

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTIMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS) INM/GTM EM-CCA/01

Bogotá

Fecha publicación (2019-07-04)

Versión No. 1

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

CONTENIDO

1. OBJETIVO.....	5
2. ALCANCE	5
3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS	5
4. DEFINICIONES	6
5. GENERALIDADES	8
6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	8
6.1. Método de calibración	8
6.2 Equipos y materiales	9
6.3. Condiciones ambientales	9
6.4. Proceso de calibración	9
6.4.1 Secuencias de calibración	9
6.4.2 Definición de los puntos de medida.....	10
6.4.3 Conexiones y realización de las medidas.....	12
6.4.4 Medición de tensión continua y alterna.....	13
6.4.5 Medición de Intensidad de corriente continua y alterna.....	13
6.4.6 Medición de resistencia.....	13
6.4.7 Medición de capacitancia	15
6.4.8 Medición de frecuencia	15
6.5. Estimación de la incertidumbre de medición	15
6.5.1. Fuentes de incertidumbre de medición	16
6.5.1.1 Incertidumbre por repetibilidad del IBC uVx	16
6.5.1.2 Incertidumbre por resolución del IBC $u\delta Vx$	16
6.5.1.3 Incertidumbre de calibración del patrón $u(VS)$	16
6.5.1.4 Incertidumbre instrumental del patrón “especificaciones del fabricante” $u(\delta VS)$	17
6.5.1.5 Incertidumbre combinada	17
6.5.2. Incertidumbre expandida de medición.	17
6.6. Presentación de los resultados	19
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20
8. ANEXOS	20

PRESENTACIÓN

Esta guía es el resultado del trabajo conjunto entre el Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM, miembros de la Red Colombiana de Metrología - RCM (Grupos de Trabajo por Magnitud) y el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia – ONAC con el fin armonizar métodos de calibración y propender por la uniformidad y coherencia en criterios técnicos mínimos a emplear por los laboratorios de calibración y usuarios de estos métodos. Esta guía presenta metodologías reconocidas internacionalmente y se ha elaborado recogiendo el conocimiento y la experiencia de los miembros del equipo de trabajo, de tal forma que pueda ser usada como base para la elaboración de procedimientos e instructivos prácticos por parte de los laboratorios de calibración y ensayo.

En este sentido lo consignado en esta guía se constituye en un referente para:

- a. El Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC.
- b. Los laboratorios de calibración y ensayo que involucren los métodos o criterios técnicos consignados en esta guía.
- c. Los laboratorios internos de las organizaciones o fabricantes que requieran el uso de estos métodos de calibración o criterios técnicos.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

EQUIPO DE TRABAJO

Este documento fue elaborado en el espacio del Grupo Técnico por Magnitud de Corriente Continua y Alterna de la Red Colombiana de Metrología. Para el desarrollo del documento se contó con la participación de los profesionales Alexander Martínez López, Mauricio Sáchica Avellaneda y Nelson Duvan Vargas Sáenz del Instituto Nacional de Metrología de Colombia – INM. También participó el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC y los laboratorios de calibración que han desarrollado las magnitudes relacionadas y que han participado en las reuniones del grupo técnico.

REVISIÓN

Mesa de Trabajo Técnico Científico de la Subdirección de Metrología Física.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

1. OBJETIVO

Proporcionar lineamientos para la calibración de multímetros digitales (MD), con el fin de mejorar la compatibilidad de los resultados de calibración obtenidos por los laboratorios que calibran este tipo de instrumentos.

2. ALCANCE

Los instrumentos referidos como multímetros digitales (MD) con resolución menor o igual a 50 000 cuentas (4 5/6 dígitos) a los que se refiere esta guía se emplean para medir las siguientes magnitudes e intervalos:

- Tensión continua: 0 V a 1000 V
- Tensión alterna: 10 mV a 1000 V (frecuencia de 10 Hz a 1 MHz).
- Intensidad de corriente continua: 0 A a 20 A
- Intensidad de corriente alterna: 1 mA a 20 A (10 Hz a 30 kHz)
- Resistencia: 0 Ω a 100 M Ω
- Capacitancia: 190 pF a 110 mF
- Frecuencia: 0.01 Hz a 2 MHz

Los lineamientos dados pueden ser usados también para instrumentos digitales que miden una o varias de las magnitudes mencionadas arriba, siempre y cuando cumplan con los requisitos de este documento, pero no aplica para instrumentos de panel, analógicos o instrumentos desarrollados para aplicaciones especiales (1).

La aplicación de la presente guía se limita a la calibración de multímetros digitales mediante el uso de calibradores multifunción como patrones (2).

3. ABREVIATURAS, SIGLAS Y SÍMBOLOS

Abreviatura, siglas y símbolos	Descripción
E	Error
$\bar{V}_x$	Promedio de las indicaciones del multímetro
δV_x	Corrección por resolución
V_s	Valor del patrón (certificado de calibración)

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Abreviatura, siglas y símbolos	Descripción
δV_s	Corrección por especificaciones del fabricante del patrón
$u(\bar{V}_x)$	Incertidumbre estándar por repetibilidad del IBC
$s(\bar{V}_x)$	Desviación estándar
n	Número de repeticiones
$u(\delta V_x)$	Incertidumbre estándar por resolución del IBC
$u(V_s)$	Incertidumbre estándar por calibración del patrón
U	Incertidumbre expandida
k	Factor de cobertura
$u(\delta V_s)$	Incertidumbre estándar del patrón por especificaciones del fabricante
u_c	Incertidumbre combinada
$\frac{\partial f}{\partial x_i}$	Coeficiente de sensibilidad
ν_{eff}	Grados efectivos de libertad
ν_i	Grados de libertad de la fuente de incertidumbre $u(x_i)$
MD	Multímetro digital
IBC	Instrumento bajo calibración

4. DEFINICIONES

Para los propósitos de este documento se aplican las siguientes definiciones tomadas de la referencia (3), además de otras específicas.

EXACTITUD DE MEDIDA. Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando (VIM 2.13 (3)).

El concepto “exactitud de medida” no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

ERROR DE MEDIDA. Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia (VIM 2.16 (3)).

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

INCERTIDUMBRE DE MEDIDA. Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza (VIM 2.26 (3)).

