

Mediciones e incertidumbres

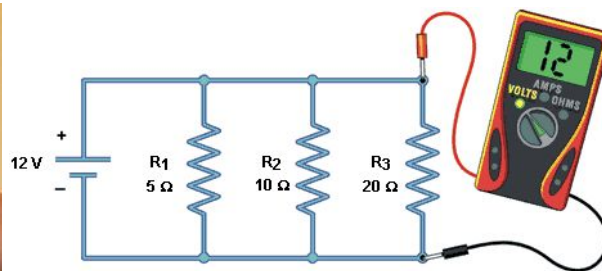
¿Qué significa hacer una medición?



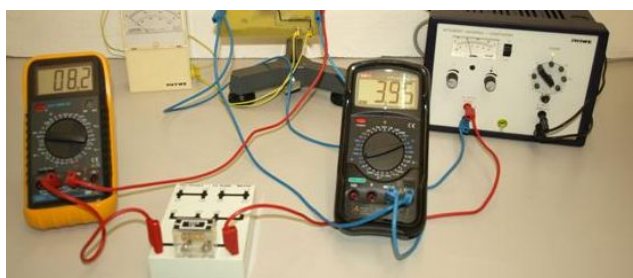
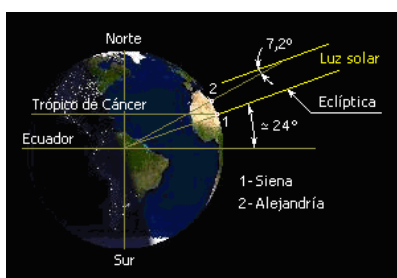
Una medición es el proceso mediante el cual se le asigna un valor numérico a una determinada propiedad física u objeto con un propósito de comparación [1]. Es posible distinguir cuatro elementos en el proceso de medición: 1) El objeto o fenómeno a medir; 2) El instrumento de medición; 3) El sistema de comparación o unidad de medida; 4) El operador que realiza la medición.

Tipos de medición

Medición directa: es la comparación entre la magnitud a medir y el sistema patrón. En este proceso se determina cuántas unidades patrón están contenidas en la magnitud desconocida [1]. Ejemplos: i) Si 1 cm es una unidad patrón, la cantidad de centímetros que caben entre dos extremos de una ventana nos dará su longitud. ii) Medir la tensión con un multímetro nos dará la cantidad de *volts* de diferencia entre dos puntos de un circuito.

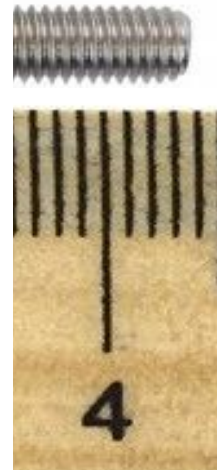


Medición indirecta: una medición indirecta permite determinar mediante un cálculo el valor de una magnitud que no se puede medir en forma directa, calculando esta magnitud en función de otras magnitudes que sí pueden medirse directamente. Esto sucede cuando no es posible compararla en forma directa con un patrón de medida [1]. Ejemplos: i) medir el radio de la tierra a través de la proyección de los rayos del sol. ii) Medir la resistencia de un componente a partir de la medición de tensión y corriente y aplicando la ley de ohm.



Concepto de Incertidumbre

La incertidumbre en una medición es el intervalo de valores o tolerancia dentro del cual podemos confiar está contenido el verdadero valor que deseamos conocer de la magnitud medida. Por esta razón, el resultado numérico de toda medición no es un valor puntual, sino más bien un intervalo de valores. Es decir, una cota inferior y superior que delimitan el valor verdadero, que, por cierto, jamás conoceremos. La incertidumbre estará siempre presente en toda medición ya que es inevitable e inherente a este proceso. Por esta razón es que para obtener una mejor medida es necesario utilizar el método e instrumental más adecuados para reducir la incertidumbre y de esta manera también nuestro desconocimiento acerca de la magnitud que desea medirse.



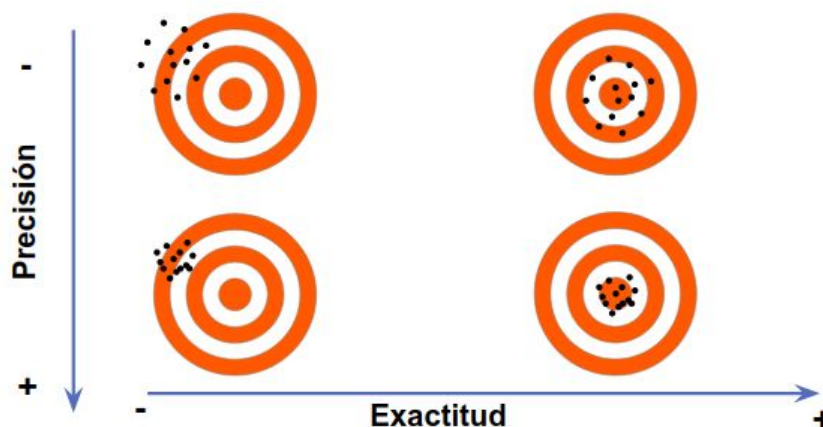
¿Error o incertidumbre?

No debe confundirse el término “error” con el concepto de “incertidumbre”. El *Error* es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de la magnitud que se mide. La *incertidumbre* es una cuantificación de la “duda” sobre el resultado de la medida. En muchos casos, el error puede ser sistemático, por ejemplo cuando la medición está mal hecha, el instrumento está mal calibrado o el modelo físico elegido no es adecuado. Sin embargo, en muchos casos el error sistemático puede eventualmente corregirse si se puede determinar su origen (ya que es repetible). La incertidumbre tiene un origen desconocido y no se puede repetir de forma sistemática, por lo que no es posible corregirla.

