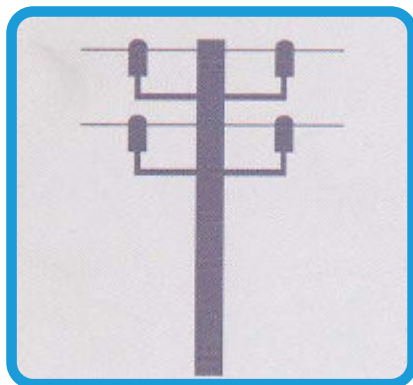
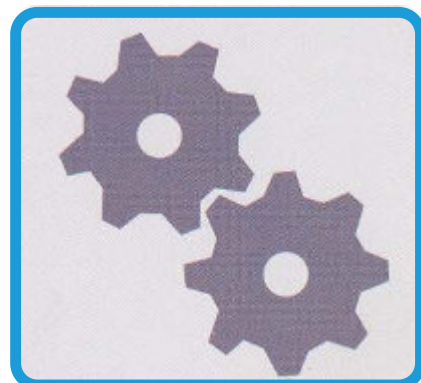
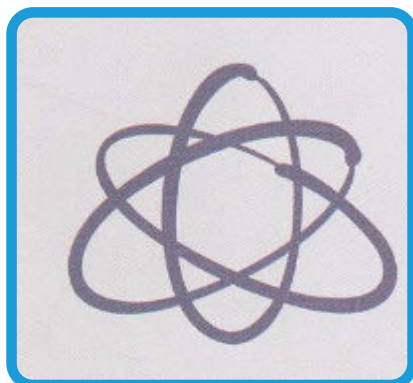
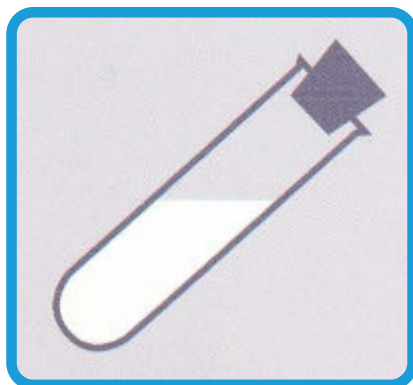
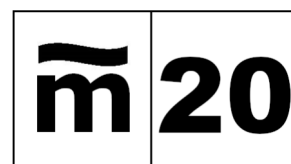


# Metrología



PROCEDIMIENTO EL-001 PARA LA  
CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS  
DIGITALES CON MENOS DE 6 ½  
DÍGITOS DE RESOLUCIÓN



## **PROCEDIMIENTO EL-001**

### **PROCEDIMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES CON MENOS DE 6 ½ DÍGITOS DE RESOLUCIÓN**

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

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

Los procedimientos editados por el CEM presentan modelos de calibración, en línea con documentos clave universales como son el Sistema Internacional de unidades (SI), el Vocabulario internacional de metrología (VIM) o la Guía para la expresión de la incertidumbre de medida (GUM). Como modelos que son, los usuarios de los mismos pueden, bajo su responsabilidad, modificarlos para adecuarlos a sus necesidades específicas (instrumentación, condiciones ambientales, etc.). En tal caso, siempre deberá primar el sentido crítico y la ética profesional.

El CEM no acepta ninguna responsabilidad derivada de la interpretación y/o uso de este procedimiento.

El CEM no mantiene correspondencia sobre el contenido de los procedimientos.

## ÍNDICE

	Página
1. OBJETO .....	3
2. ALCANCE .....	3
3. DEFINICIONES.....	4
4. GENERALIDADES .....	5
5. DESCRIPCIÓN .....	6
5.1 Equipos y materiales.....	6
5.2 Operaciones previas.....	7
5.3 Proceso de calibración .....	8
5.4 Toma y tratamiento de datos.....	14
6. RESULTADOS .....	14
6.1 Cálculo de incertidumbre.....	14
6.2 Interpretación de los resultados.....	23
7. REFERENCIAS .....	23
7.1 Documentos necesarios para realizar la calibración.....	23
7.2 Otras referencias para consulta .....	23
8. ANEXOS .....	24

## 1. OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto dar a conocer los métodos y la sistemática necesaria para realizar la calibración de multímetros digitales cuya resolución no sea mejor de 5 ½ dígitos.

Según la Clasificación de instrumentos de Metrología Eléctrica [1] este instrumento se denomina técnicamente multímetro numérico, y su código de identificación es el 13.03, no obstante, se empleará la denominación de multímetro digital a lo largo de este procedimiento, por ser esta última mayoritariamente empleada tanto en empresas como en laboratorios.

## 2. ALCANCE

El ámbito de aplicación del presente procedimiento se limita a la calibración de multímetros digitales mediante el uso de calibradores eléctricos multifunción, y por tanto no es aplicable a multímetros de elevada exactitud, que requieren el uso de instrumentos de mayor nivel metrológico como son patrones de tensión continua electrónicos, divisores de tensión, detectores de nulo, resistencias patrón, patrones de transferencia térmica cc/ca, etc.

Como la resolución (ver apartado 3 de definiciones) y la exactitud de un multímetro digital son características que evolucionan normalmente de una forma paralela (cuanto mejor es la resolución del multímetro, mejor son también la exactitud y especificaciones del multímetro) y teniendo en cuenta las características metrológicas de los calibradores multifunción actualmente disponibles en el mercado, se puede afirmar que en general los multímetros cuya resolución sea igual o menor de 5 ½ dígitos se pueden calibrar mediante un calibrador multifunción y están por tanto dentro del alcance de este procedimiento.

No obstante, siempre que se satisfaga el principio básico de que la incertidumbre de calibración no sea mayor de un tercio (y preferiblemente de una décima parte) del error de utilización permitido para el instrumento a calibrar [2], será aconsejable utilizar el procedimiento de calibración aquí descrito. En función de las características del calibrador y del instrumento a calibrar este procedimiento puede ser aplicable también para multímetros de mejor resolución (por ejemplo, de 6 ½ dígitos), o por el contrario, no ser adecuada su utilización para la calibración de algún modelo de 5 ½ dígitos de resolución.

Este procedimiento es aplicable a la calibración de multímetros digitales con capacidad para medir magnitudes de los siguientes rangos:

- Tensión continua: 1 mV a 1000 V
- Tensión alterna: 10 mV a 1000 V (frecuencia de 10 Hz a 1 MHz).
- Intensidad continua: 1 mA a 20 A
- Intensidad alterna: 1 mA a 20 A (10 Hz a 10 kHz)
- Resistencia: 1  $\Omega$  a 100 M $\Omega$

Los rangos de medida descritos pueden variar según el tipo de calibrador y su trazabilidad a patrones nacionales o internacionales.

Este procedimiento no es aplicable a instrumentos que aun midiendo algunas de las magnitudes indicadas estén previstos principalmente para medidas de otras magnitudes como la potencia, energía, impedancia en corriente alterna, o para medidas a frecuencias superiores a 1 MHz. En estos casos, no obstante, el procedimiento sería aplicable para la calibración parcial de estos instrumentos en tensión continua y alterna, intensidad continua y alterna y resistencia.

Este procedimiento es aplicable también a instrumentos digitales que solamente midan algunas de las magnitudes antes indicadas, por ejemplo, voltímetros digitales, pero no es aplicable a instrumentos desarrollados para aplicaciones especiales, ni a instrumentos analógicos.

Actualmente algunos calibradores eléctricos multifunción disponen de la posibilidad de generar o simular magnitudes adicionales además de las clásicas de tensión, intensidad y resistencia. Estas magnitudes suelen ser la capacidad eléctrica, el ángulo de fase, la temperatura, la potencia eléctrica, etc. El uso y aplicación de estas posibilidades de calibración adicionales quedan fuera del alcance del presente procedimiento.

Como consecuencia de existir diferencias funcionales entre los multímetros a los que se podría aplicar este procedimiento habrá que tener en cuenta estas diferencias en la redacción de las instrucciones de calibración que se elaboren tomando como guía este procedimiento.

### 3. DEFINICIONES

Son de aplicación las definiciones generales de la referencia [7] que se indican a continuación, además de otras específicas para el presente procedimiento.

#### **Ajuste [7]:**

Operación destinada a llevar un instrumento de medida a un estado de funcionamiento conveniente para su utilización. El ajuste puede ser automático, semiautomático o manual.

#### **Calibración [7]:**

Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones.

El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones los valores correspondientes del mensurando o bien determinar las correcciones a aplicar en las indicaciones.

Los resultados de una calibración pueden consignarse en un documento denominado, a veces certificado de calibración o informe de calibración.

#### **Calibrador multifunción:**

Instrumento que suministra en sus bornas de salida las magnitudes básicas eléctricas, tensión continua, intensidad continua, tensión alterna, intensidad alterna y resistencia, en distintos rangos, que son necesarias para la calibración tanto de multímetros digitales como analógicos, así como otros instrumentos eléctricos de aplicación más específicos. Este instrumento constituye por sus características prácticamente un pequeño laboratorio de calibración.

