



Servicios de calibración de instrumentos de medición de temperatura de contacto.

Quizás habrás planteado en algún momento las preguntas:

¿Qué método de calibración corresponde al instrumento de medición? en alguna situación ¿Cómo saber si es correcto el servicio de calibración asignado? O tal vez ¿el certificado del servicio de calibración cumple con la información suficiente?

Si no te has hecho alguna de estas preguntas será que conoces con certeza o tienes la seguridad que el proveedor del servicio propuso la mejor opción de calibración para el instrumento

(conociendo las características técnicas y u o la aplicación). Pero si no es así, sigue leyendo... este material puede ser de ayuda.

Existen varias interrogantes respecto al servicio de calibración. Esta edición de La Guía MetAs pretende apoyar a disminuir las dudas que surgen al momento de seleccionar, validar o confirmar el servicio de calibración de los instrumentos de medición de la magnitud temperatura de contacto.



Lo anterior no es exclusivo, en el mundo de las mediciones se pueden suscitar errores desde la selección del instrumento de medida, método de medición o calibración (errores, humanos, sistemáticos), apreciación en la indicación del instrumento (errores aleatorios), etc.

Si un hombre inicia con certeza, acabará con dudas. Pero si se conforma con empezar con dudas, acabará con certeza.
Francis Bacon. Padre del empirismo científico.

Apasionados por la Metrología

La Guía MetAs es el boletín electrónico de difusión periódica de MetAs y Metrólogos Asociados. En La Guía MetAs se presentan noticias de metrología, artículos e información técnica; que deseamos compartir con usted, colegas, usuarios, clientes estudiantes y todos aquellos interesados en la metrología técnica e industrial.

MetAs-Matriz:
Antonio Caso # 246, Centro, 49000
Cd. Guzmán, Jalisco, México.
341 413 6123,

MetAs-Óptica:
Av. Luis Vega y Monroy # 322-6 Planta Baja.
Plazas del Sol 1a Sección, 76099
Querétaro, Querétaro, México.
442 223 4527

MetAs-Guadalajara:
Batalla de Zacatecas # 2931,
Fraccionamiento Revolución, 45589
Tlaquepaque, Jalisco, México.
333 860 7141

Servicios Metrológicos

Laboratorios acreditados

EMA	ME-15 Mediciones Especiales
A-05 Acústica	OP-05 Óptica
DEN-09 Densidad	P-44 Presión
D-159 y D-159-S1 Dimensional	T-38 Temperatura
E-67 Eléctrica	TF-22 Tiempo y Frecuencia
EM-03 Equipo Médico	V-33 Volumen
H-05 Humedad	MM-1328-127/21 Metal Mecánica
M-129 Masa	

Consultoría:
Capacitación, entrenamiento, asesoría, auditorías, ensayos de aptitud, sistemas de calidad.

Gestión Metrológica:
Subcontratación de servicios, selección de proveedores, confirmación metrológica.

Ingeniería:
Selección de equipos, desarrollo de sistemas de medición y software, reparación y mantenimiento.

Descripciones básicas que se deben considerar:

Temperatura:

Antes de analizar cómo calibrar los termómetros, debemos considerar qué es la temperatura.

La temperatura está relacionada con el calor (energía asociada con el movimiento de los átomos o moléculas de los que todo está hecho), pero es diferente de él. Como todos sabemos, la aplicación de calor hace que la temperatura aumente, excepto cuando el calor derrite un sólido o hierve un líquido: durante un cambio de fase la temperatura permanece aproximadamente constante. Podemos entender fácilmente que el calor y la temperatura son de alguna manera diferentes, porque la energía térmica en un objeto grande es mayor que en un pequeño objeto del mismo material, incluso cuando están a la misma temperatura.

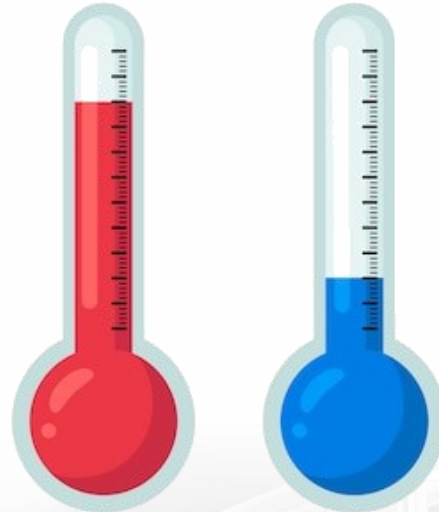
En términos simples, a menudo se dice que la temperatura es el "grado de calor", aunque no está claro que significa esto. En otras palabras, la temperatura es un índice de la energía interna relativa de la masa. Más científicamente, la temperatura es el potencial para la transferencia de calor, por conducción, convección o radiación.

