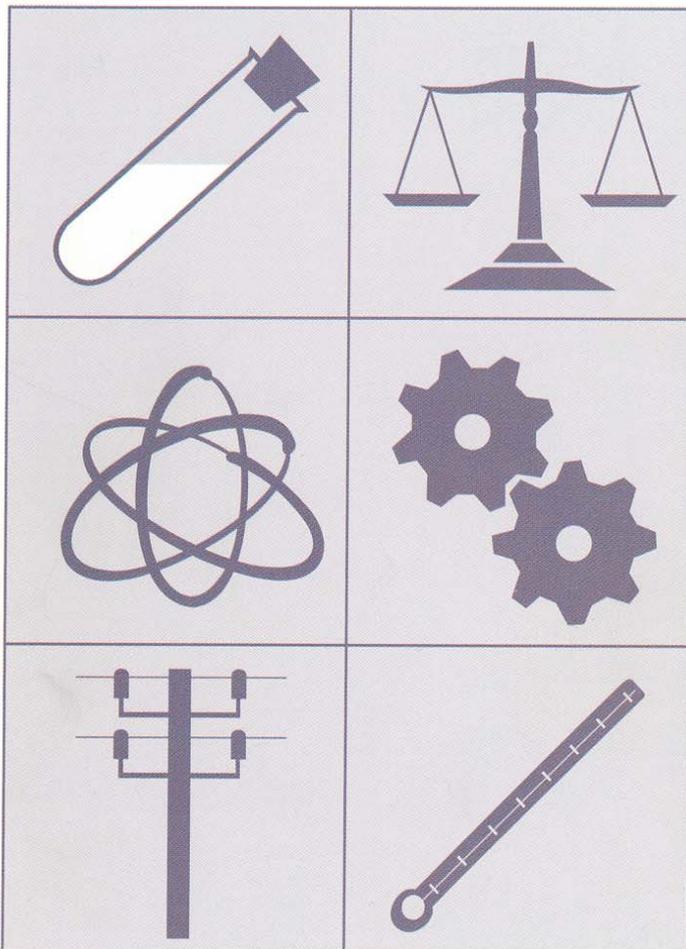


Metrología

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN



PROCEDIMIENTO EL- 010 PARA LA CALIBRACIÓN DE CALIBRADORES MULTIFUNCIÓN

m 08



MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



Este procedimiento ha sido revisado, corregido y actualizado, si ha sido necesario.

La presente edición se emite en formato digital. Hay disponible una edición en papel que se puede adquirir en nuestro departamento de publicaciones.

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

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

Correo electrónico
cem@cem.es



INDICE

	Página
1. OBJETO	4
2. ALCANCE	4
3. DEFINICIONES	5
4. GENERALIDADES	9
4.1 Abreviaturas y símbolos	9
4.2 Consideraciones generales	10
5. DESCRIPCIÓN	11
5.1. Equipos y materiales	11
5.2. Operaciones previas	13
5.3. Proceso de calibración	14
5.4. Toma y tratamiento de datos	23
6. RESULTADOS	25
6.1. Cálculo de incertidumbres	25
6.2. Interpretación de resultados	39
7. REFERENCIAS	41
7.1. Documentos necesarios para realizar la calibración	41
7.2. Otras referencias para consulta	41
8. ANEXOS	42



1. OBJETO

El presente procedimiento tiene por objeto dar a conocer los métodos y la sistemática necesaria para realizar la calibración de “calibradores multifunción”.

Según la Clasificación de instrumentos de Metrología Eléctrica [1], se identifican como EE-13.10 y se denominan como calibradores multifunción.

2. ALCANCE

El presente procedimiento se limita a la calibración de “calibradores multifunción” utilizando multímetros de alta precisión para la calibración de las funciones de tensión (continua y alterna), y resistencia, utilizando además “shunt”s o resistencias para las funciones de intensidad (continua y alterna). El alcance vendrá determinado fundamentalmente por la relación entre las especificaciones de los instrumentos utilizados en la calibración y las especificaciones del calibrador.

En general no será aplicable a “calibradores multifunción” de alta precisión, $7\frac{1}{2}$ ó $6\frac{1}{2}$ dígitos, para cuya calibración es necesario utilizar patrones de elevado nivel metrológico como divisores de tensión, referencias de tensión continua, resistencias patrón, divisores inductivos, convertidores térmicos etc.

Existen otros “calibradores multifunción” de un nivel metrológico inferior pero de gran aplicación en la industria para la calibración de infinidad de instrumentos a los que es de aplicación el presente procedimiento.

En la tabla siguiente se muestra una comparación entre las especificaciones representativas de este tipo de “calibradores multifunción” y los multímetros de alta precisión, normalmente de $8\frac{1}{2}$ dígitos, para las distintas funciones:



	Multímetro	Calibrador	Relación
Tensión continua	$10 \cdot 10^{-6}$	$100 \cdot 10^{-6}$	0,1
Tensión alterna	$150 \cdot 10^{-6}$	$500 \cdot 10^{-6}$	0,3
Intensidad continua	$100 \cdot 10^{-6}$	$200 \cdot 10^{-6}$	0,5
Intensidad alterna	$400 \cdot 10^{-6}$	$1000 \cdot 10^{-6}$	0,4
Resistencia	$20 \cdot 10^{-6}$	$100 \cdot 10^{-6}$	0,2

De la tabla se aprecia la conveniencia de utilizar resistencias o “shunt” para las funciones de intensidad.

Para la función de tensión alterna se puede mejorar la relación utilizando en vez del multímetro un voltímetro de tensión alterna de alta precisión. El presente procedimiento sería igualmente aplicable con la citada sustitución.

3. DEFINICIONES

Son de aplicación las definiciones generales de la referencia [5] que se indican a continuación, además de otras específicas para el presente procedimiento.

Ajuste (de un sistema de medida) [5] (3.11)

Conjunto de operaciones realizadas en un sistema de medida de forma que este mida dentro de sus especificaciones.

NOTA 1 Los ajustes pueden ser de “cero”, “offset” y ganancia

NOTA 2. No debe confundirse ajuste con calibración.

NOTA 3 Después del ajuste es necesaria una recalibración

Calibración [5] 2.39



Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, en un primer paso, la relación entre los valores de unos patrones con sus incertidumbres y las indicaciones correspondientes con las incertidumbres de medida asociadas, y en un segundo paso utiliza esta información para establecer una relación que permite obtener un resultado de medida de una indicación.

NOTAS

- 1 La incertidumbre de medida necesariamente aumenta con las secuencias de calibración.
- 2 Los elementos de la cadena de calibraciones son los patrones y los sistemas de medida de acuerdo a procedimientos de medida
- 3 De acuerdo a esta definición la “referencia” puede ser, la definición de una unidad mediante su realización práctica, un procedimiento de medida o un patrón
- 4 Una comparación entre dos patrones puede ser considerada como una calibración, si la comparación se utiliza para comprobar, y en caso necesario corregir el valor y las incertidumbres de medida atribuidas a uno de los patrones

Error de medida [5] (2.16)

Valor medido de una magnitud menos el valor de referencia de esa magnitud..

NOTAS

- 1 El concepto de error de medida puede utilizarse para:
 - a) Cuando existe un solo valor de la referencia, la calibración se realiza aplicando patrones cuya magnitud ha sido medida e incertidumbre despreciable o si se asigna un valor convencional. En estos casos el error de medida es conocido



- b) Cuando el mensurando se supone representando por un único valor verdadero o un conjunto de valores verdaderos en cuyo caso el error de medida es desconocido.

2 El error de medida no debe ser confundido con error de producción o equivocación. .

Incertidumbre de medida [5] 2.26

Parámetro no negativo, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando, basado en la información utilizada.

