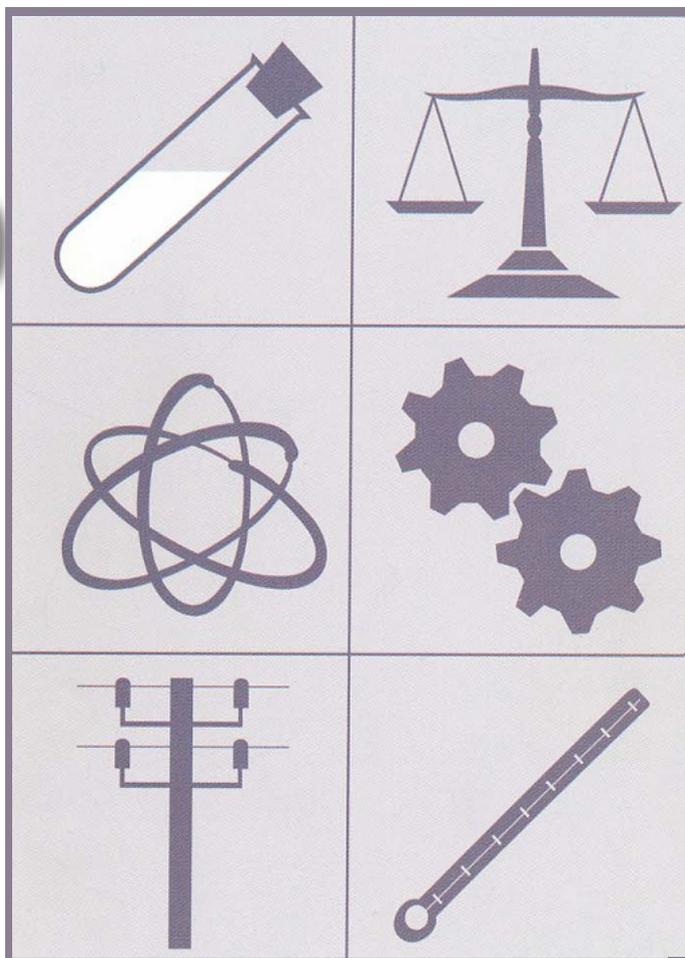


Metrología

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



PROCEDIMIENTO EL-025 PARA LA CALIBRACIÓN
DE FUENTES DE RESISTENCIA EN CORRIENTE
CONTINUA

ñ 14



La presente edición de este procedimiento se emite exclusivamente en formato digital y puede descargarse gratuitamente de nuestra página web (www.cem.es).

El procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, respecto a la edición anterior en papel.

Este procedimiento de calibración es susceptible de modificación permanente a instancia de cualquier persona o entidad. Las propuestas de modificación se dirigirán por escrito, justificando su necesidad, a cualquiera de las siguientes direcciones:

Correo postal:

Centro Español de Metrología
C/ del Alfar, 2,
28760 Tres Cantos, Madrid

Correo electrónico:

cem@cem.es



ÍNDICE

	Página
1.- OBJETO.....	4
2.- ALCANCE.....	4
3.- DEFINICIONES.....	4
4.- GENERALIDADES.....	7
4.1.- ABREVIATURAS.....	8
5.- DESCRIPCIÓN.....	9
5.1.- EQUIPOS Y MATERIALES.....	9
5.2.- OPERACIONES PREVIAS.....	9
5.3.- PROCESO DE CALIBRACIÓN.....	12
5.4.- TOMA Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	14
6.- RESULTADOS.....	15
6.1.- CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES.....	15
6.2.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	16
7.- REFERENCIAS.....	17
8.- ANEXOS.....	17



1.- OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto dar a conocer un método de calibración para fuentes de resistencia.

2.- ALCANCE

El presente procedimiento es de aplicación a fuentes de resistencia de todo tipo.

Se presenta una tabla con los tipos de instrumentos que se pueden considerar como fuentes de resistencia a los efectos de este procedimiento, indicando su codificación según la Clasificación de Instrumentos de Metrología Eléctrica (ref. [5]).

Tipo de Instrumento	Código
Caja de décadas de resistencia	01.04
Calibrador de resistencia	01.05
Resistencia de variación continua	01.06
Caja de resistencia fija	01.07
Calibrador multifunción	13.01

El calibrador multifunción puede ser considerado como una fuente de resistencia cuando esté trabajando en la función correspondiente.

Quedan fuera del alcance de este procedimiento las resistencias patrón (codificadas 01.01 en [5]), que requieren técnicas de calibración de mayor exactitud que las descritas en este procedimiento, así como las resistencias de alto valor y de corriente alterna (codificadas 01.02 y 01.03 en [5]) y los shunts de corriente continua, que deben ser calibrados con métodos de medida adaptados a sus particulares características.

3.- DEFINICIONES

La terminología que se utilizará en este Procedimiento es la del Vocabulario Internacional de Metrología, VIM, referencia [1]. No obstante, se recogen a continuación algunas definiciones específicas útiles para la comprensión del mismo

Ajuste de un sistema de medida [1] (3.11)



Conjunto de operaciones realizadas sobre un **sistema de medida** para que proporcione **indicaciones** prescritas, correspondientes a **valores** dados de la **magnitud** a medir.