#### **Desviación estándar experimental [7]:**

Para una serie de  $n$  mediciones de un mismo mensurando, la magnitud  $s$  que caracteriza la dispersión de los resultados, dada por la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

siendo  $x_i$  el resultado de la  $i$ -ésima medición y siendo  $\bar{x}$  la media aritmética de los  $n$  resultados considerados:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

La expresión  $s/\sqrt{n}$  es una estimación de la desviación estándar de la distribución de la media de  $x$ , y se denomina desviación estándar experimental de la media.

**Error de un instrumento de medida [7]:**

Indicación de un instrumento de medida menos un valor verdadero de la magnitud de entrada correspondiente. Este concepto se aplica principalmente cuando se compara el instrumento con un patrón de referencia.

**Incertidumbre de medida [7]:**

Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

La incertidumbre de medida comprende en general varios componentes. Algunos pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de series de mediciones y pueden caracterizarse por sus desviaciones estándar experimentales. Otros componentes, que también pueden ser caracterizados por sus desviaciones estándar, se evalúan asumiendo distribuciones de probabilidad, basadas en la experiencia adquirida o en otras informaciones.

**Resolución [7]:**

La menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de forma significativa. Para un dispositivo visualizador digital, diferencia de la indicación que corresponde al cambio de una unidad en la cifra menos significativa.

La definición de resolución del Vocabulario Internacional de términos básicos y generales de metrología [7] tiene en el caso de los multímetros digitales una interpretación particular, por ejemplo, si el máximo valor que se puede visualizar en la pantalla es 1999, y si el menor cambio de indicación que puede apreciarse es del último dígito, entonces la resolución es de 1/1999, o sea, un 0,05% del fondo de escala.

La resolución de un multímetro digital se expresa muy frecuentemente como un número entero y una fracción, en el ejemplo anterior la resolución se podría expresar como 3 ½ dígitos, donde el primer número (la cifra 3) representa el número de dígitos que pueden variar de 0 a 9. La fracción representa que el primer dígito puede tomar uno o más valores distintos de cero, es decir puede tomar los valores 0 ó 1, pero no otros. La fracción se determina indicando en el numerador el número de valores posibles del primer dígito, excluyendo el cero; siendo el denominador el número total de posibles valores incluido el cero.

**Trazabilidad [7]:**

Propiedad del resultado de una medición o de un patrón tal que pueda relacionarse con referencias determinadas, generalmente a patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones teniendo todas las incertidumbres determinadas.

#### 4. GENERALIDADES

El multímetro digital es un instrumento con capacidad para medir tensión e intensidad tanto en corriente continua como en alterna; igualmente tiene capacidad de medida de resistencia y cuenta con representación numérica de los resultados. El sistema básico de medida de un multímetro digital lo constituye un convertidor analógico digital y las restantes capacidades de medida se obtienen mediante circuitos auxiliares que se adicionan a este circuito básico. La diferencia entre los distintos modelos radica principalmente en la exactitud conseguida, siendo ésta consecuencia del método de medida utilizado y del diseño. Otro factor importante a considerar es la resolución o número de dígitos de su pantalla de representación y que normalmente se utiliza para definir el multímetro (3 ½, 4 ½, 5 ½ dígitos, etc).

La figura 1 muestra el diagrama de bloques de un multímetro digital. En él puede observarse que el sistema básico de medida lo constituye el bloque que realiza la medida de tensión continua (convertidor analógico/digital) y que las restantes medidas se fundamentan en ésta.

El convertidor analógico/digital convierte la entrada analógica de tensión continua en una salida digital y es el responsable de muchas de las características del multímetro (velocidad de lectura, linealidad, resolución, rechazo en modo normal, y exactitud). La salida digital se puede enviar a una o varias puertas, incluyendo la pantalla principal o salidas IEEE 488 y RS232.

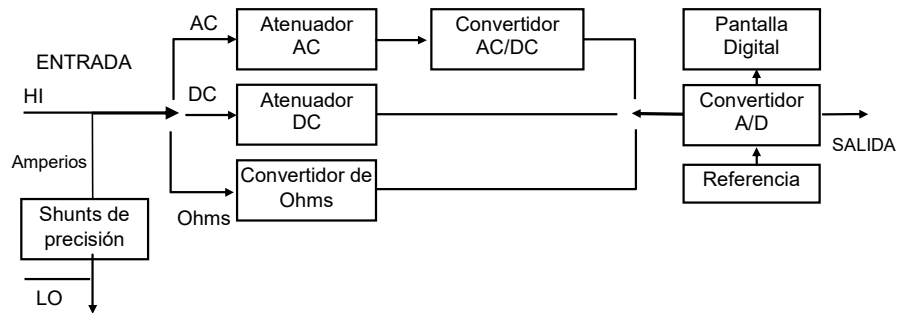


Figura 1. Diagrama de bloques de un multímetro digital.

Las medidas de intensidad se realizan mediante unas resistencias o shunts por las que circula la intensidad a medir provocando una caída de tensión. Las medidas de tensión, tanto alterna como continua pasan a través de atenuadores para adaptar el nivel de tensión a la entrada del convertidor. Las medidas de tensión alterna se realizan mediante una conversión alterna/continua y medida posterior de la tensión continua con el convertidor analógico/digital. Para la medida de resistencia el instrumento dispone de una fuente de intensidad de continua (convertidor de ohmios) que se hace circular por la resistencia, midiendo la tensión resultante con los atenuadores y convertidor analógico/digital ya mencionados escala.

Muchos multímetros actuales (normalmente con resolución mejor o igual de 5 ½ dígitos) se pueden controlar por software con un ordenador a través de un bus RS232 o de otro tipo. Esta capacidad presenta una serie de ventajas importantes como la facilidad de manejo, y la posibilidad de aplicar técnicas estadísticas o de tratamiento posterior de las mediciones realizadas escala.

Por otra parte, los multímetros digitales suelen tener la posibilidad de ajuste, bien a través de potenciómetros y condensadores variables (para multímetros de mano de 3 ½ dígitos), bien a través del almacenamiento en memoria no volátil de nuevas constantes de calibración introducidas con el teclado o mediante un bus de comunicación RS 232 o similar.

Las unidades empleadas en este procedimiento son las del sistema internacional de unidades (SI):

- Para la tensión eléctrica: voltio o volt, (símbolo: V)
- Para la intensidad eléctrica: amperio o ampere, (símbolo: A)
- Para la resistencia eléctrica: ohmio u ohm, (símbolo:  $\Omega$ )

## 5. DESCRIPCIÓN

### 5.1 Equipos y materiales

Para realizar la calibración descrita en este procedimiento es necesario disponer de un calibrador eléctrico multifunción con el que se pueda conseguir preferentemente una incertidumbre de calibración al menos tres veces más pequeña que la tolerancia permitida para el multímetro que se desea calibrar durante su uso habitual. Este calibrador debe tener capacidad de generar las magnitudes y rangos de medida para los que se vaya a aplicar el procedimiento dentro de los indicados en el apartado 2.

Como regla general se puede admitir que calibradores multifunción cuyas especificaciones absolutas a un año (o exactitud a un año incluyendo la incertidumbre de calibración del calibrador) facilitadas por el fabricante sean iguales o mejores del 0,01% de la lectura en tensión continua son adecuados para realizar las calibraciones descritas en este procedimiento.

Para realizar la calibración de multímetros en intensidad continua o alterna por encima de 2A es necesario utilizar en ocasiones amplificadores de transconductancia que suministran una intensidad de salida proporcional a la tensión aplicada con el calibrador a su entrada. En otros casos los propios calibradores son capaces de generar intensidades de hasta 10 A o 20 A, sin tener que recurrir a amplificadores de transconductancia por encima de 2A.

## 5.2. Operaciones previas

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

a) Se comprobará que el multímetro digital está identificado de forma permanente con su marca, modelo y número de serie correspondiente, o con un código interno del propietario del multímetro unívoco. Si no fuera así se le asignará un código de identificación que se adherirá o fijará de forma segura sobre el multímetro.

b) Se estudiará el manual de operación del multímetro a calibrar, de forma que la persona que realice la calibración esté familiarizada con su manejo. Se dispondrá también de las instrucciones de ajuste del fabricante, por si en el transcurso de la calibración se determinara la necesidad de realizar ajustes al multímetro. Algunos multímetros digitales de 3 ½ dígitos no tienen la posibilidad de ser ajustados.

c) Se comprobará que el multímetro digital no tiene fundidos ninguno de los fusibles internos de protección, y que los calibres y curvas de fusión son los indicados por el fabricante. En ocasiones en el manual del multímetro se indica un procedimiento para comprobar el estado de los fusibles sin desmontar la tapa del mismo.

d) Se comprobará el estado de la batería (todos los multímetros de mano van equipados de una batería que les permite funcionar sin conexión a la red eléctrica), siguiendo las instrucciones del manual del multímetro, y en caso necesario se procederá a su sustitución.

e) Se fijará cuál es la tolerancia de uso asignada al multímetro digital, pudiendo coincidir con las especificaciones del fabricante, o estar calculada en función del uso concreto al que se destina el multímetro digital. Los errores obtenidos en la calibración se compararán con esta tolerancia permitida de forma que siguiendo los criterios del apartado 5.3.1 se determinará la necesidad o no de realizar ajustes en el multímetro.