Termómetro:

Un termómetro es un dispositivo en el que se mide una propiedad que cambia con la temperatura y se utiliza para indicar el valor de la temperatura.

En muchos casos, el sensor del termómetro y la instrumentación (indicador, codificador, procesador, cableado) se integran en un sólo paquete y se calibran como un sistema integrado. Cuando están separados, pueden calibrarse por separado o juntos. No es suficiente calibrar el sensor y confiar en que la instrumentación es exacta, o viceversa.

El termómetro tiene que ser calibrado de una manera que se pueda relacionar con tal realización formal del ITS-90. Esto puede ser ya sea mediante una calibración de comparación o mediante el uso de puntos fijos.



Tipos de termómetros:

Hay muchos tipos de termómetros (sensores), mencionándolos por su nombre común:

- Termómetro de líquido en vidrio (TLV).
- Cintas.
- Fundentes.
- Lápices térmicos.
- Termómetros de resistencia (SPRT, PRT, RTD).
- Termistores.
- Termopares (TC) Metal: Puro, Noble, Base, Refractario.
- Termómetros digitales.
- Bimetálicos (Indicación analógica).
- Termómetro Transmisor. (Salida analógica o codificada).
- Termómetro de Radiancia.



Clasificación:

Termómetros de contacto

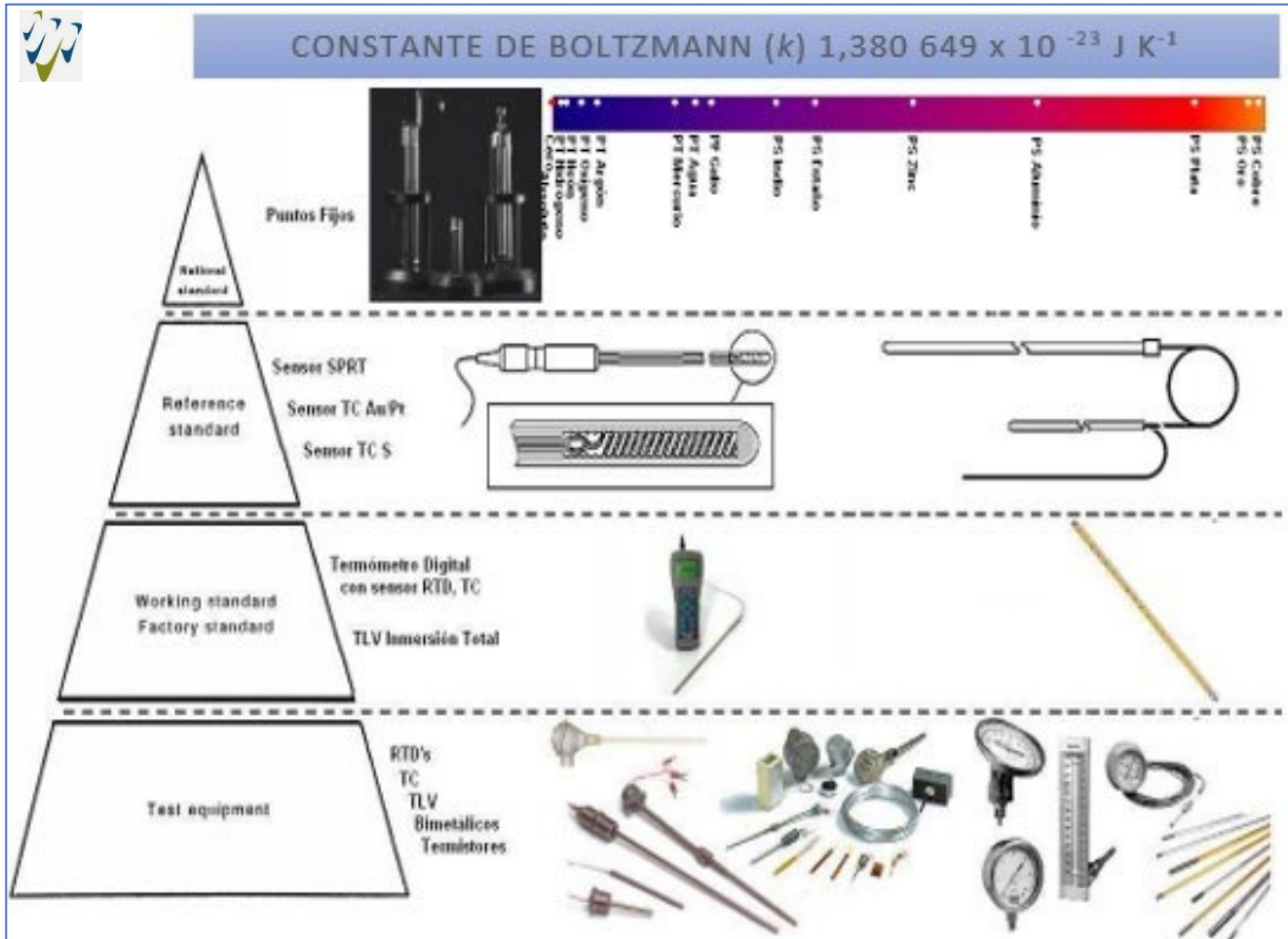
Expansión (Termómetros de líquido en vidrio). En un termómetro de mercurio (alcohol, líquido natural), el líquido se expande a medida que aumenta la temperatura, cambiando así la longitud de la columna del fluido termométrico en el capilar del vástago de vidrio. La temperatura se indica directamente, mediante la lectura de una escala marcada en el cristal.

