



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

EAP. DE FÍSICA

**Calibración de sensor pt 100 por medio de un multímetro**

**MONOGRAFÍA**

Para optar el Título de Licenciado en Física

**AUTOR**

**Ervin Edgar Gulden Crisóstomo**

LIMA – PERÚ  
2015

## Contenido

RESUMEN .....	3
I. INTRODUCCION .....	4
II. PROCEDIMIENTO .....	5
2.1 Fundamento Teórico .....	5
A) <i>Efecto Seebek</i> .....	6
B) <i>Efecto Peltier</i> .....	7
C) <i>Efecto Volta</i> .....	8
D) <i>Efecto Thompson</i> .....	9
2.2 Metrología .....	10
III. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICION .....	17
IV. OPERACIONES PREVIAS .....	21
V. PROCESO DE CALIBRACIÓN .....	22
5.1 Secuencia de las operaciones objeto del procedimiento .....	22
5.2. Métodos de Realización .....	22
5.3. Calibración.....	23
VI. TOMA Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	25
Datos de calibración para sensores PT 100.....	28
VII. RESULTADOS.....	29
VIII. DISCUSIÓN.....	42
IX. CONCLUSIONES .....	44
X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	45
ANEXO I.....	46
<b>DETERMINACIÓN PUNTO FUSION DEL HIELO – PUNTO CRIOSCOPIO</b> (0°C).....	46
ANEXO II. ....	48
<b>PRUEBAS DE HISTÉRESIS, UNIFORMIDAD Y REPETIBILIDAD</b> .....	48
ANEXO III .....	50
Índice de Ilustraciones .....	50
Índice de Tablas .....	50

## **RESUMEN**

En este trabajo se obtiene la corrección e incertidumbre de un sensor PT 100 por medio de la calibración tomando como referencia el procedimiento PC-017 SNM/Indecopi; así mismo de entender las propiedades termo eléctricas que ocurren en el sensor de temperatura PT 100 además de los conceptos, nociones y fórmulas que emplea la metrología térmica para el desarrollo del proceso de la calibración del sensor

## **Palabras Claves**

Calibración, metrología, pt100, temperatura, termo resistencia platino (TRP).

## I. INTRODUCCION

La metrología comprende todos los aspectos, tanto teóricos como prácticos, que se refiere a las mediciones, cualquiera que sea su incertidumbre, en cualquier campo de la ciencia y tecnología. La metrología térmica se enfoca en los instrumentos y/o equipos que registra la magnitud de temperatura como valor de medición en los procesos industriales, químicos, petroquímicos, siderúrgicos, cerámico, farmacéutico, alimenticio, papel y celulosa, hidroeléctrico, nuclear, etc. el monitoreo de la variable temperatura, es fundamental para la obtención del producto final especificado.

Donde en estos procesos es muy importante conocer la temperatura de trabajo u control no exceda ni se encuentre por debajo de los valores permitidos de acuerdo a los procesos y/o procedimiento que tenga; por ejemplo en la esterilización de instrumentos quirúrgicos la temperatura de trabajo es de 121°C en las autoclaves, donde por debajo de esta temperatura no garantiza la eliminación de hongos, bacteria o virus y tendría consecuencias importantes en el uso de estos instrumentos.

Así mismo en los procesos de cultivos de bacterias para investigación en equipos isotérmicos incubadoras, la metrología térmica verifica y/o corrige la temperatura de cultivo sea de 37°C más menos un error según procedimientos, ya que si sobrepasa el límite superior de temperatura ocasionaría la muerte de las bacterias y perjudicaría dicha investigación.

Por eso la metrología térmica asegura que el valor del sensor de temperatura del equipo este dentro sus errores y sea lo que indique el equipo isotérmico que se programa o lea en el equipo sea el adecuado.

## II. PROCEDIMIENTO

### 2.1 Fundamento Teórico

#### 2.1.1 Temperatura y Calor

Todas las sustancias están compuestas de pequeñas partículas denominadas moléculas, que se encuentran en continuo movimiento. Cuanto más rápido es el movimiento de las moléculas, mayor es la temperatura del cuerpo. Por lo tanto podemos definir a la temperatura como el grado de agitación térmica de las moléculas.

En la práctica, la temperatura se representa según una escala numérica, cuanto mayor es su valor, mayor es la energía cinética media de los átomos del cuerpo en cuestión.

La temperatura es una cantidad intensiva, es decir, si se une dos cuerpos a la misma temperatura, la temperatura final es la misma, no el doble. La medida de temperatura presupone un intercambio de calor entre el cuerpo a medir y el transductor, hasta alcanzar el equilibrio térmico.

Otros conceptos que a veces se confunden con la temperatura son los de energía térmica y calor. La energía térmica de un cuerpo, es la sumatoria de las energías cinéticas de sus átomos y depende, también de la masa y tipo de sustancia.

Calor es la energía en tránsito o la forma de energía que es transferida a través de la frontera de un sistema, en virtud de una diferencia de temperaturas. La literatura reconoce tres medios distintos de transmisión de calor.

- Conducción: Es un proceso por el cual el calor fluye de una región de alta temperatura hacia otra región de temperatura más baja, dentro de un medio sólido, líquido o gaseoso, o entre medios diferentes pero en contacto físico directo.
- Radiación: Es un proceso por el cual fluye de un cuerpo de alta temperatura hacia otro de baja, sin estar en contacto físico directo.
- Convección: Es un proceso de transporte de energía, por la acción combinada de la conducción del calor, almacenamiento de energía y movimiento del conjunto.

La Termoelectricidad se considera como la rama de la termodinámica superpuesta a la electricidad donde se estudian los fenómenos en los que intervienen el calor y la electricidad; el fenómeno más conocido es el de electricidad generada por la aplicación de calor a la unión de dos materiales diferentes.

Si se unen por ambos extremos dos alambres de distinto material (este circuito se denomina termopar), y una de las uniones se mantiene a una temperatura superior a la otra, surge una diferencia de tensión que hace fluir una corriente

eléctrica entre las uniones caliente y fría. Este fenómeno se conoce como efecto Seebeck.

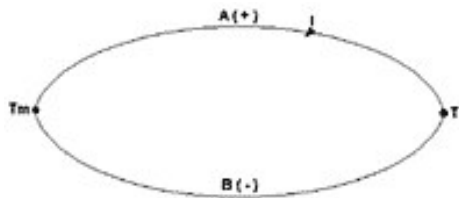
Cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso. En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. Este fenómeno se conoce como efecto Peltier.

Se conoce como Efecto Thomson a una propiedad termoeléctrica en la que se relacionan el efecto Seebeck y el efecto Peltier. Así, un material (excepto los superconductores) sometido a un gradiente térmico y recorrido por una corriente eléctrica intercambia calor con el medio exterior. Recíprocamente, una corriente eléctrica es generada por el material sometido a un gradiente térmico y recorrido por un flujo de calor.

La diferencia fundamental entre los efectos Seebeck y Peltier con respecto al efecto Thomson, es que éste último existe para un solo material y no necesita la existencia de una soldadura.

### A) Efecto Seebek

Fue descubierto por T.J. Seebek, cuando notó que, en un circuito cerrado, formado por dos conductores diferentes A y B aparece una circulación de corriente  $J$ , cuando existe una diferencia de temperaturas entre sus uniones  $T$  y  $\Delta T$ .



**Ilustración 1: Circuito cerrado**

La existencia de una fuerza termo electromotriz (f.t.e.m.)  $E_{AB}$  en el circuito, es conocida como efecto Seebeck cuando se abre el circuito y cuando la temperatura de la junta de referencia se mantiene constante, se puede verificar que la f.t.e.m. Es función de la temperatura de la junta de medición. Este hecho permite utilizar un par termoeléctrico como un termómetro.

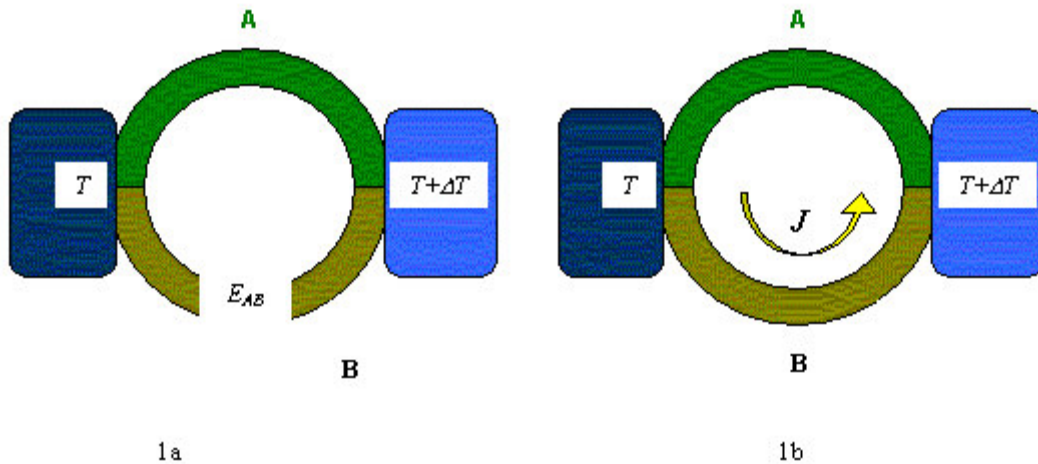


Ilustración 2: 1a circuito abierto, 1b circuito cerrado

Este efecto es debido a que los electrones libres de un metal, difieren de un conductor a otro. Cuando dos conductores diferentes son unidos y las juntas se mantienen a temperaturas diferentes, la difusión de electrones en las juntas se produce a ritmos diferentes.

Todos los metales distintos unidos de esta forma manifiestan este efecto. Para cambios pequeños de temperatura la tensión de Seebeck guarda una relación lineal con la temperatura en la forma:

$$\alpha_{AB} = \frac{dV_{AB}}{dT} = \alpha_A - \alpha_B \dots (1)$$

Donde la constante de proporcionalidad  $\alpha$  es el llamado coeficiente de Seebeck.

### B) Efecto Peltier

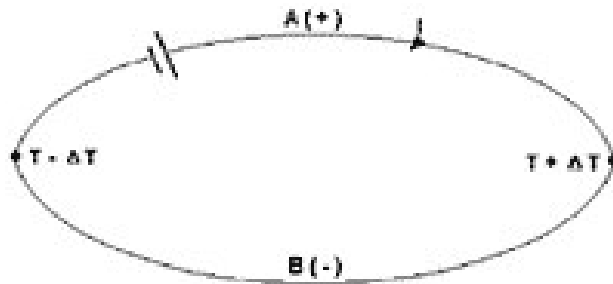
En 1834, Peltier descubrió que, dado un par termoeléctrico, con ambas juntas a la misma temperatura, si mediante una batería exterior se generaba una corriente en el termopar, la temperatura de las juntas variaba en una cantidad que no dependía exclusivamente del efecto Joule. Esta variación adicional de temperatura es denominada efecto Peltier. Este efecto se produce tanto por la corriente proporcionada por una batería exterior como por el propio par termoeléctrico.

La potencia calorífica intercambiada en la unión entre A y B es:

$$\dot{Q}_P = \pm \pi_{AB} J = \pm J T (\alpha_B - \alpha_A) \dots (2)$$

Donde  $\pi_{AB}$  es el llamado coeficiente Peltier, que se define como el calor intercambiado en la unión por unidad de tiempo y de corriente que circula a través de la misma:

$$\pi_{AB} = \frac{\dot{Q}_P}{\int_S J dS} = T(\alpha_B - \alpha_A) \dots (3)$$



**Ilustración 3: Circuito cerrado, con fuente de alimentación externa**

Dónde:

J: Flujo de corriente eléctrica.

S: Superficie

T: Temperatura absoluta (K)

$\alpha_A, \alpha_B$ : Coeficiente Seebeck de los materiales A y B respectivamente

### **C) Efecto Volta**

La experiencia de Peltier, puede ser explicada por medio del efecto Volta, cuyo enunciado dice: “Cuando dos metales en contacto, se encuentran en equilibrio térmico y eléctrico puede existir entre ellos una diferencia de potencial del orden de volts”

Esta diferencia de potencial es dependiente de la temperatura y no puede ser medida en forma directa

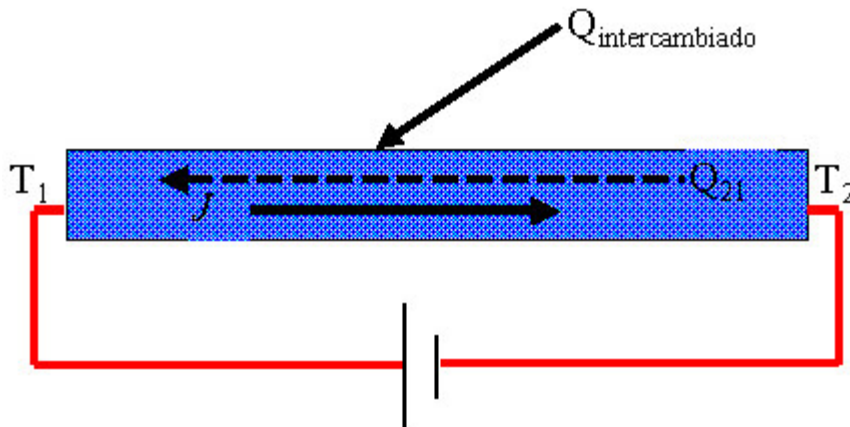
Como conclusión, con la aplicación de los principios de la termodinámica y el enunciado de las tres leyes que rigen la teoría termoeléctrica es posible comprender los fenómenos que ocurren en la medida de la temperatura, con este tipo de sensores.



