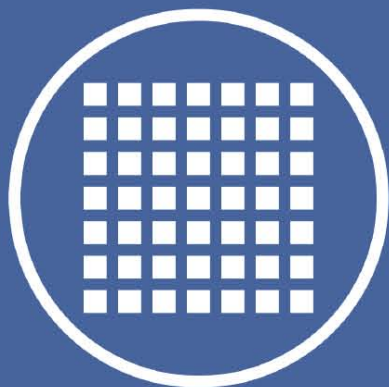


Copia No Controlada

Instituto Nacional  
de Tecnología Industrial

Centro de Desarrollo e Investigación  
en Física y Metrología



INTI



Procedimiento específico: PEC11

## **CALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DIGITALES POR COMPARACIÓN CON TERMORRESISTENCIAS**

Revisión: Agosto 2015

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.

## PEC11 Lista de enmiendas: Agosto 2015

[illegible]

PEC11 Índice: Agosto 2015

NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Agosto 2015
Lista de enmiendas	Agosto 2015
Índice	Agosto 2015
Calibración de termómetros digitales por comparación con termorresistencias	Agosto 2015

PREPARADO POR

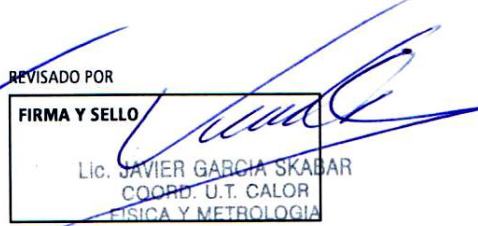
FIRMA Y SELLO



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

REVISADO POR

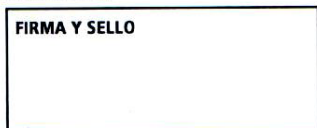
FIRMA Y SELLO



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

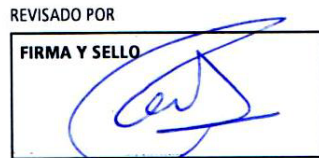
REVISADO POR

FIRMA Y SELLO



REVISADO POR

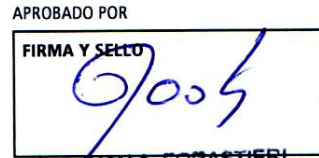
FIRMA Y SELLO



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

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO



Ing. JUANA FORASTIERI  
DIRECTOR TECNICO  
INTI - FISICA y METROLOGIA

PEC11: Agosto 2015

## 1. Objeto

Determinar la corrección a aplicar a la indicación del instrumento y su incertidumbre en valores seleccionados previamente (tres como mínimo).

## 2. Alcance

Establecer los métodos para la calibración de termómetros con indicadores digitales o analógicos, en el rango comprendido entre  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ , que cumplan con las siguientes características:

- De inmersión.
- Para el rango comprendido entre  $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , una longitud mínima de 25cm
- Para el rango comprendido entre  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ , una longitud mínima de 30 cm y diámetro máximo de 10 mm.

## 3. Definiciones y abreviaturas

**3.1. TRP:** Termorresistencia patrón de platino. Termómetro definido, en la ITS-90, como elemento de interpolación en el intervalo comprendido entre 13,8 K y  $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**3.2. TX** termómetro bajo calibración

**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.  $t_{TRPi}$ :** Valor de temperatura indicado por la termorresistencia patrón identificada con la letra i.

**3.9.  $t_{TX}$ :** Valor de temperatura indicado por el termómetro bajo calibración

**3.10. Medición:** Se considerará así a un grupo de cuatro barridas o lecturas de cada canal o instrumento a medir.

**3.11. SPRT:** Termómetro de resistencia de platino patrón.

## 4. Documentación de referencia

**4.1.** ITS90. "International Temperature Scale of 1990", Metrología, 27, 3-10,1990.

**4.2.** Low Level Measurements, J.F. Keithley, J. R. Yeager, R.J. Erdman, 2013.

## 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) ( $-189,3442\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a H<sub>2</sub>O (T).

