

*Colegio Salesiano de Concepción  
Escuela Industrial "San José"  
Departamento de Electrónica*

# **MEDICIÓN DE TEMPERATURA**

Preparado por: Cristhian Beltrán Provoste

**Temperatura**, es el grado relativo de calor o frío que tiene un cuerpo

Todos los instrumentos de medición de temperatura cualquiera que fuese su naturaleza dan la misma lectura en cero por ciento (0%) y 100%, si se calibra adecuadamente, pero en otros puntos generalmente la lectura no corresponderá porque las propiedades de expansión de los líquidos varían, en este caso se hace una elección arbitraria y, para muchos fines será totalmente satisfactoria, sin embargo es posible definir una escala de temperatura de un gas ideal como base suprema de todo trabajo científico.

Las unidades de temperatura son °C, °F, °K, °Rankine, °Reamur, la conversión más común es de °C a °F.

$$t(^{\circ}\text{C}) = (t(^{\circ}\text{F}) - 32) / 1.8$$

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 \text{ } ^{\circ}\text{C} + 32$$

### Relación entre escalas de temperatura

Unidades de Temperatura

Escala	Cero Absoluto	Fusión del Hielo	Evaporación
Kelvin	0°K	273.2°K	373.2°K
Rankine	0°R	491.7°R	671.7°R
Reamur	-218.5°Re	0°Re	80.0°Re
Centígrada	-273.2°C	0°C	100.0°C
Fahrenheit	-459.7°F	32°F	212.0°F

La medida de temperatura constituye una de las medidas más comunes y más importantes que se efectúan en los procesos industriales. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios; es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- a) variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases);
- b) variación de resistencia de un conductor (sonda de resistencia);
- c) variación de resistencia de un semiconductor (termistores);
- d) f.e.m. creada en la unión de dos metales distintos (termopares o termocuplas);
- e) intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación);
- f) otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal...)

De este modo se emplean los instrumentos siguientes:

Termómetros de vidrio, termómetros bimetálicos, elementos primarios de bulbo y capilar rellenos de líquido o vapor, termopares, pirómetros de radiación, termómetros de resistencia, termómetros ultrasónicos, termómetros de cristal de cuarzo.

### **Termómetro de Vidrio**

El termómetro de vidrio consta de un depósito de vidrio que contiene, por ejemplo, mercurio y que al calentarse se expande y sube en el tubo capilar.

Su bulbo, relativamente grande en la parte más baja del termómetro, contiene la mayor cantidad del líquido, el cual se expande cuando se calienta y sube por el tubo capilar en el cual está grabada una escala apropiada con marcas.

Los márgenes de trabajo de los fluidos empleados son:

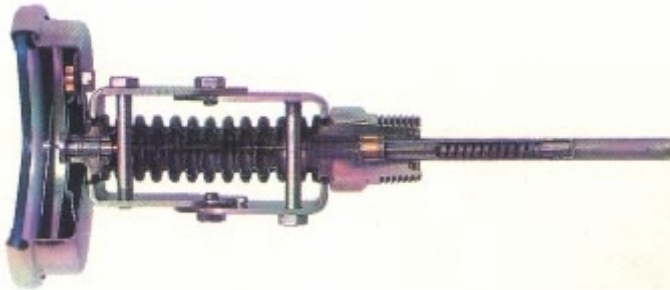
Mercurio.....	-35	hasta	+280	°C
Mercurio (tubo capilar lleno de gas).....	-35	hasta	+450	°C
Pentano.....	-200	hasta	+20	°C
Alcohol.....	-110	hasta	+50	°C
Tolueno.....	-70	hasta	+100	°C



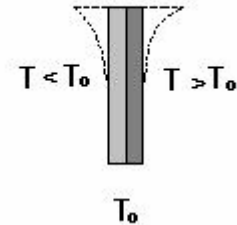
Los líquidos más usados son el alcohol y el mercurio. El alcohol tiene la ventaja de poseer un coeficiente de expansión más alto que el del mercurio pero está limitado a mediciones de baja temperatura debido a que tiende a hervir a temperaturas altas. El mercurio no puede usarse debajo de su punto de congelación de  $-38.78^{\circ}\text{F}$  ( $-37.8^{\circ}\text{C}$ ).

