

La temperatura es una variable importante en la mayoría de los procesos industriales.

Su medición y control son vitales para asegurar uniformidad en la calidad de los productos terminados y para mantener dentro de los límites seguros, operaciones que entrañen riesgos de fuego y/o explosión. Dado que la temperatura es en sí, un índice del estado de energía cinética de un material, no puede medirse directamente como se mediría por ejemplo el nivel de un líquido. La medición debe entonces, basarse en los efectos del calor aplicable a los sólidos, líquidos o gases. El resultado de un incremento o disminución de este calor provoca cambios en alguna de estas características:

- Dimensiones
- Cambio de presión a volumen constante
- Cambio de la fuerza electromotriz (F.E.M.) desarrollada.
- Cambio de la resistencia eléctrica.
- Cambio de la radiación superficial.
- Cambio de color.

Termometría

Es la medición de temperatura.

Esta se fundamenta en la medida cuantitativa de calor, lo que resulta preferible que fundarlo sobre el cambio de propiedades de las sustancias.

Esto es, si se determinan dos temperaturas como puntos fijos, digamos el punto de ebullición y el de congelación del agua pura bajo condiciones normales; la unidad de calor sería la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una cantidad unitaria de agua desde uno de dichos puntos fijos al otro.

La medida fundamental de temperatura, depende de un acuerdo internacional con respecto a un termómetro de gas con volumen constante y dos temperaturas fijas: los puntos de congelación y ebullición del agua. El manejo de este termómetro resulta impráctico en la mayoría de procesos por lo que se han ideado otros medidores cuyas calibraciones se basan sobre valores fijos de temperatura.

Termocuplas

Consiste en dos metales no similares que genera una corriente en el circuito cuando sus juntas se mantienen en diferentes

La magnitud de esta corriente depende de la clase de metales usados y de las temperaturas de las juntas.

Los alambres para fabricar una termocupla se escogen de acuerdo a lo siguiente:

- Resistencia a la corrosión, oxidación, redacción y cristalización.
- Desarrollo de una F.E.M. relativamente alta, la más grande generada por su termopar comercial es cerca de 50 milivoltios.
- Una relación entre temperatura y F.E.M. de tal manera que el aumento de ésta sea aproximadamente uniforme al aumento de la temperatura.
- Costo

La tabla 1 señala los termopares más comunes:

Positivo Negativo Tipo M. Voltios °C(*)

Platino-Rodio Platino R 18.9 1610

(90%) (10%) S 1610

Cromoníquel Ni-Al K 39.7 982

Hierro Constantan J 41.7 760

Cobre Constantan T 15.77 315

(*) Máxima temperatura de operación

Selección de termocuplas

No se puede evitar el deterioro de los termopares a temperaturas altas. Mientras mayores sean éstas y más desfavorables las condiciones de operación será más rápido el daño. Una atmósfera altamente oxidante y reductora, reduce la vida de la termocupla. Esta condición se encuentra con alguna frecuencia y se puede notar su existencia por el aspecto del alambre de la termocupla. Se forma una gran cantidad de costra (oxidación) que fácilmente se desmorona.

Alambres de extensión:

Las termocuplas se conectan a los instrumentos de indicación o control localizados lejos del punto de medición por medio de alambres de extensión, preferiblemente del mismo material que el de los alambres de la termocupla.

El extremo soldado representa la junta caliente y la Junta fría los terminales exteriores del termopar.

La temperatura indicada por el instrumento corresponde a la diferencia de temperatura de dichas juntas. Si la temperatura de la junta fría se eleva, el instrumento indicará una disminución de temperatura aún cuando la temperatura en el proceso permanezca constante. Es evidente entonces, que se debe mantener la temperatura de la junta fría constante.

Los cables de extensión son conductores y sus propiedades termoeléctricas son similares a la termocupla correspondiente. Así, los cables de extensión para termocuplas J no deben usarse para la termocuplas K. Para las de Pt-Pt-Rh, los alambres de extensión resultan muy caros, por lo que se emplea alambre de cobre como extensión para el Pt-Rh, y alambre de aleación cobre + níquel para el Pt. Estos cables debidamente protegidos deben conectarse a la tierra para evitar la influencia de corrientes de escape en otras instalaciones eléctricas que provoquen errores en la medición.

El coeficiente de resistencia eléctrica debe ser pequeño para los metales que se usen como termopares. Como los milivoltímetros que son los que miden la F.E.M. dependen en su indicación de la corriente que pasa por su bobina es necesario que la resistencia eléctrica de todo el circuito sea lo más constante posible.

La sección transversal de los alambres del termopar es importante. Un alambre grueso resiste mejor a la acción química, que uno delgado. Además tiene menos resistencia eléctrica. La ventaja del alambre delgado es que es más sensible a los cambios de temperatura.

