

Instituto Nacional
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación
en Física y Metrología



Procedimiento específico: PEC08

CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE RESISTENCIA POR COMPARACIÓN

Revisión: Diciembre 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.

PEC08 Lista de enmiendas: Diciembre 2017

[illegible]

PEC08 Índice: Diciembre 2017

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Diciembre 2017
Lista de enmiendas	Diciembre 2017
Índice	Diciembre 2017
Calibración de termómetros de resistencia por comparación	Diciembre 2017



PREPARADO POR
FIRMA Y SELLO

T.C. MARIANO LISTE
U. T. CALOR
FISICA y METROLOGIA
INTI

REVISADO POR
FIRMA Y SELLO

Lic. JAVIER GARCIA SKABAR
COORD. U.T. CALOR
FISICA y METROLOGIA
INTI

REVISADO POR
FIRMA Y SELLO

REVISADO POR
FIRMA Y SELLO

ING. PATRICIA VARELA
COORD. CALIDAD Y ADMINISTRACION
INTI - FISICA y METROLOGIA

APROBADO POR
FIRMA Y SELLO

Ing. JUAN A. FORASTIERI
DIRECTOR TECNICO
INTI - FISICA y METROLOGIA

1. Objeto

- Establecer los métodos para la calibración de termómetros de resistencia.
- Determinar una tabla de calibración, donde se evaluará la resistencia eléctrica del instrumento bajo calibración en función de la temperatura y sus incertidumbres. También, se calcularán los coeficientes de la ecuación Callendar Van Dusen.

2. Alcance

La calibración se realiza por comparación con termómetros patrones de resistencia de platino, en baños con fluidos de temperatura estable y uniforme. El intervalo de calibración está comprendido entre $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $660\text{ }^{\circ}\text{C}$. Además, la vaina del termómetro debe poseer una longitud mínima de 30 cm.

3. Definiciones y abreviaturas

La definición de términos generales metrológicos se encuentra en el Manual de la Calidad, capítulo 2, en el Plan de la Calidad y en el texto del presente procedimiento.

- 3.1. **TRP**: Termoresistencia patrón de platino. Termómetro definido, en la ITS-90, como elemento de interpolación en el intervalo comprendido entre 13,8 K y 961,78 $^{\circ}\text{C}$.
- 3.2. **TRX**: Termoresistencia a calibrar.
- 3.3. Medición de resistencia en configuración de N terminales: Medición de resistencia eléctrica donde la resistencia a medir es conectada a través de N cables. Donde N puede tomar los valores de 2, 3 o 4.
- 3.4. **R_{REF}**: Valor de la resistencia de referencia.
- 3.5. **V_{REF}**: Valor de tensión sobre la resistencia de referencia.
- 3.6. **R_{TRP}**: Valor de la resistencia del termómetro TRP.
- 3.7. **V_{TRP}**: Valor de tensión sobre la resistencia del termómetro TRP.
- 3.8. **R_{TRX}**: Valor de la resistencia del termómetro TRX.
- 3.9. **V_{TRX}**: Valor de tensión sobre la resistencia del termómetro TRX.
- 3.10. **t_{TRPi}**: Valor de temperatura indicado por la termoresistencia patrón identificada con la letra i.

4. Documentación de Referencia

- 4.1. ITS-90, "International Temperature Scale of 1990", Metrología, 27, 3-10(1990).
- 4.2. IEC 751 (Amendment 2), "Industrial platinum resistance thermometers", 1995.
- 4.3. ASTM E1137 / E1137M - 08, "Standard Specification for Industrial Platinum Resistance Thermometers".
- 4.4. OIML R 84 "Resistance-thermometer sensors made of platinum, copper or nickel (for industrial and commercial use)".
- 4.5. IEC 60751 "Industrial platinum resistance thermometers and platinum temperature sensors".
- 4.6. Traceable Temperatures, Nicholas J.V. White D.R., Editorial John Wiley & Sons, 1999.
- 4.7. Resistance and liquid-in-glass Thermometry, Bentley R.E., Handbook of Temperature Measurement, Volume 2, Springer, 1998.
- 4.8. Technical guide for a temperature file accreditation, Document 2266, Edition 00 (1999), COFRAC.
- 4.9. **Low Level Measurements Handbook 7th Edition**, J.F. Keithley, J. R. Yeager, R.J. Erdman, 2013.
- 4.10. V.C. Fericola, L. Iacomini, Approximating the ITS-90 temperature scale with industrial platinum resistance thermometers, Int J Thermophys 29, 1817-1827 (2008).