NOTA 1: Diversos tipos de ajuste de un sistema de medida son: **ajuste de cero**, ajuste del *offset* (*desplazamiento*) y ajuste de la amplitud de escala (denominado también ajuste de ganancia).

NOTA 2: No debe confundirse el ajuste de un sistema de medida con su propia calibración, que es un requisito para el ajuste.

NOTA 3: Después de su ajuste, generalmente un sistema de medida debe ser calibrado nuevamente.

Calibración [1] (2.39)

Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los **valores** y sus **incertidumbres de medida** asociadas obtenidas a partir de los **patrones de medida**, y las correspondientes **indicaciones** con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un **resultado de medida** a partir de una indicación.

NOTA 1: Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente.

NOTA 2: Conviene no confundir la calibración con el **ajuste de un sistema de medida**, a menudo llamado incorrectamente “autocalibración”, ni con una **verificación** de la calibración.

NOTA 3: Frecuentemente se interpreta que únicamente la primera etapa de esta definición corresponde a la calibración.

Error de medida [1] (2.16)

Diferencia entre un **valor medido de una magnitud** y un **valor de referencia**.

NOTA 1. El concepto de error de medida puede emplearse:

- a) cuando exista un único valor de referencia, como en el caso de realizar una **calibración** mediante un **patrón** cuyo **valor medido** tenga una **incertidumbre de medida** despreciable, o cuando se toma un **valor convencional**, en cuyo caso el error es conocido.



b) cuando el mensurando se supone representado por un valor verdadero único o por un conjunto de valores verdaderos, de amplitud despreciable, en cuyo caso el error es desconocido.

NOTA 2. Conviene no confundir el error de medida con un error en la producción o con un error humano.

Incertidumbre de medida [1] (2.26)

Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los **valores** atribuidos a un **mensurando**, a partir de la información que se utiliza.

NOTA 1: La incertidumbre de medida incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre.

NOTA 2: El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica, en cuyo caso se denomina **incertidumbre típica de medida** (o un múltiplo de ella), o una semiamplitud con una **probabilidad de cobertura** determinada.

NOTA 3: En general, la incertidumbre de medida incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas. Las otras componentes, que pueden calcularse mediante una evaluación tipo B de la incertidumbre de medida, pueden caracterizarse también por desviaciones típicas, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.

NOTA 4: En general, para una información dada, se sobrentiende que la incertidumbre de medida está asociada a un valor determinado atribuido al mensurando. Por tanto, una modificación de este valor supone una modificación de la incertidumbre asociada.

Multímetro digital [5] (13.02):

Instrumento que tiene capacidad de medida de tensión e intensidad tanto en cc como en ca junto con la medida de resistencia y con presentación digital (numérica).

Resolución de un dispositivo visualizador [1] (4.15)

Mínima diferencia entre **indicaciones** visualizadas, que puede percibirse de forma significativa.

Trazabilidad metrológica [1] (2.41)

Propiedad de un **resultado de medida** por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de **calibraciones**, cada una de las cuales contribuye a la **incertidumbre de medida**



NOTA 1: En esta definición, la referencia puede ser la definición de una **unidad de medida**, mediante una realización práctica, un **procedimiento de medida** que incluya la unidad de medida cuando se trate de una **magnitud no ordinal**, o un **patrón**.

NOTA 2: La trazabilidad metrológica requiere una **jerarquía de calibración** establecida.

NOTA 3: La especificación de la referencia debe incluir la fecha en la cual se utilizó dicha referencia, junto con cualquier otra información metrológica relevante sobre la referencia, tal como la fecha en que se haya realizado la primera calibración en la jerarquía.

NOTA 4: Para **mediciones** con más de una **magnitud de entrada** en el **modelo de medición**, cada **valor** de entrada debiera ser metrológicamente trazable y la jerarquía de calibración puede tener forma de estructura ramificada o de red. El esfuerzo realizado para establecer la trazabilidad metrológica de cada valor de entrada debería ser en proporción a su contribución relativa al resultado de la medición.

NOTA 5: La trazabilidad metrológica de un resultado de medida no garantiza por sí misma la adecuación de la incertidumbre de medida a un fin dado, o la ausencia de errores humanos.

NOTA 6: La comparación entre dos patrones de medida puede considerarse como una calibración si ésta se utiliza para comprobar, y si procede, corregir el valor y la incertidumbre atribuidos a uno de los patrones.

NOTA 7: La ILAC considera que los elementos necesarios para confirmar la trazabilidad metrológica son: una **cadena de trazabilidad** metrológica ininterrumpida a un **patrón internacional** o a un **patrón nacional**, una incertidumbre de medida documentada, un procedimiento de medida documentado, una competencia técnica reconocida, la trazabilidad metrológica al **SI** y los intervalos entre calibraciones (véase ILAC P-10:2002).

NOTA 8: Algunas veces el término abreviado “trazabilidad” se utiliza en lugar de “trazabilidad metrológica” así como para otros conceptos, como trazabilidad de una muestra, de un documento, de un instrumento, de un material, etc., cuando interviene el historial (“traza”) del elemento en cuestión. Por tanto, es preferible utilizar el término completo “trazabilidad metrológica” para evitar confusión.

