

CALIBRACION DE TERMÓMETROS

Por Dave Ayres y Anne Blundell de Isothermal Technology, Merseyside, Inglaterra
Traducción libre de Ottòn C Brenes de Representaciones Corelsa S.A. Costa Rica

Un termómetro que no tenga un certificado de calibración trazable a un estándar nacional reconocido es de poca utilidad.. Aun así, todavía compramos y utilizamos termómetros fabricados en forma masiva que no disponen de ese certificado. Tenemos la esperanza de que el fabricante tenga conciencia y que por lo menos haya realizado calibraciones aleatorias a muestras del lote fabricado y pueda ofrecer algún nivel de precisión a esos termómetros. Pero aún así, nos preguntamos: Ha utilizado el fabricante estándares apropiados para su calibración?

La única forma de tener confianza en un termómetro es teniendo su certificado de calibración . En esta forma, podemos estar seguros de que las lecturas que el termómetro nos da tienen un significado. Aun así, las industrias siguen utilizando termómetros sin calibrar.

La temperatura es uno de los valores físicos mas medidos, pero su significado no es ampliamente entendido. A diferencia de otros parámetros, como masa y tiempo, la temperatura es definida sobre la base de una serie de condiciones teóricas mientras que otros parámetros son definidos en base a condiciones físicas reales. Por ejemplo, el kilogramo patrón está en Paris y el tiempo esta basado en transiciones atómicas en un átomo de Cesio.

La temperatura esta basada en la termodinámica de un sistema perfecto, tal como un gas ideal y de esto resulta la escala termodinámica de temperatura medida en Kelvin (K) la cual es inalcanzable. Lo que hacemos es la segunda mejor opción y utilizamos sistemas termodinámicos imperfectos para lograr una escala de temperatura de trabajo, tan cerca de la ideal como podamos. Esta escala de trabajo es la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) y es medida en grados Celsius para temperatura arriba de los 0 grados y Kelvin o Celsius para debajo de 0 grados ($1^{\circ} C = 1K$)

Cuando un termómetro es calibrado, debería serlo con base a la escala ITS90 o con base a otra escala tales como la IPTS-68 o IPTS-48

Tanto la escala ITS 90 como las anteriores, contienen valores de temperatura en grados Celsius con aceptación internacional, asignados a fenómenos físicos reproducibles y que siempre ocurren a la misma temperatura (por ejemplo, temperatura de solidificación de un metal puro) La escala acepta también unos termómetros definidos como estándares para ser utilizados dentro de ciertos rangos de la escala como un instrumento de extrapolación. Los valores asignados a los puntos fijos son los mejores valores para la temperatura termodinámica que pueden ser obtenidos experimentalmente usando tecnología corriente. Conforme la tecnología mejora, mejores medidas pueden ser hechas por lo que cada 20 años aproximadamente se actualiza el valor asignado a los puntos fijos.. Como ejemplo podemos mencionar el caso del punto de solidificación del Zinc que en 1968 era de 419,58 grados Celsius y en 1990 llegó a ser de 419,527. El Zinc siempre solidifica a la misma temperatura, pero nuestras mediciones termodinámicas han mejorado (creemos) de donde se ha asignado ese nuevo valor al punto de solidificación del Zinc.

La forma mas simple y precisa de calibrar termómetros es utilizando los puntos fijos mostrados en la Figura 1, pero estamos limitados a una pequeña selección de puntos sobre un rango de temperatura y debe tenerse cuidado en establecer una verdadera trazabilidad a estándares nacionales

La mayor parte de las calibraciones se llevan a cabo en el rango de -200 a 1100 grados Celsius. En la Tabla 1 estamos indicando los puntos fijos con su valor asignado de temperatura para el rango indicado.

TABLA 1

PUNTOS FIJOS DE LA ESCALA ITS 90 EN EL RANGO COMPLETO

PUNTO FIJO	CARACTERÍSTICA FÍSICA	TEMPERATURA ° C	TERMÓMETRO INTERPOLACION
Argón	Triple punto	-189,3442	SPRT
Mercurio	Triple punto	-38,8344	SPRT
Agua	Triple punto	0,010	SPRT
Galio	Punto de fusión	29,7646	SPRT
Indio	Punto solidificación	156,5985	SPRT
Estaño	Punto solidificación	231,928	SPRT
Zinc	Punto solidificación	419,527	SPRT
Aluminio	Punto solidificación	660,323	SPRT
Plata	Punto solidificación	961,78	SPRT
Oro	Punto solidificación	1064,18	RT

Notas

SPRT Termómetro estándar de resistencia de platino

RT Termómetro de radiación

Triple punto: Estados sólido, líquido y gaseoso en equilibrio.