**6.2.** TRP 29 identificación. SPRT marca ISOTECH, modelo 935, rango de trabajo Ar (T) ( $-189,3442\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) a H<sub>2</sub>O (T).

**6.3.** TRP 24 identificación. SPRT marca TINSLEY, modelo 5187H, rango de trabajo H<sub>2</sub>O (T) a In(S) ( $156,5985\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

## PEC11: Agosto 2015

- 6.4. TRP 37 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H<sub>2</sub>O (T) a In (S) (156,5985 °C).
- 6.5. TRP 7 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H<sub>2</sub>O (T) a Sn (S) (231,928 °C).
- 6.6. TRP 8 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H<sub>2</sub>O (T) a Sn (S) (231,928 °C).
- 6.7. TRP 9 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H<sub>2</sub>O (T) a Al (S) (660,323 °C).
- 6.8. TRP 19 identificación. SPRT marca ROSEMOUNT, modelo 162CE, rango de trabajo H<sub>2</sub>O (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

Al efectuar la calibración se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

- 8.1. Para realizar la calibración se introduce el sensor del termómetro a calibrar en un baño de temperatura estable, junto con las termoresistencias 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. Los valores de resistencia 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.

PEC11: Agosto 2015

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

**8.4.** Los valores  $t_{TRP}$  se obtienen de:

$$t_{TRP} = (t_{TRPA} + t_{TRPB})/2 \quad (1)$$

$$t_{TRPA} = f^{-1}(R_{TRPA}) \quad (2)$$

$$t_{TRPB} = g^{-1}(R_{TRPB}) \quad (3)$$

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.

**8.5.** Los valores de las lecturas del termómetro bajo calibración son ingresados en forma manual en el programa "TCTRTV".

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

- a) "\_\_\_ent" contiene información acerca del instrumento a calibrar, los patrones utilizados y los canales en los que se encuentran conectados.
- b) "\_\_\_gra" contiene los resultados de cada medición.
- c) "\_\_\_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 del termómetro a calibrar, 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 2.

**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 patrones al circuito de medición de acuerdo al siguiente diagrama:

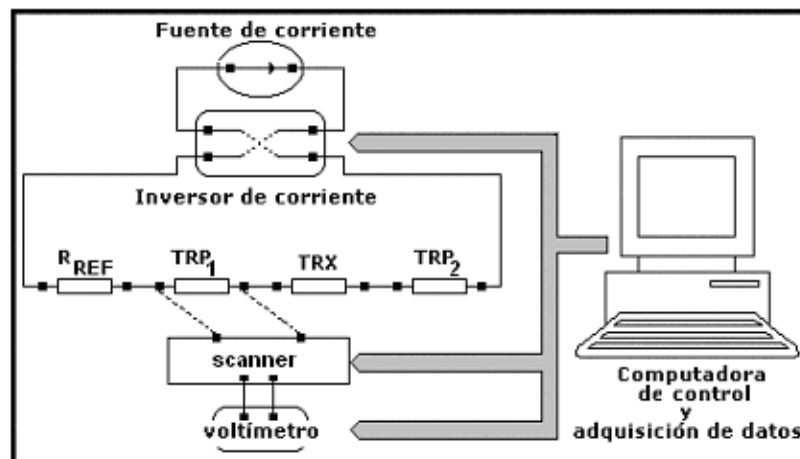


Diagrama 1. Esquema del circuito de medición

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

**8.8.3.** Se eligen los valores de temperatura de calibración según lo acordado con el usuario.

## PEC11: Agosto 2015

**8.8.4.** Se introducen dos TRP (aquí denominadas TRPA y TRPB) y el sensor del termómetro a calibrar 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.

**8.8.5.** Se selecciona en el baño el mínimo valor de temperatura de calibración.

**8.8.6.** 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 °C; para el rango entre 200 °C y 660 °C: 0,05 °C.

**8.8.7.** Se lleva el baño al valor de calibración superior consecutivo y se realizan otras dos mediciones de acuerdo con lo indicado en **8.8.6.**

**8.8.8.** Se repiten las acciones indicadas en **8.8.6.** hasta alcanzar el valor máximo de calibración.

**8.8.9.** Se repiten las acciones indicadas en **8.8.5.** a **8.8.8.** hasta completar dos mediciones de cada punto de calibración.