NOTAS

- 1 La incertidumbre de medida incluye las componentes debidas a efectos sistemáticos, como pueden ser los asociados a correcciones, a los valores asignados a los patrones, o a la incertidumbre de definición. En algunas ocasiones en lugar de corregir los errores sistemáticos, se incorporan como componentes de incertidumbre asociadas a los mismos.
- 2 El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo de ésta) o la semiapertura de un intervalo con un nivel de confianza determinado.
- 3 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 (evaluación tipo A). Los otros componentes, que también pueden ser caracterizados por desviaciones estándar, se evalúan asumiendo distribuciones de probabilidad, basadas en la experiencia adquirida o en otras informaciones (Evaluación tipo B)
- 4 Se entiende que el resultado de la medición es la mejor estimación del valor del mensurando, y que todos los componentes de la incertidumbre, comprendidos los que provienen de efectos sistemáticos, tales como los componentes asociados a las correcciones y a los patrones de referencia, contribuyen a la dispersión.



Resolución (de un dispositivo visualizador) [5] (4.15)

La menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador que puede percibirse de forma significativa.

Trazabilidad metrológica [5] (2.41)

Propiedad del resultado de una medición que puede relacionarse con una referencia, por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, contribuyendo cada a la incertidumbre de m medida..

NOTAS

- 1 De acuerdo a esta definición una referencia puede ser la definición de una unidad y su realización practica. O un procedimiento de medida incluyendo la unidad de medida o un patrón..
- 2 La trazabilidad Metrológica requiere una jerarquía de calibración. .
3. la especificación de la referencia debe incluir el momento en que la referencia fue utilizada para establecer la jerarquía de calibración, conjuntamente con cualquier otra información metrológica relevante como cuando se realizó la primera calibración.
4. Para aquellas medidas cuyo modelo requiera más de una magnitud de entrada, cada magnitud debe séller metrológicamente trazable y la jerarquía de calibraciones debe constituir una estructura de ramas o una red. El esfuerzo necesario para establecer la trazabilidad metrológica de cada magnitud de entrada debe ser ponderado con su contribución relativa al resultado de la medida.
5. La trazabilidad metrológica no garantiza que la incertidumbre de medida es la adecuada para un objetivo determinado o la ausencia de fallos.
6. la comparación de dos patrones puedes ser considerado como una calibración si la comparación es utilizada para comprobar y si es



necesario corregir el valor y la incertidumbre asignada a uno de los patrones.

7. La ILAC considera que los elementos que confirman la trazabilidad metrológica son una cadena ininterrumpida de calibraciones a patrones nacionales o internacionales, una incertidumbre de medida documentada, un procedimiento de medida documentado, competencia técnica acreditada, trazabilidad petrológica al SI, e intervalos de calibración (ILAC P-10:2002)

8. El término abreviado “trazabilidad” es utilizado algunas veces para significar trazabilidad metrológica así como otros conceptos, “trazabilidad de la muestra”, “trazabilidad documentada”, “trazabilidad de un instrumento”, “trazabilidad de un material” cuando se quiere significar la traza histórica de un objeto. Por ello es preferible utilizar el término completo de trazabilidad metrológica cuando exista riesgo de confusión.

4. GENERALIDADES

4.1. Abreviaturas y símbolos

En este procedimiento se consideran las siguientes abreviaturas, símbolos, y terminología (manteniendo la denominación inglesa por ser la comúnmente utilizada):

Terminal HI: Se refiere al utilizado por un instrumento para conectar el punto de mayor potencial.

Terminal LO: Se refiere al utilizado por un instrumento para conectar el punto de menor potencial.

“Earth” o tierra se refiere al conductor llamado planeta Tierra.

“Ground” o “GND”: punto de referencia para los potenciales de un circuito, puede estar conectado a tierra o no.



Terminal GND”: Terminal de un instrumento utilizado para conectar otros puntos del circuito a su potencial de referencia que suele ser el potencial de tierra, al que esta conectado el instrumento.

“GUARD” o “GRD”: Superficie conductora cerrada utilizada para aislar un circuito o instrumento. (a veces llamada guarda o pantalla).

Terminal “GUARD” o “GRD”: Se refiere al utilizado para conectar la “guarda” de un instrumento a un circuito o a otro instrumento.

“Standby”. Para un calibrador multifunción se refiere a la situación en que los parámetros de salida del calibrador están seleccionados, pero el calibrador internamente desconecta esta de los terminales de salida del mismo.

“Compliance Voltage”. Para la función de intensidad de un calibrador multifunción, se refiere a la máxima tensión a la que puede generar la intensidad.

“Burden Voltage”. Para un medidor de intensidad se refiere a la caída de tensión producida en el mismo al aplicarle una intensidad determinada. Para un medidor ideal esta tensión sería nula.

4.2. Consideraciones generales

Los “calibradores multifunción” son instrumentos con capacidad para la generación de tensión (alterna y continua) Intensidad (alterna y continua) y resistencia. Algunos de ellos pueden generar otras magnitudes como capacidad, simulación de temperatura etc.

Siguiendo este procedimiento la calibración de las funciones de tensión y resistencia se calibra mediante medida directa con un multímetro. Las funciones de intensidad se calibran midiendo con el multímetro la caída de tensión producida en una resistencia o “shunt” de valor conocido.



Dado que tanto los multímetros de alta precisión como la mayoría de los “calibradores multifunción” de este tipo disponen de la posibilidad de comunicación IEEE o RS232, la calibración puede automatizarse logrando mayor rapidez, ahorro de tiempo de operario y eliminando la posibilidad del error humano tanto en la toma de datos como en el tratamiento de los mismos.

5. DESCRIPCIÓN

5.1. Equipos y materiales

Para realizar la calibración descrita en este procedimiento es necesario disponer de los siguientes instrumentos:

Multímetro digital de alta precisión: Con capacidad de medida en todos los puntos de calibración para las funciones de tensión (continua y alterna) y resistencia. Ha de tener trazabilidad en los citados puntos.

Conjunto de “shunt” o resistencias: Conjuntamente con el multímetro han de ser suficientes para la realización de todos los puntos de intensidad. En su selección se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si se trata de resistencias, la máxima intensidad aplicable debe ser tal que no produzca calentamiento significativo de la misma, normalmente la potencia aplicada debe ser menor de 10 mW.
- Si se trata de “shunt” deben tener calibrada su curva de potencia, de forma que puedan realizarse correcciones en función de la potencia aplicada.
- La relación entre la impedancia de entrada del multímetro y la resistencia utilizada. Debido a la utilización del multímetro para la medida de la caída de tensión en la resistencia, la impedancia de entrada del mismo se conecta en paralelo con la resistencia, pudiendo producir errores. Por ejemplo si la



impedancia de entrada del multímetro es de $10\text{ M}\Omega$ produciría un error del orden de partes en 10^7 para una resistencia de 1Ω pero de partes en 10^3 para una resistencia de $10\text{ k}\Omega$.

- Para cada intensidad considerada y con la resistencia utilizada el calibrador multifunción debe generar dentro de su mejor capacidad en cuanto los límites establecidos de máxima carga y de “Bourden Voltage” indicados por el fabricante en su manual técnico.
- Para alterna, debido a que el multímetro mide la caída de tensión eficaz en la impedancia equivalente de la resistencia, es necesario conocer para cada frecuencia el modulo de la misma. El valor de la resistencia en alterna suele darse de la siguiente forma:

$Z(f) = R(f) (1+j2\Pi f\tau)$ siendo f la frecuencia y τ la constante de tiempo. Si la resistencia tiene una baja constante de tiempo la diferencia entre el modulo de la impedancia y el valor de la parte real es despreciable.

Cables

- Para las medidas de continua utilizar cables que produzcan bajas fuerzas electromotrices para ello hay que procurar que las uniones (cables y terminales) se realicen con materiales iguales o que estén próximos en la serie galvánica. Normalmente se utilizan terminales y cables de cobre.
- Para evitar corrientes de fuga entre los cables y con el exterior utilizar cables aislados, el mejor aislante es el teflón ya que este tiene una resistividad muy alta y no le afecta la humedad.
- Para evitar o reducir la interferencia con fuentes de ruido externas utilizar cables apantallados y trenzados o coaxiales. Los cables trenzados se pueden utilizar desde continua hasta frecuencias de 100 kHz y los coaxiales desde continua hasta 100 MHz .
- Utilizar siempre cables de características conocidas (aislamiento, resistencia, capacidad e inductancia por unidad



de longitud de forma que se pueda evaluar y conocer su posible influencia en la medida.

