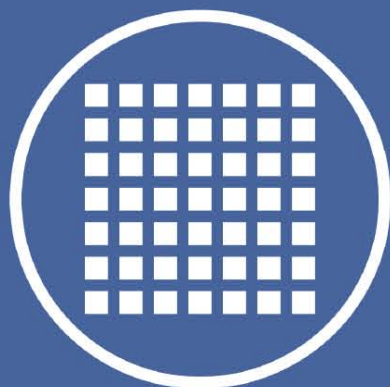


Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología



INTI

Procedimiento específico: PEE43

CALIBRACIÓN DE RESISTORES CON MULTÍMETRO DE ALTA EXACTITUD

Revisión: junio 2017

Este documento se ha elaborado con recursos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

PEE43 Lista de enmiendas: junio 2017

[illegible]

PEE43Índice: junio 2017

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Junio 2017
Lista de enmiendas	Junio 2017
Índice	Junio 2017
Calibración de resistores con multímetro de alta exactitud	Junio 2017

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. MARCOS D. BIERZYCHUBEK
FÍSICA Y METROLOGÍA
INTI

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

Dra. ALEJANDRA TOMINA
FÍSICA Y METROLOGÍA
INTI

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

Lic. LUCAS D. DI LILLO
COORD. ELECTRICIDAD
FÍSICA Y METROLOGÍA
INTI

ING. PATRICIA VARELA
COORD. CALIDAD Y ADMINISTRACIÓN
INTI - FÍSICA Y METROLOGÍA

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. JUAN A. FORASTIERI
DIRECTOR TÉCNICO
INTI - FÍSICA Y METROLOGÍA

PEE43: junio 2017

1. Objeto

Calibración de resistores utilizando un multímetro digital de alta exactitud de 8 ½, modelo HP3458A.

2. Alcance

Resistores de valor nominal hasta 1 GΩ. Los alcances pueden mejorarse utilizando otro modelo de multímetro, en tal caso se deberá adecuar el cálculo de incertidumbre y la configuración.

3. Definiciones y abreviaturas

Pueden encontrarse en el texto del presente procedimiento.

4. Referencias

[1] Agilent Technologies, Inc., '3458A Multimeter User's Guide', edition 4, manual part number: 03458-90014, 2000, USA.

5. Responsabilidades

5.1. Del Coordinador de la Unidad Técnica Electricidad

Supervisa el desarrollo de la calibración, verifica el cumplimiento del procedimiento y revisa los resultados.

5.2. Del Personal del Laboratorio

Efectúa la calibración, aplica el presente procedimiento de calibración, procesa los datos correspondientes y elabora el certificado de calibración.

6. Instrucciones

6.1. El resistor incógnito es medido directamente con el multímetro y se utiliza un elemento patrón para corregir el rango del multímetro.

6.2. Para la calibración de resistencias con valores nominales decádicos se recomienda que el valor nominal del patrón de referencia sea del mismo valor. También es posible utilizar cajas de transferencia o utilizar un patrón de valor nominal distinto y evaluar en el cálculo de incertidumbre la linealidad del multímetro. Para la calibración de resistores con valores nominales no decádicos se utilizará un patrón de valor nominal cercano, es esencial que ambos resistores puedan ser medidos en el mismo rango del multímetro.

6.3. Cuando las características de los resistores lo permitan, los resistores de valor nominal de hasta 1 MΩ se medirán sumergidos en un baño de aceite termostatzado a una temperatura cercana a 20 °C. La temperatura del baño puede ser medida con una termorresistencia de platino y un multímetro de alta exactitud. Considerando las características metrológicas de los instrumentos utilizados, los gradientes y la estabilidad de temperatura del baño de aceite se puede estimar una variación de $\pm 0,04$ °C durante la medición.

6.4. También los resistores pueden ser medidos en aire, midiendo la temperatura y la humedad relativa con un termohigrómetro digital y con un sensor PT100. Se puede utilizar un baño de aire estabilizado para mejorar la incertidumbre.

6.5. Previo a su uso, el multímetro deberá permanecer conectado a la tensión y frecuencia de línea a una temperatura de (23 ± 3) °C, con una humedad relativa ambiente comprendida entre 40 % y 70%. Deberá también observarse el periodo de calentamiento, siguiendo las recomendaciones indicada en su manual de operación.

6.6. El multímetro HP3458A es configurado como sigue:

Función: Resistencia a 4 terminales.

Rango: dependiente del valor nominal de los resistores a medir.

