

TM
25853
.M2
FIME
1982
C391

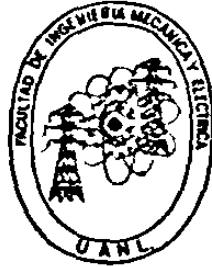




1020070564

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



**DIRECCION GENERAL DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO**

MEDIDORES DE TEMPERATURA EN LA INGENIERIA

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
TERMICA**

P R E S E N T A

MARJA EUGENIA CABAZOS MARTINEZ

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 1982

*En memoria de mis padres por todo el cariño
y comprensión que me supieron dar.*

**Sr. RODOLFO CAVAZOS
y Sra. LILIA O. MARTINEZ DE CAVAZOS**

Al compañero de mi vida

JOSE ESTRADA RODRIGUEZ

*por su amor y apoyo en
el desarrollo de mi -
Maestría.*

A mis hijos:

JOSE y RODOLFO

por ser junto a su padre la
razón de mi existencia y -
superación.

A mis familiares y amigos

A:

ING. GUADALUPE E. CEDILLO GARZA

Por sus consejos y asesoría.

*A mis maestros .con todo respeto y
agradecimiento por sus enseñanzas*

I N D I C E

CAPITULO		PAGINA
I	Generalidades.....	1
II	Planeación de un Proyecto.....	9
III	Condiciones que afectan las mediciones de temperatura	17
IV	Termopares.....	22
V	Diseño de Tipos de Instalación de medidores de temperatura en sólidos.....	37
VI	Técnicas para el diseño de medidores de temperatura en sólidos.....	48
VII	Materiales protectores especiales.....	61
VIII	Gradiente de temperatura y diseños de - Instalación.....	72
IX	Termómetros de Resistencia.....	76
X	Detectores de Radiación.....	95
XI	Aplicaciones.....	107

C A P I T U L O I

G E N E R A L I D A D E S

G E N E R A L I D A D E S

TEMPERATURA.- Es un estado físico de los cuerpos; perceptible al sentido del tacto, esta sensación va íntimamente relacionada con cambios físicos de los cuerpos como son: la expansión consecuencia de un calentamiento, como la contracción debida a un enfriamiento, con cambios en la resistencia al flujo de corrientes eléctricas, luminosidades y cuerpos incandescentes, Estas alteraciones en las propiedades de los cuerpos nos ayudan al tomarlas como base, a medir relativamente la temperatura en un cuerpo estableciendo una escala de temperaturas.

Los Termómetros o medidores de temperatura son los instrumentos - que basados en los cambios físicos dependientes de la temperatura nos permiten tomar lecturas numéricas. Existen diferentes tipos de termómetros: a) Termómetro de vidrio con líquido interior, - b) Los Termopares, c) Termómetro de resistencia eléctrica, d) El Pirómetro óptico, e) Termómetro Bourdon de gas o presión de vapor, f) El cono pirométrico, g) Láminas Bimetalicas.

ESCALAS DE MEDICION.- La escala de mercurio en un tubo de vidrio fue hecho por Fahrenheit basandose especificamente a 0° cuando se tiene una mezcla de hielo agua y sal de amoniac o sal de mar, - 32° con una mezcla de agua hielo y 96° cuando se introduce en la boca o axila de un hombre completamente sano.

Las escalas de gases se formaron mas tarde con hidrógeno y nitrógeno y fueron basados en la Ley de Charles para el comportamiento de un gas ideal, esta escala depende del material particular usado no dá resultados muy satisfactorios por lo que no se recomienda cuando se requiere precisión.

La escala de temperatura termodinámica es más confiable, se basa en el concepto del Ciclo Carnot reversible ideal, aunque dicho ciclo es prácticamente imposible, existen en la actualidad artificios y correlaciones que convierten lecturas de otras escalas en la de temperatura termodinámica usando las propiedades particulares de cada gas. La condición para esto es un completo equilibrio térmico, situación que en problemas de ingeniería no se presentan por lo que un solo instrumento estándar, ni con artificios podría efectuar mediciones correctas no pudiéndose aplicar conceptualmente el término temperatura.

La escala de temperatura termodinámica en un punto se originó debido a la falta de equilibrio térmico, es la que se toma en un intervalo de tiempo y espacio de equilibrio prevalecido ya que de esta manera no afecta si existen flujos repentinos o cambios de cantidad de movimiento mecánicos, por dichas causas se enfoca la atención a zonas donde se mantenga uniformidad interna estadísticamente cuando menos por intervalos de tiempo finitos, de esta manera por ejemplo se encuentran las temperaturas internas en sólidos.

UNIDADES DE MEDICION.- a) Escala Celsius o Centígrado Termodinámico donde 0 grados es el equilibrio entre hielo y aire saturado, y 100 grados corresponde al agua hirviendo a la presión atmosférica ($^{\circ}\text{C}$).

b) Escala Kelvin en la misma que la centígrado solo que el 0 absoluto es el punto de congelamiento es de 273.16°K y el de ebullición 100 grados más arriba (tomada en E.U.A.) ($^{\circ}\text{K}$).

c) Escala Fahrenheit la definimos en función de la escala Celsius con el siguiente parámetro.

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}^{\circ}\text{C} + 32$$

d) Escala Rankine definida como $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 459.69$

En general los instrumentos se calibran en laboratorios estándares y certificados en su estado ideal incluyendo los termómetros de gas que aunque ya están preestablecidos se transforma a escalas termodinámicas donde existen dificultades en el uso de temperaturas industriales que son muy elevadas o requieren gran precisión en su calibración.

Respecto al rango de medición podemos clasificar las escalas de la siguiente manera:

a) La escala internacional de Temperatura tiene como límite superior 10^{12}°K y el punto de oxígeno a 90.19°K como límite más bajo.

b) La escala provisional de Temperatura va de 11 a 90.19°K con este en un grupo de resistencias de termómetros calibrados por comparación directa con otro de helio a un volumen constante.

c) La escala de Helio a Volumen constante se usa de 1 a 11°K cuando se trabaja con presiones pequeñas.

d) La escala Magnética se usa de 1°K a menos y se aprovecha el comportamiento de la susceptibilidad magnética por lo que ocurre una relación entre el calor-entropía en el proceso de enfriamiento -- rigiéndose por la ley de Curie $I = CH/T_m$, donde I es la Intensidad de magnetización producida en la muestra de sal paramagnética por la imposición magnética de un campo de fuerza H la temperatura absoluta T_m de la sal; T_m es la temperatura en la escala magnética; C es una constante de calibración determinada por compara--

ción con una escala de presión de vapor de helio abajo de 1°K . Esta prueba se efectúa con una muestra esférica y se aproxima hasta lecturas de $.003^{\circ}\text{K}$.

Los métodos para la medición de temperatura se clasifican de la siguiente manera:

1) Cuando el cuerpo donde se desea medir la temperatura sirve como su propio termómetro. Por ejemplo la presión de un cuerpo de gas confinado este volumen a presión constante, la presión ejercida por el vapor de una sustancia en equilibrio en interfase, la velocidad del sonido en el cuerpo de un gas. La resistencia eléctrica de un sólido, los cambios de dureza u otras propiedades como la expansión.

2) Cuando un dispositivo es insertado dentro del cuerpo, estos aparatos poseen un elemento sensitivo y trabajan con el principio del equilibrio entre el elemento sensitivo y el cuerpo avaliado. Existen diferentes tipos de dispositivos llamados termómetros como son:

T. de gas basado en la relación entre la presión, el volumen específico y la temperatura es un aparato voluminoso y su elemento sensitivo es de $3/4$ de in porque se le acopla un manómetro de Bourdon. Se usa en un rango de 60 a 1000°F con una seguridad de $\pm 1\%$ y con aproximaciones hasta de 0.01°F .

T. de presión de vapor semejante al de gas donde la presión de vapor en coexistencia con la fase líquida empieza una función independiente de su volumen específico. Según el fluido se alcanzan rangos de -20 a 700°F se recomienda para mediciones abajo de 1°K .

T. rellenos de líquido con diversas formas y líquidos, alcanza un rango de -170° a 2200°F con la consideración de que la exactitud y su sensibilidad va en razón inversa al rango. El más común de los líquidos es el mercurio en donde podemos tener algunos

errores que aparecen con el vidrio y el líquido subenfriado sujeto a grandes presiones y viscosidades bajo esfuerzo, esto se corrige incrementando el volumen del bulbo por esta razón se gradúan a $.2^{\circ}\text{F}$ hasta 300°F y de aquí en adelante se efectúan las correcciones progresivamente hasta 750° . Cuando el vidrio de los termómetros caen bajo el efecto de histeresis el error es de $-.02^{\circ}\text{F}$ cada 10°F solo hasta los 300°F en adelante no se puede producir. A presiones externas altas el error es de $.2^{\circ}\text{F}$ por atmósfera.

Si el termómetro es calibrado para trabajar en una posición total o parcial de inmersión o bien vertical u horizontal debe trabajarse en la misma posición de calibración de lo contrario debe efectuarse una corrección que se proporciona por los fabricantes de estos aparatos.

T. de Resistencia eléctrica, consiste en un serpentín de alambre auxiliado por instrumentos de medición para medir la resistencia eléctrica que depende de la temperatura, su rango de medición es de -297.35 a 1166.9°F . Se debe cuidar de los sólidos no metálicos que no dan lecturas correctas llamadas comúnmente termisores.

T. Bimetalicos consiste en una soldadura autogena de materiales de expansión térmica diferentes, las cuales se curvan con los cambios de temperatura sirviendo de elemento sensitivo, depende de la propiedad elástica por medio de discos de control y telemedido se usa para temperaturas mayores de 500°F con exactitud de un $\pm 5\%$.

T. Termoeléctricos o Termopares, su rango es de 0 a 5400°F pero de 1166 a 1945° es el instrumento más exacto, tienen la ventaja de ser pequeños, baratos, fáciles de construir. El elemento sensitivo puede ser arbitrariamente pequeño y la baja capacidad térmica de el elemento resulta de éste tamaño pequeño.

3) *Pirómetros de Radiación* consistente en un disco negro con un escudo para la radiación perdida y provista de un indicador sensitivo a los cambios de temperatura expuesta, el disco se calienta emanando radiación además las lecturas pueden hacerse a distancia calibrando si otro cuerpo radiante está cerca se calcula la corrección del reflejo originado por ese otro cuerpo, cuando se usa el espectro completo da origen al pirómetro de radiación total, de aquí viene el principio de los dos colores evitando la corrección por emulsividad (ya que requerirán las misma longitud de onda para afectarlo).