### **Termómetro Bimetálico**

Los termómetros bimetálicos se fundan en el distinto coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, monel o acero y una aleación de ferroníquel o Invar laminados conjuntamente. Las láminas bimetálicas pueden ser rectas o curvas, formando espirales o hélices.



**SENSOR BIMETALICO**



Un termómetro bimetálico típico contiene pocas partes móviles, sólo la aguja indicadora sujeta al extremo libre de la espiral o de la hélice y el propio elemento bimetálico.

El eje y el elemento están sostenidos con cojinetes y el conjunto está construido con precisión para evitar rozamientos. No hay engranajes que exijan un mantenimiento. La presión del instrumento es de 1% y su campo de medida (rango) es de  $-200$  a  $+500$  °C.

Dentro de sus aplicaciones más comunes es la de utilizarlo como termostato.

### **Termómetro de Bulbo y Capilar**

Los termómetros tipo bulbo consisten esencialmente en un bulbo conectado por un capilar a una espiral. Cuando la temperatura del bulbo cambia, el gas o el líquido en el bulbo se expanden y la espiral tiende a desenrollarse moviendo la aguja sobre la escala para indicar la elevación de la temperatura en el bulbo.

Hay tres clases de este tipo de termómetros:

- Clase I : Termómetros actuados por líquidos
- Clase II : Termómetros actuados por vapor
- Clase III : Termómetros actuados por gas
- Clase IV : Termómetros actuados por mercurio

El campo de medición de estos instrumentos varía entre  $-40$  hasta  $+500$  °C, dependiendo del tipo de líquido, vapor o gas que se emplee.



### **Termómetros de Resistencia Metálica. RTDs**

La medida de temperatura utilizando sondas de resistencia depende de las características de resistencia en función de la temperatura que son propias del elemento de detección.

El elemento consiste usualmente en un arrollamiento de hilo muy fino del conductor adecuado bobinado entre capas de material aislante y protegido con un revestimiento de vidrio o de cerámica. El material que forma el conductor se caracteriza por el llamado "coeficiente de temperatura de resistencia" que expresa a una temperatura especificada, la variación de la resistencia en ohmios del conductor por cada grado que cambia su temperatura.

Los materiales que forman el conductor de la resistencia deben poseer las siguientes características:

1. Alto coeficiente de temperatura de la resistencia, tal que de este modo el instrumento de medida será muy sensible.
2. Alta resistividad, ya que cuanto mayor sea la resistencia a una temperatura dada tanto mayor será la variación por grado (mayor sensibilidad).
3. Relación lineal resistencia-temperatura.
4. Rigidez y ductibilidad, lo que permite realizar los procesos de fabricación de estirado y arrollamiento del conductor en las bobinas de la sonda, a fin de obtener tamaños pequeños (rapidez de respuesta).
5. Estabilidad de las características durante la vida útil del material.

Los materiales que se usan normalmente en las sondas de resistencia son el Platino y el Níquel.

Características de sondas de resistencia

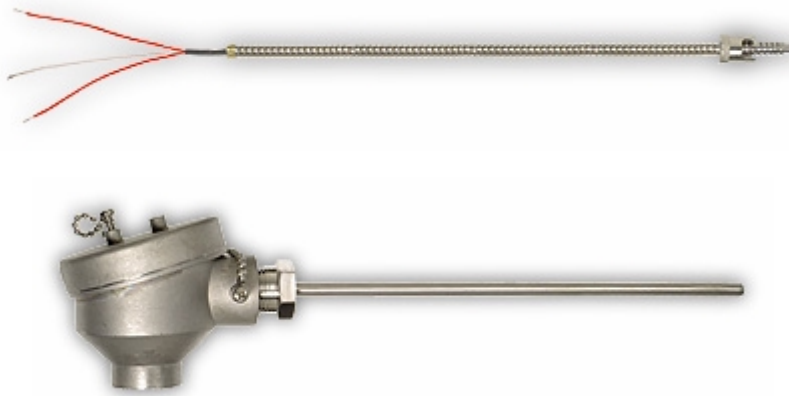
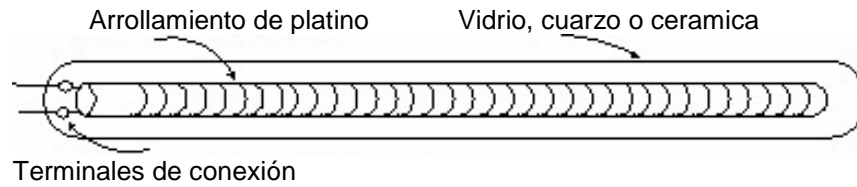
<i>Metal</i>	<i>Intervalo útil de temperatura en °C</i>	<i>Costo relativo</i>	<i>Resis. sonda a 0°C, ohmios</i>	<i>Precisión °C</i>
Platino	-200 a 950	Alto	25,100, 130	0,01
Níquel	-150 a 300	Medio	100	0,50
Cobre	-200 a 120	Bajo	10	0,10