4.- GENERALIDADES

Una fuente de resistencia es un instrumento que, cuando se le aplica una intensidad de corriente eléctrica en continua genera una tensión continua proporcional a la intensidad aplicada. El cociente entre la tensión generada en el instrumento y la intensidad de corriente aplicada tiene dimensiones de resistencia y es la característica que es necesario medir cuando se calibra una fuente de resistencia.



Esta descripción tan genérica incluye muchos tipos de instrumentos, tales como las resistencias patrón o los shunts de corriente continua o alterna. Este procedimiento se limita a los instrumentos citados en el apartado de Alcance.

En la mayoría de los casos la magnitud medida será una auténtica resistencia pero algunos instrumentos incluyen circuitos electrónicos internos que generan una tensión de salida proporcional a la intensidad de entrada. Esto ocurre especialmente en algunos calibradores de resistencia y en las funciones de resistencia de algunos calibradores multifunción. Aunque esto puede suponer algunas restricciones en el uso del instrumento, normalmente no supondrá ningún problema para su calibración.

Se presentan dos métodos para la calibración de fuentes de resistencia utilizando un multímetro digital en su función de medida de resistencia. En un método el multímetro es el patrón de la calibración, mientras que en el otro método se emplea el multímetro como instrumento de transferencia. Cualquiera de los métodos descritos en otros procedimientos para la calibración de resistencias patrón (potenciométrico, puente comparador de corriente u otros puentes de resistencias, etc) serviría también pero son en general mucho más complicados que los descritos aquí.

Aunque en la Clasificación de Instrumentos de Metrología Eléctrica [5] se habla de instrumentos (voltímetro, amperímetro, ohmímetro, multímetro) numéricos, en este procedimiento se prefiere la denominación de instrumentos digitales, por ser la más extendida y la empleada en el VIM [1].

En este procedimiento siempre se emplearán las unidades del Sistema Internacional, preferentemente con los nombres castellanizados aceptados por la Real Academia, que son los más empleados.

Para la tensión eléctrica: volt o voltio, (símbolo: V)

Para la intensidad eléctrica: ampere o amperio, (símbolo: A)

Para la resistencia eléctrica: ohm u ohmio, (símbolo: Ω).

4.1.- Abreviaturas

R_x : Identificación de la fuente de resistencia en estudio. Para simplificar se usa el mismo código para indicar su valor.

\bar{R}_x : Valor medio de las lecturas de R_{xm} con el medidor.

δR_{xcal} : Corrección por calibración de R_x .



δR_{Xesp} : Corrección por efectos sobre el multímetro (especificaciones) de R_x .

δR_{Xres} : Corrección por resolución de R_x .

$u(\bar{R}_x)$: Incertidumbre de tipo A de \bar{R}_{xm} .

$u(\delta R_{Xcal})$: Incertidumbre por calibración de R_x .

$u(\delta R_{Xesp})$: Incertidumbre de R_x debida a las especificaciones del multímetro.

$u(\delta R_{Xres})$: Incertidumbre de R_x debida a la resolución del multímetro.

\bar{R}_0 : Valor medio de las lecturas de R_{0m} con el medidor.

δR_{0cal} : Corrección por calibración de R_0 .

δR_{0res} : Corrección por resolución de R_0 .

$u(\bar{R}_0)$: Incertidumbre de tipo A de \bar{R}_{0m} .

$u(\delta R_{0cal})$: Incertidumbre por calibración de R_0 .

$u(\delta R_{0res})$: Incertidumbre de R_0 debida a la resolución del multímetro.

res : resolución del multímetro en el rango empleado.

U_{esp} : Especificaciones del multímetro.

5.- DESCRIPCIÓN

5.1.- Equipos y materiales

La técnica de medida descrita en este procedimiento requiere los equipos que se describen a continuación:

- Multímetro digital cuya incertidumbre cuando trabaja en su función resistencia debe ser tres veces, como mínimo, menor que la incertidumbre requerida de calibración para la fuente de resistencia.
- Cables, conectores y adaptadores para permitir la conexión del multímetro al instrumento a calibrar.

5.2.- Operaciones previas

Antes de iniciar la calibración se realizarán las siguientes operaciones previas:



- a) Se comprobará que la fuente de resistencia está identificada de forma inequívoca con su marca, modelo y número de serie correspondiente, o con un código interno del propietario del equipo. Si no fuera así se le asignará un código de identificación que se adherirá o fijará de forma segura sobre el instrumento.
- b) Se estudiará el manual de instrucciones de la fuente, para que el personal que realice la calibración conozca su manejo.
- c) Se dispondrá del manual de instrucciones del multímetro, y el personal que realice la calibración estará familiarizado con el manejo de dicho instrumento.
- d) Se comprobará el estado de calibración del multímetro: existencia de certificados de calibración, y si dicho certificado garantiza la trazabilidad e incertidumbre apropiadas a las medidas necesarias para esta calibración.
- e) Se comprobará que el valor nominal de la tensión de alimentación y las posibles variaciones son adecuadas para el funcionamiento del multímetro. Normalmente una tensión de $220\text{ V} \pm 15\%$ es adecuada para el funcionamiento de la mayoría de los instrumentos de medida. En todo caso, consultar el manual de instrucciones del multímetro para asegurar los límites tolerables. Se hará lo mismo para la fuente, en los casos que incluya circuitos electrónicos activos o un termostato interno.
- f) Se conectará a la red de alimentación eléctrica el multímetro y la fuente, en su caso, durante un tiempo previo al inicio de la calibración para conseguir la estabilización térmica. El tiempo de estabilización térmica cambia de un instrumento a otro. Consultar los tiempos necesarios en los manuales correspondientes.
- g) La calibración se realizará manteniendo una temperatura ambiente comprendida entre $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, y $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ que es el margen normal en el que los instrumentos de Metrología Eléctrica mantienen