5. Responsabilidades

5.1. Del Coordinador de la Unidad Técnica Calor

Supervisar la realización de las calibraciones. Verificar que se cumplan los procedimientos y revisar los resultados.

5.2. Del personal del laboratorio

Realizar las calibraciones aplicando el presente procedimiento. Procesar los datos correspondientes y emitir el certificado.

6. Instrumentos de referencia

- 6.1. TRP 31 identificación. SPRT marca FLUKE, modelo 5699, rango de trabajo Ar (T) (-189,3442 °C) a H₂O (T).
- 6.2. TRP 29 identificación. SPRT marca ISOTECH, modelo 935, rango de trabajo Ar (T) (-189,3442 °C) a H₂O (T).
- 6.3. TRP 24 identificación. SPRT marca TINSLEY, modelo 5187H, rango de trabajo H₂O (T) a In(S) (156,5985 °C).
- 6.4. TRP 37 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H₂O (T) a In (S) (156,5985 °C).
- 6.5. TRP 7 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H₂O (T) a Sn (S) (231,928 °C).
- 6.6. TRP 8 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H₂O (T) a Sn (S) (231,928 °C).
- 6.7. TRP 9 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H₂O (T) a Al (S) (660,323 °C).
- 6.8. TRP 19 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H₂O (T) a Al (S) (660,323 °C).
- 6.9. Resistores de referencia en ambiente identificados como ELT 50/10, UP 100-3.
- 6.10. Baños de agua y aceite marca TAMSON.
- 6.11. Baños de etilenglicol marca FLUKE.
- 6.12. Baño de aceite, marca FLUKE.
- 6.13. Baño de aire, cámara marca VÖTSCH, modelo VMT08/64, N de serie 12122.
- 6.14. Baño de lecho fluidizado, marca SCHWING, modelo TH050, N de serie 6329.
- 6.15. Bloques ecualizadores (aluminio, acero inoxidable, cobre, plata)
- 6.16. Nanovoltímetro digital (multímetro) marca Hewlett Packard, modelo HP 34420A, rango de trabajo: 0 mV a 100 mV y 0 mV a 1 V.
- 6.17. Scanner marca Keithley, modelo 705, con plaqueta marca Keithley, modelo 7059.
- 6.18. Inversor y fuente de corriente constante, rango de trabajo 1 mA.
- 6.19. Computadora personal.
- 6.20. Programa TCTRTV.
- 6.21. Rango de aplicación y estabilidad de los medios isoterms.

EQUIPO	INTERVALO DE TEMPERATURA	ESTABILIDAD APROX. SIN BLOQUE ECUALIZADOR
Baño (Etilenglicol y agua)	-30 a 20° C	± 0,01 °C
Baño (Agua)	5 a 80° C	± 0,01 °C
Baño (Aceite)	50 a 200° C	± 0,005 °C
Alúmina y aire	100 a 660° C	± 0,03 °C
Horno	300 a 1000° C	± 0,3 °C
Baño de aire (con bloque)	-75 a 0° C	~± 0,01 °C

7. Condiciones ambientales

La temperatura del laboratorio deberá estar comprendida en: $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ y la humedad relativa ambiente menor que 80 %hr.

8. Instrucciones para la calibración

- 8.1. Para realizar la calibración se introduce la termorresistencia en un baño de temperatura estable, junto con las termorresistencias patrones. Se asume que tanto el termómetro a calibrar como los patrones se hallan, al momento de medir, en equilibrio térmico con el fluido del baño.
- 8.2. Para evitar introducir errores sistemáticos en la medición, provocados por la resistencia de los hilos conductores, el termómetro a calibrar se conecta en configuración de 4 terminales.