#### D) Efecto Thompson

En 1854, Thompson W. concluyó, por medio de las leyes de la termodinámica que la conducción de calor, a lo largo de los dos conductores metálicos de un par termoeléctrico, por los que no circula corriente, origina una distribución uniforme de temperatura en cada conductor. Cuando circula corriente, se modifica la distribución de temperatura, en una cantidad no enteramente debida al efecto Joule. Esta variación adicional en la distribución de temperatura se denomina efecto Thompson.

Este efecto, depende del metal del conductor y de la temperatura media de una pequeña región considerada. En ciertos metales, existe absorción de calor cuando la corriente fluye desde la punta fría hacia la caliente y viceversa. En otros metales sucede lo contrario. Se puede concluir que, cuando existe circulación de corriente a lo largo de un conductor, la temperatura de este será modificada, tanto por el calor disipado por efecto Joule como por el efecto Thompson.



**Ilustración 4: Circulación de flujo de corriente en un conductor**

Consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor eléctrico homogéneo, con una distribución de temperaturas no homogénea, por el que circula una corriente; el flujo neto de potencia calorífica por unidad de volumen, en un conductor de resistividad  $T$ , con un gradiente longitudinal de temperatura, por el que circula una densidad de corriente  $J$  será:

$$\dot{q} = \frac{J^2}{\rho} + \tau \bar{V} T \cdot J \dots (4)$$

Donde  $\tau$  es el coeficiente Thomson. El primer término corresponde al efecto Joule, irreversible, mientras que el segundo expresa el efecto Thomson, reversible.

Desarrollando esta expresión para obtener la relación entre el coeficiente Thomson y Seebeck y teniendo en cuenta las ecuaciones que rigen los efectos Peltier y Seebeck, se llega a:

$$\tau \equiv \frac{\dot{q}_\tau}{VT.J} = T \frac{\partial \alpha}{\partial T} \dots (5)$$

Quedando para la unión:

$$\tau_A - \tau_B = T \frac{\partial \alpha_A}{\partial T} - T \frac{\partial \alpha_B}{\partial T} = T \frac{\partial}{\partial T} (\alpha_A - \alpha_B) \dots (6)$$

## 2.2 Metrología

La ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones

### 2.2.1 Termómetro digital (o de lectura directa)

Dispositivo destinado a utilizarse para hacer mediciones de temperatura que muestra una indicación digital en unidades de temperatura (kelvin o grados Celsius). Normalmente está constituido por uno o varios sensores y un equipo de lectura.

#### a) Sensor de Resistencia de Platino

Elemento sensible a las variaciones de temperatura constituido por una resistencia termométrica dentro de una vaina protectora, hilos de conexión internos y terminales externos que permiten su conexión a equipos de medida eléctricos o electrónicos.

#### b) Termistor

Sensor construido con un material semiconductor cuya resistencia varía con la temperatura.

#### c) Termopar

Pareja de dos conductores de distinto material unidos en uno de los extremos con objeto de formar una unidad utilizable en la medida de temperatura por efecto termoeléctrico. (Ver [3], códigos 05.06 y 05.07).

### 2.2.2 Junta de medida o junta caliente

Unión del termopar que se coloca en el lugar en el que se desea medir la temperatura y se mantendrá en equilibrio térmico con el cuerpo cuya temperatura se desea medir.

### 2.2.3 Junta de referencia o junta fría

Unión del termopar que está a una temperatura conocida, normalmente 0 °C, y que sirve como referencia de temperatura.

#### **2.2.4 Cables de prolongación (o extensión)**

Cables formados por conductores del mismo material que los termopares y que se utilizan para aumentar la longitud de los mismos.

#### **2.2.5 Cables de compensación**

Tienen la misma utilidad que los cables de extensión pero la composición es distinta que la de los materiales del termopar.

#### **2.2.6 Tratamiento térmico**

Proceso al que se someten los termopares antes de su calibración para mejorar la homogeneidad de los hilos y eliminar posibles tensiones mecánicas, consiguiendo una estabilidad aceptable para su calibración.

#### **2.2.7 Histéresis (o estabilidad frente a ciclos térmicos)**

Propiedad de un instrumento de medida cuya respuesta a una señal de entrada determinada, depende de la secuencia de las señales de entrada precedente. En el caso de termómetros corresponde a la variación en la indicación del termómetro en función de si ha sido sometido con anterioridad a una temperatura u otra.

#### **2.2.8 Uniformidad (u homogeneidad)**

Cambios en la composición y condiciones de los materiales de hilos, causados por contaminación, tensiones mecánicas o choques térmicos, que modifican la fuerza electromotriz. Estos cambios solo influyen si están situados en una región con gradientes de temperatura.

#### **2.2.9 Repetibilidad (de un instrumento de medida)**

Aptitud de un instrumento de medida para dar indicaciones muy próximas durante la aplicación repetida del mismo mensurando en las mismas condiciones de medida.

#### **NOTAS:**

1. El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación estándar (o un múltiplo de ésta) o la semi amplitud de un intervalo con un nivel de confianza determinado.
2. 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. 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.

3. 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.

### **2.2.10 Calibración**

Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones.

#### **NOTAS:**

1. El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones los valores correspondientes del mensurando o bien determinar las correcciones a aplicar en las indicaciones.
2. Una calibración puede también servir para determinar otras propiedades metroológicas tales como los efectos de las magnitudes de influencia.
3. Los resultados de una calibración pueden consignarse en un documento denominado, a veces, certificado de calibración o informe de calibración.

El proceso de calibración consiste en determinar los pares de valores de temperatura de referencia,  $t$ , medida con los patrones y resistencia,  $R$ , medida con el termómetro a calibrar. Con estos valores es posible determinar una curva  $R(t)$  de ajuste para el termómetro.

Existen diversas posibilidades:

- a) Un polinomio de grado  $n$
- b) Los polinomios de la EIT-90
- c) Otros polinomios descritos en "Interpolation equations and uncertainties of industrial PRT's" J. F. Dubbeldam, M. J. de Groot. Euromet Workshop in Temperature, Paris, 1998.

### **2.2.11 Resolución**

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

#### **NOTAS:**

- Para un dispositivo visualizador digital, diferencia de la indicación que corresponde al cambio de una unidad en la cifra menos significativa.
- Este concepto se aplica también a un dispositivo registrador.

### **2.2.12 Corrección**

Valor que se suma algebraicamente al resultado sin corregir de una medición para compensar un error sistemático.

#### **NOTAS:**

1. La corrección es igual al negativo del error sistemático.
2. Puesto que el error sistemático no puede conocerse perfectamente, la compensación no puede ser completa.

### **2.2.13 Incertidumbre**

Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

Esta definición es la de la “Guía para la expresión de la incertidumbre de medida” donde sus bases están expuestas con detalle (en particular ver 2.2.3, 2.2.4)

#### **NOTAS:**

- Reducción al mínimo de las variaciones debidas al observador.
- Mismo procedimiento de medida.
- Mismo observador.
- Mismo equipo de medida, utilizándolo en las mismas condiciones.
- Mismo lugar.
- Repetición durante un corto período de tiempo.

### **2.2.14 Transmisor**

Transmisores de temperatura, toman la señal de bajo nivel proveniente de un RTD o termopar, la convierte a una señal analógica de 0/4-20 mA más conveniente para la transmisión a larga distancia a un receptor. El receptor suele ser un regulador electrónico o PLC (Controlador Lógico Programable).

#### ***Uso***

Los transmisores de temperatura se utilizan para evitar pérdidas de tensión o cuando un regulador o PLC no puede medir directamente la señal desde un sensor de resistencia.

### **2.2.15 Sonda PT 100**

El rango de utilización de las sondas de temperatura depende del tipo de construcción que se fabrique y del tipo de sensor de temperatura que se utilice. Como información general se puede considerar que una sonda de temperatura PT100 con salida directa a cable puede trabajar entre -50°C y 250°C en función

del tipo de cable y de las medidas de la vaina de protección. En el caso de las sondas de temperatura con cabezal de conexiones el rango más habitual abarca desde  $-50^{\circ}\text{C}$  a los  $500^{\circ}\text{C}$ . Los materiales empleados para la construcción de sensores RTD suelen ser conductores tales como el cobre, el níquel o el platino. Las propiedades de algunos de éstos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1: Materiales conductores.**

Parámetro	Platino (Pt)	Cobre (Cu)	Níquel (Ni)	Molibdeno (Mo)
Resistividad ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	10.6	1.673	6.844	5.7
$\alpha(1/^{\circ}\text{K})$	0.00385	0.0043	0.00681	0.003786
$R_0(\Omega)$	25, 50, 100, 200	10	50, 100, 120	100, 200, 500
margen ( $^{\circ}\text{C}$ )	-200 a +850	-200 a +260	-80 a +230	-200 a +200

De todos ellos es el platino el que ofrece mejores prestaciones, como:

- Alta resistividad para un mismo valor óhmico, la masa del sensor será menor, por lo que la respuesta será más rápida
- Margen de temperatura mayor.
- Alta linealidad.
- Sin embargo, su sensibilidad ( $\alpha$ ) es menor.

Un sensor muy común es el Pt 100 (RTD de platino con  $R=100\ \Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ), el Pt 1000 (RTD de platino con  $R=1000\ \Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ )

A continuación se indica error de medida (en temperatura y en resistencia) para distintos tipos de sensores PT100 (a  $0^{\circ}\text{C}$ ) según la norma IEC 751:1995.

**Tabla 2: Tipos de sensor PT 100**

CLASE	ERROR ( $^{\circ}\text{C}$ )	ERROR ( $\Omega$ )
2B	$\pm 0,60^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,24$
B	$\pm 0,30^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,12$
A	$\pm 0,15^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,06$
1/3B	$\pm 0,10^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,04$
1/5B	$\pm 0,06^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,02$
1/10B	$\pm 0,03^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,01$

Existen 3 modos de conexión para las PT 100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto.

### a) Conexión 2 Hilos

El modo más sencillo de conexión (pero menos recomendado) es con solo dos cables. En este caso las resistencias de los cables  $R_{c1}$  y  $R_{c2}$  que unen la PT 100 al instrumento se suman generando un error inevitable.

El lector medirá el total:  $R(t) + R_{c1} + R_{c2}$  en vez de  $R(t)$ .

Lo único que se puede hacer es usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de  $R_{c1}$  y  $R_{c2}$  y así disminuir el error en la lectura.



Ilustración 5: Conexión 2 hilos

### b) Conexión 3 Hilos

El modo de conexión de 3 hilos es el más común y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables.

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el "puente de Wheatstone". Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

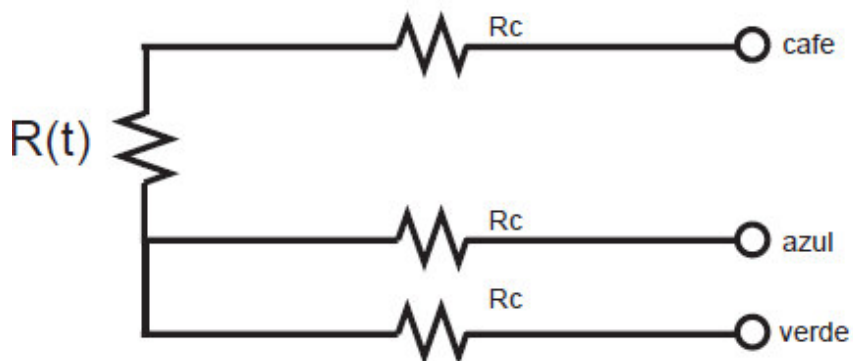


Ilustración 6: Conexión 3 hilos

### c) Conexión 4 Hilos

El método de 4 hilos es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia) pero el instrumento lector es más costoso

Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente  $I$  conocida a través de  $R(t)$  provocando una diferencia de potencial  $V$  en los extremos de  $R(t)$ . Los cables 2 y 3 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables  $R_{c2}$  y  $R_{c3}$  será cero ( $dV=I_c \cdot R_c=0 \cdot R_c=0$ ) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje  $V$  en los extremos del elemento  $R(t)$ . Finalmente el instrumento obtiene  $R(t)$  al dividir  $V$  medido entre la corriente  $I$  conocida.