sus especificaciones. Es posible realizar la calibración a temperaturas distintas de las anteriormente indicadas, pero en este caso será necesario tener en cuenta este hecho en la asignación de incertidumbres de calibración, considerando las especificaciones tanto de la fuente como del multímetro.

- h) La humedad relativa no debe superar el 70 %, aunque en algunos casos es posible admitir valores de hasta el 80 % (consultar para ello los manuales de los instrumentos).
- i) Se comprobará que el multímetro esté conectado a un enchufe que incluya un conductor de tierra como medida elemental de protección.
- j) Se comprobará que la corriente generada por la fuente interna del multímetro no excede de la corriente máxima soportada por la fuente de resistencia.

ADVERTENCIA: Tanto en el instrumento a calibrar como en la instrumentación utilizada para la calibración, pueden aparecer tensiones eléctricas peligrosas para las personas en los terminales externos o internamente, durante la realización de la calibración. Para evitar accidentes, deben ser observadas todas las precauciones de trabajo con alta tensión, siguiendo ordenadamente las operaciones indicadas en el procedimiento. En cualquier caso, tomar como referencia las instrucciones facilitadas por el fabricante en los manuales técnicos de toda la instrumentación, para evitar riesgos al personal que realiza la calibración.

Como medidas elementales de seguridad se señalan las siguientes:

Utilizar cables con el nivel de aislamiento adecuado para evitar la perforación de su aislamiento (usar cables que soporten como mínimo 2 000 V a 50Hz).

Utilizar cables con terminales o bananas que una vez introducidas en los bornes correspondientes de la caja de décadas de resistencia a calibrar o del multímetro, no presenten partes activas accesibles.



5.3.- Proceso de calibración

Las fuentes de resistencia son, en realidad varios tipos de instrumentos, tal como se detalló en el apartado de Alcance. Algunos tipos, como las cajas de resistencias fijas y algunos calibradores de resistencia y calibradores multifunción tienen un número pequeño de valores discretos de resistencia. Otros tipos, como las cajas de décadas, las resistencias de variación continua y algunos tipos de calibradores tienen muchos puntos o incluso rangos continuos de valores. La selección de los puntos de calibración se realizará de acuerdo con el tipo de fuente.

Para las fuentes con unos pocos valores discretos, se medirán todos los valores. Para las fuentes con muchos puntos o con rangos continuos se medirán 5 puntos igualmente espaciados a lo largo del rango, incluyendo siempre el cero y un valor próximo al fondo de escala. En el caso que el elemento que determine la linealidad sea común para todas las escalas, se medirán 5 puntos en el rango central de la fuente y dos puntos, uno entre el 10 % y el 30% del fondo de escala y otro próximo al 100% del fondo de escala.

El método de medida consiste en medir el instrumento en estudio con un multímetro calibrado. El valor asignado de la fuente será el valor leído por el multímetro. El multímetro, cuando trabaja en su función de resistencia, proporciona la corriente que pasa por la resistencia a medir y mide la caída de tensión generada.

Para el caso de que el multímetro sólo haga medidas a dos terminales, será necesario también hacer una medida de la resistencia de los cables. Esto no será necesario cuando el multímetro pueda medir a cuatro terminales, pues esta técnica de medida elimina de por sí el efecto de los hilos.

Se muestra el esquema de conexión a cuatro terminales. El esquema para conexión a dos terminales sólo se diferencia en que cada uno de los dos pares de hilos de conexión, alto y bajo se sustituye por un único hilo. Se han de conectar los terminales marcados *OUTPUT* o *I* (corriente) en el multímetro con los terminales *INPUT* o *I* en la fuente. Los terminales de tensión

suelen tener el mismo nombre en ambos instrumentos (V o $SENSE$).

