

6.- Sensores de Temperatura

Cada proceso en la industria debe ser controlado de alguna manera, y esta necesidad muchas veces también incluye la medición de la temperatura.

Se dispone de una gran variedad de sensores de temperatura para realizar las mediciones de la temperatura. El ingeniero debe decidir cual de los sensores debe seleccionar para cada situación en particular.

A fin de seleccionar el mejor, para cada aplicación, se deben tener en cuenta varios factores:

- Temperatura Máxima
- Rango de Temperatura a medir
- Exactitud
- Velocidad de respuesta
- Costo
- Requerimiento de mantenimiento.

Estos factores serán analizados a continuación en relación con los sensores de uso mas frecuente, en las industrias de procesos, Termocuplas, Termo resistencias, Termistores, Sistemas de dilatación, a continuación se describen algunos sensores de temperatura con sus rangos. Estos rangos no representan los extremos alcanzables, sino los limites que pueden medirse con los dispositivos disponibles por lo general en el mercado y que son suministrados por la mayoría de los fabricantes. Se pueden medir mayores y menores temperaturas pero generalmente con una exactitud menor y un mayor costo.

Sensor de Temperatura	Temp. Mínima	Temp. Máxima
Termocuplas	- 220 ° C	2800 ° C
Sistemas de Dilatación	-195 ° C	760 ° C
Termo resistencias	-250 ° C	850 ° C
Termistores	-195 ° C	450 ° C
Pirómetros de Radiación	- 40 ° C	4000 ° C

6.1.- Termocuplas

Una termocupla es un transductor de temperatura, constituido por dos conductores (alambres), que desarrollan una f.e.m. que es función de la diferencia de temperatura entre sus uniones, una caliente ubicada en el lugar a medir temperatura, y una fría tomada como referencia.

Las termocuplas se fabrican con metales puros o sus aleaciones, y se usan para medir temperaturas que van desde los aproximadamente 80 grados hasta aproximadamente los 1800 grados centígrados, con termocuplas estándares, con aleaciones especiales pueden llegarse a temperaturas superiores a los 3000 grados centígrados.

A pesar de los avances efectuados con otros sensores de temperatura, las termocuplas continúan siendo los más usados debido al intervalo de temperatura en el cual pueden utilizarse, su bajo costo y su versatilidad, la desventaja mas relevante es que las termocuplas miden diferencias de temperatura y no temperatura absoluta, por lo que debe usarse una junta de referencia.

Para la medición de la temperatura, las termocuplas se basan en los siguientes efectos:

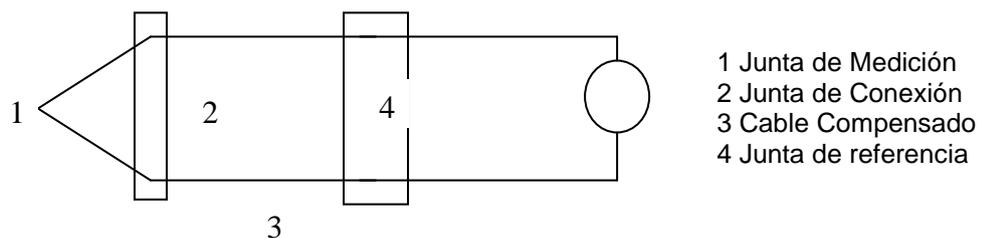
Efecto Peltier: Dos conductores de diferente composición, a la misma temperatura tienen diferentes densidades de portadores de cargas libres, por lo tanto cuando estos conductores se ponen en contacto entre si por medio de una unión rígida (soldadura), a través de esta

unión hay una difusión de electrones desde el conductor de mayor densidad electrónica al de menor densidad. Cuando esto sucede el conductor que entrega electrones adquiere una polaridad positiva con respecto al otro, este voltaje es función de la temperatura de la unión entre los conductores que constituyen el par. Sus los coeficientes de temperatura típicos van desde 10 a 50 micro voltios por grado centígrado.

Efecto Thomson: Si en un conductor se mantienen sus extremos a diferentes temperaturas se produce un flujo de calor que tiende a establecer el equilibrio térmico, ese flujo de energía calórico es transportada por electrones, por lo tanto en los extremos del material aparece una diferencia de potencial que es proporcional a la diferencia de temperatura, Los coeficiente típicos de la f.e.m. de Thomson para cero grado centígrado varían desde 2 micro voltios por grado centígrado para el Cu. Hasta menos veintitrés para el Constantán.

La combinación de ambos efectos se resume en el llamado efecto Seebeck. Cuando los dos materiales A y B cuyos extremos se hallan a dos temperaturas diferentes T1 y T2, se sueldan en uno de los extremo, aparece una f.e.m. de Seebeck, ese flujo de energía calórica, es transportado por electrones, por lo tanto, entre los extremos de los materiales aparece una diferencia de potencial, que es proporcional a la diferencia de temperatura.

Uno de los extremos, la junta de medición se coloca en el lugar donde se ha de medir la temperatura. Los dos conductores salen del área de medición y terminan en el otro extremo, la junta de referencia, se produce entonces una fuerza electromotriz, que es función de la diferencia de temperatura entre las dos uniones.



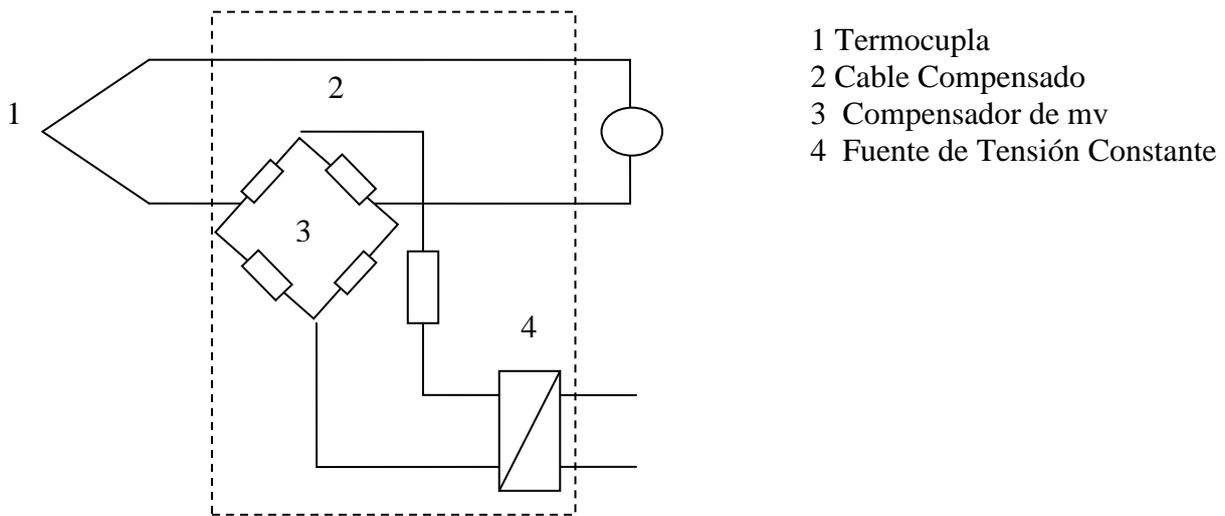
Puesto que la f.e.m neta generada es función de la diferencia de temperatura entre las juntas de medición y la junta de referencia, se requiere el control o la compensación de la temperatura de la junta de referencia (o junta fría) lo cual se puede lograr de tres maneras:

El método básico y mas exacto es el de controlar la temperatura de la junta de referencia, normalmente colocando la junta en un baño de hielo (0 °C).

Otro de los métodos consiste en medir la temperatura en la junta de referencia utilizando cualquier tipo de dispositivo de medición de temperatura y luego en base a esa temperatura, y a la salida eléctrica (f.e.m.) de la junta de medición compensar la lectura de la temperatura de la junta de medición.

6.1.2.- Sistema de Compensación Electrónico

El tercer método es una compensación electrónica, que también implica utilizar un dispositivo sensor de temperatura, para medir la temperatura de la junta de referencia sin embargo en vez de calcular la compensación a ser aplicada a la salida de la junta de medición al sensor de temperatura de la junta de referencia se halla incorporado dentro del circuito electrónico de la termocupla, donde se agrega o quita los milivolts innecesarios de la junta de referencia, a fin de corregir automáticamente la salida de la termocupla.



Como se vera mas adelante, es de fundamental importancia la prolongación de los alambres de la termocupla, muchas veces hasta la junta de referencia, que puede estar lejos de la junta de medición y no siempre afectadas a las altas temperaturas de medición, como es el caso de las alambres de la termocupla. Es allí donde aparece el uso de cables compensados.

Su misión es únicamente la de trasladar la junta de referencia hasta un lugar adecuado, de temperatura estables, y luego utilizar para compensar el error cualquiera de los dos primeros sistemas de compensación de junta fría mencionados.

En el caso del tercer método, sistema de compensación electrónico, la finalidad del cable compensado es llevar el sistema de compensación hasta un lugar con temperatura inferior a los 60° grados centígrados, ya que todos estos sistemas son electrónicos y trabajan a temperaturas ambiente entre -10 °C y 60 °C..

Los Cables compensados reproducen las mismas curvas de respuestas y de tolerancia mV. / °C que las termocuplas entre los 0 °C y 200 °C.

Se los utiliza solamente por razones económicas, ya que su composición química difiere de las aleaciones de la termocupla, buscándose materiales más económicos.

6.1.3.- Termocuplas Estándares

Hay siete tipos de termocuplas que tiene designaciones con letras elaboradas por la Instrument Society of América (ISA). El U.S. Nacional Boreal of Standards (NBS), por su parte ha preparado tablas de correlación temperaturas / f.e.m. para estas termocuplas, las que han sido publicadas por el American National Standard Institute (ANSI) y la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Durante el año 1980, se ha procedido a unificarlas Normas Europeas DIM alemanas, BS inglesas, NF francesas, y las antes dichas ANSI norteamericanas, en cuanto a la correlación de temperaturas y f.e.m., así como en lo que hace a las tolerancias de estas f.e.m. en las distintas aleaciones. Esto ha quedado homologado en la Norma IEC 584 Internacional Electrotechnical Comisión.

Los alcances de temperatura de estas siete termocuplas, como así sus valores de f.e.m. , de acuerdo a su composición, no son los valores máximos que se pueden obtener, ya que se pueden construir termocuplas especiales, las que tiene precios superiores y generalmente menores precisión en sus valores de medición.

6.1.3.1.- Tipo B: (Pt Rh 30%-Pt Rh 6%)

Esta termocupla esta formada, en una de sus alambres por una aleación de platino y rodio, Pt y Rodio 30% y la otra Pt y Rodio 6%. La gran ventaja de esta termocupla es su capacidad

para medir temperaturas altas, mayor estabilidad y resistencia mecánica, y su aptitud para ser utilizada sin compensación de junta de referencia para variaciones normales de temperaturas ambientes.

Las termocuplas tipo B resultan satisfactorias para realizar mediciones continuas en atmósferas oxidantes o inertes hasta los 1700 °C. también trabajan satisfactoriamente durante cortos periodos de tiempo en vacío.

La desventaja de la termocupla tipo B son su baja tensión de salida y su incapacidad de ser utilizadas en atmósferas reductoras, de hidrógeno, o monóxido de carbono, y cuando se encuentran presente vapores metálicos de plomo o zinc y no metálicos de arsénico, fósforo, o azufre.

Para protección nunca se debe usar con un tubo de protección metálico o termo vaina, por su facilidad de contaminación.

6.1.3.2.- Tipo R: (Pt Rh 13%- Pt)

Esta termocupla esta formada, en una de sus alambres por una aleación de platino y rodio, Pt y Rodio 13% y la otra de platino Pt. Esta termocupla puede ser utilizada en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta los 1400 °C.. Tiene menor estabilidad que la termocuplas antes mencionadas, Tipo B, cuando son utilizadas para realizar mediciones en vacío

La ventaja de la termocupla Tipo R sobre las Tipo B es su mayor f.e.m. de salida.

Las termocuplas Tipo R nunca se deben utilizar para realizar mediciones en atmósferas reductoras, ni tampoco aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducibles, a menos que se las protejan adecuadamente, con tubos de protección no metálicos.

Para su protección nunca se debe utilizar tubos u termo vainas metálicas en forma directa, para evitar su contaminación.

6.1.3.3.- Tipo S: (Pt Rh 10%- Pt)

Esta termocupla esta formada, en una de sus alambres por una aleación de platino y rodio, Pt y Rodio 10% y la otra de platino Pt. Es la termocupla original de platino rodio, es a su vez estándar internacional (Escala Práctica Internacional de Temperaturas de 1968 IPTS-68) para la determinación de temperaturas entre el punto de solidificación del antimonio 630,74°C y el punto de solidificación del oro 1064,43 °C.

Las termocuplas Tipo S al igual que las Tipo R pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta los 1480 °C

Las termocuplas Tipo S nunca se deben utilizar para realizar mediciones en atmósferas reductoras, ni tampoco aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducibles, a menos que se las protejan adecuadamente, con tubos de protección no metálicos.

Son menos estables que las termocuplas Tipo B, cuando son utilizadas para realizar mediciones en vacío.

Para su protección nunca se debe utilizar tubos u termo vainas metálicas en forma directa, para evitar su contaminación.

6.1.3.4.- Tipo J: (Fe – Cu Ni)

Esta termocupla esta formada, una de sus alambres por Hierro y la otra por una aleación de Cobre y Níquel.

Esta termocupla Tipo J es conocida como termocupla hierro constantán, es la segunda mas utilizada en los EE.UU. El hierro es el conductor positivo, mientras que para el conductor negativo se recurre a una aleación de Cobre al 55 % y de Níquel en un 45%, la aleación de Cu-Ni es la denominada constantán.

Las termocuplas Tipo J resultan satisfactorias para el uso continuo en atmósferas oxidante, reductores e inertes y en vacío hasta los 760 °C, por encima de los 540 °C, el alambre de hierro

se oxida rápidamente, requiriéndose entonces alambres de mayor diámetro para extender su vida útil de servicio.

La ventaja fundamental de este tipo de termocupla es su bajo costo. En cambio tiene como desventaja el no poder ser utilizada para mediciones en atmósferas sulfurosas por encima de los 540 °C, a causa de su oxidación y fragilidad no se recomienda para mediciones de temperaturas por debajo del 0 °C.