5.2. Operaciones previas

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

- a) Se comprobará que el calibrador multifunción está identificado de forma permanente con su marca, modelo y número de serie correspondiente, o con un código interno del propietario unívoco. Si no fuera así se le asignará un código de identificación que se adherirá o fijará de forma segura sobre el instrumento. Se estudiará el manual de operación del calibrador multifunción, de forma que la persona que realice la calibración esté familiarizada con su manejo. Si es posible 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. Se comprobará que se disponen de los cables necesarios para realizar las conexiones del calibrador a los instrumentos de medida. En ocasiones es conveniente realizar la calibración con los mismos cables de utilización del mismo.
- b) Se fijará cuál es la tolerancia de uso asignada al puente, pudiendo coincidir con las especificaciones del fabricante, o estar calculada en función del uso concreto al que se destina. 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.
- c) Se comprobará el estado de calibración de los patrones a utilizar, si disponen 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.



- d) Situar el instrumento a calibrar y los patrones a utilizar alejados de cualquier fuente de calor o de otros instrumentos que puedan producir interferencias electromagnéticas.
- e) Se comprobará que el valor nominal de la tensión de alimentación y las posibles variaciones son adecuadas para el funcionamiento del instrumento a calibrar.
- f) Se conectará a la red de alimentación eléctrica el instrumento a calibrar, 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, y viene indicado por su fabricante en su manual de utilización.
- g) Verificar que las condiciones ambientales del laboratorio están dentro de las condiciones de funcionamiento del calibrador y de los patrones a utilizar en la calibración.

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.
Ajustes.
Calibración final.
- 2) Calibración sin ajustes.
- 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 antes de realizar el ajuste. Esta información es muy importante ya que de ella se puede verificar por comparación con la calibración anterior o anteriores la estabilidad del instrumento. También sirve para verificar que el instrumento se mantiene dentro de las especificaciones establecidas durante el periodo de tiempo asignado entre calibraciones. La calibración final comprueba que los ajustes realizados son correctos y nos asegura la trazabilidad metrológica. En este caso se conservarán registros tanto de la calibración inicial como final.

Nota:

Debe consultarse siempre con el cliente o responsable del equipo si este desea que se realice el ajuste. Esto es especialmente importante en los instrumentos en los que el ajuste se realiza mecánicamente ya que el mismo puede afectar a la estabilidad o deriva del instrumento.

La secuencia 2) se puede considerar como una variante de la secuencia 1) aplicable cuando los errores encontrados en la calibración inicial sean inferiores a unos límites establecidos, o cuando el responsable del equipo a calibrar no requiere el ajuste.

La secuencia 3) solamente se debe aplicar cuando el estado del instrumento 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 instrumento, unos límites de tolerancia para la calibración a partir de los cuales se realizará el ajuste del mismo o se limitará su uso. Se procederá al ajuste cuando la desviación obtenida sea mayor que el límite de tolerancia establecido disminuido en la incertidumbre de calibración.



Los ajustes se deben realizar, siempre que se disponga de capacidad para ello, siguiendo el manual del fabricante, en el orden y en los puntos indicados. En algunos instrumentos, es posible realizar el ajuste independiente de algunas funciones o campos sin que el mismo tenga influencia en el resto.

5.3.2. Puntos de calibración

Al no ser viable realizar la calibración para todas las posibles salidas del calibrador multifunción, esta hay que limitarla a un número que garantice de forma razonable la trazabilidad del instrumento en todas las funciones y campos de utilización.

Si el instrumento se destina a una única aplicación determinada, la cual requiere realizar medidas en una serie de puntos especificados, la calibración más apropiada será en estos puntos, quedando el uso del instrumento limitado a dicha aplicación.

De forma general se recomienda realizar la calibración en al menos los siguientes puntos:

Para todos los campos de tensión continua realizar la calibración en el 10% y en el fondo de escala para valores positivos y negativos. Para un campo intermedio verificar la linealidad del instrumento realizando la calibración al 10%, 20% ,30%,40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, y 100%.

Para todos los campos de intensidad en continua realizar la calibración en el 10% y en el fondo de escala para valores positivos y negativos.

Para todos los campos de intensidad y tensión alterna realizar la calibración en el fondo del campo y para una frecuencia de cada uno de los rangos del margen de



especificaciones en frecuencia, establecidos por el fabricante.

Para la función de resistencia calibrar todas las salidas de resistencia del calibrador en el caso de que este disponga de valores de resistencia fijas. Si el calibrador dispone de valores variables, para cada campo realizar la calibración en el 10% y en el fondo de escala.

5.3.3. Realización de las medidas

Advertencia: Al realizar las conexiones siempre seleccionar en el calibrador salida cero ya que durante las conexiones se puede pulsar inadvertidamente el pulsador de “operación”.

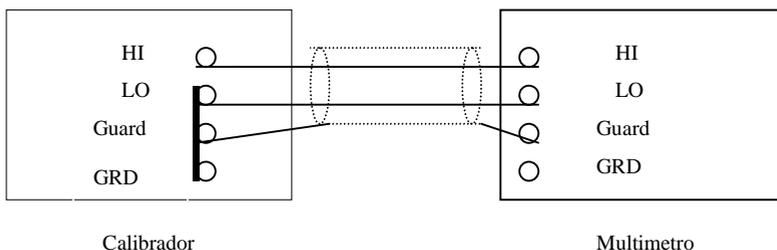
A. Conexión de pantallas y “guardas “

Para cada una de las magnitudes de medida las conexiones de las pantallas de los cables y las guardas de los instrumentos deben hacerse de forma correcta para que sean efectivas. No existe una forma única de conexión por las distintas configuraciones de medida por lo que en cada caso debe analizarse y nunca realizar las conexiones de forma aleatoria. Los fabricantes de los instrumentos suelen dar en sus manuales indicaciones sobre las conexiones de las mismas.

De forma genérica se deben cumplir las siguientes reglas:

- Las pantallas de los cables deben conectarse al potencial de “Ground” en un solo punto.
- La guarda debe conectarse siempre, ya que puede producirse una diferencia de potencial excesiva entre el terminal de guarda y el de “LO” que puede dañar el instrumento. Los instrumentos en configuración de guarda interna conectan la guarda al “LO”.

- La guarda debe conectarse de forma que este al mismo potencial o muy próximo al potencial “LO” del calibrador o del multímetro.
- La guarda debe conectarse al potencial “LO” en uno y solo en un punto, normalmente en el punto en que el terminal “LO” se conecta al potencial de “Ground”.
- Cuando el calibrador multifunción y el multímetro disponen de guarda (lo mas frecuente) las dos guardas han de conectarse entre si, para ello se utiliza el apantallamiento de los cables, el terminal “LO” del calibrador se conecta al terminal de guarda, y la guarda ha de conectarse al terminal de “Ground el calibrador multifunción o en el multímetro, preferiblemente en el calibrador multifunción, pero nunca en los dos. En el siguiente esquema se muestra esta conexión.



B. Función de tensión continua.

- Realizar la función cero del multímetro siguiendo las indicaciones del fabricante. Algunos “calibradores multifunción” también requieren que se ejecute esta función para obtener sus mejores especificaciones de medida. Anotar en la hoja de toma de datos que se han realizado estas funciones.
- Configurar el multímetro en las mismas condiciones de medida que figuran en el certificado de calibración del



mismo. Anotar estas condiciones en la hoja de toma de datos.

