

	<p style="text-align: center;">PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE CONJUNTO INDICADOR - SENSOR</p>	Código: LM01-TE-P04
		Revisión: Versión inicial
		Página 1 de 9

CONTENIDO

	Pág.
1. OBJETIVO.....	2
2. ALCANCE.....	2
3. TÉRMINOS, DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	2
4. GENERALIDADES	2
4.1 Símbolos y abreviaturas	2
4.2 Método de Calibración.....	3
5. DESCRIPCIÓN.....	3
5.1 Instrumentos de referencia	3
5.2 Operaciones Previas	4
5.3 Proceso de Calibración.....	4
5.4 Toma y Tratamiento de Datos	5
6. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE	5
6.1 Incertidumbre de medida del sistema de calibración.....	6
6.2 Incertidumbre de medida de la corrección.....	6
6.3 Cálculo final de la incertidumbre de medida.....	7
7. REFERENCIAS	7
8. ANEXOS.....	7
9. DOCUMENTACIÓN RELACIONADA.....	7

<p>Elaborado por:</p> <p>Nombre: Luis Suárez Ciro Alberto Sánchez Cargo: Responsable laboratorio Profesional Fecha:</p>	<p>Revisado por:</p> <p>Nombre: Carlos Porras Porras María Teresa Pineda B. Cargo: Jefe Laboratorios de Metrología Delegada para la Protección del Consumidor y Metrología</p> <p>Fecha: Firma</p>	<p>Aprobado por:</p> <p>Nombre: Gustavo Valbuena Quiñones Cargo: Superintendente de Industria y Comercio Fecha: 2010-05-25</p> <p>Firma: Original firmado por ustavo Valbuena Quiñones</p>
---	--	--

Cualquier copia impresa, electrónica o de reproducción de este documento sin la marca de agua o el sello de control de documentos, se constituye en copia no controlada.

	PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE CONJUNTO INDICADOR - SENSOR	Código: LM01-TE-P04
		Revisión: Versión inicial
		Página 2 de 9

1. OBJETIVO

Este procedimiento tiene por finalidad establecer y definir las operaciones a seguir en las calibraciones de termómetros conjunto indicador más sensor, también denominados termómetros digitales, por el método de comparación en el Laboratorio de Calibración - Temperatura de la Superintendencia de Industria y Comercio.

2. ALCANCE

Este procedimiento se aplica a los termómetros conjunto indicador más sensor ó termómetros digitales con indicación en unidades de temperatura ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, K) y con sensores de resistencia, termopar, circuito integrado, etc., y que se calibran en medios isotermos de temperatura controlada, en un rango de temperaturas de -72°C a $1\ 200^{\circ}\text{C}$.

La calibración de los termómetros se realiza con referencia a termómetros patrones calibrados con referencia a la Escala Internacional de Temperatura de 1990, ITS-90 [1].

3. TÉRMINOS, DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

TERMÓMETRO: Conjunto indicador más sensor o termómetro digital. Instrumento de medición dedicado a mediciones de temperatura con una indicación digital en unidades de temperatura: $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, K. Constituido por un indicador y un sensor.

SENSOR DE RESISTENCIA DE PLATINO: Termómetro con un alambre de platino encapsulado en un tubo protector y conectores que cambia su resistencia eléctrica cuando cambia la temperatura ambiente.

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

TERMOPAR: Par de conductores de distinta composición unidos en uno de los extremos, con objeto de formar un sensor para la medida de temperatura por efecto termoeléctrico.

HISTÉRESIS: Propiedad de un instrumento de medida cuya respuesta a una señal de entrada determinada, depende de la secuencia de las señales de entrada precedentes.

RESOLUCIÓN: La menor diferencia de indicación de un dispositivo visualizador digital, diferencia de la indicación que corresponde al cambio de una unidad en la cifra menos significativa.

4. GENERALIDADES

4.1 Símbolos y abreviaturas

ITS90 Internacional Temperatura Scale 90 (Escala Internacional de Temperatura vigente a partir del

	PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE CONJUNTO INDICADOR - SENSOR	Código: LM01-TE-P04
		Revisión: Versión inicial
		Página 3 de 9

año 1990). En español EIT90.

C	Corrección del termómetro
°C	Símbolo de la unidad de temperatura de la escala Celsius, denominada grado Celsius.
K	Símbolo de la unidad de temperatura denominado Kelvin (se omite la palabra grado)
SPRT	Termómetro patrón de resistencia de platino utilizado para interpolar valores entre puntos fijos de la ITS-90 desde - 200 °C hasta 660 °C
PRT:	Termómetro de resistencia de platino
PRT Pt100	Termómetro de resistencia de platino que tiene una resistencia de 100 Ω a 0 °C

4.2 Método de Calibración

La calibración por el método de comparación se realiza en un medio isoterma en el que se localizan los termómetros.

