

INCERTIDUMBRES EN INSTRUMENTOS DIGITALES

Es importante, al emplear este tipo de instrumentos, conocer sus características y las condiciones de operación para una adecuada medición. Por lo general las especificaciones y condiciones de uso son proporcionadas por el fabricante en el manual del equipo. Son instrumentos que requieren ser calibrados periódicamente y suelen necesitar un plan de mantenimiento. La mayoría de los multímetros miden básicamente tensión, corriente y resistencia, aunque hoy en día también es posible medir más magnitudes físicas tales como: temperatura, capacidad, frecuencia, entre otras. La elección de un instrumento adecuado depende de la aplicación específica que se necesite. También es recomendable conocer el orden de magnitud de lo que se mide, a fin de poder seleccionar la escala que mejor se adecúe al valor de la magnitud a medir, así como también interpretar correctamente lo que muestra el instrumento. Así el valor a medir quedará comprendido entre el cero y un valor máximo (que en algunos casos puede ser positivo o negativo), denominado **fondo de escala**, que deberá ser superior al valor a medir. Por ejemplo, si se desea medir una intensidad de corriente del orden de los 3 A, y el instrumento posee un selector de escala con rangos entre 0 A - 2 A, 0 A - 5 A y 0 A - 10 A, se seleccionará la escala de 0 A - 5 A. Los valores de 2 A, 5 A, y 10 A nos están indicando el máximo valor que es posible medir en dicha escala o, su fondo de escala. En los casos en los que no sea posible calcular ni estimar el orden de magnitud de lo que se va a medir, se recomienda seleccionar la escala de mayor rango disponible y luego de obtener la medición en caso de considerarlo necesario, adecuar el rango de la escala.

Los instrumentos digitales presentan el resultado de la medición con números discretos, a diferencia de la deflexión de un indicador en una escala continua como en los dispositivos analógicos. La presentación numérica es una ventaja en muchas aplicaciones ya que reduce errores de lectura e interpolación, por otro lado elimina el error de paralaje, incrementa la velocidad de lectura y frecuentemente proporciona una salida en forma digital que puede ser utilizada para el posterior registro y procesamiento de la señal.

En los instrumentos digitales, como los multímetros, la incertidumbre nominal asociada al instrumento se calcula generalmente teniendo en cuenta las especificaciones técnicas informadas por el fabricante en el manual del instrumento. En la Figura 1 se muestran las características de rangos para medición de diferencia de potencial y corriente en CD (corriente continua), y para la medición de resistencia, tal como aparecen en un manual típico de instrumentos digitales, como los que usaremos en nuestras prácticas de laboratorio [1]. Veamos cómo se interpreta y se usa esta información.

Función: indica la magnitud física. En algunos casos se especifica la condición de operación, por ejemplo en CD o CC, corriente continua, o CA, corriente alterna.

Rango: son las distintas escalas que tiene el instrumento a fin de dar una lectura adecuada dentro de la resolución establecida en la especificación.

Resolución: es el menor valor de lectura que puede identificar el instrumento en el rango en uso. Por ejemplo si estoy en el rango de 40 V, lo mínimo que puedo medir es 0,01 V, el máximo valor que se puede medir a fondo de escala será 39,99 V, y cualquier valor entre estos extremos no podrá tener más de dos dígitos decimales.

Especificaciones

Función	Rango	Resolución	Precisión
Voltaje CD	400mV	0.1mV	$\pm(0.3\%$ de lectura + 2 dígitos)
	4V	0.001V	$\pm(0.5\%$ de lectura + 2 dígitos)
	40V	0.01V	
	400V	0.1V	
	1000V	1V	$\pm(0.8\%$ de lectura + 3 dígitos)
Corriente CD	400 μ A	0.1 μ A	$\pm(1.5\%$ de lectura + 3 dígitos)
	4000 μ A	1 μ A	
	40mA	0.01mA	
	400mA	0.1mA	
	4A	0.001A	$\pm(2.5\%$ de lectura + 5 dígitos)
	20A	0.01A	
Resistencia	400 Ω	0.1 Ω	$\pm(0.8\%$ de lectura + 4 dígitos)
	4k Ω	0.001k Ω	$\pm(0.8\%$ de lectura + 2 dígitos)
	40k Ω	0.01k Ω	$\pm(1.0\%$ de lectura + 2 dígitos)
	400k Ω	0.1k Ω	
	4M Ω	0.001M Ω	
	40M Ω	0.01M Ω	$\pm(3.0\%$ de lectura + 5 dígitos)



Figura 1. Especificaciones de rangos para multímetro Extech 470.

La incertidumbre se calcula de acuerdo a lo especificado en la columna “Precisión” de la Figura 1, y está compuesta por dos términos:

- Incertidumbre de precisión: dada por un cierto porcentaje de la lectura que se muestra en el display del instrumento. Por ejemplo en el rango de 40 V se tiene un porcentaje de 0,5 %.
- Incertidumbre de lectura: indica una cierta cantidad de unidades en el último dígito significativo de la escala en uso, es decir de acuerdo a la resolución correspondiente. Por ejemplo en el rango de 40 V este término se especifica como de “2 dígitos”, lo que corresponde a 0,02 V.