El platino es el material más adecuado desde el punto de vista de precisión y de estabilidad pero presenta el inconveniente de su costo. En general la sonda de resistencia de platino utilizada en la industria tiene una resistencia de 100 ohmios a 0° C.

El níquel es más barato que el platino y posee una resistencia más elevada con una mayor variación por grado, sin embargo tiene por desventaja la falta de linealidad en su relación resistencia-temperatura y las variaciones que experimenta su coeficiente de resistencia según los lotes fabricados.

El cobre tiene una variación de resistencia uniforme, es estable y barato, pero tiene el inconveniente de su baja resistividad.

Las bobinas que llevan arrollamiento de hilo de resistencia están encapsuladas dentro de un tubo de protección o vaina de material adecuado al fluido del proceso (acero, acero inox. 304, acero inox. 316, hastelloy, monel, etc.)



Aspecto físico de una RTD con vaina de protección y cabezal de conexión

Las variaciones de resistencia de las sondas es medida con un puente de Wheastone dispuesto en montajes denominados de dos hilos, de tres hilos o de cuatro hilos, según sean los hilos de conexión de la sonda de resistencia al puente.

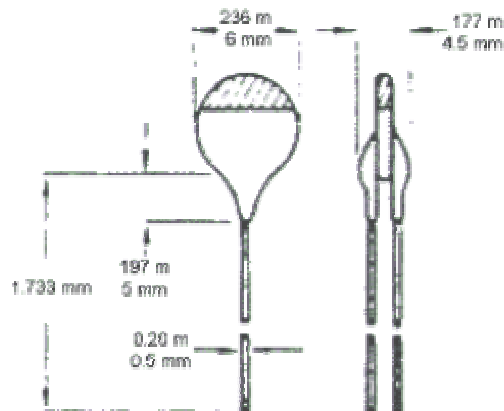
## Termistores

Son resistores variables con la temperatura, pero no están basados en conductores como las RTD, sino en semiconductores. Si su coeficiente de temperatura es negativo se llaman NTC (negative temperature coefficient), mientras que si es positivo, se denominan PTC. Los símbolos respectivos son los de la figura donde el trazo horizontal en el extremo de la línea inclinada indica que se trata de una variación no lineal.



La principal característica de este tipo de resistencias es que tienen una sensibilidad del orden de diez veces mayor que las metálicas y aumenta su resistencia al disminuir la temperatura.

Los termistores son semiconductores electrónicos con un coeficiente de temperatura de resistencia negativo de valor elevado, por lo que presentan unas variaciones rápidas y extremadamente grandes para los cambios relativamente pequeños en la temperatura. Los termistores se fabrican con óxidos de níquel, manganeso, hierro, cobalto, cobre, magnesio, titanio y otros metales, y están encapsulados.



Al tener un alto coeficiente de temperatura poseen una mayor sensibilidad que las sondas de resistencia y permiten incluso intervalos de medida de  $1^{\circ}\text{C}$  (*span*). Son de pequeño tamaño y su tiempo de respuesta depende de la capacidad térmica y de la masa del termistor.

La distancia entre el termistor y el instrumento de medida puede ser considerable siempre que el elemento posea una alta resistencia comparada con la de los cables de unión. La corriente que circula por el termistor a través del circuito de medida debe ser baja para garantizar que la variación de resistencia del elemento sea debida exclusivamente a los cambios de temperatura del proceso.

