

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología

Procedimiento específico: PEE45

CALIBRACIÓN DE RESISTORES DE BAJO VALOR OHMICO.

Revisión: Julio 2012

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.

PEE45 Lista de enmiendas: Julio 2012

[illegible]

PEE045 Índice: julio 2012

NOMBRE DEL CAPITULO	REVISIÓN
Página titular	julio 2012
Lista de enmiendas	julio 2012
Índice	julio 2012
Calibración de resistores de bajo valor ohmico	julio 2012

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO
MARIANO REAL
UT ELECTRICIDAD
INTI - FISICA Y METROLOGIA

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

Lic. LUCAS D. DI LILLO
COORD. ELECTRICIDAD
FISICA Y METROLOGIA
INTI

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

ING. PATRICIA VA
COORD. CALIDAD Y ADM
INTI - FISICA y M

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. JOAN A. FORASTIERI
DIRECTOR TECNICO
INTI - FISICA Y METROLOGIA

PEE45: Julio 2012

1. Objeto

Calibración de resistores de bajo valor óhmico.

2. Alcance

Calibración de resistores de valor nominal (VN) $100 \mu\Omega \leq VN < 1 \Omega$ con corrientes $I \leq 100 \text{ A}$.

RANGO	INCERTIDUMBRE (K=2) [$\mu\Omega/\Omega$]
$100 \mu\Omega \leq R < 1 \text{ m}\Omega$	50
$1 \text{ m}\Omega \leq R < 10 \text{ m}\Omega$	25
$10 \text{ m}\Omega \leq R < 100 \text{ m}\Omega$	10
$0,1 \Omega \leq R < 1 \Omega$	10

Pueden calibrarse con este método de valor nominal superior a 1Ω .

3. Definiciones y abreviaturas

DC: corriente continua

R_P : resistor de referencia / resistencia del resistor de referencia

R_X : resistencia incógnita / resistencia del resistor incógnita

α_i : coeficiente de variación térmica lineal para el resistor i

β_i : coeficiente de variación térmica cuadrático para el resistor i

T_P : temperatura ambiente medida para R_P

T_0 : temperatura de referencia \bar{T} : temperatura

V_P : caída de tensión sobre el patrón P

V_X : caída de tensión sobre la incógnita

I : corriente aplicada

$I_{+(-)}$: corriente aplicada polaridad positiva (negativa)

DVM: multímetro digital

NPLC: número de ciclos de línea

NDIG: número de dígitos del DVM

RTC: Coeficientes de variación de resistencia por temperatura

4. Referencias

[1] M.Porfiri y R. Iuzzolino, "Calibración de resistores de alta disipación", en Metrocal 2001 - Concepción - Chile, 24 al 27 de abril de 2001.

[2] "Guía para la expresión de incertidumbre de medición" Traducción de INTI-Física y Metrología del documento: "Guide to expression of uncertainty in measurements", BIMP, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993. Dicho documento puede ser consultado en <http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>

[3] D.W. Braudaway, "Behaviour of resistors and shunts: With today's high-precision measurements capability and a century of materials experience, what can go wrong?" IEEE Trans. Instrum Meas., vol 48 (5), pp. 1999-889.

[4] D.W. Braudaway, "Precision resistors: a review of material characteristics, resistor design, and construction practices." IEEE Trans. Instrum. Meas., 1999: 878-883

PEE45: Julio 2012

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

Se utiliza un método de medición potenciométrico, el mismo permite realizar la calibración de un resistor incógnita por medio de uno o dos patrones de resistencia.

6.1. Recomendaciones generales

6.1.1. De ser posible, los resistores serán medidos en un baño de aceite estabilizado en temperatura a 20 °C, en cuyo caso serán introducidos en dicho baño al menos doce (12) horas antes de su calibración a fin de estabilizarlos. La temperatura del baño es medida a cuatro terminales con una termo-resistencia de platino y un multímetro digital. Teniendo en cuenta las características metrológicas de los instrumentos utilizados y los gradientes y estabilidad de temperatura del baño, se considera 0,05 °C como variación de temperatura durante la medición.