Pirómetro Óptico.-consiste en un lente a través del cual una porción de la superficie es vista, un filamento ardiente se coloca en el plano del lente, todo esto se observa a través de un filtro, el disco de vidrio transparente se coloca según la longitud de onda de la luz para leer la temperatura se compara con otro filamento hasta que aparezca la misma intensidad.

Cono Pirométrico son delgadas pirámides de 3 lados hecho de minerales calentados uniformemente a razones de deformación ya especificadas, existen 61 Números de Conos para rangos de 1085 a -- 3659°F, se usa en la industria de la cerámica.

4) *Indicador de Colores.*- en el tratamiento térmico del acero las temperaturas de templado pueden ser estimadas por el color logrado en las formaciones de óxido de la superficie (932 a 1620°F), en la cerámica el indicador se hace con pintura o capsulas.

Fotografía infraroja.- su rango es de 600 a 850°F, tiene la propiedad de guardar la distribución de temps, entre mas luminoso mas calientes estan las áreas, como es imperceptible el ojo humano puede efectuarse por fotografía ordinaria y celdas fotoeléctricas para mediciones.

Los anteriores métodos se usan para situaciones fuera de equili--

brío térmico.

Las mediciones de radiación y densidad. La intensidad de radiación en varias longitudes de onda sirven para medir la temperatura, la absorción de Rayos X o partículas α o paso de electrones a través de un gas puede indicar la densidad local de un gas.

La velocidad del sonido en un cuerpo de gas depende de la razón de elasticidad adiabática a la densidad local de un gas, y como está en función de la temperatura es posible medirla por ese método. Similarmente la presión de goteo a través de un orificio puede ser usado para la medición de la temperatura en un flujo -- (dependiendo de las propiedades del gas).

Nota: Para la medición de temperaturas en los sólidos se aconseja el uso de los termopares por su versatilidad.

C A P I T U L O I I

PLANEACION DE UN PROYECTO

PLANEACION DE UN PROYECTO

Para seleccionar un método de medición y diseñar la forma de aplicación se requieren conocimientos numéricos y no se puede depender de suposiciones ó conjeturas puesto que los proyectos industriales son complejos y la medición de la temperatura no constituye de ninguna forma un proyecto completo. El diseño de los aparatos se decide en relación a los objetivos del proyecto. La naturaleza del diseño permite uno o varios arreglos en los cuales se limita directamente la precisión de las cantidades medidas, pudiendose limitar también otras cantidades dependientes, las cuales interesan pero no son medidas independientemente.

Por ejemplo una decisión para trabajar en una máquina de combustión interna puede implicar limitaciones sobre la constante con la razón de consumo, velocidad, par de esfuerzo, potencia, eficiencia, etc. Cada limitación será aceptada con el diseño propio de los aparatos y tendrá influencia sobre la selección de ellos.

Los métodos de medición de otras cantidades deseadas pueden ser independientes del diseño general.

La decisión sobre la instrumentación y el procedimiento debe ser hecho después de la comparación de las estimaciones de las ventajas y mayor precisión con el incremento en el costo de las mediciones.

Los estandars de precisión son dados por un juego de cantidades de interés final en el proyecto, un calculo puede ser efectuado con los requisitos de precisión para la variedad de mediciones específicas a partir de las cuales los valores finales son decidi-

dos. Dicho procedimiento puede efectuarse basado en las reglas de los errores descritos en este capítulo.

Si la temperatura es una medida de un estado o condición (movimiento de las moléculas) en un tiempo y un punto dado, un error en esta medida nos da un conocimiento equivocado de la magnitud, localización o del tiempo en que ocurre este suceso.

Los errores en la medición de Temperatura pueden definirse en varias formas:

- 1.- Errores en Unidades, es decir, se aclara perfectamente el tipo de escala usada.
- 2.- Errores por Unidades relativas, pueden deberse a diferencias de temperatura en las lecturas de un instrumento comprado, -- hay ocasiones en que las cantidades medidas individualmente -- no son tan importantes como las diferencias o razones entre -- dichas cantidades.
- 3.- Los Errores en la Temperatura pueden deberse a la forma de -- realización del trabajo pero originan otros errores que sumados darían un mayor error.

En lo referente a sus fuentes los errores se clasifican en: Sistemáticos y Accidentales.

Los sistemáticos son inherentes al significado de la medida, por ejemplo, si un instrumento indica siempre "X" unidades de error, -- éste es sistemático, por lo tanto son errores repetidos consisten -- temente a través de todas las lecturas y no se reducen dichos -- errores si se repiten las lecturas.

Los accidentales pueden ser debido a que el apreciador comete un desatino (no acciona el interruptor correcto o lee en la escala --

equivocada) Este sería un error accidental grande, los pequeños - son en los que tienen influencia en las lecturas individuales por ejemplo, la estimación de la última lectura estos si pueden reducirse o eliminarse.

TRATAMIENTO DE ERRORES ACCIDENTALES

Estos pueden eliminarse haciendo repetidas lecturas en número suficiente asegurando así la veracidad de ellos cuando la cantidad esta siendo medida directamente, esas lecturas pueden simplemente promediarse cuando la cantidad que nos interesa no es medida directamente, pero se encuentra por medio de fórmula con 2 o más -- cantidades medidas; 2 métodos son recomendables

1o) Los datos pueden ser justos, los valores calculados o derivados de funciones, son graficadas en papel especial como una función de cualquier variable; de las variables implicadas en la -- ecuación, y una ligera curva se traza a través de los puntos.

2o) El mas elaborado y arriesgado método de cuadros más pequeños pueden ser usados para lograr el mismo resultado.

A través de la repetición de lecturas se evitan errores Esto es -- tan atractivo como caro y es importante considerar este factor -- para ser usado.

Una sola repetición es comunmente suficiente para detectar erro-- res y accidentes. La probabilidad de un operador listo, de repe-- tir el mismo error es muy pequeño. Así que puede asumirse que -- está correcta la lectura si una segunda vez se efectua coincidiend-- to el valor con el anterior. Todas las lecturas sin embargo de-- ben hacerse por pares.

En resumen el porcentaje de reducción de error con una repetición de lectura es hasta de 70% que con una sola.

El número de repeticiones es incrementado, sin embargo si ellos --

vienen bajando rápidamente su eficiencia.

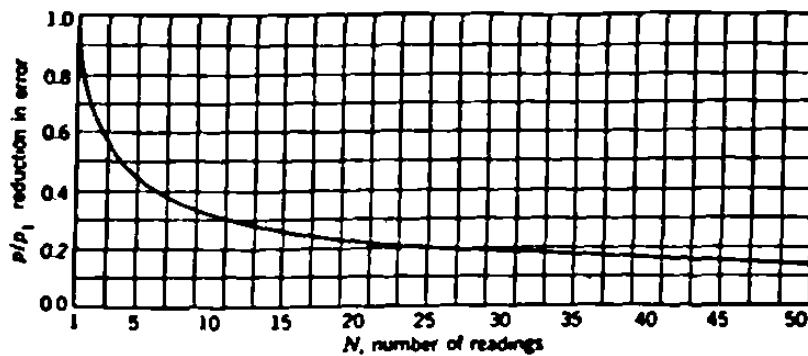


Figura 2-1

Reducción de error probable con lecturas repetidas. p , es el error probable por lectura individual, p_1 es el error probable significativo por una serie de lecturas. N , es el número de lecturas independientemente tomadas.

Dos lecturas repetidas reducen el error de una sola en un 50%. -- El promedio de las efectividades por cada lectura en el segundo par es solo 1/3 parte de la primer repetición. Si el error accidental probable es de un par de pruebas se reduce a un 67% por repetición, un total de 18 lecturas deben ser obtenidas o 16 adicionales.

Cuando se requiere una mejor precisión que las que proporcionan un par de lecturas; es solo cuando se justifican una multiplicidad de lecturas y esto sucede: 1) Cuando es necesaria la precisión por una mejor técnica que de lo contrario no podría ser aplicada, 2) Donde la repetición no resulta cara.

TRATAMIENTO DE ERRORES SISTEMATICOS

Estos errores por definición no pueden remediarse por repetición directa con la misma técnica. En este caso la repetición es - - efectiva solamente cuando se emplean diferentes técnicas (Diferentes Aparatos). Donde un cambio completo se hace, eliminando el procedimiento en el cual el error sistemático es inherente, las - mismas reglas son aplicables que en los errores accidentales.

Así una repetición sola generalmente suficiente para detectar - - errores grandes. Por el método de Balance de Calor, donde el calor entrando a un sistema se compara con el de salida, y cualquier discrepancia es notada. Una repetición de esta clase puede - se aproximadamente el doble de caro de el trabajo.

La reducción de errores sistemáticos probables por repetición multiple con cambio sucesivo de aparatos es muy caro. Donde no se usan muchos aparatos, se cambia por un factor, por ejemplo, reemplazando un número de Termopares para leer la misma temperatura y conectandolos en serie y podría efectivamente constituir repeticiones parciales a menor costo. La reducción de errores probables sistemáticos podría ser un 67% a través del uso de termopares adicionales, podría ser también molesto. Donde el espacio - lo permita, esta técnica es muy recomendada.

Se debe enfatizar que, una repetición por un método diferente es necesario solo en detección de grandes errores sistemáticos.

ACUMULACION DE ERRORES

En relación a cualquier medida hay generalmente otras fuentes de error que contribuyen al error total.

Algunos de estos son positivos otros negativos y unos tenderían a cancelar otros.

$P = p\sqrt{N}$ donde p es el error probable permitido en cada uno de los N fuentes individuales, N podría variar de un aparato a otro. Sin embargo N es usualmente más grande que lo estimado y el error individual p son generalmente tan grandes como fue asumido. En vista de esto y en lugar de dar un factor de seguridad es considerado bueno práctico el limitar los errores individuales a 1/10 de el error permitido final así $a = .1A = .3P$.

Donde a es la magnitud permisible de cualquier fuente contribuyente de error.

C A P I T U L O I I I

CONDICIONES QUE AFECTAN LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA

CONDICIONES QUE AFECTAN LAS MEDICIONES DE TEMPERATURA

EL PROBLEMA

En cualquier medición de temperatura lo primero es determinar la precisión requerida, examinar la situación general y los factores que intervienen en el problema. Determinar la cuestión para una mejor solución del problema y para el desarrollo de un diseño de aparatos satisfactorios.