No deben ser sometidas a ciclos de medición por encima de los 760 °C, aun durante cortos periodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a ser necesitadas para realizar mediciones exactas por debajo de esa temperatura.

El constantan utilizado en la termocupla Tipo J, no es intercambiable con el constantán de las termocuplas Tipo T y Tipo E, ya que el constantán es el nombre genérico de la aleación cobre níquel con un contenido de cobre que varía entre un 45% y un 60 %.

Los fabricantes de termocuplas Tipo J regulan la composición de cobre níquel de manera que la f.e.m. de salida de la termocupla siga la curva de calibración publicada. Los elementos fabricados por diferentes empresas son con frecuencia no intercambiables para el mismo tipo de termocupla.

6.1.3.5.- Tipo K: (Ni Cr – Ni)

La termocupla Tipo K se la conoce también como termocupla Chromel- Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90 % de níquel, y 10 % de cromo, el Alumel es una aleación de 95 % de níquel, más aluminio, silicio y manganeso, razón por la cual la Norma IEC la especifica como Ni Cr – Ni. La termocupla Tipo K es la mas usada en la industria debido, a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J , y pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes, inertes hasta una temperatura de 1260 °C, y son las mas satisfactorias para el uso en atmósferas reductoras, o sulfurosas y en vacío.

6.1.3.6.- Tipo T: (Cu - Cu Ni)

La termocupla Tipo T se la conoce también como termocupla Cobre Constantan.

Se las utilizadas en forma continua en vacío y en atmósferas oxidantes, reductoras, o inertes. Su principal desventaja reside en el hecho de que su límite máximo de temperatura es de tan solo 370 °C. para un diámetro de alambre de 3,25 mm.

Aunque la termocupla tipo T resulten adecuadas para mediciones por debajo del °C., la ASTM recomienda para ese tipo de mediciones la termocupla tipo E.

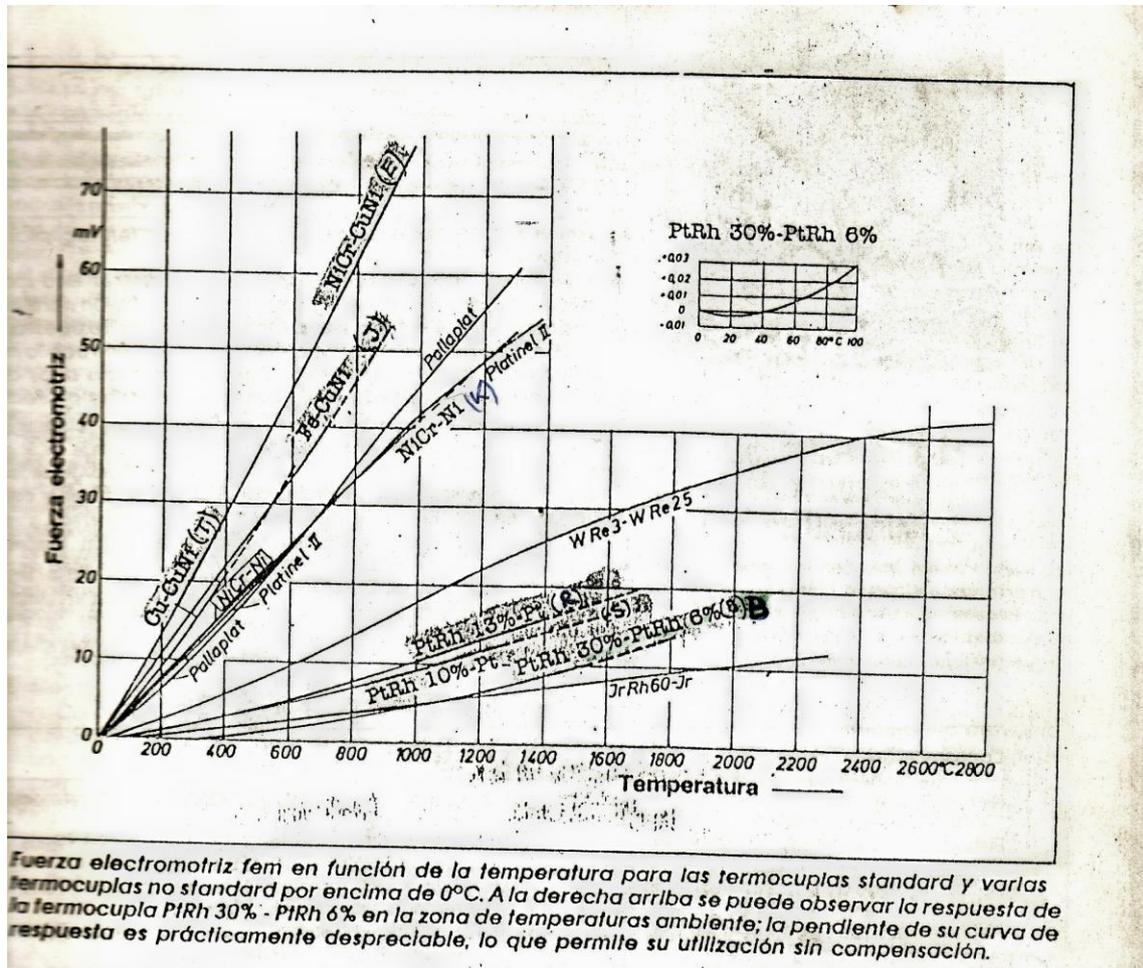
6.1.3.7.- Tipo E: (Ni Cr –Cu Ni)

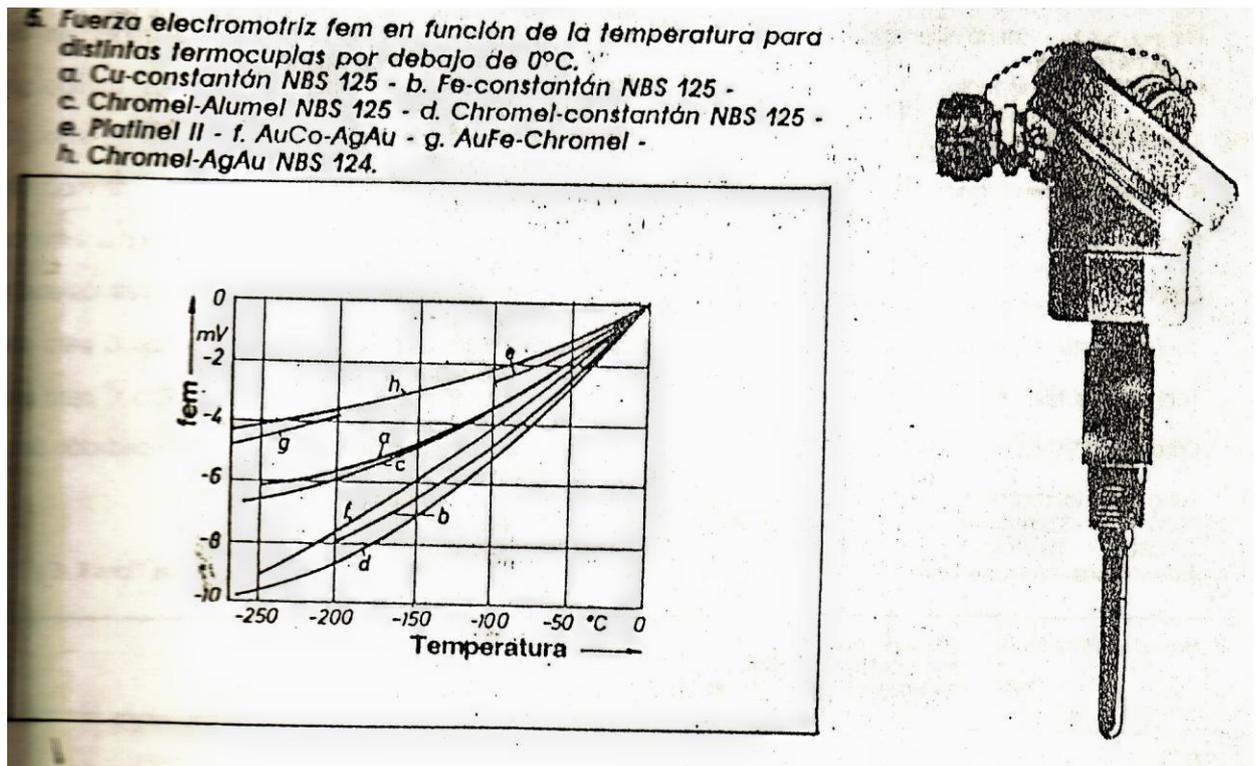
La termocupla Tipo E o termocupla Chromel- Constantan, posee la mayor f.e.m. de salida de todas las termocuplas estándares. Para un diámetro de 3,25 mm. de alambre su alcance recomendado es de -200 a 980 °C. La termocupla Tipo E, y pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes, inertes y resultan particularmente adecuadas para el uso en atmósferas húmedas a temperaturas subcero a raíz de su elevada f.e.m. de salida y su buena resistencia a la corrosión. La termocupla Tipo E es mejor que la Tipo T para este propósito a causa de su mayor f.e.m. de salida y puesto que la conductibilidad térmica del alambre de Chromel es menor que la del alambre de Cu. de la termocupla Tipo T.

Tipo	Denominación	Composición / Símbolo	Rango de Temperatura	Diámetro del Alambre	F.E.M. en MV
B	Platino Rodio 30% Platino Rodio 6%	Pt Rh 30% Pt Rh 6 %	0 – 1500 (1800)	0,35 – 0,5	0 – 10,094 (13,85)
R	Platino Rodio 13% Platino	Pt Rh 13% Pt	0 – 1400 (1700)	0,35 – 0,5	0 – 16,055 (20,215)
S	Platino Rodio 10% Platino	Pt Rh 10% Pt	0 – 1300 (1600)	0,35 – 0,5	0 – 13,155 (15,576)
J	Hierro Constantan	Fe – Cu.Ni.	-200 – 700 (900)	3	- 7,89 – 39,130 (51,485)

Elementos y Equipos Eléctricos

K	Níquel Cromo – Níquel Chromel - Alumel	Ni.Cr - Ni	0 – 1000 (1300)	2 – 3	0 – 41,269 (52,398))
T	Cobre Constantan	Cu - Cu.Ni.	-200 – 370 (400)	0,5	-5,60 14,86 (20,86)
E	Níquel Cromo – Constantan	Ni.Cr - Cu.Ni.	-200 – 700 (900)	3	-9,83 - 53,11 (68,78)





6.1.4.- Termocuplas No Estándares

Hay muchos otros materiales que se utilizan para construir termocuplas además de aquellos que tiene asignada una denominación con la letra por la ISA (IEC), estas otras termocuplas exhiben características especiales que no se encuentran en los tipos estándares, lo cual las hace adecuadas para aplicaciones especiales. Las características y la f.e.m. de salida pueden variar de un fabricante a otro, razón por la que se debe consultar al fabricante en relación a aplicaciones especiales.

Hay una aleación en particular muy difundida en nuestro país, que debemos considerar por separado. Se trata de la aleación hierro constantan (Fe – Cu Ni), quizás la mas difundida antes de la homologación de las Normas ANSI MC 96.1 (IPTS – 68) y DIN 43710, las mas importantes a nivel mundial. La curva de esta aleación identificada por IEC con la letra L presenta una diferencia con la tipo J vista anteriormente aun cuando sus composiciones químicas sean similares de casi 13 °C en 600 °C. Sin embargo en nuestro medio se la confunde con su similar Tipo J.

6.1.5.- Diseño de Termocuplas

Los requerimientos mas importantes que deben cumplir los materiales de termocupla son:

- Ser mecánicamente robustos, resistentes químicamente.
- Deben producir una salida eléctrica medible y estable.
- Deben tener la precisión requerida.
- Deben responder con la velocidad necesaria.
- Deben considerarse la transferencia de calor al medio y viceversa, para no afectar las lecturas.
- Deben en algunos casos estar aislados eléctricamente de masa.
- Deben ser económicos.

Hay una gran variedad de diseños de termocuplas para numerosas aplicaciones. En su diseño más común, los conductores, de los materiales deseados se juntan normalmente mediante una soldadura, para formar la junta de medición. Los alambres son separados después de la junta soldada y aislados normalmente por medio de una sustancia como ser fibra de vidrio, resina fluocarbonada (teflón), aisladores cerámicos, polvo cerámico etc.

Los alambres pueden usarse desprotegidas o instalados dentro de un tubo o vaina de protección. Los tubos o vainas de protección se usan casi siempre con las termocuplas básicas, mientras que las termocuplas provistas de blindaje protector metálico pueden brindar suficiente protección química y mecánica sin tubo o vaina en la mayoría de los casos.

6.1.6.- Construcción con Blindaje Metálico

Las termocuplas con blindaje metálico, normalmente llamadas compactas, suelen compactarse con oxido de magnesio, aun cuando puedan utilizarse otros materiales como ser oxido aluminio u oxido de berrillo. Las termocuplas compactadas se construyen insertando la aislación en forma de polvo, o como cordones especiales sobre los alambres dentro del tubo metálico. Posteriormente se procede a reducir el diámetro del tubo trefilándolo, aplastando así los aisladores o comprimiendo el polvo hasta formar una sola masa más densa. La unidad finalmente es tratada térmicamente para aliviar las tensiones provocadas por la reducción del diámetro y para eliminar cualquier humedad.

La junta de medición de las termocuplas con blindaje mecánico pueden tener tres tipos de configuraciones distintas, soldadas al extremo del blindaje, aislada del extremo o expuesta fuera del extremo del blindaje.

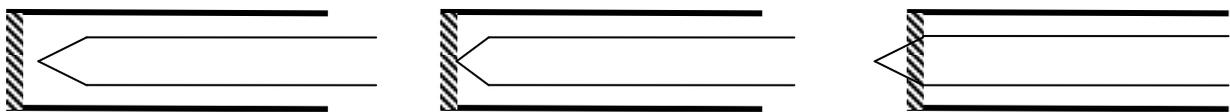
Soldando los alambres al extremo del blindaje, se logra hacer masa con el blindaje, se los protege de daños mecánicos y condiciones ambientales adversas y se asegura una construcción hermética. La velocidad de respuesta de este tipo de construcción se encuentra entre la velocidad de la junta expuesta, la mas rápida y la de junta aislada, la mas lenta.