6.1.2. Si los resistores son medidos en aire, la temperatura ambiente durante, al menos, 3 horas previas a la medición y durante la misma, debe ser mantenida cercana a 23 °C con una estabilidad de ± 1 °C. La temperatura es medida con un termo-higrómetro o una termo-resistencia utilizando un multímetro de alta exactitud o sistema similar.

6.1.3. Al armar el banco de medición deben utilizarse cables de corriente de sección suficiente para soportar las corrientes aplicadas. Es una buena práctica verificar que la temperatura de los cables no aumente durante las mediciones. En el caso de utilizar conexiones en paralelo utilizar barras de cobre para realizar la interconexión de los resistores. La entrada (salida) de corriente debe realizarse desde el punto medio de dichas barras.

6.1.4. Encender los instrumentos y dejarlos encendidos 2 horas antes de iniciar el procedimiento. Aplicar la corriente de medición 15 min antes de realizar las mediciones y verificar que la tensión estabilice.

6.1.5. Las mediciones son efectuadas con la ayuda del software "Resistencia de Bajo Valor v2.2". Se mide en forma alternada la caída de tensión sobre RP y RX (ver figura 1) con un DVM HP34420A o Agilent 34420A. Cuando la proporción de tensiones sobre RP y RX difiera de 1, ambas serán medidas en el mismo rango del DVM y su especificación de linealidad será incluida en el cálculo de incertidumbre. El programa configura el DVM según lo especificado por el usuario para RANGO y NPLC, mientras que configura automáticamente NDIG = 7 1/2, Auto-triggering = una lectura por disparo, Filtro digital = ON y Filtro analógico = OFF.

6.1.6. En todos los casos se debe asegurar que la máxima potencia disipada en los resistores patrones sea menor o igual a 100 mW, en caso contrario se debe recurrir a un método de dos patrones en paralelo (6.4).

6.1.7. Durante la calibración es necesario realizar inversiones de polaridad de corriente. Para $I \leq 2,2$ A se puede utilizar cualquiera de los calibradores Fluke 5700A, Fluke 5720A o Fluke 5500A; para corrientes I hasta 10 A se puede utilizar un calibrador Fluke 5500A. En cualquiera de estos casos la corriente aplicada se invierte desde el calibrador. En caso de que se utilice una fuente de corriente no automática o unipolar es necesaria una caja inversora para invertir la corriente. Para corrientes superiores a 10 A pueden utilizarse las fuentes Kepco ATE6-50M o el amplificador de transconductancia Clarke & Hess 8100, todos ellos en conjunto con una caja inversora de corriente Guideline 9606.

6.2. Calibración con un resistor patrón

PEE45: Julio 2012

6.2.1. En este caso R_P y R_X son conectados en serie siguiendo el esquema de la figura 1. Se aplica la corriente deseada y se realizan cuatro series de 20 pares de mediciones: primero para una polaridad de la fuente y DVM, luego se invierte automáticamente la polaridad de este último; la tercera se hace invirtiendo la polaridad de la fuente y finalmente invirtiendo la polaridad del DVM nuevamente. El programa permite adquirir la temperatura ambiente y/o del baño de aceite por cada punto de medición, además es conveniente registrar la temperatura ambiente inicial y final.

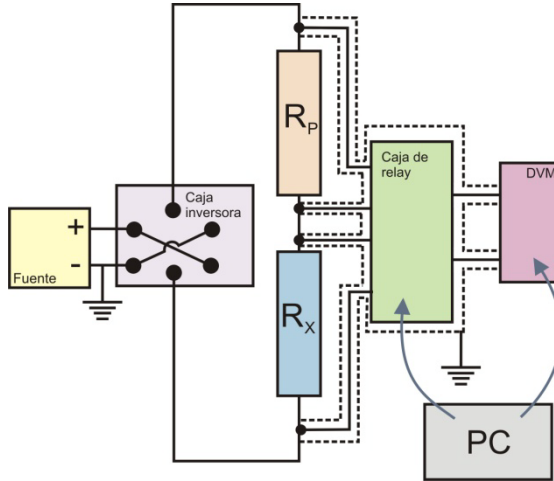


Figura 1 Arreglo del sistema de medición para calibración de resistor R_X por medio de un patrón. Si la fuente de corriente utilizada permite la inversión de corriente la caja inversora no es necesaria.

