

Calibraciones por Método de Simulación Eléctrica

El proceso de medición generalmente requiere el uso de instrumentos como medio físico para determinar el valor de una magnitud. Un instrumento esta formado, la mayoría de las veces, por más de un dispositivo, por ejemplo: sensor + transductor + indicador; a lo cual se le llama cadena de medición.

El método de calibración más común (conocido y acostumbrado) de un instrumento de medición es el método de comparación directa, contra patrones de medición o medidas materializadas, método en el cual se requiere de un medio que genere en forma real (físicamente) a la magnitud en cuestión para estimular directamente al sensor.

No siempre es posible contar con un medio que genere en forma real (físicamente) la magnitud en cuestión, en ocasiones debido a limitaciones: técnicas, físicas, económicas, logísticas, etc. En estos casos es posible utilizar un método alternativo de calibración, el método de simulación eléctrica. Este método se puede aplicar siempre y cuando el instrumento sujeto a calibración este configurado en forma de una cadena de medición segmentada, es decir compuesta al menos por sensor + indicador, en este caso se calibra el indicador (sin incluir el sensor) contra un patrón que simule (no genere) la magnitud de interés, y el sensor (sin indicador) se calibra contra un patrón que genere en forma real (físicamente) la magnitud de interés.

Como ejemplo común, hemos de comentar que un **termómetro** con sensor termopar (TC) es un dispositivo que mide e indica la magnitud de temperatura, mientras que un **indicador de temperatura** sin incluir el sensor TC es un dispositivo que indica temperatura pero que mide la fem (fuerza electromotriz) generada por el termopar (TC). De aquí podemos decir que un termómetro (incluyendo el sensor) se calibra por comparación directa, mientras que un indicador de temperatura (sin sensor) se calibra por simulación eléctrica y el sensor termopar (TC) se calibra por separado en el laboratorio por comparación directa.



Somos su Relevo a la Calidad

La Guía MetAs, es el boletín periódico de MetAs & Metrólogos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan noticias de la metrología, artículos e información técnica seleccionada por los colaboradores de MetAs & Metrólogos Asociados, que deseamos compartir con nuestros colegas, usuarios, clientes, amigos y con todos aquellos relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas
E-mail: metas@metas.com.mx. Web: www.metas.com.mx

Servicios Metroológicos:

Laboratorios de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica y Vibraciones

Ingeniería:

Selección de Instrumentos, Desarrollo de Sistemas de Medición y Software, Reparación-Mantenimiento

Gestión Metroológica:

Subcontratación de Servicios, Outsourcing, Selección de Proveedores, Confirmación Metroológica

Centro de Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías, Ensayos de Aptitud, Sistemas de Calidad

Definiciones

El método de calibración por simulación eléctrica emplea una serie de términos que es necesario no confundir, como: a) la diferencia entre medir e indicar, b) la diferencia entre alcance de operación, alcance de medición y alcance de indicación, c) la diferencia entre medida materializada y los componentes de una cadena de medición como pueden ser: sensor + transductor + indicador. Algunos términos son definidos por el Vocabulario Internacional de Metrología (VIM) y se presentan a continuación:

Medición: Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

Indicación (de un instrumento de medición): Valor de una magnitud proporcionada por un instrumento de medición.

Notas:

1. El valor leído en el dispositivo indicador puede ser llamado la indicación directa; la cual es multiplicada por la constante del instrumento para dar la indicación.
2. La magnitud puede ser el mensurando, una señal de medición, o cualquier otra magnitud a ser utilizada para calcular el valor del mensurando.
3. Para una medida materializada, la indicación es el valor asignado a ella.

Alcance de medición: Conjunto de valores de mensurandos para los cuales el error de un instrumento de medición está supuestamente comprendido dentro de ciertos límites.

Notas:

1. El error es establecido por referencia a un valor convencionalmente verdadero.

Alcance de indicación: Conjunto de valores limitados por las indicaciones extremas.

Notas:

1. Para una indicación analógica, esto puede ser llamado el alcance de la escala.
2. El alcance de indicación es expresado en la unidades marcadas en el indicador, independientemente de las unidades del mensurando, y es normalmente especificado en términos de sus límites inferior y superior, por ejemplo, 100 °C a 200 °C.

Medida materializada: Medida destinada a reproducir o suministrar, de una manera permanente durante su uso, uno o más valores conocidos de una magnitud dada.

Ejemplos: Una resistencia, un generador de señales patrón.

Sensor: Elemento de un instrumento de medición o cadena de medición que está sometida directamente a la acción del mensurando.