Un problema se presenta donde se desea medir una cantidad de temperatura en una situación donde una combinación específica de condiciones prevalentes. (Un ejemplo de esta condición es para el cuerpo en el cual se desea efectuar la medida está en estado sólido y se compara con el estado líquido o gaseoso).

Ahora nos limitamos al análisis de cuerpos sólidos. Una descripción de otras condiciones que son pertinentes para la solución de problemas en las medidas de Temperatura-Interna en sólidos se verá en seguida la prevaencia de cada condición, es significativa solamente y hasta que afecte la aplicación de la técnica de la medida de la cantidad de temperatura de interés.

Cada cantidad de temperatura puede ser descrita en el estado, lugar, en tiempo, el cuerpo dado, temperatura esta siendo medida y con que cantidad de grados de precisión.

Las circunstancias en una situación dada constituyen los factores que afectan a la selección, diseño o el uso de uno o mas de las técnicas y componentes de la medición y se denomina Condiciones Características. La solución al problema es un diseño suficiente para esta combinación de condiciones incluyendo en dicho diseño los materiales apropiados y las técnicas viables a usar. Así

si se desea medir la temperatura interior en un cuerpo cuyo material fuera duro, la aplicación del diseño podría implicar una técnica para perforar un pozo en este material.

COMPONENTES DEL DISEÑO

El diseño termométrico se considera en 3 fases

- 1.- El elemento Sensitivo
- 2.- El Instrumento indicador
- 3.- Las comunicaciones de las cargas

Así, por ejemplo en un termopar el elemento sensitivo es la unión caliente; el instrumento indicador sería el potenciómetro o galvanómetro, punto de hielo, celdas standard y switches; las comunicaciones de cargas son simplemente los alambres que van desde la unión caliente a el instrumento medidor.

En un termómetro de fluido contenido en un sólido, el elemento sensitivo es el bulbo, el instrumento medidor es un calibrador de presiones y las comunicaciones consisten en un ducto tubular.

Condiciones Características.- Estas pueden dividirse en estados estático y en estado de movimiento, un estado sólido no presentaría dificultades. En un cuerpo en movimiento es generalmente un cuerpo en el cual se mueve relativamente a el instrumento de medición el movimiento del cuerpo puede limitarse a un rango como un movimiento periódico o bien puede ser continuado de un lugar a otro cuando el movimiento es periódico. La amplitud, frecuencia aceleración y vibración interna son condiciones características. La cantidad de distorsión o deformación impuesta sobre los conductores es determinada por la amplitud. La amplitud y la frecuencia juntos más el shock de la aceleración determina la acción de Galpeteo sobre los conductores, la vibración interna y la acelera

ción determinan el grado de aspereza mecánica requerido en el elemento sensitivo. El diseño debe proveer estas condiciones para su operación.

Otra condición característica es el espacio, es decir el tamaño y la forma geométrica del cuerpo y su ambiente por ejemplo esto limitaría la inserción del elemento sensitivo.

La naturaleza del medio ambiente circundante al cuerpo es otra condición característica. Así los conductores pueden requerir pasar a través de un enfriamiento de agua o aceite, puede estar el cuerpo en un tanque conteniendo fluido bajo presión o el fluido puede ser conductor eléctrico o corrosivo. Esto haría necesario proveer una efectividad rigurosa para evitar el escape del fluido a puntos donde los conductores pasarán a través de las paredes de una cubierta o tanque. El cuerpo puede estar dentro de un horno, requiriendo que los conductores pasen por distancias substanciales a través de gases que podrían estar a altas temperaturas, posiblemente también contengan partículas suspendidas de material fundido. También puede haber radiación interna. El espacio a través del cual los conductores deben pasar puede estar húmedo - tendiendo a condensarse sobre ellos. El cuerpo puede estar a un potencial eléctrico alto o los conductores pueden requerir pasar cerca de objetos o potenciales altos. Todos estos factores influyen en el tipo de instrumento necesario y en la longitud de los conductores. La longitud de los conductores podría ser una desventaja (Termopares) reduciéndose la sensibilidad.

El nivel de temperatura en el cuerpo es una condición característica, el elemento sensitivo y los conductores deben adaptarse para soportar dichas temperaturas. Las providencias necesarias -- para lograrlo pueden afectar adversamente (negativamente) la precisión.

En general las propiedades de los materiales de los cuales está compuesto el cuerpo son condiciones características, maquinabilidad, fragilidad, conductividad eléctrica, susceptibilidad al golpeo, soldadura, latonado y autogenado podrían afectar la facilidad con el que elemento sensitivo sea instalado. La facilidad de corrosión, la durabilidad de la instalación afectarían también.

Distribución y variación de temperatura en el cuerpo y la variación de temperatura de entre un punto a otro en el cuerpo son Con diciones Características. Así los pasos de gradientes de temperatura pueden incrementar la inexactitud en la medida de la localización a la cual una temperatura dada es encontrada existente.

Los cambios de temperatura con respecto al tiempo pueden requerir incremento en la precisión en la medida en un instante al cual -- existe una temperatura dada. El número de puntos a los cuales -- simultáneamente muchos son requeridos podrían afectar la dificultad de lograr la precisión requerida.

Por lo tanto la precisión requerida por las condiciones características afecta directamente la selección de la instrumentación

C A P I T U L O I V

T E R M O P A R E S

T E R M O P A R E S

Por ser la técnica más ampliamente usada en la medición de sólidos, se tratará más ampliamente este tema.

CIRCUITO SIMPLE.

El circuito de un termopar simple consta de 2 metales A y B con uniones cuyas temperaturas son t_1 y t_2 como por lo general estas uniones no están a igual temperatura se genera una fuerza electromotriz o emf "E"; la magnitud de la emf depende de los metales pesados y de la diferencia de las temperaturas por lo que se debe colocar un aparato indicador de emf o flujo de corriente.

El término Potencia Termoeléctrica "e" se define por un par de metales dado y un promedio de temperaturas especificadas como la razón de la magnitud de la emf E, a la diferencia de temperaturas $t_1 - t_2$ entre las uniones.

Si la potencia termoeléctrica e por un par de metales A y B a la temperatura de uniones t_1 y t_2 es e_{AB} , y la potencia entre el par de metales AC es e_{AC} , entonces la potencia termoeléctrica a estas temperaturas para el par B y C es:

$$e_{AB} = e_{AC} - e_{AB}$$

Aquí B reemplaza a A y C a B en la figura.

Los signos de las emf son positivos si va en dirección de las manecillas del reloj.

Aquí A es el metal de referen-



Figura 4-1

Circuito de un Termopar Simple

cia, entonces si t_2 es la temperatura mas baja, el signo de la --
 "e" es positiva si el flujo va del metal dado al de referencia en
 la unión fria. El plomo es generalmente tomado como metal de --
 referencia.

Las parejas de metales usados mas comunmente en termopares son:

hierro - constantano
 cromel(P)- alumel
 platino - aleación de platino y radio
 cobre - constantano

cuyas tablas son ampliamente publicadas, en ellas las temperatu--
 ras fijas para la unión fria es 0°C o 32°F (t_2). La emf en --
 volts se da en función de t_1 en pequeños pasos y sobre rangos muy
 amplios.

CIRCUITOS DE METALES MULTIPLES

Un termopar puede constar de 4 metales. Aquí es donde los con--
 ductores son hechos de diferentes materiales. Aquí la E_{ABCA} es
 la emf del circuito, E_{AB} es la emf de los metales A, B por la unión
 caliente t_1 , E_{CD} es la emf entre C y D por la unión caliente t_1 -
 y la unión fria a temperatura t_2 .

$$\therefore E_{ABDC} = E_{AB} + E_{CD}$$

e_{AB} es el promedio de la potencia termoeléctrica sobre el rango -
 de temperaturas de t_1 a t_2 para los metales A y B.

e_{CD} es el promedio sobre el rango t_1 a t_2 para C y D entonces

$$E_{AB} = e_{AB} (t_1 - t_2)$$

$$\text{y} \quad E_{CD} = e_{CD} (t_1 - t_2)$$

$$E_{ABCD} = e_{AB}(t_1 - t_2) - e_{CD}(t_1 - t_2)$$

Si los metales C y D son iguales $E_{CD} = 0$ y $E_{ABDC} = E_{AB}$ y t_1 sería efectivamente la unión fría.

Si t_1 y t_2 son iguales, entonces $E_{CD} = 0$ también por lo que volvemos a tener que E_{ABDC} el mismo término se puede expresar de la siguiente manera:

$$E_{ABDC} = e_{AB}(t_1 - t_2) - (e_{AB} - e_{CD})(t_1 - t_2)$$

donde el primer término es la emf como si fueran solo A y B, el segundo término podría ser despreciable si las potencias termoeléctricas (e_{AB} y e_{CD}) o las temperaturas t_1 y t_2 están muy cercanas.

Si el termopar se compone de 3 metales entonces e_{AB} es el promedio de la potencia termoeléctrica sobre los rangos de temperatura t_1 a t_2 .

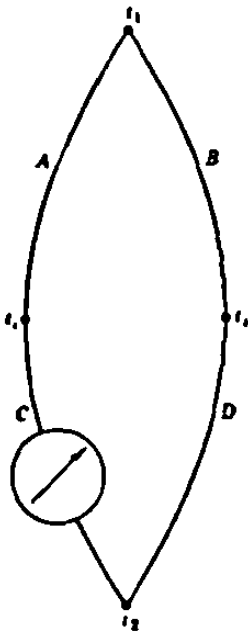


Figura 4-2
Termopar con 4 metales

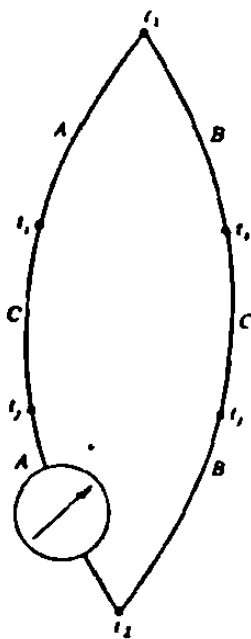


Figura 4-3
Termopar con 3 metales

Aquí tendríamos

$E_{ACBCB} = e_{AB}(t_1 - t_2) - e_{AB}(t_1 - t_2)$
aquí, la porción $(t_1 - t_2)$ de el cambio de temperatura $(t_1 - t_2)$ ocurre en la sección en donde ambos conductores son del mismo material.