Eléctricos (RTD, TERMISTOR, TERMOPAR). En un termómetro eléctrico se mide una resistencia eléctrica o un voltaje que depende de la temperatura, y un algoritmo (coeficientes) de conversión permite visualizar la temperatura.

Termómetros de No contacto

Termómetros de radiación (no se consideran en esta guía). Un termómetro de radiación detecta el calor irradiado y, nuevamente, se procesa una señal eléctrica del detector para mostrar la temperatura.

Clasificación



La trazabilidad de las mediciones de un instrumento es una cadena ininterrumpida de calibraciones que vinculan su medición con el patrón primario.

Cada comparación en la cadena debe ir acompañada de una declaración de incertidumbre.

Método de medición y calibración:

La norma internacional ISO/IEC 17025 identifica los métodos en términos de su origen como: Métodos normalizados, métodos internos (desarrollados por el laboratorio) y métodos no normalizados.

Descripción del método de interés en esta guía:

Métodos normalizados. Son los que encontramos documentados en normas internacionales, regionales o nacionales; organizaciones técnicas reconocidas; revistas, textos o guías científicas.

Además, los métodos pueden clasificarse en términos de los fenómenos que se realizan en el proceso de medición, prueba o calibración como: Método de medición directa, método de medición indirecta, método por sustitución (transferencia), método diferencial, método nulo (o cero), método por relación.

Descripción del método de medición de interés en esta guía:

Método de medición directa. Se obtiene un valor en unidades del mensurando, mediante un instrumento, cadena o sistema de medición, digital o analógico, en forma de: Indicador, registrador, totalizador o integrador. El sensor del instrumento se coloca directamente en contacto con el fenómeno que se mide.

Podemos decir que los métodos de calibración se derivan de los métodos de medición, los principales métodos de calibración son: Comparación directa, transferencia, sustitución, equilibrio, escalamiento (subdivisión) y relación.

Estos métodos de calibración suelen combinarse con el método en que el patrón realiza la magnitud o el mensurando como: Primario (gabarimétrico, hidrostático, coulombimétrico), secundario, simulación, reproducción y puntos fijos.

Descripción del método de calibración de interés en esta guía:

Método de calibración por COMPARACIÓN DIRECTA.

En este método se comparan directa e instantáneamente los valores proporcionados por el equipo bajo calibración, contra los valores proporcionados por un patrón.

Método de calibración por PUNTOS FIJOS. Un punto fijo de temperatura es una temperatura precisa a la cual una sustancia pura sufre un cambio de fase.

