

COMO CALIBRAR EN TEMPERATURA

INTRODUCCIÓN.

En este documento nos hemos propuesto a desarrollar los principales puntos a tomar en cuenta para realizar una calibración en temperatura de tipo industrial, incluyendo los equipos necesarios para llevarla a cabo.

El método de calibración que trataremos es el de comparación, que es el método más usado en la industria. De manera general podemos decir que este método consiste en comparar –como su nombre lo dice– las lecturas del termómetro bajo prueba contra las lecturas de un termómetro patrón cuando ambos están inmersos en un mismo medio a la misma temperatura.

CALIBRACIÓN.

De acuerdo con la normatividad vigente NMX-Z-055-1997-IMCN, Calibración se define como un conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de las magnitudes indicadas por un instrumento de medición o un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o un material de referencia, y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones.

Lo primero que nos debemos preguntar es porqué realizar una calibración. Se podrán dar muchas respuestas, desde el requisito para cumplir con ciertas normas hasta el hecho de evaluar la incertidumbre del equipo que usamos. Pero en un sentido práctico, la calibración en la industria se realiza para tener confianza en el equipo que estamos usando, con lo cual sabremos que no afectará la calidad de nuestro producto o servicio.

EQUIPO.

El equipo necesario que se ocupa normalmente para realizar una calibración es el siguiente:

- Termómetro de referencia.
- Indicador para el termómetro de referencia.
- Indicador para el termómetro bajo prueba.
- Fuente de temperatura.

Termómetro de referencia.

El termómetro de referencia será el que nos indique el valor “real” de temperatura que tiene la fuente de calor. Éste puede ser de varios tipos y la decisión de cual es el adecuado dependerá en buena medida del intervalo de temperatura y de su incertidumbre. Enseguida enumeramos los distintos tipos de termómetros de referencia y sus principales características.

Termómetro de resistencia de platino patrón.



Este termómetro es el más usado como termómetro de referencia, en inglés se le conoce como SPRT (Standard Platinum Resistance Thermometer) y sus principales características son las siguientes:

- Intervalo de uso de -200°C hasta 1000°C .
- Versiones de 0,25; 2,5; 25,5 y 100Ω .
- Muy estable y exacto.
- Incertidumbres desde $0,001^{\circ}\text{C}$ hasta $0,01^{\circ}\text{C}$.
- Caro y frágil.

Termómetro de resistencia de platino.



También conocido como PRT (Platinum Resistance Thermometer) o en ocasiones como RTD (Resistance Temperature Detector), cabe aclarar que este último término es genérico, ya que el SPRT y el termistor también son RTD's.

El PRT es muy similar al SPRT, sus características son:

- Intervalo de uso de -200°C a 660°C .
- Normalmente de $100\ \Omega$.
- Estable y exacto.
- Incertidumbres desde $0,01^{\circ}\text{C}$ hasta $0,025^{\circ}\text{C}$.
- No tan caro y un poco menos frágil que el SPRT.

Termistor.



El termistor es muy usado como termómetro de referencia a temperaturas cercanas a la ambiente, esto debido a que su intervalo de temperatura no es muy amplio. El termistor tiene las siguientes características:

- Intervalo de -20°C a 150°C .
- Versión de $10\ \text{k}\Omega$
- Muy estable y exacto.
- Incertidumbres desde $0,002^{\circ}\text{C}$ hasta $0,01^{\circ}\text{C}$.
- No es ni tan caro ni tan frágil como el SPRT.

Termopar.



De los termómetros de referencia es el menos exacto, sin embargo su intervalo de temperatura es bastante amplio, por esta razón es prácticamente la única opción para altas temperaturas. El termopar se caracteriza por lo siguiente:

- Intervalo de 0°C a 1450°C .
- Hecho de metales nobles.
- Menos estable y exacto.
- Incertidumbres típicas de $0,05^{\circ}\text{C}$ a $0,5^{\circ}\text{C}$.
- Normalmente no es tan caro ni tan frágil como el SPRT.