La junta aislada es similar a la de junta puesta a masa, salvo hallarse eléctricamente aislada del blindaje y tener una respuesta mas lenta. Su construcción elimina las tensiones entre los alambres y el material del blindaje provocada por las diferentes coeficientes de dilatación.

La junta expuesta posee la respuesta más rápida de las tres configuraciones, pero no es hermética a la presión, humedad y los alambres se hallan expuestos al ambiente. Esto podría llevar a la corrosión y / o corto circuito eléctrico debido a la conductibilidad del medio del proceso.

La termocupla blindada es mecánicamente mas fuerte que la termocupla común con alambre aislado, y se la puede doblar o conformar radios de curvatura muy reducidos, inclusive dos veces el diámetro del blindaje. Esta termocupla puede ser cargada con un resorte dentro de un tubo o vaina de protección, cuando requiera una protección adicional, para garantizar el contacto con el fondo de la vaina o tubo a fin de obtener una respuesta rápida.

Se dispone de termocuplas blindadas don diámetros externos de 1 hasta 9,5 mm.. Los blindajes pueden hacerse de una gran variedad de materiales siendo los más comunes los de aleación de níquel cromo y aceros inoxidable.



Junta Aislada

Junta Soldada

Junta Expuesta

6.1.7.- Tubos y Vainas de Protección

Puesto que son muchas las aplicaciones que hacen exponer el alambre de las termocuplas a condiciones ambientales adversas, por lo general las termocuplas han de contar con protección. Los tubos y las vainas de protección se eligen generalmente en base a las condiciones corrosivas que se pueden presentar en el lugar donde se debe medir la temperatura, mas condiciones de abrasividad, vibración, porosidad, velocidad del fluido, presión y requerimientos de reemplazo y montajes.

Por lo común se dispone de vainas con diámetros externos para sensores desde 3 hasta 22 mm. de diámetro. Una rosca cónica externa u una brida proveen un montaje hermético a la presión en le recipiente de proceso si es necesario.

En la vaina del tipo de la figura 7, la cubierta, o sea el área entre las roscas y el cabezal de la vaina permite la extensión de la termocupla a través de cualquier tipo de aislación térmica o separarla térmicamente de la fuente de calor que pueda afectar el cabezal o las conexiones. Las vainas cónicas brindan una mayor resistencia permitiendo su uso a mayores velocidades y presiones del fluido del proceso.

Las vainas bridadas se usan cuando se requieren conexiones del tipo bridado al recipiente del proceso o materiales especiales resistentes a la corrosión. Las vainas bridadas permiten el uso de revestimiento especial o blindaje metálico como ser el plomo, el titanio o tantalio, estos metales podrían resultar imprácticos o demasiados costosos para la construcción de la vaina entera.

Las vainas de cuello reforzado proveen resistencia adicional y poseen una respuesta más rápida que las vainas rectas o cónicas de la Figura 7

Los tubos de protección son similares a las vainas, salvo el hecho de que no permiten un montaje hermético a la presión en el recipiente del proceso. Por lo general, los tubos se utilizan en instalaciones a presión atmosférica. Se los fabrica de metal o materiales cerámicos, como ser porcelana, mullita, sillimanita, carburo de silicio, grafito, oxido de aluminio, acero y otras aleaciones Figuras 7 d, e y f.

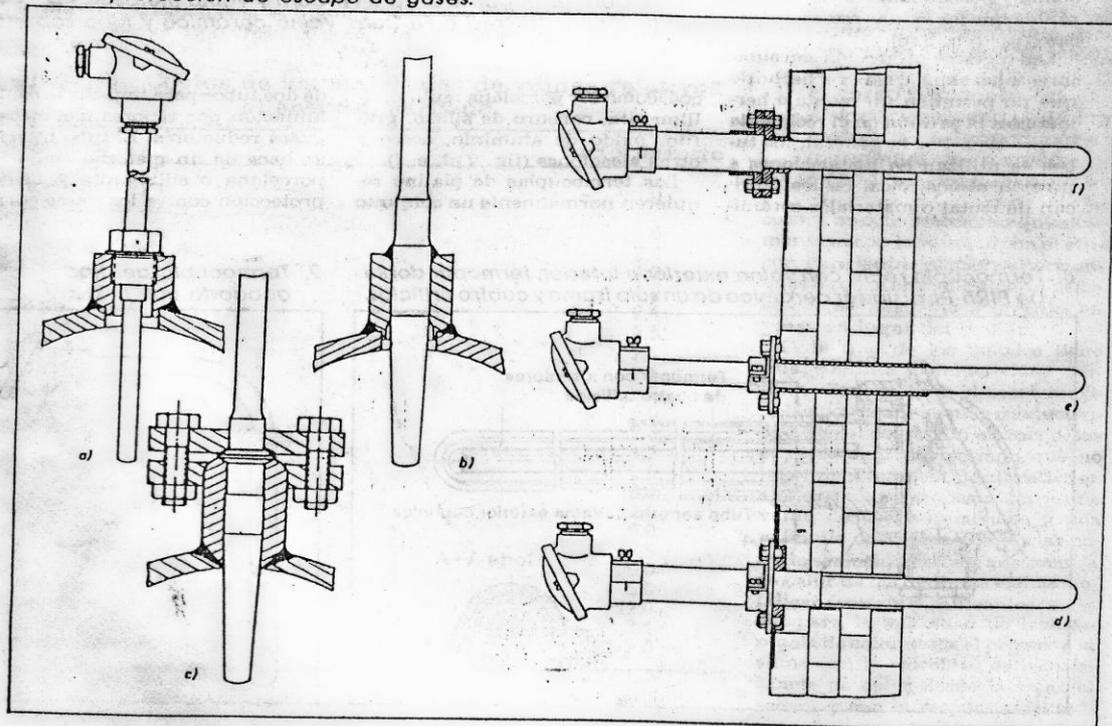
Las termocuplas de platino requieren normalmente un conjunto de dos tubos para impedir la contaminación por vapores metálicos o gases reductores. El tubo interior se hace de un material como porcelana, o sillimanita y brinda protección contra gases corrosivos. El tubo exterior se hace de grafito, carburo de silicio o sillimanita porosa para lograr resistencia mecánica y protección contra el shock térmico, figura 8

En la figura 9 puede verse una construcción típica, tipo acodada. para lograr la protección del cabezal de conexiones en caso de inmersión de la vaina en procesos de fusión de metales no ferrosos o tratamientos térmicos por baños de sales con desprendimientos corrosivos o radiación térmica intensa que afecten el cabezal directamente si la construcción fuese recta.

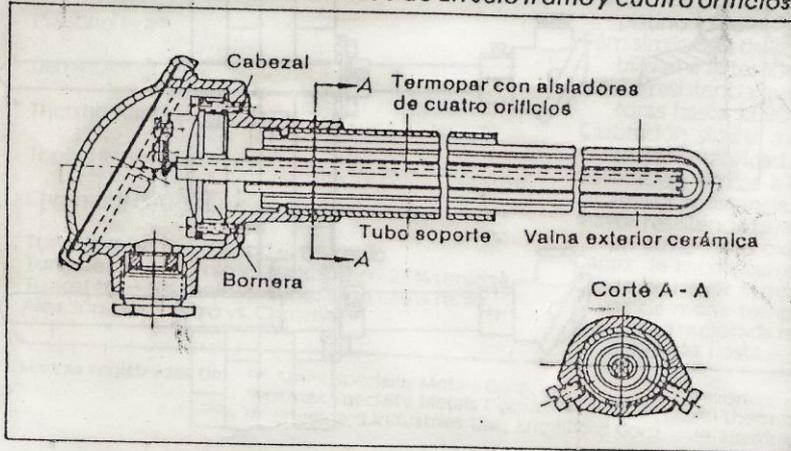
Por su parte, en la figura 10 pueden observarse una construcción normal Ni Cr – Ni o de Fe –Cu Ni con vainas simple o tubo protector metálico y la diferencia en el montaje en caso de ser vaina metálica.

7. Montaje de sensores de temperatura.

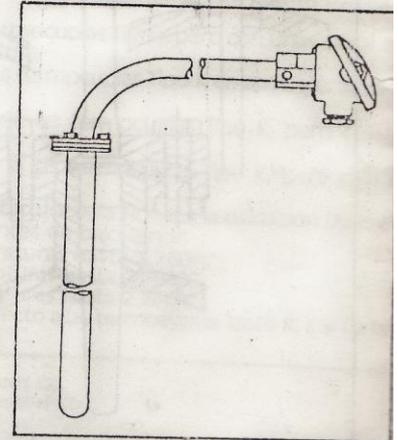
- a. Con rosca a proceso - b. Para soldar - c. Con brida - d. Montaje de una termocupla de vaina cerámica con brida tope deslizable en la pared de un horno con chapa protectora - e. Montaje de una termocupla de vaina metálica con brida tope y buje pasante - f. Montaje similar a d., con protección de escape de gases.



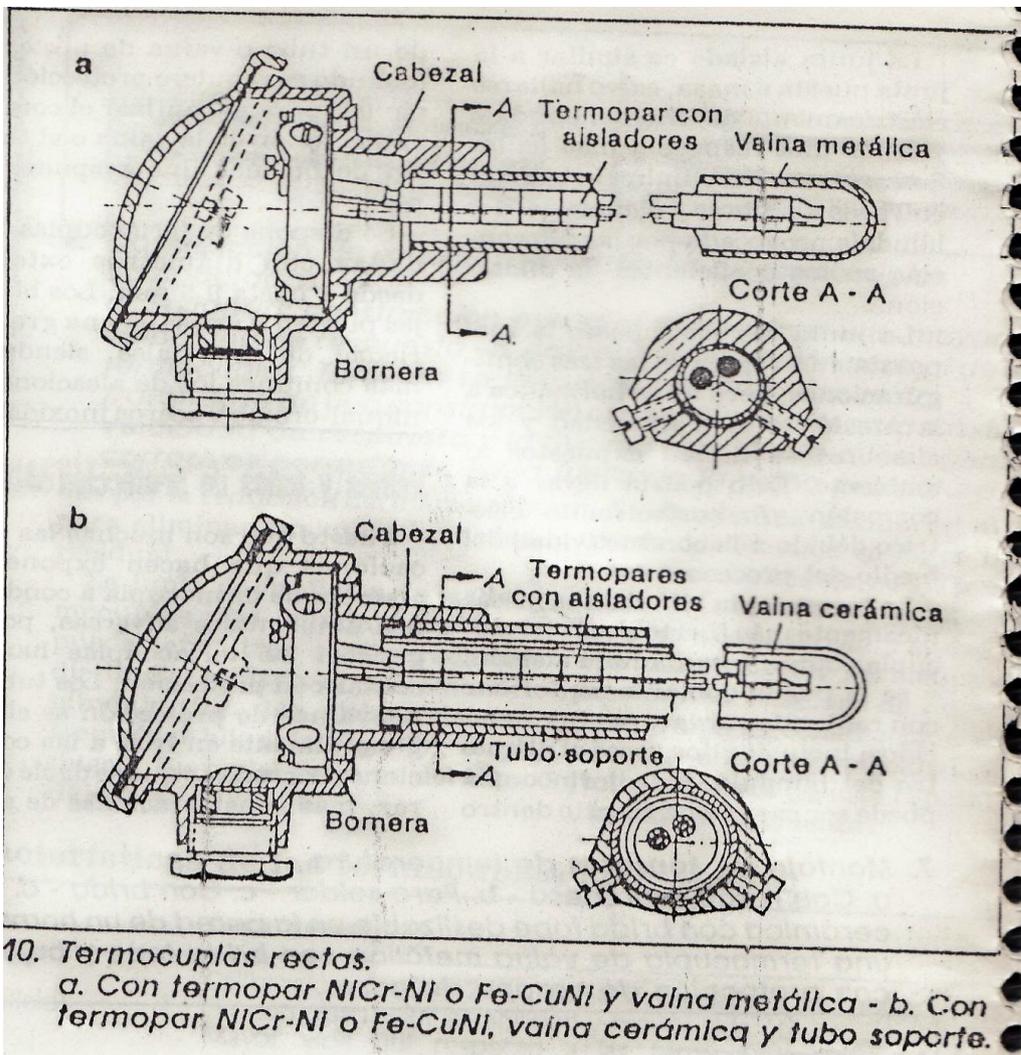
8. Termocupla recta con vaina exterior e interior, termopar doble de PtRh-Pt, aislador cerámico de un solo tramo y cuatro orificios.



9. Termocupla del tipo acodado con brida.



10



10. Termocuplas rectas.
a. Con termopar NiCr-Ni o Fe-CuNi y vaina metálica - b. Con termopar NiCr-Ni o Fe-CuNi, vaina cerámica y tubo soporte.

6.1.8.- Respuesta Térmica

El tiempo de respuesta con vaina y tubos será de tres a diez veces mayor que con las termocuplas sin protección.

Los métodos generalmente para minimizar el tiempo de respuesta consiste en promover un contacto entre el sensor y la protección lo mas sólido posible, normalmente se hace cargando al sensor por medio de un resorte, o bien obtener una tolerancia estrecha entre el diámetro exterior del sensor y el diámetro interior de la vaina. Esto minimiza la separación de aire que hace más lenta la transferencia de calor desde la vaina al sensor.

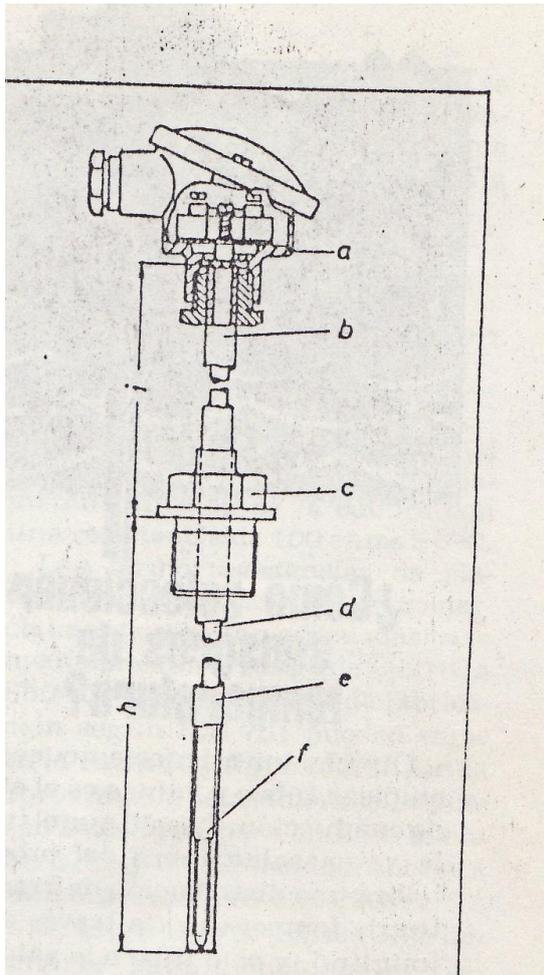
En la figura 11 puede verse la construcción normalizada correspondiente a una termocupla con vaina y sensor interior con carga a resorte.