LFILTER: ON

AZERO: ON

PEE43: junio 2017

OCOMP: ON, para rangos menores o iguales a 100 k Ω .**NDIG:** 8**NPLC:** según el rango de medición.**MATH NULL:** ON, conectando todos los terminales de medición a uno de los terminales del resistor a medir. Realizar solo en el caso de medir valores de resistencia bajos.**MFORMAT:** DREAL

6.7. DELAY: Si no se conoce la constante de tiempo (tiempo característico o tiempo de estabilización) del resistor, ejecutar el programa dos veces. La primera con un retardo, desde la aplicación de tensión hasta la medición, de 5 s y la segunda con cuatro veces más de retardo: 20 s. Si la diferencia de los resultados devueltos por el programa es menor a la incertidumbre tipo B típica para la medición, entonces se puede usar un retardo igual a 5 s. En caso contrario se deberá repetir el procedimiento con un retardo de 10 s y otro de 40 s. Se deberá continuar hasta encontrar un resultado satisfactorio, donde las diferencias entre las mediciones sean menores a la incertidumbre tipo B. Otra forma de análisis es observar si los valores medidos de resistencia varían exponencialmente, en tal caso el retardo configurado es insuficiente, se deberá entonces probar con un retardo igual al doble del anterior. Se continúa con este proceso hasta que la variación pico a pico de las tensiones medidas es menor a la incertidumbre tipo B en la medición de tensión.

6.8. Se presenta en la tabla siguiente las configuraciones típicas y los posibles patrones ha utilizar en cada rango.

Resistor	Rango del DVM	Cantidad de mediciones	Delay (s)	Espera (s)	NPLC	OCOMP	CERO
Fluke 1 Ω	10 Ω	10	5	30	100	ON	ON
hasta 10 Ω inclusive	10 Ω	10	5	30	100	ON	ON
Fluke 100 Ω	100 Ω	10	5	30	50	ON	OFF
desde 10 Ω hasta 100 Ω	100 Ω	10	5	30	50	ON	OFF
Fluke 100 Ω	1 k Ω	10	5	30	50	ON	OFF
desde 100 Ω hasta 1 k Ω	1 k Ω	10	5	30	50	ON	OFF
ESI 10 k Ω	10 k Ω	10	5	30	50	ON	OFF
desde 1 k Ω hasta 10 k Ω	10 k Ω	10	5	30	50	ON	OFF
G13-100k	100 k Ω	10	10	30	50	ON	OFF
desde 10 k Ω hasta 100 k Ω	100 k Ω	10	10	30	50	ON	OFF
G13-1M o MI-1M	1 M Ω	10	10	30	100	OFF	OFF
desde 100 k Ω hasta 1 M Ω	1 M Ω	10	10	30	100	OFF	OFF
G1-10M	10 M Ω	10	30	30	100	OFF	OFF
desde 1 M Ω hasta 10 M Ω	10 M Ω	10	30	30	100	OFF	OFF
G2-100M Ω	100 M Ω	10	30	30	100	OFF	OFF
mayor a 10 M Ω	100 M Ω	10	30	30	100	OFF	OFF

Tabla 1: configuración típica del multímetro 3458A.

6.9. Se propone las siguientes configuraciones de tierra y guarda, dependiendo del dispositivo bajo estudio podrá ser necesario utilizar otra forma de conexión.

- Si el resistor a calibrar posee borne de guarda, éste debe ser conectado a un extremo del blindaje de los cables de medición, en tanto que el otro extremo será conectado al borne identificado como GUARD en el multímetro. La conexión entre los terminales LO y GUARD del multímetro debe ser abierta.
- Si el resistor a ser calibrado no posee borne de guarda, la malla del cable de medición será conectada a la misma tierra que el cable de alimentación del multímetro y se oprimirá el botón de conexión entre GUARD y LO del multímetro.
- Si se utiliza cable sin malla, se oprimirá el botón de conexión entre GUARD y LO del multímetro.