Construcción y aislamiento de termocuplas:

¿Qué es una Las termocuplas son el sensor de temperatura más

Termocupla? Común utilizado industrialmente.

Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Por ejemplo, una termocupla tipo J está hecha con un alambre de hierro y otro de constantan (aleación de cobre y Nickel).

Al colocar la unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42.2 Milivolts.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (Vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegidos adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal)

Tipos de Existen una infinidad de tipos de termocuplas, en la

Termocuplas tabla aparecen algunas de las más comunes, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son de tipo J del tipo K.

Uso típico en Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la

La industria industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio)

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

Las temperaturas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero)

Finalmente los tipos T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100 (ver la nota técnica 4)

Linealización La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla la temperatura no es lineal (no es una recta), es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, efectuar la **linealización**, es decir tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla, ver en tablas internas a que temperatura corresponde el voltaje.

Compensa El principal inconveniente de las termocuplas es su necesi-

ción de cero dad de compensación de cero. Esto se debe a que algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre.

En este punto se producirá dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, generando cada una un voltaje proporcional a la temperatura de ambiente (T_a) en el punto del empalme.

Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero voltaje ($T_a = 0$ y luego $V(T_a) = 0$)

Actualmente todos los instrumentos modernos miden la temperatura en este punto (mediante un sensor de

temperatura adicional) y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real.

El punto de empalme (llamado unión o juntura de referencia) es siempre en el conector a la entrada del instrumento pues ahí está el sensor de temperatura. De modo que es necesario llegar con el cable de la termocupla hasta el mismo instrumento.

Cables Cuando el instrumento está muy retirado del lugar de **compensado** medición, no siempre es posible llegar con el mismo cable de la termocupla. Esto ocurre especialmente cuando se está usando termocuplas R, S o B hechas con aleación de platino de muy alto precio.

La solución de este problema es usar los **cables compensados** para hacer la extensión del cable. Estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck de la termocupla (pero hechos de otro material de menor precio) y por lo tanto no generan termocuplas parásitas en el empalme.

Los cables compensados tienen una polaridad de conexión (+) y (–) que al conectarse con la termocupla se debe respetar.

Un error típico, es conectar al revés el cable en la termocupla y en el instrumento, de esta forma se genera un error en la lectura del orden de la temperatura de ambiente en el empalme.

En el caso particular de las lanzas usadas en la fundición de aceros, la termocupla se conecta en la punta con un cable compensado forrado en asbesto, que va por dentro de la lanza hasta el lado del mango. Ahí se empalma con otro cable compensado con revestimiento de goma más flexible que llega hasta la entrada del instrumento.

Es importante que estos dos cables compensados sean para el tipo de termocupla que se está usando y además estén conectados con la polaridad correcta (+) con (+) y (–) con (–). De otra forma será posible obtener una medición sin error.

Siempre se debe consultar al proveedor o fabricante del cable compensado por los colores que identifican los cables (+) y (+), pues las normas de estos colores varían con el tipo de termocupla y país de procedencia del cable.

Para verificar Para verificar que un instrumento de termocupla funciona

El funciona– correctamente, es conveniente hacer un corto o puente en

miento de un la entrada de modo que $V=0$, entonces el instrumento debe–

instrumento rá marcar la temperatura de ambiente. Ta que hay en el conector trasero donde se hizo el puente.

Un Tc tipo J está hecha con un alambre de hierro y otro de constatan. El alambre de hierro se puede conocer con un imán, además el hierro es gris opaco aunque algunas veces estos alambres se recubren con una delgada capa de cobre para evitar oxidación. El constantan (cobre – Nickel) es también magnético pero muy levemente, se reconoce mejor por que es plateado brillante.

Las termocuplas K están hechas con Cromel (Cromo – Aluminio) y Alumel (Aluminio – Nickel) ambos de color plateado brillante pero el alumen es levemente magnético por su contenido de Nickel.

Como medir Se debe medir con el voltímetro el voltaje que entrega la ter–

Temperatura mocupla y luego buscar en la tabla para la termocupla, a

Con un vol- que temperatura corresponde el voltaje.

Tímetro Finalmente sumarle a esta temperatura encontrada en la tabla, la temperatura de ambiente (temperatura del contacto por las puntas del voltímetro con los cables de la termocupla) para hacer la compensación de acero.

Un Pt 100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo)

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegidos dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal)

Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas (-100 a 200 °)

Los Pt 100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre, con lo cual el dispositivo medidos detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Este comportamiento es de gran ventaja en usos como cámaras frigoríficas donde una desviación no detectada de la temperatura podrá producir algún daño grave.

Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión.

Existen 3 modos de conexión para las Pt100, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto.

El objetivo es determinar exactamente la resistencia eléctrica $R(t)$ del elemento sensor de platino sin que influya en la lectura la resistencia de los cables R_c .