INTERVALO DE COBERTURA. Intervalo que contiene el conjunto de valores verdaderos de un mensurando con una probabilidad determinada, basada en la información disponible (VIM 2.36 (3)).

PROBABILIDAD DE COBERTURA. Probabilidad de que el conjunto de los valores verdaderos de un mensurando esté contenido en un intervalo de cobertura especificado (VIM 2.37 (3)).

CALIBRACIÓN. 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 (VIM 2.39 (3)).

TRAZABILIDAD METROLÓGICA. 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 (VIM 2.41 (3)).

NOTA: La trazabilidad debe indicarse al sistema internacional de unidades y no a una institución particular como un instituto nacional de metrología.

AJUSTE DE UN SISTEMA DE MEDIDA. Conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medida para que proporcione indicaciones prescritas, correspondientes a valores dados de la magnitud a medir (VIM 3.11 (3)).

Dependiendo del instrumento, el ajuste se puede realizar por medio físico sobre algún componente del instrumento o por medio de software del instrumento.

AJUSTE DE CERO DE UN SISTEMA DE MEDIDA. Ajuste de un sistema de medida para que éste proporcione una indicación nula cuando la magnitud a medir tenga valor cero (VIM 3.12 (3)).

RESOLUCIÓN DE UN DISPOSITIVO VISUALIZADOR. Mínima diferencia entre indicaciones visualizadas, que puede percibirse de forma significativa (VIM 4.15 (3)).

NOTA: Para un dispositivo visualizador digital, corresponde al mínimo cambio de la cifra menos significativa.

La resolución de un multímetro digital se expresa muy frecuentemente como un número entero y una fracción, por ejemplo, en un indicador con un número máximo de cuentas igual a 19 999, la resolución se podría expresar como de “4 ½ dígitos”, donde el primer número “4” representa el número de dígitos que pueden variar de 0 a 9; en la fracción ½ el numerador representa el máximo valor que puede tomar el dígito más significativo de la indicación digital, en este caso “1”, el denominador representa el número de posiciones que puede tomar el dígito más significativo, en este caso puede tomar “2” valores 0 y 1.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

INCERTIDUMBRE INSTRUMENTAL. Componente de la incertidumbre de medida que procede del instrumento o sistema de medida utilizado (VIM 4.24 (3)).

Para esta guía la información relativa a la incertidumbre instrumental es la que aparece en las especificaciones del instrumento.

CALIBRADOR. Patrón utilizado en calibraciones (VIM 5.12 (3)).

AUTO CALIBRACIÓN. Proceso interno de ajuste de un instrumento, con el propósito de mejorar su exactitud.

CALIBRADOR MULTIFUNCIÓN. Instrumento que suministra en sus bornes de salida magnitudes eléctricas, tales como: tensión continua, intensidad de corriente continua, tensión alterna, intensidad de corriente alterna, resistencia, capacitancia y otras en distintos intervalos de medida, que son usados para la calibración tanto de multímetros digitales, analógicos y otros instrumentos de medición (2).

FEM TÉRMICA. Fuerza electromotriz generada por la unión de dos materiales conductores diferentes, en presencia de un gradiente de temperatura.

5. GENERALIDADES

La aplicación rigurosa de esta guía debe proporcionar resultados de medición trazables al Sistema Internacional de Unidades SI, entendiendo que la actividad de calibración permite establecer una relación entre los valores de los patrones y las indicaciones del IBC con sus respectivas incertidumbres, de forma tal que el IBC pueda producir resultados de medición válidos a partir de sus indicaciones.

6. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

Antes de iniciar la calibración se realizarán las siguientes actividades:

Estabilidad térmica equipos: Se debe asegurar que se cumpla el periodo de calentamiento indicado por el fabricante para el patrón y el IBC, antes de iniciar el proceso de calibración.

Funcionamiento: Se debe asegurar el funcionamiento adecuado del IBC, de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

6.1. Método de calibración

En términos generales el método de calibración usado para las diferentes magnitudes del alcance de esta guía, es el método directo con el uso de un calibrador multifunción como patrón.

El método de calibración a ser usado debe ser documentado por el laboratorio. Allí se deben indicar las actividades que se realizan antes y durante el proceso de calibración. Se debe brindar especial atención a las operaciones previas indicadas por el fabricante sobre el patrón de medición y el

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

instrumento bajo calibración, como, por ejemplo: ajuste de cero, operaciones de “auto calibración”, medidas a dos o cuatro terminales etc.

Tener en cuenta que los instrumentos bajo calibración se deben calibrar en las condiciones en las cuales se van a operar o en las mejores especificaciones de exactitud del IBC.

6.2 Equipos y materiales

Los siguientes instrumentos de medición y materiales son necesarios para la calibración:

- Calibrador multifunción.
El calibrador patrón debe estar calibrado de acuerdo con el plan de calibración establecido por el laboratorio.

Una relación entre la especificación del IBC y la incertidumbre de calibración de 4:1 es normalmente suficiente. Sin embargo, en algunos casos este requisito puede no cumplirse. El laboratorio deberá esforzarse por reducir el número de puntos de calibración donde esta relación sea menor de 4:1 (1).

- Cables de conexión.
Lo más cortos posible y en buen estado para realizar las conexiones.
- Equipo para medición de temperatura y humedad relativa:
El equipo de medición de temperatura y humedad debe cumplir con los requisitos metrologicos que permitan mantener la trazabilidad metrologica de los valores del calibrador patrón.
- Elementos de limpieza para limpieza de contactos.
Para bornes y puntas de conexión, tales como algodón y alcohol.
- Instrumento bajo calibración.

6.3. Condiciones ambientales

Se debe asegurar que se cumplan las condiciones ambientales apropiadas para que se conserve la trazabilidad de las mediciones, de acuerdo con las condiciones de calibración del patrón y del IBC.

6.4. Proceso de calibración

6.4.1 Secuencias de calibración

El proceso de calibración puede seguir una de las tres secuencias descritas a continuación (1):

- 1) Calibración inicial/ Ajustes/ Calibración final.
- 2) Ajuste / Calibración final.
- 3) Calibración sin ajustes.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

En la secuencia 1), primero se realiza una calibración inicial, y si como consecuencia de esta primera calibración se identifica que el equipo requiere ajuste, se realiza dicho ajuste seguido de una calibración final. Por ejemplo, para esta secuencia, cuando el error en una determinada medición alcance el 70 % con respecto a la especificación del fabricante a un año se puede realizar el ajuste. De esta forma la primera calibración proporciona información del estado del instrumento previo al ajuste. La calibración final documenta el estado del instrumento después de realizar el ajuste (1).