- Conectar el calibrador al multímetro utilizando cables apantallados y trenzados de baja fuerza termoelectromotriz. Debido a la alta impedancia de entrada que presenta el multímetro no es necesario configurar el calibrador a cuatro terminales. Si se realiza la conexión a cuatro terminales verifíquese que el calibrador dispone de esta posibilidad en el campo que se esta calibrando.
- Anotar la configuración utilizada en la hoja de toma de datos.
- Para cada punto de calibración realizar diez medidas y anotar, en la hoja de toma de datos, los valores medidos, el valor medio y la desviación estándar experimental. Si una vez estabilizada la lectura no existe variación en la indicación del multímetro no es necesario anotar las diez lecturas. Si la variación de la lectura es pequeña (del orden de uno o dos dígitos), en este caso, se anotarán los límites de variación de las mismas, en función del número de dígitos de la cifra menos significativa, de forma que todas las lecturas estén dentro de esos límites. Por ejemplo $0,999\ 992\ V \pm 1d$ cuando todas las lecturas están entre $0,999\ 991\ V$ y $0,999\ 993\ V$.
- Verificar que el error en el valor de salida del calibrador esta dentro de los límites establecidos.

C. Función tensión alterna

- Configurar el multímetro en las mismas condiciones de medida que figuran en el certificado de calibración del mismo. Anotar estas condiciones en la hoja de toma de datos.



- Conectar el calibrador al multímetro utilizando cables apantallados y trenzados o cables coaxiales (procurar que la longitud de los mismos sea menor de 1 metro).
- Debido a que la disminuye con la frecuencia es conveniente impedancia de entrada que presenta el multímetro es conveniente configurar el calibrador a cuatro terminales. Si se realiza la conexión a cuatro terminales verifíquese que el calibrador dispone de esta posibilidad en el campo y frecuencia que se está calibrando.
- Anotar la configuración utilizada en la hoja de toma de datos.
- Para cada punto de calibración realizar diez medidas y anotar, en la hoja de toma de datos, los valores medidos, el valor medio y la desviación estándar experimental. Si una vez estabilizada la lectura no existe variación en la indicación del multímetro no es necesario anotar las diez lecturas. Si la variación de la lectura es pequeña (del orden de uno o dos dígitos), en este caso, se anotarán los límites de variación de las mismas, en función del número de dígitos de la cifra menos significativa, de forma que todas las lecturas estén dentro de esos límites.
- Verificar que el error en el valor de salida del calibrador esta dentro de los límites establecidos.

D. Función de intensidad continua.

- Configurar el multímetro en las mismas condiciones de medida que figuran en el certificado de calibración del mismo para la medida de las tensiones correspondientes. Anotar esta configuración en la hoja de toma de datos.



- Conectar los terminales de intensidad del “shunt” o de la resistencia a los terminales de intensidad del calibrador multifunción.
- Conectar el multímetro a los terminales de potencial del shunt o de la resistencia.
- Para realizar las conexiones utilizar cables apantallados de baja fuerza termoelectromotriz.
- Para cada punto de calibración realizar diez medidas y anotar, los valores medidos, el valor medio y la desviación estándar experimental en la hoja de toma de datos. Si una vez estabilizada la lectura no existe variación en la indicación del multímetro no es necesario anotar las diez lecturas. Si la variación de la lectura es pequeña (del orden de uno o dos dígitos), en este caso, se anotarán los límites de variación de las mismas, en función del número de dígitos de la cifra menos significativa, de forma que todas las lecturas estén dentro de esos límites.
- Para cada medida y al objeto de eliminar las tensiones termoelectromotrices, realizar dos medidas una en el sentido normal de la corriente y la otra invirtiendo los cables de corriente en el calibrador. Para cada valor se tomará como tensión la media de las dos polaridades. Si experimentalmente se aprecia que la diferencia entre las dos medidas es despreciable comparada con la incertidumbre de calibración, (lo mas frecuente), es suficiente realizar la medida en un solo sentido de corriente.
- Verificar que el error en el valor de salida del calibrador esta dentro de los límites establecidos.



E. Función intensidad alterna.

- Configurar el multímetro en las mismas condiciones de medida que figuran en el certificado de calibración del mismo para la medida de las tensiones correspondientes. Anotar esta configuración en la hoja de toma de datos.
- Conectar los terminales de intensidad del “shunt” o la resistencia a los terminales de intensidad del calibrador multifunción. Conectar el multímetro a los terminales de potencial del shunt o la resistencia.
- Para realizar las conexiones utilizar cables apantallados y trenzados. La frecuencia de operación de los calibradores en su función de intensidad alterna suele llegar hasta 10 kHz.
- Para cada punto de calibración realizar diez medidas y anotar, en la hoja de toma de datos, los valores medidos, el valor medio y la desviación estándar experimental. Si una vez estabilizada la lectura no existe variación en la indicación del multímetro no es necesario anotar las diez lecturas. Si la variación de la lectura es pequeña (del orden de uno o dos dígitos), en este caso, se anotarán los límites de variación de las mismas, en función del número de dígitos de la cifra menos significativa, de forma que todas las lecturas estén dentro de esos límites.

F. Función de resistencia.

- Configurar el multímetro en las mismas condiciones de medida que figuran en el certificado de calibración del mismo. Anotar estas condiciones en la hoja de toma de datos.
- Conectar el calibrador al multímetro utilizando cables apantallados y trenzados de baja fuerza



termoelectromotriz. Utilizando la configuración a cuatro hilos tanto en el multímetro como en el calibrador. Anotar la configuración utilizada en la hoja de toma de datos. Si la calibración se realiza a dos hilos, medir la resistencia de los cables utilizados para la conexión y restarla de los valores medidos.

- Para cada punto de calibración realizar diez medidas y anotar, en la hoja de toma de datos, los valores medidos, el valor medio y la desviación estándar experimental. Si una vez estabilizada la lectura no existe variación en la indicación del multímetro no es necesario anotar las diez lecturas. Si la variación de la lectura es pequeña (del orden de uno o dos dígitos), en este caso, se anotarán los límites de variación de las mismas, en función del número de dígitos de la cifra menos significativa, de forma que todas las lecturas estén dentro de esos límites.
- Verificar que el error en el valor de salida del calibrador esta dentro de los límites establecidos.

G. Ajuste

Una vez finalizada la calibración si fuese necesario se realizará el ajuste del instrumento y se volverá a repetir la calibración. En la hoja de toma de datos se anotaran los valores indicando que estos son después del ajuste.

5.4. Toma y tratamiento de datos

En la hoja de toma de datos anotar lo siguiente:

- Fabricante, modelo y número de serie del instrumento.
- Patrones utilizados en la calibración.
- Fecha o fechas de realización de la calibración.
- Persona que realiza la calibración.



- Indicación de que se ha realizado el “cero “.
- Configuración de montaje.
- Condiciones ambientales.
- Incidencias.

Para cada punto de calibración se conservarán los siguientes datos:

- Indicación del calibrador multifunción.
- Configuración del calibrador multifunción y del multímetro.
- Las lecturas obtenidas por el multímetro, la media y la desviación típica.
- La corrección aplicada a la lectura del multímetro.
- En el caso de las función de intensidad, shunt o resistencia utilizado y valor asignado.

Nota: En el caso de intensidad continua si se realiza la calibración con las dos polaridades anotar las dos lecturas obtenidas

- Error asociado a la salida del calibrador en cada punto (diferencia entre el valor medido y la indicación del calibrador multifunción.

A continuación se compararán los errores obtenidos con las tolerancias asignadas al calibrador para las calibraciones para determinar o no la necesidad de realizar ajustes, según los criterios del apartado 5.3.1.

Si es necesario realizar ajuste se anotarán las nuevas medidas indicándose que estas corresponden a valores obtenidos después del ajuste.

Si la calibración se automatiza mediante el empleo de un ordenador, se conservarán, además de los datos anteriores, el programa y la versión utilizada para la realización de la calibración.



6. RESULTADOS

6.1. Cálculo de incertidumbres

La asignación y expresión de incertidumbres se realizará siguiendo los criterios de la guía EA-4/02 [2]. En primer lugar se determinará la expresión de la magnitud de salida (que es el valor generado por el calibrador multifunción en cada punto de calibración), en función de las distintas magnitudes de entrada.