## 9. Tratamiento de datos

**9.1.** Se obtendrán del archivo "\_\_\_\_.gra" los promedios para cada valor de calibración solicitado.

## 10. Modelo e incertidumbre de medición

La corrección  $C_x$  del termómetro es:

$$C_x = T_{ref} + \delta 1 + \dots + \delta 12 - T_{ind} + \delta 13 + \dots + \delta 17 \quad (1)$$

Y su incertidumbre  $U(C_x)$  para cada valor obtenido en 8.8 será estimada de acuerdo al siguiente balance:

donde:

$C_x$  es la corrección a aplicar para la temperatura indicada por el termómetro a calibrar.

$T_{ref}$  es la indicación promedio de temperatura de los termómetros patrones, su incertidumbre  $U(T_{ref})$  se obtiene del promedio de las dispersiones de los valores medidos.

**$\delta 1$**  es la corrección de la temperatura debida a la calibración de los termómetros patrones, su incertidumbre  **$U(\delta 1)$**  es la incertidumbre informada en el certificado de calibración.

**$\delta 2$**  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 resolución del voltímetro para los termómetros patrones, su incertidumbre  **$U(\delta 3)$**  se considera ½ dígito de la resolución del voltímetro.

**$\delta 4$**  es la corrección de la temperatura debida a la exactitud del voltímetro para los termómetros patrones, su incertidumbre  **$U(\delta 4)$**  se evalúa con las especificaciones del fabricante (Verificada en la UTE de FÍSICA Y METROLOGÍA).

**$\delta 5$**  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, ítem 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  $\pm 0,005$  °C (de acuerdo al PEC01).

**$\delta 8$**  es la corrección de la temperatura debida a la calibración del resistor de referencia, su incertidumbre  **$U(\delta 8)$**  es la incertidumbre informada en el certificado de calibración.

PEC11: Agosto 2015

$\delta_9$  es la corrección de la temperatura debida a estabilidad a corto plazo del resistor de referencia, su incertidumbre  $U(\delta_9)$  se estima en función de la estabilidad térmica.

$\delta_{10}$  es la corrección de la temperatura debida a la linealidad del voltímetro para los termómetros patrones, al medir su resistencia a 0 °C, su incertidumbre  $U(\delta_{10})$  se evalúa de igual forma que  $U(\delta_3)$ .

$\delta_{11}$  es la corrección de la temperatura debida a la resolución del voltímetro para los termómetros patrones, al medir su resistencia a 0 °C, su incertidumbre  $U(\delta_{11})$  se evalúa de igual forma que  $U(\delta_4)$ .

$\delta_{12}$  es la corrección de la temperatura debida a los errores de conexión e inversión de la corriente, al medir su resistencia a 0 °C (tales como: tensiones parásitas, etc.) para los termómetros patrones, su incertidumbre  $U(\delta_{12})$  se evalúa de igual forma que  $U(\delta_5)$ .

$T_{ind}$  es el promedio de las temperaturas indicadas por el termómetro bajo calibración (obtenidas en 9.2, obtenidas según 10.1), su incertidumbre  $U(T_{ind})$  se obtiene del promedio de las dispersiones de los valores medidos.

$\delta_{13}$  es la corrección de la temperatura debida a la inmersión del sensor a calibrar, su incertidumbre  $U(\delta_{13})$  se evalúa de igual forma que  $U(\delta_6)$ .

$\delta_{14}$  es la corrección de la temperatura debida a la repetibilidad del termómetro a calibrar, su incertidumbre  $U(\delta_{14})$  se obtiene de la desviación estándar de los valores medidos.

$\delta_{15}$  es la corrección de la temperatura debida a la resolución del termómetro a calibrar, su incertidumbre  $U(\delta_{15})$  se evalúa de igual forma que  $U(\delta_4)$ .