Otra manera de minimizar el retardo de la repuesta es agregar una pequeña cantidad de aceite, o grafito en polvo y aceite dentro de la vaina. El relleno no debe congelarse o hervir a las temperaturas encontradas en el proceso y no debe reaccionar químicamente ni con la vaina ni tonel sensor. Para las instalaciones horizontales o con extremo abierto hacia abajo, se puede usar grafito en grasa en vez de líquido.

Cada uno de los metales tiene una distinta conductividad térmica. Por ejemplo, el acero inoxidable posee una menor conductividad que el cobre, sin embargo los ensayos han demostrado que no hay diferencia significativa en el tiempo de respuesta entre una vaina de acero inoxidable y una vaina de cobre., las diferencias entre las velocidades de transferencia de calor de las distintas vainas metálicas son insignificantes si se compara la velocidad de transferencia de calor desde el proceso a la vaina con la velocidad de transferencia del calor desde la vaina al sensor y con la respuesta del sensor.

Otro factor a tener en cuenta al emplear tubos y vainas es el efector de conducción, puesto que el tubo o la vaina salen fuera del proceso habrá una distribución del gradiente de temperatura a través de su longitud, y si el tubo o la vaina no se encuentran insertado lo suficientemente profundo dentro del proceso esos gradientes provocaran inexactitudes en la medición. Para eliminar dicho efecto, de longitud la inserción dentro del proceso debe ser por lo menos diez veces el diámetro exterior de la vaina o el tubo.

El tiempo de respuesta también depende del espesor de la pared del tubo o vaina, cuanto mas delgada es la pared, mayor es la velocidad de respuesta. Puesto que una de las funciones importante de los tubos o vainas es la brindar protección mecánica a la termocupla, habrá que un compromiso en el espesor de la pared entre velocidad de respuesta y vida útil.



11. Termocupla con vaina y rosca a proceso con cabezal de conexiones (sonda intercambiable colocada según DIN 16160).
 a. Cabezal - b. Cuello - c. Rosca a proceso - d. Aislador cerámico - e. Vaina metálica - f. Termocupla - h. Longitud de la vaina - l. Longitud del cuello.

6.1.9.- Efectos de la Velocidad

Una vez transpuesta la vaina, el fluido que circula en forma de estela turbulenta con una frecuencia que varia con la velocidad, la vaina o tubo debe ser lo suficientemente delgada para que la frecuencia de la estela no llegue a ser igual a la frecuencia natural de la vaina y provocar su resonancia y posterior fractura.

En la tabla inserta a continuación, se indican los límites de velocidades para vapor y gas de distintos materiales utilizados en vainas cónicas y estándares con inserciones de 11,4 y 26,7 centímetros. Por ejemplo una vaina cónica de acero al carbono, insertada 11, 4 centímetros dentro de un proceso, puede utilizarse para velocidades de hasta 54 metros por segundos o sea 17 metros por segundos mas que los que puede tolerar en forma seguras una vaina estándar

Material	Inserción Cm.	Limite de Velocidad Cm / seg.	
		Vaina Estándar	Vaina Cónica
Monel a 480 °C	11,4	33,6	46,5
	26,7	6,21	8,52
Acero al Carbono a 535 °C	11,4	36,9	54
	26,7	6,84	9,9

Acero Inoxidable	11,4	38,4	59,1
Tipo 304 a 535 °C	26,7	7,08	10,8

6.1.10.-Tubos de Protección Cerámicos

Se utilizan tubos cerámicos al presentarse algunas de estas condiciones:

- La termocupla será expuesta en forma directa al golpe de la llama.
- Existirán gases contaminantes.
- Las temperaturas serán mayores de lo pueden tolerar los tubos metálicos, el umbral de las vainas metálicas, es aproximadamente 1200 °C

Normalmente las termocuplas de platino requieren de tubos cerámicos para lograr protección contra la contaminación proveniente de hornos y otros gases reductores.

Un conjunto cerámico puede incluir, un solo tubo, o dos tubos uno primario, interior, y un secundario. Con termocuplas de platino por encima de los 1200 °C. en tubo primario es de alúmina pura, 99,7 % óxido de aluminio, que es hermético a los gases y adecuado para temperaturas de hasta 1870 °C. Por debajo de los 1200 °C. se puede usar un tubo de porcelana, sillimanita u otras combinaciones, óxido de aluminio, con óxido de silicio.

No se puede usar porcelana por encima de los 1315 °C., puesto que libera silicio que contamina la termocupla de platino.

Al utilizarse tubos secundarios este normalmente es de carburo de silicio, que no es hermético a los gases pero resiste a la acción del golpe directo de la llama y es más resistente al shock térmico y mecánico que la alúmina pura. Sin embargo posee una pobre conductividad térmica.

Se dispone también de tubos secundarios metal –cerámicos, estos resultan superiores a los tubos de cerámica pura en lo que hace a la resistencia al shock mecánico y térmico y brindan una respuesta térmica rápida.

6.2.- Termoresistencia

La termoresistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la temperatura su resistencia varía, y la magnitud de la modificación puede relacionarse con la variación de la temperatura, el valor de la resistencia aumenta con el aumento de la temperatura.

Las termoresistencias de uso más común se fabrican de alambre finos soportados por un material aislante y luego encapsulado. El elemento encapsulado luego se inserta luego en una vaina o tubo metálico cerrado en uno de sus extremos, que se llena de un polvo aislante y se lo sella con cemento para impedir el paso de la humedad.

Los materiales utilizados para realizar los arrollamientos de las termoresistencias son fundamentalmente, el platino, el níquel, níquel-hierro, el cobre y el tungsteno.

El platino encuentra aplicación dentro de un amplio rango de temperaturas y es el material más exacto y más estable. En efecto la relación, resistencia-temperatura correspondiente a las alambres de platino es tan reproducible que la termoresistencia de platino se utiliza como estándar internacional de temperatura desde -260 °C hasta los 630 °C.

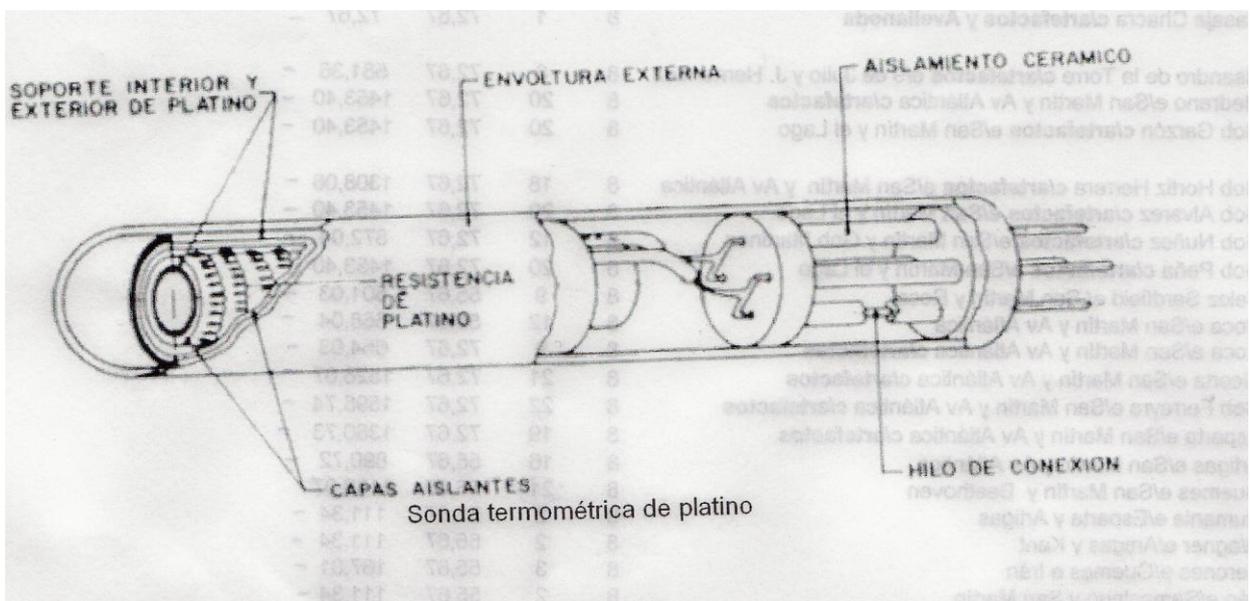
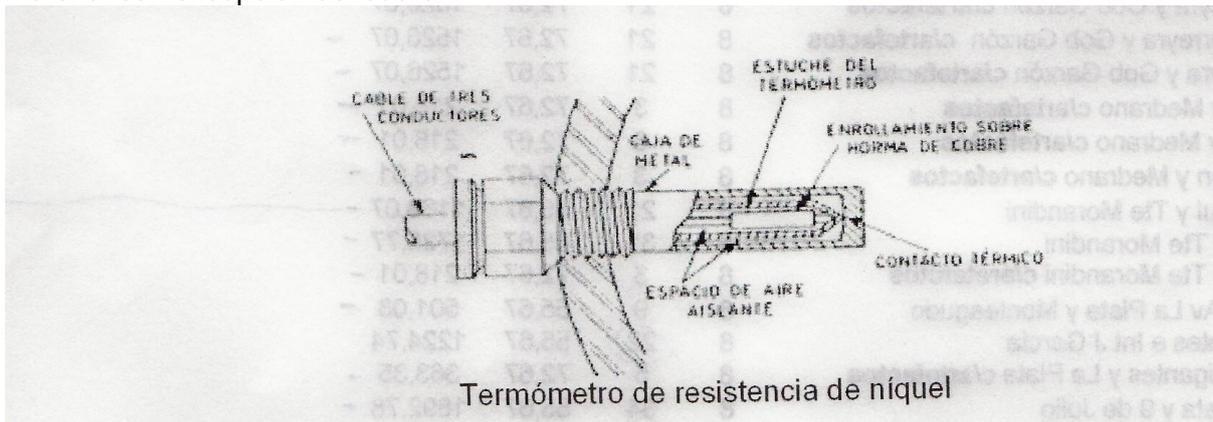
Desde el año 1871, en que Willam Siemens, utilizó por primera vez una termoresistencia, hasta el día de hoy se han desarrollado numerosas calibraciones resistencia - temperatura correspondientes al platino, y varias de ellas se han transformado en estándares nacionales en distintos países.

Esta proliferación de distintos estándares nacionales comenzó a crear problemas a medida que se iba incrementando el comercio de termoresistencias a escala mundial, y luego de varios años de análisis se ha aceptado internacionalmente la curva DIN de calibración bajo la estandarización de IEC identificada como IEC 751.

Además del hecho de la termoresistencia de platino está siendo utilizada como estándar internacional, el alambre de platino es el material elegida con más frecuencia para las termoresistencias de uso industrial.

Las termoresistencias de platino pueden medir el rango más amplio de temperatura. son las más exactas y estables por no ser fácilmente contaminadas por el medio, en que se

encuentran, y su relación resistencia – temperatura es mas lineal que la de cualquier otro material con excepción del cobre.



6.2.1.- Termoresistencias Comerciales

La termoresistencia Industrial de alambre de platino mas ampliamente utilizada se la calibra con una resistencia de 100 ohms a 0 °C..

Las termoresistencias de platino estándar fabricada comercialmente resultan adecuada para mediciones de rangos de temperaturas desde -250 °C hasta 850 °C, las tolerancias de fabricación según IEC 571 para una Termoresistencia clase B pueden estimarse entre un 0,5 % y 0,8 % siendo menores a temperaturas mas elevadas.

En este punto es conveniente detenerse para mencionar el frecuente uso que hacen algunos fabricantes de calibrar las termoresistencias según curvas de respuestas distintas a las normalizadas, lo que los convierte en seguros proveedores de los reemplazos. Es por ese motivo que debe tratarse de adecuar las instalaciones entro de la normalización, ya que, justamente una de las grandes virtudes de las termoresistencias es su ínter cambiabilidad sin practicar una nueva calibración en el sistema de medición.

Las termoresistencias de níquel no están en condiciones de medir temperaturas tan altas como lo hacen los sensores de platino. Los límites de alcance para los sensores de níquel están aproximadamente entre los -60 °C y 180 °C., con exactitudes menores que las de platino. Normalmente se calibran a 100 ohms para 0 °C. , pudiendo existir otras calibraciones para casos especiales.

La principal ventaja del níquel, además de posibilitar termorresistencia más económica, era su capacidad para ser linealizado, suministrando una salida que es lineal con la temperatura, con bastante facilidad utilizando un circuito puente.

Esta ventaja sin embargo ya no es tan importante hoy en día, cuando la introducción de componentes semiconductores, de bajo costo han hecho posible la linealización de los sensores de platino a un costo compatible con los sensores de níquel.

Las termorresistencia de cobre se presentan la mas lineal relación resistencia – temperatura entre todas las termoresistencias, pero tiene la desventaja de un rango estrecho de temperaturas que va desde los -200 °C hasta los 150 °C y una baja resistividad. La baja resistividad implica la necesidad de usar alambres finos de poco diámetro. La demanda de termorresistencias de níquel y de cobre en las industrias de proceso se halla limitada básicamente al reemplazo de unidades existentes, puesto que la gran mayoría de las nuevas instalaciones de termorresistencias se hacen con sensores de platino. de 100 ohms a 0 °C.

Las termorresistencias de tungsteno no han encontrado utilización amplia puesto que el tungsteno ha probado ser menos estable que otros materiales. Sin embargo su mayor resistencia mecánica permite emplear alambres extremadamente finos, lográndose de esta manera termorresistencias de elevada resistencia eléctrica.