Todas las formulas procedentes se basan en la uniformidad y homogeneidad de las propiedades termoeléctricas de los materiales

y dependiendo solo de las temperaturas en los empalmes. Para lograr esto, las uniones se deben fundir logrando una mayor seguri-

dad en su uniformidad.

También se debe cuidar que la ley de los estados de Metales Intermedios se siga, dicha ley expresa: Si en cualquier circuito de conductores sólidos, la temperatura es uniforme desde un punto P a través de todo el conductor hasta otro punto Q, la emf termoeléctrica en el circuito es la misma como si P y Q estuvieran en contacto.

Los metales para esta parte del circuito son generalmente cobre, bronce, plomo estañado, plata y manganeso por no variar grandemente sus propiedades termoeléctricas.

Los errores resultantes de las variaciones en la temperatura y de la composición de los termopares usualmente llamados Parasitos o Efectos térmicos falsos, errores que también resultan de los efectos falsos de voltaje. En cualquier momento 2 metales de diferente composición establecen una comunicación eléctrica, este principio se aplica en las baterías secas usadas en las linternas. Las emfs de cada celda es del orden de 1 volt, y se miden en milisimos o millonesimos de volts, por ejemplo, para el acero-constantano como 30 microvolts representa 1°F.

Para evitar los efectos parasitos de voltaje se recomienda:

10. Efectuar todas las soldaduras con un flujo de colofonia evitando exposiciones de cualquier parte del circuito a acidos o alcalis.
20. Procurar por todos los medios una humedad relativa baja
30. Cuidar la porosidad en el aislante en las partes que estan a altas temperaturas, esto se logra recubriendo con barnices, donde se exige una gran precisión, los alambres a menudo se bañan en parafina.

40. La conductividad en la superficie sobre el aislante en los switches donde parte del conductor es expuesta, es mejor cubrirlos con aislantes de bajas conductividades y manteniendo las superficies limpias la cera natural es un material que podria usarse como aislante en trabajos de precision donde la humedad relativa es alta.

Las Parejas de Materiales mas ampliamente usadas en termopares son:

Cobre - Constantano (60% cobre 40% niquel)

Acero - Constantano

Cromel (P) - Alumel (P 90% niquel, 10% cromium, 95% niquel - con aluminio, silicón, manganeso el resto).

Platinum - Platino - rodio (90% platino 10% rodio o 87% platino 13% rodio).

El acero-constantano, en calibre N° 8 B & S (.128cm) protegido de la corrosión puede usarse hasta 1800°F dependiendo de la presión y de la vida de servicio. Para alambres sin protección calibre 24 al 30 B&S (.02 a .01in) solo se usan de 600 a 1050°F dependiendo también de la vida de servicio es decir para 1050°F sobre vendria un rápido deterioro. Ambos materiales se usan hasta -423°F sin protección pues son fuertes, duros y de baja conductividad térmica.

El cobre - constantano, se usa a temperaturas menores de 32°F -- hasta -423°F, en calibres pesados como N°14 B&S (.064 in) y con protección a la corrosión se usa en temperaturas altas de 700 a -1100°F, para calibres pequeños 20 o 30 (.032 a .01 in) se usa arriba de 350 hasta 600°F. La desventaja del cobre es que tiene conductividad térmica alta.

El cromel - alumel para calibre N°8 (.128 in) protegido a la corrosión se usa de -300°F hasta 2450°F y para pequeños calibres -- como N°30 puede usarse hasta 1200°F . (de 1000 a 1800°F posee una vida de servicio tan larga como el hierro-constantano) Ambos materiales son de conductividad baja, fuertes y duros sin embargo - la contaminación cuando esta en servicio los hace quebradizos.

El platino- platino con el 1- $\frac{1}{2}$ de rodio, se usa para el rango de 1166.9 a 1945°F . No se usa industrialmente porque tiene baja potencia termoeléctrica; sin precisión y a riesgo de acortar su tiempo de vida puede medir temperaturas hasta 2700 o 3100°F .

El platino - platino con el 13% de rodio trabaja en rangos de 2000 a 2900°F pues tiene una alta potencia termoeléctrica.

Otras Prejas de Materiales usados son:

Bismuto - Bismuto (aleación B) de alta potencia termoeléctrica -- usado en rangos de -424 a 350°F . Ambas de conductividad térmica baja.

Iridium - Iridium con el 10% de ruthenium puede usarse hasta 3600°F aunque es quebradizo y se deteriora rapidamente por la oxidación es de baja potencia termoeléctrica pues da $.9\mu\text{v}$ por $^{\circ}\text{F}$.

Iridium - con un 60% de rodio con un 40% de iridium también se usa para temperaturas mayores de 3600 es muy quebradizo y oxidable, - de baja potencia termoeléctrica $2.3\mu\text{v}$ por $^{\circ}\text{F}$.

Tungsteno - Iridium usado a temperaturas mayores de 3800°F da $14.3\mu\text{v}$ por $^{\circ}\text{F}$.

Tungsteno - tungsteno con el 25% de molibdeno puede usarse hasta 5400°F . Es fuerte, ductil y algo quebradizo, es de baja potencia termoeléctrica de $1.9\mu\text{v}$ por $^{\circ}\text{F}$.

Carbón - Silicón Carbón y Carbón - Boro Carbón ambas usadas para altas temperaturas.

El Oro con .30% de Cobalto-Plata con 1.8% de oro se usan para temperaturas tan bajas como el helio líquido.

La Plata con .38% de oro-Cobre con .088% de acero también usado - para temperaturas bajas.

PRUEBAS A LOS TERMOPARES

Para detectar cambios bruscos en la potencia termoeléctrica se conectan las 2 terminales a los elementos sensitivos al galvanómetro. El calor local estableciendo un gradiente de temperatura en el alambre ya sea en el empalme o en otras porciones. Se toma nota de cuanto es la deflexión del galvanómetro donde el calor se aplica a varios puntos. Esto puede realizarse sobre el circuito ya instalado. Para estimar el grado de certeza en la temperatura medida es necesario conocer el voltaje sensitivo de el galvanómetro y el incremento de la temperatura local en el calor aplicado

$$At = Et_2/et_1$$

donde $At(^{\circ}F)$ es el error en la temperatura medida por la inhomogeneidad.

$E(\mu v)$ es la emf correspondiente a la deflexión mas grande del galvanómetro en las pruebas.

$e(\mu v/^{\circ}F)$ es la potencia termoeléctrica del termpar usado

$t_1(^{\circ}F)$ es la elevación de temperatura producida por el calor local

$t_2(^{\circ}F)$ es la diferencia de temperaturas mas grande ocurrida entre cualquier par de puntos en el circuito en operación.

At no es necesariamente el mayor error por la falta de homogeneidad pero generalmente lo es.

Para detectar cambios graduales en la potencia termoeléctrica, el alambre se dobla y se enlaza insertandose a varias profundidades. La emf (E) entonces resulta de la diferencia de propiedades en el alambre o cable en 2 de sus puntos, t_1 es el exceso de temperatura bajo calentamiento o del aire líquido bajo la temperatura ambiente, el resto de la ecuación es igual al anterior.

CALIBRACION DE LOS TERMOPARES

Para temperaturas de -300 a 3100°F la mas común en el mercado es aparejando cables bajo tolerancias específicas y con tablas estandares publicadas. Seleccionando el trenzado de los cables, son pareados con su relación de temperatura-emf; la tolerancia es de $\pm.25$ a $\pm.75\%$. Esta precisión es suficiente para trabajos normales.

Si es necesario mayor precisión, los cables se fabrican con una mayor carga, ocasionando correcciones en las tablas que deberán aclararse con etiqueta en los carretes de los cables. Otra opción para una mayor precisión sería hacer la manufactura con mayor carga y utilizando las tablas estandares pero con una tolerancia mas cerrada.

Las pruebas efectuadas en materiales no homogéneos no son constantes por lo que resultarían sin sentido alguno. Solo las pruebas en materiales homogéneos son validos pues casi no cambian con la longitud o el trenzado de los termopares. No es conveniente certificar cada termopar pues sería necesario remover el aislamiento. Para temperaturas menos de $3,100^{\circ}\text{F}$, se calibran también dando a la unión caliente y al conductor con una longitud suficiente una

temperatura uniforme en un lugar cerrado donde pueda medirse la temperatura con un pirómetro óptico monocromático.

Para temperaturas de 3100 a 4500°F se requieren aparatos especiales; Radiadores de Tungsteno soportándose por si solo, operado en una atmósfera de argon puro, pueden ser usadas con aislamiento en las paredes con materiales altamente refractarios (circonia) y con un pirómetro óptico.

Para temperaturas arriba de 4500°F, el depósito puede contener un filamento radiante (cinta de tungsteno) suspendido desde la pared óptica o escudo de radiación paralela hasta los termopares y los alrededores. Una rendija en este escudo permitiría observar las uniones del termopar con un pirómetro óptico. Debe colocarse un enfriador a la salida aunque la atmósfera de argon puro se usa como protección.

Deben recalibrarse frecuentemente cualquiera que sea su rango de trabajo.

UNIONES Y EMPALMES

El término unión se aplica a cada unión de los conductores entre los cables del termopar.

Empalme es usado cuando las uniones de los conductores están entre 2 cables iguales, o equivalentes termoeléctricamente en lo que al metal se refiere.

Las uniones pueden hacerse de varias formas:

- 1) Los cables pueden fundirse ambos en una punta

(gota) también llamado unión o ensamble soldado o tope

- 2) Pueden ser soldados
- 3) Los 2 cables pueden darse un baño de mercurio
- 4) Ambos cables pueden soldarse o fundirse a un metal sólido
- 5) Ambos alambres pueden atarse con una abrazadera.

En las fusiones pueden darsele una capa de solución de separa metales, en la soldadura pueden separarse por una capa de soldadura antes del proceso. Dicho proceso puede acarrear corrosión en las secciones próximas a la unión, esto sucede debido a el cambio de estructura por la cristalización y si son sumergidos en algún metal fundido, la contaminación o corrosión puede ocurrir en la capa de la solución separadora de metales.

La porción próxima a la unión por lo tanto está hecha de un material diferente de los metales originales de los termopares y se considera como una sección no homogénea; para evitar que esto afecte en las lecturas se debe procurar que dicha porción sea insignificante.

Donde un empalme se efectúa significa que se hace en el mismo material, se efectúa para lograr una equivalencia termoeléctrica; su variación de temperatura cambia con sus longitudes, (pueden ser soldadas, esto evita efectos parásitos) grapando los 2 alambres directamente da resultado satisfactorios también si el contacto está bien hecho.