f) Se dispondrá del manual de usuario del calibrador multifunción, y la persona que realice la calibración estará familiarizada con su manejo.

g) Se comprobará el estado de calibración del calibrador multifunción, si dispone de un certificado de calibración en vigor, y si dicho certificado garantiza la trazabilidad e incertidumbre apropiadas a las medidas que se van a realizar en el transcurso de la calibración.

h) Se comprobará que el valor nominal de la tensión de alimentación y las posibles variaciones son adecuadas para el funcionamiento del calibrador y del multímetro a calibrar. Normalmente una tensión de 230 voltios  $\pm$  10 % es adecuada para el funcionamiento de la mayoría de los calibradores. En cualquier caso, consultar el manual de instrucciones del calibrador multifunción y del multímetro si éste tiene conexión a red.

i) Se conectarán a la red de alimentación eléctrica el calibrador multifunción y el multímetro a calibrar en los casos en que éste último disponga de conexión a red, 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, pero como regla general es un mínimo de 30 minutos.



j) La calibración se realizará manteniendo una temperatura ambiente comprendida entre 18°C y 28°C que es el margen normal en el que los calibradores multifunción 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.

k) La humedad relativa no sobrepasará el 70%, aunque en algunos casos es posible admitir valores de hasta el 80% (consultar para ello los manuales del calibrador y del multímetro a calibrar).

l) Se comprobará que el calibrador multifunción y el multímetro a calibrar (cuando disponga de conexión a red) están conectados a una base de enchufe que incluya un conductor de protección o toma de tierra como medida elemental de protección frente a contactos indirectos.

m) Se comprobará mediante medida o mediante consulta de las especificaciones del calibrador que la distorsión armónica total de las señales de tensión e intensidad alterna aplicadas con el calibrador sea inferior al 1%, y en caso contrario se tendrá en cuenta su influencia.

n) Se realizarán las pruebas iniciales descritas en el manual técnico del multímetro a calibrar, encaminadas a comprobar el estado general de funcionamiento del multímetro (por ejemplo “autotest de encendido”, comprobación de la pantalla de visualización, etc).

**ADVERTENCIA: Tanto en el instrumento a calibrar como en la instrumentación utilizada para la calibración están presentes, bien en los terminales externos o internamente durante la realización de la calibración o de los ajustes y comprobaciones que fuera necesario realizar, tensiones peligrosas para las personas. Para evitar daños irreparables, deben ser observadas todas las precauciones de trabajos con riesgo eléctrico, siguiendo de forma ordenada la secuencia de operaciones indicadas en el procedimiento. En cualquier caso, tomar como referencia las instrucciones facilitadas por el fabricante en el manual técnico, para evitar riesgos al personal que realiza la calibración.**

Como medidas elementales de seguridad se señalan las siguientes:

- No realizar ninguna conexión a las bornas de salida del calibrador si hay tensión presente en esas bornas. Por lo tanto, antes de realizar cualquier conexión eléctrica a las bornas del calibrador, presionar la tecla de borrado del calibrador (RESET o similar), y comprobar que la señalización que indica que no hay señal en bornas del calibrador está activa (señalización STAND-BY o similar).
- Utilizar cables con el nivel de aislamiento adecuado para evitar la perforación de su aislamiento (usar cables que soporten como mínimo 2000 voltios a 50 Hz).
- Utilizar cables con terminales o bananas que una vez introducidas en las bornas correspondientes del calibrador o multímetro a calibrar no presenten partes activas accesibles.

### 5.3. Proceso de calibración

#### 5.3.1- Secuencias posibles de calibración

El proceso de calibración seguirá una de las tres secuencias descritas a continuación:

- 1) Calibración inicial → Ajuste → Calibración final
- 2) Calibración sin ajuste
- 3) Ajuste → Calibración final

La secuencia 1) es la secuencia normal: primero se realiza una calibración inicial, y si como consecuencia de esta primera calibración el equipo requiere ajuste, se realiza dicho ajuste seguido de una calibración final. De esta forma la primera calibración nos proporciona información del estado del instrumento durante el período de tiempo transcurrido desde la última calibración. La calibración final comprueba que los ajustes realizados son

correctos y nos asegura la trazabilidad. En este caso se conservarán registros tanto de la calibración inicial como final.

La secuencia 2) se puede considerar como una variante de la secuencia 1) aplicable cuando los errores encontrados en la calibración sean inferiores a unos límites establecidos.

La secuencia 3) solamente se debe aplicar cuando el estado del multímetro antes de la calibración no sea importante, por ejemplo, porque se acaba de reparar, porque es nuevo, porque estaba previamente fuera de uso, etc.

Se deberán establecer en función del uso previsto para el multímetro unos límites de tolerancia a partir de los cuales se realizará el ajuste del instrumento o se limitará el uso del multímetro. Se procederá al ajuste cuando la desviación obtenida sea mayor que el límite de tolerancia establecido disminuido en la incertidumbre de calibración. Algunas guías establecen como criterio de ajuste, para una relación entre tolerancia e incertidumbre comprendida entre 3 y 10, unos límites del 70% de la tolerancia de uso (que habitualmente coincide con la especificación del fabricante a un año), para multímetros de 3 ½, ó 4 ½ dígitos, y del 50% de la tolerancia para multímetros de mejor resolución [3].

El ajuste se debe realizar siempre siguiendo el manual del fabricante del multímetro, en el orden y en los puntos indicados.

### 5.3.2.- Definición de los puntos de medida.

En las tablas siguientes se indican los puntos de medida recomendados para realizar una calibración completa de un multímetro digital, distinguiendo dos tablas, una para multímetros de 3 ½ ó 4 ½ dígitos, y otra para multímetros de 5 ½ dígitos. Si el multímetro se va a usar para una aplicación con un campo de medida específico es posible y recomendable definir otros puntos de medida.

Las siguientes observaciones sirven para interpretar las dos tablas:

- Los puntos de calibración están indicados en tanto por ciento del fondo de escala.
- El valor del 10% indica un punto arbitrario situado al principio de la escala, el valor real puede variar desde el 0% hasta el 10% en continua, y desde el 0,5% al 10% en alterna.
- El valor del 90% indica un punto arbitrario situado próximo del fondo de escala, el valor real puede variar del 50% al 99 % del fondo de escala. En el caso de resistencias, el valor mínimo se puede reducir hasta el 30%. No obstante, cuando se trata de un rango en el que se está comprobando la linealidad (midiendo cinco puntos en el mismo rango), el valor del 90% se debe entender en sentido estricto.
- El valor de frecuencia de 50 Hz está pensado para comprobar el funcionamiento del multímetro a frecuencia industrial, aunque el valor de la frecuencia de prueba puede variar entre 40 y 60 Hz. Para multímetros de 5 ½ dígitos y mejores es recomendable evitar una frecuencia de prueba de 50 Hz, para eliminar un posible acoplamiento con la frecuencia de la red de alimentación.
- El valor de frecuencia de 1 kHz está pensado como una frecuencia de prueba central, el valor de prueba real puede variar entre 200 Hz y 1 kHz en función del modelo de multímetro a calibrar.
- Los valores de las frecuencias de prueba superiores a 1 kHz están indicados entre paréntesis, ya que el número de frecuencias reales de prueba dependerá del margen de frecuencias de medida del multímetro a calibrar.

Tabla 1: Puntos de calibración para multímetros de 3 ½ y 4 ½ dígitos

RANGOS	Nº DE PUNTOS	VALORES DE PRUEBA (% FONDO DE ESCALA)
<b>TENSIÓN CONTINUA</b>		
TODOS	3	10 %, 90 %, - 90 %
UN RANGO INTERMEDIO	5	10 %, 50 %, 90 %, - 50 %, - 90 %
<b>INTENSIDAD CONTINUA</b>		
TODOS	1	90 %
UN RANGO INTERMEDIO	2	90 %, - 90 %
RANGO IGUAL O MAYOR DE 1A	2	50 %, 90 %
<b>RESISTENCIA</b>		
TODOS	1	90 %
EL RANGO MENOR	2	0 %, 90 %
<b>TENSIÓN ALTERNA</b>		
RANGOS MENORES DE 0,5 V	4	10 %, 90 % a 50 Hz, 1 kHz
RANGOS MAYORES O IGUALES DE 0,5 V	2 , 3	90 %, 50 Hz, 1 kHz, (20 kHz)
UN RANGO INTERMEDIO	4 , 6	10 %, 50 % a 50 Hz o 1 kHz 90 % a 50 Hz, 1 kHz, (20-100) kHz
<b>INTENSIDAD ALTERNA</b>		
TODOS	2	90 % a 50 Hz, 1 kHz

Para la determinación del número de puntos de medida indicados en la columna central de las Tablas 1 y 2, se ha supuesto que el multímetro a calibrar tiene una gama de frecuencias en tensión e intensidad alterna como mínimo mayor o igual de 1 kHz. Para confeccionar la tabla se ha tomado como guía la referencia [3].