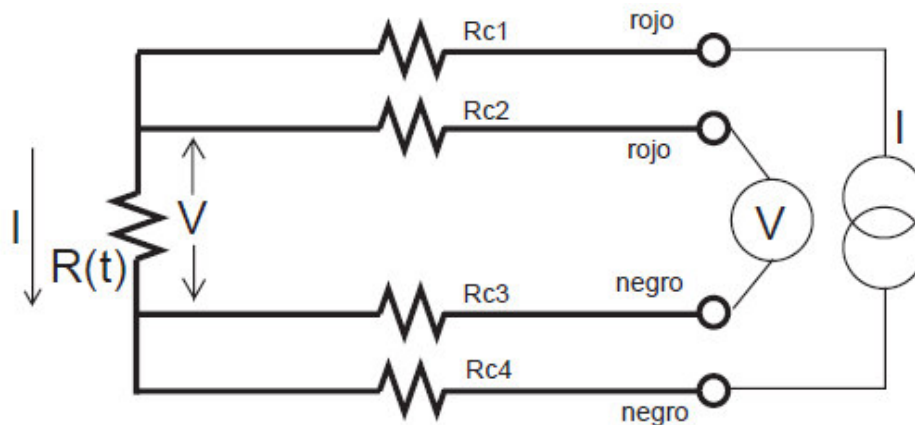


Ilustración 7: Conexión 4 hilos, fuente alimentación externa

### Auto calentamiento y Corriente de Excitación

Cualquiera que sea el método de conexión, se debe hacer pasar una cierta corriente  $I$  por el elemento sensor de modo de poder medir su resistencia. Esta corriente  $I$  llamada "corriente de excitación" la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo. Un problema que puede ocurrir es que la "corriente de excitación" genere por efecto Joule ( $P=I^2 \cdot R$ ) un calentamiento del elemento sensor aumentando su temperatura y produciendo así un error en la lectura.

Este problema es más pronunciado mientras más pequeña sea la PT 100 (menor capacidad de disipación del calor generado) y a la vez mientras se esté midiendo en un medio menos conductor de calor. Por ejemplo es mayor cuando se mide temperatura en el aire que cuando se la mide en el agua. Valores típicos del error producido en un PT 100 son del orden de 0.5°C por mili watt generado cuando la Pt100 está en aire sin circular y 0.05°C con la misma Pt100 en agua. La potencia de auto calentamiento depende del cuadrado de la corriente de excitación, luego mientras menor sea esta corriente, mucho menor será el efecto.



### III. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICION

#### - Termo hidrómetro Radio Shack

Rango Interiores -5°C a 50°C

Exteriores -50°C a 70°C

Resolución 0.1°C

Humedad Relativa 25% al 95%

Resolución 1%



Ilustración 8: Termo hidrómetro, registrar condiciones ambientales

#### - Medio Isotermo

Los medios isotermos son baños de temperatura controlada, que cubran el rango de calibración de los termómetros. Como fluidos termostáticos para distintos rangos se pueden emplear: CEM, Procedimiento TH-005. Edición DIGITAL 1 Página 17 de 50.

- a) Alcohol etílico de -80 °C a 10 °C.
- b) Agua de 5 °C a 80 °C.
- c) Aceites de silicona de -40 °C a 300 °C. (Dependiendo del tipo cubren distintos intervalos dentro de este rango).
- d) Sales (Nitrato potásico, Nitrato sódico, Nitrito sódico en distintas proporciones) de 150 °C a 420 °C.

### **Medio Frio (-30°C a 30°C)**

Marca. Julabo, Modelo F25

Estabilidad  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$

Resolución:  $0.1^{\circ}\text{C}$



**Ilustración 9: Estabilidad  $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$ , Resolución:  $0.1^{\circ}\text{C}$**

### **Medio Caliente (de 30°C a 200°C)**

Estabilidad  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$

Resolución:  $0.1^{\circ}\text{C}$



**Ilustración 10: Estabilidad  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$  Resolución:  $0.1^{\circ}\text{C}$**

### - Termómetro patrón: Termoprobe TL-1

Profundidad de inmersión de 11 cm  
Clase A RTD de Platino 100 ohm  
Resolución 0.01°C  
Precisión  $\pm 0.06^\circ\text{C}$  de -10 a 250°C



Ilustración 11: Resolución 0.01°C, Precisión  $\pm 0.06^\circ\text{C}$  de -10 a 250°C

### - Trasmisor

Tipo de Sensor PT100 100  $\Omega$  a 0°C  
2 a 3 cables.  
Exactitud en medición  $0.2^\circ\text{C} \pm$   
0.05% de lectura  
Deriva térmica  $\pm 0.02^\circ\text{C} / ^\circ\text{C}$   
Corriente de excitación  $< 200 \mu\text{A}$   
Efecto de resistencia cable  $0.002^\circ\text{C}$   
/ Ohm

Salida  
Tipo 2 cables  
Rango (4.0 to 20.0) mA  
Máxima 21.5mA  
Mínima  $< 3.9 \text{ mA}$   
Deriva térmica  $\pm 2 \mu\text{A} / ^\circ\text{C}$



Ilustración 9: Transmisor Status 4-20mA

### - Sonda de temperatura (a calibrar)

Conexión: 3 hilos  
RTD clase 2B



Ilustración 10: PT 100 (3 hilos)

### - Multímetro digital Fluke (87 III)

Corriente máxima: 10 A (20 A, máximo 30 segundos)

Precisión en corriente: V:  $\pm(0,2\%+2)$

Resolución máxima: V: 0,01  $\mu$ A

Tensión máxima: 1000 V

Precisión: V:  $\pm(0,05\%+1)$

Resolución máxima: V: 10  $\mu$ V

Resistencia Máxima: 50 M $\Omega$

Precisión: V:  $\pm(0,2\%+1)$

Resolución máxima: 0,1 $\Omega$



Ilustración 11: Multímetro Fluke 87 III

#### **IV. OPERACIONES PREVIAS**

1) Se inspeccionarán los sensores PT 100 a calibrar para comprobar que se encuentran debidamente identificados: marca, modelo y número de serie, en caso de no disponer de estos datos siempre es posible identificar el equipo con el código asignado por el usuario, o con un código único que asigne el laboratorio, intentando que aparezca en un lugar visible del termómetro, por ejemplo, mediante una etiqueta adhesiva.

2) Se comprobará que el sensor a calibrar se encuentra en buen uso, es decir no presenta defectos que pudieran condicionar el resultado de las calibraciones como golpes, deformaciones, malos contactos o roturas de los hilos de conexión, entre otros. De presentarse algún problema y no poder resolverse se avisará al solicitante de la calibración para la devolución del sensor hasta que solucione el problema encontrado.

3) Se comprobará que las condiciones ambientales del laboratorio antes y durante la calibración se encuentran dentro de los límites establecidos por el laboratorio, por ejemplo  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $<70\text{ \%HR}$ . Si las condiciones se salen de los límites establecidos se analizará su influencia en el resultado de la calibración.

4) Si es necesario se preparará el punto del hielo siguiendo las indicaciones en el Anexo I (de ser necesario).

5) El equipo de lectura lleva incluida una junta de referencia que debe mantenerse cercana a la temperatura ambiente por lo que debe tenerse precaución de no acercarse demasiado el equipo de lectura al baño u horno si la temperatura de éste es bastante de la temperatura ambiente.

6) El agua destilada que se utilice en los baños termostáticos debe ser limpia al igual que los propios baños; para lo cual se debe cumplir con los periodos establecidos para su mantenimiento.

7) Cuando se utilice el baño de aceite se debe poner en funcionamiento el extractor de aire, además el técnico debe usar lentes y mascarilla para evitar inhalar los vapores del aceite.

8) Si el sensor o parte del sensor ha sido sumergido en líquidos, se debe secar o precalentar el sensor antes de ser ingresado al bloque metálico del horno, para evitar posibles combustión o deterioro del mismo.

9) Para cumplir con el correcto uso y funcionamiento de los baños termostáticos de líquido y los hornos se debe seguir las instrucciones dadas en los respectivos Manuales de Operación.

10) Antes de comenzar la calibración se conectan los equipos a utilizar, incluido el termómetro a calibrar, siguiendo las instrucciones de los respectivos manuales y esperando los tiempos de calentamiento y estabilización especificados en dichos manuales.

## **V. PROCESO DE CALIBRACIÓN**

### **5.1 Secuencia de las operaciones objeto del procedimiento**

5.1.1 En general, durante la calibración las medidas de la temperatura se harán cuando el medio isoterma se encuentre estable y uniforme, lo que debe comprobarse en cada punto de calibración. El laboratorio debe tener caracterizado y/o calibrados previamente sus medios isotermos que tendrán así valores asignados de estabilidad y uniformidad.

Para comprobar si el medio isoterma está lo suficientemente estable, es conveniente registrar la lectura de uno de los patrones. Para comprobar si el medio isoterma está uniforme se utilizarán dos patrones.

5.1.2 Antes de comenzar las medidas debe asegurarse una profundidad de inmersión adecuada en el medio isoterma de los sensores del termómetro a calibrar, para evitar problemas de conducción térmica. La profundidad de inmersión se determina introduciendo en su totalidad el sensor en el medio isoterma y sacándolo paulatinamente hasta observar que existen variaciones significativas de las medidas del termómetro.

La profundidad de inmersión está en el margen en el que la temperatura no varía significativamente. Esta prueba se realizara en una temperatura bastante alejada de la temperatura de ambiente que este dentro del margen de calibración del termómetro (valores al máximo o mínimo del alcance)

5.1.3 Se llevan a cabo bien pruebas de histéresis, uniformidad y/o repetibilidad según la resolución y el tipo de sensor del termómetro a calibrar.

### **5.2. Métodos de Realización**

#### **5.2.1 Prueba de Histéresis**

A esta prueba se someterán los sensores con resolución mejor o igual que  $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ , excepto aquellos que se calibren en un margen cercano a la temperatura ambiente. Estas pruebas se describen en el Anexo II.

#### **5.2.2 Prueba de Uniformidad**

A esta prueba se someterán los sensores con termómetros con resoluciones mejores o iguales que  $0.01^{\circ}\text{C}$ . la prueba se describen en el Anexo II.

#### **5.2.3 Prueba de Repetibilidad**

A esta prueba se someterán todo los sensores que no se hayan sometidos a pruebas de histéresis o uniformidad, en cuyo caso la repetibilidad ya está contenida en dichas medidas. El proceso se describe en el Anexo II.

### 5.3. Calibración

Se comienza la calibración en el punto de temperatura más baja. La calibración se realizará en puntos de temperatura crecientes realizará en un mínimo de 5 ó 6 puntos que cubran al menos el 80% del rango de calibración y distribuidos de manera uniforme. Es conveniente repetir el primer punto después de llegar a la temperatura más alta, para comprobar que la estabilidad del termómetro durante la calibración es coherente con las contribuciones de incertidumbre que se han tenido en cuenta

Se debe procurar que ni los patrones ni los sensores a calibrar toquen el fondo o las paredes del medio isoterma y deben estar dentro de la zona del medio isoterma que ha sido caracterizado y/o calibrado por el laboratorio (datos de estabilidad y uniformidad).