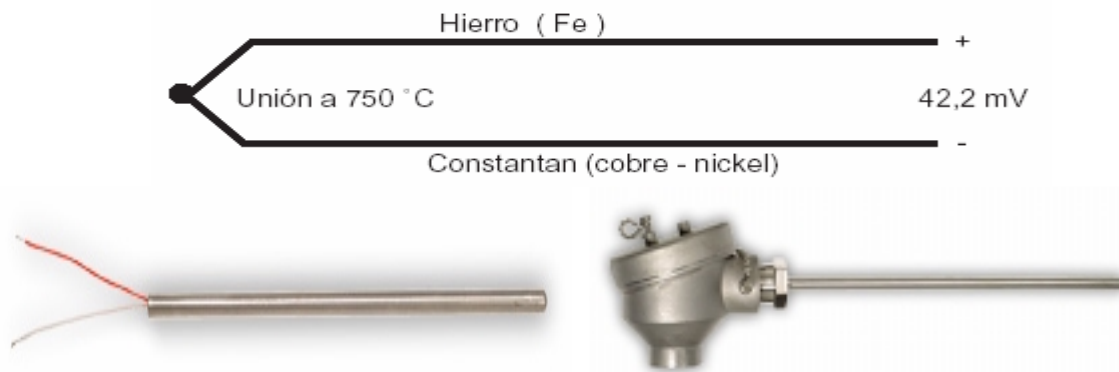
Los termistores encuentran su principal aplicación en la medición, la compensación y el control de temperatura, y como medidores de temperatura diferencial.

## Termopares o Termocuplas

Un termopar es un dispositivo capaz de convertir la energía calorífica en energía eléctrica. Su funcionamiento se basa en los descubrimientos hechos por Thomas Seebeck en 1821 cuando hizo circular corriente eléctrica en un circuito, formado por dos metales diferentes cuyas uniones se mantienen a diferentes temperaturas, esta circulación de corriente obedece a dos efectos termoeléctricos combinados, el efecto Peltier que provoca la liberación o absorción de calor en la unión de dos metales diferentes cuando una corriente circula a través de la unión y el efecto Thompson que consiste en la liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente.

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



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, protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

La elección de los alambres para termocuplas se hace de forma que tengan una resistencia adecuada a la corrosión, a la oxidación, a la reducción y a la cristalización, que desarrollen una f.e.m. relativamente alta, que sean estables, de bajo costo y de baja resistencia eléctrica y que la relación entre la temperatura y la f.e.m. sea tal que el aumento de ésta sea (aproximadamente) paralelo al aumento de la temperatura.

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo **J** o del tipo **K**.

La tabla siguiente muestra las 6 termocuplas más comunes, y el intervalo de medida de temperatura

<i>Tipo</i>	<i>Intervalo de medida</i>
Tipo <b>E</b> , Cromel – Constantán	-200 a 900 °C
Tipo <b>T</b> , Cobre – Constantán	-250 a 400 °C
Tipo <b>J</b> , Hierro – Constantán	-180 a 750 °C
Tipo <b>K</b> , Cromel (Nickel/Cromo) – Alumel (Nickel/Aluminio)	-180 a 1372 °C
Tipo <b>R</b> , 87% Platino/13% Rhodio – 100% Platino	0 a 1767 °C
Tipo <b>S</b> , 90% Platino/10% Rhodio – 100% Platino	0 a 1767 °C



**Cromel - Constantán (E)**

Puede usarse en vacío o en atmósfera inerte o medianamente oxidante o reductora. Esta termocupla posee la f.e.m. más alta por variación de temperatura.

**Cobre - Constantán (T)**

Tiene una elevada resistencia a la corrosión en atmósferas húmedas. Pueden ser usados en atmósferas reductoras y oxidantes.

**Hierro - Constantán (J)**

Son recomendables para usarse en atmósferas donde existe deficiencia de oxígeno libre. Son recomendables ampliamente en atmósferas reductoras. Como tienen un precio relativamente bajo son muy usadas para la medición de temperaturas dentro de su rango recomendado.