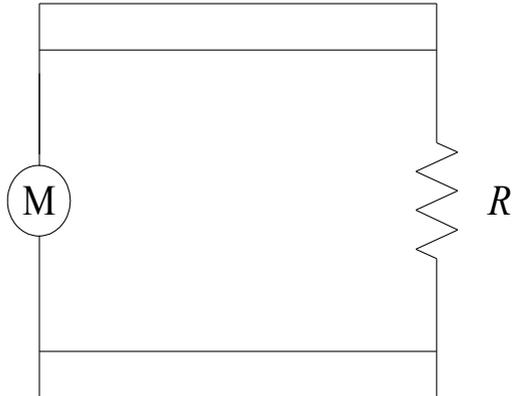


Figura 1. Esquema de conexión para medida a cuatro terminales

La secuencia de operaciones consiste en lo siguiente:

- Poner los terminales del multímetro en cortocircuito y hacerle el cero usando su tecla ZERO, NULL o similar.
- Conectar la fuente de resistencia al multímetro, usando los cables y conectores que sean necesarios y, tras esperar el tiempo necesario para que se estabilicen, tomar 5 lecturas con el medidor.
- Si el multímetro sólo puede medir a dos terminales y el efecto de los cables no es despreciable, conectar juntos los dos cables en un terminal de la fuente y, tras esperar el tiempo de estabilización necesario, tomar 5 lecturas con el medidor en la misma escala empleada para la medida de la resistencia de la fuente.



Si el multímetro puede medir a cuatro terminales, la medida se hará en dicho modo. Si la fuente no tuviera más que dos terminales la medida a cuatro se realizará conectando juntos al terminal alto de la fuente la pareja de hilos altos de tensión e intensidad. Lo mismo se hará para los terminales bajos.

El resultado que se debe proporcionar es la corrección de la resistencia de la fuente, que será el resultado de restarle el valor nominal del valor medido por el multímetro y, en su caso, restarle también al resultado el valor medido de la resistencia de los cables.

$$c_x = R_{xm} - R_{0m} - R_{xnom} \quad (1)$$

5.4.- Toma y tratamiento de datos

Para cada punto de calibración se anotarán los siguientes datos:

Valor resistivo nominal de la fuente de resistencia en la configuración utilizada.

Lecturas obtenidas en el multímetro. Si existe variación en la indicación del multímetro se realizarán cinco medidas y se hallará la media y la desviación típica. En caso necesario también se anotarán las lecturas de la resistencia de los cables.

Sólo para el método de transferencia, valor del patrón según su certificado de calibración.

Error asociado a la calibración en cada punto (diferencia entre la lectura del multímetro y el valor nominal de la fuente de resistencia).

La toma de datos se podrá realizar de forma manual o mediante ordenador y un bus de comunicación, que controle al multímetro. En el caso de medir automáticamente se deberá validar el programa informático utilizado antes de realizar la calibración, y se conservarán los ficheros de datos primarios que permitan reconstruir la calibración automática realizada.

También es importante anotar las condiciones ambientales, especialmente temperatura y humedad, aunque normalmente no se realizarán correcciones por esta causa.



Como criterio de aceptación y rechazo de los datos de calibración se recomienda que la desviación típica no debe superar un en más de tres veces la suma de las estabilidades del múltímetro y de la fuente según se indican en sus respectivas especificaciones.

6.- RESULTADOS

6.1.- Cálculo de incertidumbres

El cálculo de incertidumbres se realizará aplicando los criterios establecidos en la “Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, 3ª ed. en español (traducción de 1ª ed. 2008 en inglés), Centro Español de Metrología, 2009” [2] y la “Guía CEA-ENAC-LC/02, Expresión de la incertidumbre de medida en las calibraciones, Rev. 1, Enero 1998” [3].

En el Anexo 1 se incluye el desarrollo del cálculo de incertidumbres y la explicación de cómo se calcula cada contribución a la incertidumbre. A continuación se facilita la tabla resumen a partir de la cual se puede realizar el cálculo de la incertidumbre asociada a la calibración de fuentes de resistencia en corriente continua de acuerdo con este procedimiento.



Magnitud X_i	Valor estimad o x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Distrib. de Prob.	Coefficiente de sensibilidad C_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
\bar{R}_x	\bar{R}_x	$s(R_x)/\sqrt{5}$	Norm.	1	$s(R_x)/\sqrt{5}$
δR_{Xcal}	0	$U(C_{cal})/k_{cal}$	Norm.	1	$U(C_{cal})/k_{cal}$
δR_{Xesp}	0	$U_{esp}/\sqrt{3}$	Norm.	1	$U_{esp}/\sqrt{3}$
δR_{Xres}	0	$res/\sqrt{3}$	Norm.	1	$res/\sqrt{3}$
\bar{R}_0	\bar{R}_0	$s(R_0)/\sqrt{5}$	Norm.	1	$s(R_0)/\sqrt{5}$
δR_{0esp}	0	$U_{esp}/\sqrt{3}$	Norm.	1	$U_{esp}/\sqrt{3}$
δR_{0res}	0	$res/\sqrt{3}$	Norm.	1	$res/\sqrt{3}$
R_{nom}	R_{nom}	0	-	-	0
Incertidumbre combinada					
Número de grados efectivos de libertad $v_{ef} =$			Según fórmula de Welch-Satterwaithe		
Factor de cobertura $k =$			Según distribución de Student		
Incertidumbre expandida ($k =$)			$ku(C_x)$		
Corrección no realizada máxima			C_{cal}		
Incertidumbre global de calibración			$ku(C_x) + C_{cal}$		

Tabla 1. Tabla resumen de valores de incertidumbre

En el Anexo 2 se incluye un ejemplo numérico de aplicación del cálculo de incertidumbres.

6.2.- Interpretación de resultados

Este tipo de instrumentos no están sujetos a ninguna norma específica, por lo que no será preciso realizar ninguna declaración de conformidad.