En todos los casos, los ajustes se deben realizar siguiendo el método, los puntos y todas las operaciones indicadas en el manual del fabricante. Los ajustes deben realizarse con autorización del cliente.

La secuencia 2) solamente se debe aplicar cuando el estado del multímetro antes de la calibración no es importante para el usuario, por ejemplo, porque no ha sido sometido a calibraciones periódicas, porque se acaba de reparar, porque es nuevo, porque estaba previamente fuera de uso, etc. Esta secuencia se sigue solo por petición explícita del usuario del multímetro (1).

La secuencia 3) se puede seguir a pedido del cliente incluso cuando el multímetro se encuentra fuera de especificaciones, ya que el usuario puede utilizar factores de corrección deducidos de la calibración y le interesa conservar el historial de comportamiento del instrumento.

Por lo general, el multímetro se debe configurar de forma tal que se obtenga la mejor exactitud de medición. Los patrones y los dispositivos auxiliares deben ser los apropiados para la calibración del multímetro.

Describir las actividades de calibración secuencialmente, los puntos de medida, mediciones y demás factores que se consideren pertinentes para el desarrollo de la calibración.

6.4.2 Definición de los puntos de medida

La definición de los puntos de medición, para la calibración de un multímetro digital debe ser bastante flexible para permitir la aplicación a diferentes marcas y modelos de instrumentos.

Para definir los puntos de medida se debe tener en cuenta el principio de operación del instrumento, esto generalmente se puede hacer considerando los puntos de medición indicados por el fabricante, también se pueden tomar en cuenta los requisitos del cliente.

Un MD típico de los que trata esta guía es un multímetro de uso manual, usado frecuentemente para mediciones en líneas de producción. Para esta categoría de instrumentos, en la tabla 2 se proporciona la lista de puntos de calibración que pueden ser tomados en cuenta, esta lista es suficiente para realizar una calibración completa de un multímetro digital de estas características.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Tabla 2. Puntos de calibración (1)

Magnitud	Puntos de medición ¹	
Tensión Continua	Cero ² , + 10 %, ± 90 %	En todos los intervalos
	± 10 %, + 50 %, ± 90 % ³	En un intervalo intermedio
Corriente Continua	Cero ² , + 90 %	En todos los intervalos
	± 10 %, + 50 % ⁴ , ± 90 %	En un intervalo intermedio
Resistencia	Cero ² , + 10 %, + 90 %	En todos los intervalos
Tensión Alterna	10 %	60 Hz/ 1 kHz ⁵
	10 %, 50 %, 90 %	20 Hz ⁶ , 60 Hz, 1 kHz
	90 %	20 Hz ⁶ , 60 Hz, 1 kHz 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz ⁷
Corriente Alterna	10 %	60 Hz/ 1 kHz ⁵
	90 %	20 Hz, 60 Hz, 1 kHz, 5 kHz ⁷
Otros ⁹	Cero ² , 10%, 90%	En todos los intervalos

También se deben tener en cuenta las siguientes observaciones.

Ajuste en cero. Se deben seguir los procedimientos indicados por el fabricante para el ajuste de cero en tensión continua, intensidad de corriente continua, resistencia y capacitancia.

Se tienen dos clases de ajuste de cero: ajuste de cero del instrumento y ajuste de cero del circuito; este último incluye el instrumento y los cables de medición.

¹ Expresado como porcentaje de la escala completa

² Cero en el intervalo de medición más bajo

³ Por lo menos 5 puntos de medición distribuidos uniformemente

⁴ Para intervalos mayores a 1 A

⁵ Solo un valor de frecuencia

⁶ Si se requiere

⁷ Por lo menos tres valores de frecuencia

⁸ Incluyendo el más bajo

⁹ Por lo menos tres valores de frecuencia

⁹ Incluyendo el más bajo

⁹ Otras funciones tales como capacitancia y frecuencia

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Ajuste de cero del instrumento: para tensión continua se utiliza un corto de baja fem térmica; para corriente continua los bornes de entrada se dejan abiertos; para resistencia a 2 y 4 terminales, se unen los bornes de entrada.

Ajuste de cero del circuito: es relevante para medición de resistencia a dos terminales, donde los cables se colocan en corto y se ejecuta la función de ajuste del multímetro. Si el calibrador dispone de la función de compensación a dos hilos se debe medir utilizando esta función. En el caso de capacitancia el ajuste de cero se realiza con los cables de medición abiertos.

En caso en que el instrumento no disponga de la función de ajuste de cero, se debe incluir la medición en cero.

Linealidad. La linealidad del instrumento se debe evaluar por lo menos en un intervalo intermedio de medición de cada magnitud, usando un número apropiado de puntos de calibración (mínimo cinco puntos), para magnitudes alternas usualmente se realiza a 1 kHz (1).

El valor del 10 % indica el inicio del intervalo de medición, no se recomienda calibrar puntos por debajo del 10 % del intervalo completo de medición (1).

El valor del 90 % indica un punto arbitrario próximo del límite superior del intervalo, 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 % (1).

El valor de frecuencia de 60 Hz está pensado para comprobar el funcionamiento del multímetro a la frecuencia de la red de alimentación de energía eléctrica, aunque el valor de la frecuencia de prueba puede variar entre 40 Hz y 60 Hz. Para instrumentos que se conecten directamente a la red de alimentación, es recomendable no medir a la frecuencia de la red, por ejemplo 60 Hz, con el fin de evitar el acoplamiento con esta frecuencia (1).

El valor de frecuencia de 1 kHz es un valor de frecuencia central, en el cual usualmente el instrumento se ajusta, el valor de prueba real puede variar entre 200 Hz y 1 kHz dependiendo del modelo de multímetro a calibrar (1).

Los valores de frecuencia superiores a 1 kHz son indicativos, la cantidad de valores a medir dependerá de la cantidad de intervalos de frecuencia del multímetro a calibrar, se debe medir en cada banda de frecuencia indicada por las especificaciones del multímetro (1).