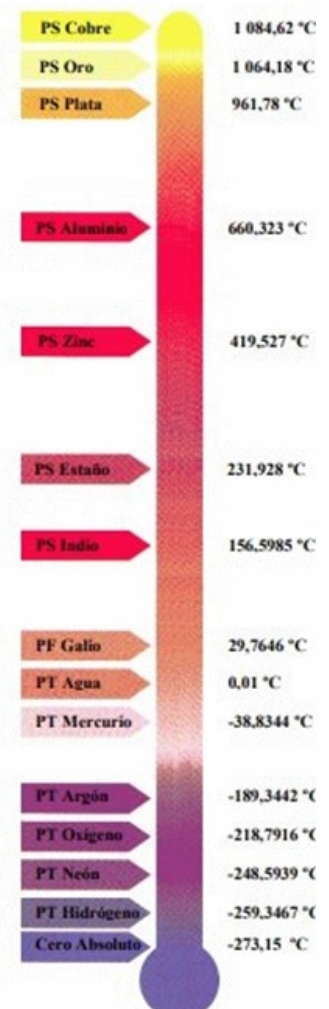
En este caso el patrón utilizado en la calibración realiza una constante fundamental o derivada mediante la reproducción de fenómenos físicos o químicos.

Los puntos fijos son:

Puntos de fusión o congelación de metales como el estaño y el zinc, en los que las fases sólida y líquida están en equilibrio a una presión de una atmósfera estándar, con el calor entrando o saliendo lentamente de la muestra.

Puntos de ebullición (presión de vapor) de hidrógeno y helio a bajas temperaturas, donde el líquido y el vapor están en equilibrio.

Puntos triples de agua, mercurio y argón, donde las fases: sólida, líquida y de vapor están todas en equilibrio.



Hasta aquí considerando las descripciones anteriores concluimos lo siguiente:

Existe más de una opción en instrumentación para medir temperatura (potencial para la transferencia de calor, por conducción, convección o radiación) con diferentes principios de medición, características físicas y técnicas (exactitud).

En una imagen, como debe ser la trazabilidad de calibración (hay jerarquías), si buscamos una mejor incertidumbre (la opción viable), será calibrar por puntos fijos (aplica para termómetros de resistencia (SPRT), termopar (TC) tipo puro y noble con punta de referencia).

También, de acuerdo con el requisito de la norma ISO/IEC 17025 identifica por su origen el método normado y además clasificando en términos de los fenómenos que se realizan en el proceso de medición y en algunos casos combinando el método en que el patrón realiza la magnitud obtenemos que el método de calibración es por comparación directa o puntos fijos.

Así, todos los termómetros considerados deben hacer contacto con el proceso que se está midiendo, y deben calibrarse en puntos fijos de temperatura o por comparación con termómetros patrón.

Todo lo anterior es algo general al tema de interés.

Para seleccionar adecuadamente el servicio de calibración, la información general es inicial y complemento de lo que debemos de conocer del tema.

La calibración que se debe realizar viene determinada por el uso que recibirá el equipo bajo prueba y por la exactitud que se requiera.

En la imagen (tabla) siguiente se muestran los tipos de servicio adecuados para el tipo de termómetro.

Métodos Normalizados, Calibración Por Comparación Directa o Puntos Fijos							
Instrumento de Medida	Tipo de Servicio						
	Directa		Normado		Caracterización		
	Lectura Directa	Salida Analógica	Resistencia (Ω)	FEM (mV)	ITS-90	CVD	Técnica de Aproximación
Termómetro: Sensor de Resistencia de Platino (SPRT; PRT; RTD) (Pt-25; Pt-100 a Pt-1000) Alfa: (3,85; 3,926; 3,91)e-03			SÍ		SÍ	SÍ	
Termómetro: Sensor Termopar -Metal Base: E, J, K, L, N, T -Metal Noble: B, R, S				SÍ			SÍ
Termómetro: Sensor + Indicador multifuncional: -PRT, RTD Termopar (TC) -Termistor	SÍ				SÍ	SÍ	SÍ
Termómetro de Líquido en Vidrio (Mercurio, Alcohol): -Inmersión Parcial -Inmersión Total	SÍ						
Termómetro de Lectura Directa -Bimetálico -Digital -Analógicos	SÍ						
Termómetro Clínico: -Analógico de Mercurio (Máximos). -Digital	SÍ						
Termómetro Transmisor: -RTD -Termopar (TC) Termistor		SÍ					



Servicios de calibración por el método de comparación directa.

Directa Lectura Indirecta

Se requiere de un termómetro integrado, es decir, sensor más indicador, digital o de indicación analógica de lectura directa o registrador (data logger), con sensor: RTD-Pt-Cu-Ni, termopar (TC, base), termistor, bimetálico, termómetro de líquido en vidrio (TLV).

Como su nombre lo dice las indicaciones se visualizan directamente en la unidad de ingeniería ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, K). En muchos de los casos la exactitud no es la mejor ($>\pm 0,1^{\circ}\text{C}$) ya que depende de las características del equipo (resolución, repetibilidad, sensibilidad). Recomendación, mínimo 3 puntos de calibración distribuido en el intervalo nominal, indicación (medición o trabajo).