Las fuentes de resistencia generalmente no permiten ajustes.

Se considera que un periodo de recalibración razonable para fuentes de resistencia sería inicialmente de un año. No obstante el responsable final de asignar el período de recalibración, y revisarlo cuando sea preciso, es siempre el usuario del equipo.



7.- REFERENCIAS

[1] [1] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados. 3ª ed. en español (traducción de 3ª ed. en inglés), Centro Español de Metrología, 2009, NIPO 706-09-001-0.

[2] [2] Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida, 3ª ed. en español (traducción de 1ª ed. 2008 en inglés), Centro Español de Metrología, 2009, NIPO: 706-09-002-6.

[3] [3] Guía CEA-ENAC-LC/02, Expresión de la incertidumbre de medida en las calibraciones, Rev. 1, Enero 1998.

[4] [4] Procedimiento para la elaboración de procedimientos de calibración. Grupo de Trabajo MINER-CEM. Ed. 2, Tres Cantos, Madrid. Año 2000.

[5] [5] Clasificación de instrumentos de Metrología Eléctrica. 2ª Edición. SCI-Ministerio de Industria y Energía. 1994.

[6]

8.- ANEXOS

ANEXO 1.- ANEXO 1.-Desarrollo del cálculo de incertidumbres.

ANEXO 2.- ANEXO 2.-Ejemplo numérico.



ANEXO 1

DESARROLLO DEL CÁLCULO DE INCERTIDUMBRES



La asignación y expresión de incertidumbres se realizará siguiendo los criterios establecidos en la: Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida [2] y en la Guía CEA-ENAC-LC/02: Expresión de la incertidumbre de medida en las calibraciones [3]. En primer lugar se determinará la expresión de la magnitud de salida (que es la corrección de la resistencia a calibrar en cada punto de calibración), en función de las distintas magnitudes de entrada.

La determinación de la resistencia R_x de la fuente para medidas de resistencia a dos hilos requiere que se realicen dos medidas, una primera con la señal aplicada y una segunda con los cables de medida del multímetro en cortocircuito. Si las medidas se realizan a cuatro terminales o si no se requiere una precisión muy alta se puede suprimir la medida de cortocircuito.

$$c_x = \left(\bar{R}_x + \delta R_{xcal} + \delta R_{xesp} + \delta R_{xres} \right) - \left(\bar{R}_0 + \delta R_{0esp} + \delta R_{0res} \right) - R_{xnom}$$

donde:

c_x : Valor de la corrección de la resistencia de la fuente en el punto x .

\bar{R}_x : Valor medio de las indicaciones del multímetro cuando se mide la resistencia de la fuente en el punto x .

δR_{xcal} : Corrección de las medidas de la resistencia de la fuente debida a la incertidumbre de calibración del multímetro, con esperanza matemática igual a cero.

δR_{xesp} : Corrección de las medidas de la resistencia de la fuente debida a diversos efectos que afectan al multímetro, con esperanza matemática igual a cero.

δR_{xres} : Corrección de las medidas de la resistencia de la fuente debida a la resolución del multímetro, con esperanza matemática igual a cero.

\bar{R}_0 : Valor medio de las indicaciones del multímetro cuando se mide la resistencia de los cables en cortocircuito.

δR_{0esp} : Corrección de las medidas de la resistencia de la fuente debida a diversos efectos que afectan al multímetro, con esperanza matemática igual a cero.

Dado que la medida de R_0 se realiza con el mismo instrumento y trabajando en el mismo rango, tiene las mismas componentes que la incertidumbre en la medida de R_x , aunque con ciertas diferencias que se indicarán en cada componente. Por supuesto, estas incertidumbres sólo deben ser consideradas si se realiza la medida de cero. Si se mide usando el multímetro a cuatro terminales o si la exactitud requerida es tan baja o la resistencia tan alta que el efecto de los cables es despreciable, no es necesario realizar la medida de los cables ni, por tanto, considerar su incertidumbre asociada.

δR_{0res} : Corrección de las medidas de la resistencia de los cables debida a la resolución del multímetro, con esperanza matemática igual a cero.

a) Asignación de las componentes de la incertidumbre.

a.1. Incertidumbre por dispersión de las medidas de la resistencia de la caja, $u(\bar{R}_x)$:

Se tomarán cinco lecturas en las mismas condiciones de medida. Se calcularán la media aritmética de los valores de R_{ix} , la desviación típica experimental, $s(\bar{R}_{ix})$, y la desviación típica experimental de la media, que coincide con la incertidumbre típica de R_{ix} .

$$u(\bar{R}_x) = s(R_x)/\sqrt{5}$$

a.2. Incertidumbre de calibración del multímetro, $u(\delta R_{Xcal})$:

La incertidumbre debida a este componente se calcula a partir de los datos indicados en el certificado de calibración de dicho instrumento. En dicho certificado se indicará junto con la incertidumbre expandida de calibración el nivel de confianza que se le atribuye, normalmente el 95 % y el factor de cobertura k . Si se da el intervalo de confianza pero no el factor de cobertura, se supone una distribución normal y se divide por el factor de cobertura correspondiente $k=2$.

a.3. Incertidumbre asociada a los efectos que afectan al multímetro, $u(\delta R_{Xesp})$:

La incertidumbre debida a todos los distintos efectos existentes en el multímetro tales como deriva con el tiempo, variación con las condiciones ambientales, resolución de las medidas, etcétera, se puede derivar de las especificaciones facilitadas por el fabricante para el instrumento.