El modo más sencillo de conexión (pero **menos recomendado**) es con solo dos cables.

En este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable.

El lector medirá el total $R(t) + R_{c1} + R_{c2}$ en vez de $R(t)$.

Lo único que se puede hacer es usar cable lo más grueso posible para disminuir la resistencia de R_{c1} y R_{c2} y así disminuir el error en la lectura.

Por ejemplo si la temperatura es 90 °C, entonces $R(t) = 134.7$ ohms, pero si el cable R_{c1} tiene 1.3 ohms y el R_{c2} tiene 1.2 ohms entonces la resistencia medida será $134.7 + 1.3 + 1.2 = 137.2$ ohms y la lectura del instrumento será 96 °C.

Un cable común razonablemente grueso sería uno de diámetro equivalente a 18 AWG. La resistencia de este

cable es 0.0193 ohms por metro.

Por ejemplo si se usa este cable para medir una resistencia a 15 metros de distancia, la resistencia total de los cables será $15 \times 2 \times 0.0193 = 0.579$ ohms lo que inducirá un error de 1.5 °C en la lectura.

El modo de conexión de 3 hilos es **el más común** y resuelve bastante bien el problema de error generado por los cables.

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia eléctrica pues el sistema de medición se basa (casi siempre) en el puente de Wheatstone. Por supuesto el lector de temperatura debe ser para este tipo de conexión.

En el caso particular de los instrumentos, se hace pasar una corriente conocida a través de los cables azul y verde con lo cual el instrumento mide $2R_c$. Luego mide la resistencia por los cables café y azul para finalmente restarle $2R_c$ al valor medido y obtener $R(t)$.

Es el más preciso de todos, los 4 cables pueden ser distintos (distinta resistencia) pero el instrumento lector es el más costoso.

Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de $R(t)$ provocando una diferencia de potencial V en los extremos de $R(t)$.

Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables R_{c2} y R_{c3} será cero ($dV = I_c \cdot R_c = 0 \cdot R_c = 0$) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento $R(t)$.

Finalmente el instrumento obtiene $R(t)$ al dividir V medido entre la corriente I conocida.

Cualquiera que sea el método de conexión, se debe hacer pasar una cierta corriente I por el elemento sensor de modo de poder medir su resistencia. Esta corriente I llamada **corriente de excitación** la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo.

Un problema que puede ocurrir es que la corriente de excitación genere por el efecto Joule ($P = I^2 \cdot R$) un calentamiento del elemento sensor aumentando su temperatura y produciendo así un error en la lectura.

Este problema es más pronunciado mientras más pequeña sea la Pt100 (menor capacidad de disipación del calor generado) y a la vez mientras se esté midiendo en un medio menos conductor de calor. Por ejemplo es mayor cuando se mide temperatura en el Aire que cuando se la mide en el agua. Valores típicos del error producidos en un Pt100 son del orden de 0.5 °C por miliwatt generado cuando la Pt100 está en el aire sin circular y 0.05 °C con la misma Pt100 en el agua.

La potencia de autocalentamiento depende del cuadrado de la corriente de excitación, luego mientras menor sea la esta corriente, mucho menor será el efecto.

Finalmente se deben tener ciertas precauciones de limpieza y protección en la instalación de los Pt100 para prevenir errores por fugas de corriente.

Es frecuente que cables en ambientes muy húmedos se deterioren y se produzca un paso de corriente entre ellos a través de **humedad** condensada. Aunque mínima, esta corriente fugada hará aparecer en el lector una temperatura menor a la real.

Estas fugas también pueden ocurrir en óxido, humedad o polvo que cubre los terminales.

Para la descripción hecha de los métodos de medición, queda claro que a diferencia de las termocuplas, **no es posible conectar 2 unidades lectoras a un mismo Pt100** pues cada una suministra su corriente de excitación.

En el momento de comprar un Pt100 debe tener presente que existen **distintas calidades y precios** para el elemento sensor que va en el extremo del Pt100. Los de mejor calidad están hechos con un verdadero alambre de platino, en tanto que existen algunos sensores económicos hechos en base a una pintura conductora sobre un sustrato de alumina (cerámicas). Estos últimos son menos precisos.

En general no se debe montar un Pt100 en lugares sometidos a mucha **vibración** pues es probable que se fracture.

¿Cuándo y en qué aplicaciones usar una Termocupla J, Termocupla K o Pt100?

Las termocuplas J y K junto con los Pt100 son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, económicos y fáciles de reemplazar que existen.

Una termocupla es simplemente dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, del orden de los milivolts el cual aumenta proporcionalmente con la temperatura.