6.2.2. Si se conocen los coeficientes de variación de resistencia por temperatura (RTC), se calcula el valor de R_P a la temperatura T a partir de:

$$1. R_i = R_{0i} [1 + \alpha_i \Delta T + \beta_i (\Delta T)^2] \quad i = P, X \quad (1)$$

$$2. \Delta T = T - T_0 \quad (2)$$

Donde $i=P$ en este caso.

Para los días $j = 1, \dots, J$ cada observación $k = 1, \dots, K$ está compuesta de $l = 1, \dots, 80$ mediciones, se calcula el promedio y la desviación estándar de las observaciones como

$$\langle R_X \rangle_{(k,j)} = \frac{1}{80} \sum_{l=1}^{80} \left[R_P(j, k, l) \frac{V_X(j, k, l)}{V_P(j, k, l)} \right] \quad (3)$$

$$s^2 = \frac{1}{JK(JK-1)} \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (\langle R_X \rangle_{(j,k)} - \langle R_X \rangle)^2 \quad (4)$$

Si se desea conocer el valor de R_X a una dada temperatura de referencia y en caso de conocerse sus coeficientes de variación de resistencia por temperatura, se calculará su valor R_{0X} a la temperatura de referencia T_0 , usando la ecuación (1) con $i=X$.

Se aconseja realizar gráficos de cada grupo de mediciones para detectar posibles problemas que pudieran suscitarse durante el proceso de medición.

6.3. Incertidumbre: Modelo y cálculo

PEE45: Julio 2012

6.3.1. El modelo de incertidumbre utilizado viene dado por

$$s^2(R_X) = s^2 + s^2(R_P) + s^2(DVM) \quad (5)$$

donde el primer término en (5) es la varianza asociada a la incertidumbre tipo A con $JK - 1$ grados de libertad, ver [2]. Además $s^2(\mathbf{R}_p)$ es la incertidumbre asociada al patrón dada por (6) y $s^2(\mathbf{DVM})$ es la incertidumbre de tipo B asociada al multímetro, que viene dada por (7).

$$s^2(R_p) = s^2(cal) + s^2(d) + s^2(T) \quad (6)$$

$$s^2(DVM) = s^2(lin) + s^2(res) \quad (7)$$

$s^2(cal)$ es la incerteza asociada a la calibración del patrón, $s^2(d)$ la asociada a la deriva no corregida del patrón, $s^2(T)$ la asociada a variaciones térmicas y finalmente $s^2(lin)$ y $s^2(res)$ son las incertezas por exactitud/linealidad y resolución del DVM que se incluyen según corresponda. En el caso en que la proporción de tensiones difiera de 1, la linealidad del multímetro debe ser incluida en la incertidumbre de medición.

Para mediciones de tensión continua, el fabricante del multímetro especifica una linealidad del conversor A/D de $0,8 \mu\text{V/V}$ de la lectura $+0,5 \mu\text{V/V}$ del rango y una resolución de $1 \times 10^{-7} \text{ V/V}$.

6.3.2. Ejemplo de cálculo de incertidumbre

6.3.2.1. Calibración de un resistor de 10 mΩΩΩ

Tabla 1 Balance de incertidumbre para un resistor patrón de 10 mΩ, en la incertidumbre final se utiliza un factor de cobertura del 95 %.