#### NOTAS:

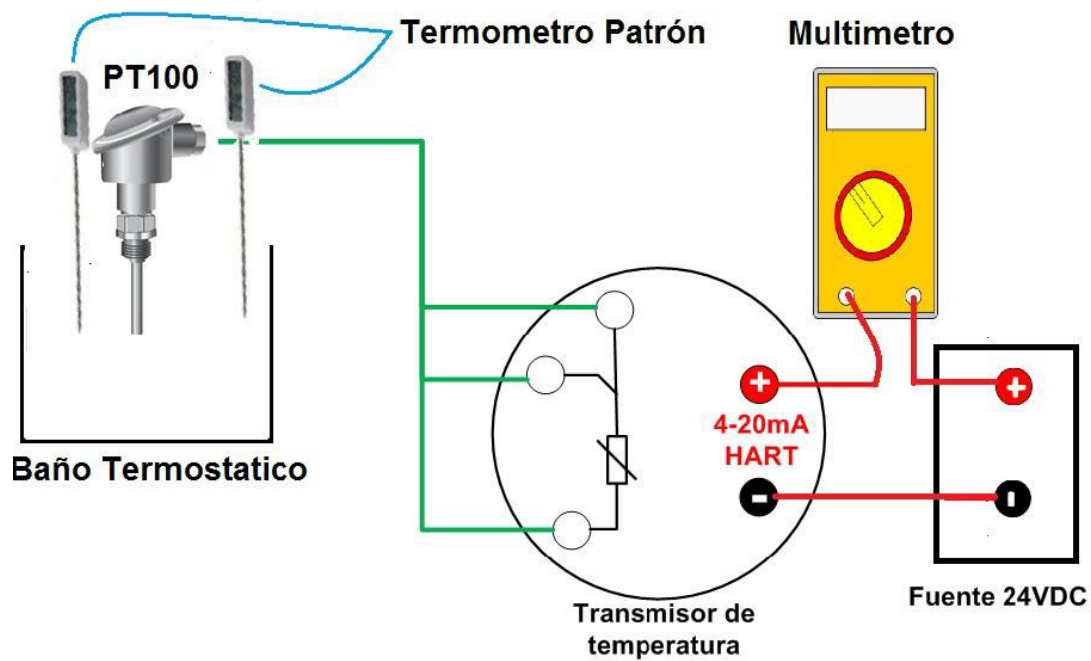
1. En general, es conveniente colocar el sensor a calibrar y los patrones lo más cercano posible para disminuir la contribución a la incertidumbre debida a la falta de uniformidad del medio isoterma.

Para comprobar si el medio isoterma está lo suficientemente estable, es conveniente registrar la lectura de uno de los patrones. La estabilidad de referencia debe ser asignada por el laboratorio durante la caracterización del medio isoterma. Si no se consigue dicha estabilidad se aumentará coherentemente la incertidumbre.

2. Además se comprobará que las condiciones de operación del multímetro son las adecuadas para realizar la calibración y son las mismas que las utilizadas en su calibración, por ejemplo, intensidad de la corriente, sensibilidad, ancho de banda, rango, etc.

El proceso de lectura que se repetirá para cada punto de calibración, consiste en:

- 1) Lectura del primer patrón, corregida según su certificado,  $t_{11}$
- 2) Lectura del sensor a calibrar,  $I_{x1}$
- 3) Lectura del segundo patrón, corregida según su certificado,  $t_2$
- 4) Lectura del sensor a calibrar,  $I_{x2}$
- 5) Lectura del primer patrón, corregida según su certificado,  $t_{12}$



**Ilustración 12: Esquema de calibración**

El termómetro de resistencia de platino (TRP) de tres hilos se conectará al transmisor, si el TRP es de dos hilos se puentearán las puntas del puente para realizar la medida a tres hilos.

Así mismo el transductor se alimentara de una fuente de voltaje continuo de 24 VDC, obtener la corriente a medir su corriente eléctrica (I).

Por la ley de Ohm ya que el TRP varía su resistencia con la temperatura y teniendo un voltaje constante podemos medir la variación de la corriente (I) con respecto al cambio de la temperatura del sensor.



## VI. TOMA Y TRATAMIENTO DE DATOS

El termómetro de resistencia de platino (TRP) se conectará al transmisor para medir su corriente eléctrica (I) a tres hilos, si el TRP es de dos hilos se puentearán las puntas del puente o del multímetro para realizar la medida a tres hilos.

Las posibles anomalías y descripción de los tratamientos térmicos si se dan.

- 1) Posibles anomalías y descripción de los tratamientos térmicos si se dan.
- 2) Si el termopar fue calibrado con cables de extensión o compensación.
- 3) Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa.
- 4) El tipo de junta de referencia utilizada y el resultado de su comprobación.
- 5) La temperatura de la junta de referencia si ésta fuese distinta de 0°C.
- 6) Las profundidades de inmersión de la junta de medida y de la de referencia.
- 7) El valor de  $\delta E_0$ , en el caso de que sea necesario hacer correcciones.
- 8) Los valores en temperatura que indican los patrones:  $t_{11}$ ,  $t_{12}$  y  $t_2$ .
- 9) La temperatura asignada a cada punto de calibración que será la media de las temperaturas obtenidas con los patrones. Esta media se obtiene primero para las temperaturas determinadas por el primer patrón y después se vuelve a hacer la media para los dos patrones:

$$t_x = \frac{\frac{t_{11} + t_{12}}{2} + t_2}{2} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad \dots (1)$$

- 10) Los valores de la corriente medida en el sensor PT 100 en calibración:  $I_{x1}$  y  $I_{x2}$ .
- 11) El valor de la corriente medida en el sensor en calibración  $I_x$  que será la media de las lecturas  $I_{x1}$  y  $I_{x2}$ .

$$I_x = \frac{I_{x1} + I_{x2}}{2} \quad \dots \dots (2)$$

En este proceso, si se observan diferencias (en valor absoluto) entre las dos lecturas del primer patrón mayores que la estabilidad asignada al medio isoterma de calibración, se repetirán las medidas por falta de estabilidad:

$$|t_{11} - t_{12}| > e_b \quad \dots \dots (3)$$

### 6.1 Pruebas de histéresis, uniformidad o repetibilidad

En el caso de realizar estas pruebas (ver Anexo II), en cada repetición se anotarán los siguientes datos:

- Los valores en unidades de temperatura que indican los patrones corregidos según sus certificados de calibración,  $t_{p1}$  y  $t_{p2}$
- El valor en unidades de corriente que indica el sensor a calibrar  $t_{px}$

- La corrección C, será la diferencia entre la media de las lecturas de los patrones y la relación obtenida de temperatura del sensor a calibrar:

$$C = \frac{t_{p1} + t_{p2}}{2} - t_{px} \quad \dots (4)$$

Si se realizan n medidas C, se hallara la desviación estándar s de las correcciones, que será lo que llamaremos histéresis h, uniformidad un, o repetibilidad r según cual sea la prueba realizada.

Como se sabe:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}{n - 1}} \quad \dots \dots (5)$$

Dónde:  $\bar{c} = \sum_{i=1}^n c_i / n$  es el valor medio de las correcciones.

## 6.2 Ajuste

Si se realiza un ajuste del equipo, se anotarán las medidas previas realizadas, a fin de incluir las correcciones y las incertidumbres asociadas antes y después de ajuste que se incluirán en el certificado o informe de calibración. También se deben anotar detalles del ajuste del equipo.

## 6.3 Calibración

Para cada punto de calibración se anotan los siguientes datos:

- Los valores corregidos en unidades de temperatura que indican los patrones  $t_{11}$  y  $t_{12}$  (cuya media es  $t_1$ ) y  $t_2$ . Con estos datos se hacen los cálculos correspondientes para asegurarse de la estabilidad del baño.
- Los valores en unidades de corriente que indica el sensor a calibrar  $t_{x1}$  y  $t_{x2}$  de los que se calculara su media  $t_x$
- La corrección C se obtiene de:

$$C = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_x \quad \dots \dots \dots (6)$$

- Los resultados de la calibración se indican en una tabla donde aparece para cada punto de calibración: la temperatura corregida media de los patrones (media de  $t_1$  y  $t_2$ ), la del sensor a calibrar ( $t_x$ ), la corrección (C) y la incertidumbre de calibración (U).
- Así mismo se conservarán los registros de las configuraciones con las que se ha calibrado el sensor (cables de compensación, alcances, resolución, etc.) y otros datos que se consideren importantes.

## Datos de calibración para sensores PT 100

1) Marca: STATUS

Alcance de Indicación: 0°C a 250°C

Modelo: SEM203 P

Sensor: PT-100

Exactitud:  $1^{\circ}\text{C} \pm 0.5\% \text{ }^{\circ}\text{C}$

**Tabla 3: 1er punto de calibración 0°C**

#	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON INICIAL (°C)	LECTURA DEL SENSOR A CALIBRAR (mA)	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON FINAL (°C)
1	0.20	3.811	0.20
2	0.10	3.810	0.10
3	0.20	3.811	0.20
4	0.10	3.810	0.20
5	0.10	3.811	0.10

**Tabla 4: 2do punto de calibración 125°C**

#	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON INICIAL (°C)	LECTURA DEL SENSOR A CALIBRAR (mA)	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON FINAL (°C)
1	125.00	11.631	125.00
2	125.00	11.631	125.00
3	125.00	11.632	125.00
4	125.00	11.632	125.00
5	125.00	11.632	125.00

**Tabla 5: 3er punto de calibración 200°C**

#	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON INICIAL (°C)	LECTURA DEL SENSOR A CALIBRAR (mA)	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON FINAL (°C)
1	198.86	16.312	198.88
2	198.88	16.311	198.87
3	198.87	16.311	198.90
4	199.87	16.311	198.91
5	198.89	16.312	198.89

2) Marca: DIGI MEC

Serie: A1114588126A

Alcance de Indicación: 0°C a 120°C

Modelo: LDX

Sensor: PT-100

Exactitud: 1°C ± 0.5% °C

**Tabla 6: 1er punto de calibración 15°C**

#	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON INICIAL (°C)	LECTURA DEL SENSOR A CALIBRAR (mA)	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON FINAL (°C)
1	15.00	5.758	15.00
2	15.00	5.759	15.00
3	15.00	5.759	15.00
4	15.00	5.760	15.00
5	15.00	5.758	15.00

**Tabla 7: 2do punto de calibración 20°C**

#	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON INICIAL (°C)	LECTURA DEL SENSOR A CALIBRAR (mA)	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON FINAL (°C)
1	20.00	6.415	20.00
2	20.00	6.416	20.00
3	20.00	6.415	20.00
4	20.00	6.417	20.00
5	20.00	6.415	20.00

**Tabla 8: 3er punto de calibración 25°C**

#	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON INICIAL (°C)	LECTURA DEL SENSOR A CALIBRAR (mA)	LECTURA DEL TERMOMETRO PATRON FINAL (°C)
1	25.00	7.053	25.00
2	25.00	7.052	25.00
3	25.00	7.053	25.00
4	25.00	7.054	25.00
5	25.00	7.054	25.00

## VII. RESULTADOS

### 7.1 Cálculo de la Incertidumbre

Para el cálculo de incertidumbre, se ha seguido las pautas recomendadas en la “Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición”, referencia 9.2.2 . La incertidumbre combinada obtenida de la ecuación final, se multiplicará por un factor  $k = 2$ , para obtener la incertidumbre expandida (se considera que la incertidumbre combinada corresponde a una distribución normal, por lo que este factor supone una probabilidad de cobertura del 95,45 %).

El resultado de la calibración según se reconoce en la ecuación (7) es la corrección, donde la temperatura de referencia  $t_{ref}$  se ha expresado por separado en la ecuación (9).

A partir de estas expresiones, se distinguen por un lado las incertidumbres del sistema de calibración (patrones y medios isoterms) y por otro las correspondientes al sensor a calibrar durante la calibración que varían según sus características y comportamiento. Las del sistema serán debidas a la calibración, deriva, lectura y resolución de los patrones, magnitudes de influencia sobre los patrones, interpolación o correcciones del certificado no realizadas y a la estabilidad y uniformidad de los baños. Para el sensor a calibrar siempre tendremos la incertidumbre de lectura (resolución), la debida a la repetitividad, histéresis y/o uniformidad (según el sensor) y las magnitudes de influencia.

### 7.2 Símbolos y abreviaturas

ITS-90: Escala Internacional de Temperatura 1990.

C: corrección del termómetro.

c: coeficiente de sensibilidad.

d: deriva de un patrón, intervalo máximo de variación de la temperatura

indicada por el patrón entre calibraciones expresado en  $\pm$  .

$e_b$ . estabilidad del medio isotérmico, intervalo máximo de variación de la temperatura indicada del medio isoterms en los puntos de calibración.

h: histéresis del sensor.

k: factor de cobertura.

r: repetitividad del termómetro.

R: resolución del termómetro.

$t_{ref}$ : temperatura media corregida a la que se encuentran los patrones.

$i_x$ : corriente indicada por el sensor a calibrar.

$t_1, t_2$ : temperatura indicada por el primer y segundo patrón, corregidas por los resultados del certificado de calibración a través de la curva de interpolación.

$u_b$ : uniformidad del medio isoterma, intervalo máximo de variación de la temperatura del medio isoterma en la zona de calibración (=uniformidad instantánea máxima según la definición del PC-019 referencia 9.2.7).

$u_n$ : uniformidad del multímetro.

$h_m$ : inhomogeneidad del sensor.

$u$ : incertidumbre estándar.

$U$ : incertidumbre expandida.

$\delta t_{c1}, \delta t_{c2}$ : correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a la incertidumbre de su calibración.

$\delta t_{d1}, \delta t_{d2}$ : correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a la deriva entre calibraciones.

$\delta t_{1res}, \delta t_{2res}$ : correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a la resolución entre los termómetros patrones.