INGENIERÍA Y METROLOGÍA
EXACTITUD PARA LA CALIDAD

Salvatierra 32-1 bis, Col. San Bartolo Atepehuacan, 07730 México, D.F.
Tel: 5754-3087. Fax: 5586-8393. e-mail: ventas@inymet.com.mx
www.inymet.com.mx

Indicadores.



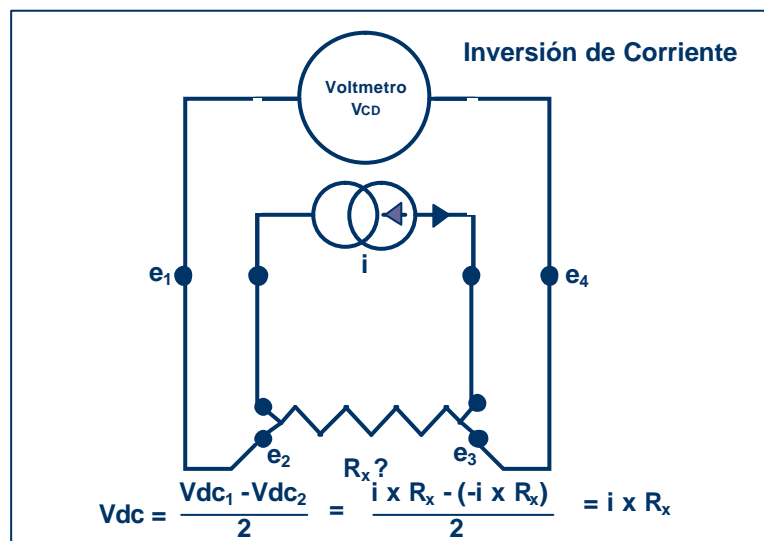
Los indicadores, en ocasiones llamados monitores, puentes termométricos o incluso mal llamados termómetros digitales, son aquellos que sirven para medir la resistencia o la tensión eléctrica del termómetro de referencia. Recomendamos que como indicador no se piense en un multímetro digital, que aunque los hay muy exactos, no tienen las características para medir de manera eficiente un RTD o termopar. Como indicador se debe usar uno pensado para propósitos de calibración en temperatura, a continuación hablaremos de los distintos tipos de indicadores.

Indicadores para RTD's.



En primer lugar vamos a hablar de los indicadores para medir SPRTs, PRTs y termistores. Los indicadores se encargan de medir la resistencia del sensor y desplegar su lectura normalmente en unidades de °C, °F o K (Kelvin).

El método usado para medir la resistencia del RTD es el método de 4 hilos, con este método se evita que la resistencia de los cables sea tomada en cuenta en la medición. Además en un buen indicador debe de existir inversión de corriente, esto es para eliminar las fem's térmicas (milivolts) que se generan en las uniones. En el siguiente esquema se muestra este método.



INGENIERÍA Y METROLOGÍA
EXACTITUD PARA LA CALIDAD

Salvatierra 32-1 bis, Col. San Bartolo Atepehuacan, 07730 México, D.F.
Tel: 5754-3087. Fax: 5586-8393. e-mail: ventas@inymet.com.mx
www.inymet.com.mx

La selección del indicador dependerá en primer lugar del termómetro de referencia a usar y se debe cuidar que cumpla con el intervalo de resistencia a medir como sigue:

- 25 Ω SPRTs de ≈ 4.5 to 84.5Ω (-200 °C to 660 °C)
- 100 Ω PRTs de ≈ 18 to 340Ω (-200 °C to 660 °C)
- 10k Ω thermistors de ≈ 30 k to 750Ω (0 °C to 100 °C)

Es importante que el indicador no aplique demasiada corriente al RTD, ya que esto podría provocar autocalentamiento, lo cual a su vez provocaría errores en la calibración. Se recomienda que la corriente usada para los SPRTs y PRTs sea de 1 mA, mientras que para los termistores se recomienda que sea de $10\mu\text{A}$. Lo siguiente que hay que tomar en cuenta es la exactitud del equipo, se debe conocer de preferencia la exactitud del indicador en unidades de temperatura, pero si el fabricante no provee tal exactitud, entonces se debe analizar cual será la exactitud en unidades de temperatura a distintas temperaturas. En el siguiente ejemplo calcularemos la exactitud del indicador en °C a partir de su exactitud en resistencia.