La soldadura o unión se muestra en seguida

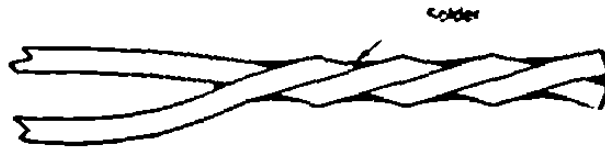


Figura 4-4 Unión soldada

Como se observa se tuercen los alambres en sus puntas previamente limpiadas, se sumergen en tetracloruro de carbón. Si se usa estaño como soldadura se debe presionar en un bloque de colofonia - por una soldadura caliente de acero. Si se usa la plata como soldadura, la parte torcida se sumerge en un flujo # 43 manufacturado por Krembs and Company, el cual es una sustancia cremosa. Se aplica entonces la flama hasta secar y fundir el flujo sobre la superficie. Si alguna parte de esta soldadura se cae debe rellenarse el intersticio, y lavarse con agua caliente. La flama puede ser de aire u oxigeno con gas natural o hidrogeno. La flama de gas aplicada a cualquier aleación de platino y el alumel producen quebraduras y falta de homogeneidad.

La unión o tope o de gota se muestra enseguida.

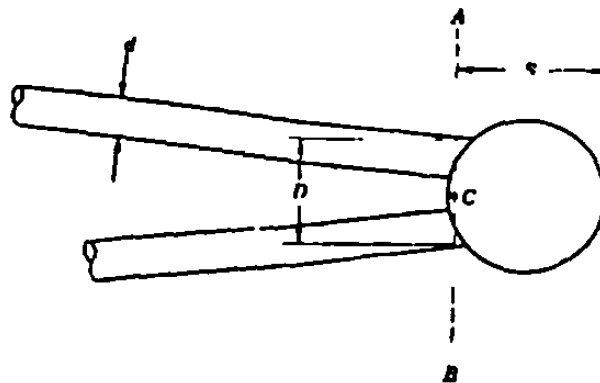


Figura 4-5 Unión de Gota.

Aquí el lugar de unión efectiva es el plano A-B si no es uniforme la temperatura ahí, la región de incertidumbre sería D en su longitud y d en su ancho, siendo $D = 21/2d$, la unión efectiva se toma en C.

Las uniones a tope pueden efectuarse por los siguientes métodos

- a) por arco
- b) por descarga de condensadores
- c) por soldadura de gas

METODO POR ARCO

Se toman ambos ramales, se alisan con un alicate, se tienden para ellos cerrando en uno de extremos unas 15 veces el diámetro del alambre antes de terminar, luego con un segundo par de alicates - se tuercen las terminales proyectadas. Con unas tijeras se quitan 1 1/2 de las últimas vueltas, es entonces cuando se efectúa la soldadura en forma de una gota esférica. Tomando los alambres con el alicate y alisando también la porción torcida, luego se examina con una lupa si fue suficiente el arco, de lo contrario - se repite la operación. Se le da un baño de mercurio cubriendo después con aceite lubricante para proteger la sección caliente - adyacente a la gota.

METODO POR DESCARGA DE CONDENSADORES

Aquí el alambre es tomado por un torno de aguja eléctricamente -- conectado a un conductor de cobre a uno de los polos del banco de condensadores. Otro electrodo móvil se conecta al otro polo. Los condensadores se cargan entonces con el voltaje de las baterías por el switch abierto, los condensadores son descargados -- formando una chispa entre las terminales torcidas y el electrodo de cobre. Se observa si fue suficiente o se repite el procedimiento. Este proceso requiere un mínimo de técnica pero la soldadura es más frágil e irregular en su forma esférica que en el método de arco.

MODO DE SOLDADURA DE GAS

Es por una pequeña flama formada con oxígeno regulada antes de usarse sobre la unión de las puntas (esto no debe usarse sobre platino o cualquier aleación que lo contenga) después de formada la gota la distancia S en la punta como se ve en las figura 4-6 - se mide con el calibrador de Uniones mostrado aquí, S es leída directamente en la escala con una exactitud de $\pm .001$ in.

Otra clase de soldadura sería la siguiente.

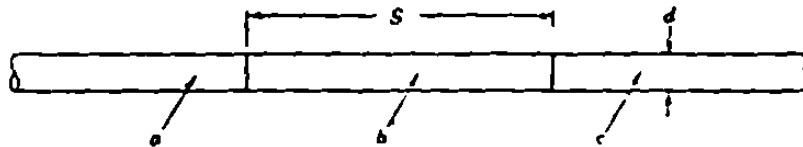


Figura 4-6 Unión de Cabeza Soldada. a, metal A; b, metal B; c, metal A.

Llamada unión de cabeza soldada, la interfase entre los metales - es perpendicular al cable, esto se logra con una soldadura de punto, se efectúa la soldadura limandose después con una lija para igualar el calibre con la soldadura, si es necesario una segunda soldadura el procedimiento es como sigue:

- 1º Para alambres de hierro-constantano, se cubre la soldadura con cemento de cobre, limpiando con un paño bajo este tratamiento, el constantano se pone rojo y el acero negro. Así se define la unión entre los metales. Para el cobre-constantano, sus colores originales se distinguen perfectamente.
- 2º Se coloca la unión sobre la escala y se corta a la longitud especificada.
- 3º Se cuadra la punta y se efectúa la segunda soldadura.

a distancia entre las uniones se miden así:

- a) Se limpia el alambre con lija

- b) Se mancha con cemento de cobre.
- c) Se coloca sobre el tope de la unión, calibrando aproximadamente normal a la inclinada de las rectas finales, deslizándose atrás y adelante hasta que la posición de la - - unión es alineada con la recta final.
- d) La distancia S es la que queda entre los alambres y se mide en la escala del medidor.

C A P I T U L O V
DISEÑO DE TIPOS DE INSTALACION DE
MEDIDORES DE TEMPERATURA EN SOLIDOS

DISEÑO DE TIPOS DE INSTALACION DE MEDIDORES DE TEMPERATURA EN SOLIDOS

para la medida de una temperatura interior en un sólido se consideran los siguientes tipos:

1) UNION DE PENETRACION

Usado en tubos calientes, dos agujeros taladrados cada uno de $\frac{1}{16}$ in de profundidad y 0.001 in mas grande que el diámetro del alambre. Los alambres se insertan separadamente y axial a la herramienta de penetración el cual se martilla ligeramente, los alambres quedan protegidos de esta manera. La unión es formada a través del metal en el cual el alambre queda prensado.

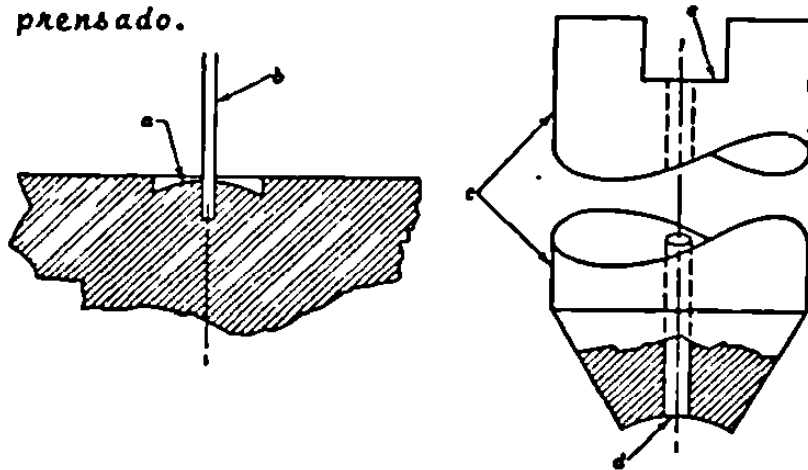


Figura 5-1

Unión de Penetración. a, indentación de metal forzado rodeando el alambre; b, alambre del termopar; c, herramienta de penetración; d, hueco para el alambre; e, acanalado donde se martilla la herramienta.

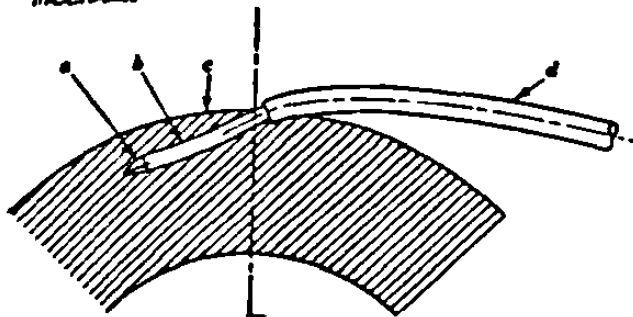


Figura 5-2

Unión de Penetración. a, cincel de corte; b, alambre del termopar; c, labio que circunda el alambre; d, conductores.

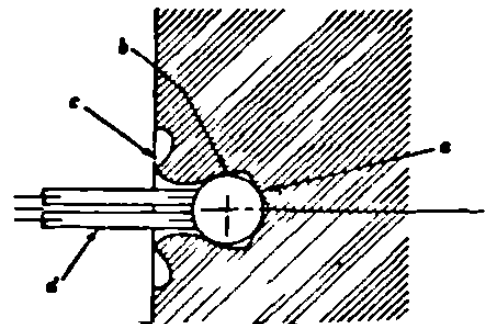


Figura 5-3

Unión de penetración. a, hueco taladrado; b, gota fundida; c, penetración de metal que circunda la gota; d, alambre de los termopares

En la figura 5-2 y 5-3 se muestran otros tipos de uniones de penetración, en la primera usada para tubos calientes se taladran 2 huecos de 1/10 in de profundidad con un cincel de 1/32 in de profundidad. El labio es rellenado con el alambre y un acanalado fija el tubo protector generalmente se usa chrome-alumel con aislante de vidrio en alambre doble; en la segunda, un hueco pequeño se taladra de un tamaño tal que admita una soldadura de gota, el hueco se rellena con ella.

2) UNION DE MUELLE

En este tipo de unión, el termopar se ensambla en caucho o goma de llantas de automóvil, y se monta como está en la figura 5-4. En la figura 5-5 se observan unas curvas de corrección según la profundidad de la inserción.