$\delta t_{1mi}, \delta t_{2mi}$ : correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a magnitudes de influencia con efectos significativos sobre los patrones.

$\delta t_{1int}, \delta t_{2int}$ : correcciones en la temperatura indicada por el primer y segundo patrón debido a la interpolación efectuada en los resultados de su calibración

$\delta t_u$ : correcciones en la temperatura indicada por los patrones debido a la falta de uniformidad del medio isoterma.

$\delta t_e$ : correcciones en la temperatura indicada por los patrones debido a la falta de

estabilidad del medio isoterma

$\delta i_{x,res}$ : corrección en la corriente indicada por el multímetro del sensor a calibrar debido a su resolución.

$\delta i_{x,mi}$ : corrección en la corriente indicada por el multímetro del sensor a calibrar debido a las magnitudes de influencia con los efectos significativos sobre el.

$\delta i_r$ : corrección en la corriente indicada por el multímetro del sensor a calibrar debido a su falta de repetibilidad (ver para que tipo de sensor se aplica, según se indica en el Anexo II).

$\delta i_h$ : corrección en la corriente indicada por el multímetro a calibrar con resolución mejor o igual que  $0,01^\circ\text{C}$  y con termo resistencia como sensor debido a su histéresis (ver Anexo II).

$\delta i_{un}$ : corrección en la corriente indicada por el multímetro a calibrar con la resolución mejor o igual que  $0,01^\circ\text{C}$  y con termopar como sensor debido a la falta de uniformidad de los hilos del termopar (ver Anexo II).

### 7.3 Incertidumbre de la corrección

La calibración por comparación de un sensor PT 100 de lectura indirecta consiste en calcular la corrección  $C$  del sensor, es decir la diferencia entre la temperatura asignada al baño a partir de las indicaciones corregidas de los patrones  $t_{ref}$  y la corriente indicada por el multímetro  $t_x$  con sus correcciones, en cada punto de calibración:

$$C = t_{ref} - (t_x + \delta t_{x,res} + \delta t_h + \delta t_{un} + \delta t_r + \delta t_{x,mi}) \quad \dots (7)$$

Donde se han tenido en cuenta las posibles correcciones para el sensor a calibrar por resolución, repetibilidad, histéresis y/o uniformidad (según cada tipo de sensor tendremos una corrección u otra, nunca las tres a la vez) y las magnitudes de influencia del sensor a calibrar.

Para calcular la incertidumbre se aplica la ley de propagación de incertidumbre en la ecuación (7) donde se considera que las correcciones de temperatura son nulas (no se hacen correcciones de lectura del sensor por resolución, magnitud de influencia, repetibilidad, histéresis y/o uniformidad), mientras que no son sus incertidumbres. Se considera también que todas las variables de (4) no tienen correlaciones significativas:

$$u^2(C) = u^2(t_x) + u^2(\delta t_{x,res}) + u^2(\delta t_h) + u^2(t_{un}) + u^2(\delta t_r) + u^2(\delta t_{x,mi}) + u^2(t_{ref}) \quad \dots (8)$$

En este caso los coeficientes de sensibilidad al cuadrado son todos iguales a 1. El término  $u(t_x)$  en general no se considera ya que no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración pero la repetibilidad si es tomada en cuenta en alguno de los otros términos de la incertidumbre. El término  $u^2(t_{ref})$  es el de la ecuación (10).

De los términos  $u(\delta t_h), u(t_{un}), u(\delta t_r)$  aparecerá solo uno según el sensor a calibrar (ver Anexo II).

Cada término de incertidumbre se explica a continuación:

$u(t_x)$ : Es la incertidumbre de la lectura del multímetro. Como no se hacen medidas estadísticas significativas en cada punto de calibración no se puede considerar esta contribución pero la repetibilidad sí es tomada en cuenta en alguno de los otros términos de la incertidumbre.

$u(i_{x,res})$ : La incertidumbre de resolución del multímetro, que corresponde a la resolución del equipo de lectura dividida por  $2\sqrt{3}$

$u(\delta i_r), u(\delta i_h), u(\delta i_{un})$ : La repetibilidad (y/o uniformidad) del multímetro se estima según lo indicado en 7.3.1. Según el tipo de sensor que se esté calibrando aparecerá solo uno de los tres términos, según Anexo II

$u(\delta t_{x,mi})$ : En algunos casos pueden existir magnitudes de influencia con efectos significativos (p.e temperatura ambiente) sobre el sensor a calibrar, en cuyo caso sería necesario evaluar la influencia en las condiciones de calibración.

**NOTA:** Por ejemplo, si el sensor tiene un coeficiente de variación con la temperatura  $\alpha$ , expresado en  $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ , se estimaría como  $\alpha\Delta t/\sqrt{3}$ , bajo la hipótesis de distribución rectangular y siendo  $\pm\Delta t$  la peor variación de temperatura durante la calibración.

$u(\delta i_{hm})$ : solo cuando se calibre termómetros digitales con resolución mejor o igual que  $0,01^{\circ}\text{C}$  con termopares u termo resistencia como sensor se tiene



que considerar esta componente de incertidumbre debido a la naturaleza intrínseca del tipo del sensor.

Si la uniformidad medida del termopar u termo resistor es menor que lo valores de inhomogeneidad del fabricante se considera como el aporte de incertidumbre estándar por uniformidad los valores de dicha tabla.

$u(t_{ref})$ : la incertidumbre de la temperatura de referencia según se calcula en 4

#### 7.4 Incertidumbre del sistema de calibración

La temperatura asignada al baño de calibración  $t_{ref}$  es la lectura medida de los 2 patrones utilizados  $t_1$  y  $t_2$  ya corregidas según los resultados de sus calibraciones y con una serie de correcciones adicionales que escribiremos a continuación:

$$t_{ref} = 1/2[t_1 + \delta t_{c1} + \delta t_{d1} + \delta t_{1res} + \delta t_{1mi} + \delta t_{1int} + t_2 + \delta t_{c2} + \delta t_{d2} + \delta t_{2res} + \delta t_{2mi} + \delta t_{2int}] + \delta t_u + \delta t_e \quad \dots (9)$$

Donde se han tenido en cuenta las posibles correcciones debidas a la incertidumbre de calibración, deriva, resolución, magnitudes de influencia e interpolación en los resultados de los patrones (pueden existir otras según cada casi particular: repetibilidad, histéresis y/o uniformidad del patrón) y las incertidumbres debidas a la uniformidad y estabilidad de los baños u hornos.

Para calcular la incertidumbre se aplica la ley de propagación de incertidumbre en la ecuación (9) donde se considera que las correcciones de temperatura son nulas (usualmente no se hacen correcciones a las lecturas de los patrones por incertidumbre de calibración, deriva, resolución, interpolación, magnitudes de influencia y uniformidad de los baños y/o hornos) mientras que no sean nulas sus incertidumbres.

$$u^2(t_{ref}) = c_1^2 u^2(t_1) + c_2^2 u^2(t_2) + c_3^2 u^2(\delta t_{c1}) + c_4^2 u^2(\delta t_{c2}) + c_5^2 u^2(\delta t_{d1}) + c_6^2 u^2(\delta t_{d2}) + c_7^2 u^2(\delta t_{1res}) + c_8^2 u^2(\delta t_{2res}) + c_9^2 u^2(\delta t_{1mi}) + c_{10}^2 u^2(\delta t_{2mi}) + c_{11}^2 u^2(\delta t_{1int}) + c_{12}^2 u^2(\delta t_{2int}) + 2c_7c_3r(\delta t_{1res}\delta t_{2res})u(\delta t_{1res})u(\delta t_{2res}) + 2c_1c_2r(t_1t_2)u(t_1)u(t_2) + 2c_3c_4r(\delta t_{c1}\delta t_{c2})u(\delta t_{c1})u(\delta t_{c2}) + u^2(\delta t_e) + u^2(\delta t_u) \quad \dots (10)$$

En la ecuación (10), los términos de  $u(t_1)$  y  $u(t_2)$  en general no se consideran ya que no se hacen medidas estadísticamente significativos en cada punto de calibración tal como ya se ha explicado anteriormente. Se han incluido los términos de correlación que pueden ser distintos de cero, las lecturas y la resolución, en el caso de que las lecturas de los patrones se realicen con el mismo equipo de lectura, o la incertidumbre de calibración, en el caso de que las calibraciones se hayan realizado con los mismos equipos o procedimientos.

El resto de variables se considera que no están significativamente correlacionadas. En cuanto a los coeficientes de sensibilidad, solo se han

escrito los que salen distintos de 1 al derivar con respecto a cada variable en (10), que valen:

$$c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = c_6 = c_7 = c_8 = c_9 = c_{10} = c_{11} = c_{12} = \frac{1}{2} \dots (11)$$

El valor de  $\frac{1}{2}$  de la ecuación (11) supone que se emplean dos termómetros patrones con características similares (“con la misma ponderación”) por lo que el promedio es un simple promedio aritmético; de lo contrario los valores de los coeficientes de sensibilidad tendrían otros valores, dependiendo del peso ponderado de cada patrón.

Un caso particular sería el caso de correlación total (de incertidumbre más alta o cota superior a la incertidumbre) cuando los coeficientes de correlación  $r(t_1, t_2)$ ,  $r(\delta t_{1res}, \delta t_{2res})$  y  $r(\delta t_{c1}, \delta t_{c2})$  tomen como máximo el valor de 1. En este caso la ecuación (7) se podría simplificar de la forma:

$$\begin{aligned} u^2(t_{ref}) = & 1/4[u(t_1) + u(t_2)]^2 + 1/4[u(\delta t_{c1}) + u(\delta t_{c2})]^2 \\ & + 1/4[u(\delta t_{1res}) + u(\delta t_{2res})]^2 + 1/4u^2(\delta t_{d1}) + 1/4u^2(\delta t_{d2}) \\ & + 1/4u^2(\delta t_{1mi}) + 1/4u^2(\delta t_{2mi}) + 1/4u^2(\delta t_{1int}) + 1/4u^2(\delta t_{2int}) \\ & + u^2(\delta t_e) + u^2(\delta t_u) \dots (12) \end{aligned}$$

Cada término de incertidumbre se explica a continuación:

$u(t_1), u(t_2)$ : Incertidumbre de lectura del primer y segundo patrón. Como no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración no se consideran estas contribuciones.

$u(\delta t_{c1}), u(\delta t_{c2})$ : Las incertidumbres de calibración de los patrones que se obtienen a partir de los datos de sus certificados de calibraciones. Son iguales a  $U/k$  donde  $U$  son las incertidumbres expandidas indicadas en sus respectivos certificados de calibración y  $k$  es el factor de cobertura correspondiente.

$u(\delta t_{d1}), u(\delta t_{d2})$ : Deriva máxima de los patrones en el periodo de calibración elegido expresada en  $\pm$ , dividida por  $\sqrt{3}$ , que se estimara a través de los registros históricos de los patrones o de los datos suministrados por el fabricante.

$u(\delta t_{1res}), u(\delta t_{2res})$ : Si los patrones están conectados a un equipo de lectura que da valores en grados celcius o kelvins, sería la resolución del equipo dividida por  $2\sqrt{3}$ .

$u(\delta t_{1int}), u(\delta t_{2int})$ : Corresponde a la incertidumbre debida al error de interpolación a través de una curva obtenida de los resultados de los certificados de calibración de los patrones, calculada como el máximo de a) o b) siguientes:

- a) La raíz cuadrada de la suma de la diferencias al cuadrado de los valores del certificado y los obtenidos a partir de la curva de interpolación

dividida por el número de puntos del certificado menos el número de parámetros del ajuste (dos en el caso de una recta).

- b) La peor diferencia de los puntos de calibración respecto del correspondiente valor que predice la curva de interpolación dividida por  $\sqrt{3}$ .

$u(\delta t_{1mi}), u(\delta t_{2mi})$ : En algunos casos pueden existir magnitudes de influencia (e.p. temperatura ambiente) sobre los termómetros patrones, en cuyo caso sería necesario evaluar su influencia en las condiciones de calibración. Por ejemplo, si el equipo de lectura patrón tiene un coeficiente de variación  $\alpha$  con la temperatura, expresado en  $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ , se estimaría como  $\alpha\Delta t/\sqrt{3}$ , bajo la hipótesis de distribución rectangular y siendo  $\pm\Delta t$  la peor variación de temperatura a considerar (entre la calibración que se está realizando y la calibración de los patrones).

$u(\delta t_e), u(\delta t_u)$ : Las incertidumbres originadas por la estabilidad y uniformidad de los baños termostáticos y/u hornos (incluido el punto de hielo si se utiliza) se calculan a partir de las pruebas experimentales de la caracterización de los baños y/u hornos realizadas en el laboratorio. Según lo indicado por el PC-019 (referencia 9.2.7) para baños  $u(\delta t_e)$  es igual a la estabilidad del baño dividida por  $\sqrt{3}$ ; mientras que  $u(\delta t_u)$  es igual a la uniformidad instantánea máxima del baño dividida por  $\sqrt{3}$ .