Ejemplo.

Supongamos que contamos con un indicador de PRT con un intervalo cuya plena escala es de 180Ω y tiene una exactitud de:

$$\pm (30 \text{ ppm de la lectura} + 5 \text{ ppm de plena escala})$$

Si este indicador mide un PRT cuya resistencia a 100°C es de $138,50\Omega$ y tiene una sensibilidad de $0,3868 \Omega/^\circ\text{C}$, entonces la exactitud de este indicador a 100°C en unidades de temperatura se calculará como:

$$\begin{aligned} \text{Exact } (^\circ\text{C}) &= \frac{\text{Exactitud en ohms del indicador}}{\text{Sensibilidad del sensor}} \\ &= \frac{(138,50\Omega \times 30 \text{ ppm} + 180\Omega \times 5 \text{ ppm})}{0,3868 \Omega/^\circ\text{C}} = \frac{0,004155 \Omega + 0,0009 \Omega}{0,3868 \Omega/^\circ\text{C}} = 0,013 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

En este ejemplo la exactitud del indicador sería de $0,013^\circ\text{C}$.

Indicadores para termopares.



Los indicadores para termopares deben tener las siguientes características:

- Muy buena exactitud en mediciones de baja tensión eléctrica (mV).
- Ruido eléctrico bajo.
- Se requiere de compensación de unión fría (puede ser por medio del punto de hielo externo)
- En caso de usar switches, deben ser de baja fem térmica.

Al igual que en los RTD's, vamos a dar un ejemplo para poder calcular la exactitud en °C de un indicador cuya exactitud está expresada en función de la tensión eléctrica.

Ejemplo.

Supongamos que contamos con un indicador de mV con un intervalo cuya plena escala es de 100 mV , el cual tiene una exactitud de:

$$\pm (20 \text{ ppm de la lectura} + 2 \text{ ppm de plena escala})$$

Si este indicador mide un termopar tipo S cuya fem a 440°C es de 4,2333 mV y tiene una sensibilidad de 0,0099 mV/°C, entonces la exactitud de este indicador a 440°C en unidades de temperatura se calculará como:

$$\begin{aligned} \text{Exact } (^\circ\text{C}) &= \frac{\text{Exactitud en mV del indicador}}{\text{Sensibilidad del sensor}} \\ &= \frac{(4,2333\text{mV} \times 20 \text{ ppm} + 100\text{mV} \times 2 \text{ ppm})}{0,0099 \text{ mV}/^\circ\text{C}} = \frac{0,0000846\text{mV} + 0,0002\text{mV}}{0,0099 \text{ mV}/^\circ\text{C}} = 0,029 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Fuentes de temperatura.

Existen principalmente dos tipos de fuentes de temperatura para calibración industrial, los baños líquidos y los calibradores de bloque seco, en cualquier caso lo que se busca de ellos es lo siguiente:

- Estabilidad y Uniformidad acorde con la incertidumbre deseada (Se recomienda una relación 10:1)
- Intervalo de temperatura apropiado al intervalo deseado de calibración.
- Suficiente profundidad para la inmersión de los termómetros.

Bloques secos.



Los bloques secos son usados principalmente para la calibración de RTDs y termopares, no se recomienda su uso para calibración de termómetros de líquido en vidrio. En ocasiones, si la incertidumbre requerida lo permite, se puede evitar el uso del termómetro de referencia externo y emplear únicamente el sensor interno del bloque cuya lectura aparece en el display, por supuesto que se debe consultar la exactitud del mismo antes de emplearlo. Otra ventaja de los bloques secos es el hecho de que alcanzan temperaturas más altas que los baños líquidos. A continuación enumeramos las principales características de los bloques.

- Exactitud moderada
- Diámetro de huecos fijos
- Profundidad de inmersión fija
- Secos y limpios
- Portátiles
- Cambios de temperatura rápidos
- Sensor de referencia interno
- Intervalo de temperatura normalmente amplio

Baños líquidos.