$\delta_{16}$  es la corrección de la temperatura debida a la deriva del R0 °C de los termómetros patrones, su incertidumbre  $U(\delta_{16})$  se estima a partir del promedio de las diferencias entre mediciones sucesivas del valor de R(0 °C)

$\delta_{17}$  es la corrección de la temperatura debido a la Inhomogeneidad del termopar, su incertidumbre  $U(\delta_{17})$  se considera el 20% del valor de la tolerancia de la Clase 2 para el tipo de termocupla, de acuerdo a la IEC 60584-2. Esta componente se considera nula para termómetros con otro tipo de sensor.

## 11. Ejemplo del balance de incertidumbre

### Presupuesto de incertidumbre calculado con una termocupla tipo K

Fuente de incertidumbre	Simb	Valor estimado		Tipo	Dis	Intervalo (±)		Fac	u <sub>i</sub>		v <sub>i</sub>	c <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	%	
Temperatura de referencia	Tref	200,19	°C	A1	N				4,5E-03	°C	4	1	2,0E-05	0,02%	
Calibración de la referencia	δ1	0	°C	BN	R	5,0E-04	°C	2,0	2,5E-04	°C	50	1	6,3E-08	0,00%	
Inhomogeneidades del baño	δ2	0	°C	BN	R	1,0E-02	°C	2,0	5,0E-03	°C	50	1	2,5E-05	0,02%	
Resolución del voltímetro-referencia	δ3	0	mV	BR	R	5,0E-06	mV	1,7	2,9E-06	mV	50	10	°C/mV	8,3E-10	0,00%
Exactitud del voltímetro-referencia	δ4	0	mV	BR	R	9,0E-04	mV	1,7	5,2E-04	mV	50	10	°C/mV	2,7E-05	0,02%
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	0,01%
Error por inmersión (patrones)	δ6	0	°C	BR	R	0,0E+00	°C	1,7	0,0E+00	°C	50	1	0,0E+00	0,00%	
Error del hielo	δ7	0	°C	A1	N				5,0E-03	°C	50	1	2,5E-05	0,02%	
Calibración del resistor de referencia	δ8	0	Ω	BN	N	5,0E-04	Ω	2,0	2,5E-04	Ω	50	10	°C/Ω	6,3E-06	0,00%
Estabilidad resistor de referencia	δ9	0	Ω	A1	N				5,0E-06	Ω	50	10	°C/Ω	2,5E-09	0,00%
Exactitud multimetro (patrón a 0°C)	δ10	0	mV	BR	R	5,0E-05	mV	1,7	2,9E-05	mV	50	10	°C/mV	8,3E-08	0,00%
Resolución multimetro (patrón a 0°C)	δ11	0	mV	BR	R	5,0E-06	mV	1,7	2,9E-06	mV	50	10	°C/mV	8,3E-10	0,00%
Error de conexión e inversión a 0°C	δ12	0	mV	BN	N	0,0E+00	mV	2,0	0,0E+00	mV	50	10	°C/mV	0,0E+00	0,00%
Indicación del instrumento	Tind	199,63	°C	A1	N				2,7E-02	°C	4	1	7,0E-04	0,54%	
Error de conexión e inversión a calibrar	δ13	0	mV	BN	N	6,0E-04	mV	2,0	3,0E-04	mV	50	10	°C/mV	9,0E-06	0,01%
Repetibilidad del instrumento	δ14	0,00	°C	A1	N				2,1E-01	°C	4	1	4,5E-02	34,97%	
Resolución del instrumento	δ15	0	°C	BR	R	5,0E-04	°C	1,7	2,9E-04	°C	50	1	8,3E-08	0,00%	
Deriva del R(0°C)	δ16	0	°C	BN	N	1,0E-02	°C	2,0	5,0E-03	°C	50	1	2,5E-05	0,02%	
Inhomogeneidad del termopar	δ17	0	°C	BR	R	5,0E-01	°C	1,7	2,9E-01	°C	4	1	8,3E-02	64,37%	
Corrección indicación instrumento	Cx	0,56	°C		N	0,851	°C	2,4	3,6E-01	°C	7			100%	

$$C_x = (0,56 \pm 0,85) ^\circ\text{C}$$

Tabla1. Presupuesto de incertidumbre calculado con una termocupla tipo K.