Tabla 2: Puntos de calibración para multímetros de 5 ½ dígitos

RANGOS	Nº DE PUNTOS	VALORES DE PRUEBA (% FONDO DE ESCALA)
<b>TENSIÓN CONTINUA</b>		
TODOS	3	10 %, 90 %, - 90 %
UN RANGO INTERMEDIO	5	10 %, 50 %, 90 %, - 50 %, - 90 %
RANGO MAYOR DE 200 V	4	10 %, 50 %, 90 %, - 90 %
<b>INTENSIDAD CONTINUA</b>		
TODOS	2	10 %, 90 %
UN RANGO INTERMEDIO	3	10 %, 90 %, - 90 %
RANGO MAYOR O IGUAL DE 1 A	3	10 %, 50 %, 90 %
<b>RESISTENCIA</b>		
TODOS	2	10 %, 90 %
<b>TENSIÓN ALTERNA</b>		
RANGOS MENORES DE 0,5 V	4 , 6	10 %, 90 % a 50 Hz, 1 kHz, (20) kHz
RANGOS MAYORES O IGUALES DE 0,5 V	4 , 8	10 % a 50 Hz, 1 kHz, (20) kHz 90 % a 50 Hz, 1 kHz, (20-50-100) kHz

UN RANGO INTERMEDIO	5 , 10	10 % a 50 Hz, 1 kHz, (20) kHz 50 % a 1 kHz 90 % a 50 Hz, 1 kHz, (20-50-100-300) kHz
RANGO MAYOR DE 200 V	5 , 8	10 % a 50 Hz, 1 kHz, (20) kHz 50 % a 1 kHz, (50) kHz 90 % a 50 Hz, 1 kHz, (30) kHz
<b>INTENSIDAD ALTERNA</b>		
TODOS	3	10 %, 1 kHz 90 %, 50 Hz, 1 kHz

### 5.3.3.- Conexiones y realización de las medidas.

En cada uno de los puntos de calibración definidos se realizarán cinco medidas superado el posible régimen transitorio. En el caso de que una vez aplicado el nivel de señal con el calibrador no existan variaciones en la indicación del multímetro será suficiente con anotar una sola medida. Salvo en algunos casos para tensión e intensidad alterna es muy habitual que durante la calibración de este tipo de multímetros no existan variaciones en la indicación de salida con lo cual se simplifica notablemente el proceso de calibración. A continuación, se indican la forma de conexión así como algunas precauciones a tener en cuenta al realizar la calibración en las distintas magnitudes.

Si es posible configurar el multímetro en varias formas de medida (cambiando la resolución o la velocidad de medida, medidas a dos o cuatro terminales, etc.), elegir para la calibración la que presente, según el manual del fabricante, mejores especificaciones (que es usualmente la más lenta y con mejor resolución). Anotar siempre en la hoja de toma de datos las configuraciones seleccionadas en el multímetro a calibrar, e indicarlas igualmente en el informe de calibración.

Si se va a utilizar el multímetro en otras configuraciones se comprobará el correcto funcionamiento de las mismas.

Para evitar lazos de tierra y ruido que distorsionen los resultados de la calibración, solamente debe existir un único punto de conexión a tierra. Esta conexión a tierra se puede realizar en el terminal bajo (LO) del multímetro a calibrar, asegurándose entonces de que el terminal bajo (LO) del calibrador está aislado de tierra. Cuando el multímetro a calibrar funciona con batería o está completamente aislado de tierra en sus bornes de medida, también es posible realizar esta conexión a tierra en el terminal bajo del calibrador.

#### Tensión continua y alterna

Antes de iniciar la calibración en tensión continua se debe realizar un ajuste de cero en el multímetro (los multímetros de 5 ½ dígitos suelen disponer de funciones automáticas de ajuste de cero, "ZERO", "MATHNULL", etc.). En cualquier caso, seguir siempre el manual de instrucciones donde se describe la forma de realizar este ajuste. Para el resto de multímetros que no dispongan de este tipo de funciones conectar antes de iniciar la calibración un cortocircuito de cobre limpio entre los terminales de medida de tensión del multímetro y anotar la lectura obtenida; cualquier otra medida de tensión continua se realizará restando al valor leído en el multímetro en cada caso el valor que se obtuvo al aplicar el cortocircuito. El ajuste de cero descrito no se realiza en tensión alterna.

Para realizar la calibración, se conectará la salida de tensión del calibrador (HI, LO), a los bornes de medida de tensión del multímetro. Para evitar errores inducidos por fuerzas electromotrices de origen térmico, especialmente importantes en las medidas de pequeñas tensiones en continua, es necesario usar conductores y conectores de cobre u otros materiales que generen bajas fuerzas termo-electromotrices en su unión con el cobre. No usar, por ejemplo, conectores niquelados.

Para calibración de multímetros digitales en tensión no es necesario utilizar conexiones a cuatro hilos que eviten caídas de tensión, ya que la impedancia de entrada de los multímetros digitales a calibrar es normalmente mayor o igual de 1 MΩ, y por tanto las caídas de tensión en los cables de conexión son insignificantes para los niveles de incertidumbre asociados a este tipo de equipos.

Para calibraciones de tensión alterna a frecuencias superiores a 10 kHz, es conveniente usar conductores de conexión coaxiales, conectando el cable interno a los terminales HIGH, y la pantalla a los terminales LOW.

#### Intensidad continua y alterna.

Se conectará la salida de intensidad del calibrador (HI, LO), a los bornes de medida de intensidad del multímetro. Para intensidades superiores a 2 A puede ser necesario el uso de un amplificador de transconductancia.

#### Medida de resistencia.

Algunos multímetros de 5 ½ dígitos e incluso algunos de 4 ½ con capacidad de medida de resistencia a cuatro hilos, tienen la posibilidad de realizar un ajuste de cero conectando un cortocircuito adecuado a los bornes de medida de resistencia a cuatro hilos y activando a continuación la función de compensación correspondiente ("ZERO", "REL", etc). Para realizar este ajuste previo consultar el manual del multímetro a calibrar.

Las conexiones a realizar para la calibración del multímetro en su función de medida de resistencia dependen del tipo de multímetro (en concreto de si es posible realizar medidas a cuatro hilos o solamente a dos hilos) y del valor de la resistencia a medir. Existen tres formas de conexión que se analizan a continuación.

a) Medidas a dos hilos sin compensación:

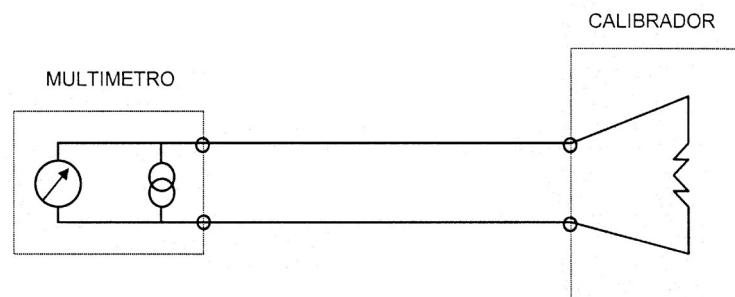


Figura 2. Medidas de resistencia a dos hilos sin compensación

Se conectan mediante dos cables las salidas (HI, LO) del calibrador con los dos bornes de medida de resistencia del multímetro, sin conectar la compensación a dos hilos del calibrador. En este caso el valor de la resistencia medida por el multímetro digital corresponde al valor de la resistencia que presenta el calibrador, más la resistencia de los dos cables de conexión, más las resistencias de contacto.

Es la forma de conexión habitual para la calibración de multímetros en los que, debido a su tolerancia asignada, no se requiere el uso de otros métodos de medida, como los que se exponen a continuación. Este método es aplicable siempre que la resistencia a medir sea mayor o igual de 10 kΩ; para valores de resistencia inferiores es preferible utilizar el método b). El método c) se empleará si se trata de calibración de multímetros con capacidad de medida a cuatro terminales.

Para evitar los errores debidos a los cables y a las resistencias de contacto se realizarán las medidas en dos fases:

1) Seleccionar con el calibrador una resistencia de valor  $0 \Omega$ . Activar la salida del calibrador y anotar la lectura del multímetro a calibrar.

2) Realizar la calibración restando de las lecturas obtenidas la resistencia medida en el paso anterior. También es posible activar al realizar la primera fase una función específica en el multímetro a calibrar ("ZERO", "REL"), para que se calcule la diferencia de forma automática.

b) Medidas a dos hilos con compensación.