O de acuerdo con norma de referencia (ASTM para TLV).

El certificado de calibración debería incluir: Tabla y diagrama (gráfica) de resultados de calibración, de errores de ajuste (sistemático o sesgo) e incertidumbres instrumentales, reportados en $^{\circ}\text{C}$ (grados Celsius).

Notas:

- Termómetros tipo termopar se evalúa la deriva por estabilidad e inhomogeneidad. A la incertidumbre se considera la fuente adicional por la inhomogeneidad del alambre (hilos).

- Termómetro clínicos para cumplimiento de la NOM11 se realiza evaluación de la conformidad.

Directa Salida Analógica (mA,V)

En muchos casos en las actividades de la industria las indicaciones de los sensores deben transmitirse desde la línea de producción al cuarto de control. Para este servicio se requiere de un termómetro integrado; sensor con transmisor (convertidor) a salida analógica (4 a 20 mA; 0 a 10 V; 0 a 1 V) codificada (Hart, Profibus...) con sensor: RTD-Pt- Cu-Ni, termopar (TC), termistor. Adicional, se deberá de calibrar el multímetro en intensidad de corriente o tensión eléctrica para obtener mediciones más exactas. El certificado de calibración debería incluir: Tabla y diagrama (gráfica) de resultados de calibración



de errores de ajuste (sistemático o sesgo) e incertidumbres instrumentales, reportados en mA o V convertidos a $^{\circ}\text{C}$ (grados Celsius).

Servicios de calibración por el método de comparación directa.

Normado Resistencia (ohm)

Aplica para sensores de resistencia de platino industriales (RTD Pt-100, Pt-200; alfa 0,00385; 2, 3, 4 hilos), se requiere sólo el sensor, sin indicador (donde no se pueden modificar coeficientes), transmisor o convertidor.

En este servicio la exactitud puede ser mejor a la de indicación directa debido a que sólo se está evaluando el sensor.

Recomendación, mínimo 3 puntos de calibración distribuido en el intervalo nominal, Indicación (medición o trabajo).

El certificado de calibración debería incluir: Tabla y diagrama (gráfica) de resultados de calibración, de errores de ajuste (sistemático o sesgo) e incertidumbres instrumentales, reportados en °C (grados Celsius) convertidos de acuerdo con las constantes (A, B, C) ideales al alfa del RTD.

Nota: Este método se puede aplicar a termómetros de resistencia de platino de alta calidad (alfa 0,00391; 0,00392), sin embargo, no es lo más recomendado para este tipo de sensores.



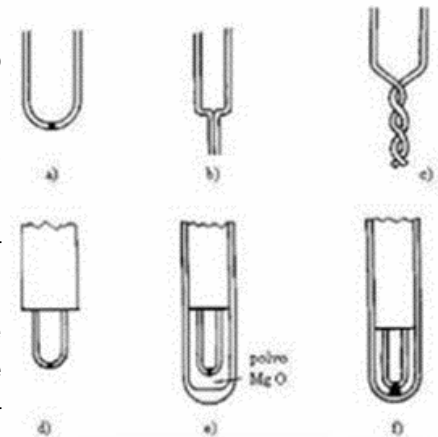
Normado Fuerza Electromotriz (fem) en mV.

Aplica para sensores tipo termopar (TC metal base: K, N, T, J, E; metal Nobles: B, R, S), se requiere sólo el sensor, sin indicador, transmisor o convertidor.

En este servicio la exactitud puede ser mejor a la de indicación directa debido a que sólo se está evaluando el sensor.

Recomendación, mínimo 3 puntos de calibración distribuido en el intervalo nominal, Indicación (medición o trabajo).

El certificado de calibración debería incluir: tabla y diagrama (gráfica) de resultados de calibración, de errores de ajuste (sistemático o sesgo) e incertidumbres instrumentales, reportados en °C (grados Celsius) convertidos de acuerdo con el polinomio ideal para el TC.



Servicios de calibración por el método de comparación directa.

Caracterización

En este servicio de SPRT, PRT, RTD, Termistor, se determina una nueva relación de resistencia versus temperatura, se calculan nuevos coeficientes (a, b, c, d, a4, b4, etc.) mediante el uso de la ecuación de la ITS-90 de acuerdo con la función de desviación, o coeficientes (A, B, C) utilizando la ecuación de Callendar + Van Dusen (CVD). Además, se puede realizar la caracterización de termopar TC tipo patrón se determina la nueva relación de FEM versus temperatura, utilizando el método de mínimos cuadrados se obtienen los nuevos coeficientes para utilizarse con las ecuaciones correspondientes.