La calibración por comparación de un termómetro de lectura directa consiste en calcular la corrección del termómetro, C , es decir, la diferencia entre la temperatura del medio de comparación que indican los patrones, t_p , y la indicada por el termómetro, t_x , con sus correcciones, en cada punto de calibración:

$$C = t_p - (t_x + \delta t_{x, \text{res}} + \delta t_{x, s}) \quad (1)$$

donde, se han tomado en cuenta las posibles correcciones por resolución y repetibilidad.

La temperatura indicada por los termómetros patrones, t_p , es la media de las lecturas de los dos termómetros patrones utilizados, t_{p1} y t_{p2} , ya corregidas según los resultados de sus certificados de calibración y con una serie de correcciones adicionales:

$$t_p = t_p(t_{p1}, t_{p2}) + \delta t_{Es} + \delta t_{UN} + \sum_i (\delta t_{p1})_i + \sum_i (\delta t_{p2})_i \quad (2)$$

Donde, se han tenido en cuenta las posibles correcciones debidas a la estabilidad y uniformidad del baño y las debidas a la incertidumbre de medida de calibración, deriva y resolución de los termómetros patrones.

5. DESCRIPCIÓN

5.1 Instrumentos de referencia

- Baño de agua y etanol marca FLUKE – Hart Scientific, modelo 7381

	PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE CONJUNTO INDICADOR - SENSOR	Código: LM01-TE-P04
		Revisión: Versión inicial
		Página 4 de 9

- Baño de aceite, marca ASL
- Baño de sales, marca Heto, modelo KB41
- Horno Techne
- Horno ASL B700
- Dos hornos Isotech Medusa
- Horno FLUKE 9112B
- Horno Heraeus
- Dos termorresistencias SPRT, marca Rosemount, modelo 162CE, series 3087 y 3076, rango de trabajo - 38 °C a 660 °C. Dos termorresistencias SPRT, marca Fluke, series 0474 y 0480, rango de trabajo - 200 °C a 0 °C
- Puente ASL F700
- Resistor de referencia 25 Ω
- Computador personal.
- Vasos Dewar de 5 L.
- Desionizador de agua
- Molino de hielo
- Dos termopares de metal noble, tipo S
- Dos termopares de metal noble, tipo B
- Nanovoltímetro Keithley 181

5.2 Operaciones Previas

Montaje de los termómetros: Ver LM01-TE-I03 Instructivo para el montaje de los termómetros en los medios de comparación.

5.3 Proceso de Calibración

Ajuste: Si el termómetro tiene posibilidad de ajuste, se realizarán las medidas previas necesarias para determinar si el termómetro necesita ajuste.

Para el ajuste se siguen las instrucciones del manual técnico del termómetro a calibrar. El ajuste sólo se hará si el cliente lo desea y tras anotar las correcciones del termómetro antes del ajuste, según lo indicado anteriormente.

Calibración: Se comienza la calibración en el punto de temperatura más baja. La calibración se realizará en puntos de temperaturas crecientes. 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.

Profundidad de inmersión: Cuando sea posible el termómetro debe calibrarse a la misma inmersión de uso normal. Sin embargo, los termómetros deben tener una inmersión suficiente para compensar las pérdidas o ganancias de calor a altas y bajas temperaturas, respectivamente.

	PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE CONJUNTO INDICADOR - SENSOR	Código: LM01-TE-P04
		Revisión: Versión inicial
		Página 5 de 9

Procedimiento de medida: Se usan dos termómetros patrones para tener una comprobación cruzada de uno a otro patrón y el sistema de calibración. Para reducir los efectos de deriva en el medio de comparación se sigue la secuencia de medición:

$$t_{P1}, t_{X1}, t_{X2} \dots t_{Xn}, t_{P2}, t_{P2}, t_{Xn} \dots t_{X2}, t_{X1}, t_{P1}$$

donde, t_{P1} y t_{P2} son las temperaturas de los dos termómetros patrones y $t_{X1}, t_{X2} \dots t_{Xn}$ son las temperaturas de los termómetros a ser calibrados.

Se repite la secuencia para obtener cuatro medidas de cada instrumento.

5.4 Toma y Tratamiento de Datos

Ajuste: Si se realiza un ajuste del equipo, se anotarán las medidas previas realizadas, que se incluirán en el certificado de calibración.

Calibración: Para cada punto de calibración se anotarán los siguientes datos:

- Aplicando las correcciones, por ejemplo las provenientes del certificado de calibración de los termómetros patrones, se calculan los valores medios y las desviaciones típicas). La temperatura del medio de comparación t_P se toma del valor medio de los resultados de t_{P1} y t_{P2} .
- Los valores en grados que indica el termómetro a calibrar, t_x , de los que se calculará la media, t_x y la desviación típica.