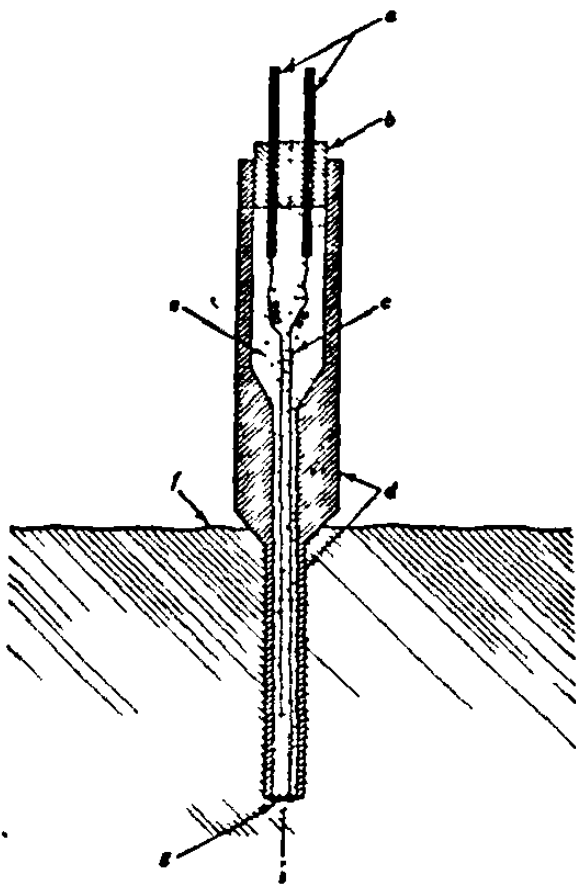


Figura 5-4

Unión de Muelle o termopar de llanta de automóvil. a, conductores cobre-constantano; b, tapón; c, alambres calibre 36 cobre-constantano; d, tubo; e, óxido de magnesio; f, material básico; g, disco de cobre.

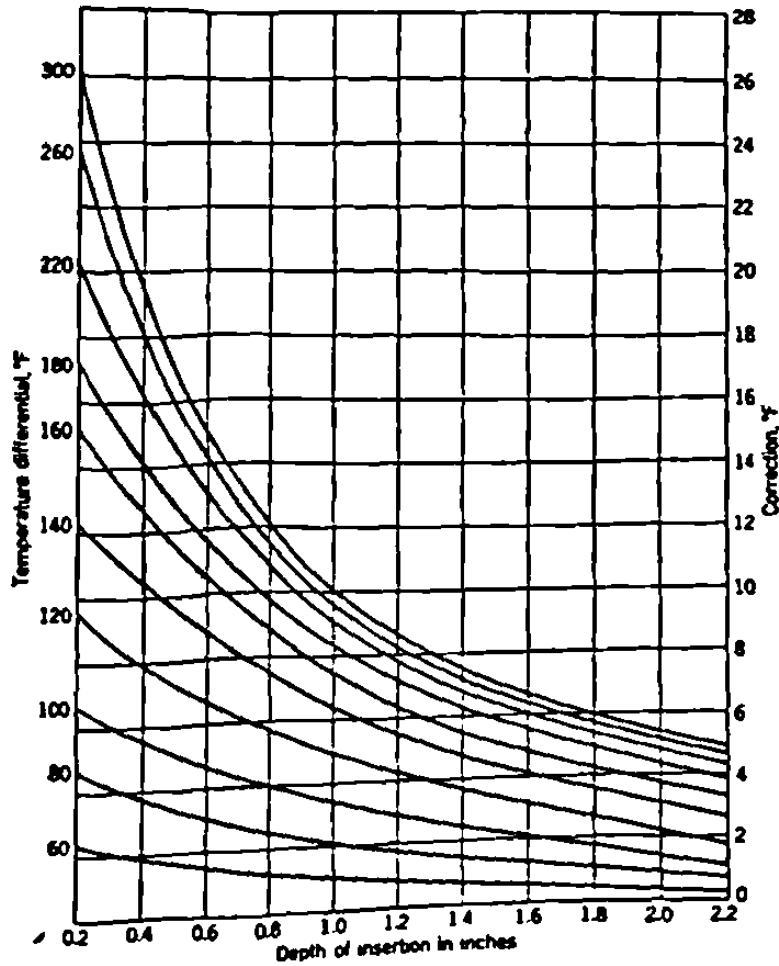


Figura 5-5

Curvas de corrección para la figura 5-4. El diferencial de temperatura es la diferencia entre la temperatura de la unión y la del aire ambiente.

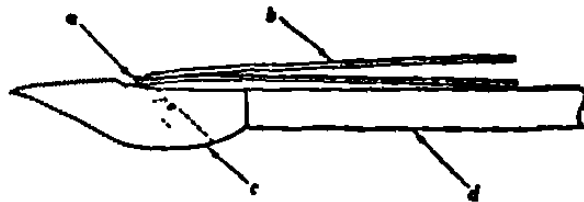


Figura 5-6

Termopares insertados con leznas. a, unión trenza soldada y soldada; b, alambre del termopar; c, hueco tá la lezna; d, lezna. para evitar que el termopar salga de

Otro tipo de inserción de termopares es por medio de leznas como se muestra en la figura 5-6 efectuando el hueco necesario para la inserción de los termopares. Estos tipos de inserción se usan en materiales elásticos, sin embargo el mismo efecto se logra con materiales más duros y presionando los conductores.

3) UNIONES SOLDADAS

Usa relleno en la corona de sodio, los alambres de plomo -- cubiertos de sodio están dentro de un tubo de acero inoxidable y soldados en la superficie de la válvula.

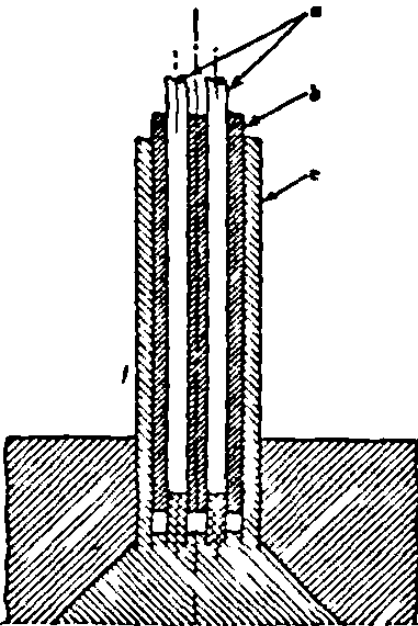


Figura 5-8
Unión soldada. a, alambres del termopar; b, huecos entubados con cerámicas; c, tubos de acero inoxidable.

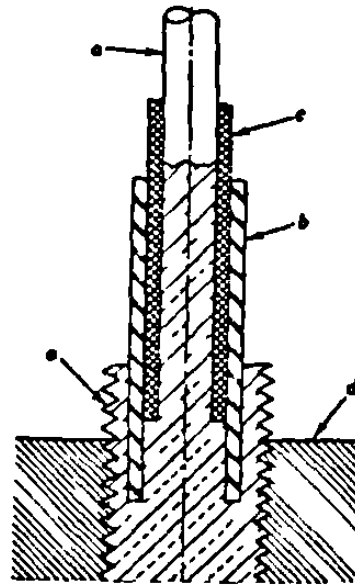


Figura 5-9
Uniones con el metal básico como guía a, alambre constantano; b, tubo del mismo metal que el básico; c, tubo cerámico; d, cuerpo básico.

En este tipo de uniones se debe tener cuidado en que la soldadura sea correcta, pues debido a esto pueden ocurrir errores.

4) UNIONES CON EL METAL BASICO COMO GUIA

En este caso el propio metal sirve de guía, para aminorar los errores se coloca un anillo del material a la estructura como se observa en la figura 5-9

5) UNIONES SOLDADAS Y CIMENTADAS

Aquí el arreglo se hace con mercurio como el contacto entre la unión y el metal básico.

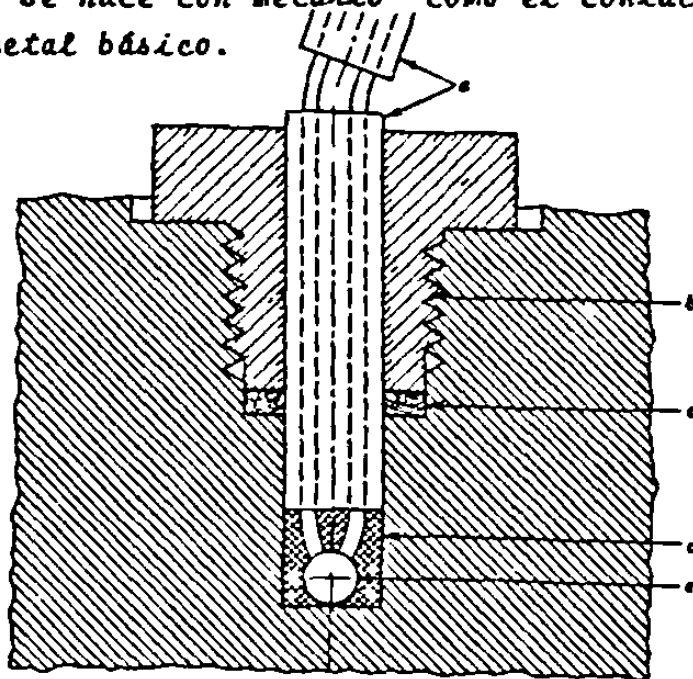


Figura 5-10

Instalación en contacto con líquido. a, huecos entubados con porcelana; b, tornillo; c, empaque de asbesto; d, mercurio; e, unión.

El método desarrollado por Barker y Mueller donde unión es soldada en el hueco tangencialmente en forma de acanalado helicoidal, el tubo protector de las gulas es soldado en este acanalado.

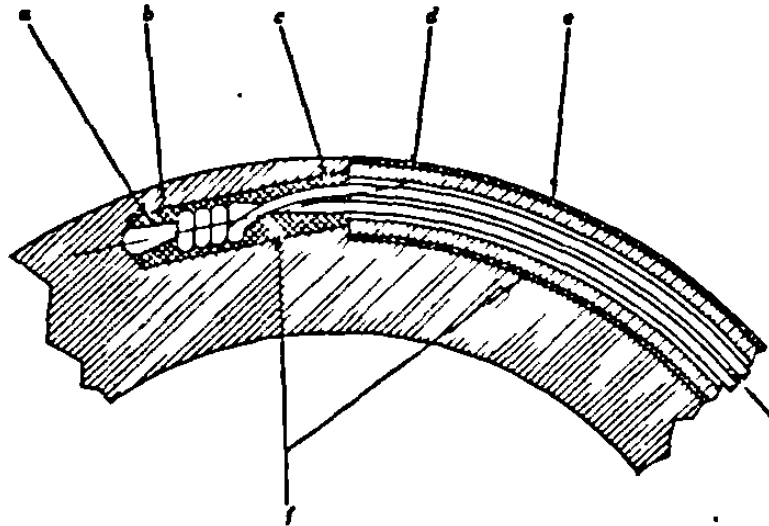


Figura 5-11

Termopar con pared de tubo. a, unión; b, hueco taladrado; c, alambres del termopar; d, .08 in de diámetro exterior y .05 in de diámetro interior (tubo) e, acanalado de 3/32 por 3/32 in; f, soldadura

Este arreglo puede diferir en que el acanalado sea longitudinal.