**Cromel - Alúmel (K)**

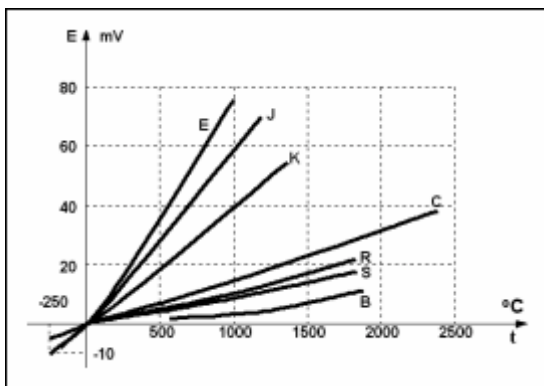
Este tipo de termopares presta un servicio óptimo en atmósferas oxidantes aunque también se puede usar en atmósferas reductoras o alternativamente oxidantes o reductoras, siempre y cuando se use un tubo de protección apropiado y ventilado.

**Platino - Radio (R y S)**

Si se cuenta con una protección adecuada sirven para la medición de temperaturas muy altas en atmósferas oxidantes. Estos termopares se contaminan con facilidad cuando se usan en cualquier otra atmósfera por lo que deben ser tomadas algunas precauciones en el caso de usarse en estas condiciones, mediante tubos de protección adecuados. Los vapores metálicos, el hidrógeno y los silicónes son veneno para este tipo de termopares.

Sus precios, comparando con los demás termopares discutidos son más altos y su f.e.m. son pequeñas por lo que la aplicación de este tipo de termopares está restringida a altas temperaturas.

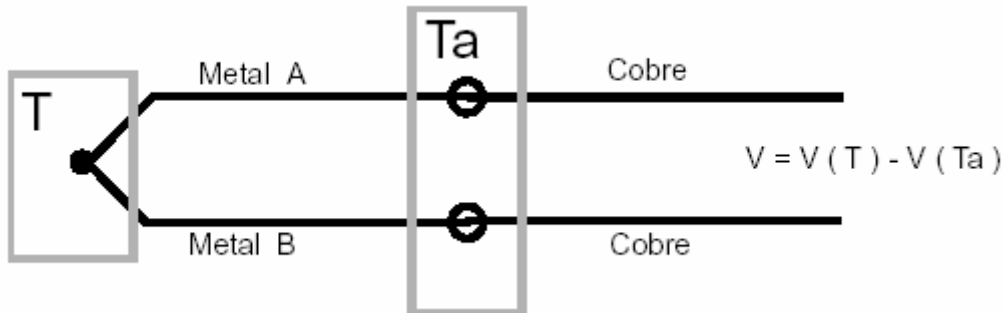
**Linealización;** la dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal (no es una recta), es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar o transmitir la lectura, efectuar la **linealización**, es decir, tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla,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



Curva característica f.e.m. versus temperatura.

**Compensación de cero;** el principal inconveniente de las termocuplas es su necesidad de “compensación de cero”. Esto se debe a que en algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre.

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



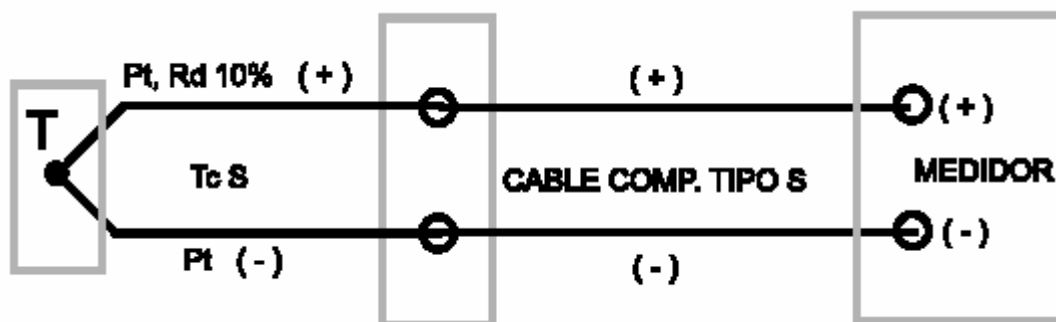
Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero voltaje ( $T_a=0$  y luego  $V(T_a=0)$ ).

Actualmente todos los instrumentos modernos miden la temperatura en ese 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 compensados;** cuando el instrumento está muy retirado del lugar de medición, no siempre es posible llegar con el mismo cable de la termocupla al instrumento. Esto ocurre especialmente cuando se están usando termocuplas R o S hechas con aleación de Platino de muy alto precio.