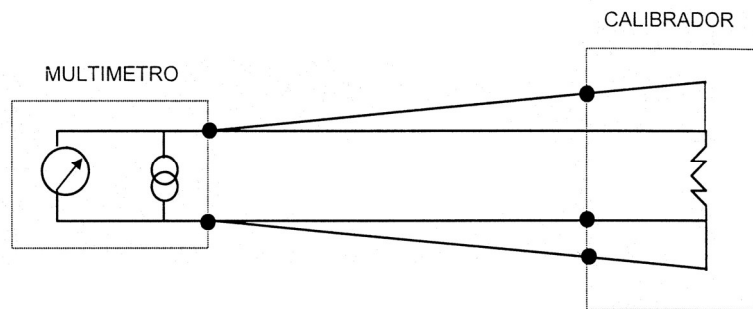


Figura 3. Medida de resistencia a dos hilos con compensación

Se conectan mediante cuatro cables las salidas (HI, LO, y HI sense, LO sense) del calibrador con los dos bornes de medida de resistencia del multímetro, uniendo en estos dos bornes las parejas de cables HI y LO, y activando la compensación a dos hilos del calibrador. En este caso el valor de la resistencia medida por el multímetro digital corresponde al valor de la resistencia que presenta el calibrador, más una pequeña resistencia de contacto. Es la forma de conexión recomendada para la calibración de multímetros que miden resistencia a dos hilos, salvo para valores de resistencia superiores a  $10 \text{ k}\Omega$ , en que puede usarse el método a).

Para evitar los errores debidos a las resistencias de contacto se realizarán las medidas en dos fases:

1) Seleccionar con el calibrador una resistencia de valor  $0 \Omega$ . Activar la salida del calibrador y anotar la lectura del multímetro a calibrar.

2) Realizar la calibración restando de las lecturas obtenidas la resistencia medida en el paso anterior. También es posible activar al realizar la primera fase una función específica en el multímetro a calibrar ("ZERO", "REL") que calcule la diferencia de forma automática.

3) Es recomendable conectar en el multímetro los cables de medida tensión ("sense") por debajo de los que inyectan la corriente ("source").

c) Medidas a cuatro hilos.

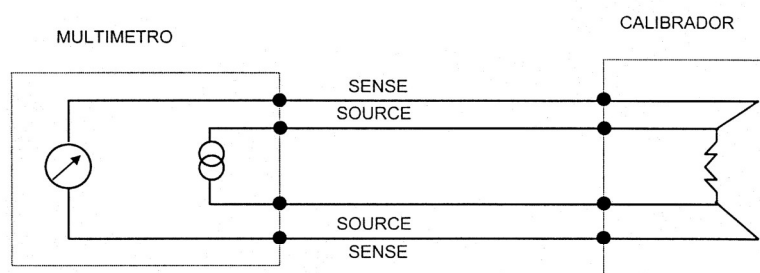


Figura 4. Medidas de resistencia a cuatro hilos con compensación

Se conectan mediante cuatro cables las salidas (HI, LO, y HI sense, LO sense) del calibrador con los cuatro bornes de medida de resistencia del multímetro, conectando la compensación a cuatro hilos del calibrador. En este caso el valor de la resistencia medida por el multímetro digital corresponde al valor de la resistencia que presenta el calibrador, sin incluir ninguna resistencia de contacto. Es la forma de conexión recomendada para la calibración de multímetros que miden resistencia a cuatro hilos. Cuando un multímetro tiene capacidad de medir resistencia a cuatro hilos, y a dos hilos, es suficiente realizar la calibración en su funcionalidad mejor, es decir, a cuatro hilos.

#### 5.4. Toma y tratamiento de datos

Para cada punto de calibración se anotarán los siguientes datos:

- Valor aplicado con el calibrador.
- Lecturas obtenidas en el multímetro a calibrar. Si existe variación en la indicación del multímetro se realizarán cinco medidas y se hallará la media y la desviación típica.
- Error asociado a la calibración en cada punto (diferencia entre la lectura del multímetro y el valor aplicado por el calibrador).

A continuación, se compararán los errores obtenidos con las tolerancias asignadas al multímetro digital para determinar o no la necesidad de realizar un ajuste, según los criterios del apartado 5.3.1.

En el caso de que una vez determinados los errores existiera duda sobre alguno de los valores obtenidos, por ejemplo errores muy superiores a las tolerancias asignadas al multímetro en calibración, se repetirá la calibración en esos puntos para confirmar la bondad de los resultados obtenidos.

La toma de datos se podrá realizar de forma manual o mediante ordenador y un bus de comunicación IEEE que controle al multímetro a calibrar. En este último caso 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.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Cálculo de incertidumbres

La asignación y expresión de incertidumbres se realizará siguiendo los criterios del documento EA4-02 [4]. En primer lugar se determinará la expresión de la magnitud de salida (que es el error del multímetro a calibrar en cada punto de calibración) en función de las distintas magnitudes de entrada.

La determinación del error  $e_x$  de la indicación obtenida con el multímetro a calibrar para tensión continua y medidas de resistencia a dos hilos requiere que se realicen dos medidas, una primera con la señal aplicada y una segunda con un cortocircuito en bornes del multímetro.

$$e_x = V_{ix} + \delta V_{ix} - (V_{ix0} + \delta V_{ix0}) - (V_s + \delta V_s)$$

donde:

$V_{ix}$ : indicación del multímetro cuando se aplica la señal (tensión, resistencia) con el calibrador.

$V_{ix0}$ : indicación del multímetro cuando se aplica un cortocircuito en su entrada.

$\delta V_{ix}$ : corrección debida a la resolución finita del multímetro cuando se aplica la señal.

$\delta V_{ix0}$ : corrección debida a la resolución finita del multímetro cuando se aplica el cortocircuito.

$V_s$ : valor de la señal (tensión o resistencia) aplicada con el calibrador.

$\delta V_S$ : corrección del valor de la señal aplicada por el calibrador debida a múltiples efectos.

$$\delta V_S = \delta V_{SD} + \delta V_{SC} + \delta V_{ST} + \delta V_{SP} + \delta V_{SL} + \delta V_{ST} + \delta V_{SE}$$

donde:

$\delta V_{SD}$ : corrección de la señal del calibrador debida a su deriva desde su última calibración.

$\delta V_{SC}$ : corrección de la señal del calibrador debida a su falta de linealidad.

$\delta V_{ST}$ : corrección de la señal del calibrador debida a la temperatura de funcionamiento.

$\delta V_{SP}$ : corrección de la señal del calibrador debida a variaciones en la tensión de alimentación.

$\delta V_{SL}$ : corrección de la señal del calibrador debida a los efectos de carga del multímetro.

$\delta V_{ST}$ : corrección debida a la estabilidad del calibrador.

$\delta V_{SE}$ : corrección de la señal aplicada por el calibrador debida a su error de calibración.

El error  $e_x$  de la indicación obtenida en el multímetro a calibrar para el resto de magnitudes (tensión alterna, intensidad, y resistencia a cuatro hilos) se obtiene mediante una simplificación de la expresión anterior ya que no se realiza lectura en cortocircuito.

$$e_x = V_{ix} + \delta V_{ix} - (V_S + \delta V_S)$$

a) Asignación de las componentes de la incertidumbre.

a.1. Incertidumbre debido a la falta de repetibilidad del multímetro:  $V_{ix}$

Se tomarán cinco lecturas en las mismas condiciones de medida, siempre que existan variaciones en la indicación del multímetro. En caso contrario esta contribución no se considerará por tener un valor nulo. Se calcularán los estimadores estadísticos que caracterizan la dispersión de los resultados obtenidos, (ver capítulo 3 de definiciones). En particular se calcularán la media aritmética de los valores de  $V_{ix}$ , la desviación estándar experimental  $s(V_{ix})$ , y la desviación estándar experimental de la media que coincide con la incertidumbre típica de  $V_{ix}$ .

$$\text{Desviación estándar experimental de la media: } u(V_{ix}) = s(V_{ix}) / \sqrt{5}$$

Las indicaciones obtenidas al realizar el cortocircuito en bornes del multímetro a calibrar para tensión continua y resistencia a dos hilos se considera que no presentan variación alguna, tal y como sucede normalmente en la práctica.

a.2. Incertidumbre de calibración del patrón:  $V_S$

La incertidumbre de calibración del calibrador será la reflejada en el correspondiente certificado de calibración para el punto considerado. Puesto que en los certificados se indican incertidumbres expandidas ( $U_{\text{certi}}$  con  $k=2$ ) para hallar la incertidumbre típica será necesario dividir el valor indicado por el valor de  $k_{\text{certi}}$  (normalmente 2). En el caso de que el punto en el que se va a realizar la calibración del multímetro no coincida con un valor certificado del calibrador se incluirá como componente de incertidumbre la mayor incertidumbre de calibración del calibrador de entre todos los puntos calibrados del rango en el que se usa.

a.3. Resolución del multímetro a calibrar:  $\delta V_{ix}$ ,  $\delta V_{ix0}$

En ambos casos se considera el máximo error posible que se puede cometer debido a la resolución del multímetro como  $\pm 0,5$  veces el último dígito (Res. = 0,5 dígitos); y la



incertidumbre típica se hallará suponiendo una distribución rectangular, dividiendo por tanto por  $\sqrt{3}$ . El valor de esta contribución se expresará en unidades homogéneas con el resto de contribuciones.

a.4. Correcciones en la salida del calibrador:  $\delta V_{SD}$ ,  $\delta V_{SC}$ ,  $\delta V_{ST}$ ,  $\delta V_{SP}$ ,  $\delta V_{SL}$

Debido a que no es posible conocer normalmente cada una de las correcciones anteriores las componentes de incertidumbre asociadas a estos factores se pueden derivar de las especificaciones facilitadas por el fabricante para el calibrador multifunción. Normalmente estas especificaciones garantizan que si el calibrador funciona en un margen de temperatura determinado (por ejemplo, entre 18°C, y 28°C), con una tensión de alimentación determinada (por ejemplo: 230 V  $\pm$  10 %) y habiendo transcurrido un período de tiempo determinado (por ejemplo un año) desde la última calibración, las señales generadas coincidirán con las indicadas en la pantalla del calibrador dentro de un margen máximo de diferencias, que denominaremos especificaciones (espec.). Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto (espec.) por  $\sqrt{3}$ .