El método Mohun Peterson, desarrollado para una mejor precisión, aquí un tubo es usado para centrar. La unión tiene .02 in de longitud entre los alambres.

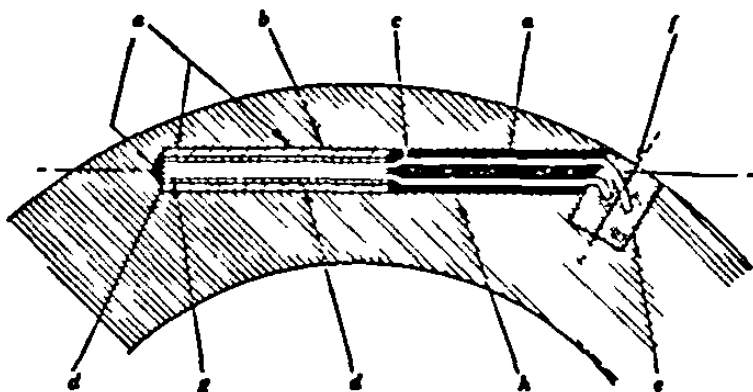


Figura 5-12

Termopar de pared en un tubo. a, soldadura; b, diámetro .0469 in exterior y .0211 in interior; c, alambres del termopar; d, laca; e, resina; f, acanalado de $1/16$ in por $3/32$; g, unión soldada; h, hueco de $1/2$ in de profundidad.

Se da una capa separadora con laca y se rellena el agujero. Las guías quedan separadas con resina.

El método Hebbard y Badger es donde la unión se hace en un profundo hueco. Las guías salen por el lado opuesto. Se aíslan las guías (excepto la unión) con laqueo de bakelita y algodón, entonces se pasan al lado contrario y se rellenan en cemento de bakelita en un acanalado anular.

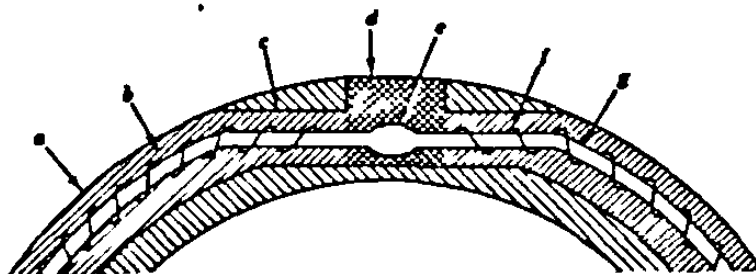


Figura 5-13

Termopar de pared en un tubo. a, acanalado; b, cemento de bakelita; c, hueco; d, conductor; e, unión soldada de plata; f, algodón trenzado; g, alambres del termopar.

En la figura 5-14 se indica un diseño el cual da un servicio satisfactorio, usado en la superficie exterior de tubos de vapor de sodio.

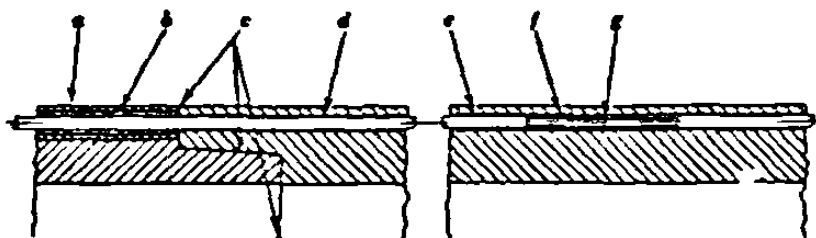


Figura 5-14

Termopar de pared con tubo cementado. a, acanalado; b, spaghetti - (aire o cemento); c, junta; d, aislante de fibra de vidrio sobre los alambres; e, hueco taladrado; f, alambre bañado de cemento; g, unión soldada.

En la siguiente figura (5-15) se indica un método común y simple de instalación en situaciones donde la soldadura sea factible.

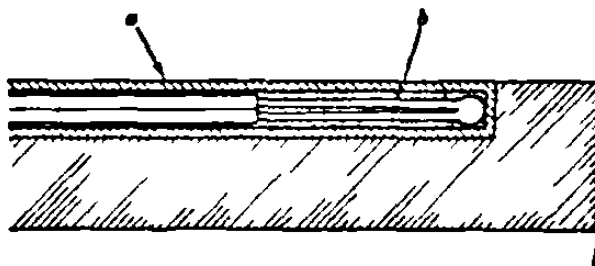


Figura 5-15

Termopar de acanalado en la superficie. a, - acanalado; b, instalación del termopar.

6) UNIONES CON TAPON

Este método envuelve la soldadura del alambre - en el metal rellenado a presión desde el lado - opuesto con un tornillo

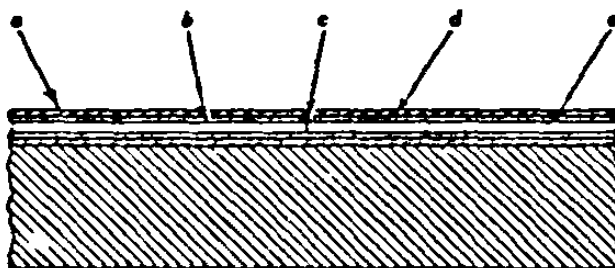


Figura 5-16

Termopar de superficie acanalado. a, $1/64$ in de diámetro exterior y $.009$ in de diámetro interior; b, alambres del termopar; c, unión soldada; d, cemento; e, barniz de silicón.

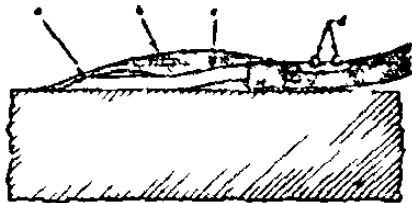


Figura 5-17
Termopar soldado. a, material de soldadura; b, esmalte, c, alambre del termopar; d, tornillo.

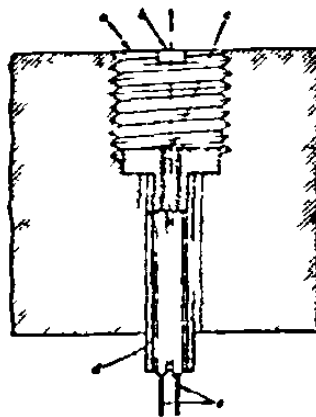


Figura 5-18
Unión de tornillo de presión. a, tornillo; b, acanalado; c, unión soldada; d, tubo de vidrio; e, alambres del termopar.

En esta figuras el método depende de la unión en el relleno de soldadura seguido de el atornillado en el metal básico.

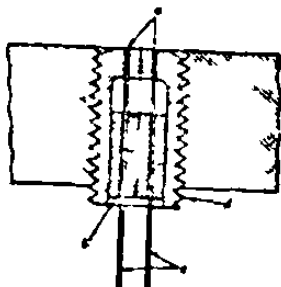


Figura 5-19
Unión con tapón de tornillo. a, soldadura de plata; b, porcelana; c, alambres del termopar; d, rosca de tornillo.

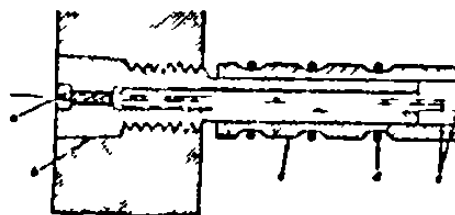


Figura 5-20
Unión con tapón de tornillo. a, unión; b, tapón de tornillo; c, tubo de caucho; d, alambre; e, alambres de los termopares.

En la figura 5-19 y 5-20 aquí los métodos son funcionales para medir la temperatura en el interior de una pared cuando es rodeada por un fluido.

7) UNIONES CON TAPONES APRETADOS

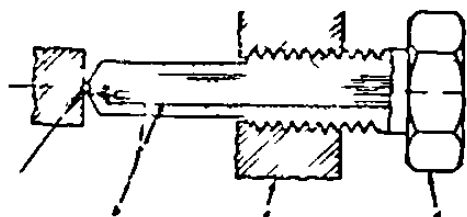


Figura 5-21
Unión con tornillo de presión. a, unión de gota; b, alambre del termopar; c, cuerpo; d, tornillo.

En la figura 5-22 difiere del procedimiento anterior en que el tapón se forma de 2 partes con la unión apretada entre ellos.

En este caso, el tapón es de un material similar a el básico, - los alambres son individualmente riveteados, la unión es formada por el tapón mismo. (figura 5-21).

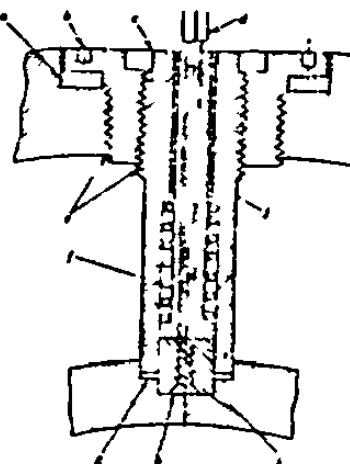


Figura 5-22
Unión de presión con colchon. a, empaque; b, hueco; c, exágono; d, aislante; e, tornillos; f, colchon; g, empaque; h, unión; l, alambres; j, aislante.

8) TERMOPARES CON TAPONES A PRESION



Figura 5-23
Termopar de tapón. a, terminales; b, tubos de cuarzo; c, tapón; d, alambres del termopar; e, brida de asbesto.

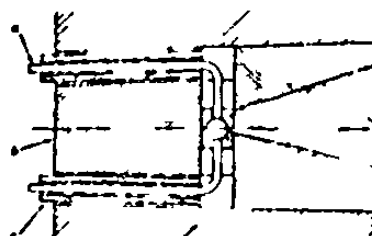


Figura 5-24
Termopar de tapón. a, alambres del termopar; b, tapón; c, tubo de cuarzo; d, soldadura; e, tapón; f, unión.