Se analizan las expresiones en tres funciones, tensión (alterna y continua), resistencia, e intensidad (alterna y continua). En el cálculo de incertidumbres se ha supuesto, para todas las funciones, que la influencia de las condiciones ambientales sobre el instrumento a calibrar y sobre el multímetro es despreciable, en caso contrario habrá que considerarlas obteniendo estas de los manuales correspondientes.

A. Función de tensión.

$$v_x = v_s + \delta v_{sc} + \delta v_{sd} + \delta v_{st} + \delta v_{sf} + \delta v_{sv} + \delta v_{sr} \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

v_x : Valor generado por el calibrador multifunción.

v_s : valor medido por el multímetro.

δv_{sc} : Corrección del error certificado del multímetro.

δv_{sd} : Corrección debida a la deriva del multímetro desde la última calibración.

δv_{st} : Corrección debida a fuerzas termoelectromotrices no compensadas

δv_{sf} : Corrección por interpolación en frecuencia.

δv_{sv} : Corrección por interpolación en tensión.

δv_{sr} : Corrección debida a la falta de resolución del multímetro.

Se ha supuesto que el multímetro dispone de corrección automática de cero y que la incertidumbre en su realización es



despreciable y que las magnitudes de influencia ambientales sobre el multímetro y calibrador son despreciables. En caso contrario estas contribuciones deberían considerarse.

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres a la expresión de v_x , suponiendo que no existe correlación entre las distintas variables, se obtiene:

$$u^2(v_x) = c_1^2 u^2(v_s) + c_2^2 u^2(\delta v_{sc}) + c_3^2 u^2(\delta v_{sd}) + c_4^2 u^2(\delta v_{st}) + c_5^2 u^2(\delta v_{sf}) + c_6^2 u^2(\delta v_{sv}) + c_7^2 u^2(\delta v_{sr}) \quad (\text{Ecuación 2}).$$

Asignación de las componentes de la incertidumbre.

a. - Incertidumbres debidas a la dispersión de lecturas del multímetro $u(v_s)$. Se tomarán diez lecturas en las mismas condiciones de medida. 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_s , la desviación estándar experimental, $s(v_s)$, y la desviación estándar experimental de la media de v_s .

$$\text{Desviación estándar experimental } s(v_s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}{n - 1}}$$

Desviación estándar experimental de la media $u(v_s) = s(v_s) / \sqrt{10}$

En el caso de que la variación de las lecturas sea muy pequeña (del orden de uno o dos dígitos) se tomarán los límites dentro de los que varía la lectura en el entorno de su valor medio en forma de dígitos, ($\pm d$), en lugar, de los diez valores individuales. La incertidumbre típica corresponderá a la de una distribución rectangular y su valor será $d/\sqrt{3}$. El valor de esta contribución se expresará en unidades homogéneas con el resto de



contribuciones. Por ejemplo si al aplicar al multímetro 100 V las lecturas varían entre 100,000 01 V y 100,000 03 V El valor sería 100,000 02 V \pm 1 d. La incertidumbre típica correspondiente a esta a contribución será 0,000 01V/ $\sqrt{3}$.

b. - Incertidumbre debida a la corrección del error certificado $u(\delta v_{sc})$. Será la reflejada en el correspondiente certificado de calibración. En los certificados se indican incertidumbres expandidas con un nivel de confianza de aproximadamente el 95%. Si la incertidumbre calculada corresponde a una distribución normal $k=2$, para hallar la incertidumbre típica será necesario dividir el valor indicado por 2. Si la incertidumbre calculada corresponde a una distribución tipo t , el certificado indicará el factor de cobertura $k=XX$ (mayor que 2) y el número de grados efectivos de libertad $v_{eff}=YY$. Para hallar la incertidumbre típica se divide el valor indicado por $k=XX$. El número efectivo de grados de libertad certificado se utilizará posteriormente para calcular el número efectivo de grados de libertad de la propia calibración.

c. - Incertidumbre asociada a la corrección por deriva $u(\delta v_{sd})$. Esta componente es debida a la posible variación del error del multímetro desde la última calibración. Si se dispone de un número suficiente de calibraciones, la corrección puede obtenerse mediante la recta de regresión, y estimar la incertidumbre típica estableciendo unos límites máximos razonables en función de la bondad del ajuste de los puntos certificados a la recta ($\pm D$). D puede estimarse como la máxima variación de los puntos a la recta. La incertidumbre típica corresponderá a la de una distribución rectangular y su valor será $D/\sqrt{3}$. Si no se corrige por deriva, D se estimaría como la máxima deriva histórica. Si no se dispone de un número suficiente de calibraciones, se tomará el último valor certificado. La incertidumbre típica se estimará sobre la base de lo especificado por el fabricante en cuanto a estabilidad. Si el fabricante no especifica ese dato se tomará la especificación genérica del patrón dada por el fabricante. Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto la especificación por $\sqrt{3}$.



d. - Incertidumbre debida a la corrección por fuerzas termoelectromotrices $u(\delta v_{st})_t$. Estas tensiones aparecen cuando existen gradientes de temperatura en las distintas partes del circuito y existen conexiones o uniones entre diferentes materiales. Estas por su naturaleza son aleatorias y no es por tanto posible aplicar una corrección a las mismas. Se estima un valor máximo de las mismas, e_t que dependerá del tipo de conexiones utilizados y de los gradientes de temperatura existentes entre las distintas conexiones del sistema medida. Dependiendo de los factores anteriores su valor puede ser del orden de $0,2 \mu\text{V}$ a $1 \mu\text{V}$. Para calcular su incertidumbre típica se considera distribución rectangular, y se calculará dividiendo el valor de las térmicas estimadas (e_t) por $\sqrt{3}$. En el caso de tensión alterna no se considera esta componente.

e. - Incertidumbre debida a la corrección por interpolación en frecuencia $u(\delta v_{sf})$. Si la frecuencia a la que se realiza la calibración no coincide con la certificada, la corrección del valor se obtendrá por interpolación entre los valores certificados a las frecuencias más próximas. En este caso la incertidumbre debida al valor certificado $u(\delta v_{sc})$ será la correspondiente a la mayor de las dos. La incertidumbre por interpolación se determinará en función de la respuesta en frecuencia estimando unos límites posibles de variación $\pm F$. Si no se corrige por frecuencia, estos límites se estimarán por la variación de los valores certificados a las dos frecuencias. Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto F por $\sqrt{3}$. En el caso de tensión continua no se considera esta componente.

f. - Incertidumbre debida a la corrección por interpolación en tensión $u(\delta v_{sv})$. Si la tensión a la que se realiza la calibración no coincide con la certificada, la corrección del valor se obtendrá por interpolación entre los valores certificados a las tensiones más próximas. Si en ese campo no se dispone del valor certificado a dos tensiones próximas, la corrección se estimará de la respuesta en linealidad certificada en otro campo, asumiendo la misma variación. La incertidumbre debida al valor certificado $u(\delta v_{sc})$ será la correspondiente a la mayor de las dos (si se dispone de dos



tensiones calibradas en ese campo). La incertidumbre se evaluará de la linealidad, estimando unos límites posibles de variación $\pm P$. Si no se realiza corrección los límites se estimarán por la variación entre las dos tensiones o de la linealidad Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto P por $\sqrt{3}$.

g. - Incertidumbre debida a la falta de resolución del multímetro $u(\delta v_{sr})$. Se considera el máximo error posible que se puede cometer debido a la resolución del multímetro como ± 1 veces el último dígito (Res.=1 dígito); La incertidumbre típica se hallará suponiendo una distribución rectangular y dividiendo por tanto por $\sqrt{3}$. El valor de estas se expresará en unidades homogéneas con el resto de contribuciones.