Es posible realizar un estudio detallado de alguna de las contribuciones anteriores (por ejemplo, la deriva) y considerar esta contribución de forma independiente.

a.5. Corrección de la señal aplicada por el calibrador debida al error durante la calibración del mismo  $\delta V_{SE}$

Existen varios planteamientos a la hora de considerar las correcciones de las tensiones generadas por el calibrador indicadas en el certificado de calibración del mismo. El primero, aconsejado por la referencia [6], consiste en aplicar en cada punto las correcciones correspondientes, utilizando la información del certificado de calibración, con lo cual no se incrementa la incertidumbre; este planteamiento es el seguido en la tabla adjunta que expresa el balance de las componentes de la incertidumbre en a.6.

Un segundo planteamiento consiste en realizar el cálculo y asignación de incertidumbres sin considerar esta corrección y sumar aritméticamente el valor absoluto de esta corrección para obtener un límite superior de la incertidumbre.

Una tercera posibilidad se da cuando los errores certificados del calibrador patrón son pequeños en comparación con sus especificaciones, en cuyo caso se puede considerar que la incertidumbre debida a las correcciones no realizadas está englobada en la que considera las especificaciones que es la componente descrita en a. 4. Si se aplica esta posibilidad el laboratorio debe garantizar mediante un estudio de la evolución de las derivas en calibraciones sucesivas que los errores certificados previstos para la próxima calibración seguirán siendo menores que las especificaciones, para lo cual será necesario en ocasiones el ajuste del calibrador.

a.6. Balance de las componentes:

Los coeficientes de sensibilidad se calculan como las derivadas parciales de  $e_x$  respecto a cada una de las magnitudes evaluadas en el punto de calibración considerado. Siempre que se utilice el procedimiento de calibración descrito estos coeficientes tomarán los valores indicados en el cuadro y no intervienen en la estimación de incertidumbres, al tomar valores de +1, y -1.

$$u_i(y) = |c_i| \cdot u(x_i)$$

Magnitud, $X_i$	Mejor valor estimado de la magnitud $x_i$	Incertidumbre típica, ( $k=1$ ) $u(x_i)$	Distribución de probabilidad considerada	Coefficiente de sensibilidad, $c_i$	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
$V_{ix} - V_{ix0}$	media de los valores de $(V_{ix} - V_{ix0})$	$s(V_{ix}) / \sqrt{5}$	normal	$c_1 = 1,0$	$u_1(y) = s(V_{ix}) / \sqrt{5}$
$V_S$	$V_S$	$U_{certi.} / k_{certi.}$	normal	$c_2 = -1,0$	$u_2(y) = U_{certi.} / k_{certi.}$
$\delta V_{ix}$	0	Res. / $\sqrt{3}$	rectangular	$c_3 = 1,0$	$u_3(y) = \text{Res.} / \sqrt{3}$
$\delta V_{ix0}$	0	Res. / $\sqrt{3}$	rectangular	$c_4 = -1,0$	$u_4(y) = \text{Res.} / \sqrt{3}$
$\delta V_S$	corrección certificada según certificado del calibrador	espec. / $\sqrt{3}$	rectangular	$c_5 = -1,0$	$u_5(y) = \text{espec.} / \sqrt{3}$
$e_x$	--	--	--	--	$u(e_x)$

Para las medidas en tensión alterna, intensidad y resistencia a cuatro hilos  $\delta V_{ix0}$  no interviene en el cálculo de incertidumbres, ya que no está incluida en la expresión del error  $e_x$ .

Cálculo de la incertidumbre expandida final (con factor de cobertura  $k=2$ ).

Considerando que todas las variables de entrada son independientes, que por tanto no es necesario tener en cuenta los coeficientes de correlación, y aplicando la expresión de propagación de varianzas de la referencia [4], y teniendo en cuenta que se han realizado las correcciones debidas a efectos sistemáticos conocidos (en este caso corrección del error del calibrador indicado en su certificado de calibración), la incertidumbre expandida tiene la siguiente expresión:

$$U = k \cdot u(e_x) = k \sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y) + u_4^2(y) + u_5^2(y)}$$

Si no se realiza la corrección debida al certificado de calibración un límite superior de la incertidumbre de calibración se hallaría sumando aritméticamente el valor absoluto del error no corregido debido al certificado con la incertidumbre indicada anteriormente:

$$U' = U + |\delta V_S|$$

En este caso para calcular el error de indicación del multímetro a calibrar se consideraría como cero el valor de la corrección  $\delta V_S$

Para explicar el cálculo a realizar se tomarán dos ejemplos, un primer ejemplo en el que no existe variación en la indicación del multímetro a calibrar, y un segundo en el que sí existe una variación. En la práctica la variación de las lecturas no se presenta en la calibración de multímetros digitales de 3 ½ dígitos de un cierto nivel de calidad. Sin embargo, sí que es habitual esta variación en multímetros de 5 ½ dígitos cuando se realiza la calibración en tensión alterna.

### 6.1.1 Cálculo de incertidumbres cuando no existe variación en la indicación del multímetro.

#### a) Datos de partida.

Se está realizando la calibración en tensión continua de un multímetro digital de 3 ½ dígitos. La calibración se realiza a una temperatura de  $23 \pm 5$  °C en la sala de metrología de una empresa de fabricación de componentes electrónicos. La tensión de alimentación de red se mantiene dentro de los límites de  $230 \text{ V} \pm 10 \%$ , durante toda la calibración.

Inicialmente se realizó el ajuste del cero del multímetro aplicando un cortocircuito en los bornes de entrada del multímetro y se obtuvo una lectura de 0,0 V.

Se aplicó a continuación una tensión de 100 V con el calibrador multifunción usando cables de conexión adecuados. La indicación en la pantalla del multímetro fue de 100,1 V sin existir ninguna variación en el valor de la lectura una vez transcurrido el breve transitorio de conexión del calibrador.

El certificado de calibración del calibrador indica que la tensión generada coincide con el valor seleccionado en pantalla, con una desviación o error de +0,003 V siendo la incertidumbre de calibración del certificado para el punto de 100 V de 0,002 V (con un factor de cobertura  $k=2$ ).

#### b) Determinación del error asociado a la calibración.

El error  $e_x$  de la indicación obtenida en el multímetro a calibrar se obtiene como:

$$e_x = V_{ix100} + \delta V_{ix100} - (V_{ix0} + \delta V_{ix0}) - (V_{s100} + \delta V_s)$$

donde:

$V_{ix100}$ : indicación del multímetro cuando se aplican 100 V con el calibrador

$V_{ix0}$ : indicación del multímetro cuando se aplica un cortocircuito en su entrada

$\delta V_{ix100}$ : corrección debida a la resolución finita del multímetro en 100 V

$\delta V_{ix0}$ : corrección debida a la resolución finita del multímetro en 0 V

$V_{s100}$ : tensión aplicada por el calibrador cuando se seleccionan 100 V

$\delta V_s$ : corrección de la tensión aplicada por el calibrador debida a múltiples efectos

$$\delta V_s = \delta V_{SD} + \delta V_{SC} + \delta V_{ST} + \delta V_{SP} + \delta V_{SL} + \delta V_{ST} + \delta V_{S100}$$

donde:

$\delta V_{SD}$ : corrección en la tensión del calibrador por la deriva desde su última calibración

$\delta V_{SC}$ : corrección en la tensión del calibrador debida a su falta de linealidad

$\delta V_{ST}$ : corrección en la tensión del calibrador debida a la temperatura de funcionamiento

$\delta V_{SP}$ : corrección en la tensión del calibrador por variaciones en la tensión de alimentación

$\delta V_{SL}$ : corrección en la tensión del calibrador por los efectos de carga del multímetro

$\delta V_{ST}$ : corrección debida a la estabilidad del calibrador

$\delta V_{S100}$ : corrección de la tensión aplicada por el calibrador debida a su error de calibración

c) Asignación de las componentes de la incertidumbre.

c.1. Incertidumbre de calibración del patrón en el punto de 100 V:  $V_{S100}$

La incertidumbre de calibración del calibrador es de 0,002 V (con  $k=2$ ). Por lo tanto la incertidumbre típica será de 0,001 V (con  $k=1$ )

c.2. Resolución del multímetro a calibrar en 100 V y en 0 V:  $\delta V_{IX100}$ ,  $\delta V_{IX0}$

En ambos casos, considerando el máximo error posible que se puede cometer debido a la resolución del multímetro como  $\pm 0,5$  veces el último dígito, tendrá un valor de  $\pm 0,05$  V.