La corrección, C , según:

$$C = t_P - t_x \quad (3)$$

Los resultados de la calibración se indicarán en una tabla donde aparezca para cada punto de calibración: la temperatura del medio de comparación que es la media de la temperatura de los patrones (media de t_{P1} y t_{P2}), la temperatura del termómetro (t_x), corrección (C) e incertidumbre de medida con su factor de cobertura y nivel de confianza.

6. ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Cálculo de la incertidumbre de medida

Para el cálculo de las incertidumbres de medida, se siguen las recomendaciones dadas en JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections, [2].

El resultado de la calibración, ecuación (1), es la corrección, donde la t_P se ha expresado por separado en la ecuación (2).

	PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE CONJUNTO INDICADOR - SENSOR	Código: LM01-TE-P04
		Revisión: Versión inicial
		Página 6 de 9

A partir de estas expresiones, se distinguen por un lado las incertidumbres de medida del sistema de calibración (patrones y medios isotermos) y por otro las correspondientes al termómetro a calibrar.

6.1 Incertidumbre de medida del sistema de calibración

La determinación de la temperatura del medio de comparación, que se hace a través del valor medio de la lectura de dos termómetros patrones se expresa según la ecuación (2), donde se considera que las correcciones de temperatura son nulas (no se hacen correcciones a la lectura de los termómetros patrones por la estabilidad ni la uniformidad del medio de comparación, ni por la incertidumbre de medida de calibración, la deriva y la resolución de los termómetros patrones), mientras que no lo son sus incertidumbres de medida.

Para calcular la incertidumbre de medida se aplica la ley de propagación de incertidumbres en la ecuación (2):

$$u^2(t_p) = (\delta t_{Es})^2 + (\delta t_{UN})^2 + \sum_i (\delta t_{p1})^2_i + \sum_i (\delta t_{p2})^2_i \quad (4)$$

Cada término de incertidumbre se explica a continuación:

δt_{Es} : incertidumbre debida a la estabilidad del medio de comparación, se toma la mayor desviación típica de las lecturas de los dos termómetros patrones

δt_{UN} : incertidumbre debida a la uniformidad u homogeneidad del medio de comparación, se toma de los estudio de uniformidad del medio de comparación realizados por el laboratorio

δt_{p1} y δt_{p2} : Las incertidumbres de medida de la calibración de los termómetros patrones que se obtienen a partir de los datos de sus certificados de calibración. Mientras que la contribución de la indicación o lectura de los termómetros patrones a la incertidumbre de medida es cero.

$\delta t_{d,p1}$ y $\delta t_{d,p2}$: Deriva de los patrones

$\delta t_{p1,res}$ y $\delta t_{p2,res}$: resolución de los termómetros patrones

En el Anexo 1 se tiene un ejemplo de cálculo de la incertidumbre de medida.

6.2 Incertidumbre de medida de la corrección

La corrección del termómetro a calibrar, durante la calibración, C , se ha expresado en (1) teniendo en cuenta las magnitudes que intervienen en la medida.

Para calcular la incertidumbre de medida se aplica la ley de propagación de incertidumbres en la ecuación (1), donde se considera que las correcciones de temperatura son nulas (no se hacen correcciones a la lectura del termómetro por resolución y repetibilidad), mientras que no lo son sus incertidumbres de medida

	PROCEDIMIENTO CALIBRACIÓN DE CONJUNTO INDICADOR - SENSOR	Código: LM01-TE-P04
		Revisión: Versión inicial
		Página 7 de 9

La contribución de la indicación o lectura del termómetro a la incertidumbre de medida es cero:

$$u_2(C) = u_2(tP) + (\delta t_{x_res})^2 + (\delta t_{x_s})^2 \quad (5)$$

Cada término de la incertidumbre de medida se explica a continuación:

$u_2(tP)$: la incertidumbre de medida calculada en el apartado 6.1

δt_{x_res} : la incertidumbre de medida por resolución del termómetro

δt_{x_s} : la incertidumbre de medida por repetibilidad de las lecturas del termómetro, se calcula con la desviación típica de las lecturas.

En el Anexo 1 se realiza un ejemplo del cálculo de la incertidumbre de medida.

6.3 Cálculo final de la incertidumbre de medida

La incertidumbre combinada de medida obtenida en la ecuación (5) se multiplica por un factor de cubrimiento correspondiente al número efectivo de grados de libertad para un nivel de confianza del 95,45 %, calculado según [2].