Para la termorresistencia de platino de 100 ohms a 0 °C. la variación de resistencia promedio para una variación de temperatura de 1 °C es de 0,385 ohms, un circuito de medición con una fuente de corriente de 1 mA. registra 38,5 mV. para cada 100 °C de variación de temperatura. Este valor de tensión es diez veces mayor que la salida de una termocupla tipo K y esto explica porque los alambres de conexión de las termorresistencias resultan menos susceptibles de sufrir interferencias provenientes de la cercanía de equipos eléctricos y líneas de potencia.

Sin embargo una buena instalación requiere de cables de conexión blindados tanto para termocuplas como para termorresistencias.

La interconexión entre termorresistencias e instrumentos se realiza por medio de cables comunes de cobre, en cambio en el caso de las termocuplas deben emplearse cables especiales compensados de costo superior.

La magnitud de las corrientes de medición de una termorresistencia es crítica, si es muy alta induce al autocalentamiento, que se traducirá en errores de la medición, y en caso de ser muy baja los valores de tensión de salida serán bajo los que estarán propensos a ser alterados por interferencias.

Metal	Coef. de Temp.	Rango de Temp.	Precio	Resistencia o°C	Precisión
Platino	0,385	-250 a 850	Alto	100	0,01
Níquel	0.63	-60 a 180	Medio	100	0,50
Cobre	0,425	-200 a 150	Bajo	10	0,10

6.2.2.- Construcción de Termoresistencias

El aspecto exterior de una termorresistencia industrial es prácticamente idéntico al de las termocuplas. Se aplican las mismas consideraciones ambientales y de instalación y se debe prestar la misma cantidad de atención a los conceptos de presión, temperatura, ataque químico, abrasión, vibración porosidad y velocidad del fluido, requiriéndose del mismo tipo de vainas y tubos de protección.

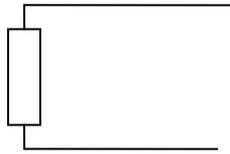
Las termorresistencias se fabrican en varios tipos de configuración de los alambres de conexión:

6.2.2.1.- Montaje de dos hilos

Una conexión a cada extremo de la termorresistencia se conecta a uno de los brazos de un puente. Es el montaje mas sencillo pero presenta el inconveniente que la resistencia de los

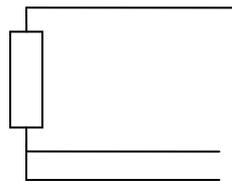
hilos de la conexión de la termorresistencia al puente, varia cuando varia la temperatura y esta variación puede hacer que la medición sea errónea, aunque la resistencias de las conexiones sean baja. La longitud que puede haber entre la termorresistencia y el panel donde esta el instrumento receptor añaden una resistencia al brazo del puente.

Este tipo de circuito puede utilizarse cuando los alambres de conexión son tan cortos que su resistencia es despreciable, por ejemplo transmisor- termorresistencia integrales que contiene tanto la termorresistencia como el circuito de medición.



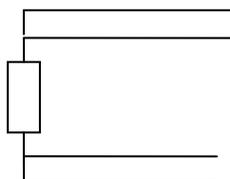
6.2.2.3.- Montaje de tres hilos

Es el más utilizado en la práctica, en este circuito la termorresistencia esta conectada por medio de tres hilos al puente. De este modo, la medida no es afectad por la longitud de los conductores ni por la temperatura ya que influye a la vez en dos brazos adyacentes del puente, de esta manera los efectos tienden a cancelarse, siendo la única condición que la resistencia de los hilos sea exactamente la misma, y el sistema puente de Wheatstone que utiliza a la entrada del instrumento de medición se encuentre casi balanceado.



6.2.2.4.- Montaje de cuatro hilos

Se utiliza para obtener mayor precisión posible en la medida como en el caso de calibración de patrones de resistencias en laboratorios. Si los cuatro cables de conexión son de idéntica sección, longitud y material y se hallan sujetos a la misma temperatura ambiente y los pares de alambres se encuentran en brazos opuestos del circuito puente, las resistencias de los alambres no tendrán efectos algunos en la medición de la resistencia de la termorresistencia. El costo adicional de los cuatro conductores normalmente se justifica en instalaciones con distancias superiores a los veinte metros. Los circuitos trifilares brindan suficientes exactitud para la mayoría de las mediciones industriales hasta los veinte metros además pueden emplearse conductores de sección menor o mayor longitud que en el caso de conexión bifilar. En el caso de una conexión bifilar normalmente se usa una resistencia de 10 ohms para compensar la resistencia de los conductores y se calibra el sistema de medición para una PT (100+10).



6.2.3.- Otros Sensores a Resistencia

A nivel comercial hay varios tipos mas de sensores de resistencia además de las termorresistencia de alambre de platino, níquel o cobre, son los semiconductores de germanio

y silicio, resistores de carbono y los Pt 100 y Pt 500 de película fina, que siguen la misma curva de una Pt 100 pero con valores de resistencia 5 veces mayor. Sin embargo los semiconductores y resistores de carbono normalmente no se encuentran en el control y medición de la temperatura de procesos industriales debido a sus rangos limitados de amplitud de temperaturas, características de la inexactitud. No ocurre lo mismo con los Pt 100 de película fina o metal depositado que cada vez se utilizan más.

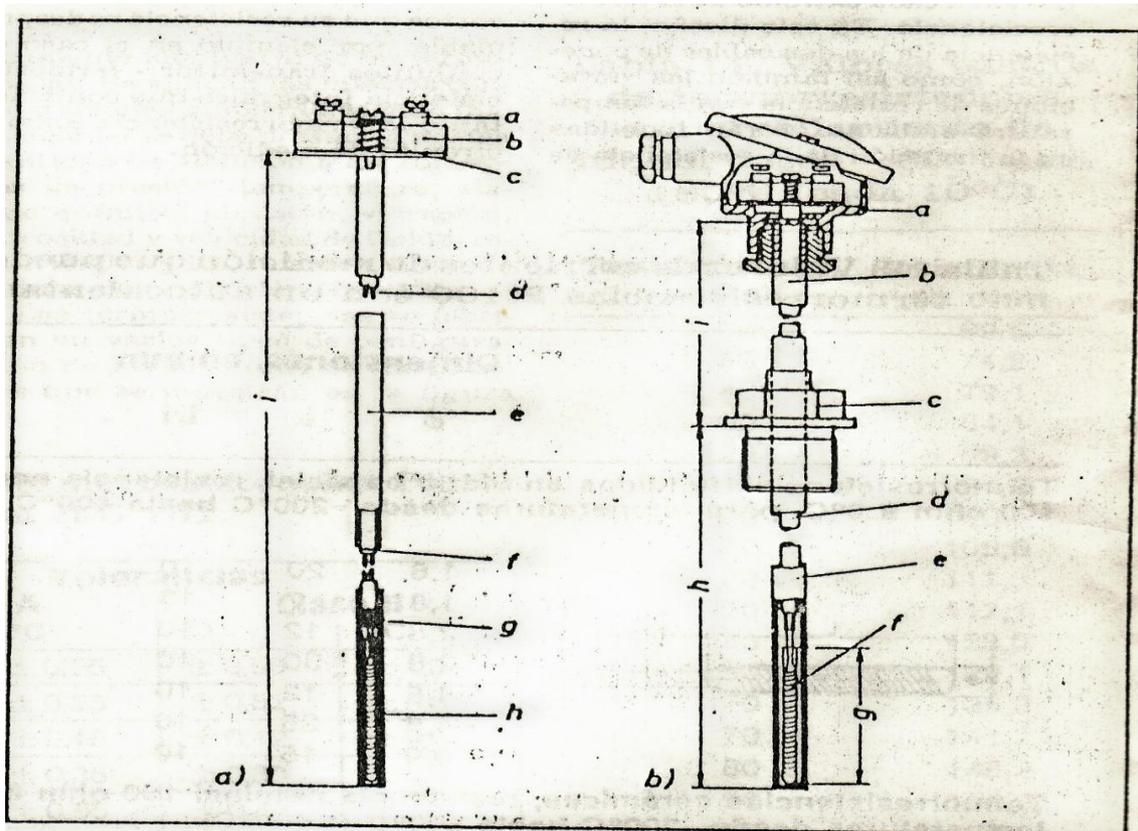
En lo que hace a los resistores de semiconductores o resistores de carbono puesto que lo que miden son variaciones de resistencias que indican variaciones de temperatura, se los clasifica como sensores de resistencia. Se los utiliza para medir bajas temperaturas, cerca del cero absoluto, zona que está más allá de las posibilidades de las termorresistencias de platino. Sin embargo puesto que su relación resistencia - temperatura es compleja requieren una calibración en muchos puntos.

Los sensores del tipo película fina se utilizan cada vez más y se están constituyendo en uno de los avances más significativos de la construcción de sensores a termorresistencia. Un sensor tal consiste de una película metálica, como ser platino, depositada sobre un material aislante con un sobrecubrimiento que protege la película del medio ambiente. Previamente se calibra en forma automática a través de un láser que traza un circuito sobre el material aislante y los calibra al mismo tiempo.

Luego por medio de un sistema computarizado se seleccionan los sensores separándolos en distintas clases según las tolerancias.

El sensor que resulta de todo este proceso posee las propiedades eléctricas del metal original y sus características resistencia - temperatura son similares a las de los sensores del tipo de alambre.

Puesto que el sensor de película fina es de pequeño tamaño, responde rápidamente a las variaciones de temperatura y tiene un precio en comparación con las termorresistencia tradicionales de un 50 % más económico.



14. Construcción de un sensor a termorresistencia.

A. Sonda Intercambiable.

a. Bornes - b. Zócalo cerámico - c. Base de sujeción - d. Conductores - e. Valna metálica - f. Aisladores cerámicos - g. Unión de elementos y conductores - h. Termorresistor - i. Largo de Inserción.

B. Corte de una construcción con valna y rosca a proceso con cabezal de conexión y sonda colocada según DIN 16160.

a. Cabezal - b. Cuello - c. Rosca a proceso - d. Aislador cerámico - e. Valna metálica - f. Termorresistencia - g. Largo del elemento sensor - h. Largo de valna - i. Largo de cuello.

6.2.4.- Termocuplas o Termoresistencias

Las termocuplas ya rondan los 150 años, durante todo este tiempo han sido el caballito de batalla de las mediciones de temperatura en la industria, han operado básicamente sin ningún tipo de modificaciones incluyendo los problemas inherentes e la producción de señales muy bajas.

Las termocuplas son los sensores de temperatura mas ampliamente utilizados a nivel industrial debido a sus positivos atributos de ser simples, poco costosos y confiables, sin embargo, hay numerosos profesionales en instrumentación que consideran que las termocuplas se caracterizan por simples, baratas y miserables debido a la facilidad con que las salidas pueden resulta alteradas.

Hoy en día se dispone de mejores alambres y mucho mejor manejo de las señales a través de la electrónica, sin embargo el dispositivo todavía es propenso a los problemas inherentes de la emisión de señales muy bajas, y en mas de una oportunidad aparecen captaciones de ruido de fem inductivas de CA y de otro orígenes que pueden oscurecer la señal.

A pesar de los inconvenientes, las razones por la cual continua su uso masivo son dos: primero son simples, su bajo costo, y los distintos tipos cubren prácticamente el rango completo de temperaturas a medir. Segundo hasta la fecha no ha aparecido nada mejor que la termocupla, considerando todos los factores involucrados, capaz de reemplazar a las termocuplas para realizar mediciones de temperatura en a industria.

En cuanto a la aseveración que las termocuplas son simples, esto requiere una aclaración, las termocuplas son relativamente fácil de fabricar, una vez obtenida las aleaciones para los

alambres, casi cualquiera puede fabricar una termocupla y esto casi siempre representa un problema para el que las utiliza. En cambio el comportamiento real de las termocuplas no es simple, junto con las contribuciones de los efectos Seebeck, Peltier y Thompson, la inhomogeneidad del alambre, las micro impurezas, la estructura y el envejecimiento, la atmósfera a la que está expuesta y la manera en que se formó el termopar, todos pueden afectar la salida de las termocuplas.

Posiblemente el mayor problema de las termocuplas sea el hecho de que su salida pueda variar artificialmente o que la señal pueda perderse parcialmente, de modo que muchas veces la lectura errónea no pueda ser detectada en forma inmediata.

Según encuestas realizadas, algo más de la mitad de las mediciones se realizan con termocuplas, un tercio con termorresistencia y luego las siguen los sistemas de dilatación. En dichas encuestas se pudo apreciar la importancia que se le da al transporte de la señal en la mayoría de las aplicaciones de las termocuplas. Por lo general se deben observar bastante estrictamente las prácticas recomendadas para señales de bajo nivel, o sea la aislación respecto a las fuentes de energía de alto nivel y conductores de corriente. Algunas instalaciones requieren aislación física del conjunto de las termocuplas respecto a la tierra y filtrado del instrumento receptor.

En lo que hace a la selección de sensores desde el punto de vista de la velocidad de respuesta, y exactitud, la mayoría se inclina por las termocuplas desnudas, para una respuesta rápida y por la termorresistencia en cuanto a la exactitud.

Las exactitudes consignadas estaban en los ± 1 o 2°C para temperaturas no muy elevadas hasta los 300°C , a mayores temperaturas se puede hablar de exactitudes de 3 a 5°C o $0,75\%$.

En lo relativo a respuestas rápidas dentro de unas pocas décimas de segundo con termocuplas y unos pocos segundos para las termorresistencias.

Sensores inteligentes utilizando termorresistencias de película fina pueden llegar a ser competitivos en el costo con esos mismos sensores provistos con termocuplas, por otra parte estos sensores inteligentes con termocuplas, eliminarán los problemas de conductores en la transmisión de la señal.

6.3.- Termistores

Compuestos de una mezcla sinterizada de óxidos metálicos, el termistor esencialmente un semiconductor que se comporta como un resistor térmico, con un coeficiente de temperatura negativo de un valor muy elevado.

Los termistores también pueden encontrarse en el mercado con la denominación de NTC (Coeficiente Negativo de Temperatura), habiendo casos especiales de coeficiente positivo de temperatura, cuando su resistencia aumenta a medida que aumenta la temperatura y se los denomina PTC (Coeficiente Positivo de Temperatura).

En algunos casos, la resistencia del termistor a la temperatura ambiente puede disminuir en hasta un 6% por cada 1°C . de aumento de temperatura.