PEC11: Agosto 2015

## Presupuesto de incertidumbre calculado con una termocupla tipo T

Fuente de incertidumbre	Simb	Valor estimado		Tipo	Dis	Intervalo (±)		Fac	u <sub>i</sub>		v <sub>i</sub>	c <sub>i</sub>		(c <sub>i</sub> u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	%
Temperatura de referencia	Tref	200,19	°C	A1	N				4,5E-03	°C	4	1		2,0E-05	0,01%
Calibración de la referencia	δ1	0	°C	BN	R	5,0E-04	°C	2,0	2,5E-04	°C	50	1		6,3E-08	0,00%
Inhomogeneidades del baño	δ2	0	°C	BN	R	1,0E-02	°C	2,0	5,0E-03	°C	50	1		2,5E-05	0,01%
Resolución del voltímetro-referencia	δ3	0	mV	BR	R	5,0E-06	mV	1,7	2,9E-06	mV	50	10	°C/mV	8,3E-10	0,00%
Exactitud del voltímetro-referencia	δ4	0	mV	BR	R	9,0E-04	mV	1,7	5,2E-04	mV	50	10	°C/mV	2,7E-05	0,02%
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	0,01%
Error por inmersión (patrones)	δ6	0	°C	BR	R	0,0E+00	°C	1,7	0,0E+00	°C	50	1		0,0E+00	0,00%
Error del hielo	δ7	0	°C	A1	N				5,0E-03	°C	50	1		2,5E-05	0,01%
Calibración del resistor de referencia	δ8	0	Ω	BN	N	5,0E-04	Ω	2,0	2,5E-04	Ω	50	10	°C/Ω	6,3E-06	0,00%
Estabilidad resistor de referencia	δ9	0	Ω	A1	N				5,0E-06	Ω	50	10	°C/Ω	2,5E-09	0,00%
Exactitud multimetro (patrón a 0°C)	δ10	0	mV	BR	R	5,0E-05	mV	1,7	2,9E-05	mV	50	10	°C/mV	8,3E-08	0,00%
Resolución multimetro (patrón a 0°C)	δ11	0	mV	BR	R	5,0E-06	mV	1,7	2,9E-06	mV	50	10	°C/mV	8,3E-10	0,00%
Error de conexión e inversión a 0°C	δ12	0	mV	BN	N	0,0E+00	mV	2,0	0,0E+00	mV	50	10	°C/mV	0,0E+00	0,00%
Indicación del instrumento	Tind	199,63	°C	A1	N				2,7E-02	°C	4	1		7,0E-04	0,39%
Error de conexión e inversión a calibrar	δ13	0	mV	BN	N	6,0E-04	mV	2,0	3,0E-04	mV	50	10	°C/mV	9,0E-06	0,01%
Repetibilidad del instrumento	δ14	0	°C	A1	N				2,1E-01	°C	4	1		4,5E-02	25,37%
Resolución del instrumento	δ15	0	°C	BR	R	5,0E-04	°C	1,7	2,9E-04	°C	50	1		8,3E-08	0,00%
Deriva del R(0°C)	δ16	0	°C	BN	N	1,0E-02	°C	2,0	5,0E-03	°C	50	1		2,5E-05	0,01%
Inhomogeneidad del termopar	δ17	0	°C	BR	R	6,3E-01	°C	1,7	3,6E-01	°C	4	1		1,3E-01	74,15%
Corrección indicación instrumento	Cx	0,56	°C		N	1,034	°C	2,4	4,2E-01	°C	7				100%

$$C_x = (0,56 \pm 1,03) ^\circ\text{C}$$

Tabla2. Presupuesto de incertidumbre calculado con una termocupla tipo T.