Normalmente las especificaciones garantizan que si el multímetro funciona en unas condiciones determinadas (temperatura, presión, humedad ambientales, tensión de alimentación, etcétera) y dentro de un cierto período transcurrido desde la última calibración, por ejemplo un año, los valores medidos coincidirán con los resultados correctos dentro de un margen máximo de diferencias, que indicaremos U_{esp} . Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto U_{esp} por $\sqrt{3}$.

Por lo general, las especificaciones vienen dadas en la forma siguiente (% ó 10^{-6} de la lectura + cantidad fija). El primer término es el error de ganancia del multímetro en el rango especificado, mientras que el segundo término es el error de cero en el mismo rango. El término fijo de la especificación, a su vez puede darse como un determinado porcentaje del fondo de escala del rango o como un valor de resistencia expresado en ohmios.

Otras veces, estas especificaciones indican que el intervalo que cubren contiene al valor correcto con un determinado porcentaje de probabilidad (95 % ó 99 %); en este caso hay que suponer una distribución normal y dividir por el factor correspondiente en las tablas. Es posible realizar un estudio detallado de alguna de las contribuciones individuales (por ejemplo la deriva), y considerarla de forma independiente, como se hace con la incertidumbre asociada a la calibración del multímetro.

a.4 Incertidumbre debida a la resolución del multímetro en la medida de R_x , $u(\delta R_{xres})$:

La incertidumbre debida a la resolución del multímetro se calcula, de acuerdo con la referencia [2] dividiendo el valor de la resolución del rango empleado por $\sqrt{3}$.

$$u(\delta R_{xres}) = res/\sqrt{3}$$

a.5 Incertidumbre por dispersión de las medidas de los cables: $u_A(\bar{R}_0)$:

Es muy posible que no haya variación de las lecturas y en ese caso este componente no se considera. Si hay variación de las lecturas, entonces se tomarán cinco lecturas en las mismas condiciones de medida. Se calcularán la media aritmética de los valores de R_{i0} , la desviación típica experimental, $s(R_{i0})$, y la desviación típica de la media, que coincide con la incertidumbre típica de \bar{R}_0 .

$$u_A(\bar{R}_0) = s(R_{i0})/\sqrt{5}.$$



a.6 Incertidumbre asociada al multímetro en la medida de los cables, $u(\delta R_{0esp})$:

La incertidumbre debida a todos los distintos efectos existentes en el multímetro se puede derivar igualmente de las especificaciones del instrumento, igual que se hacía en la medida del valor de la resistencia de la fuente. Como se ha hecho el cero al multímetro no es aplicable, en general, la incertidumbre ni la corrección por calibración para la medida de la resistencia de los cables.

Como se miden con el mismo rango, los términos fijos de las especificaciones del multímetro en la medida de la resistencia de los cables y de la fuente se cancelarán, en general.

a.7 Incertidumbre debida a la resolución del multímetro en la medida de R_0 , $u(\delta R_{0res})$:

La incertidumbre debida a la resolución del multímetro se calcula igual que para la medida de la resistencia de la fuente, de acuerdo con la referencia [2] dividiendo el valor de la resolución del rango empleado por $\sqrt{3}$.

$$u(\delta R_{0res}) = res/\sqrt{3}.$$

b) Cálculo de la incertidumbre combinada y expandida.

b.1. Cálculo de la incertidumbre combinada.

Se calculará la incertidumbre combinada como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de todas las componentes aplicables:

$$u_c(R_x) = \sqrt{u^2(\bar{R}_x) + u^2(\delta R_{xcal}) + u^2(\delta R_{xesp}) + u^2(\delta R_{xres}) + u_A^2(R_0) + u^2(\delta R_{0esp}) + u^2(\delta R_{0res})}$$

b.2. Correcciones.

La única corrección que sería necesario aplicar sería la corrección por calibración del multímetro c_{cal} .

b.3. Grados de libertad efectivos.

Se calculan los grados de libertad efectivos del resultado de la calibración mediante la fórmula de Welch-Satterthwaite:

$$V_{eff} = \frac{u^4}{\sum_i \frac{u_i^4}{V_i}}$$

b.4. Cálculo de la incertidumbre expandida.