PEE43: junio 2017

6.10. Procedimiento de medición.**6.8.1.** El resistor patrón se conecta al multímetro.**6.8.2.** Se efectúan al menos 10 mediciones utilizando la memoria y funciones matemáticas del multímetro o el software preparado para tal fin "MedicionDirectaHP3458.exe". Se toma el valor medio \bar{P} y su desviación estándar u_1 . Se mide la temperatura t del patrón y en caso de conocer sus coeficientes de temperatura (α y β), se calcula su valor P_t de acuerdo con:

$$P_t = P_0 \left[1 + \alpha(t - t_0) + \beta(t - t_0)^2 \right].$$

Aquí P_0 es el último valor calibrado del patrón a la temperatura de referencia t_0 .**6.8.3.** Luego se calcula la corrección, relativa al valor nominal, del rango del multímetro.

$$C_{range} = \frac{P_t - \bar{P}}{\bar{P}}.$$

6.8.4. El resistor a ser calibrado es medido en el mismo rango y con la misma configuración del multímetro. Se toma el valor medio \bar{R} y la desviación estándar u_2 . El valor \bar{R} es corregido de acuerdo con:

$$R = \bar{R} \cdot (1 + C_{range}).$$

También se debe medir la temperatura del resistor incógnita y si se conoce sus coeficientes de temperatura, se puede calcular su valor a la temperatura de referencia. Esto deberá ser claramente informado junto con el resultado.

6.8.5. Por último, se debe registrar la humedad relativa cerca del resistor incógnita.**6.11. Fuentes de incertidumbre tipo B**

Se describe en la tabla 2 las fuentes de incertidumbre tipo B para la corrección de un rango del multímetro utilizando un patrón previamente calibrado. A continuación, la tabla 3 presenta las fuentes de incertidumbre para la misma tarea, pero utilizando una caja de transferencia. La última tabla de esta sección, tabla 4, corresponde a la medición de un resistor.

FUENTE	DESCRIPCIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	VALOR TÍPICO
Resistor patrón	Incertidumbre de calibración.	Normal	Depende del patrón
Resistor patrón	Deriva desde la última calibración.	Rectangular	Depende del patrón
Resistor patrón	Variación por temperatura.	Normal	Depende del patrón
Multímetro	Resolución del instrumento.	Rectangular	1 $\mu\Omega/\Omega$ para el rango de 10 Ω . 0,1 $\mu\Omega/\Omega$ para todo otro rango.

Tabla 2: fuentes de incertidumbre para la calibración de un rango del multímetro.

FUENTE	DESCRIPCIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	VALOR TÍPICO
Caja de transferencia	Calibración	Normal	Se debe calcular según la tabla 4.
Caja de transferencia	Incertidumbre de la transferencia, se obtiene del manual.	Rectangular	1 $\mu\Omega/\Omega$
Multímetro	Resolución del instrumento.	Rectangular	1 $\mu\Omega/\Omega$ para el rango de 10 Ω . 0,1 $\mu\Omega/\Omega$ para todo otro rango.

PEE43: junio 2017

Tabla 3: fuentes de incertidumbre para la calibración de un rango del multímetro con una caja de transferencia.

FUENTE	DESCRIPCIÓN	DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD	VALOR TÍPICO
Multímetro	Corrección.	Normal	Se debe calcular según tabla 2 o 3.
Multímetro	Error adicional y ruido, se obtiene del manual, pero se buscó una cota para simplificar el cálculo. Válido para 50 y 100 NPLC.	Rectangular	0,1 $\mu\Omega/\Omega$ multiplicado por: x10 para rangos de 10 y 100 Ω . x2 desde 1 k Ω hasta 10 M Ω . x120 para rango de 100 M Ω . x1200 para rango de 1 G Ω .
Multímetro	Linealidad del ADC. Se obtuvo del manual del instrumento, asumiendo que siempre se corrige con un elemento con valor igual al 10% del rango. Se calculó a partir de las especificaciones en tensión y asignando un rango de tensión a cada rango de resistencia según la tensión de medición.	Rectangular	5,5 $\mu\Omega/\Omega$ para rangos de 10 y 100 Ω . 1,3 $\mu\Omega/\Omega$ para rangos de 1 y 10 k Ω . 0,55 $\mu\Omega/\Omega$ para más de 100 k Ω .
Multímetro	Resolución del instrumento.	Rectangular	1 $\mu\Omega/\Omega$ para el rango de 10 Ω . 0,1 $\mu\Omega/\Omega$ para todo otro rango.
Resistor patrón	Variación por temperatura.	Normal	Depende del patrón

Tabla 4: fuentes de incertidumbre para la corrección de un valor medido.**7. Ejemplo de medición: calibración de un resistor patrón de valor nominal 1 M Ω .**

Se utiliza como patrón un resistor ESI SR104 de 10 k Ω con el cual se otorga valor a una caja de transferencia ESI de 100 k Ω paso configurada en paralelo. Luego se corrige el rango de 1 M Ω del multímetro utilizando la misma caja de transferencia en su configuración serie. Finalmente se mide y calibra el resistor incógnito. También durante este procedimiento se mide la temperatura ambiente, la humedad y la temperatura interna del patrón ESI. De ser posible se aplican las correcciones por temperatura necesarias. Para mejorar la estabilidad de las mediciones el resistor incógnito y la caja de transferencia se ubican dentro de un baño de aire estabilizado en temperatura. Se muestra a continuación el cálculo de incertidumbre.