8.3. Los valores de resistencia, tanto del termómetro a calibrar como los de los termómetros patrones, se obtienen como resultado del cociente entre las mediciones de las tensiones generadas sobre los bornes del termómetro en cuestión y los de la resistencia de referencia. La medición de estas magnitudes se realiza para ambos sentidos de circulación de corriente, con el fin de minimizar los efectos originados por las fuerzas electromotrices de origen térmico, presentes en el circuito.

8.4. El valor de temperatura del baño se obtiene de la curva de calibración del termómetro patrón y de su valor medido de resistencia.

8.5. Los valores de R_{TRX} y t_{TRP} se obtienen de:

$$R_{TRX} = R_{REF} * \left(\frac{V_{TRX}}{V_{REF}} \right) \quad (1)$$

$$t_{TRP} = (t_{TRPA} + t_{TRPB})/2 \quad (2)$$

$$t_{TRPA} = f^{-1}(R_{TRPA}) \quad (3)$$

$$t_{TRPB} = g^{-1}(R_{TRPB}) \quad (4)$$

Siendo $R_{TRPA} = f(t)$ y $R_{TRPB} = g(t)$ las expresiones correspondientes a las curvas de las calibraciones de los termómetros TRPA y TRPB respectivamente.

8.6. Los datos ingresados, valores medidos y resultados de los cálculos realizados por el programa, se almacenan en tres archivos:

- "___.ent" contiene información acerca del instrumento a calibrar, los patrones utilizados y los canales en los que se encuentran conectados.
- "____.gra" contiene los resultados de cada medición.
- "____.sal" contiene todos los datos obtenidos durante la calibración.

8.7. Operaciones previas

Antes de comenzar con la calibración se realizan las siguientes operaciones:

8.7.1. Una inspección visual de la termorresistencia, consiste en la comprobación de su buen estado, sin la presencia de defectos, deformaciones, malos contactos, cables de conexión rotos, entre otros.

8.7.2. No se aceptarán para su calibración aquellos termómetros de resistencia que presenten alguno de los defectos indicados en 8.7.1 o que no satisfagan la condición mencionada en ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..

8.7.3. Se corrobora que la instrumentación involucrada en la medición se halle en estado operativo, respetando luego de su encendido, un intervalo de estabilización de al menos 1 hora.

8.7.4. Se comprueba que se satisfagan las condiciones ambientales indicadas en 7.

8.8. Proceso de calibración

Se realizan las siguientes operaciones:

8.8.1. Se conectan las termorresistencias al circuito de medición de acuerdo al siguiente diagrama:

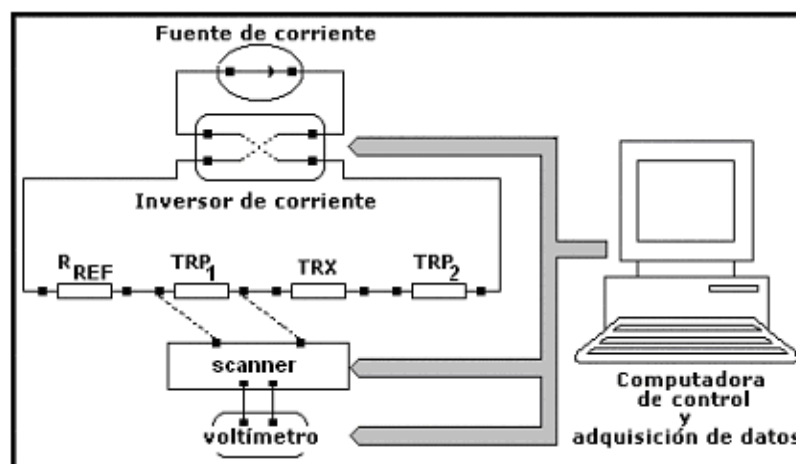


Diagrama 1. Esquema del circuito de medición

8.8.2. Se configura la instrumentación para las condiciones de medición que corresponda.

8.8.3. Se sumerge la TRX en un baño del punto del hielo ($t = 0^{\circ}\text{C}$), preparado según el procedimiento PEC01. Una vez estabilizada se determina el valor de resistencia de la TRX. Para ello se utiliza el programa TCTRTV.

8.8.4. Se eligen valores de temperatura aproximadamente equidistantes dentro del intervalo de calibración solicitado. El número mínimo de valores elegidos corresponderá, a cuatro veces el número de coeficientes de la curva de regresión a determinar (ref.: Traceable Temperatures, Pág. 73).