Para medición de tensión alterna se debe evitar superar los valores límite de tensión pico y la capacidad del producto tensión frecuencia (1).

6.4.3 Conexiones y realización de las medidas

Se debe tener especial cuidado con los cables de conexión que se usan, se debe garantizar que se encuentren en buen estado y que hagan buen contacto con los terminales del patrón y del IBC.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Elegir la configuración del multímetro que presente las mejores especificaciones, según el manual del fabricante, (que es usualmente la más lenta y con mejor resolución) y seguir las indicaciones del manual para la configuración, esta configuración de medición debe quedar registrada e indicada en el informe o certificado de calibración.

En cada uno de los puntos de calibración se realizarán el número de repeticiones necesarias para obtener un factor de cobertura (k) adecuado que permita expresar la incertidumbre expandida U , de acuerdo con la política para estimación de incertidumbre del laboratorio. Se debe garantizar independencia de las repeticiones.

6.4.4 Medición de tensión continua y alterna

Se deben limpiar todos los bornes y puntas de conexión con un disolvente apropiado, por ejemplo, alcohol isopropílico, para eliminar impurezas y así minimizar las fem térmicas, en especial para bajos valores de tensión continua.

Antes de iniciar las mediciones en tensión continua, se debe realizar un ajuste de cero en el multímetro de acuerdo a las instrucciones del manual del multímetro donde se describe la forma de realizar estos ajustes. Para los multímetros que no dispongan de este tipo de instrucciones, se deben unir las puntas de medición y registrar la lectura la cual se debe indicar en el respectivo informe o certificado de calibración.

Para tensión alterna no es necesario realizar ajuste de cero.

6.4.5 Medición de Intensidad de corriente continua y alterna

Se deben identificar plenamente los bornes de corriente y el intervalo para el cual están habilitados. Para intensidad de corriente continua se realizará el ajuste de cero con los bornes abiertos. Para intensidades de corriente superiores a 2 A, puede ser necesario el uso de un amplificador de transconductancia, esto depende del tipo de calibrador del que se disponga.

Para intensidad de corriente alterna no es necesario realizar ajuste de cero.

6.4.6 Medición de resistencia

Los multímetros de los que trata esta guía en términos generales miden resistencia a dos hilos. Para medición de resistencia algunos calibradores tienen la opción de medir con compensación y sin compensación a 2 hilos.

a) Medidas a dos hilos sin compensación.

En este caso el valor de la resistencia medida por el IBC corresponde al valor de la resistencia que presenta el calibrador, más la resistencia de los dos cables de conexión, más las resistencias de contacto.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Este método es aplicable siempre que la resistencia a medir sea mayor o igual de 10 k Ω ; para valores de resistencia inferiores se recomienda utilizar la compensación del calibrador, aunque algunos calibradores utilizan la compensación por defecto para valores inferiores a 10 k Ω .

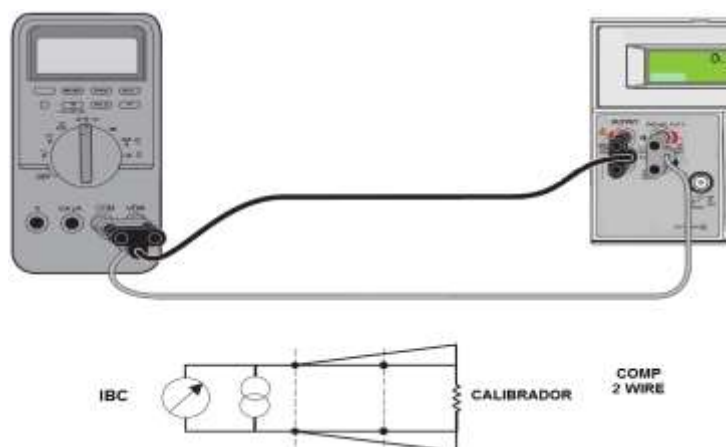
Para este tipo de medición se debe cortocircuitar los cables de conexión y operar la función, rel, null, zero o la que el multímetro disponga para realizar el ajuste del cero. Es importante realizar este ajuste de cero ya que dependiendo del estado de los cables y de la limpieza de los contactos se pueden introducir errores que pueden llegar a las décimas de ohm. Para realizar este ajuste se recomienda consultar el manual del IBC.

Si no es posible realizar el ajuste de cero, esta situación se debe indicar en el informe o certificado y registrar en el mismo el valor indicado en el cero.

b) Medidas 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 conectando 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 k Ω , en que puede usarse el método a).



Se recomienda conectar en el multímetro los cables que inyectan la corriente ("source") encima de los cables de medida de tensión ("sense").

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

6.4.7 Medición de capacitancia

Los multímetros de los que trata esta guía en términos generales miden capacitancia a dos hilos. Para medición de capacitancia algunos calibradores tienen la opción de medir con compensación y sin compensación a 2 hilos. Normalmente la compensación a dos hilos se lleva a cabo en valores mayores o iguales a 110 nF, esta compensación mejora la calidad de las mediciones. Se debe tener presente que dicha compensación en capacitancia permite compensar la resistencia de los cables y los contactos, no la capacitancia de los mismos. Para realizar ajuste de cero en mediciones de capacitancia se deben dejar abiertos los cables de conexión y operar la función, rel, null, zero o la que el multímetro disponga para realizar el respectivo ajuste.

6.4.8 Medición de frecuencia

Los calibradores multifunción normalmente cuentan con la función de generación de señales con un valor de frecuencia caracterizado con cierta incertidumbre instrumental, permitiendo así calibrar dicha función en multímetros digitales. Es importante contar con los conectores y cables adecuados para realizar la medición en frecuencia, esto teniendo en cuenta que algunos calibradores multifunción pueden tener una salida especial tipo coaxial para dicha función.