c.3. Correcciones en la salida del calibrador:  $\delta V_{SD}$ ,  $\delta V_{SC}$ ,  $\delta V_{ST}$ ,  $\delta V_{SP}$ ,  $\delta V_{SL}$

Debido a que normalmente no es posible conocer cada una de las correcciones anteriores las componentes de incertidumbre asociadas a estos factores se pueden derivar de las especificaciones facilitadas por el fabricante para el calibrador multifunción. Habitualmente estas especificaciones garantizan que si el calibrador funciona en un margen de temperatura determinado (por ejemplo, entre 18°C, y 28°C), con una tensión de alimentación determinada (por ejemplo: 230 V  $\pm$  10 %), y habiendo transcurrido un período de tiempo determinado (por ejemplo un año) desde la última calibración, las tensiones generadas coincidirán con las indicadas en la pantalla del calibrador dentro de un margen máximo de diferencias (por ejemplo el  $\pm 0,01\%$ ). Es posible realizar un estudio detallado de alguna de las contribuciones anteriores (por ejemplo, la deriva) y considerar esta contribución de forma independiente.

c.4. Corrección de la tensión aplicada por el calibrador debida al error durante la calibración:  $\delta V_{S100}$

Existen dos posibles planteamientos a la hora de considerar las correcciones de las tensiones generadas por el calibrador indicadas en el certificado de calibración del mismo. El primero, aconsejado por la referencia [6], consiste en aplicar en cada punto las correcciones correspondientes iguales a los errores indicados en el certificado de calibración, pero cambiando el signo, con lo cual no se incrementa la incertidumbre; este planteamiento es el seguido en la tabla adjunta del subapartado c.5. Un segundo planteamiento consiste en realizar el cálculo y asignación de incertidumbres sin considerar esta corrección, y sumar aritméticamente el valor absoluto de esta corrección para obtener un límite superior de la incertidumbre.

c.5. Balance de las componentes:

Magnitud, $X_i$	Mejor valor estimado de la magnitud $x_i$	Incertidumbre típica, ( $k=1$ ) $u(x_i)$	Distribución de probabilidad considerada	Coficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
$V_{IX100} - V_{IX0}$	100,1 V	--	--	--	
$V_{S100}$	100,0 V	0,002 / 2 V	normal	$c_1 = -1,0$	$u_1(y) = 0,001V$
$\delta V_{IX100}$	0,0 V	0,05/ $\Omega$ 3 V	rectangular	$c_2 = 1,0$	$u_2(y) = 0,029V$
$\delta V_{X0}$	0,0 V	0,05/ $\Omega$ 3 V	rectangular	$c_3 = -1,0$	$u_3(y) = 0,029V$
$\delta V_S$	-0,003 V	0,01/ $\Omega$ 3 V	rectangular	$c_4 = -1,0$	$u_4(y) = 0,0058V$
$e_X$	+ 0,097 V	--	--	--	$u(e_X) = 0,041V$

Los coeficientes de sensibilidad se calculan como las derivadas parciales de  $e_x$  respecto de cada una de las magnitudes evaluadas en el punto de calibración considerado. Siempre que se utilice el procedimiento de calibración descrito estos coeficientes tomarán los valores indicados en el cuadro y no intervienen en la estimación de incertidumbres, al tomar valores de +1 y -1.

$$u_i(y) = \frac{1}{2} \cdot c_i \cdot \frac{1}{2} \cdot u(x_i)$$

Cálculo de la incertidumbre expandida final (con factor de cobertura  $k=2$ ).

Considerando que todas las variables de entrada son independientes, y que por tanto no es necesario tener en cuenta los coeficientes de correlación, y aplicando la expresión de propagación de varianzas de la referencia [4], y teniendo en cuenta que se han realizado las correcciones debidas a efectos sistemáticos conocidos (error del calibrador indicado en su certificado de calibración), la incertidumbre expandida sigue la siguiente expresión:

$$U = k u(e_x) = k \sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y) + u_4^2(y)}$$

$$U = k \cdot u(e_x) = 2 \cdot 0,041 \text{ V} = 0,082 \text{ V}$$

Si no se realiza la corrección debida al certificado de calibración un límite superior de la incertidumbre de calibración se hallaría sumando aritméticamente el valor absoluto del error no corregido debido al certificado con la incertidumbre indicada anteriormente:

$$U = 0,082 \text{ V} + \frac{1}{2} \text{ dVs} \cdot \frac{1}{2} = 0,085 \text{ V}$$

Con este segundo enfoque para calcular el error de indicación del multímetro a calibrar se consideraría como cero el valor de la corrección  $\delta V_s$  y como consecuencia  $e_x = + 0,1 \text{ V}$ .

d) Expresión del resultado de la calibración.

El error de indicación del multímetro calibrado para un valor de prueba de 100 V en tensión continua es el siguiente:

$$e_x = (0,097 \pm 0,082) \text{ V} \quad (k=2)$$

La incertidumbre de calibración indicada corresponde a una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura de  $k=2$ , que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95 % aproximadamente.

Aplicando el segundo planteamiento considerado en cuanto a la corrección  $\delta V_s$  se tendría:

$$e_x = (0,1 \pm 0,085) \text{ V} \quad (k=2)$$

En función del análisis realizado un límite superior de la incertidumbre, sin aplicar correcciones por calibración del calibrador podría calcularse considerando la resolución del multímetro a calibrar ( $\pm 1$  dígito de la última cifra significativa de la indicación del multímetro) como una contribución que se suma aritméticamente al resultado final del cálculo de incertidumbres, y sumando aritméticamente el valor absoluto de  $\delta V_s$ .

$$U = k \sqrt{u_1^2(y) + u_4^2(y)} + 1 \text{ dígito} + |\delta V_s|$$

$$U = 2 \cdot 0,006 \text{ V} + 1 \text{ dígito} + 0,003 \text{ V} = 0,015 \text{ V} + 1 \text{ dígito}$$

$$e_x = 0,1 \text{ V} \pm (0,015 \text{ V} + 1 \text{ dígito})$$

### 6.1.2 Cálculo de incertidumbres cuando sí existe variación en la indicación del multímetro.

#### a) Datos de partida

Se está realizando la calibración en tensión alterna a 10 kHz de un multímetro digital de 5 ½ dígitos. La calibración se realiza a una temperatura de  $23 \pm 5$  °C en la sala de metrología de una empresa de fabricación de componentes electrónicos. La tensión de alimentación de red se mantiene dentro de los límites de  $230 \text{ V} \pm 10 \%$  durante toda la calibración.

En tensión alterna no existe ajuste de cero del multímetro, al contrario que en continua. Para la calibración se aplicó una tensión de 100 V a 10 kHz con el calibrador multifunción usando cables de conexión adecuados. Las indicaciones obtenidas en la pantalla del multímetro fueron las siguientes:

- 100,083 V
- 100,077 V
- 100,079 V
- 100,082 V
- 100,080 V

El certificado de calibración del calibrador indica que las tensiones generadas coinciden con el valor seleccionado en pantalla (por lo tanto la corrección debida al certificado de calibración del calibrador sería nula), siendo la incertidumbre de calibración del certificado para el punto de 100 V a 10 kHz de 0,012 V con un factor de cobertura  $k=2$ .

#### b) Determinación del error asociado a la calibración.

El error  $e_x$  de la indicación obtenida en el multímetro a calibrar se obtiene como:

$$e_x = V_{ix100} + \delta V_{ix100} - (V_{s100} + \delta V_s)$$

$V_{ix100}$ : indicación del multímetro cuando se aplican 100 V a 10 kHz con el calibrador

$\delta V_{ix100}$ : corrección debida a la resolución finita del multímetro en 100 V

$V_{s100}$ : tensión aplicada por el calibrador cuando se seleccionan 100 V a 10 kHz

$\delta V_s$ : corrección de la tensión aplicada por el calibrador debida a los mismos efectos indicados en el ejemplo anterior

#### c) Asignación de las componentes de la incertidumbre.

##### c.1. Incertidumbre por no repetibilidad del multímetro: $V_{ix100}$

Las lecturas están tomadas en las mismas condiciones de medida. Se calcularán los estimadores estadísticos que caracterizan la dispersión de los resultados obtenidos (ver capítulo 3 de definiciones).