8.8.5. Se introducen dos TRP (aquí denominadas TRPA y TRPB) y la TRX en el baño elegido, de acuerdo al valor de temperatura de calibración. Para mejorar la homogeneidad de temperatura del medio pueden utilizarse bloques ecualizadores de metal insertando en ellos los termómetros.

8.8.6. Se selecciona en el baño el mínimo valor de temperatura de calibración. Una vez estabilizada la temperatura del baño, utilizando el programa TCTRTV, ingresando todos los datos allí solicitados, se realizan dos mediciones, que son aceptadas para archivar o no, según cumplan con los siguientes requisitos: La dispersión, que se verificará en todos los casos, y la diferencia de temperatura entre patrones, en el caso de medir con más de uno. Tanto para la dispersión como para la diferencia entre patrones se aceptará como máximo, para el rango entre -75°C y 200°C : $0,02^{\circ}\text{C}$; para el rango entre 200°C y 660°C : $0,05^{\circ}\text{C}$.

8.8.7. Se lleva el baño al valor de calibración superior consecutivo. Se deja estabilizar y se realizan otras dos mediciones de acuerdo con lo indicado en 8.

8.8.8. Se repiten las acciones indicadas hasta alcanzar el valor máximo de calibración.

8.8.9. Se lleva el baño a un valor de temperatura intermedio del rango de calibración. Se deja estabilizar y se realizan, por último, dos mediciones de acuerdo con lo indicado en 8.

9. Tratamiento de datos

Los valores de $R(0^{\circ}\text{C})$ y de los coeficientes (A, B, C y D, según corresponda) se obtienen de ajustar, mediante el método de cuadrados mínimos, la curva de calibración correspondiente de los valores medidos.

10. Modelo de medición e incertidumbres

10.1. Modelo de Interpolación: Los valores de resistencia y temperatura se relacionan directamente, mediante las siguientes ecuaciones (ref.: Traceable Temperatures, Pág.156):

10.1.1. Ecuación de Callendar - van Dusen

Subintervalo	$R(t)$
$-75^{\circ}\text{C} \leq t < 0^{\circ}\text{C}$	$R(0^{\circ}\text{C}) \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3 \cdot (t - 100^{\circ}\text{C})]$
$0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 660^{\circ}\text{C}$	$R(0^{\circ}\text{C}) \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2]$

10.1.2. Curva de Callendar - van Dusen (modificada para $t > 200^{\circ}\text{C}$)

Subintervalo	$R(t)$
$-75^{\circ}\text{C} \leq t < 0^{\circ}\text{C}$	$R(0^{\circ}\text{C}) \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3 \cdot (t - 100^{\circ}\text{C})]$
$0^{\circ}\text{C} \leq t \leq 200^{\circ}\text{C}$	$R(0^{\circ}\text{C}) \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2]$
$200^{\circ}\text{C} < t \leq 660^{\circ}\text{C}$	$R(0^{\circ}\text{C}) \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + D \cdot t^3]$

10.2. Modelo de medición e incertidumbre: Para el análisis de datos y cálculo de incertidumbre se utiliza la planilla PEC08U.xlsm, según lo desarrollado a continuación.

El valor de temperatura T_X al que corresponde el valor R_{TRX} es:

$$T_X = \delta 1 + \delta 2 + \delta 3 + \delta 4 + \delta 5 + \delta 6 + \delta 7 + \delta 8 + \delta 9 + \delta 10 + \delta 11 + \delta 12 + \delta 13 + \delta 14 \quad (5)$$

Ver ejemplo en 11. Tabla 1. Balance de incertidumbre asignado a la temperatura medida

Donde:

T_X : es la temperatura corregida del sensor a calibrar medida con los SPRT a la que corresponde el valor R_{TRX} del sensor a calibrar.

$\delta 1$ es la Indicación promedio de temperatura de los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 1)$ se obtiene del promedio de las dispersiones de los valores medidos.

$\delta 2$ es la corrección de la temperatura debida a la Inhomogeneidad de la temperatura del baño, su incertidumbre $U(\delta 2)$ se evalúa con las especificaciones del fabricante o con la caracterización del baño utilizado.