6.5. Estimación de la incertidumbre de medición

La estimación de incertidumbres se realizará siguiendo los criterios de la GUM (4). En el método directo, la ecuación que relaciona las variables es el error y está dado por la siguiente ecuación (5):

$$E = (\bar{V}_x + \delta V_x) - (V_{x0} + \delta V_{x0}) - (V_s + \delta V_s) \quad [1]$$

Donde:

E	Error
$\bar{V}_x$	Promedio de las indicaciones del multímetro
δV_x	Corrección por resolución
V_{x0}	Valor medido de cero en caso en que el instrumento no disponga de la función de ajuste de cero, este término únicamente aplica para tensión continua, intensidad de corriente continua, resistencia y capacitancia.
δV_{x0}	Corrección por resolución para la indicación del cero en caso en que el instrumento no disponga de la función de ajuste de cero, este término únicamente aplica para tensión continua, intensidad de corriente continua, resistencia y capacitancia.
V_s	Valor corregido del patrón (certificado de calibración)
δV_s	Corrección por incertidumbre instrumental “especificaciones del fabricante” del patrón, este término usualmente considera (5):

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

- (1) Deriva del calibrador desde la última calibración
- (2) Offset, no linealidad del calibrador, ganancia
- (3) Componente por variación temperatura ambiente
- (4) Componente por variación red de alimentación
- (5) Efecto de carga sobre el calibrador por resistencia finita del IBC

6.5.1. Fuentes de incertidumbre de medición

6.5.1.1 Incertidumbre por repetibilidad del IBC $u(\bar{V}_x)$

Se toman repeticiones independientes y al promedio de estas indicaciones del multímetro se asocia la incertidumbre tipo A. La distribución de probabilidad de esta fuente de incertidumbre se considera normal.

$$u(\bar{V}_x) = s(\bar{V}_x)/\sqrt{n} \quad [2]$$

6.5.1.2 Incertidumbre por resolución del IBC $u(\delta V_x)$

Es la incertidumbre por resolución del indicador del multímetro con distribución de probabilidad rectangular y semi-intervalo igual a la resolución dividida por 2.

$$u(\delta V_x) = \frac{\text{resolución}}{2\sqrt{3}} \quad [3]$$

En el caso que se realice corrección por medición de cero se debe considerar la componente de incertidumbre por resolución en dicha medición, la cual se estima de igual forma que la componente de incertidumbre por resolución del IBC, ecuación [3].

6.5.1.3 Incertidumbre de calibración del patrón $u(V_s)$

La incertidumbre de calibración del calibrador corresponde a la incertidumbre del error reportada en el certificado de calibración, para el punto considerado. Puesto que en los certificados se indican incertidumbres expandidas U , con el respectivo factor de cobertura k , para hallar la incertidumbre estándar se tiene:

$$u(V_s) = \frac{U}{k} \quad [4]$$

La distribución de probabilidad de esta fuente de incertidumbre usualmente se considera normal.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

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 intervalo en el que se usa, para aplicar este criterio se puede consultar el apartado F.2.4.5 de la referencia (4).

6.5.1.4 Incertidumbre instrumental del patrón “especificaciones del fabricante” $u(\delta V_S)$

Es la “especificación de exactitud” declarada por el fabricante y si no establece otra cosa, se toma como una distribución rectangular:

$$u(\delta V_S) = \frac{\text{especificación del fabricante}}{\sqrt{3}} \quad [5]$$

Para ciertos calibradores de mayor exactitud, la distribución de probabilidad de esta fuente de incertidumbre puede ser indicada como normal en el manual del fabricante.

6.5.1.5 Incertidumbre combinada

Para este punto se aplica la ley de propagación de incertidumbres para magnitudes de entrada no correlacionadas (4) (5):

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad [6]$$

Los factores $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ son los coeficientes de sensibilidad. Como todos los términos de la ecuación que relaciona las variables son sumandos con coeficientes iguales a $\frac{\partial E}{\partial V_x} = \frac{\partial E}{\partial \delta V_x} = \frac{\partial E}{\partial \delta V_{x0}} = 1$ y $\frac{\partial E}{\partial V_S} = \frac{\partial E}{\partial \delta V_S} = -1$, los cuadrados de todos los coeficientes de sensibilidad valen uno.

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(\bar{V}_x) + u^2(\delta V_x) + u^2(\delta V_{x0}) + u^2(V_S) + u^2(\delta V_S)} \quad [7]$$

6.5.2. Incertidumbre expandida de medición.

Para multímetros de las características indicadas en el alcance de esta guía, se puede presentar el caso que una de las componentes de incertidumbre con distribución de probabilidad rectangular sea dominante frente a las demás, este puede ser el caso de la fuente de incertidumbre por resolución del indicador del multímetro $u(\delta V_x)$, suponiendo que esta incertidumbre sea mayor que las otras fuentes, para definir si es dominante se utilizará el siguiente criterio (5):

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

$$\text{Si } \frac{\sqrt{u^2(\bar{V}_x) + u^2(V_S) + u^2(\delta V_S)}}{u(\delta V_x)} \leq 0.3 \quad [8]$$

Cuando se cumpla este criterio la incertidumbre expandida se puede calcular multiplicando la incertidumbre combinada por un factor igual a 1.65 para una probabilidad de cobertura del 95 % (1) (5).

$$U = 1.65 u_c(E) \quad [9]$$

Este caso también puede darse cuando la fuente de incertidumbre por las especificaciones de fabricante del calibrador $u(\delta V_S)$, tienen distribución de probabilidad rectangular y es dominante con respecto a las demás fuentes de incertidumbre.

Si el criterio de la ecuación [8] no se cumple, se debe estimar los grados efectivos de libertad de la incertidumbre combinada de acuerdo a la fórmula de Welch-Satterthwaite (4):

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(E)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(E)}{\nu_i}} \quad [10]$$

Para el uso de la ecuación [10] es necesario determinar los grados de libertad de cada una de las distribuciones que intervienen en la incertidumbre combinada, para las incertidumbres tipo A, los grados de libertad se calculan como $n-1$ donde n es el número de repeticiones en un punto; para las incertidumbres tipo B, se asignan grados de libertad de acuerdo al nivel de inseguridad que se tenga de la misma de acuerdo a la siguiente ecuación (4):

$$\nu_i = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2} \quad [11]$$

El término $\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)}$ es el nivel de inseguridad, expresada en forma relativa, que se tiene sobre la incertidumbre tipo B que se evalúa. Cuando se tiene un nivel de inseguridad de 0.05, es decir del 5 %, el valor de los grados de libertad es igual a 200. Este porcentaje se escoge de acuerdo a la experiencia

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

y conocimiento que se tenga del tipo de incertidumbre. En la tabla siguiente se presentan algunos valores de los grados de libertad, para diferentes niveles de inseguridad en incertidumbres tipo B.