PEE43: junio 2017

BALANCE DE INCERTIDUMBRES

Procedimiento: PEE43
 Calibración de: Resistores de forma directa
 Modificar los campos en color rojo

Linealidad

5.50E-06 ohm/ohm para rangos de 10 y 100 ohm y comparando un valor del 10% con otro al 100% del rango.
 1.3e-6 ohm/ohm para rangos 1 y 10 kohm y comparando un valor del 10% con otro al 100% del rango.
 5.50E-07 ohm/ohm para rangos mayores a 100 k y comparando un valor del 10% con otro al 100% del rango.

Errores adicionales y ruido

1.00E-06 ohm/ohm Rango de 10 y 100 ohm
 2.00E-07 ohm/ohm Rangos desde 1 kohm hasta 10 Mohm
 1.20E-05 ohm/ohm Rango de 100 mohm
 1.20E-04 ohm/ohm Rango de 1 Gohm

Corrección del rango
Corrección = (Rreal-Rmedida) / Rnominal
 Rango del multímetro 1.00E+04 ohm
 Valor nominal 1.00E+04 ohm
 Incertidumbre de calibración 9.00E-02 ppm
 Deriva temporal según historia 0.2 ppm/año
 Coeficiente de temperatura 9.4E-08 ppm/°C

Coeficiente de temperatura 9.4E-06 ppm/°C												
Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Tipo	Distrib	Intervalo (±)		Factor	u _i	v _i	c _i	(c _i u _i) ²	W-S	% contrib
Resistor patrón (calibración)	1.00E+04 ohm	BN	N	9E-04	ohm	2.0	4.5E-04 ohm	50	1	2.0E-07	8E-16	5.1%
Resistor patrón (deriva temporal)	1 años	BR	R	2E-03	ohm	1.7	1.2E-03 ohm	50	1	1.3E-06	4E-14	33.4%
Resistor patrón (temperatura)	1 °C	BR	R	9E-10	ohm	1.7	5.4E-10 ohm	50	1	2.9E-19	2E-39	0.0%
Multímetro (resolución)		BR	R	5E-04	ohm	1.7	2.9E-04 ohm	50	1	8.3E-08	1E-16	2.1%
Desvío (tipo A)		A	N			0.0	1.54E-03 ohm	9	1	2.4E-06	6E-13	59.4%
			N	0.004	ohm	2.1	2.00E-03 ohm	24				100%
Incertidumbre	0.41	ppm										
Factor de cobertura	2											

Valor medido y corregido para caja de transferencia

Rreal = (1+Corrección) Rmedida

Valor nominal 1.00E+04 ohm
 Rango del multímetro 1.00E+04 ohm

Rango del multímetro 1.00E+04 ohm												
Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Tipo	Distrib	Intervalo (±)		Factor	u _i	v _i	c _i	(c _i u _i) ²	W-S	% contrib
Multímetro (corrección)	0.41 ppm	BN	N	4E-03	ohm	2.0	2.1E-03 ohm	24	1	4.2E-06	8E-13	18.5%
Multímetro (errores adicionales y ruido)		BR	R	2E-03	ohm	1.7	1.2E-03 ohm	50	1	1.3E-06	4E-14	5.8%
Multímetro (linealidad)		BR	R	5.5E-03	ohm	1.7	3.2E-03 ohm	50	1	1.0E-05	2E-12	44.0%
Multímetro (resolución)		BR	R	5E-04	ohm	1.7	2.9E-04 ohm	50	1	8.3E-08	1E-16	0.4%
Desvío (tipo A)		A	N			0.0	2.68E-03 ohm	9	1	7.2E-06	6E-12	31.3%
			N	0.010	ohm	2.0	4.79E-03 ohm	61				100%
Incertidumbre	0.96 ppm											
Factor de cobertura	2											