Calibración de:

L&N (703) 10 mΩ

Modelo asociado a la medición:

Corriente de calibración0.3 A

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado		Tipo	Distrib	Intervalo (±)		Factor	u _i		v _i	c _i	(c _i u _i) ²	W-S	% contrib	
Calibración del patrón	R _p	0,0999952	Ω	BN	N	1,0E-07	Ω	2,0	5,0E-08	Ω	5000	1,00E-01	2,5E-17	1E-37	14%	
Drift no corregido	d	0,3	ppm/año	BR	R	5,0E-08	Ω	1,7	2,9E-08	Ω	5000	1,00E-01	8,3E-18	1E-38	5%	
Temperatura R _s	ΔT	0	K	BR	R	7E-04	K	1,7	4,2E-04	K	5000	9,77E-08	Ω/K	1,7E-21	6E-46	0%
DVM resolución	res	0	-	BR	R	1,0E-07	V/V	1,7	5,8E-08	V/V	5000	1,00E-02	Ω	3,3E-19	2E-41	0%
DVM linealidad	lin	0	-	BR	R	-1,8E-08	-	1,7	-1,0E-08	-	5000	1,00E-01	Ω	1,1E-18	2E-40	1%
Tipo A				A	N			0,0	1,2E-08	Ω	6	1	1,5E-16	4E-33	81%	
	R _x	0,009999809	Ω		N	3,1E-08	Ω	2,3	1,4E-08	Ω	9				100%	

R_x= 0,00999981 Ω ± 3 μΩ/Ω

6.4. Calibración con dos resistores patrón

6.4.1. En el caso de ser necesario utilizar dos resistores patrón se utilizarán dos resistores de igual valor nominal conectados en paralelo a través de barras de conexión de cobre. La conexión de corriente debe realizarse en el punto medio de las mismas. Es una buena práctica comprobar que dichas conexiones sean firmes y realizar una limpieza previa a fin de eliminar óxido.

6.4.2. La calibración con dos patrones de referencia se describe en [1].

7. Identificación y almacenamiento

Los instrumentos a ser calibrados son identificados de acuerdo con las instrucciones del Manual de Calidad del INTI - Física y Metrología y mantenidos, desde el momento de su llegada, en el laboratorio de resistores, subsuelo, ver Capítulo 9 del MC. Una vez calibrados, los instrumentos son mantenidos en el mismo laboratorio hasta ser devueltos al usuario.

8. Instrumentos utilizados

- Multímetro digital HP 34420A, N° US 36002178.

PEE45: Julio 2012

- Multímetro digital HP 34420A, N° US 36001616.
- Multímetro digital Agilent 34420A, N° US 36002419.
- Multímetro digital Agilent 34420A, N° MY 42001298.
- Multímetro digital HP 3458A, N° 2823A 11565
- Multímetro digital HP 3458A, N° 2823A 11567
- Multímetro digital HP 3458A, N° 2823A 22086
- Multímetro digital HP 3458A, N° 2823A 25774.
- Multímetro digital Agilent 3458A, N° US 28033200.
- Multímetro digital Agilent 34401A, N° MY 47022211.
- Caja de relés de construcción propia # RB-01.
- Fuente de corriente Kepco ATE6-50M. N° 003907.
- Amplificador de transconductancia Clarke & Hess 8100, N° 215.
- Calibrador multifunción Fluke 5500, N° 7215002.
- Calibrador multifunción Fluke 5700A, N° 6375303.
- Calibrador multifunción Fluke 5720A, N° 9010208.
- Baño de aceite Guildline 9730CR N° 44060.
- Termorresistencia identificada como TR1.
- Termorresistencia identificada como TR2.
- Termorresistencia identificada como TR3.
- Termorresistencia identificada como TR4.
- Termorresistencia identificada como TR07.
- Termorresistencia de platino ROSEMOUNT 162CE, N° 3799
- Termorresistencia identificada como TR013-RES1
- Resistor patrón, seleccionado adecuadamente entre aquellos que conforman el banco de resistores patrón del INTI.
- Termohigrómetro digital TFA, identificado EL3.
- Termómetro e higrómetro digital HT 3003, N° 331969.
- Llave inversora Guildline Mod. 9606, N° 43263.

9. Condiciones ambientales

Durante la medición y, al menos en las tres horas previas a la misma, la temperatura ambiente de laboratorio deberá ser de $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ y la humedad relativa ambiente estar comprendida entre 40 % y 70 %.

10. 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.

11. 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.

12. Apéndices y Anexos

No corresponde.