TABLA 3. Grados de Libertad

Nivel de inseguridad	Grados de libertad
1 %	5000
5 %	200
10 %	50
20 %	12.5

A partir de los grados efectivos de libertad se determina el factor de cobertura k , para el cual se logra una probabilidad de cobertura del 95.45 %, con lo cual la incertidumbre expandida se obtiene de acuerdo con:

$$U = k \cdot u_c(E) = k \cdot \sqrt{u^2(\bar{V}_x) + u^2(\delta V_x) + u^2(\delta V_{x0}) + u^2(V_s) + u^2(\delta V_s)} \quad [12]$$

En el anexo 1 se presenta un ejemplo para un presupuesto de incertidumbres.

6.6. Presentación de los resultados

El certificado o informe de calibración debe cumplir con los requisitos indicados en ISO/IEC 17025. Los resultados se deben presentar de manera exacta, clara, inequívoca y objetiva. Se debe incluir toda información necesaria para la interpretación de los resultados de medición y una descripción del método utilizado (6).

En los resultados de calibración para cada magnitud, se debe indicar claramente las condiciones de medición del IBC, se deben incluir las condiciones ambientales que influyen en la validez de los resultados de medición.

Para cada punto de calibración se deben registrar los siguientes datos con sus respectivas unidades:

- Intervalo de Medición
- Indicación promedio del IBC
- Valor aplicado con el calibrador
- Error en cada punto (diferencia entre la indicación del IBC y el valor aplicado por el patrón).
- Factor de cobertura (k) para la probabilidad de cobertura del 95.45 %
- Incertidumbre expandida (U)

La incertidumbre expandida se debe reportar con dos cifras significativas como máximo, las cifras adicionales deben ser redondeadas (1) (4).

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

En cuanto al número de cifras decimales que se deberían reportar, el valor de la magnitud aplicada y el resultado de medición deberían ser consistentes con la incertidumbre expandida, para el valor promedio medido por el IBC, este debe ser consistente con su resolución, pero si este valor tiene un gran número de cifras se deben descartar aquellas no consistentes con la incertidumbre reportada (1). Se debe tener en cuenta que descartar las cifras en el valor de la indicación del IBC debe estar considerado en la incertidumbre expandida reportada, para esto, es conveniente sumarle el valor absoluto de la diferencia entre el valor de la indicación con las cifras sin descartar y el valor con las cifras descartadas.

Se debe evidenciar que los resultados reportados en el certificado corresponden a la condición del IBC en la fecha de calibración y condiciones de calibración y que no tienen en cuenta la estabilidad del IBC a largo plazo.

Si se realizan declaraciones de conformidad, se deben considerar los requisitos contenidos en la norma ISO/IEC 17025:2017.

En el anexo 2 se presenta un ejemplo de presentación de resultados.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **EURAMET- Technical Committee for Electricity and Magnetism.** *Guidelines On the calibration of Digital multimeters. EURAMET cg-15. Version 3.0 .* Braunschweig- Germany : s.n., 2015. Version 3.0.
2. **CEM (Centro Español de Metrología).** *PROCEDIMIENTO EL-001 PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTIMETROS DIGITALES.* Madrid - España : CEM.
3. **JCGM 200:2012.** *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM).* 3rd 2008 version with minor corrections. s.l. : BIPM, 2012.
4. **JCGM 100:2008.** *Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement: GUM 1995 with minor corrections.* First. s.l. : BIPM, 1995. JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. .
5. **EUROPEAN ACCREDITATION.** *EA-4/02 M:2013 Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration.* s.l. : EUROPEAN ACCREDITATION, 2013.
6. **ISO/IEC 17025.** *Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.* 2017.

8. ANEXOS

ANEXO 1. EJEMPLO PRESUPUESTO DE INCERTIDUMBRES

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Tabla 1. Presupuesto de incertidumbre

Fuentes de incertidumbre	Estimación magnitud X_i	Unidad	Distribución probabilidad	Factor de cobertura	Incertidumbre estándar $u_i(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y) = c_i u_i$	Grados de libertad v_i
$\bar{V}_x$			Normal			1		n-1
δV_x	0		Rectangular			1		
V_s			Normal			-1		
δV_s	0		Rectangular			-1		
Grados efectivos de libertad								
Incertidumbre combinada								
Factor de cobertura k para 95.45%								
Incertidumbre expandida, U								

ANEXO 2. EJEMPLO PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 1. Medición de tensión eléctrica continua

Intervalo de medida	Valor medido	Valor aplicado patrón	Error	Factor de cobertura	Incertidumbre expandida
mV	mV	mV	mV	k para 95.45%	mV
-500 a 500	-490.00	-490.000	0.000	2.0	0.009
-500 a 500	0.01	0.000	0.010	2.1	0.008
-500 a 500	50.02	50.000	0.020	2.0	0.008
-500 a 500	250.03	250.000	0.030	2.0	0.008
-500 a 500	490.04	490.0000	0.040	2.0	0.009
V	V	V	V	k para 95.45%	V
-5 a 5	-4.9000	-4.90000	0.00000	2.0	0.00007
-5 a 5	-0.5000	-0.50000	0.00000	2.0	0.00007
-5 a 5	0.5000	0.50000	0.00000	2.0	0.00006
-5 a 5	2.5000	2.50000	0.00000	2.0	0.00006
-5 a 5	4.9000	4.90000	0.00000	2.0	0.00007
V	V	V	V	k para 95.45%	V
-1000 a 1000	-900.1	-900.000	-0.10	2.0	0.06
-1000 a 1000	100.0	100.000	0.00	2.0	0.06
-1000 a 1000	900.0	900.000	0.00	2.0	0.07

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

ANEXO 3. EJEMPLO NUMÉRICO

Calibración de un multímetro en tensión DC

Se realiza la calibración de un multímetro digital de 50 000 cuentas (4 ⁵/₆ dígitos) en la magnitud de tensión eléctrica continua, en el valor de 10 V. Las mediciones se realizan en el intervalo de medición de 50 V del IBC.