## 7.5 Cálculo final de la incertidumbre

La **incertidumbre combinada** obtenida en la ecuación (10) se multiplicará por el factor de cobertura  $k=2$  para obtener la incertidumbre expandida con un nivel de confianza aproximado del 95%.

## NOTAS

Algunas veces se tendrá  $k=2$ . Esto podrá asumirse si se cumplen las condiciones del Teorema Central del Límite, y no hay componentes claramente dominantes que sean no normales y por lo tanto, la incertidumbre combinada sigue aproximándose a una distribución también normal.

Si hay componentes claramente dominantes no normales el factor de cobertura puede ser diferente de 2. Ver referencia 5 párrafos 9.14 y 10.13.

**Tabla 9: Resumen del cálculo de incertidumbres  $u(t_{ref})$**

Magnitud $X_i$	Estimación $x_i$	Incertidumbre Estándar $u(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la Incertidumbre Estándar $u(y)$
$t_1$	$\frac{t_{11} + t_{12}}{2}$	$u(t_1)$	$1/2$	$u(t_1)/2$
$t_2$	$t_2$	$u(t_2)$	$1/2$	$u(t_2)/2$
$\delta t_{c1}$	0	$u(\delta t_{c1})$	$1/2$	$u(\delta t_{c1})/2$
$\delta t_{c2}$	0	$u(\delta t_{c2})$	$1/2$	$u(\delta t_{c2})/2$
$\delta t_{d1}$	0	$u(\delta t_{d1})$	$1/2$	$u(\delta t_{d1})/2$
$\delta t_{d2}$	0	$u(\delta t_{d2})$	$1/2$	$u(\delta t_{d2})/2$
$\delta t_{1res}$	0	$u(\delta t_{1res})$	$1/2$	$u(\delta t_{1res})/2$
$\delta t_{2res}$	0	$u(\delta t_{2res})$	$1/2$	$u(\delta t_{2res})/2$
$\delta t_{1min}$	0	$u(\delta t_{1min})$	$1/2$	$u(\delta t_{1min})/2$
$\delta t_{2min}$	0	$u(\delta t_{2min})$	$1/2$	$u(\delta t_{2min})/2$
$\delta t_{1int}$	0	$u(\delta t_{1int})$	$1/2$	$u(\delta t_{1int})/2$
$\delta t_{2int}$	0	$u(\delta t_{2int})$	$1/2$	$u(\delta t_{2int})/2$
$\delta t_e$	0	$u(\delta t_e)$	1	$u(\delta t_e)$
$\delta t_u$	0	$u(\delta t_u)$	1	$u(\delta t_u)$
$t_{ref}$	$\frac{t_{11} + t_{12}}{2}$	-	-	$u(t_{ref})$

**Tabla 10: Resumen del cálculo de incertidumbre  $u(C)$**

Magnitud $X_i$	Estimación $x_i$	Incertidumbre Estándar $u(x_i)$	Coefficiente de sensibilidad $c_i$	Contribución a la Incertidumbre Estándar $u(y)$
$t_i$	$\frac{t_{x1} + t_{x2}}{2}$	$u(t_x)$	-1	$-u(t_x)$
$\delta t_{xres}$	0	$u(\delta t_{xres})$	-1	$-u(t_{xres})$
$\delta t_{xmin}$	0	$u(\delta t_{xmin})$	-1	$-u(t_{xmi})$
$\delta t_r, \delta t_h,$ $\delta t_{un}$	0	$u(\delta t_r), u(\delta t_h),$ $u(\delta t_{un})$	-1	$-u(\delta t_r), -u(\delta t_h),$ $-u(\delta t_{un})$
$t_{ref}$	$\frac{t_1 + t_2}{2}$	$u(\delta t_{ref})$	1	$u(t_{ref})$
$C$	$t_{ref} - t_x$	-	-	$u(C)$

### 7.5.1 Incertidumbre del sistema de calibración

Los termómetros patrones tienen las siguientes características:

- Resolución  $R = 0.01^{\circ}\text{C}$
- Incertidumbre  $U=0.02^{\circ}\text{C}$  para  $k=2$  (se incluye histéresis y repetibilidad)
- Deriva máxima (d) se obtiene de los registros de certificados anteriores  $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$

Los Baños termostáticos tienen las siguientes características:

- Estabilidad:  $e_b = \pm 0.01^{\circ}\text{C}$
- La uniformidad instantánea máxima  $u_b = \pm 0.01^{\circ}\text{C}$

Con estos datos se elabora la tabla 5, teniendo en cuenta la ecuación 12. Las correcciones  $\delta t_{c1}$ ,  $\delta t_{c2}$ ,  $\delta t_{d1}$ ,  $\delta t_{d2}$ ,  $\delta t_{1res}$ ,  $\delta t_{2res}$ ,  $\delta t_{1min}$ ,  $\delta t_{2min}$ ,  $\delta t_{1int}$ ,  $\delta t_{2int}$ ,  $\delta t_e$ ,  $\delta t_u$  se han considerado iguales a 0 (aunque no lo sean sus incertidumbres ya que no se hacen las correcciones a las lecturas de los patrones por estas causas).

Como no se hacen medidas estadísticamente significativas en cada punto de calibración no se consideran  $u(t_1)$  y  $u(t_2)$ .

**Tabla 11: Incertidumbre del sistema de calibración**

Magnitud	Estimación	Incertidumbre Típica	Distribución de Probabilidad considerada	Coficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$	$u(x_i) ^{\circ}\text{C}$	-	$c_i$	$u_i(y)$
$t_1$	$(t_{11} + t_{12})/2$	0	-	1/2	0.00
$t_2$	$t_2$	0	-	1/2	0.00
$\delta t_{c1}$	0	0.01	Normal	1/2	0.005
$\delta t_{c2}$	0	0.01	Normal	1/2	0.005
$\delta t_{d1}$	0	0.0029	Rectangular	1/2	0.0015
$\delta t_{d2}$	0	0.0029	Rectangular	1/2	0.0015
$\delta t_{1res}$	0	0.0029	Rectangular	1/2	0.0015
$\delta t_{2res}$	0	0.0029	Rectangular	1/2	0.0015
$\delta t_e$	0	0.0050	Rectangular	1	0.005
$\delta t_u$	0	0.0050	Rectangular	1	0.005
$t_{ref}$	$(t_1 + t_2)/2$			$u(t_{ref}) =$	<b>0.010</b>

## A) Incertidumbre de la Corrección PT100 Status

Tabla 12: Incertidumbre para 0°C

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica	Distribución de Probabilidad considerada	Coficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$		$c_i$	$u_i(y) \mu A$
$I_x$	$(I_{x1} + I_{x2})/2$	0.0038	Rectangular	-1	0.0038
$\delta I_c$	0	0.200	Normal	-1	0.2
$\delta I_d$	0	0.0290	Rectangular	-1	0.029
$t_{ref}$	$(t_1+t_2)/2$	0.010	Normal	0.064 mA/°C	0.0000006
$I(t_x)$	$I_x$			$u(I(tx)) =$	<b>0.204</b>

Tabla 13: Incertidumbre para 125°C

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica	Distribución de Probabilidad considerada	Coficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$	-	$c_i$	$u_i(y) \mu A$
$I_x$	$(I_{x1} + I_{x2})/2$	0.01163	Rectangular	-1	0.01163
$\delta I_c$	0	0.2	Normal	-1	0.2
$\delta I_d$	0	0.29	Rectangular	-1	0.29
$t_{ref}$	$(t_1+t_2)/2$	0.071	Normal	0.064 mA/°C	0.000005
$I(t_x)$	$I_x$			$u(I(tx)) =$	<b>0.352</b>

Tabla 14: Incertidumbre para 200°C

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica	Distribución de Probabilidad considerada	Coficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$	-	$c_i$	$u_i(y) \mu A$
$I_x$	$(I_{x1} + I_{x2})/2$	0.01631	Rectangular	-1	0.01631
$\delta I_c$	0	0.2	Normal	-1	0.2
$\delta I_d$	0	0.29	Rectangular	-1	0.29
$t_{ref}$	$(t_1+t_2)/2$	0.071	Normal	0.064 mA/°C	0.000005
$I(t_x)$	$I_x$			$u(I(tx)) =$	<b>0.353</b>

Tabla 15: Resultados de la Mediciones

VALOR BAJO PRUEBA	VALOR		CORRECCIÓN	INCERTIDUMBRE
	TEÓRICO	MEDIDO		
( °C )	( mA )	( mA )	( mA )	( mA )
0.0	4	3.81	0.19	0.4
125.0	12	11.63	0.37	0.7
200.0	16.8	16.31	0.49	0.7

### B) Incertidumbre de la Corrección PT100 Digenec

Tabla 16: Incertidumbre para 15°C

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica	Distribución de Probabilidad considerada	Coficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$		$c_i$	$u_i(y) \mu A$
$I_x$	$(I_{x1} + I_{x2})/2$	0.0058	Rectangular	-1	0.0058
$\delta I_c$	0	0.200	Normal	-1	0.2
$\delta I_d$	0	0.0290	Rectangular	-1	0.029
$t_{ref}$	$(t_1+t_2)/2$	0.010	Normal	0.16 mA/°C	0.0000002
$I(t_x)$	$I_x$			$u(I(tx)) =$	<b>0.198</b>

Tabla 17: Incertidumbre para 20°C

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica	Distribución de Probabilidad considerada	Coficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$		$c_i$	$u_i(y) \mu A$
$I_x$	$(I_{x1} + I_{x2})/2$	0.0064	Rectangular	-1	0.0064
$\delta I_c$	0	0.200	Normal	-1	0.2
$\delta I_d$	0	0.0290	Rectangular	-1	0.029
$t_{ref}$	$(t_1+t_2)/2$	0.010	Normal	0.16 mA/°C	0.0000002
$I(t_x)$	$I_x$			$u(I(tx)) =$	<b>0.202</b>

Tabla 18: Incertidumbre para 25°C

Magnitud	Estimación	Incertidumbre típica	Distribución de Probabilidad considerada	Coefficiente de Sensibilidad	Contribución a la incertidumbre típica
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$		$c_i$	$u_i(y) \mu A$
$I_x$	$(I_{x1} + I_{x2})/2$	0.0071	Rectangular	-1	0.0071
$\delta I_c$	0	0.200	Normal	-1	0.2
$\delta I_d$	0	0.0290	Rectangular	-1	0.029
$t_{ref}$	$(t_1+t_2)/2$	0.010	Normal	0.16 mA/°C	0.0000002
$I(t_x)$	$I_x$			$u(I(t_x)) =$	<b>0.206</b>

Tabla 19: Resultados de las mediciones

VALOR BAJO PRUEBA	VALOR		CORRECCIÓN	INCERTIDUMBRE
	TEÓRICO	MEDIDO		
( °C )	( mA )	( mA )	( mA )	( mA )
15.0	6.00	5.836	0.164	0.4
20.0	6.66	6.493	0.167	0.4
25.0	7.33	7.148	0.184	0.4

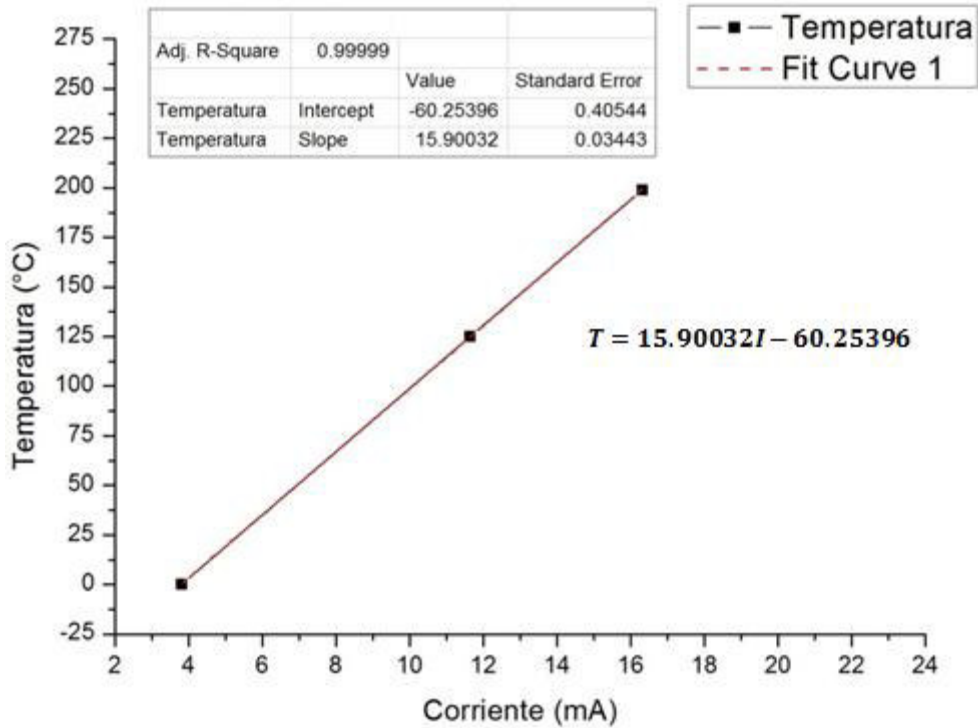
## 7.6 Calculo de la temperatura por medio de corriente

Para el cálculo de esta función, basta con ajustar un polinomio de bajo grado a las diferencias entre la corriente eléctrica leída por el sensor y el valor de referencia correspondiente a la temperatura indicada por los patrones en el punto de calibración. Así, los primeros coeficientes de la función de referencia quedarían modificados, según el grado del polinomio, mientras que los de mayor orden permanecerían invariables. Para calcular los coeficientes de este ajuste es aconsejable emplear el método de mínimos cuadrados.