Para llevar a cabo mediciones entre estos puntos, se han designado los tipos de termómetros indicados en la tabla 1. Estos han sido calibrados en los puntos fijos dentro de un rango definido, para luego interpolar entre los puntos fijos.

Para calibrar un termómetro de trabajo en un punto lejos del punto fijo, se debe utilizar el SPRT y luego el termómetro de trabajo para comparar ambas medidas. Para esto, se necesita poner ambos termómetros en el mismo volumen isotérmico suficientemente grande para garantizar que ambos termómetros están a la misma temperatura que el volumen que los contiene.

A partir de los métodos definidos para la escala ITS-90, se establecen los dos métodos para calibrar termómetros: el de puntos fijos y el método de comparación.

Como un ejemplo de uso de las celdas de punto fijo, examinemos el rango de temperatura utilizado por una planta de generación termo-eléctrica en un sitio remoto. La planta necesita medidas precisas de temperatura en el rango de 0 a 660 Celsius para mantener una eficiente generación. En la tabla 2 se indican las celdas de punto fijo que esa planta debería tener.

TABLA 2
MEJOR SELECCIÓN DE CELDAS DE PUNTO FIJO PARA UNA PLANTA DE GENERACIÓN TERMICA.

CELDA DELGADA	PROPIEDAD FISICA	TEMPERATURA ITS 90 EN ° C
Agua	Triple punto	0,010
Galio	Punto de fusión	29,7646
Indio	Punto solidificación	156,5985
Estaño	Punto solidificación	231,928
Zinc	Punto solidificación	419,527
Aluminio	Punto solidificación	660,323

Estas celdas darían la mayor versatilidad para llevar a cabo las calibraciones. La empresa vería reducido a un mínimo las necesidades de enviar equipo a re-calibrar fuera de sus instalaciones economizando en costos y daños de transporte. Las celdas no tiene que ser de tamaño estándar como la de un laboratorio nacional. Las nuevas celdas tipo "slim" serán suficientes para el nivel de precisión. Las celdas estándar proveen 180 mm de inmersión real y las pequeñas (slim) proveen 130 y son mucho menos costosas.

Otro buen ejemplo de uso de celdas delgadas es en la calibración del sistema Kaye de sensores inteligentes, ampliamente usado en la industria de la alimentación y la farmacéutica.. El sensor Kaye es un termómetro de resistencia que tiene la electrónica en la manija. El sensor envía unidades de ingeniería vía interfase RS232. Aunque el circuito electrónico tiene compensación automática de temperatura, es preferible mantenerlo frío para que requiera una pequeña inmersión durante la calibración.. El uso de celdas delgadas es ideal para esta aplicación porque dan gran precisión con poca inmersión lo cual no se logra con otros métodos. Hemos desarrollado un sistema para la calibración de estos sensores que logra los mejores resultados de ellos. Usamos las celdas indicadas en la Tabla 3.

TABLA 3
SELECCIÓN DE CELDAS DELGADAS PARA LA CALIBRACIÓN DE SENSORES INTELIGENTES KAYE

CELDA FIJA DELGADA	PROPIEDAD FÍSICA	TEMPERATURA ITS 90 ° C
Mercurio	Punto triple	-38,8344
Agua	Punto triple	0,010
Galio	Punto fusión	29,7646
Estaño	Punto solidificación	231,928
Zinc	Punto solidificación	419,527

Para usar las celdas de punto fijo uno puede enfriarlas, calentarlas o mantenerlas a una temperatura constante, dependiendo de las propiedades físicas. Por ejemplo, una celda Zinc (419,527 Celsius) puede ser utilizada como una celda de punto de fusión o de punto de solidificación, el valor es el mismo. Para fundirla, solamente debe calentarla 1 o 2 grados sobre el punto fijo de temperatura y para solidificarla Ud. funde el metal y lo enfría 1 o 2 grados por debajo del punto fijo.

En los laboratorios nacionales (PRIMARIOS) las celdas grandes que operan arriba de los 30 °C operan en el modo de solidificación. Para obtener una buena etapa (valor constante) rápidamente, a la celda se le provoca un shock frío para que comience la solidificación, ya sea usando una varilla de vidrio de cuarzo a temperatura ambiente o un chorro de aire en el pozo de medición. Una vez que la solidificación ha comenzado, un termómetro estándar debidamente calibrado se introduce en la celda para verificar si la etapa de solidificación existe y si la temperatura es correcta. Cualquier termómetro estable puede ser utilizado para verificar si la meseta de solidificación se está llevando a cabo, porque la salida del termómetro permanece constante pero el uso de un termómetro estándar ayuda a asegurar las correcciones en el método y el equipo.