Ejemplos:

- a) Unión de medición de un termómetro termoelectrónico;
- b) Rotor de un medidor de flujo de turbina;
- c) Tubo Bourdón de un manómetro;
- d) Flotador de un instrumento de medición de nivel;
- e) Focelda de un espectrofotómetro.

Nota: En algunos campos el término "detector" es utilizado para este concepto.

Detector: Dispositivo o sustancia que indica la presencia de un fenómeno sin que necesariamente proporcione un valor de una magnitud asociada.

Ejemplos:

- a) Detector de fugas de halógeno;
- b) Papel tornasol;

Notas:

1. Una indicación puede producirse sólo cuando el valor de la magnitud alcanza un límite, algunas veces llamado el límite de detección del detector.
2. En algunos campos el término "detector" se utiliza en vez del término "sensor".

Transductor: Dispositivo que proporciona una magnitud de salida con una determinada relación a la magnitud de entrada.

Ejemplos:

- a) Termopar;
- b) Transformador de corriente;
- c) Galga extensiométrica;
- d) Electrodo de pH.

Dispositivo indicador: Parte de un instrumento de medición que presenta una indicación.

Notas.

1. Este término puede incluir el dispositivo que permite exhibir el valor proporcionado por una medida materializada.
2. Un dispositivo analógico proporciona una indicación analógica y un dispositivo de indicación digital proporciona una indicación numérica.
3. Una indicación semidigital es una forma de presentación de la indicación ya sea por medio de un indicador digital en el cual se desplaza continuamente el último dígito significativo, permitiendo de esta manera la interpolación o bien por medio de un indicador numérico complementada con una escala y un índice.
4. El término inglés "readout device" se utiliza como un descriptor general de los medios por los cuales se hace presente la respuesta de un instrumento de medición.

La simulación eléctrica ha sido una alternativa muy acertada para la calibración y verificación de instrumentos tales como: simuladores e indicadores de temperatura con sensor RTD o TC, indicadores de humedad con sensor resistivo, potenciómetros e indicadores de pH, lazos de medición de proceso con sensores transductores o transmisores de prácticamente todas las magnitudes, indicadores de vibraciones y aceleración mecánica, indicadores de conductividad dieléctrica, indicadores de fuerza con elemento sensor o transductor galga extensiométrica o celda de carga, básculas de masa con elemento sensor o transductor celda de carga, etc. entre otras.

La calibración por simulación eléctrica esta basada principalmente en la verificación del proceso de conversión que normalmente se lleva a cabo en el indicador mediante un algoritmo matemático; uno de los objetivos de la calibración por simulación eléctrica es comprobar que este algoritmo de conversión se este realizando de forma correcta a través del análisis de los resultados de error e incertidumbre del indicador, después de haber sometido el indicador al valor apropiado de estímulo ó simulación eléctrica.

En este boletín de La Guía MetAs citaremos algunas calibraciones que se pueden realizar simulando una señal eléctrica.

Simulación eléctrica para indicadores de temperatura

Existen en el mercado diversos instrumentos que entre sus capacidades cuentan con la habilidad de simular y indicar temperatura, para sensores de tipo termopar (TC) y termómetros de resistencia (RTD).

Los instrumentos que tienen la capacidad tanto de indicar como de simular TC y RTD, operan bajo ecuaciones y constantes definidas por las diferentes escalas y normas de temperatura, como la IPTS-68 y la ITS-90.

Algunos aspectos importantes que debemos tomar en cuenta, es conocer bajo que escala opera el instrumento y el grado de polinomio a utilizar para cada tipo de sensor, esto es muy importante para configurar adecuadamente el indicador y seleccionar el sensor del cual queremos calibrar su indicación (no medición) o simulación (no generación).

Un indicador de temperatura opera convirtiendo la señal eléctrica recibida de un sensor en una lectura equivalente de salida en unidades de temperatura.

RTD
 $\Omega / ^\circ\text{C}$

TC
 $\text{mV} / ^\circ\text{C}$



Fig. 1. Sensor RTD Pt-100 Ω (385)

Un simulador de temperatura opera al convertir un valor de temperatura en una señal eléctrica equivalente a la producida por un sensor de referencia al medir el mismo valor de temperatura.

El principio de calibración por simulación eléctrica esta basado en la verificación de ese proceso de conversión, por la medición directa de la señal eléctrica producida por el simulador.

SENSORES DE RESISTENCIA

Los RTD pueden clasificarse en cuatro grandes grupos (Pt, Cu, Ni y Termistor) cada uno con diferentes características referente al valor de resistencia a 0 °C conocido como R₀ y el coeficiente de temperatura alfa, los cuales se listan a continuación:

Platino (Pt):

100 Ω (3926), 100 Ω (3916), 100 Ω (385), 200 Ω (385), 500 Ω (385), 1 000 Ω (385).