Balance de las componentes

Magnitud, X_i	Estimación	Incer. típica	Distribución de probabilidad	Coef. (3)	Contribución incertidumbre
v_s	$(v_{x1}+...+v_{x10})/10$	$s(V_x) / \sqrt{10}$	Normal	1	$u_1(y)$
δv_{SC}	δv_{SC}	U_{cer}/k	Normal o tipo t-	1	$u_2(y)$
δv_{Sd}	δv_{Sd}	$D/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$u_3(y)$
δv_{St}	0 (1)	$e_t/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$u_4(y)$
δv_{Sf}	δv_{Sf} (2)	$F/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$u_5(y)$
δv_{Sv}	δv_{Sv}	$P/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$u_6(y)$
δv_{SR}	0	$Res/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$u_7(y)$
V_x	Ecuación 1				Ecuación 2

Nota 1: Solo en tensión continua.

Nota 2: Solo en tensión alterna.



Nota 3: Los coeficientes de sensibilidad se calculan como las derivadas parciales de v_x , respecto de cada una de las magnitudes evaluadas en el punto de calibración considerado.

Nota 4: $u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$

Cálculo de la incertidumbre expandida final (con nivel de confianza de aproximadamente 95%).

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 [2], la incertidumbre expandida tiene la siguiente expresión:

$$U = k \cdot u(v_x) = k \sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y) + u_4^2(y) + u_5^2(y) + u_6^2(y) + u_7^2(y)}$$

Para determinar el valor de k es necesario calcular el número de grados de libertad. Este se determina de acuerdo al documento EA4-02 apéndice E aplicando la siguiente ecuación:

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

Donde $u_i(y)$ son las incertidumbres típicas y v_i los grados de libertad correspondientes a la contribución $u_i(y)$. Generalmente para las contribuciones del tipo A el número de grados de libertad es el número de medidas realizadas menos una. Para las de tipo B se considera que es $\rightarrow \infty$. Si el valor certificado corresponde a una distribución tipo t , el número de grados de libertad corresponde a lo indicado en el certificado $v_{eff} = YY$.



Para este caso concreto la expresión sería:

1) Si el valor certificado corresponde a una distribución normal:

$$v_{eff} = \frac{u^4(v_x)}{\frac{u_1^4(y)}{9}}$$

2) Si el valor certificado corresponde a una distribución tipo t :

$$v_{eff} = \frac{u^4(v_x)}{\frac{u_1^4(y)}{9} + \frac{u_2^4(y)}{YY}}$$

Si el valor obtenido es superior a 50 la k que corresponde al 95% será 2, si por el contrario se obtiene un valor inferior el valor de k se obtiene de la tabla del citado anexo E. Por ejemplo para el caso $v_{eff}=20$; $k= 2.13$.

B. Función de resistencia.

$$R_x = R_s + \delta R_{sc} + \delta R_{sd} + \delta R_{si} + \delta R_{sr}$$

Donde:

R_x : Valor generado por el calibrador.

R_s : Lectura del multímetro.

δR_{sc} : Corrección del error certificado del multímetro.

δR_{sd} : Corrección debida a la deriva del multímetro desde la última calibración.

δR_{si} : Corrección por interpolación en Resistencia.

δR_{sr} : Corrección debida a la falta de resolución del multímetro.

Nota 1: Se ha supuesto que el multímetro tiene compensación de las tensiones debidas a fuerzas termoelectromotrices. El multímetro mide la resistencia aplicando una intensidad conocida y midiendo la caída de



tensión en la resistencia, las tensiones debidas a fuerzas termoelectromotrices en las conexiones se suman a la tensión medida causando un error. Para compensar este efecto el multímetro mide inicialmente la tensión sin aplicar intensidad, la tensión así obtenida la resta a la obtenida aplicando intensidad, compensando de esta forma el posible error debido a las fuerzas termoelectromotrices. Si el multímetro no dispone de esta compensación el efecto de las fuerzas termoelectromotrices debe considerarse en el calculo de incertidumbres.

Nota 2: Se ha supuesto que las medidas de resistencia se realizan a cuatro hilos, en caso de realizarse a dos hilos, la resistencia de los cables utilizados para realizar la conexión se suman a la resistencia causando un error. Que dependerá de la resistencia de los cables y del valor de la resistencia. Para compensarlo se mide la resistencia de los cables y se resta al valor medido, si no es despreciable habrá que añadir la componente de incertidumbre debida a esta medida. Siempre que sea posible es preferible medir las resistencia a cuatro hilos, fundamentalmente, las de bajo valor óhmico.

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres a la expresión de R_x , suponiendo que no existe correlación entre las distintas variables, se obtiene:

$$u^2(R_x) = c_1^2 u^2(R_s) + c_2^2 u^2(\delta R_{sc}) + c_3^2 u^2(\delta R_{sd}) + c_4^2 u^2(\delta R_{sr}) + c_5^2 u^2(\delta R_{sr})$$

(Ecuación 2).

Balance de las componentes

Magnitud, X_i	Estimación	Incer. típica	Distribución de probabilidad	Coef.	Contribución incertidumbre
R_s	$(R_{x1} + \dots + R_{x10})/10$	$s(R_x) / \sqrt{10}$	Normal	1	$u_1(y)$
δR_{sc}	δR_{sc}	$U_{cer}/2$	Normal	1	$u_2(y)$
δR_{sd}	δR_{sd}	$D/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$u_3(y)$
δR_{sr}	δR_{sr}	$P/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$U_4(y)$
δR_S	0	$Res/\sqrt{3}$	Rectangular	1	$U_5(y)$
R_x	Ecuación 1				Ecuación 2



Nota 1: Los coeficientes de sensibilidad se calculan como las derivadas parciales de R_x , respecto de cada una de las magnitudes evaluadas en el punto de calibración considerado.

Nota 2: $u_i(y) = c_i \cdot u(x_i)$

Cálculo de la incertidumbre expandida final (con nivel de confianza de aproximadamente 95%).

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 [2], la incertidumbre expandida tiene la siguiente expresión:

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

Análogamente a la función de tensión, el número de grados de libertad será:

1) Si el valor certificado corresponde a una distribución normal:

$$v_{eff} = \frac{u^4(v_x)}{\frac{u_1^4(y)}{9}}$$

2) Si el valor certificado corresponde a una distribución tipo t :



$$v_{eff} = \frac{u^4(v_x)}{\frac{u_1^4(y)}{9} + \frac{u_2^4(y)}{YY}}$$

Si el valor obtenido es superior a 50 la k que corresponde al 95% será 2, si por el contrario se obtiene un valor inferior el valor de k se obtiene de la tabla del citado anexo E

C. Función de Intensidad

El valor de intensidad generado por el calibrador se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_x = (v_s + \delta v_{sc} + \delta v_{sd} + \delta v_{st} + \delta v_{sf} + \delta v_{sv} + \delta v_{sr}) / (R_s + \delta R_{sd} + \delta R_{sf} + \delta R_{sw})$$

Donde:

- I_x : Valor de intensidad generado por el calibrador
- V_s : Lectura del multímetro.
- δV_{sc} : Corrección del error certificado del multímetro.
- δV_{sd} : Corrección debida a la deriva del multímetro desde la última calibración.
- δV_{st} : Corrección debida a térmicas no compensadas
- δV_{sf} : Corrección por interpolación en frecuencia.
- δV_{sv} : Corrección por interpolación en tensión.
- δV_{sr} : Corrección debida a la falta de resolución del multímetro.
- R_s : Valor certificado de la resistencia.
- δR_{sd} : Corrección debida a la deriva de la resistencia desde la última calibración.
- δR_{sf} : Corrección debida a interpolación en frecuencia.
- δR_{sw} : Corrección debida a la potencia aplicada.

Nota: Se ha supuesto despreciable el efecto de la temperatura sobre la resistencia. En caso contrario debería considerarse la componente de incertidumbre debida a las posibles variaciones de la resistencia debida a la incertidumbre en temperatura. Esta se determinará multiplicando el



intervalo de variación de temperatura por el coeficiente de temperatura de la resistencia correspondiente.