7. REFERENCIAS

- [1] Preston-Thomas H., The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90), *Metrologia*, 1990, **27**(1), 3-10 (amended version).
- [2] JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. First edition. 2008

8. ANEXOS

Anexo 1 Ejemplo de cálculo de incertidumbres de medida

9. DOCUMENTACIÓN RELACIONADA

LM01-TE-I03 Montaje de los termómetros en los medios de comparación.

Fin del documento

Anexo 1
Incertidumbre de medida del sistema de calibración

El sistema de calibración utilizado consta de:

- 1) Como termómetros patrones se tienen dos termómetros con sendos sensores SPRT que dan directamente lecturas en °C, con una resolución de 0,001 °C. La media de las lecturas de los termómetros patrones es de 179,999 °C, para n = 4.
- 2) Las incertidumbres de medida de calibración de los termómetros patrones, U , son de $5,0 \times 10^{-3}$ °C para $k = 2,00$. Las correcciones de los termómetros patrones en el certificado de calibración se aplican a las lecturas de los mismos y no se incluyen en la incertidumbre de medida.
- 3) La deriva se obtiene de los históricos de las calibraciones de los termómetros patrones es de $\pm 0,004$ °C; se toma como una distribución rectangular
- 4) El baño de aceite a 180 °C tiene una uniformidad de $\pm 0,012$ °C; se toma como una distribución rectangular
- 5) La estabilidad del baño es de 0,0029 °C, para n = 4.

Con estos datos se elabora una tabla de contribuciones a la incertidumbre de medida:

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	u	factor	u típica	g.L	c_i	contribución a u	%
Temperatura del baño	t_p	179,999 °C	A	N	0 °C	2,00	0,000 °C	50	1	0E+00	0%
Estabilidad del baño	δE_{st}	0 °C	A	N	0,0029 °C	2,00	0,001 °C	3	1	1E-03	11%
Uniformidad del baño	δE_{un}	0 °C	B	R	0,012 °C	1,73	0,007 °C	50	1	7E-03	51%
Calibración del termómetro patrón	δt_p	0 °C	B	N	0,005 °C	2,00	0,003 °C	50	1	3E-03	19%
Resolución del termómetro patrón	$\delta t_{p, res}$	0 °C	B	R	0,001 °C	3,46	0,000 °C	50	1	3E-04	2,1%
Deriva del termómetro patrón	$\delta t_{p, d}$	0 °C	B	R	0,004 °C	1,73	0,002 °C	50	1	2E-03	17%
	t_p	179,999 °C		N	1,6E-02 °C	2,00	0,008 °C	2,6E+03			100%

Incertidumbre de medida de la corrección

El termómetro que se va a calibrar es:

- 1) Un termómetro digital con una resolución de 0,01 °C, con sensor PRT Pt100
- 2) La repetibilidad corresponde a 0,0129 °C, para n = 4.

Con estos datos se elabora una tabla de contribuciones a la incertidumbre de medida y utilizando el valor para $u(t_p)$ obtenido en el cálculo anterior

Fuente de incertidumbre	Símbolo	Valor estimado	Tipo	Distribución	u	factor	u típica	g.l.	c _i	contribución a u	%				
Temperatura del termómetro	t_x	179,98	°C	A	N	0	°C	2,00	0,000	°C	50	1,0	-	0,000	0,0%
Resolución del termómetro	$\delta t_{x, res}$	0	°C	B	R	0,01	°C	3,46	0,003	°C	50	1,0	-	0,003	16,8%
Repetibilidad del termómetro	$\delta t_{x, s}$	0	°C	A	N	0,0129	°C	2,00	0,006	°C	3	1,0	-	6,5E-03	37,5%
Temperatura del baño	t_b	179,999	°C	A	N	0,0157	°C	2,00	0,008	°C	2,6E+03	1,0	-	0,008	45,7%
C	$t_p - t_x$	0,02	°C		N	2,2E-02	°C	2,13	0,011	°C	2,2E+01				100%

Incertidumbres expandidas de medida

La incertidumbre expandida de medida de la temperatura del baño es:

$$U = k \times u(tP) = 2,00 \times 0,08 \text{ °C} = 1,6 \times 10^{-2} \text{ °C}$$

La incertidumbre expandida de medida asociada con el valor de la corrección del termómetro bajo calibración a 179,999 °C es:

$$U = k \times u(tX) = 2,13 \times 0,011 \text{ °C} = 2,2 \times 10^{-2} \text{ °C}$$

Resultado

El termómetro a una temperatura de 180,00 °C, tiene una corrección de $+ 0,02 \text{ °C} \pm 2,2 \times 10^{-2} \text{ °C}$.

La incertidumbre expandida de medida es la incertidumbre típica de medida multiplicada por el factor de cubrimiento $k = 2,13$, el cual para una distribución normal corresponde a un Nivel de Confianza de 95,45 %.