Otro control para asegurarse que todo va bien con la celda, el horno y el termómetro consiste en sacar el termómetro unos pocos centímetros y confirmar que la salida se mantiene constante.

Para simplificar el uso de celdas delgadas hemos recomendado usarlas en el modo de fundido. Es muy simple coger una celda solidificada, ponerla en un bloque seco como el Medusa y fijar la temperatura 1 o 2 grados por debajo del punto fijo. Un termómetro estándar se puede utilizar para verificar cuándo ha comenzado el proceso de fundido, pero cualquier termómetro estable debe mostrar una lectura fija cuando la celda se está fundiendo. Este es un método más simple que el de solidificación para obtener la etapa pero además tiene otras dos ventajas: si el termómetro de control está ligeramente más frío que la celda cuando aquel se introduce, hará que parte del metal ya fundido se vuelva a solidificar prolongando el tiempo de fundición. Las etapas de las celdas delgadas se mantienen estables sobre $\pm 0,002$ °C alrededor de 6 horas dependiendo del equipo en uso.

Entre más calibraciones se hagan, más se mantiene la etapa de fundición.

En el caso opuesto de una celda en condición de solidificación: entre más frío esté el termómetro a probar, más corto es el tiempo de solidificación.

La otra ventaja es cuando la temperatura del horno está más alta que la temperatura de la celda. Esto reduce los errores de conducción del vástago en termómetros que necesitan longitudes de inmersión mayores.

Algunos termómetros de resistencia utilizan conductores de plata en su construcción interna. Esto lo hacen para bajar costos. Sin embargo, esto se traduce en mayores longitudes de inmersión para mediciones precisas, debido al incremento de la conducción térmica de la plata. Por esta razón, se recomiendan los conductores de platino.

La celda mas difícil de poner a punto es la del triple punto del agua. Básicamente existen dos métodos:

1. Formando una capa de hielo sobre el tubo re entrante, ya sea usando nitrógeno líquido, barras enfriadas con nitrógeno líquido o finalmente con Dióxido de carbono sólido.
2. El segundo es el llamado “slush method” que consiste en súper enfriar el agua de la celda a $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ para provocarle luego un movimiento simple de batido. Este golpe físico es suficiente para que se inicie la formación de cristales de hielo que viajan a través del agua formando un “slush”-

El primer método es el mas preciso pero obliga a contar con una fuente de baja temperatura, mientras que el segundo demanda menos equipo y menos habilidades. Isotech fabrica dos baños de bloque seco que permite la formación de “slush” y además mantiene la celda en condiciones operativas mientras se esté utilizando.

Una vez logrado el estado operativo de la celda, se debe encontrar el método para mantenerla alrededor de los $0,010\text{ }^{\circ}\text{C}$ - La celda estará en condiciones operativas unos 30 minutos después de puesta en punto. Este periodo de espera le permite a los esfuerzos térmicos presentes liberarse por sí mismos. Para nuestras mejores mediciones, cuando estamos verificando nuestras propias celdas Jarret-Isotech a la precisión UKAS de $\pm 0,00015\text{ }^{\circ}\text{C}$, las mediciones son hechas por semanas, manteniendo las celdas en nuestro baño de mantenimiento modelo 18233. Para mantener las celdas en periodos cortos, un frasco con hielo machacado es suficiente y como se dijo arriba, dos de nuestros baños metálicos puede hacer y mantener una celda.

COMPARACIÓN

El método de calibración por comparación es el mas ampliamente utilizado. Implica comparar un termómetro inferior con otro superior. Pueden ser del mismo tipo, pero el superior debe estar calibrado a mayor precisión. La comparación puede ser hecha en un baño líquido donde el volumen sea suficiente para garantizar la misma temperatura en todo el volumen.. Este volumen isotérmico debe ser suficiente para contener los dos termómetros y que ambos estén a la temperatura del baño.

INMERSIÓN

La profundidad de inmersión del termómetro para que logre la temperatura del baño depende de la construcción del termómetro, de la diferencia de temperatura entre el baño y el medio ambiente, de la capacidad de transferencia de calor del baño y de la estabilidad de la temperatura en el baño. Una regla de oro para la profundidad de inmersión es: de 10 a 15 veces el diámetro del termómetro mas la longitud del sensor. Esta longitud podría aumentarse para altas o bajas temperaturas de calibración y cuando el diámetro del termómetro es significativamente mas pequeño que el diámetro interno del pozo donde esta inmerso.