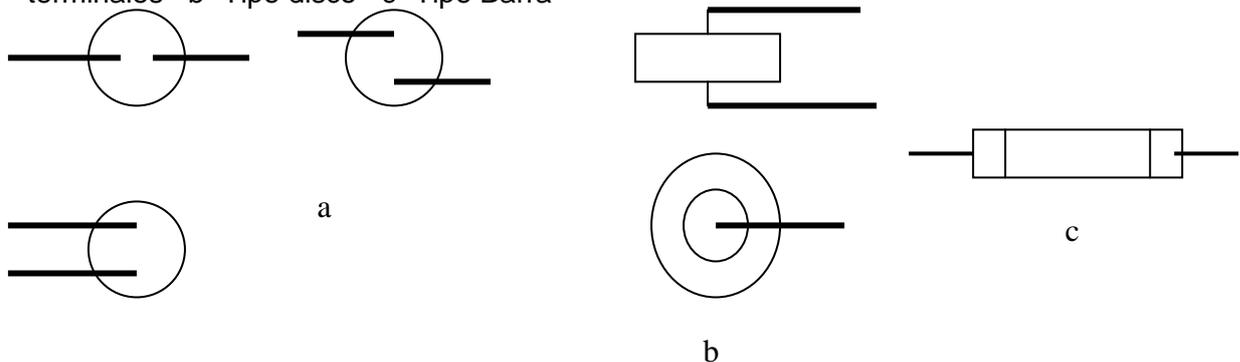
Esta elevada sensibilidad a las variaciones de temperatura hace que el termistor resulte muy adecuado para mediciones precisas de temperatura, utilizándose muy ampliamente para aplicaciones de control y compensación en el rango de 150 a 450°C .

El termistor se fabrica a partir de una mezcla de óxidos metálicos sinterizados. Los metales utilizados son el níquel, cobalto, manganeso, hierro, cobre, magnesio y titanio, como típicas se pueden considerar las preparaciones de óxido de manganeso con cobre y óxido de níquel con cobre. Modificando las proporciones de óxido se puede variar la resistencia básica del termistor; se dispone de termistores con resistencias básicas a 25°C . desde unos pocos cientos de ohms hasta varios millones de ohms.

Los termistores sirven para la medición o detección de temperatura tanto de gases como en líquido y en sólidos. A causa de su pequeño tamaño es que se los encuentra normalmente montados en sondas o alojamientos especiales, los que pueden ser especialmente diseñados y protegidos adecuadamente cualquiera sea el medio donde tenga que trabajar. Se los puede adosar fácilmente o montar con tornillos, ir roscados superficialmente o cementados, Y Los alojamientos pueden ser de acero inoxidable, aluminio o de otros materiales.

Las configuraciones constructivas del termistor de uso mas común son los glóbulos, las sondas y los discos. Los glóbulos se fabrican formando pequeños elipsoides de material del termistor sobre dos alambres finos separados aproximadamente 0,25 mm., luego son recubiertos con vidrio para protección, son extremadamente pequeños de 0,15 mm. a 1,2 cm. de diámetro y ofrecen una respuesta extremadamente rápida a las variaciones de temperatura. Las barras son glóbulos con oxido de los termistores, de extensión sellados en las dos puntas, recubiertos con vidrios que forman pequeñas varillas de 0,75 mm. a 2 cm. de diámetro y de 6 a 50 mm. de largo. Las barras de vidrio resultan por lo general robustos y mas fáciles de montar que los glóbulos, pero tiene una constante de tiempo y requerimiento mayor de espacio. Los discos se fabrican prensando el material bajo una presión de varias toneladas dentro de un molde redondo, lográndose piezas cilíndricas planas. Resultan útiles para las sondas de medición de temperatura en superficies donde se sensar un área relativamente amplia.

Formas constructivas de termistores NTC a-Tipo glóbulo con distintos tipos de terminales b- Tipo disco c- Tipo Barra



6.3.1.- Características:

En comparación con las termocuplas y las termoresistencia, el termistor no ofrece ventajas de exactitud de salida y estabilidad. Posiblemente una ventaja importante esta la extremadamente elevada sensibilidad del termistor a las variaciones de la temperatura.

Los termistores NTC poseen elevada resistencia a baja temperatura, pero su resistencia disminuye exponencialmente medida que crece la temperatura. Por el contrario las resistencias de los metales como ser platino, níquel, cobre aumentan linealmente con la temperatura.

Los termistores no sirven para la medición de temperaturas dentro de alcances muy amplios, puestos que sus variaciones de resistencia son demasiado grandes para que puedan medirse de una manera adecuada, con un solo instrumento; alcances de alrededor de 100 kilo ohms suelen ser lo máximo admisible.

Los termistores resultan particularmente útiles para medir alcances reducidos de temperatura justamente a causa de sus grandes variaciones de resistencia, por ejemplo la resistencia de un termistor típico varia 156 ohms de 0 ° C a 1 ° C. mientras que la del platino varia 0,385 ohms.

La elevada resistencia de los termistores no solo hace aumentar la sensibilidad posibilitando la medición de alcances reducidos de temperatura sino también permite la conexión bifilar. La resistencia del alambre de conexión y los efectos de la temperatura ambiente son despreciables si se los compara con las existencias del termistor y sus variaciones de resistencia.

La estabilidad del termistor es una de las características que están bajo estudio, recientemente se ha desarrollado una técnica de deposición electrónica de radiofrecuencias que produce sensores de SiC de película delgada adecuada para las temperaturas entre los 100 ° C y 450 ° C., que sufren un cambio de resistencia menor del 3 % luego de 2000 horas de uso a 400 °C, La linealidad es otra área donde se registran importantes avances. Actualmente se está fabricando un termistor que puede mantener linealidad dentro de 0,5 ° C desde 65 ° C hasta 200 ° C. La especificación es estrictamente válida sólo para potencia cero puesto que los problemas de disipación de calor interfieren con el desempeño, pero el fabricante sostiene que los errores son mínimos a los niveles prácticos de corriente y tensión.

La linealización también puede obtenerse mediante un diseño adecuado del circuito de medición. La linealización digital suele ser considerada efectiva para la mayoría de los termistores con un rango de trabajo no mayor a los 1000 ohms. Para los sistemas analógicos, o para sistemas digitales que se estiman funcionar más allá de este rango, la práctica normal es emplear un resistor secundario en paralelo con el termistor de forma de linealizarlo y también poder hacerlo intercambiable con sensores del mismo tipo, Con esta solución, por lo general el coeficiente de temperatura decrece muchísimo, pero sin llegar a valores típicos de termocuplas o termoresistencia metálicas.

En las aplicaciones de medición y control de temperatura, el termistor se usa generalmente, como uno de los brazos del puente de Wheatstone convencional. Este tipo de circuito suministra una máxima sensibilidad para aumentar para aumentar los niveles de salida del puente, se puede insertar un amplificador entre la salida del puente y el instrumento indicador o dispositivo de control. Este dispositivo es el que también se utiliza en el caso de las termoresistencias metálicas.

El termistor puede utilizarse asimismo en modo de autocalentamiento para detectar flujos de líquidos o gas para analizar la composición de fluidos. En tales aplicaciones, el elemento de detección se halla directamente expuesto al flujo del fluido y la disipación de potencia en el termistor suministra una indicación de la velocidad de flujos o calor específico del medio de inmersión.

Los pequeños tamaños de los termistores, típicamente con diámetros de 2,5 mm. producen una rápida respuesta a las variaciones de temperatura, sin embargo una vez instalados dentro de una vaina o blindaje, la respuesta es equivalente a la de una termocupla protegida. El pequeño tamaño hace también que el termistor sea más susceptible que una termoresistencia a los errores de autocalentamiento, la constante de disipación, o sea la potencia en mW. para elevar la temperatura del termistor 1 ° C. por encima de la temperatura ambiente inicial es normalmente de 1 mW / ° C. en el aire sin movimiento. Un valor en las mismas condiciones de una termoresistencia de platino de 100 ohms es de 20 mW / ° C.

6.3.2.- Diseño

El diseño de los termistores implica considerar los aspectos mecánicos o físicos por un lado y los eléctricos por el otro.

6.3.2.1.- Consideraciones Mecánicas

Las especificaciones mecánicas se refieren a:

- Tamaño y configuración adecuadas para el uso previsto, como ser el método de montaje, el elemento sensor expuesto o encerrado, terminación etc., lo que a la vez determina la constante de disipación y la constante de tiempo.
- Material a utilizarse para la construcción del conjunto sensor del termistor, lo cual depende del medio, aire, agua, aceite, etc., longitud de exposición y medio corrosivo, niveles de choque, abrasión, vibración, humedad, temperatura de operación, rango de temperatura, presión del medio en que se halla expuesto el termistor.

Todas estas consideraciones son las mismas que se deben tener en cuenta para los casos de las termocuplas y las termoresistencia.

6.3.2.2.- Consideraciones Eléctricas

Las consideraciones eléctricas se refieren en forma somera a aquellas características de un termistor que pueden determinarse mediante un ensayo eléctrico.

- La resistencia y la tolerancia a ciertas temperaturas de referencia.
- la constante de disipación, que es generalmente la potencia en mW. que hará subir la temperatura del termistor 1 °C. por encima de la temperatura ambiente, esta constante queda determinada en cierta medida por el tipo y tamaño del termistor utilizado, y por el método de montaje. Es el cociente a una temperatura ambiente especificada, entre una variación de la disipación de energía en el termistor y la variación de la temperatura en el cuerpo del mismo.
- La constante de tiempo, que es el tiempo, en segundos requerido para que todo el conjunto cambie su propia temperatura un 63 % de cómo lo haría a partir de su temperatura original hasta alguna temperatura final, al estar sometido a una variación escalón de temperatura, también queda determinado en cierta medida por el tipo y tamaño del termistor utilizado y por el método de montaje. I
- El coeficiente de temperatura o la variación de resistencia por cada grado de variación de temperatura del termistor.
- Temperatura máxima de Operación; la temperatura máxima del cuerpo a la cual un termistor operará durante un periodo de tiempo prolongado, con una aceptable estabilidad. Esta temperatura es el resultado del calentamiento interno y externo.

6.3.3.- Selección

En las aplicaciones de medición y control de la temperatura, la selección de una resistencia de termistor adecuada generalmente depende de las siguientes consideraciones:

- Alcance de temperatura; Por lo general la resistencia nominal de un termistor se elige fundamentalmente en base al alcance de temperatura de operación. Mayores valores de resistencia corresponden a temperaturas más elevadas, mientras que a bajas temperaturas requieren menores resistencias.
- Valores de resistencia en los extremos del alcance de temperatura; Se deben considerar tres factores **a)** Antes que nada si la curva del termistor es positiva o negativa (NTC o PTC). Por lo general y su difusión lo confirma, en la medición de temperaturas se utiliza NTC, salvo para los casos de compensación de alguna variable que forzosamente deba ser de características del PTC. Entonces considerando un NTC los otros factores a considerar son **b)** La resistencia máxima a bajas temperaturas no debe ser demasiado alta para poder satisfacer las necesidades de los circuitos asociados como ser amplificador, lectura, etc., si la resistencia a bajas temperaturas es muy alta se debe considerar la posibilidad de captación de señales espúreas. Si por otras razones es necesaria una elevada resistencia a bajas temperaturas y la captación es un problema, se aconseja utilizar líneas blindadas, filtros y alimentación en CC. **c)** La resistencia mínima a elevadas temperaturas no debe ser demasiado baja para poder satisfacer las necesidades del amplificador, lectura, etc. Si la resistencia a elevadas temperaturas es demasiado baja se deben tener en cuenta los posibles errores debido a las resistencias de contacto, a las resistencias de la línea y la variación de temperatura de la temperatura ambiente.

6.3.4.- Parámetros

6.3.4.1.- Sensibilidad

La mayoría de las aplicaciones tienen una tolerancia expresada en unidades de temperatura. En cambio los termistores suelen especificarse en términos de tolerancia de resistencia.

Es una característica de los termistores que una tolerancia de resistencia fija sobre un alcance de temperatura sea equivalente a una tolerancia de temperatura que es menor en el extremo de las bajas temperaturas y mayor en el de las altas.

6.3.4.2.- Autocalentamiento

La potencia I^2R disipada en el termistor hará subir la temperatura por encima de la ambiente. El incremento de temperatura es una función directa de la constante de disipación del termistor con su montaje dentro del medio ambiente donde opera.

6.3.4.3.- Resistencia de Potencia Cero

Es el valor de la resistencia del termistor a una temperatura cualquiera especificada, sin disipación de energía, sin autocalentamiento.

6.3.5.- Aplicaciones

Según la utilización pueden encontrarse en el mercado termistores con valores entre 100ohms y 30 K ohms, pero los de uso mas frecuente se encuentran entre 1 y 5 K omhs.

Dentro de estos valores como se menciona anteriormente, no influyen los pequeños valores de resistencia correspondiente a los conductores de extensión o los propios del termistor.

El rango de temperatura de uso más difundido es entre los -50 y 200 ° C., a pesar de haber termistores que alcanzan los 450 ° C.

Su aplicación más frecuente es como sensor de temperatura para mediciones rápidas en sondas manuales que acompañan a los termómetros portátiles electrónicos, hoy mas difundidos.

Su desventaja es su falta de estabilidad en el tiempo y su gran dispersión en comparación con las termoresistencias, que pueden fabricarse con valores de resistencias superiores, Pt 1000 y Pt 500, con mayores exactitudes y valores normalizados universalmente que garantizan su ínter cambiabilidad sin calibración previa.