Veamos algunos ejemplos.

Ejemplo 1: supongamos que medimos una corriente en la escala de 400 μ A (CD), con resolución de 0,1 μ A. La especificación para la estimación de la incertidumbre correspondiente, de acuerdo a la Figura 1 establece: $\pm(1,5\%$ de lectura + 3 dígitos). Entonces:

390 μ A
Precisión: 1,5 %
Incertidumbre de precisión: 1,5 % de 390 μ A = 5,85 μ A
Resolución: 0,1 μA
Incertidumbre de lectura: 3 dígitos = 0,3 μ A
Incertidumbre nominal: $\Delta I_{nom} = 5,85 \mu A + 0,3 \mu A \cong 6 \mu A$
I = (390 \pm 6) μA

Ejemplo 2: ¿podría realizarse la medición anterior utilizando la escala de los 40 mA (CD)? Si bien la medición de 390 μA está dentro del rango en esta escala, y tiene la misma especificación para la estimación de incertidumbres, la resolución es de 0,01 mA, con lo cual:

390 μA
Precisión: 1,5 %
Incertidumbre de precisión: 1,5 % de 390 μA = 5,85 μA
Resolución: 0,01 mA
Incertidumbre de lectura: 3 dígitos = 0,03 mA = 30 μA
Incertidumbre nominal: $\Delta I_{\text{nom}} = 5,85 \mu\text{A} + 30 \mu\text{A} \cong 36 \mu\text{A}$
I = (390 \pm 36) μA

Comparando las incertidumbres relativas de los resultados obtenidos en los ejemplos anteriores, se concluye que la medición del ejemplo 1 es mejor que la del ejemplo 2, ya que su incertidumbre relativa es menor:

$$\varepsilon_{r1} = \frac{6 \mu\text{A}}{390 \mu\text{A}} = 1,54 \times 10^{-2} < \varepsilon_{r2} = \frac{36 \mu\text{A}}{390 \mu\text{A}} = 9,23 \times 10^{-2}$$

Por lo tanto siempre se debe procurar utilizar la escala de mayor precisión. Es decir, dada una determinada medición conviene seleccionar aquella escala en la cual el valor a medir esté próximo al valor de fondo de escala correspondiente a fin de garantizar una medida más confiable.

Otras contribuciones a la incertidumbre

Es importante destacar que, como siempre, la estimación de incertidumbres depende fuertemente del experimento y del criterio del observador. Muchas veces una determinada medición puede estar afectada de fluctuaciones estadísticas, en cuyo caso, el análisis considerado anteriormente puede arrojar valores que resulten despreciables frente a estas variaciones. En este caso será necesario considerar una contribución a la incertidumbre debida a la falta de repetibilidad del instrumento teniendo en cuenta N lecturas, x_{Mi} , realizadas bajo las mismas condiciones de medida [2]. Los estimadores estadísticos que caracterizarán la muestra son:

$$\text{Media aritmética} \quad X_M = \frac{\sum_{i=1}^N x_{Mi}}{N}$$

$$\text{Desviación estándar} \quad S_M = \frac{\sum_{i=1}^N (X_M - x_{Mi})^2}{N}$$

La componente de incertidumbre estadística estará dada por la incertidumbre estándar del promedio:

$$\sigma_{est} = \frac{S_M}{\sqrt{N}}$$

Por lo tanto la incertidumbre del multímetro se puede expresar como:

$$\Delta M = \sqrt{\Delta m_{nom}^2 + \sigma_{est}^2 + \dots}$$

Nuevamente la inclusión de otras contribuciones de incertidumbre en esta expresión, queda a criterio del observador. Dentro de otras posibles contribuciones se puede mencionar el efecto de “offset” o sesgo, en cuyo caso el instrumento se debe calibrar contra un patrón de mejor precisión y exactitud a fin de establecer la correspondiente corrección. Otras contribuciones pueden deberse a efectos de deriva, falta de linealidad, etc. en cuyos casos deben realizarse evaluaciones a largo plazo.

Referencias

- [1] Manual de operación de multímetro Extech 470.
- [2] Procedimiento EL-020 para la calibración de multímetros digitales con más de 5 ½ dígitos de resolución. Centro Español de Metrología.

Ejercicios

- 1) Se quiere medir una resistencia cuyo valor se estima del orden de los 30 MΩ.
 - a) De acuerdo a las especificaciones que se muestran en la Figura 1, ¿qué escala usarías para garantizar una medición confiable?
 - b) Si el display muestra el valor indicado en el recuadro, determinar la incertidumbre nominal. Asumiendo que es la única contribución de incertidumbre escribir el resultado correspondiente.



34.59 MΩ

- 2) Se mide una diferencia de potencial en CD y se observa que la medición presenta una fluctuación con un desvío estándar de 2,5 V. Si la medición se realiza en la escala de 40 V (Figura 1) y la media aritmética de 20 puntos es 28,672 V, expresá el resultado de la medición.