Los baños líquidos se usan normalmente para calibraciones de alta exactitud, para calibración de termómetros de líquido en vidrio e incluso para termómetros cuyas formas geométricas sean un poco caprichosas. Por su alta estabilidad y uniformidad son la opción perfecta en calibraciones donde se requiere de una incertidumbre baja. Actualmente existe una gran variedad de baños que permiten incluso que algunos de ellos sean portátiles (microbaños) o aquellos que ocupan poco espacio y son semi-portátiles (baños compactos). La siguiente lista muestra las principales características de los baños líquidos.

- Alta exactitud
- Adaptable a distintos diámetros y profundidad de inmersión de termómetros
- Normalmente no son portátiles
- Cambios de temperatura lentos
- Requiere de termómetro de referencia externo
- Es crítica la selección del fluido
- Intervalo de temperatura de uso restringido

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.

Para realizar una calibración de tipo industrial los pasos a seguir son los siguientes:

1. Conocer el intervalo a calibrar deseado. Es necesario que se corrobore que nuestro equipo es capaz de cubrir el intervalo de calibración del instrumento bajo prueba (UUT por sus siglas en inglés).
2. Analizar incertidumbres. Se recomienda que la incertidumbre total del equipo de referencia (termómetro de referencia, indicador y fuente de temperatura) tenga una relación de 4:1 contra la exactitud del instrumento bajo prueba.
3. Definir puntos de medición. Dividir de manera equidistante en temperatura el intervalo de calibración en al menos 5 puntos de medición cubriendo la mayor parte de dicho intervalo.
4. Llevar a cabo las mediciones. Se programa la fuente de temperatura a cada uno de los distintos puntos de medición, una vez que la fuente de temperatura es estable se toman lecturas del termómetro de referencia y del termómetro o termómetros a calibrar. Se recomienda que se tomen varias lecturas en cada punto con lo que se mejora la incertidumbre.
5. Realizar cálculos. Una vez tomadas las mediciones se llevan a cabo los promedios de las lecturas en cada punto, se calcula la incertidumbre de cada punto de medición y se determina en su caso, si el termómetro a calibrar se encuentra dentro de las especificaciones del fabricante o su norma correspondiente.
6. Elaborar informe de calibración. En el informe de calibración quedan plasmados los resultados finales de la calibración.



INGENIERÍA Y METROLOGÍA
EXACTITUD PARA LA CALIDAD

Salvatierra 32-1 bis, Col. San Bartolo Atepehuacan, 07730 México, D.F.
Tel: 5754-3087. Fax: 5586-8393. e-mail: ventas@inymet.com.mx
www.inymet.com.mx

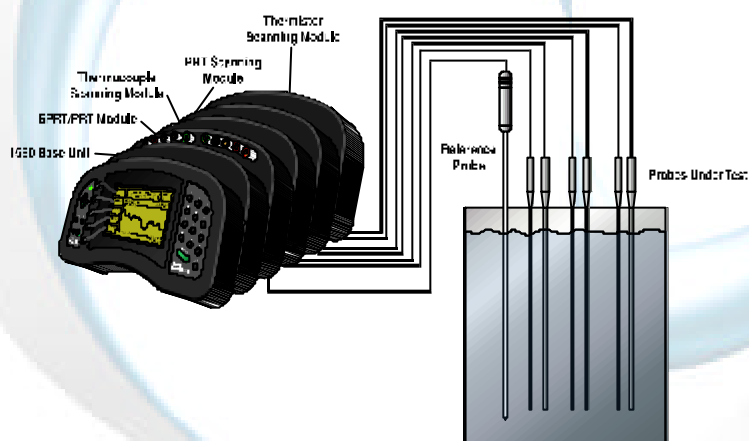
A continuación mencionaremos algunas particularidades de la calibración dependiendo del instrumento bajo prueba.

RTDs.

Si el equipo a calibrar son PRTs o termistores se debe usar un indicador adecuado, si el equipo a calibrar usa su propio indicador, se debe usar ese indicador para que de esa forma se considere el sistema de medición completo.