Para esta calibración el multímetro se compara de forma directa con un calibrador patrón.

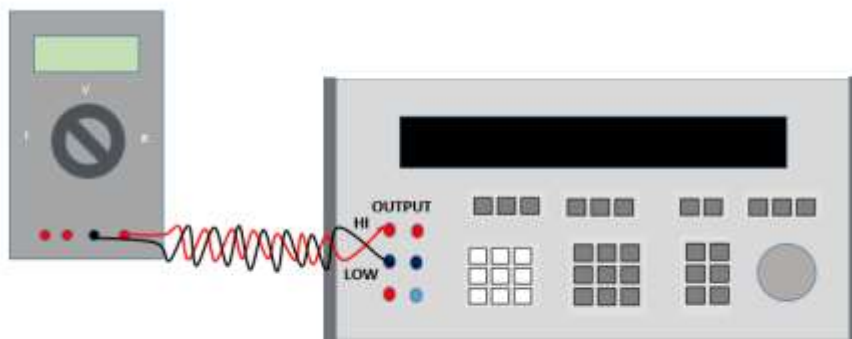


Figura 1. Comparación directa multímetro y calibrador patrón.

Las lecturas tomadas por el multímetro una vez realizado el ajuste de cero son las siguientes:

Tabla 1.

Lecturas multímetro				
V				
1	2	3	4	5
10.000	10.000	10.001	10.000	10.001

El valor promedio de las indicaciones del multímetro, redondeado al número de decimales de acuerdo a su resolución es:

$$\bar{V}_x = 10.000 \text{ V}$$

A partir de la ecuación [1] que relaciona las variables del sistema de medición se determina el presupuesto de incertidumbres.

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Incertidumbre por repetibilidad del IBC $u(\bar{V}_x)$

La incertidumbre por repetibilidad se calcula mediante la ecuación [2]:

$$u(\bar{V}_x) = 0.00025 \text{ V}$$

Incertidumbre por resolución $u(\delta V_x)$

La incertidumbre por resolución se calcula mediante la ecuación [3]. La resolución correspondiente al intervalo de medición es 0.001 V.

$$u(\delta V_x) = 0.00029 \text{ V}$$

Incertidumbre de calibración del patrón $u(V_S)$

El valor de la incertidumbre expandida reportada por el certificado del patrón es de 33 μV con factor de cobertura $k = 2.0$ para el 95 % de probabilidad de cobertura. El valor de la incertidumbre estándar de calibración del patrón se calcula mediante la ecuación [4]:

$$u(V_S) = 0.000017 \text{ V}$$

Para la indicación del calibrador del valor de 10.000 000 V; el certificado de calibración reporta un valor de 9.999993 V.

Incertidumbre del patrón por especificaciones del fabricante $u(\delta V_S)$

Las especificaciones del calibrador patrón son:

Tabla 2.

ppm set + μV	
ppm	μV
22	39

El valor de la incertidumbre de patrón se calcula mediante la ecuación [5]:

$$u(\delta V_S) = 0.00015 \text{ V}$$

Incertidumbre combinada

El valor de la incertidumbre combinada se calcula mediante la ecuación [7]. El valor de los coeficientes de sensibilidad es uno, estos son hallados a partir de la ecuación 1 con las derivadas parciales de cada variable que interviene.

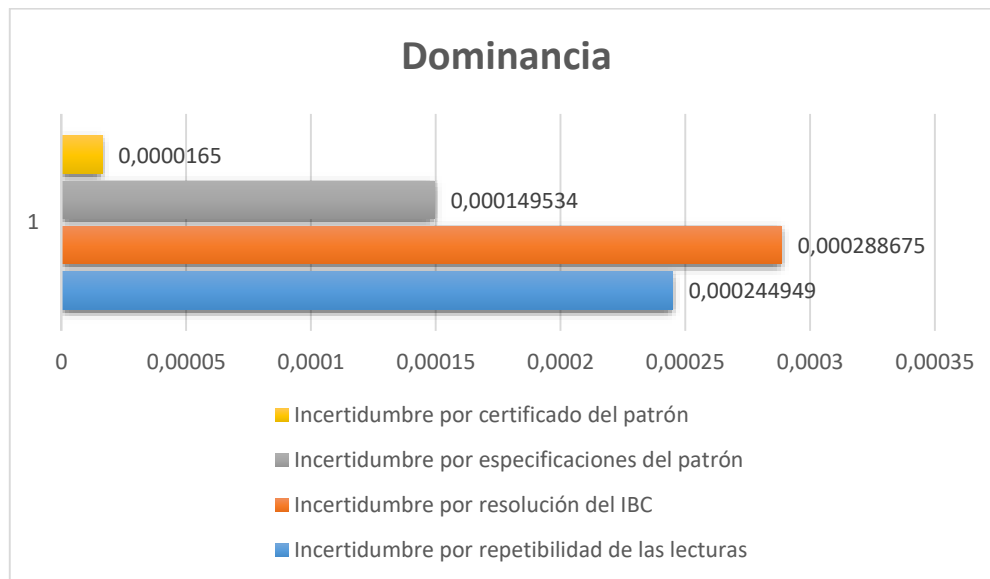
$$u_c(E) = 0.00041 \text{ V}$$

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Incertidumbre expandida

A partir de la siguiente grafica se identifica cual incertidumbre puede ser dominante:



De acuerdo con el gráfico anterior se observa que la incertidumbre que puede ser dominante es la incertidumbre por resolución del IBC, para verificar si esta incertidumbre cumple la condición para ser dominante se usa la ecuación [8]: El resultado de este cálculo es: 0.996, en este caso no se cumple condición establecida por la ecuación, es decir, esta fuente de incertidumbre no es dominante, por tanto, se debe realizar el cálculo de los grados efectivos de libertad con la ecuación [10] de Welch-Satterthwaite.

Los grados de libertad de las incertidumbres tipo B se calculan mediante la ecuación [11] con el nivel de inseguridad asignado por el observador. En este caso se asigna una inseguridad del 5 % con el cual se obtiene:

$$\nu_i = \frac{1}{2} [0.05]^{-2} = 200$$

Los grados de libertad de la incertidumbre tipo A corresponden a $n - 1$, siendo n el número de observaciones, por lo tanto se tienen 4 grados de libertad.