Corrección del rango con caja de transferencia

Corrección = (Rreal-Rmedida) / Rnominal

Valor nominal 1.00E+06 ohm
 Rango del multímetro 1.00E+06 ohm

Rango del multímetro 1.00E-06 ohm														
Fuente de incertidumbre	Valor estimado		Tipo	Distrib	Intervalo (±)	Factor	u _i		v _i	c _i	(c _i u _i) ²	W-S	% contrib	
Caja de transferencia (calibración)	0.96	ppm	BN	N	1E+00	ohm	2.0	4.8E-01	ohm	61	1	2.3E-01	9E-04	34.1%
Caja de transferencia (transferencia)			BR	R	1E+00	ohm	1.7	5.8E-01	ohm	50	1	3.3E-01	2E-03	49.6%
Multímetro (resolución)			BR	R	5E-02	ohm	1.7	2.9E-02	ohm	50	1	8.3E-04	1E-08	0.1%
Desvío (tipo A)			A	N			0.0	3.30E-01	ohm	9	1	1.1E-01	1E-03	16.2%
				N	1.626	ohm	2.0	8.20E-01	ohm	103				100%
Incertidumbre	1.63	ppm												
Factor de cobertura	2													

Valor medido y corregido

Rreal = (1+Corrección) Rmedida

Valor nominal 1.00E+06 ohm
 Rango del multímetro 1.00E+06 ohm
 Coeficiente de temperatura 0.2 ppm/°C

Componente de temperatura 0.2 ppm/°C													
Fuente de incertidumbre	Valor estimado	Tipo	Distrib	Intervalo (±)	Factor	u _i		v _i	c _i	(c _i u _i) ²	W-S	% contrib	
Multímetro (corrección)	1.63 ppm	BN	N	2E+00	ohm	2.0	8.1E-01	ohm	103	1	6.6E-01	4E-03	68%
Multímetro (errores adicionales y ruido)		BR	R	2E-01	ohm	1.7	1.2E-01	ohm	50	1	1.3E-02	4E-06	1%
Multímetro (linealidad)		BR	R	5.5E-01	ohm	1.7	3.2E-01	ohm	50	1	1.0E-01	2E-04	10%
Multímetro (resolución)		BR	R	5E-02	ohm	1.7	2.9E-02	ohm	50	1	8.3E-04	1E-08	0%
Resistor (temperatura)	1 °C	BN	N	2E-01	ohm	2.0	1.0E-01	ohm	50	1	1.0E-02	2E-06	1%
Desvío (tipo A)		A	N			0.0	4.3E-01	ohm	3	1	1.8E-01	1E-02	19%
			N	1.971	ohm	2.0	9.85E-01	ohm	60				100%
Incertidumbre	1.97	ppm											
Factor de cobertura	2												

8. Identificación y almacenamiento

Los resistores a ser calibrados se identifican de acuerdo a las instrucciones del Manual de Calidad del INTI - Física y Metrología y son mantenidos desde el momento de su llegada en el Laboratorio de Patrones Cuánticos, ver capítulo 10 del Manual de Calidad. Una vez calibrados, los resistores recibidos son mantenidos en el Laboratorio de Patrones Cuánticos hasta ser retirados por el cliente.

9. Instrumentos utilizados

- Baños de aceite activo incluidos en el Plan de Calidad de Electricidad.
- Multímetros de 6 ½, 7 ½ y 8 ½ dígitos incluidos en el Plan de Calidad de Electricidad.

PEE43: junio 2017

- Termohigrómetros y termoresistencias incluidas en el Plan de Calidad de Electricidad.
- Caja Hamon de transferencia pertenecientes a la unidad técnica.
- Resistores del banco de resistores patrones del INTI.
- Baño de aire termoestabilizado, INTI.

10. Condiciones ambientales

En caso que los resistores sean medidos en aire, la temperatura del laboratorio deberá ser, por lo menos 3 horas antes de la medición y durante la misma, de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ y la humedad relativa ambiente estar comprendida entre 40% y 70%. Sin embargo, se debe analizar los requerimientos particulares de los elementos resistivos.

11. Registros de calidad

Las notas y observaciones originales tomadas manualmente, original o copia de salidas de software (si resulta aplicable), copia de los certificados emitidos y copia de la orden de trabajo, registros de salida de instrumentos y otros documentos relacionados, son mantenidos de acuerdo con el Manual de Calidad del INTI - Física y Metrología, Capítulo 11.

12. Precauciones

De acuerdo con las provisiones del Decreto 937/74, Artículo 1, Sección d, esta es considerada tarea riesgosa. Por lo tanto, deberán ser tomadas las precauciones necesarias para evitar shock eléctrico. Las operaciones de cambio de conexiones deben ser efectuadas con los circuitos de tensión y corriente desconectados.

13. Apéndices y Anexos

No aplicable