## Presupuesto de incertidumbre calculado con un sensor tipo PT100

Fuente de incertidumbre	Símb	Valor estimado		Tipo	Dis	Intervalo (±)		Fac	u <sub>i</sub>		v <sub>i</sub>	c <sub>i</sub>	(c <sub>i</sub> u <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	%
Temperatura de referencia	Tref	-18,78	°C	A1	N				1,0E-03	°C	4	1	1,0E-06	1,10%
Calibración de la referencia	δ1	0	°C	BN	R	3,0E-03	°C	2,0	1,5E-03	°C	50	1	2,3E-06	2,47%
Inhomogeneidades del baño	δ2	0	°C	BN	R	1,0E-02	°C	2,0	5,0E-03	°C	50	1	2,5E-05	27,41%
Resolución del voltímetro-referencia	δ3	0	mV	BR	R	5,0E-06	mV	1,7	2,9E-06	mV	50	10	8,3E-10	0,00%
Exactitud del voltímetro-referencia	δ4	0	mV	BR	R	2,5E-05	mV	1,7	1,4E-05	mV	50	10	2,1E-08	0,02%
Error de conexión e inversión	δ5	0	mV	BN	N	6,0E-04	mV	2,0	0,0E+00	mV	50	10	0,0E+00	0,00%
Error por inmersión (patrones)	δ6	0	°C	BR	R	0,0E+00	°C	1,7	2,1E-03	°C	50	1	4,2E-06	4,66%
Error del hielo	δ7	0	°C	A1	N				0,0E+00	°C	50	1	0,0E+00	0,00%
Calibración del resistor de referencia	δ8	0	Ω	BN	N	5,0E-04	Ω	2,0	2,5E-04	Ω	50	10	6,3E-06	6,85%
Estabilidad resistor de referencia	δ9	0	Ω	A1	N				5,0E-06	Ω	50	10	2,5E-09	0,00%
Exactitud multimetro (patrón a 0°C)	δ10	0	mV	BR	R	5,0E-05	mV	1,7	2,9E-05	mV	50	10	8,3E-08	0,09%
Resolución multimetro (patrón a 0°C)	δ11	0	mV	BR	R	5,0E-06	mV	1,7	2,9E-06	mV	50	10	8,3E-10	0,00%
Error de conexión e inversión a 0°C	δ12	0	mV	BN	N	0,0E+00	mV	2,0	0,0E+00	mV	50	10	0,0E+00	0,00%
Indicación del instrumento	Tind	-18,73	°C	A1	N				0,0E+00	°C	4	1	0,0E+00	0,00%
Error de conexión e inversión a calibrar	δ13	0	mV	BN	N	6,0E-04	mV	2,0	3,0E-04	mV	50	10	9,0E-06	9,87%
Repetibilidad del instrumento	δ14	0	°C	A1	N				4,3E-03	°C	4	1	1,8E-05	20,01%
Resolución del instrumento	δ15	0	°C	BR	R	5,0E-04	°C	1,7	2,9E-04	°C	50	1	8,3E-08	0,09%
Deriva del R(0°C)	δ16	0	°C	BN	N	1,0E-02	°C	2,0	5,0E-03	°C	50	1	2,5E-05	27,41%
Inhomogeneidad del termopar	δ17	0	°C	BR	R	0,0E+00	°C	1,7	0,0E+00	°C	4	1	0,0E+00	0,00%
Corrección indicación instrumento	Cx	(0,05)	°C		N	0,019	°C	2,0	9,5E-03	°C	75			100%

$$C_x = (-0,05 \pm 0,019) ^\circ\text{C}$$

Tabla3. Presupuesto de incertidumbre calculado con un sensor tipo PT100.

## 12. Confección del certificado de calibración

Además de lo indicado en el capítulo 9 del MC, en el certificado de calibración se informa:

**12.1.** Una breve descripción del método de calibración utilizado.

**12.2.** Una tabla con los valores de corrección para las temperaturas de calibración solicitadas y sus respectivas incertidumbres.

## 13. Registro de la calidad

Se conservan registros manuscritos y/o digitales 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.

PEC11: Agosto 2015

**14. Apéndices y anexos**

No Aplica.