La solución de este problema es usar los llamados “**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.



## **Termopozo**

Un termopozo es un dispositivo de protección de los elementos primarios de medición de temperatura que evita que estos se dañen por la acción de fluidos corrosivos, altas velocidades y presiones. Además provee la facilidad de cambio del instrumento de medición sin necesidad de suspender o parar el proceso.

Los termopozos pueden ser seleccionados en varios tipos, dependiendo de la necesidad de aplicación y pueden ser roscados, bridados, soldables, etc.

Los termopozos son vainas o fundas hechas de un material térmico conductivo que sirve para separar el elemento sensor del medio de medición. Un termopozo es recomendado especialmente para medir sustancias. Además un termopozo protege al sensor contra la medición de sustancias agresivas y permite al sensor que sea fácilmente reemplazado.



Es muy importante que el termopar no toque la pared del termopozo.

### **CRITERIOS QUE SE DEBEN TOMAR PARA LA ELECCION DEL TERMOPOSO**

- Que sea resistente a la temperatura.
- Acción de gases oxidantes y reductores.
- Que contengan una conductividad térmica muy alta para hacer una transferencia de energía rápida.
- Resistente a los cambios bruscos de temperatura.
- Resistente a los esfuerzos mecánicos.
- Resistente a la corrosión de vapores ácidos.

### **MATERIAL DE TERMOPOSOS**

#### **Hierro Fundido - Dulce y Acero**

Es de reemplazo económico, no justifica la compra de otro. No es muy bueno para atmósferas oxido - reductoras.

#### **Hierro - Cromo**

Resistente a altas temperaturas y ambientes oxidantes, puede usarse en ambiente con azufre.

#### **Hierro Cromo - Níquel**

Es muy resistente a altas temperaturas y ambientes oxidantes, no acepta al azufre.

#### **Acero Inoxidable 304-316**

Resistente a la corrosión química, a altas temperaturas y ambiente con amoniaco.

Existen termopozos de vidrio cuando no se aceptan aceros inoxidables, se pueden recubrir con PVC, Tantalio para resistir la corrosión y otros factores.

El vidrio se emplea en atmósferas de benceno, amoniaco, etc.

### ***Pirómetro de Radiación***

Hasta ahora se ha visto instrumentos que miden la temperatura por calentamiento directo del elemento medidor, los pirómetros de radiación no necesitan estar en contacto íntimo con el objeto caliente. Este aparato utiliza la ley de Stephan Boltzmann de energía radiante, la cual establece que la superficie de un cuerpo es proporcional a la 4ta potencia de su temperatura absoluta:

$$W=KT^4$$

W = Energía emitida por un cuerpo

T= Temperatura absoluta (°K)

K= Constante de Stephan Boltzmann =  $4.92 \times 10^{-8}$  Kcal/m<sup>2</sup>

Los pirómetros de radiación para uso industrial , fueron introducidos hacia 1902 y desde entonces se han construido de diversas formas. Existen de tipo espejo y lente . El medio de enfocar la radiación que le llega puede ser una lente o un espejo cóncavo; el instrumento suele ser de "foco fijo" o ajustable en el foco, y el elemento sensible puede ser un simple par termoelectrico en aire o en bulbo de vacío o una pila termoelectrica de unión múltiple en aire. La fuerza electromotriz se mide con un milivoltímetro o con un potenciómetro, con carácter indicador, indicador y registrador o indicador, registrador y regulador.

El pirómetro de radiación se puede recomendar en lugar del termoelectrico en los casos siguientes:

- donde un par termoelectrico sería envenenado por la atmósfera de horno
- para la medida de temperaturas de superficies
- para medir temperaturas de objetos que se muevan
- para medir temperaturas superiores a la amplitud de los pares termoelectricos formados por metales comunes
- donde las condiciones mecánicas, tales como vibraciones o choques acorten la vida de un par termoelectrico caliente
- cuando se requiere gran velocidad de respuesta a los cambios de temperatura.



### ***Pirómetro Óptico***

Cuando la energía radiante es a la vez luminosa, como sucede con las flamas y los metales fundidos se utiliza un pirómetro óptico, cuyo principio se basa en la variación de la resistencia de una fotocelda al variar la intensidad de la luz a la que esta expuesta.