$\delta 3$ es la corrección de la temperatura debida a la Exactitud del multímetro para los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 3)$ se evalúa con las especificaciones del fabricante (Verificadas en la UTE de FÍSICA Y METROLOGIA).

$\delta 4$ es la corrección de la temperatura debida a la Resolución del multímetro para los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 4)$ se considera $\frac{1}{2}$ dígito de la resolución del multímetro.

$\delta 5$ es la corrección de la temperatura debida a los Errores de conexión e inversión de la corriente (tales como: tensiones parásitas, etc.) para los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 5)$ se considera $0,6 \mu V$ (ref.: Low Level Measurements, sección 3.2.2).

$\delta 6$ es la corrección de la temperatura debida a la Inmersión de los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 6)$ se evalúa con las especificaciones del fabricante, o el desplazamiento del sensor, en sentido vertical, a una distancia aproximada a 2 diámetros de la vaina.

$\delta 7$ es la corrección de la temperatura debida a la Realización del punto de hielo, su incertidumbre $U(\delta 7)$ se considera $\pm 0,005 \text{ }^\circ\text{C}$ (de acuerdo al PEC01).

$\delta 8$ es la corrección de la temperatura debida a Estabilidad a corto plazo del resistor de referencia, su incertidumbre $U(\delta 8)$ se estima en función de su estabilidad térmica.

$\delta 9$ es la corrección de la temperatura debida a la Exactitud del multímetro para los termómetros patrones, al medir su resistencia a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, su incertidumbre $U(\delta 9)$ se evalúa de igual forma que $U(\delta 3)$.

$\delta 10$ es la corrección de la temperatura debida a la Resolución del multímetro para los termómetros patrones, al medir su resistencia a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, su incertidumbre $U(\delta 10)$ se evalúa de igual forma que $U(\delta 4)$.

$\delta 11$ es la corrección de la temperatura debida a los Errores de conexión e inversión de la corriente, al medir su resistencia a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ (tales como: tensiones parásitas, etc.) para los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 11)$ se evalúa de igual forma que $U(\delta 5)$.

$\delta 12$ es la corrección de la temperatura debida a la Deriva del $R(0 \text{ }^\circ\text{C})$ de los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 12)$ se estima a partir del promedio de las diferencias entre mediciones sucesivas del valor de $R(0 \text{ }^\circ\text{C})$.

$\delta 13$ es la corrección de la temperatura debida a la calibración de los termómetros patrones, su incertidumbre $U(\delta 12)$ es la incertidumbre informada en el certificado de calibración.

$\delta 14$ es la corrección de la temperatura debida a la calibración del resistor de referencia, su incertidumbre $U(\delta 13)$ es la incertidumbre informada en el certificado de calibración.

El valor de resistencia medida (R_X) del sensor a calibrar:

$$R_X = R_{TRX} + \delta 15 + \delta 16 + \delta 17 + \delta 18 + \delta 19 \quad (6)$$

Ver ejemplo en 11. Tabla 2. Balance de incertidumbre asignado al valor de resistencia para cada temperatura.

Donde:

R_X es el valor corregido de la resistencia.

R_{TRX} es la resistencia calculada en 8.5, para la temperatura t , su incertidumbre $U(R_{TRX})$ se obtiene del promedio de las dispersiones de los valores medidos.

$\delta 15$ es la corrección de la resistencia, debida a la Exactitud del multímetro, su incertidumbre **$U(\delta 15)$** se evalúa de igual forma que **$U(\delta 3)$** .

$\delta 16$ es la corrección de la resistencia, debida a la Resolución del multímetro, su incertidumbre **$U(\delta 16)$** se evalúa de igual forma que **$U(\delta 4)$** .

$\delta 17$ es la corrección de la resistencia, debida a los Errores de conexión e inversión de la corriente (tales como: tensiones parásitas, etc.), su incertidumbre **$U(\delta 17)$** se evalúa de igual forma que **$U(\delta 5)$** .

$\delta 18$ es la corrección de la resistencia, debida a la Estabilidad a corto plazo del resistor de referencia, su incertidumbre **$U(\delta 18)$** se evalúa de igual forma que **$U(\delta 8)$** .