Considerando el polinomio de grado más bajo con exponente 1, se tiene una ecuación lineal, donde la variable independiente es la corriente eléctrica (I) y la variable dependiente es la temperatura (T), de la ecuación hallada puede interpolar valores para los cuales no se hayan podido medir.

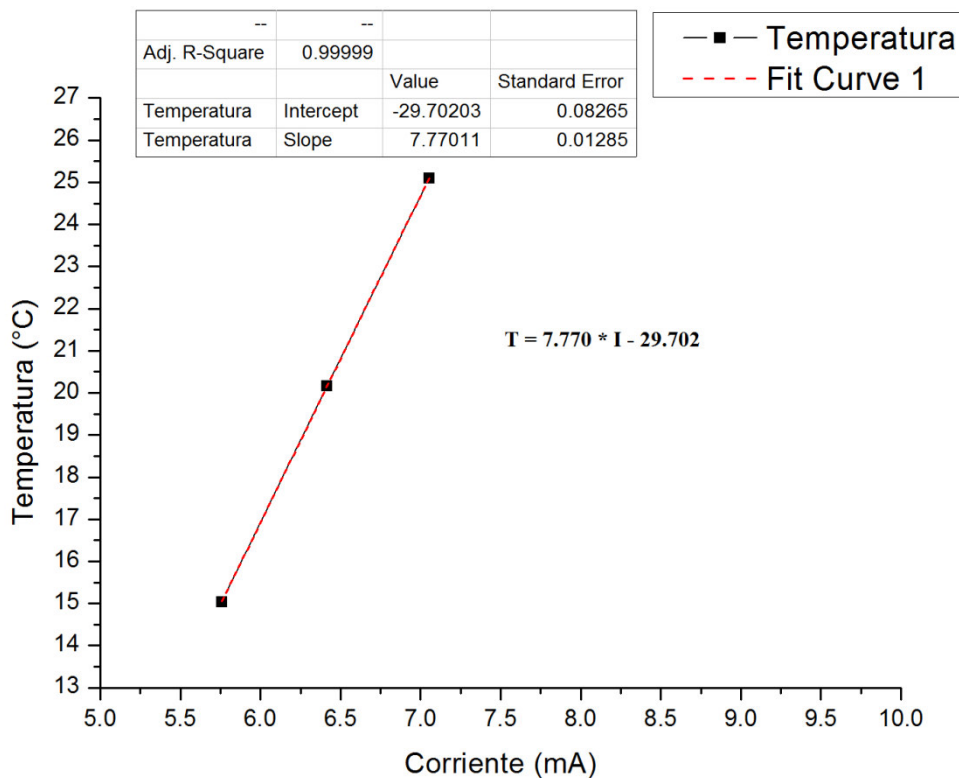
Para PT 100 STATUS, se tiene la siguiente ecuación lineal:





**Ilustración 13: Ajuste Lineal PT100 Status**

Para PT 100 DIGIMEC, se tiene la siguiente ecuación lineal:



**Ilustración 14: Ajuste Lineal PT100 Digimec**

## VIII. DISCUSIÓN

### Interpretación de resultados

El resultado de la calibración es una tabla que relaciona la temperatura con la resistencia termométrica de platino, junto con la incertidumbre asociada a estas medidas en los puntos de calibración. También se puede obtener una función de desviación para puntos intermedios de temperatura.

Las diferencias entre los valores de la temperatura medidas con los patrones y los valores de la temperatura calculados con la función de desviación obtenida en el ajuste, a partir de las ecuaciones esas temperaturas para el sensor PT 100 calibrado reflejan la bondad de la calibración, las diferencias entre ellos para los distintos puntos de calibración no deberían ser superiores a 10 mK, y siempre inferiores a la incertidumbre calculada para cada punto de medida.

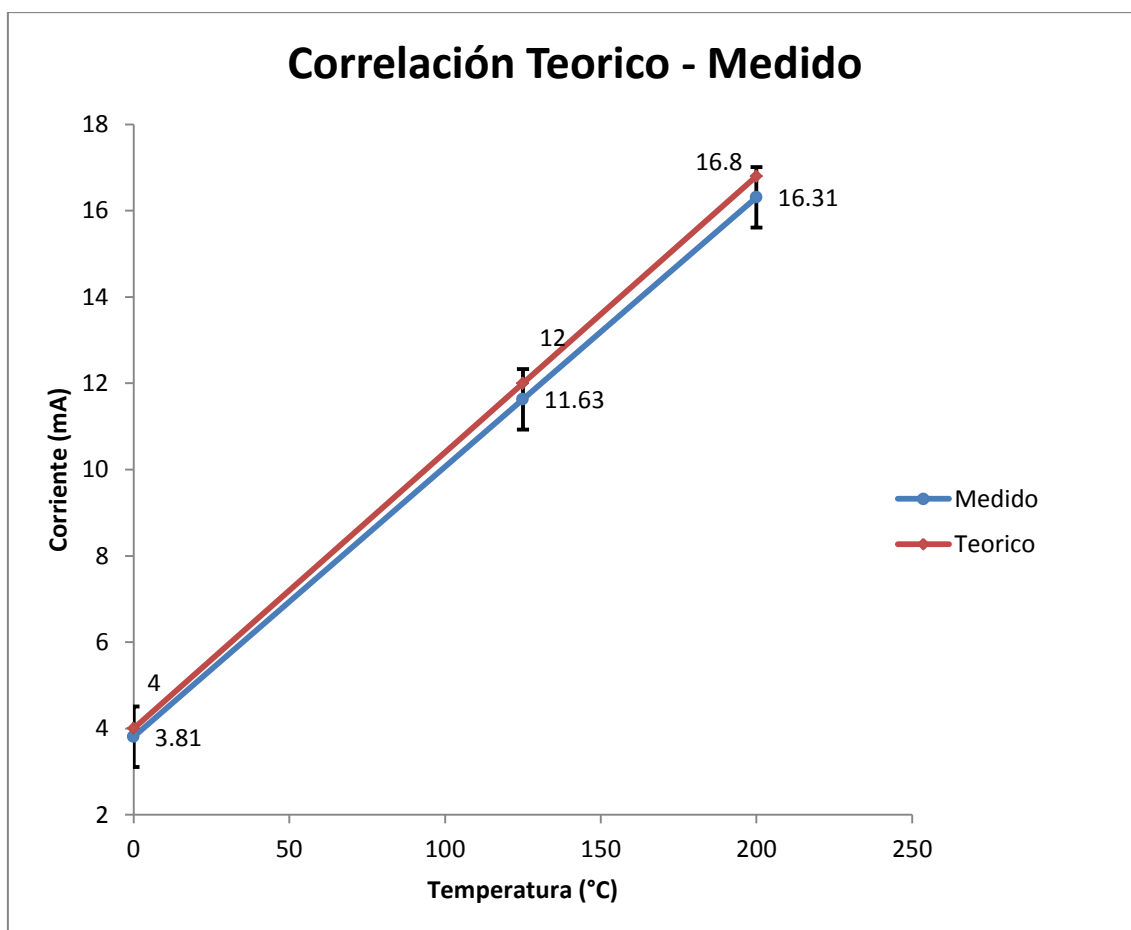
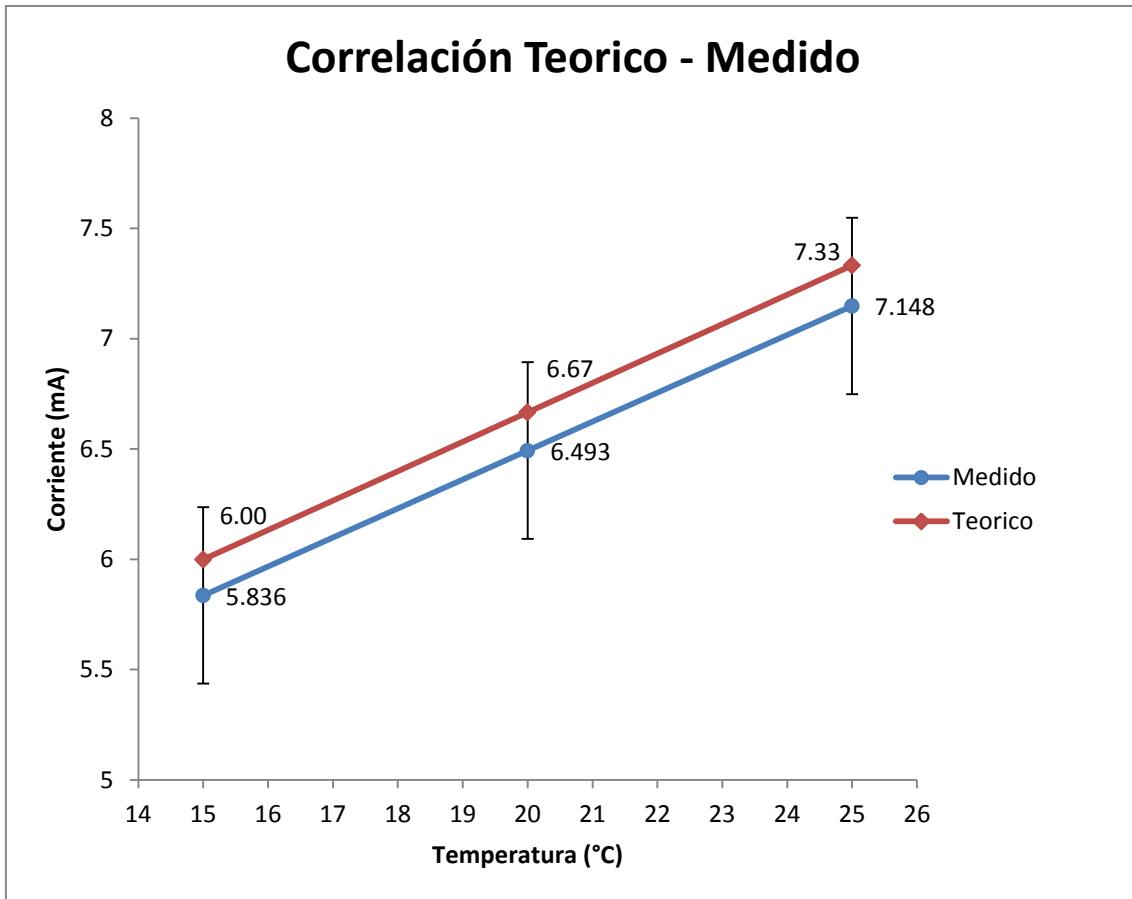


Ilustración 15: Correlación PT100 STATUS Teórico - Medido



**Ilustración 16: Correlación PT100 DIGIMEC Teórico - Medido**

La incertidumbre de calibración en todos los puntos debe ser menor que la tolerancia asignada por el usuario.

El periodo de re calibración es responsabilidad del usuario, para resistencias termométricas de platino puede oscilar entre 6 meses y 2 años, dependiendo del uso del instrumento y de la incertidumbre de medida que se quiera alcanzar con él.

## **IX. CONCLUSIONES**

- Las correcciones obtenidas en la calibración son menores a los errores máximos según IEC 751 para sensores PT100.
- Analizando la tendencia de las correcciones para los sensores PT 100 en la calibración se aproxima a un ajuste lineal; del cual nos da una referencia del funcionamiento de los sensores PT100.
- De los datos de corriente eléctrica y temperatura, se obtiene una función lineal para interpolar; la cual se obtiene valores que no se desvían de sus valores reales ya que la incertidumbre y correcciones halladas tienen poca influencia.