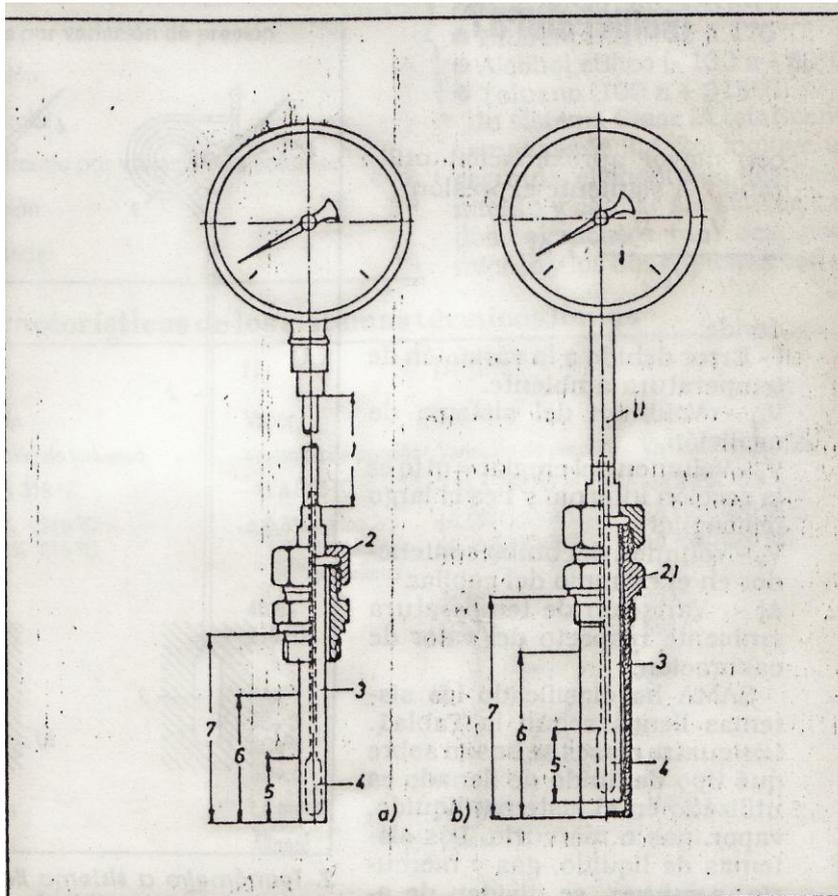
La ventaja mas importante es su pequeña masa, lo que permite velocidad de respuesta muy alta.

6.4.- Sistemas Térmicos Llenos

Un sistema térmico lleno es aquel que detecta la temperatura a través de una variación de volumen o presión de un fluido que acompaña la variación de temperatura.

El sistema básico, tal como se lo muestra en la figura 1, incluye un sensor de temperatura, un elemento de desplazamiento del tipo Bourdon, a diafragma o a fuelle, un tramo de tubo capilar y un fluido. El sensor se encuentra ubicado en el lugar donde se debe medir la temperatura mientras que el tubo conecta al sensor con el elemento de desplazamiento.

El desplazamiento o movimiento provocado por una variación de presión o de volumen del fluido en el sensor, se convierte en el movimiento de una aguja en un indicador o registrador, o bien se transforma en una señal neumática o eléctrica que se utiliza para el control de un proceso.



1. Termómetro a sistema lleno de líquido (según norma DIN 16160, pág. 4)

a). Con capilar sin protección.

1. Largo del capilar-2. Sujeción de la protección-3. Valna de Inmersión-4. Bulbo sensor-5. Largo del bulbo-6. Profundidad mínima de Inmersión-7. Longitud de montaje.

b). Con cuello y protección.

1,1. Cuello-2,1. Protección-3. Valna de Inmersión-4. Bulbo sensor-5. Largo del bulbo-6. Profundidad mínima de Inmersión-7. Longitud de montaje.

Hay dos tipos de sistemas llenos, en uno de ellos el sensor de temperatura contienen un fluido incomprensible bajo presión, que llena completamente el sistema. Las variaciones de temperatura son acompañadas en el sensor por una variación de volumen del fluido, lo que se traduce en la deformación y movimiento en el extremo libre del elemento de desplazamiento.

El otro sistema es el sistema lleno por variación de presión, del cual hay dos versiones. En una de las versiones todo el sistema esta lleno de un gas bajo presión en la otra el sensor se encuentra parcialmente lleno con un fluido volátil bajo presión, mientras el resto del sistema contiene vapor de ese fluido volátil.

En el primer tipo, el sistema las variaciones de volumen están acompañadas por variaciones secundarias de presión; en los sistemas de gas o vapor las variaciones de presión están acompañadas por variaciones secundarias de volumen. Sin embargo estos efectos secundarios son insignificantes.

Los efectos de las variaciones de temperatura ambiente sobre la medición de la temperatura depende de varios factores, incluyendo el tipo de sistema, su alcance de temperatura, el largo del tubo capilar, y el material de su construcción, el fluido de llenado y su presión, el material utilizado para el elemento de desplazamiento, el tamaño del sensor y ls requerimientos de protección de sobre rango.

En los sistemas de líquido y gas tanto el elemento de desplazamiento como el capilar pueden compensarse para estos efectos, son los plenamente compensados, o tan solo puede

compensarse el elemento de desplazamiento, parcialmente compensado, tal como se muestra en la figura 2.

Puesto que los sistemas llenos con vapor no se ven afectados por las variaciones de la temperatura ambiente, estos no necesitan ningún tipo de compensación.

El efecto total de la temperatura ambiente sobre un sistema lleno de líquido con plena compensación suele ser inferior al 1 % del alcance en el rango de 0 a 50 °C. en un instrumento cuando la medición se encuentra cerca del punto medio de la escala.

Para un sistema de vapor, que no tiene compensación, el error es inferior al 0,7 % del alcance bajo iguales condiciones. Este error puede calcularse con mayor aproximación, utilizando la siguiente expresión:

$$e = (V_m + V_k) \times \Delta t / V_b$$

donde:

e es el error

V_m volumen del sistema de medición

V_k volumen del capilar, largo por la sección interna del mismo.

V_b volumen del bulbo contenedor en el extremo del capilar.

Δt variación de la temperatura ambiente respecto al valor de calibración.

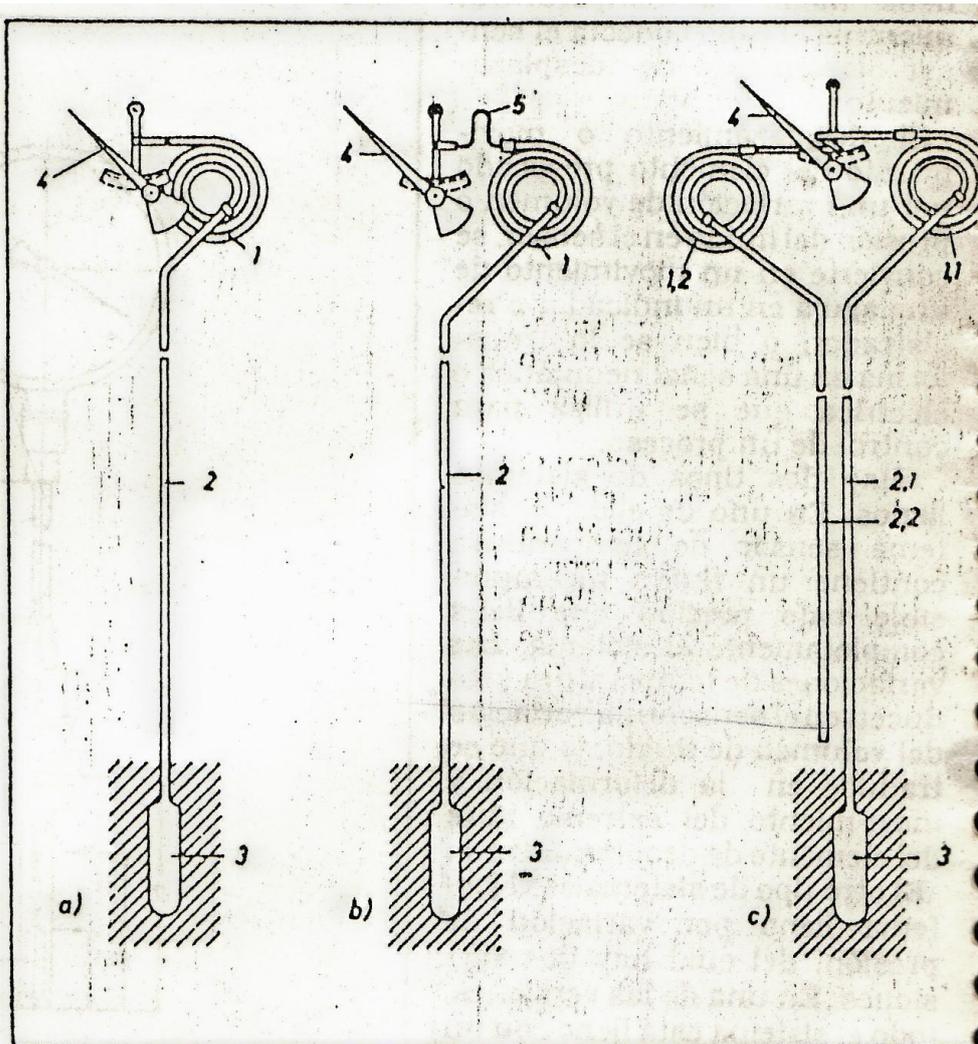
SAMA (Scientific Apparatus Makers Association) ha clasificado los sistemas térmicos llenos en cuatro clases que se basa en el sistema de fluido utilizado para el llenado; líquido, vapor, gas o mercurio. Los sistemas de líquido, gas y mercurio, se dividen a su vez de acuerdo si están plenamente compensados (Sufix A) o parcialmente compensados (Sufix B). Los sistemas de vapor están clasificados según la temperatura a medir, si se espera estar por encima de la temperatura ambiente (Sufix A), por debajo de la temperatura ambiente (Sufix B), por encima y por debajo de la temperatura ambiente (Sufix C) y encima y por debajo y a la temperatura ambiente (Sufix D).

La tolerancia de los sistemas llenos normalmente es menor que +/- 0,5 % a +/- 0,75 % del alcance. Sin embargo en aquellos casos en que las temperaturas del elemento de desplazamiento o capilar varían excesivamente, la tolerancia puede llegar a valores de 2 % a 3 % del alcance de la temperatura.

La respuesta de un sistema lleno depende del tamaño de bulbo sensor, largo del capilar y del fluido de llenado. En un sistema estándar para una variación de temperatura escalón, la respuesta del 90 %, tiempo que tarda en alcanzar el 90 % de la variación del escalón es de 5 a 7,5 segundos.

Se requiere una protección de sobre rango en aquellos casos donde el sistema lleno puede encontrarse sometidos temperaturas mas allá del máximo o mínimo de su alcance. Esta protección se efectúa usando, para la medición, solo una porción del movimiento total disponible del elemento de desplazamiento. El resto del desplazamiento disponible antes de la deformación representa la protección. Además se agregan topes mecánicos para proteger contra eventuales daños al sistema y a la pluma o aguja del indicador o registrador.

Los sistemas Clase I y Clase V, llenos de líquido y mercurio respectivamente, normalmente tienen mas del 100 % del alcance como protección. Cuando el volumen del capilar se aproxima al volumen del sensor, la protección se reduce. Los sistemas Clase III, llenos con gas, tienen la mayor capacidad de protección mientras que los Clase II, llenos de vapor la menor.



2. Termómetro a sistema lleno con distintas compensaciones de temperatura ambiente.

a). Construcción simple sin compensación.

1. Sistema de desplazamiento-2. Capilar-3. Bulbo sensor-4. Indicador.

b). Con sistema de compensación parcial (únicamente sobre el sistema de desplazamiento).

c). Con sistema de compensación total (sobre el sistema de desplazamiento y sobre el capilar).

1,1. Sistema de desplazamiento-1,2. Sistema de desplazamiento para compensación-2,1. Capilar-2,2. Capilar para compensación-3. Bulbo sensor-4. Indicador.

6.4.1.- Clasificación SAMA de Sistemas Térmicos Llenos

Clase	Sufix	Descripción
I		Sistema lleno de líquido por variación de volumen (no incluye mercurio)
I	A	Con Plena Compensación
I	B	Con Compensación Parcial
II		Sistemas llenos de vapor por variación de presión
II	A	Diseñados para funcionar a temperaturas por encima de la ambiente

II	B	Diseñados para funcionar a temperaturas por debajo de la ambiente
II	C	Diseñados para funcionar a temperaturas por encima y por debajo de la ambiente (cruzando)
II	D	Diseñados para funcionar a temperaturas por encima y por debajo de la ambiente y a la temperatura ambiente
III		Sistemas llenos de gas por variación de presión
III	A	Con Plena Compensación
III	B	Con Compensación Parcial
V		Sistema lleno de mercurio por variación de volumen
V	A	Con Plena Compensación
V	B	Con Compensación Parcial

6.4.2.- Sistema de Líquido

Un sistema Clase I utiliza unos de los siguientes fluidos para su llenado, los que resultan adecuados para los diferentes rangos de temperatura:

Líquido	Rango de Temperatura ° C
Naftaleno	de -15 a 260
Kerosén	de -50 a 315
Etilbenceno	de -85 a 175
Alcohol Etilico	de -130 a -50
Tolueno	de 100 a 315

Un sistema Clase IA totalmente compensado incluye un segundo elemento de desplazamiento y capilar sin sensor (figura 2c) . Los dos elementos de desplazamiento y los dos capilares son de igual volumen, modo que las variaciones de temperatura los afecten a los dos por igual. Los elementos de desplazamientos se hallan montados de modo que sus movimientos sean opuestos y no haya un desplazamiento neto para variaciones de temperatura ambiente, Un sistema Clase I B parcialmente compensado (figura 2B) utiliza un elemento de compensación bimetalico y omite el segundo capilar.

El largo máximo del tubo capilar para un sistema Clase IA totalmente compensado depende de las variaciones de temperatura ambiente del capilar y del instrumento; como largo máximo normalmente se puede señalar 30 metros. A medida que aumenta el largo del capilar, su instalación se vuelve mas difícil, su respuesta se hace mas lenta y su capacidad de protección de sobre rango disminuye.

El largo máximo de capilar que resulta práctico para un sistema Clase I B parcialmente compensado es de 6 metros. Con mayores largos, hay una gran probabilidad de que puedan producirse diferencias de temperaturas entre el instrumento y el tubo capilar, y llevar el incremento de error en la medición, puesto que la compensación que se brinda es solo para las variaciones de temperatura del elemento de desplazamiento.