Se busca en la tabla de la distribución de Student, el factor de cobertura k que corresponde a un intervalo de confianza del 95%, y se calcula la incertidumbre expandida a partir de la incertidumbre combinada, multiplicando esta última por el factor de cobertura calculado.

$$U(R_x) = k u_c(R_x).$$

Toda esta información se presenta en forma de tabla:

Magnitud X_i	Valor estimado x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Distrib. Prob.	Coficiente de sens c_i	Contribución a la incertidumbre $u(y)$
\bar{R}_x	\bar{R}_x	$s(R_x)/\sqrt{5}$	normal	1	$s(R_x)/\sqrt{5}$
δR_{Xcal}	0	$U(c_{cal})/k_{cal}$	normal	1	$U(c_{cal})/k_{cal}$
δR_{Xesp}	0	$U_{esp}/\sqrt{3}$	normal	1	$U_{esp}/\sqrt{3}$
δR_{Xres}	0	$res/\sqrt{3}$	normal	1	$res/\sqrt{3}$
\bar{R}_0	\bar{R}_0	$s(R_0)/\sqrt{5}$	normal	1	$s(R_0)/\sqrt{5}$
δR_{0esp}	0	$U_{esp}/\sqrt{3}$	normal	1	$U_{esp}/\sqrt{3}$
δR_{0res}	0	$res/\sqrt{3}$	normal	1	$res/\sqrt{3}$
R_{nom}	R_{nom}	0	-	-	0
Incertidumbre combinada					
Número de grados efectivos de libertad $\nu_{ef} =$				Según fórmula de Welch-Satterwaithe	
Factor de cobertura $k =$				Según distribución de Student	
Incertidumbre expandida ($k =$)				$ku(c_x)$	
Corrección no realizada máxima				c_{cal}	
Incertidumbre global de calibración				$ku(c_x) + c_{cal}$	



ANEXO 2

EJEMPLO NUMÉRICO



ANEXO 2

EJEMPLO NUMÉRICO

Se desea calibrar una fuente de resistencia con una resistencia nominal de 30 k Ω .

Se han tomado 5 lecturas de la resistencia (R_x) y otras 5 de los cables en cortocircuito (R_0), cuyos resultados son:

Lectura (Ω)	R_x	R_0
1	30 001,5	00 000,5
2	30 000,2	00 000,5
3	30 000,8	00 000,5
4	30 001,4	00 000,5
5	30 000,9	00 000,7

Tabla III. Tabla de resultados de medida

De estos datos se pueden obtener R_x , $u(R_x)$ y $u(R_0)$. Para ello se calculan la media y la desviación típica de la media de R_x y de R_0 . Entonces:

$$\bar{R}_x = 30000,96 \Omega$$

$$\bar{R}_0 = 0,42 \Omega$$

$$u_A(\bar{R}_x) = \frac{s(R_x)}{\sqrt{5}} = 0,27 \Omega$$

$$u_A(\bar{R}_0) = \frac{s(R_0)}{\sqrt{5}} = 0,04 \Omega$$



Por otra parte, las especificaciones del multímetro en su rango de resistencia de 100 kΩ son $2 \cdot 10^{-6}$ de la lectura + $0,2 \cdot 10^{-6}$ del rango. Como el componente fijo se cancela resulta:

$$u(\delta R_{X_{exp}}) = \frac{2 \times 10^{-6} \times 30000 \Omega}{\sqrt{3}} = 0,02 \Omega$$

$$u(\delta R_{0_{exp}}) = \frac{2 \times 10^{-6} \times 0,42 \Omega}{\sqrt{3}} = 8 \times 10^{-7} \Omega$$

Por último, el certificado de calibración del multímetro, asigna al rango de 100 kΩ una incertidumbre de 0,1 Ω con un intervalo de confianza del 95 % y con una corrección por calibración máxima en el rango de 0,8 Ω. Esto significa un factor de cobertura $k=2$ y, por lo tanto, la incertidumbre típica de calibración será:

$$u(\delta R_{X_{cal}}) = \frac{0,1 \Omega}{2} = 0,05 \Omega$$

Y la corrección por calibración será:

$$c_{cal} = 0,8 \Omega$$

La resolución del multímetro en el rango utilizado es de 0,1 Ω y se aplica a las dos medidas. La incertidumbre correspondiente es:

$$u(\delta R_{X_{res}}) = u(\delta R_{0_{res}}) = \frac{0,1 \Omega}{\sqrt{3}} = 0,029 \Omega .$$

Toda esta información se puede presentar en forma de tabla (todos los datos en Ω):



Magnitud X_i	Valor estimado x_i	Incertidumbre típica $u(x_i)$	Distrib. De prob.	Coef. de sens. c_i	Contribución a la incertidumbre $u(y)$
\bar{R}_X	30 000,96	0,27	normal	1	0,27
δR_{Xcal}	0	0,04	normal	1	0,04
δR_{Xesp}	0	0,02	normal	1	0,02
δR_{Xres}	0	0,029	normal	1	0,029
\bar{R}_0	0,42	0	normal	-1	0
δR_{0esp}	0	8×10^{-7}	normal	-1	8×10^{-7}
δR_{0res}	0	0,029	normal	-1	0,029
R_{nom}	30 000	0	-	-	0
c_X	0,54	Incertidumbre combinada			0,28
Número de grados efectivos de libertad $\nu_{ef} =$					4,4
Factor de cobertura $k =$					2,85
Incertidumbre expandida ($k =$)					0,79
Corrección no realizada máxima					0,8
Incertidumbre global de calibración					1,6

Tabla IV. Tabla resumen final de valores de incertidumbre

Y el resultado final de la calibración para este punto:

$$R_X(30000,0) = 30000,0 \Omega \pm 1,6 \Omega \quad (k = 2)$$

Este proceso se debe repetir para cada punto de interés.