$\delta 19$ es la corrección de la temperatura debida a la calibración del resistor de referencia, su incertidumbre **$U(\delta 19)$** se evalúa de igual forma que **$U(\delta 13)$** .

El valor de resistencia (**R_{XT}**) del sensor a calibrar contabilizando el aporte de incertidumbre de la temperatura **T_X** y la curva de interpolación según corresponda:

$$R_{XT} = \delta T_X + R_X + \delta 20 + \delta 21 \quad (7)$$

Ver ejemplo en 11. Tabla 3. Balance de incertidumbre obtenido combinando la incertidumbre del valor de temperatura del sensor (ec.5), con la incertidumbre del valor de resistencia (según ec.6) y con la incertidumbre asociada a la corrección por ajuste del polinomio.

Donde:

T_X es la temperatura corregida del sensor a calibrar su incertidumbre se estima según ec.5.

R_X es el valor corregido de la resistencia del sensor a calibrar su incertidumbre se estima según ec.6.

$\delta 20$ es la corrección debida al error del modelo CVD, respecto de ITS 90 se estima en base a la referencia del punto 4.9

$\delta 21$ es la corrección de la resistencia, debida al ajuste del polinomio, su incertidumbre se considera el error cuadrático medio del ajuste.

$\delta 22$ es la corrección de la temperatura debida a la Inmersión de los termómetros bajo calibración, su incertidumbre **$U(\delta 22)$** se evalúa con las especificaciones del fabricante, o el desplazamiento del sensor, en sentido vertical, a una distancia aproximada a 2 diámetros de la vaina.

11. Ejemplos de Balance de Incertidumbre

Tabla 1. Balance de incertidumbre asignado a la temperatura medida

BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACIONProcedimiento: **PEC08**Calibración de: **Termorresistencias por comparación**

TRP	valor en Ω 65,24	Valor leído 0,065 V	valor del patron en hielo
7	Rango 2	1 V	25 mV

Fuente de incertidumbre	Simb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (±)		Fac	u _i		v _i	c _i	(c _i u _i) ²	%		
Indicación promedio de los patrones	δ1	402,424	°C	A1	N			1,3E-02	°C	16	1	1,7E-04	45,4%		
Inhomogeneidad del baño	δ2	0	°C	BR	R	2,0E-02	°C	1,7	1,2E-02	°C	50	1	1,3E-04	35,9%	
Exactitud multimetro (patrón)	δ3	0	mV	BR	R	5,5E-07	V	1,7	3,2E-07	V	50	10000	°C/V	1,0E-05	2,7%
Resolución multimetro (patrón)	δ4	0	mV	BR	R	5,0E-08	V	1,7	2,9E-08	V	50	10000	°C/V	8,3E-08	0,0%
Error de conexión e inversión	δ5	0	mV	BN	N	6,0E-04	mV	2,0	3,0E-04	mV	50	10	°C/mV	9,0E-06	2,4%
Error por inmersión (patrones)	δ6	0	°C	BR	R	0,0E+00	°C	1,7	0,0E+00	°C	50	1	0,0E+00	0,0%	
Error del hielo	δ7	0	°C	A1	N			5,0E-03	°C	50	1	2,5E-05	6,7%		
Estabilidad resistor de referencia	δ8	0	Ω	A1	N			5,0E-06	Ω	50	10	°C/Ω	2,5E-09	0,0%	
Exactitud multimetro (patrón a 0°C)	δ9	0	mV	BR	R	7,0E-05	mV	1,7	4,0E-05	mV	50	10	°C/mV	1,6E-07	0,0%
Resolución multimetro (patrón a 0°C)	δ10	0	mV	BR	R	5,0E-06	mV	1,7	2,9E-06	mV	50	10	°C/mV	8,3E-10	0,0%
Error de conexión e inversión a 0°C	δ11	0	mV	BN	N	0,0E+00	mV	2,0	0,0E+00	mV	50	10	°C/mV	0,0E+00	0,0%
Deriva del R(0°C)	δ12	0	°C	BN	N	1,0E-02	°C	2,0	5,0E-03	°C	50	1	2,5E-05	6,7%	
Calibración del termómetro patrón	δ13	0	°C	BN	N	8,0E-04	°C	2,0	4,0E-04	°C	50	1	1,6E-07	0,0%	
Calibración del resistor de referencia	δ14	0	Ω	BN	N	5,0E-04	Ω	2,0	2,5E-04	Ω	50	10	°C/Ω	6,3E-06	1,7%
Temperatura corregida		402,424			N	3,9E-02		2,0	1,9E-02		64			100%	

$$T_x = (402,424 \pm 0,039)$$

Tabla2. Balance de incertidumbre asignado al valor de resistencia para cada temperatura.