Precisión y exactitud

Precisión: podríamos definirla como la noción de cercanía que existe entre valores de una medición si fuese repetida reiteradas veces. Se relaciona con el concepto de “repetibilidad”, es decir, la capacidad de volver a medir siempre el mismo valor al repetir el mismo experimento. Mientras menor sea la dispersión de la medición, más precisa será.

Exactitud: nos indica la cercanía del valor medido al valor real, es decir, dada una magnitud que desea medirse, existe un valor “verdadero” (que desconocemos, pero está ahí presente) y mientras más cerca esté nuestra medición de dicho valor, más exacta será.



En el esquema anterior se representa un ejemplo clásico que permite diferenciar ambos conceptos. Por un lado, si todos los tiros que damos en el blanco están muy juntos, o poco dispersos, seremos más precisos. Por otro lado, mientras más cerca estemos del valor verdadero seremos más exactos. Sin embargo, ambos criterios son independientes, como se ve en la figura. Un ejemplo en electrónica podría ser una medición con un instrumento de mucha resolución que nos permitirá tener una medición muy precisa (poca incertidumbre), mientras que si suponemos que la medición está mal hecha o con un instrumento descalibrado, podríamos tener una medición poco exacta (existe un sesgo o error sistemático). Por lo general, en una medición la precisión suele estar asociada al concepto de incertidumbre (intervalo de duda) y la exactitud al error sistemático (que por lo general se puede estimar y corregir al ser siempre el mismo error).

Cuantificación de Incertidumbres

Absoluta. La incertidumbre absoluta tiene las mismas unidades que la variable que se está midiendo y representa el intervalo de desconocimiento de la magnitud medida. Típicamente la lectura de la medición o “valor representativo” se ubica en el centro del intervalo de incertidumbre, tal que la la incertidumbre absoluta se expresa como la mitad del “intervalo de duda” de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$x_m = x_0 \pm \Delta x \quad (\text{Ec. 1})$$

donde x_m es el resultado de la medición, x_0 el valor representativo y Δx la incertidumbre absoluta (Intervalo/2). Gráficamente también se puede representar como se indica en el siguiente esquema de intervalos, donde se observa que los extremos del mismo corresponden a la cota inferior $x_0 - \Delta x$ y la cota superior $x_0 + \Delta x$ de la medición.

$$\begin{array}{c} x_0 - \Delta x \qquad x_0 \qquad x_0 + \Delta x \\ \text{-----}(\text{-----}|\text{-----})\text{-----} \\ \text{Intervalo de incertidumbre} \end{array}$$

Relativa. La incertidumbre relativa nos indica qué proporción de la magnitud medida representa la incertidumbre absoluta. Este tipo de cuantificación de la incertidumbre resulta útil por ejemplo si queremos comparar mediciones con diferente tipo de magnitudes, por ejemplo, tensión y corriente, ya que nos independizamos de la unidad de medida. La incertidumbre relativa se calcula como la incertidumbre absoluta dividido el valor representativo, obteniendo así un factor de proporción (Ec. 2) o en forma porcentual (Ec. 3).

$$\epsilon = \frac{\Delta x}{x_0} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\epsilon[\%] = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

Propagación de incertidumbres

Se explica a continuación un método SIMPLIFICADO para el cálculo de incertidumbre en mediciones indirectas en base a la guía para la expresión de incertidumbre de medida (GUM) [2], la cual es recomendada para todas las áreas de la industria e investigación por reconocidos institutos internacionales (BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP y OIML).

Después de realizar la medición indirecta se debe calcular la incertidumbre del resultado. El primer paso es modelar el resultado obtenido con una función donde las variables son las magnitudes medidas, $y = f(x_1, \dots, x_N)$. De esta manera la incertidumbre total Δy se calcula a partir de las incertidumbres absolutas de cada operando Δx_i según la Ecuación 4 (nota: también es válida la expresión de derivadas parciales de primer orden, pero muchas veces en la industria se utiliza la expresión cuadrática ya que garantiza aproximadamente la misma confianza pero con una cota menor).

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right\}^2} \quad (\text{Ec. 4})$$

Tomemos como ejemplo alguna de las mediciones realizadas en la clase de Ley de Ohm donde la diferencia de potencial V y la corriente I fueron obtenidas en forma directa. Sin embargo, la resistencia R en esa medición se debe medir en forma indirecta a partir de la ley de ohm, Ecuación 5, y las mediciones de tensión y corriente, por lo cual la incertidumbre ΔR para la medición de R se calcula mediante la propagación de las incertidumbres de tensión y corriente de acuerdo a la Ecuación 6.

$$R = \frac{V}{I} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial V} \Delta V \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial I} \Delta I \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{I} \Delta V \right)^2 + \left(\frac{-V}{I^2} \Delta I \right)^2} \quad (\text{Ec. 6})$$

Bibliografía

[1] Gutiérrez, Carlos (2005). «1». Introducción a la Metodología Experimental (1 edición). Editorial Limusa. p. 15. ISBN 968-18-5500-0.

[2] Evaluación de datos de medición Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida, 2008 (3a edición en Esp 2009):

<https://drive.google.com/file/d/16FcYuKyo9IW56f4004SY1OoRvPBXphFw/view>