Media aritmética de los valores de  $V_{ix100} = 100,080 \text{ V}$

Desviación estándar experimental:  $s(V_{ix100}) = 0,0024 \text{ V}$

Desviación estándar experimental de la media =  $u(V_{ix100}) = s(V_{ix100}) / \sqrt{5} = 0,001 \text{ V}$

##### c.2. Incertidumbre de calibración del patrón en el punto de 100 V a 10 kHz: $V_{s100}$

La incertidumbre de calibración del calibrador es de 0,012 V (con  $k=2$ ). Por lo tanto la incertidumbre típica será de 0,006 V (con  $k=1$ )

c.3. Resolución del multímetro a calibrar en 100 V a 10 kHz:  $\delta V_{ix100}$

Considerando el máximo error posible que se puede cometer debido a la resolución del multímetro como  $\pm 0,5$  veces el último dígito, se tendrá que en valor absoluto es  $\pm 0,0005$  V.

c.4. Correcciones en la salida del calibrador:  $\delta V_s$

Debido a que no es posible conocer normalmente cada una de las correcciones anteriores, las componentes de incertidumbre asociadas a estos factores se pueden derivar de las especificaciones facilitadas por el fabricante para el calibrador multifunción. Normalmente estas especificaciones garantizan que si el calibrador funciona en un margen de temperatura determinado (por ejemplo, entre 18°C, y 28°C), con una tensión de alimentación determinada (por ejemplo, 230 V  $\pm$  10%), y habiendo transcurrido un período de tiempo determinado (por ejemplo un año) desde la última calibración, las tensiones generadas coincidirán con las indicadas en la pantalla del calibrador dentro de un margen máximo de diferencias (por ejemplo el  $\pm 0,04\%$  =  $\pm 0,04$  V para una frecuencia de 10 kHz). Es posible realizar un estudio detallado de alguna de las contribuciones anteriores (por ejemplo la deriva) y considerar esta contribución de forma independiente.

En este caso al no existir correcciones debidas al certificado de calibración  $\delta V_s$  toma un valor de cero.

c.5. Balance de las componentes:

Magnitud, $X_i$	Mejor valor estimado de la magnitud $x_i$	Incertidumbre típica (k=1) $u(x_i)$	Distribución de probabilidad considerada	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la incertidumbre $u_i(y)$
$V_{ix100}$	100,080 V	0,001 V	normal	$c_1 = 1,0$	$u_1(y) = 0,001$ V
$V_{s100}$	100,000 V	0,012 / 2 V	normal	$c_2 = - 1,0$	$u_2(y) = 0,006$ V
$\delta V_{ix100}$	0,0 V	0,0005 / $\sqrt{3}$ V	rectangular	$c_3 = 1,0$	$u_3(y) = 0,00029$ V
$\delta V_s$	0,0 V	0,040 / $\sqrt{3}$ V	rectangular	$c_4 = - 1,0$	$u_4(y) = 0,023$ V
$e_x$	+ 0,080 V	--	--	--	$u(e_x) = 0,024$ V

Son aplicables las mismas observaciones que en el ejemplo anterior. Además en caso de que la contribución  $u_i(y)$  debida a la no repetibilidad de las medidas fuera mayor que el resto de contribuciones señaladas habría que tener en cuenta en el cálculo el Apéndice E de la guía EAL-R2 sobre grados efectivos de libertad. Afortunadamente este hecho no se suele presentar en la práctica y no es necesario por tanto aplicar el mencionado Apéndice E.

Cálculo de la incertidumbre expandida final (con factor de cobertura k=2)

Considerando que todas las variables de entrada son independientes y que por tanto no es necesario tener en cuenta los coeficientes de correlación, y aplicando la expresión de propagación de varianzas de la referencia [4], se tiene para la incertidumbre expandida:

$$U = k u(e_x) = k \sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y) + u_4^2(y)}$$

$$U = k \cdot u(e_x) = 2 \cdot 0,024 \text{ V} = 0,048 \text{ V} \quad (k = 2)$$

d) Expresión del resultado de la calibración:

El error de indicación del multímetro calibrado para un valor de prueba de 100 V a 10 kHz es el siguiente:

$$e_x = (0,080 \pm 0,048) \text{ V} \quad (k=2)$$

La incertidumbre de calibración indicada corresponde a una incertidumbre típica multiplicada por un factor de cobertura de  $k=2$  que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95% aproximadamente.

En este ejemplo las componentes debidas a la no repetibilidad de las indicaciones del multímetro a calibrar y a la resolución del multímetro a calibrar son despreciables frente al resto de contribuciones y se obtendría el mismo resultado si no se consideraran.

## 6.2. Interpretación de resultados

Se deberán establecer en función del uso previsto para el multímetro unos límites de tolerancia a partir de los cuales se realizará el ajuste del instrumento o se limitará el uso del multímetro. Se procederá al ajuste cuando la desviación obtenida sea mayor que el límite de tolerancia establecido disminuido en la incertidumbre de calibración.

Una vez terminada la calibración, incluyendo en su caso los ajustes necesarios, se determinarán los errores asociados a la calibración final en cada uno de los puntos; se determinará si dichos errores son inferiores al límite de tolerancia disminuido en la incertidumbre de calibración, y si es así el multímetro se destinará de nuevo a su uso planificado. En caso contrario se reparará o se estudiará la posibilidad de su empleo en una nueva aplicación que admita una tolerancia de uso mayor.

Un período de tiempo razonable para la recalibración de estos instrumentos puede oscilar entre 3 y 12 meses, aunque el intervalo de tiempo a asignar dependerá fundamentalmente de las características técnicas comprobadas del multímetro (por ejemplo, su estabilidad), del uso que se realice del mismo, y de su tolerancia asignada. El usuario del equipo será siempre el responsable de asignar el período de recalibración y de revisarlo cuando sea preciso, considerando, por ejemplo, los resultados obtenidos con respecto a las calibraciones anteriores y a las tolerancias consideradas.

## 7. REFERENCIAS

### 7.1. Documentos necesarios para realizar la calibración.

- Manual de funcionamiento del multímetro a calibrar.
- Manual de funcionamiento del calibrador multifunción.

### 7.2. Otras referencias para consulta.

- [1] Clasificación de instrumentos de Metrología Eléctrica. 2ª Edición. SCI-Ministerio de Industria y Energía. Diciembre 1994.
- [2] Norma UNE-EN ISO 10012:2003. Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. (ISO 10012:2003)
- [3] EA-10/15. EA Guidelines for the Calibration and Certification of digital multimeters. January 2001.
- [4] EA-4/02 (antigua EAL-R2). Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. December 1999.



- [5] Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración. MINER-CEM. Edición 0. 1997.
- [6] “Guía para la Expresión de la Incertidumbre de la Medida”. Versión Española. 3ª Edición. Tres Cantos. Centro Español de Metrología. Septiembre 2008. (3ª edición 2009, en Español)
- [7] International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM). JCGM 200:2008.

## 8. ANEXOS

### EJEMPLO DE TABLAS CON LOS PUNTOS DE CALIBRACIÓN

En este anexo se indican los puntos en los que es necesario realizar la calibración de un multímetro digital de 3 ½ dígitos comercial tomando como información de partida los rangos de medida indicados en el manual de funcionamiento. Los puntos de medida se han seleccionado con el objeto de ilustrar los criterios indicados en el apartado 5.3.2.

**Tabla 3: Calibración en tensión continua**

RANGO	RESOLUCIÓN	VALORES DE PRUEBA				
3,2 V	0,001 V	0,300 0 V	3,000 V	- 3,000 V		
32 V	0,01 V	3,000 V	15,00 V	30,00 V	- 15,00 V	- 30,00 V
320 V	0,1 V	30,00 V	300,0 V	- 300,0 V		
1 000 V	1 V	100,0 V	950,0 V	- 950,0 V		

**Tabla 4: Calibración en intensidad continua**

RANGO	RESOLUCIÓN	VALORES DE PRUEBA				
32 mA	0,01 mA	30,00 mA				
320 mA	0,1 mA	300,0 mA	- 300,0 mA			
10 A	0,01 A	5,000 A	9,900 A			

**Tabla 5: Calibración en resistencia**

RANGO	RESOLUCIÓN	VALORES DE PRUEBA		
320 $\Omega$	0,1 $\Omega$	0 $\Omega$	100,0 $\Omega$	
3 200 $\Omega$	1 $\Omega$	1 000 $\Omega$		
32 k $\Omega$	0,01 k $\Omega$	10,00 k $\Omega$		
320 k $\Omega$	0,1 k $\Omega$	100,0 k $\Omega$		
3,2 M $\Omega$	0,001 M $\Omega$	1,000 M $\Omega$		
32 M $\Omega$	0,01 M $\Omega$	10,00 M $\Omega$		

**Tabla 6: Calibración en tensión alterna**

RANGO (45 Hz-1 kHz)	RESOLUCIÓN	VALORES DE PRUEBA			
3,2 V	0,001 V	3,000 V-50 Hz	3,000 V-1 kHz		
32 V	0,01 V	3,000 V-50 Hz	15,00 V-50 Hz	30,00 V-50 Hz	30,00 V-1 kHz
320 V	0,1 V	300,0 V-50 Hz	300,0 V-1 kHz		
750 V	1 V	700 V-50 Hz	700 V-1 kHz		

**Tabla 7: Calibración en intensidad alterna**

<b>RANGO (45 Hz-1 kHz)</b>	<b>RESOLUCIÓN</b>	<b>VALORES DE PRUEBA</b>	
32 mA	0,01 mA	30,00 mA-50 Hz	30,00 mA-1 kHz
320 mA	0,1 mA	300,0 mA-50 Hz	300,0 mA-1 kHz
10 A	0,01 A	9,500 A-50 Hz	9,500 A-1 kHz

# Metrología

NIPO: 113-20-002-9