BALANCE DE INCERTIDUMBRES EN CALIBRACIONProcedimiento: **PEC08**Calibración de: **Termorresistencias por comparación**

Valor leído	248,0760 mV
Rango	1
	100 mV

Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (±)		Fac	u _i		v _i	c _i		(c _i u _i) ²	W-S	%	
Indicación promedio RTRX	RTRX	248,076	mV	A1	N			6,6E-03	mV	16	1	Ω/mV	4,4E-05	1E-10	99,0%	
Exactitud multimetro (patrón)	δ15	0	mV	BR	R	2,5E-04	mV	1,7	1,4E-04	mV	50	1	W/mV	2,1E-08	8E-18	0,0%
Resolución multimetro (patrón)	δ16	0	mV	BR	R	1,0E-03	mV	1,7	5,8E-04	mV	50	1	W/mV	3,3E-07	2E-15	0,8%
Error de conexión e inversión	δ17	0	mV	BN	N	2,0E-04	mV	2,0	1,0E-04	mV	50	1	W/mV	1,0E-08	2E-18	0,0%
Estabilidad resistor de referencia	δ18	0	Ω	A1	N			1,0E-06	Ω	50	1		1,0E-12	2E-26	0,0%	
Calibración del resistor de referencia	δ19	1	Ω	BN	N	5,0E-04	Ω	2,0	2,5E-04	Ω	50	1		6,3E-08	8E-17	0,1%
Error por inmersión (IBC)	δ22	0	Ω	BR	R	0,0E+00	Ω	1,7	0,0E+00	Ω	50	1		0,0E+00	0E+00	0,0%
Resistencia medida		248,076		N		1,4E-02		2,1	6,6E-03		16					100%

$$R_x = (248,076 \pm 0,014) \Omega$$

Tabla3. Balance de incertidumbre obtenido combinando la incertidumbre del valor de temperatura del sensor (ec.5), con la incertidumbre del valor de resistencia (según ec.6) y con la incertidumbre asociada a la corrección por ajuste del polinomio.

Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado	Tipo	Dis	Intervalo (±)		Fac	u _i		v _i	c _i		(c _i u _i) ²	%	
Temperatura	T _x	402,42	°C	BN	N	3,9E-02	°C	2,0	1,9E-02	°C	50	0,4	Ω/°C	5,9E-05	20,7%
Resistencia	R _x	248,08	Ω	BN	N	1,4E-02	Ω	2,0	7,0E-03	Ω	50	1		4,9E-05	17,1%
Error de curva CVD	δ ₂₀			A1	N				1,2E-02	Ω	50	1		1,4E-04	50,1%
Ajuste de curva polinomio	δ ₂₁	0	Ω	A1	N				5,9E-03	Ω	50	1		3,5E-05	12,1%
Resistencia medida		650.500		N		3.4E-02		2.0	1.7E-02		577				100%

$$R_T = (248,08 \pm 0,034) ^{\circ}\text{C}$$

12. Confección del certificado de calibración

Además de lo establecido en el Manual de calidad y procedimientos generales, en el certificado de calibración se informa:

12.1. Una breve descripción del método de calibración utilizado.

12.2. El valor de $R(0^{\circ}\text{C})$ y los coeficientes de la curva de calibración y/o una tabla con los valores de resistencia para las temperaturas de calibración solicitadas con sus respectivas incertidumbres (expresadas en términos de resistencia para la tabla de valores y temperatura para la curva de interpolación) calculadas según 11.2.

13. Registro de la calidad

Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos, como así también copia de la orden de trabajo, salida de elementos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad del INTI - Física y Metrología, capítulo 11.

14. Apéndices y anexos

No Aplica.