Aplicando la ley de propagación de incertidumbres a la expresión de v_x , suponiendo que no existe correlación entre las distintas variables, se obtiene:

$$u^2(v_x) = c_1^2 u^2(v_s) + c_2^2 u^2(\delta v_{sc}) + c_3^2 u^2(\delta v_{sd}) + c_4^2 u^2(\delta v_{st}) + c_5^2 u^2(\delta v_{sf}) + c_6^2 u^2(\delta v_{sv}) + c_7^2 u^2(\delta v_{sr}) + c_8^2 u^2(R_s) + c_9^2 u^2(\delta R_{sd}) + c_{10}^2 u^2(\delta R_{sf}) + c_{11}^2 u^2(\delta R_{sw})$$

(Ecuación 2)

a. Incertidumbres debidas a términos de la medida de tensión se evalúan de igual forma que en el caso de la función de tensión.

b. Incertidumbre debida al valor certificado $u(R_s)$. Será la reflejada en el correspondiente certificado de calibración. En los certificados se indican incertidumbres expandidas con un nivel de confianza de aproximadamente el 95%. Si la incertidumbre calculada corresponde a una distribución normal $k=2$, para hallar la incertidumbre típica será necesario dividir el valor indicado por 2. Si la incertidumbre calculada corresponde a una distribución tipo t , el certificado indicará el factor de cobertura $k=XX$ (mayor que 2) y el número de grados efectivos de libertad $v_{\text{eff}}=YY$. Para hallar la incertidumbre típica se divide el valor indicado por $k=XX$. El número efectivo de grados de libertad certificado se utilizará posteriormente para calcular el número efectivo de grados de libertad de la propia calibración.

c. Incertidumbre debida a la corrección por deriva de la resistencia desde la última calibración $u(\delta R_{sd})$. Esta componente es debida a la posible variación desde la última calibración. Si se dispone de un número suficiente de calibraciones, la corrección puede obtenerse mediante la recta de regresión, y estimar la incertidumbre típica estableciendo unos límites razonables en función de la bondad del ajuste de los puntos certificados a la recta ($\pm D_2$). La incertidumbre típica corresponderá a la de una distribución rectangular y su valor será $D_2/\sqrt{3}$. Si no se dispone de



un número suficiente de calibraciones, se tomará el último valor certificado. La incertidumbre típica se estimará sobre la base de lo especificado por el fabricante en cuanto a estabilidad. Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto la especificación por $\sqrt{3}$.

d. Incertidumbre debida a la corrección por interpolación en frecuencia $u(\delta R_{sf})$. Si la frecuencia a la que se realiza la calibración no coincide con la certificada de la resistencia, la corrección del valor se podrá obtener por interpolación entre los valores certificados a las frecuencias más próximas. La componente de incertidumbre debida al valor certificado $u(R_s)$ será la correspondiente a la mayor de las dos. La incertidumbre $u(\delta R_{sf})$ se evaluará de la respuesta en frecuencia, estimando unos límites máximos posibles de variación $\pm F_2$. Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto F_2 por $\sqrt{3}$.

e. Incertidumbre debida a la corrección por interpolación en potencia $u(\delta R_{sw})$. Si la potencia a la que se realiza la calibración no coincide con la certificada de la resistencia, la corrección del valor se podrá obtener por interpolación entre los valores certificados a las intensidades más próximas (curva de potencia de la resistencia). La incertidumbre se evaluará estimando unos límites máximos posibles de variación $\pm W$. Para hallar la incertidumbre típica se supondrá una distribución rectangular dividiendo por tanto W por $\sqrt{3}$.

Coeficientes de sensibilidad

Para determinar los coeficientes de sensibilidad se considera la expresión simplificada

$$I = V R^{-1}$$

Considerando que :



$$C_i = \delta I / \delta x_i$$

Los coeficientes de sensibilidad serán:

1/R para los términos de “V” ($V_s, \delta V_{sc}, \delta V_{sd}, \delta V_{st}, \delta V_{sf}, \delta V_{sv}, \delta V_{sr}$)

-V/R² para los términos de “R” ($R_s, \delta R_{sd}, \delta R_{sf}, \delta R_{sw}$)

Si consideramos las incertidumbres típicas relativas:

$$w(I) = u(I) / |I| ; w(v) = u(v) / |V| ; w(R) = u(R) / |R|$$

$$u(I) = (1/R) u(v) - (V/R^2) u(R)$$

dividiendo por I

$$w(I) = u(v)/V - u(R)/R; w(I) = W(v) - W(R)$$

Los coeficientes de sensibilidad serán 1 y -1 expresando en este caso todas las componentes de incertidumbre como incertidumbres típicas relativas.

Balance de componentes:

Magnitud, X_i	Estimación	Incer. típica	Distribución probabilidad	Coef.	Contribución incertidumbre
v_s	$(v_{x1} + \dots + v_{x10}) / 10$	$s(v_x) / \sqrt{10}$	Normal	1/R	$u_1(y)$
δv_{sc}	δv_{sc}	Ucer/k	Normal o tipo t-	1/R	$u_2(y)$
δv_{sd}	δv_{sd}	D/ $\sqrt{3}$	Rectangular	1/R	$u_3(y)$
δv_{st}	0 (1)	$e_t / \sqrt{3}$	Rectangular	1/R	$u_4(y)$
δv_{sf}	δv_{sf} (2)	F/ $\sqrt{3}$	Rectangular	1/R	$u_5(y)$



δV_{SV}	δV_{SV}	$P/\sqrt{3}$	Rectangular	$1/R$	$u_6(y)$
δV_{SR}	0	$Res/\sqrt{3}$	Rectangular	$1/R$	$u_7(y)$
R_s	R_s	U_{cer}/k	Normal o tipo t-	$-V/R^2$	$u_8(y)$
δR_{sd}	δR_{sd}	$D_2/\sqrt{3}$	Rectangular	$-V/R^2$	$u_9(y)$
δR_{sf}	δR_{sf} (2)	$F_2/\sqrt{3}$	Rectangular	$-V/R^2$	$u_{10}(y)$
δR_{SW}	δR_{SW}	$W/\sqrt{3}$	Rectangular	$-V/R^2$	$u_{11}(y)$
I_x	Ecuación 1				Ecuación 2

Nota 1: Solo en intensidad continua.

Nota 2: Solo en intensidad alterna.

Nota 3: Los coeficientes de sensibilidad se calculan como las derivadas parciales de I_x , respecto de cada una de las magnitudes evaluadas en el punto de calibración considerado.

Nota 4: $u_i(y) = c_i u(x_i)$

Cálculo de la incertidumbre expandida final (con nivel de confianza de aproximadamente 95%).

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 [2], la incertidumbre expandida tiene la siguiente expresión:

$$U = k \cdot u(I_x) = k \cdot \sqrt{u_1^2(y) + u_2^2(y) + u_3^2(y) + u_4^2(y) + u_5^2(y) + u_6^2(y) + u_7^2(y) + u_8^2(y) + u_9^2(y) + u_{10}^2(y) + u_{11}^2(y)}$$

Para determinar el valor de k es necesario calcular el número de grados de libertad. Este se determina de acuerdo al documento EA-4/02 apéndice E aplicando la siguiente ecuación:



$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

Donde $u(y)$ son las incertidumbres típicas y v_i los grados de libertad correspondientes a la contribución $u_i(y)$. Generalmente para las contribuciones del tipo A, el número de grados de libertad es el número de medidas realizadas menos una. Para las de tipo B se considera que es $\rightarrow \infty$. Si el valor certificado corresponde a una distribución tipo t-, el número de grados de libertad corresponde a lo indicado en el certificado $v_{eff} = YY$.