## **X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. La escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90)
2. Centro Español de Metrología CEM, Procedimiento TH-01 Para Calibración de termómetros digitales.
3. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Propiedad Intelectual Indecopi, Servicio Nacional de Metrología, Procedimiento de Calibración de Termómetros Digitales PC.017
4. “Clasificación de instrumentos de Metrología de Temperatura”. 1ª Ed. SCI-MINER.
5. International Electrotechnical Commission IEC, Industrial Platinum Resistance Thermometers. Norma IEC 60751
6. European Co-operation for Accreditation, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, Publication EA-4/02
7. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Propiedad Intelectual Indecopi, Servicio Nacional de Metrología, Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición.
8. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Propiedad Intelectual Indecopi, Servicio Nacional de Metrología, Vocabulario Internacional de Términos Fundamentales y Generales de Metrología.
9. Interpolation equations and uncertainties of industrial PRT's” J. F: Dubbeldam, M. J. de Groot. Euromet Workshop in Temperature, Paris, 1998.
10. Centro Español de Metrología CEM, Procedimiento TH-005 , Para la calibración por comparación De resistencias termométricas de platino

## **ANEXO I.**

### **DETERMINACIÓN PUNTO FUSION DEL HIELO – PUNTO CRIOSCOPIO (0°C)**

El equilibrio entre el hielo y el agua no requiere que haya una gran cantidad de agua presente; la acción limpiadora de la corriente de agua que surge de la fusión de la superficie del hielo es suficiente cuando las medidas son requeridas con una exactitud de 1 mK. Sin embargo, en tales casos un baño del punto del hielo debe contener suficiente agua para proporcionar un buen acople térmico entre la interface agua-hielo y el termómetro. Si el hielo se derrite lejos de un termómetro en enfriamiento, éste debe ser reemplazando cuidadosamente cuando la temperatura esté casi estable.

Las células del punto triple del agua como el resto de puntos fijos de la EIT-90 son elementos del más alto nivel metrológico, por lo que no es habitual disponer de ellos. Si no se dispone de los equipos necesarios y del procedimiento para la determinación, se puede realizar una aproximación con una mayor incertidumbre, determinando la resistencia en el punto de fusión normal del agua (273,15 K).

#### **Preparación del baño de hielo.**

Equipos y materiales necesarios:

- Vaso tipo Dewar. 70-80 mm de diámetro interno profundidad 30 cm.
- Vaso tipo Dewar 150 mm de diámetro interno.
- Hielo en escamas o picado hecho de agua destilada
- Agitador de aluminio o vidrio o acero inoxidable
- Agua destilada o por lo menos desionizada.

El hielo se preparará con agua destilada y a ser posible en forma de escamas, en caso de no poder disponer de él en esta forma, deberá ser triturado hasta alcanzar gránulos de un tamaño inferior a 1 cm.

Se llenará el dewar procurando no tocar el hielo con las manos, para lo que puede utilizarse una cuchara de plástico o de acero inoxidable. Posteriormente se añadirá la mínima cantidad de agua destilada suficiente para que el hielo adquiera un aspecto traslúcido. A continuación se agitará el baño del hielo con objeto de uniformizarlo, usando una varilla de vidrio o una cuchara de acero inoxidable. Idealmente, debería haber en el vaso tanto hielo como fuera posible, con los espacios intermedios entre los gránulos de hielo llenos de agua destilada y el agua destilada debería estar saturada con aire.

Debido a que el hielo flota en el agua, se producirá una acumulación de agua en el fondo del dewar. Para evitarlo, debe retirarse esta y añadir hielo para mantener la uniformidad, procurando siempre no contaminar el baño.

Antes de utilizar el baño de hielo es conveniente esperar de 15 a 30 minutos para que toda la mezcla alcance una temperatura constante.

Se recomienda la comprobación periódica del baño de hielo con un termómetro de resistencia de platino, lo que suministraría información sobre ambos instrumentos, estabilidad del termómetro de resistencia de platino y que el procedimiento de realización del baño de hielo está bajo control.

La incertidumbre en la determinación de la resistencia dependerá de la calidad del agua y de la uniformidad y estabilidad del baño, parámetros que se pueden determinar en estudios previos. Con una buena práctica la incertidumbre en la temperatura del baño de hielo será inferior a 10 mK.

Una vez determinada la resistencia en el punto de fusión del agua,  $R(273,15\text{ K})$ , la diferencia en resistencia entre este valor y el punto triple del agua  $R(273,16\text{ K})$  para una Pt-100 de acuerdo a la norma internacional IEC 751 [10] es de 3,9 m $\Omega$ , es decir:

$$R(273,16\text{ K}) - R(273,15\text{ K}) = 3,9\text{ m}\Omega$$

### **Mantenimiento**

El baño de hielo, para el mantenimiento del punto triple del agua, deberá realizarse de forma que se aproxime lo más posible a su valor teórico de 0 °C. Para ello se utilizará un vaso dewar como recipiente de profundidad de 10 cm más que la longitud de la célula del punto triple del agua al menos. El dewar deberá lavarse repetidas veces con agua, antes de comenzar la preparación.

El hielo se preparará con agua, destilada o desionizada, a ser posible el hielo se preparará en forma de escamas, en caso de no poder disponer de él en esta forma, deberá ser triturado hasta alcanzar gránulos de un tamaño inferior a 1 cm.

Se llenará el dewar procurando no tocar el hielo con las manos. Posteriormente se añadirá la mínima cantidad de agua para que el hielo adquiera un aspecto traslúcido. A continuación se agitará el baño del hielo con objeto de uniformizarlo. Idealmente, debería haber en el vaso tanto hielo como fuera posible, con los espacios intermedios entre los gránulos de hielo llenos de agua destilada.

Debido a que el hielo flota en el agua, se producirá una acumulación de agua en el fondo del dewar. Por lo que periódicamente deberá retirarse del fondo del dewar y añadir hielo.

## **ANEXO II.**

### **PRUEBAS DE HISTÉRESIS, UNIFORMIDAD Y REPETIBILIDAD**

#### Prueba de Histéresis

Se recomienda realizar esta prueba para termómetros digitales con sensor de resistencia de platino con resolución menor o igual que 0.01°C

La prueba consiste en realizar 5 ciclos térmicos de calentamiento-enfriamiento con el objeto de estimar el valor de histéresis del termómetro a calibrar. Entre cada uno de los ciclos se realizarán determinaciones de los valores de temperatura del termómetro a calibrar a cierta temperatura de referencia intermedia en el margen de calibración. El proceso será como sigue:

- 1) Calentamiento del sensor durante 10 min a la temperatura máxima de calibración.
- 2) Determinación del valor de temperatura que indica el termómetro a calibrar a la temperatura de referencia, manteniendo previamente el sensor en aire unos 3 min.
- 3) Enfriamiento del sensor durante 10 min a la temperatura mínima de calibración.
- 4) Determinación del valor de temperatura que indica el termómetro a calibrar a la temperatura de referencia, manteniendo previamente el sensor en aire unos 3 min.

Se tomará la precaución de determinar la temperatura de referencia con los patrones siguiendo el proceso de lectura siguiente:

- 1) Lectura del primer patrón, corregida según su certificado  $t_{p1}$
- 2) Lectura del termómetro a calibrar  $t_{px}$
- 3) Lectura del segundo patrón, corregida según su certificado  $t_{p2}$

La temperatura de referencia se considera como la medida de las lecturas de los 2 patrones.

#### Prueba de Uniformidad

Se recomienda realizar esta prueba para termómetros digitales con sensor de termopar con resolución menor o igual que 0.01°C.

La prueba consiste en determinar la posible falta de uniformidad de los hilos del termopar a lo largo del sensor. Se trata de ir extrayendo paulatinamente el sensor del medio isoterma, para detectar cualquier variación de la temperatura que pueda ser debida a cambios en la composición de los hilos del termopar. Las profundidades a las que se realiza esta prueba deben ser mayores que la profundidad de inmersión determinada al comienzo del proceso de calibración, para evitar errores por conducción térmica.



La temperatura a la que se realiza la prueba será más alta del margen de calibración del termómetro. El proceso será como sigue: determinación de la temperatura que mide el termómetro a calibrar 10 veces sucesivas, extrayendo el termómetro poco a poco del medio isoterma (sin rebasar la profundidad de inmersión).

Se tomará la precaución de determinar la temperatura a la que se realiza la prueba con los patrones de forma similar al caso de la prueba de histéresis.

Si el valor obtenido de uniformidad del termómetro es del orden de la estabilidad y uniformidad del baño y/o horno en las condiciones y tiempo de la calibración, no se considerará el valor obtenido de uniformidad en el cálculo de incertidumbre; las variaciones de las medidas del termómetro se deben al baño, lo que se ha tenido en cuenta en el cálculo, pero se considerarán los valores mínimos indicados en el cálculo.

### Prueba de Repetibilidad

Se recomienda realizar esta prueba para todos los termómetros que no se hayan sometido a las pruebas de histéresis o uniformidad, en cuyo caso la repetibilidad ya esta contenida en dichas medidas. Consiste en determinar la repetibilidad del conjunto equipo de lectura y sensor con 10 medidas sucesivas a una temperatura de referencia (esta puede ser una temperatura a la que el termómetro en el baño y/o horno se estabilice rápidamente, p.e. el punto de hielo). El proceso será como sigue:

Determinación de la temperatura que mide el termómetro a calibrar a la temperatura de referencia 10 veces sucesivamente, extrayendo e introduciendo el termómetro en el medio isoterma con periodos de 3 min a 5 min del mismo esperando los periodos correspondientes de estabilización antes de cada medida.

Se tomara la precaución de determinar la temperatura de referencia con los patrones de forma similar al caso de las prueba de histéresis.

Si el valor obtenido de repetibilidad del termómetro es del orden de la estabilidad y uniformidad del baño en las condiciones y tiempo de calibración, no se considerará el valor obtenido de repetibilidad en el cálculo de incertidumbres: las variaciones de las medidas del termómetro se deben al baño y/o horno, lo que se haya tenido en cuenta en el cálculo.

## **ANEXO III**

### **Índice de Ilustraciones**

Efecto Seebek (Circuito cerrado)	Pág. 9
Efecto Seebek (1a circuito abierto, 1b circuito cerrado)	Pág. 10
Efecto Peltier (Circuito cerrado)	Pág. 11
Efecto Thompson	Pág. 12
PT 100 (Conexión 2 hilos)	Pág. 18
PT 100 (Conexión 3 hilos)	Pág. 18
PT 100 (Conexión 4 hilos, fuente alimentación externa)	Pág. 19
Instrumentos y equipos de medición (Termohigrometro)	Pág. 20
Instrumentos y equipos de medición (Termómetro patrón)	Pág. 21
Instrumentos y equipos de medición (Medio Isotermo frio)	Pág. 21
Instrumentos y equipos de medición (Medio Isotermo caliente)	Pág. 22
Instrumentos y equipos de medición (Trasmisor)	Pág. 22
Instrumentos y equipos de medición (PT 100)	Pág. 23
Instrumentos y equipos de medición (Multímetro digital)	Pág. 23
Esquema de calibración	Pág. 27
Ajuste Lineal PT100 Status	Pág. 44
Ajuste Lineal PT100 Digimec	Pág. 44
Correlación PT100 STATUS Teórico - Medido	Pág. 45
Correlación PT100 DIGIMEC Teórico – Medido	Pág. 46

### **Índice de Tablas**

Materiales conductores	Pág. 17
Tipos de sensor PT 100	Pág. 17
Sensor Status Punto de calibración 0°C	Pág. 30
Sensor Status Punto de calibración 125°C	Pág. 30
Sensores Status Punto de calibración 200°C	Pág. 30
Sensor Digimec Punto de calibración 15°C	Pág. 31
Sensor Digimec Punto de calibración 20°C	Pág. 31
Sensor Digimec Punto de calibración 25°C	Pág. 31
Resumen del cálculo de incertidumbres $u(tref)$	Pág. 39
Resumen del cálculo de incertidumbre $u(C)$	Pág. 39
Incertidumbre del sistema de calibración	Pág. 40
Incertidumbre de la Corrección PT100 Status 0°C	Pág. 41
Incertidumbre de la Corrección PT100 Status 125°C	Pág. 41
Incertidumbre de la Corrección PT100 Status 200°C	Pág. 41
PT100 Status Resultados de la Mediciones	Pág. 42
Incertidumbre de la Corrección PT100 Digenecc 15°C	Pág. 42
Incertidumbre de la Corrección PT100 Digenecc 20°C	Pág. 42
Incertidumbre de la Corrección PT100 Digenecc 25°C	Pág. 43
PT100 Digenecc Resultados de la Mediciones	Pág. 43