Un sistema Clase I tiene un tamaño típico de sensor de 6 a 10 mm. de diámetro y de 50 a 80 mm. de largo para todas las longitudes de capilar, en base de un alcance de temperatura de 100 °C. Este es el menor tamaño de cualquier sensor para alcances de temperaturas similares. Para alcances de mas de 100 ° C el sensor tendría que tener menor diámetro

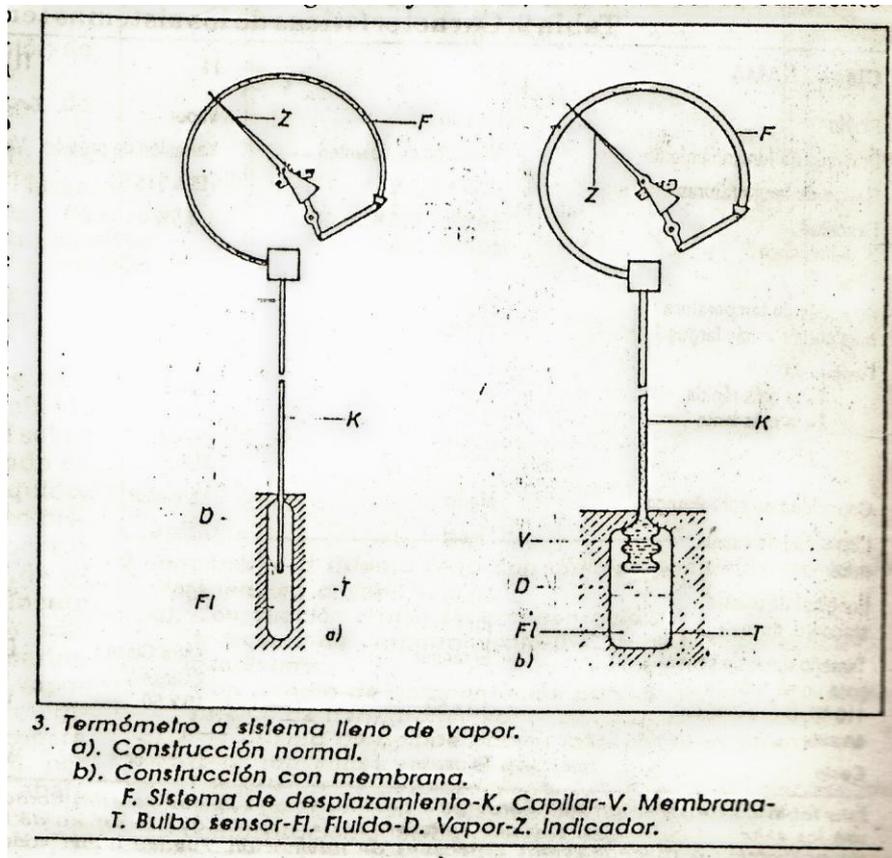
Resumen

- Escalas lineales

- Bulbos sensores de pequeño tamaño
- Por las características de expansión de los fluidos utilizados, encuentran aplicación para pequeños alcances y bajas temperaturas.

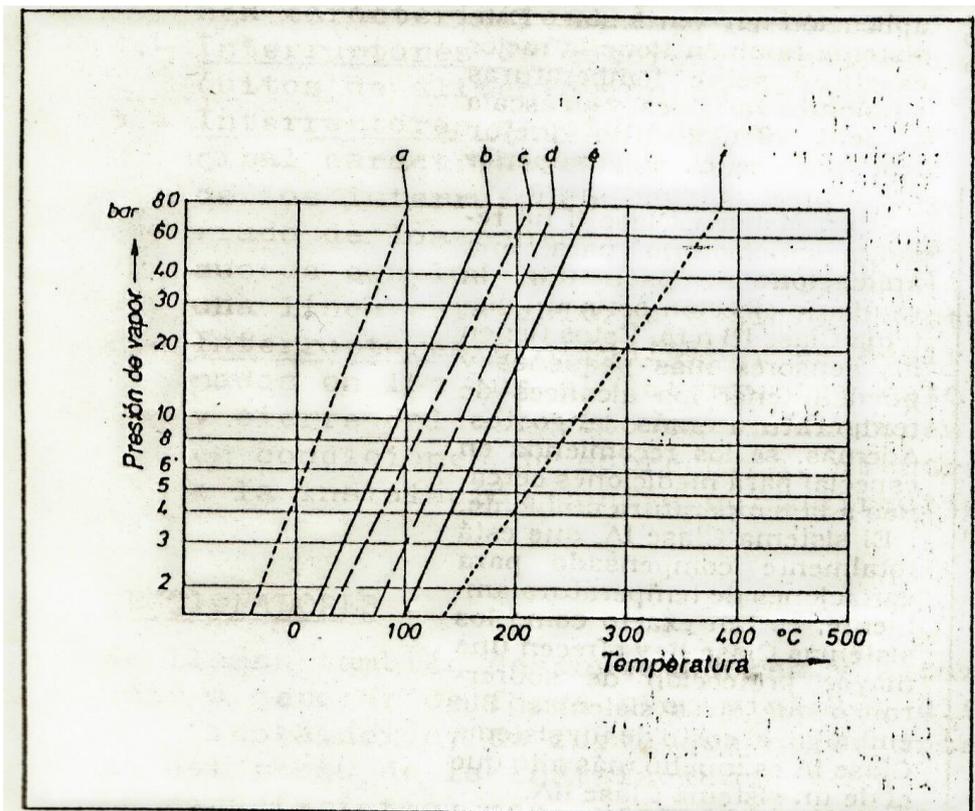
6.4.3.- Sistema de Vapor

Los sistemas de vapor Clase II se muestran en las figuras siguientes:



Los fluidos disponibles para el uso y sus rangos de temperaturas sobre los cuales son aplicables son los siguientes

Fluido	Rango de Temperatura ° C
Agua	de 100 a 230
Tolueno	de 115 a 315
Acetona	de 65 a 200
Éter Dietílico	de 40 a 185
Butano	de -5 a 150
Cloruro Metílico	de -10 a 120
Propano	de - 40 a 70
Alcohol Etilico	de 80 a 230
Dimetibenceno	de 130 a 380



4. Curvas de presión de vapor para diversos fluidos utilizados en termómetros a sistema lleno de vapor.
 a. Propano-b. Cloruro de etilo-c. Eter etílico-d. Alcohol etílico-e. Agua-f. Xilol (dimetilbenceno).

la longitud máxima del capilar en un sistema Clase II es de aproximadamente 45 metros, a causa de las respuestas más lentas con capilares más largos las dificultades de instalación y de las limitaciones del tamaño del sensor.

El tamaño del sensor es independiente del alcance de la temperatura y varía desde 10 mm. x 50 mm. para un sistema Clase II A con capilar de 7,5 metros hasta 22 mm. x 150 mm. para un sistema Clase II C con capilar de 45 metros de longitud. En los sistemas Clase II A y Clase II C, el incremento de la longitud del capilar requerirá un mayor tamaño de sensor, este debe ser lo suficientemente grande para que el líquido que contiene no se vaporice completamente o lo llene completamente bajo todas las condiciones de temperatura.

En los Clase II B el tamaño del sensor es constante para cualquier largo del capilar. Los sistemas Clase II son los únicos sistemas llenos en los cuales el desplazamiento es alineal con las variaciones de la temperatura. Esto resulta en una escala que tiene graduaciones más comprimidas en el comienzo y más abiertas en el final. En el tercio superior del alcance, la escala ofrece una mejor resolución. Por lo general las tolerancias en estos sistemas son de +/- 0,5 a +/- 0,75, es aplicable sobre todo sobre los dos tercios superiores de la escala de temperatura.

Resumen

- Escalas alineales que brindan ventajas en la resolución
- Constantes de tiempo de respuesta muy chicas, lo que permite una indicación veloz.
- Muy difundidos por su bajo costo.

6.4.4.- Sistema de Gas

Los sistemas llenos de gas Clase III usan los siguientes fluidos para su llenado

Fluido	Rango de Temperatura ° C
Helio	de -195 a -130
Nitrógeno	de -130 a 470
Argón	de 470 a 760

Los sistemas Clase III están diseñados con una relación elevada de volumen de sensor con respecto al volumen del capilar. Esto minimiza los efectos de la temperatura ambiente y esencialmente elimina la necesidad de una compensación plena. Aún cuando pueden fabricarse sistemas totalmente compensados Clase III A Clase III B pueden dar resultados satisfactorios.

Para la compensación de temperatura ambiente, los sistemas Clase III B compensados parcialmente pueden recurrir a un elemento de compensación bimetálica o bien un segundo elemento de desplazamiento.

Para estos sistemas, igual a lo que ocurre con los sistemas Clase II, el tamaño del sensor es independiente de la temperatura y requieren los mayores sensores de toda la clasificación. Por ejemplo un sistema Clase III B con capilar de 30 metros tendría un sensor de 22 mm. x 250 mm.

El largo del tubo capilar en los sistemas Clase III suele ser inferior a los 30 metros, puesto que un tubo mas largo requeriría un mayor sensor para disminuir los errores provocados por las variaciones de temperatura ambiente en el capilar y los sensores en estos sistemas ya por si son bastante grandes.

Resumen

- Escalas lineales
- Pueden fabricarse con una variedad de rangos muy grandes por la amplia franja de temperatura de utilización de los gases empleados.

6.4.5.- Sistemas de Mercurio

El sistema de mercurio Clase V es válido para temperaturas desde -35 a 650 ° C.

Los sistemas Clase V pueden emplearse el mismo tipo de compensación de los sistemas Clase I. Como alternativa, puede utilizarse un elemento bimetálico en lugar del segundo elemento de desplazamiento insertando un alambre de invar dentro del capilar. La variación de volumen del alambre de invar y el mercurio se compensan entre si.

En un sistema Clase V B parcialmente compensado, no hay ningún alambre de invar. dentro del capilar.

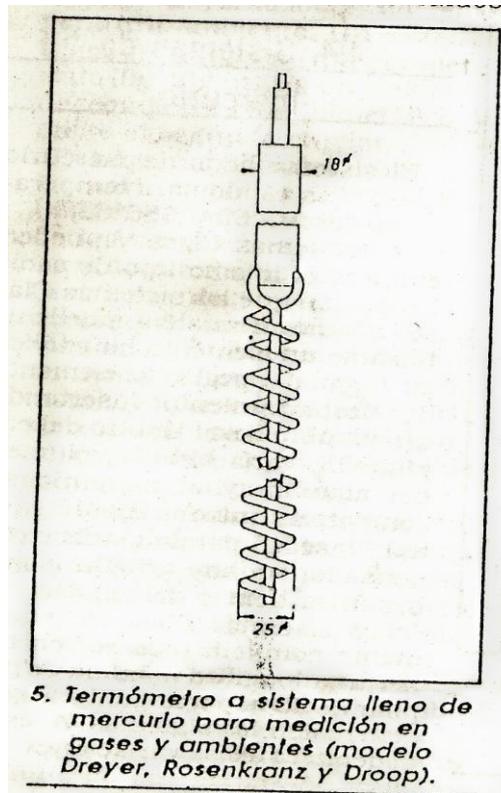
Los sistemas Clase V A totalmente compensados suelen tener una longitud de aproximadamente 30 metros pero, al igual que ocurre en los sistemas Clase I A esto dependerá de las variaciones de temperatura ambiente del instrumento y el tubo capilar. Los sistemas Clase V B que so solo, parcialmente compensados pueden tener hasta 15 metros de capilar puesto que la expansión del mercurio con la temperatura es menor que la expansión de los fluido utilizados en los otros sistemas.

El tamaño del sensor para estos sistemas corresponde a un alcance de temperatura de 30 ° C es de 12 mm. x 100 mm., para mayores alcances el sensor sería menor.

Resumen

- Escalas lineales
- Muy buena estabilidad con el tiempo

- Buen resultado motriz para accionar no solo la aguja indicadora sino también contactos de alarmas o control.



6.4.6.- Selección de un Sistema Lleno

El sistema de vapor Clase II es el más simple, el menos costoso y el más difundido de todos los sistemas llenos disponibles y por lo tanto, será el primero que se considera al seleccionar sistemas llenos para una aplicación en particular.

Este sistema también tiene mejor exactitud sobre temperaturas ambientes variables y escalas alinear, que ofrece una mejor resolución en el tercio superior del alcance de temperatura.

Si un sistema Clase II no resulta satisfactorio para una aplicación en particular, la siguiente elección sería el sistema Clase I a o I B. estos tienen sensores más pequeños y pueden tener alcances de temperatura más angostos, además se los recomienda en especial para mediciones cercanas a la temperatura ambiente.

El sistema Clase I A que está totalmente compensado para variaciones de temperatura ambiente, es tan exacto como los sistemas Clase II, y ofrecen una mayor protección de sobrerango que otros sistemas. Sin embargo, el costo de un sistema Clase I A es mucho más alto que un sistema Clase II A.

El sistema Clase I B está limitado por su corto capilar, máximo 6 metros, y la temperatura ambiente debe ser la misma tanto en el elemento de desplazamiento como para el capilar.

Los sistemas Clase III tienen a su favor los amplios rangos de temperatura pero presentan la desventaja de tener sensores relativamente grandes.

El sistema Clase V es de poco uso hoy día a raíz de las restricciones ambientales relacionadas con el mercurio y la posibilidad de disponer de otros dispositivos de medición para las mismas aplicaciones.

Elementos y Equipos Eléctricos

Clase	I	II	III	V
Fluido	Líquido	Vapor	Gas	Mercurio
Principio de Funcionamiento	Variación de Volumen	Variación de presión	Variación de presión	Variación de presión
Rango de Temperaturas	- 130 a 315 °C	- 45 a 315 °C	- 195 a 760 °C	- 35 a 650 °C
Exactitud % del alcance	+ / - 0,50 % a 215 °C + / - 0,75 % a 215 °C	+ / - 0,5 % en los 2/3 del alcance superior	+ / - 0,50 % a 330 °C + / - 0,75 % a 330 °C	+ / - 0,50 % a 500 °C + / - 0,75 % a 500 °C
Alcance de temperatura Mas corte y mas largo	25 ° C 330 °C	40 ° C 215 °C	65 ° C 550 °C	30 ° C 650 °C
Velocidad de respuesta 1 mas rápida 7 mas lenta	7	II A 1 II B 3 II C 4 II D 5	2	6
Capacidad de sobrerango	Media	La Menor	La Mayor	Media
Linealidad de Escala	Lineal	Alineal	Lineal	Lineal
Longitud del Capilar Estándar en metros	I A 30 I B 06	45	30	V A 30 V B 15
Tamaño típico del sensor para un alcance de 110 °C diámetro x Longitud	10 x 50 El menor	10 x 50 entre Clases I y V	15 x 200 El mayor	10 x 100 entre Clases I y III
Costo	El mayor	El menor	Medio	entre Clases I y III