Cobre (Cu):

10 Ω (427).

Níquel (Ni):

120 Ω (672).

Níquel-Hierro (Ni-Fe):

604 Ω (0,00518), 1 000 Ω (0,00527), 2 000 Ω (0,00527).

Termistores (Semiconductor):

Cada fabricante o marca tiene su propia clasificación y modelo; el valor de R₀ va de kilohms a megaohms y el coeficiente de temperatura más común es el negativo NTC, aunque también hay positivos PTC.

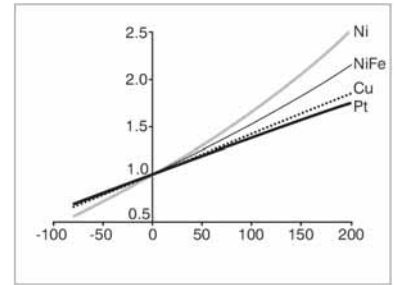


Fig. 2. Linealidad de metales para RTD

Los RTD más utilizados tanto en laboratorios como en la industria son los termómetros de resistencia de platino. El indicador que se utiliza para convertir la señal de resistencia a una indicación de temperatura debe hacerlo utilizando la ecuación de desviación de la ITS-90 o bien la ecuación de Callendar-Van Dusen:

Para el alcance negativo de -200 a 0 °C

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3(t-100)]$$

Para el alcance positivo de 0 a 850 °C

$$R_t = R_0[1 + At + Bt^2]$$

SENSORES DE TERMOPAR

Los Termopares, son circuitos formados por dos conductores de metales diferentes o aleaciones de metales diferentes, unidos en sus extremos y entre cuya unión se aplica una diferencia de temperatura.

La linealidad de fem contra temperatura de los termopares se caracteriza mediante polinomios de hasta décimo grado.

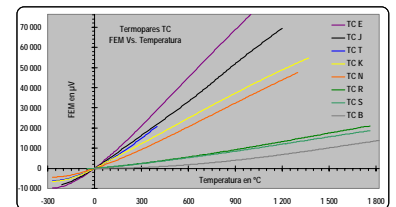


Fig. 3. Linealidad de tipos de TC

Los TC pueden clasificarse principalmente en tres grupos, como se resume en el cuadro siguiente:

| Metal - Base | Metal - Noble | Refractarios |
|---|--|---|
| E, J, K, L (J-DIN), N, T, U (T-DIN) (V) Ni, Cr, Cu, Fe, Al, Si, Mg (Níquel, Cromo, Cobre, Hierro, Aluminio, Silicio, Magnesio) | B, R y S Pt & Rh (Platino & Rodio)) Nuevos Pt & Au (Platino & Oro) Pt-Pd (Platino & Paladio) | A, C (W5), D (W3), G (W) W & Re (Tungsteno & Renio) |

Higrómetros
Madera
Ω / %H₂O

Simulación eléctrica para indicadores de humedad en madera

Este método de simulación eléctrica para higrómetros del tipo resistivo, es un método muy práctico por su fácil implementación y confiable dado que existen diferentes referencias que han estudiado y caracterizado la relación entre la resistencia y el contenido de humedad para los diferentes especies de madera.

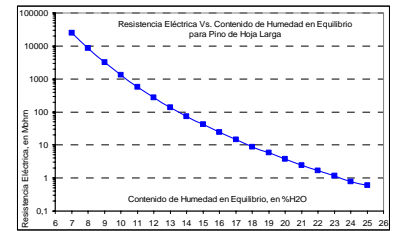


Fig. 4. Calibración de higrómetros/madera

Las propiedades eléctricas de la madera varían bastante con el contenido de humedad. Estas propiedades eléctricas que indican el nivel de contenido de humedad son:

resistencia al flujo de corriente eléctrica y propiedades dieléctricas; y son utilizadas por los medidores de humedad eléctricos para estimar el contenido de humedad en las maderas.

Su principio de operación se basa en que la madera seca es pobre conductora de electricidad. El agua, por otra parte, es buena conductora de electricidad, debido al flujo iónico. Así la resistencia medida (o conductancia, la cual es inversa a la resistencia) a un flujo de la corriente a través de la madera es una medida de la cantidad de humedad en esa madera.

Para la realización de la calibración se utilizan los valores de resistencia contra contenido de humedad publicados por las normas o recomendaciones citadas en el método de equilibrio en sales saturadas, por ejemplo, para la madera de pino se indica su relación de resistencia contra contenido de humedad en la gráfica de la Fig. 4.