Al calibrar RTDs se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Insertar el instrumento(s) bajo prueba en la fuente de temperatura lo más cercano posible al termómetro de referencia.
- En caso de que sean varios los termómetros a calibrar, colocarlos en forma circular con la referencia al centro.
- Tener la suficiente inmersión de los termómetros, se recomienda la siguiente fórmula: $30 \times$ diámetro del sensor + longitud del sensor.
- Usar la configuración de 2, 3 ó 4 hilos de acuerdo con el tipo de sensor.
- Si el RTD no cuenta con indicador propio usar tablas para definir la temperatura. Las más comunes son DIN, IEC-751 o ASTM 1137.



Termopares.

Al igual que con los RTD, si el termopar a calibrar tiene indicador propio se debe procurar usar éste para evaluar el sistema completo.

Las consideraciones en cuanto a la calibración del termopar son muy similares que las de los RTD, algunas consideraciones especiales son:

- Se debe llevar a cabo la compensación de unión fría, ya sea que el indicador la haga o que se realice externamente con el punto de hielo.
- En caso de no contar con indicador usar tablas de termopares de acuerdo con su tipo.
- La colocación e inmersión de los termopares siguen la misma regla que los RTDs.

Para conocer un poco más acerca de termopares y de la compensación de punta fría le recomendamos la siguiente liga: <http://www.inymet.com.mx/TERMOPARES.PDF>

Termómetros de líquido en vidrio.

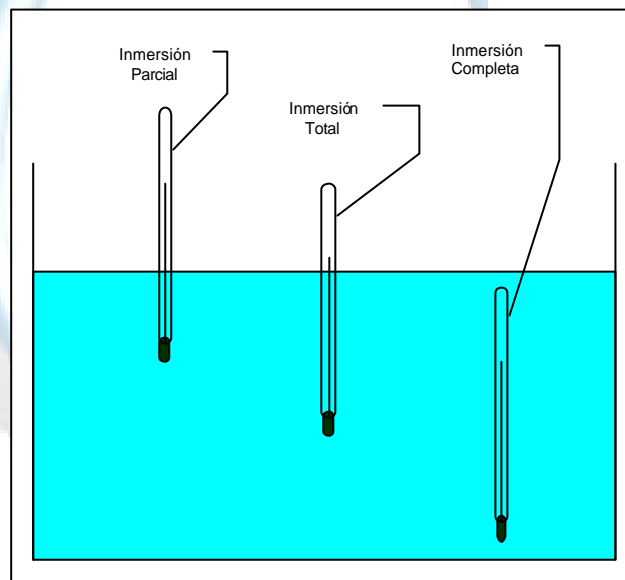
Los termómetros de líquido en vidrio se deben calibrar de manera similar a los RTDs y termopares, por supuesto en éstos la medición es directa. Se deben considerar tres puntos principalmente:

- Se deben de calibrar considerando las tolerancias dadas principalmente por las normas ASTM.
- Se debe tener cuidado con la interpolación.
- Se debe cuidar la inmersión del termómetro de acuerdo con su tipo.

Al momento de interpolar, se debe procurar tener la vista perpendicular al termómetro a la altura del menisco de la columna. La interpolación será en fracciones de 1/4, 1/5 ó 1/10 de la escala mínima. Se recomienda el uso de lupa o algún otro método para mejor estimación de la lectura.

La inmersión del termómetro será como sigue de acuerdo con su tipo:

- Inmersión completa. El termómetro es inmerso completamente en el fluido a ser medido.
- Inmersión total. Todo el líquido termométrico (mercurio por ejemplo) debe estar inmerso en el líquido a ser medido.
- Inmersión parcial. El termómetro es inmerso a una profundidad fija, existe una marca sobre la escala.



Si está interesado en saber más acerca de este tema le recomendamos los cursos que imparte Hart Scientific en sus instalaciones, o solicite información de cursos que imparte Hart Scientific localmente. También existe literatura disponible en el catálogo de Hart Scientific, contacte con el distribuidor o representante de Hart Scientific para más información.



INGENIERÍA Y METROLOGÍA
EXACTITUD PARA LA CALIDAD

Salvatierra 32-1 bis, Col. San Bartolo Atepehuacan, 07730 México, D.F.
Tel: 5754-3087. Fax: 5586-8393. e-mail: ventas@inymet.com.mx
www.inymet.com.mx