Una prueba simple para determinar si la profundidad de inmersión es correcta o no, consiste en sacar el termómetro unos 2 cm y observar si las

lecturas cambian. Si se continua sacando el termómetro, se puede confirmar la mínima profundidad de inmersión de ese termómetro.

Como está implícito arriba, el termómetro mide su propia temperatura y Ud. tiene la fe de que es la misma temperatura del medio que rodea al termómetro. Para asegurarse de que esto es correcto, se deben hacer algunas controles.

El Laboratorio NAMAS de la Gran Bretaña (NATIONAL MEASUREMENT ACCREDITATION SCHEME OF THE U.K.) es un cuerpo independiente muy importante que supervisa que los laboratorios de calibración puedan hacer lo que ellos dicen que pueden. Esto lo logran monitoreando los laboratorios y con auditorias frecuentes.

UN EJEMPLO DE CALIBRACIÓN POR COMPARACIÓN

Como un ejemplo de calibración por comparación, vamos a examinar dos maneras de calibrar un termómetro de resistencia de platino para uso industrial a 150°C . La mejor manera es utilizando un baño de aceite con agitación y un termómetro Standard de platino (SPRT) . Para los mejores resultados, ambos termómetros deben estar inmersos (mas o igual a 300 mm) y utilizar un bloque de igualación construido en cobre o aluminio. Adicionalmente necesitaremos un instrumento que pueda medir resistencia. Puede ser un multímetro digital o un instrumento hecho expresamente para medir resistencia. La precisión del sistema de calibración depende de cuan preciso queremos calibrar el termómetro industrial.. Para efectos de este ejemplo, pensemos que es para uso de la industria farmacéutica. Y que debe ser calibrado a $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ o mejor. Para lograr esto, nuestro sistema de calibración debe ser de 3 a 10 veces mas preciso, es decir, de $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$. Debemos estar en capacidad de tener un volumen isotérmico, medir su temperatura y la resistencia del termómetro desconocido a $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ o mejor. Como este es un termómetro industrial, su repetibilidad y estabilidad no serán buenas, pero nuestro sistema de calibración es suficientemente bueno para medir sus resultados y asignarle un valor al termómetro.. Así podemos determinar si el termómetro industrial es capaz de medir a $0,1^{\circ}\text{C}$. Necesitamos un instrumento que mida la resistencia del termómetro con una resolución de 3 decimales y una precisión mínima de $\pm 0,004\%$. Esto permite que la resistencia del termómetro sea medida al equivalente de $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$. Si el baño y el SPRT tienen también similares precisiones, entonces disponemos de un sistema que nos da $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ de precisión en la primera inspección .

Para hacer la medición fijamos el baño tan cerca podamos de los 150°C y establecemos que todo este estable para las mediciones de los dos termómetros.. El método mas simple es hacer de 5 a 10 mediciones de la resistencia de cada termómetro, en mediciones pares y promediar esas mediciones para los valores de calibración.. Utilice los valores de resistencia del SPRT tomados de su certificado de calibración y presente los resultados en una tabla similar a la mostrada en la tabla 4

**TABLA 4
COMPARACIÓN SIMPLE DE RESULTADOS**

TEMPERATURA ° C	MEDICION CON EL TERMÓMETRO BAJO PRUEBA EN OHMS	INCERTIDUMBRE DEL TERMÓMETRO BAJO PRUEBA EN ° C
150,032	157,319	0,1

El segundo método de calibración toma menos en cuenta el ajuste del baño a la temperatura de 150 °C. Esta temperatura se fija en un valor ± 0.1 °C sobre 150 °C y la resistencia medida en ambos termómetros llega a ser:

$${}_{150}R_x = (R_x + R_{SPRT}) \times {}_{150}R_{SPRT} \text{ OHMS}$$

DONDE ${}_{150}R_x$ es el valor de la resistencia del termómetro bajo prueba al valor ideal de 150 °C.

R_x Es el valor de la resistencia del termómetro bajo prueba medida en el baño a aproximadamente 150° C

R_{SPRT} es el valor de resistencia del termómetro SPRT medido en el baño a aproximadamente 150°C.

${}_{150}R_{SPRT}$ Es la resistencia a 150 ° C del SPRT indicada en su certificado

Este método toma en cuenta que la relación $R_x \div R_{SPRT}$ sea razonablemente constante y este es normalmente el caso para temperaturas estables dentro de ± 0.1 °C del valor requerido de temperatura . Si consideramos que los termómetros son uno solo, esta relación mantiene su valor de 1 a lo largo de todo el rango. Otra ventaja de este método es que toma menos en cuenta la precisión de la medición , especialmente si la relación es 1. La medición solamente debe ser estable durante el periodo de medición y tener suficiente resolución.