Finalmente el valor correspondiente de los grados efectivos de libertad V_{eff} , estimado con la ecuación [10] es de:

$$V_{eff} \cong 29$$

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

A partir de este valor de los grados efectivos de libertad V_{eff} , se determina el factor de cobertura k , esto se puede realizar usando la tabla 3. En la tabla, en la columna de “Grados de libertad” se ubica el intervalo donde se encuentra el valor obtenido, en este caso 29 y se toma el menor valor, en este caso 25, esto con el fin de obtener un valor de la incertidumbre expandida no subestimada. Para este caso, el valor para una probabilidad de cobertura del 95.45 %, del factor de cobertura es $k = 2.11$.

Tabla 3. Valor de $t_p(v)$ de la distribución t , para v grados de libertad, que define un intervalo de $-t_p(v)$ a $+t_p(v)$, que comprende la fracción p de la distribución (4).

Grados de libertad v	Fracción p en porcentaje					
	68.27 (a)	90	95	95.45 (a)	99	99.73 (a)
1	1.84	6.31	12.71	13.97	63.66	235.80
2	1.32	2.92	4.30	4.53	9.92	19.21
3	1.20	2.35	3.18	3.31	5.84	9.22
4	1.14	2.13	2.78	2.87	4.60	6.62
5	1.11	2.02	2.57	2.65	4.03	5.51
6	1.09	1.94	2.45	2.52	3.71	4.90
7	1.08	1.89	2.36	2.43	3.50	4.53
8	1.07	1.86	2.31	2.37	3.36	4.28
9	1.06	1.83	2.26	2.32	3.25	4.09
10	1.05	1.81	2.23	2.28	3.17	3.96
11	1.05	1.80	2.20	2.25	3.11	3.85
12	1.04	1.78	2.18	2.23	3.05	3.76
13	1.04	1.77	2.16	2.21	3.01	3.69
14	1.04	1.76	2.14	2.20	2.98	3.64
15	1.03	1.75	2.13	2.18	2.95	3.59
16	1.03	1.75	2.12	2.17	2.92	3.54
17	1.03	1.74	2.11	2.16	2.90	3.51
18	1.03	1.73	2.10	2.15	2.88	3.48
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.45
20	1.03	1.72	2.09	2.13	2.85	3.42
25	1.02	1.71	2.06	2.11	2.79	3.33
30	1.02	1.70	2.04	2.09	2.75	3.27
35	1.01	1.70	2.03	2.07	2.72	3.23
40	1.01	1.68	2.02	2.06	2.70	3.20
45	1.01	1.68	2.01	2.06	2.69	3.18
50	1.01	1.68	2.01	2.05	2.68	3.16
100	1.005	1.660	1.984	2.025	2.626	3.077
∞	1.000	1.645	1.960	2.000	2.576	3.000

(a) Para cantidad z descrita mediante una distribución normal con esperanza μ_z una desviación estándar σ , en el intervalo $\mu_z \pm k \sigma$ incluye la fracción $p = 68.27 \%$; 95.45% ; 99.73% de la distribución para $k=1$; 2 ; 3 respectivamente

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Con la tabla del anexo 2 se obtiene el siguiente presupuesto de incertidumbres:

Tabla 4.

Fuentes de incertidumbre	Estimación magnitud X_i	Unidad	Distribución probabilidad	Factor de cobertura	Incertidumbre estándar $u_i(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad c_i	Contribución a la incertidumbre $u_i(y) = c_i u_i$	Grados de libertad v_i
$\bar{V}_x$	10.000	V	Normal	-	0.00025	1	0.00025	n-1
δV_x	0	V	Rectangular	2	0.00029	1	0.00029	200
V_s	9.999993	V	Normal	-	0.000017	-1	0.000017	200
δV_s	0	V	Rectangular	2	0.00015	-1	0.00015	200
Grados efectivos de libertad								29
Incertidumbre combinada							0.00041	V
Factor de cobertura k para 95.45%							2.11	
Incertidumbre expandida, U							0.001	V

En este presupuesto se ha considerado que los valores de corrección por resolución (δV_x) y corrección por especificaciones del fabricante patrón (δV_s) valen cero.

Utilizando la ecuación [1] se calcula el error correspondiente:

$$E = 0.000 \text{ V}$$

Finalmente, con el valor del factor de cobertura se estima la incertidumbre expandida a partir de la ecuación [12]:

$$U \approx 0.00086 \text{ V}$$

Presentación de los Resultados obtenidos

Para la presentación de los resultados, se realiza el redondeo del valor medido a la resolución del IBC y se le suma a la incertidumbre expandida a reportar el valor absoluto de la diferencia entre el valor medido sin redondeo y el valor redondeado de la siguiente manera:

$$E_{\text{redondeo}} = 10.0004 \text{ V} - 10.000 \text{ V} = 0.0004 \text{ V}$$

$$U \approx 0.00086 + |0.0004| \approx 0.0013 \text{ V}$$

GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)

2019-07-04
Versión No.1

Los datos se presentan de acuerdo al anexo 2 tabla 1:

Tabla 1. Medición de tensión eléctrica continua

Intervalo de medida	Valor medido	Valor aplicado patrón	Error	Factor de cobertura	Incertidumbre expandida
mV	mV	mV	mV	<i>k</i> para 95.45%	mV
-50 a 50	10.000	10.0000	0.0000	2.11	0.0013

**GUÍA PARA LA CALIBRACIÓN DE MULTÍMETROS
DIGITALES 4 5/6 (50 000 CUENTAS)**

2019-07-04
Versión No.1

Instituto Nacional de Metrología de Colombia - INM
Subdirección de Metrología Física, Red Colombiana de Metrología.
Av. Cra 50 No 26-55 Int. 2 CAN - Bogotá, D.C. Colombia
Conmutador: (571) 254 22 22
E-mail: contacto@inm.gov.co
www.inm.gov.co
www.rcm.gov.co

Organismo Nacional de Acreditación de Colombia - ONAC
Av. Calle 26 # 57 – 83, Torre 8, Oficina 1001 - Bogotá, D.C. Colombia
PBX: +571 742 7592
E-mail: onac@onac.org.co
www.onac.org.co