Para este caso concreto la expresión sería:

1) Si el valor certificado corresponde a una distribución normal:

$$v_{eff} = \frac{u^4(v_x)}{u_1^4(y)} \cdot 9$$

2) Si el valor certificado corresponde a una distribución tipo t-

$$v_{eff} = \frac{u^4(v_x)}{\frac{u_1^4(y)}{9} + \frac{u_2^4(y)}{YY} + \frac{u_8^4(y)}{YY}}$$

6.2. Interpretación de resultados

Se deberán establecer en función del uso previsto para el calibrador, unos límites de tolerancia para la calibración partir de los cuales se realizará el ajuste del instrumento, siempre y cuando el usuario del instrumento así lo haya especificado, o se limitará el



uso del mismo. Se podrá proceder al ajuste cuando la desviación obtenida sea mayor que el límite de tolerancia establecido disminuido en la incertidumbre de calibración. Los límites de tolerancia se han de establecer de acuerdo con el usuario del instrumento en función de las especificaciones de medida necesarias en su uso para las calibraciones. El criterio de ajuste debe estar basado en asegurar que el instrumento mantenga la precisión requerida hasta la próxima calibración. Realizando el ajuste en cada calibración se obtendrá la mayor probabilidad que el instrumento este dentro de las especificaciones requeridas hasta su próxima calibración pero esto puede suponer un coste innecesario en cada calibración. Un criterio menos conservativo pero más razonable puede ser establecer los límites en el 50 % de las especificaciones requeridas. El instrumento se ha desviado menos del 50 % desde la última calibración dejando un margen del 50 % hasta la próxima calibración. Un criterio más conservativo puede ser fijar este límite en el 30 % de las especificaciones requeridas. Estos límites pueden aumentarse cuando se disponga de los resultados de varias calibraciones y pueda establecerse la deriva del mismo. Pueden también aumentarse si el usuario aplica las correcciones obtenidas del certificado.

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 calibrador 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.

Si ha sido necesario realizar el ajuste, en el certificado de calibración correspondiente figurarán los valores obtenidos antes y después del ajuste.

El período de tiempo razonable para la recalibración de estos instrumentos es de 12 meses, aunque el intervalo de tiempo a asignar dependerá fundamentalmente de las características



técnicas comprobadas del instrumento (fundamentalmente 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 calibrador multifunción.
Manual de funcionamiento del multímetro.
Manual de los shunt y resistencias

7.2. Otras referencias para consulta

- [1] Clasificación de instrumentos de Metrología Eléctrica. 2ª Edición. SCI-Ministerio de Industria y Energía.
- [2] EA-4/02 (rev.00). Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. Diciembre 1999.
- [3] Procedimiento para la realización de procedimientos de calibración. MINER-CEM. Edición 1. 1998.
- [4] Guide to the expression of uncertainty in measurement. ISO 1993. (ISBN92-67-10188-9).
- [5] International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM). JCGM 200:2008



8. ANEXOS

EJEMPLO DE CALIBRACIÓN

Se hace aplicación del procedimiento en uno de los puntos de calibración.

Datos de partida

Se realiza la calibración de un calibrador multifunción en el punto de 1A en su función de intensidad alterna. La calibración se realiza a una temperatura de $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ en el laboratorio de calibración. Para la calibración se utiliza un multímetro de alta precisión y un “shunt” de $1\ \Omega$.

El valor de intensidad generado por el calibrador se obtiene de la siguiente expresión:

$$I_x = (V_s + \delta V_{sc} + \delta V_{sd} + \delta V_{sf} + \delta V_{sv} + \delta V_{sR}) / (R_s + \delta R_{sd} + \delta R_{sf} + \delta R_{sw})$$

Donde:

V_s : Lectura del multímetro. Se han realizado 10 medidas resultando el valor medio de las mismas de $1,000\,125\,6\text{ V}$ siendo la desviación estándar experimental de $2 \cdot 10^{-6}$.

δV_{sc} : Del certificado de calibración del multímetro obtenemos que para $1\text{ V } 1\text{kHz}$ la corrección es de $+20 \cdot 10^{-6}$ con una incertidumbre para $k=2$ de $50 \cdot 10^{-6}$.

δV_{sd} : Corrección debida a la deriva del multímetro desde la última calibración. Del histórico del multímetro obtenemos que su corrección por deriva es de $+10 \cdot 10^{-6}$ con unos límites estimados de $\pm 50 \cdot 10^{-6}$.

δV_{sf} : Corrección por interpolación en frecuencia. No se aplica ya que coincide con la frecuencia certificada.



- δV_{sv} : Corrección por interpolación en tensión. No se aplica ya que coincide con el valor certificado del multímetro.
- δV_{sR} : Corrección debida a la falta de resolución del multímetro. $0,1 \cdot 10^{-6}$ se considera despreciable.
- R_s : Valor certificado de la resistencia. La resistencia tiene un valor certificado de $1,000\ 050\ \Omega$ con una incertidumbre de $15 \cdot 10^{-6}$ para $k=2$.
- δR_{sd} : Corrección debida a la deriva de la resistencia desde la última calibración. Su variación se considera despreciable.
- δR_{sf} : Corrección debida a interpolación en frecuencia. No se aplica corrección ya que se dispone de su valor certificado a 1kHz.
- δR_{sw} : Corrección debida a la potencia aplicada. Debido a que el "shunt" esta calibrado a una intensidad diferente. De la curva de potencia se estima una corrección de $+ 5 \cdot 10^{-6}$ con unos límites de variación de $\pm 10 \cdot 10^{-6}$.

Nota: El efecto de las condiciones ambientales sobre el shunt, el multímetro y el calibrador multifunción dados por los fabricantes son despreciables.

Balance de componentes

Magnitud, X_i	Estimación	Incer. Típica relativa	Distribución de probabilidad	Coef.	Contribución incertidumbre
V_s	$1,000\ 125\ 6\ V$	$(2/\sqrt{10}) \cdot 10^{-6}$	Normal	1	$0,63 \cdot 10^{-6}$
δV_{SC}	$+ 20\ \mu V$	$(50/2) \cdot 10^{-6}$	Normal	1	$25 \cdot 10^{-6}$
δV_{SD}	$+ 10\ \mu V$	$(50/\sqrt{3}) \cdot 10^{-6}$	Rectangular	1	$29 \cdot 10^{-6}$
R_s	$1,000\ 050\ \Omega$	$(15/2) \cdot 10^{-6}$	Normal	-1	$7,5 \cdot 10^{-6}$
δR_{sw}	$5\ \mu\Omega$	$(10/\sqrt{3}) \cdot 10^{-6}$	Rectangular	-1	$5,8 \cdot 10^{-6}$
I_x	$1,000\ 101\ A$				$40 \cdot 10^{-6}$



Nota: Al haber utilizado incertidumbres típicas relativas los coeficientes son 1 y -1

Cálculo de la incertidumbre expandida final

Número de grados de libertad:

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

Aplicando la expresión, se obtiene un valor mucho mayor que 50 por consiguiente $k=2$ y considerando que todas las variables de entrada son independientes y que por tanto no hay que tener en cuenta los coeficientes de correlación, La incertidumbre relativa expandida será:

$$U = 2 u(l_x) = 80 \cdot 10^{-6}$$

Expresión del resultado de la calibración

Los resultados de la calibración es conveniente expresarlos en forma de tabla para cada función, donde se reflejará la indicación del instrumento el valor medido, el error del instrumento y la incertidumbre asociada a la calibración. En el certificado se indicarán también todos los datos necesarios para la interpretación de los resultados tales como: Condiciones de operación del instrumento durante las medidas, realización de la función cero, temperatura de realización de las medidas etc.

Función Intensidad alterna				
Campo	Indicación l instrumento	Valor medido	Error	Incertidumbre (±)
1 A	1 A 1 kHz	1,000 101 A	$101 \cdot 10^{-6}$	$80 \cdot 10^{-6}$



La incertidumbre expandida de calibración indicada, corresponde a una incertidumbre típica multiplicada por un factor $k = 2$, que para una distribución normal corresponde a un nivel de confianza del 95% aproximadamente. La incertidumbre de medida ha sido determinada de acuerdo con la publicación EA-4/02 (rev.00). [2].

Análisis de resultados.

Al calibrador multifunción se le ha establecido un periodo de calibración de un año y unos límites de tolerancia para el ajuste del 50 % de sus especificaciones a un año. El fabricante establece para este instrumento en su función de intensidad y para el campo de 1A una especificación relativa de $\pm 400 \cdot 10^{-6}$, por consiguiente no es necesario realizar el ajuste del mismo.