Los valores podrían ser presentados como lo indica la Tabla 5

**TABLA 5
RESULTADOS SEGÚN EL METODO DE COMPARACIÓN POR RAZÓN**

TEMPERATURA ° C	MEDICION DEL TERMÓMETRO BAJO PRUEBA EN OHMS	INCERTIDUMBRE DEL TERMÓMETRO BAJO PRUEBA EN ° C
150	157,307	0,1

Con los instrumentos modernos de medición de resistencia, de dos canales, tal como el TTI5 o TTI6 de Isotech es fácil obtener los resultados mostrados. El TTI5 puede ser programado con los valores del SPRT por lo que este puede indicar la temperatura real del baño. En este caso trabajaría en forma independiente de la relación $R_x \div R_{SPRT}$ dado que el termómetro industrial se conectaría en el otro canal

Para mejorar la precisión de las lecturas de resistencia hechas con el DMM, especialmente si aquella no tienen una precisión de $\pm 0,004$ % , un resistor estándar

puede ser colocado en la secuencia de medición . El resistor tiene que tener el mismo valor que la resistencia, es decir 100 ohms y tener una precisión de +- 0,004%

Entonces, en cuanto el DMM tenga una resolución de 3 decimales y tenga una buena estabilidad en el corto plazo, los resultados pueden mejorarse como se indica a continuación:

$$R_x = (R_{dx} \pm R_{ds}) \times R_s$$

Donde R_x es la resistencia del resistor desconocido que estamos calibrando

R_{dx} es la resistencia del resistor desconocido medida con el DMM

R_{ds} es la resistencia del resistor estándar medido con el DMM

R_s es el verdadero valor del resistor estándar tomado de su certificado de calibración

Para mediciones mas precisas de la resistencia, se debe utilizar una configuración de 4 hilos de un sistema de medición de resistencia tanto para dc como AC.

La configuración de 4 hilos ayuda eliminar los errores encontrados en sistemas de 2 hilos. El uso de CD conmutada (es decir haciendo mediciones con el sentido de la corriente hacia una dirección y luego en la otra , para tomar el promedio de las dos) o con sistemas AC ayuda a eliminar los errores termo eléctricos en los alambres de conexión.

CALIBRACIONES TRAZABLES

Para finalizar este artículo nos gustaría discutir sobre “calibraciones trazables “. En calibración, una medición trazable es aquella en que desde el comienzo y hasta el fin de la calibración , esta puede ser identificable con valores patrón.

En el ejemplo que vimos de calibración de un termómetro industrial (IPRT) este puede ser un extremo de la cadena y un estándar nacional sería el otro. En el medio, habría dos o tres mediciones por comparación , en promedio, de estándares.. Sin embargo , en el concepto de calibración trazable hay mucho mas de fondo y mas complejo. Entre mas larga sea la cadena, menos preciso el resultado al final.

No existen periodos de tiempo asociados con la trazabilidad.. De aquí que una cadena de trazabilidad muy larga puede tener varios años entre el comienzo y el fin de la misma. Considérese un SPRT calibrado en la NIST que tiene un periodo de recalibración de 2 años y que este SPRT es utilizado para calibrar un estándar de trabajo cada dos años. Este estándar de trabajo puede estar 4 años lejos del estándar nacional y todavía estar haciendo su trabajo!!

Tener una ruta trazable no garantiza buenas mediciones. Las buenas mediciones pasan por el personal de laboratorio, equipo, medio ambiente y procedimientos.

En el Reino Unido tenemos un órgano independiente (NAMAS) que monitorea el trabajo de sus Laboratorios Acreditados para asegurarse que la calibración final es sensiblemente trazable a reconocidos estándares nacionales.

El término “reconocidos estándares nacionales” significa que los estándares primarios de otro país se pueden utilizar en cuanto exista un acuerdo de cooperación entre esos países.

Tenemos la esperanza de que con este artículo hayamos fijado algunos puntos interesantes y dados algunos consejos prácticos. Lo que más nos interesa son los aspectos técnicos y sobre estos daremos mayor información en futuros escritos.

Finalmente, el catálogo de ventas de Isotech es una buena guía sobre los equipos disponibles para calibración de temperatura y también contienen las últimas tablas sobre termocuplas e IPRT de la ITS-90/IEC

Estos catálogos están disponibles contactando a Isothermal Technology Ltd. O alguno de sus representantes a nivel mundial.

Puede retro alimentarnos por medio de los correos callab@isotech.co.uk

- corelsa@racsac.co.cr