Las termocuplas J y K son económicas, físicamente muy rígidas y cubren un amplio rango de temperaturas (−180 a 1370 °C)

Un Pt100 es un sensor de temperatura hecho con un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo)

No es recomendable usar una termocupla cuando el sitio de medición y el instrumento están lejos (más de 10 a 20 metros de distancia). El problema de la termocuplas es que suministran un voltaje muy bajo y susceptible a recibir interferencias eléctricas. Además para hacer la extensión se debe usar un cable compensado para el tipo específico de termocupla lo que aumenta el costo de la instalación.

Tampoco es recomendable usar termocuplas cuando es necesaria una lectura de temperatura muy precisa (décima de °C) pues la compensación de cero requerida por las termocuplas introduce un error típicamente del orden de 0.5 °C

Otro problema que puede ocurrir con las termocuplas es que alguna contaminación u oxidación en los metales de la unión podrían provocar una lectura errónea (hasta 4 ó 5 °C) sin que se detecte la falla. Luego en algunos casos es conveniente verificar periódicamente la precisión de la lectura.

Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costoso y mecánicamente no tan rígida como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (−100 y 200 °).

Los Pt100 pueden fácilmente entregar precisiones de una décima de grado con la ventaja que la Pt100 no se descompone gradualmente entregando lecturas erróneas, si no que normalmente se abre con lo cual el dispositivo medidor detecta inmediatamente la falla del sensor y da aviso.

Además la Pt100 puede ser colocada a cierta distancia del medidor sin mayor problema (hasta unos 30 metros) utilizando cable de cobre convencional para hacer la extensión. (Aún así deben tomarse ciertas precauciones en la instalación. Ver la nota técnica 4)

Medición de -100 a 200 °C con una muy buena precisión y estabilidad.

Industrial de alimentos en general (envasado, pasteurización, cocción, conservación, etc.)

Circuitos de líquidos. (Aguas de enfriamiento, aceites, etc.)

Industria química (temperatura de reactivos)

Cámaras de secado (textiles, alimentos, papel, etc.)

Mediciones de 0 a 700 °C

Industria del plástico y goma (extracción e inyección)

Medición de tambores rotatorios con termocupla de contacto

Temperatura de motores (Carcaza) con termocupla autoadhesiva.

Procesos en general donde el sensor está sometido a vibración.

Fundición de metales hasta 1300 °C (no ferrosos)

Hornos en general

Usar cuando hay que poner las termocuplas en vainas muy delgadas. Por ejemplo en agujas de una jeringa para tomar temperatura en el interior de una fruta.

INTEGRANTES :CARLOS ROJAS

MARIO ZYRAR

MARCELO NOLI

Tc Cable + Cable – Rango (Min, Max) Volts Max Aleación Aleación °C mV

J Hierro Cobre/Nikel (-180,750) 42.2

K Nickel/cromo Nickel/aluminio (-180,1372) 54.8

T Cobre Cobre/nickel (-250,400) 20.8

R 87% Platino 100% Platino (0,1767) 21.09

13% Rhodio

S 90% Platino 100% Platino 0,1767) 18.68

10% Roído

B 70% Platino 94% Platino (0,1820) 13.814

30% Platino 6% Rhodio

La termocupla, hecha de metal A y metal B está sometida a una temperatura T. En los extremos de la termocupla se coloca un voltímetro con puntas de prueba de cobre a temperatura ambiente T_a .

Recorriendo el circuito se encuentra el voltaje V que marca el voltímetro.

$$V = V_{cu,a(T_a)} + V_{a,b(T)} + V_{b,cu(T_a)}$$

$$V = [V_{b,cu(T_a)} + V_{cu,a(T_a)}] + V_{a,b(T)}$$

$$V = V_{b,a(T_a)} + V_{a,b(T)}$$

$$V = V_{a,b(T)} - V_{a,b(T_a)}$$

El voltaje que nos interesa saber para conocer el valor de la temperatura T es $V_{a,b(T)}$, este se consigue despejando:

$$V_{a,b(T)} = V + V_{a,b(T_a)}$$

Luego conociendo T_a se busca en la tabla de la termocupla el valor de $V_{a,b(T_a)}$ y se suma a V medido en el voltímetro con lo que se obtiene $V_{a,b(T)}$. Ahora con este valor se busca en la tabla el valor de T.

Los instrumentos para TC miden T_a en su conector y suman esta cantidad $V_{a,b(T_a)}$ automáticamente para hacer la compensación de cero.

Para identificar una termocupla J y una K

¿Qué es un Pt100?

Ventajas del Pt100

Conexión de la Pt100

Con 2 hilos

Con 3 hilos

Con 4 hilos

Autocalentamiento y corriente de excitación

Precauciones

Porqué usar uno de estos

¿Qué es una termocupla?

¿Qué es un Pt100

¿Cuándo no usar una termocupla?

¿Cuándo usar un Pt100?

Usar Pt100 en:

Usar termocupla J

Usar termocupla K