Para su calibración son utilizadas, recomendaciones internacionales OIML R 92, que indica los puntos que se requieren calibrar, determinando los límites de variación de resistencia mínima y máxima para cada punto de calibración.

Potenciómetro
mV / pH

Simulación eléctrica para indicadores de pH y potenciómetros

Un medidor de pH convierte la diferencia de potencial eléctrico generado entre un electrodo de referencia y un electrodo de medición que varía de acuerdo a las soluciones de pH, para ser indicadas en unidades de pH.



Fig. 5. Potenciómetro con electrodo/pH

En base a la ecuación de Nernst, es determinada por simulación eléctrica de potencial una indicación de escala pH.

Ecuación de Nernst:

$$E = E_0 - (2,303 \cdot R \cdot T / (n \cdot F)) \cdot pH$$

Donde:

E = Potencial eléctrico en V (volts), en el electrodo de medición,

E_0 = Potencial eléctrico normalizado en V (volts), en el electrodo de referencia,

R = Constante molar de los gases = 8,314 472 J/(mol · K)

T = Temperatura absoluta en K (kelvin) de la celda electroquímica = $t + 273,15$ °C

n = Número de moles de electrones transferidos al electrodo,

para iones de hidrógeno (H^+) $n = 1$

F = Constante de Faraday = 96 485,338 3 C/mol

pH = Logaritmo base 10 de la actividad de iones de hidrógeno (H) = $-\text{Log}_{10}(a H^+)$



Fig. 6. Simulador eléctrico de pH (mV)

Simulación eléctrica para conductivímetros

Un conductivímetro está formado por dos elementos: El instrumento indicador y la celda (sensor) de conductividad. La calibración de estos conductivímetros se realiza para la pareja indicador-sensor, la modificación en uno de los dos elementos constituye un instrumento diferente.

Resistencia, Resistividad, Conductancia y Conductividad

En ausencia de un campo eléctrico, los iones que constituyen un conductor iónico se encuentran en un constante movimiento al azar, de manera que la distancia efectiva recorrida por los iones en su conjunto es nula. Este movimiento se origina por acción de fuerzas térmicas y de convección. Ahora bien, cuando se somete a dichos iones a la acción de un campo eléctrico (por la aplicación de una diferencia de potencial), los mismos se moverán, en un sentido u otro, de acuerdo con su carga, fenómeno que se conoce como migración iónica.

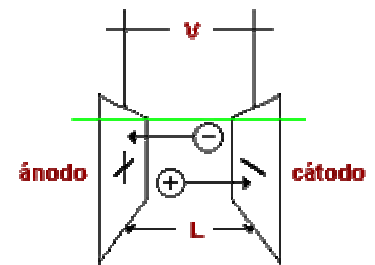


Fig. 7. Conductividad electrolítica

En estas condiciones, se puede considerar a la disolución como un conductor electrónico, que sigue la Ley de Ohm.

La determinación de conductividad, es por simulación eléctrica de conductancia (1/resistencia), para indicación de conductividad (1/resistividad), obtenida en base a la Ley de Ohm, utilizando la siguiente ecuación:

Ecuación para la medición de conductividad electrolítica:

$$C = (1/R) \cdot k$$

Donde:

- C = Conductividad electrolítica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens por cada centímetro).
- R = Resistencia eléctrica en Ω (ohms).
- K = Constante de la celda = 1 cm^{-1} .

Las unidades de resistencia, resistividad, conductancia y conductividad son:

- Resistencia : ohm
- Resistividad: ohm-cm, $\text{M}\Omega\text{-cm}$
- Conductancia: mho, siemens = $1/\text{ohm}$
- Conductividad: mho/cm, mmho/cm, siemens/cm, mS/cm

REFERENCIAS

- ADInstruments. (). Medición de pH. PowerLab ADInstruments.
- Broadley, James Corporation. (2000). Temperature Effects on pH Measurements. Volume XIV.
- Hunt, Robert C. (1995). How to Increase the Accuracy of Solution Conductivity Measurements. Sensor Development, Inc.
- James, W. L. (1988). Electric moisture meters for wood. FPL-GTR-6, USDA U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.
- OIML R 92. (1989). Wood-moisture meters – Verification methods and equipment: general provisions. OIML Organisation Internationale de Métrologie Légale.
- Pezet, F. y Mendoza, J. (1994). Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología. Publicación técnica CNM-MMM-PT-001. CENAM. México.
- PN01.1306. (2003). Project: The use of hand-held electrical moisture meters with commercially important Australian hardwoods. Part 1. Australian Government – Forest and wood products research and development corporation – CSIRO Forestry and forest products.

Conductividad

$\mu\text{S} / \text{cm}$