5 V ( $Ch_3$ ). Todas ellas son independientes (sus voltajes son independientes y no están conectadas entre ellas), y flotantes.

La fuente de potencia tiene terminales separados para cada canal, los que permiten realizar conexiones tanto entre los canales como hacia el circuito que se quiere energizar. Existen diferentes modos de operación en los que se realizan conexiones internas entre los canales que permiten entregar voltajes o corrientes mayores, alimentación simétrica, etc. En algunos casos se alteran los controles de la fuente debido a que se pierde independencia entre los diferentes canales.

Como se mencionó anteriormente, cada uno de los canales es una fuente de potencia flotante. Tiene un terminal positivo (+) y otro negativo (-), el voltaje entre ellos está bien definido y puede ser ajustado. Sin embargo, el voltaje entre cualquiera de sus terminales y un tercer punto, como el chasis metálico de la fuente o los terminales de otro canal, no están definidos. Para evitar esta indefinición, los instrumentos tienen un terminal adicional llamado tierra, normalmente indicado como  $GND$ , o bien con alguno de los símbolos de la Fig. 6. El terminal de tierra suele estar conectado al chasis del instrumento, y si el cable de alimentación tiene tres terminales, se conecta a la tierra de la conexión eléctrica, que suele estar al potencial del suelo terrestre.

Cuando se usa un canal de la fuente de potencia como fuente flotante (sin conectar alguno de los terminales a tierra), se obtiene la situación de la Fig. 7a. Los puntos  $A$  y  $B$  corresponden a los terminales de alguno de los canales de la fuente, mientras que  $G$  es el

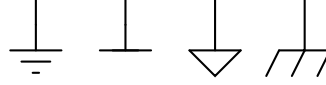


Figura 6: Símbolos terminal de tierra.

terminal de tierra. Podemos ver que  $V_{AB}$  es el voltaje de salida de la fuente y está claramente definido. Sin embargo,  $V_{AG}$  y  $V_{BG}$  son desconocidos. En caso de no querer una fuente flotante, se debe conectar alguno de los terminales de salida a tierra, como se muestra en la Fig. 7b. Ahora todos los voltajes están bien definidos:  $V_{AB} = V$ ,  $V_{BG} = 0$  y  $V_{AG} = V_{AB} + V_{BG} = V$ . Si  $V$  es una cantidad positiva, en el punto  $A$  se obtiene un voltaje positivo con respecto a tierra. Si se necesita, por ejemplo, un voltaje negativo, se puede realizar la conexión que se muestra en la Fig. 7c.

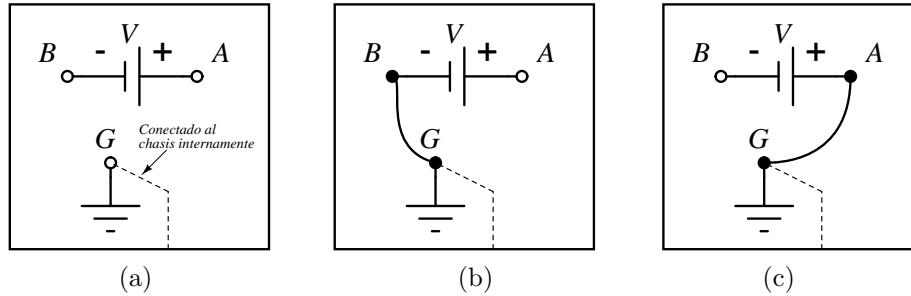


Figura 7: Conexión a tierra [1].

Es importante hacer una distinción entre la conexión a tierra de la fuente de potencia y la de sus canales. La primera consiste en que el cable de alimentación tenga el terminal que se conecta a la tierra de la red eléctrica. Por otro lado, la conexión a tierra del canal consiste en poner en contacto uno de sus terminales con la tierra del instrumento.

Siempre es recomendable utilizar los instrumentos con la debida conexión a tierra, ya que ésta previene el riesgo de recibir una descarga eléctrica por fallas en el equipo o mal uso. Por otro lado, no es estrictamente necesario conectar los canales de la fuente al terminal de tierra. En algunos casos se requiere utilizar fuentes flotantes, mientras que en otros es necesario fijar los canales a una referencia usando el terminal de tierra. Sin embargo, como veremos en detalle en la siguiente experiencia, al trabajar con varios equipos es recomendable que todos ellos están sujetos a la misma referencia.

### 2.3.1. Limitador de corriente

Las fuentes de potencia normalmente incluyen un control que permite limitar la corriente que entrega cada canal. Este control puede ser usado para evitar quemar un circuito en el caso que exista un falla, prevenir descargas eléctricas, etc. También puede ser utilizado para generar una fuente de corriente constante configurando un voltaje alto con el limitador establecido en la corriente deseada.

### 3. Trabajo previo

1. Revise las especificaciones de alguno de los multímetros disponibles en el laboratorio y encuentre la impedancia de entrada de éste al medir voltajes DC. Puede encontrar los manuales correspondientes en la página del curso.
2. Para el mismo multímetro, revise las especificaciones y encuentre el voltaje máximo que se genera entre los terminales al usarlo como amperímetro. Especifique si este valor varía según la magnitud de la corriente.
3. Estudie y entienda muy bien cómo funciona la medición de continuidad de un multímetro cualquiera.
4. Consulte el manual de la fuente de potencia para entender los diferentes modos de operación y la correcta implementación de éstos. Estudie como realizar una alimentación simétrica de  $\pm 10$  V con respecto a tierra.
5. Consulte el manual de la fuente de potencia para entender cómo ajustar el limitador de corriente de manera apropiada.
6. Investigue y estudie cuándo se enciende la luz de sobrecarga de una fuente de potencia.
7. Investigue sobre el código de colores de resistores. Es importante que sepa cómo utilizarlo antes de empezar la primera experiencia. Existen aplicaciones para *smartphones* que contienen el código y pueden ser útiles para el trabajo de laboratorio.

### Referencias

- [1] TSIVIDIS, YANNIS, *A First Lab in Circuits and Electronics*, John Wiley and Sons, 2002.
- [2] TEXKTRONIX, *DMM912, DMM914 & DMM916 Digital Multimeter Instructions*.
- [3] HASE, T.P.A., HUGHES, I.G. *Measurements and their Uncertainties: A Laboratory Guide*, Durham University.