ITS-90

Aplica para sensores de resistencia de platino (SPRT Pt-25; PRT Pt100; alfa 0,00392 °C-1; 0,00391 °C-1; 4 hilos). Con o sin Indicador de resistencia (Ω). Mejor aún, de manera ideal se debe considerar el óhmetro a utilizar (instrumento integrado: sensor + Indicador multifuncional).

La calibración se realiza por comparación directa y puntos fijos secundarios en

el intervalo de calibración de acuerdo con ITS-90: W11 (0 a 30 °C); W10 (0 a 157 °C); W9 (0 a 232 °C); W8 (0 a 420 °C); W7 (0 a 660 °C); W4' (-189,34 a 0 °C); W5 (-39 a +30 °C).

El certificado de calibración debería incluir: Tabla y diagrama (gráfica) de calibración, de errores de ajuste (sistemático o sesgo) e incertidumbres instrumentales, reportados en W (ohm/ohm) y °C (grados Celsius) + curva de desviación con coeficientes de la ITS-90 (a, b, c).

Intervalo de medición	Función de desviación	Puntos fijos
83.805 8 K a 0.01 °C	$a(W - 1) + b(W - 1)\ln(W)$	Ar, Hg
-38.834 4 °C a 29.764 6 °C	$a(W - 1) + b(W - 1)^2$	Hg, Ga
0.01 °C a 29.764 6 °C	$a(W - 1)$	Ga
0.01 °C a 156.598 5 °C	$a(W - 1)$	In
0.01 °C a 231.928 °C	$a(W - 1) + b(W - 1)^2$	In, Sn
0.01 °C a 419.527 °C	$a(W - 1) + b(W - 1)^2$	Sn, Zn
0.01 °C a 660.323 °C	$a(W - 1) + b(W - 1)^2 + c(W - 1)^3$	Sn, Zn, Al

CVD

Aplica para sensores de resistencia de platino industrial (RTD Pt-100; PRT Pt200; alfa 0,00385 °C-1; 4 hilos) Sensor de resistencia tipo termistor, con o sin indicador de resistencia (Ω).

La calibración se realiza por comparación directa y puntos fijos secundarios en el intervalo de calibración de acuerdo con Callendar-Van Dusen, en función del intervalo de medición (trabajo) del instrumento (temperatura máxima 850 °C). El certificado de calibración debería incluir: Tabla y diagrama (gráfica) de calibración, de errores de ajuste (sistemático o sesgo) e incertidumbres instrumentales, reportados en resistencia y °C (grados Celsius) + curva de ajuste con coeficientes de CVD (A, B, C).

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2]$$

$$R_t = R_0 \cdot [1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot t^3 \cdot (t - 100)]$$

Servicios de calibración por el método de comparación directa.

Caracterización

Técnica de aproximación

Aplica para sensor termopar (TC) metal noble: S, R, B; sensor TC metal base: E, J, K, L, N, T. con o sin indicador de FEM (mV).

Se recomienda mínimo 5 puntos de calibración.

El certificado de calibración debería incluir: Tabla y diagrama (gráfica) de calibración, de errores de ajuste (sistemático o sesgo) e incertidumbres instrumentales, reportados en mV (FEM) y °C (grados Celsius) + curva de ajuste con coeficientes del polinomio la ITS-90.

Todos los tipos de servicio se considera el punto de calibración de 0 °C recomendado por la mayoría de las normas como un punto fijo secundario de verificación.



REFERENCIAS:

NPL Good Practice Guide No. 125 (2016). Introduction to Temperatura Measurement.

ITS-90 First edition (1997). Thechniques For Aproximating the International Temperature Scale of 1990.

La Guía MetAs de julio del 2006. Criterios Básicos Para la Selección de Sensores de Temperatura.

NBS Publication Special 250-22 (1987). Platinum Resistance Thermometer Calibrations.

JCGM 200:2008. Vocabulario Internacional de Metrología-Conceptos y fundamentos y generales y términos asociados (VIM). 1a. edición en español.

La Guía MetAs de Julio 2005. Métodos de: Medición, Prueba y Calibración.

MetAs (2021). Calibración Industrial de Termómetros de Contacto-Inmersión. Memorias de curso. MetAs y Metrólogos Asociados. México.