En estas figuras se indican 2 variaciones.

El material del tapón es el mismo que el de la instalación. En la figura 5-23 la unión es hecha en el tapón y luego se presiona sobre el material básico. En la figura 5-24 se -

observan los alambres sujetos en tapones separados los cuales se meten en el material básico y la unión ocurre a través del tejido en el material básico.

Todos los métodos antes descritos son efectivos para medidas particulares que para adoptarse requiere un análisis racional y pruebas actuales que determinen una selección apropiada del diseño -- para condiciones específicas.

C A P I T U L O V I
TECNICAS PARA EL DISEÑO DE MEDIDORES DE
TEMPERATURA EN SOLIDOS

TECNICAS PARA EL DISEÑO DE MEDIDORES DE TEMPERATURA EN SOLIDOS

La temperatura de un sólido puede variar de punto a punto o bien con el tiempo. Para asegurar que la temperatura corresponde en tiempo y espacio, el contacto térmico debe establecerse entre el elemento sensible y el cuerpo. Llamando R_1 a la resistencia térmica a este contacto (pequeña) y R_2 a la resistencia térmica entre el elemento sensible y el ambiente. Entonces el elemento sensible tomará la temperatura t_2 intermedia entre la temperatura del cuerpo y el punto específico de temperatura t_1 y la temperatura ambiente t_a .

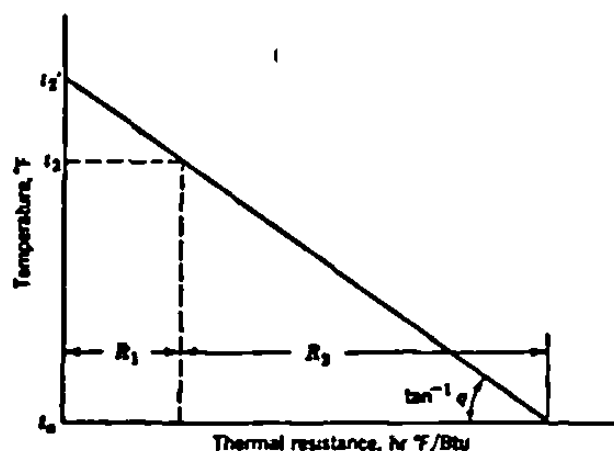


Figura 6-1

Diagrama de temperatura contra resistencia térmica.

Para temperaturas no uniformes en la que las variaciones son por intervalos de distancia, el diseño de la instalación debe asegurar las medidas locales con el grado adecuado de precisión pues se debe considerar las posibles alteraciones de la distribución de temperatura y los errores que ocasionaría un espacio o hueco en el cuerpo por la inserción del elemento sensible.

También podemos tener una temperatura inconstante pues puede variar con el tiempo al cual la temperatura es medida, en este caso, la instrumentación externa debe responder con suficiente rapidez.

a Estos cambios del elemento sensitivo.

El flujo de transferencia térmica puede ser medida en función de una distribución local, si R_1 es la resistencia entre el elemento sensitivo y un punto del cuerpo, R_1 depende de la conductividad del material que compone el cuerpo, del tamaño de excavación ya que esto tiene que ver con el contacto ejercido entre el cuerpo y el elemento R_2 debe incrementarse para arrastrar el error a las medidas de la temperatura $t_1 - t_2$ con límites aceptables. Por lo tanto si R_2 incrementa θ decrece.

Las formas como se incrementa R_2 son:

- a) Haciendo los conductores de una área transversal mínima.
- b) Haciendo los conductores de un material de conductividad térmica mínima.
- c) Aislado térmicamente el exterior de los conductores.
- d) Alargando los conductores hasta donde el primer punto al cual el contacto ocurra con la temperatura ambiente.

Suponiendo que el exterior del conductor se aisló y que la longitud es adecuada, las condiciones que hacen que se obtenga un alto grado de precisión en la instalación son:

- a) El máximo contacto entre el elemento sensitivo y el cuerpo.
- b) Mínimas dimensiones en el elemento sensitivo.
- c) Mínima sección transversal metálica en los conductores.
- d) Mínima conductividad térmica en los materiales de los conductores.

En Ingeniería para un diseño se acostumbra tomar como base los hechos establecidos bajo consideración pudiendo caer en los siguientes errores

- a) Valores tomados por las propiedades de los materiales.

- b) En las técnicas de cálculo desarrolladas.
- c) En las estimaciones en base al juicio.
- d) En las condiciones de operación esperadas tomando un factor de seguridad.

Como se observa, el temperamento y optimismo enfluyen en el juicio es por eso que para evitarlo se efectúan pruebas adicionales programadas y así determinar los errores.

Además los conductores tienden a transferir calor al ambiente es decir la lectura se ve influenciada por el ambiente. Esto se puede minimizar acortando la longitud de ellas.

Bajo condiciones ideales el calor por hora transferido desde el cuerpo al ambiente debido a la instalación, dicho calor está dado por la siguiente ecuación $q = (UckA)^{1/2} (t_1 - t_a)$

donde q - es el calor transferido BTU/hr

C - es la circunferencia de los conductores ft

U - es el valor efectivo en los límites de la superficie de la conductancia BTU/hr ft²°F

k - es la conductividad térmica del material del conductor BTU/hr ft °F

A - es la sección transversal del conductor ft²

t_1 es la temperatura del cuerpo en su superficie °F

t_a es la temperatura ambiente °F

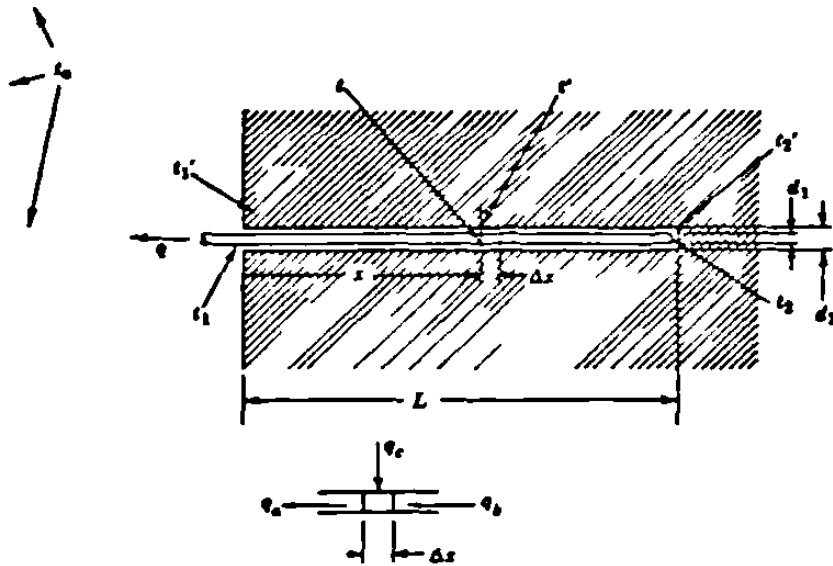


Figura 6-2

Aislante, patrón de temperatura y diagrama del flujo de calor.

En ocasiones los 2 conductores de metal de los termopares se cubren con aislante eléctrico entonces A es la suma de las dos secciones y k es el promedio de las conductividades de los metales y U se encuentra con la siguiente fórmula

$$U = \frac{1}{1/(U_f^o + U_r^o) + N_1/U_w + N_2/(U_f^i/2 + U_r^i)}$$

donde U_f^o es la conductancia sobre la superficie del conductor
BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

U_r^o es la conductancia llmite de radiación en la superficie del conductor
BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

U_w es la conductancia térmica promedio del aislante eléctrico
BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

U_f^i es la conductancia llmite fluyendo sobre la superficie interna referido a la circunferencia
BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

U_r^i es la conductancia llmite por radiación para el cambio entre las superficie interna y la circunferencia C
BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

N_1 es el número de capas de material eléctrico aislante

N_2 es el número de pares de oposición interna de aire soli

do en la envoltura. Puede solucionarse graficamente - con la figura 6-5.

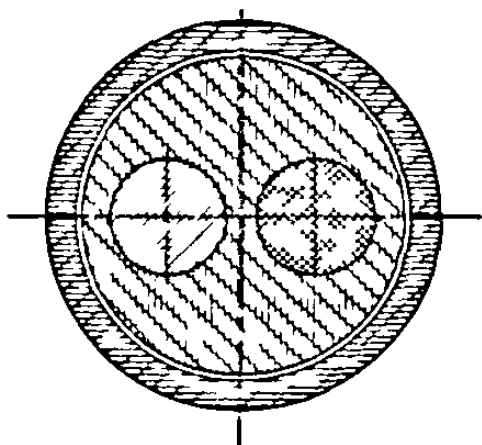


Figura 6-3
Aislante eléctrico múltiple.

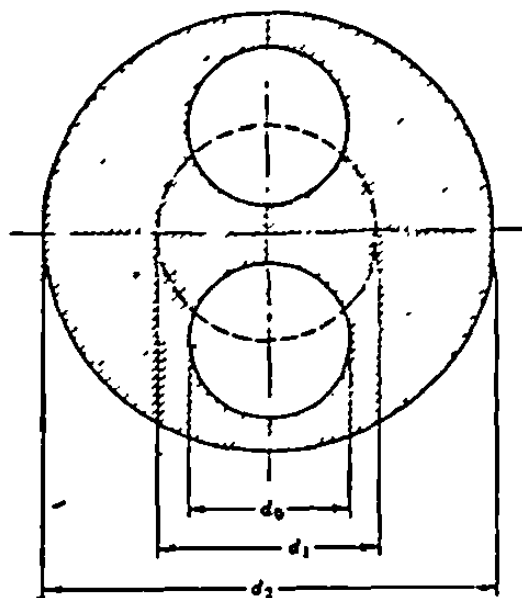


Figura 6-4
Diámetro efectivo interior de un tubo aislante de los huecos.

Si el aislante consiste de una capa sólida en contacto íntimo con los alambres $N_1 = 1$ y $N_2 = 0$.

Para una capa de aislante solo

$$U_w = \frac{k}{C \log d_2/d_1}$$

donde d_1 es el diámetro interior efectivo de la capa ft

d_2 es el diámetro externo de la capa

k es la conductividad térmica del aislante BTU/hrft²F

Para facilidad de cálculo se usa la figura 6-5.

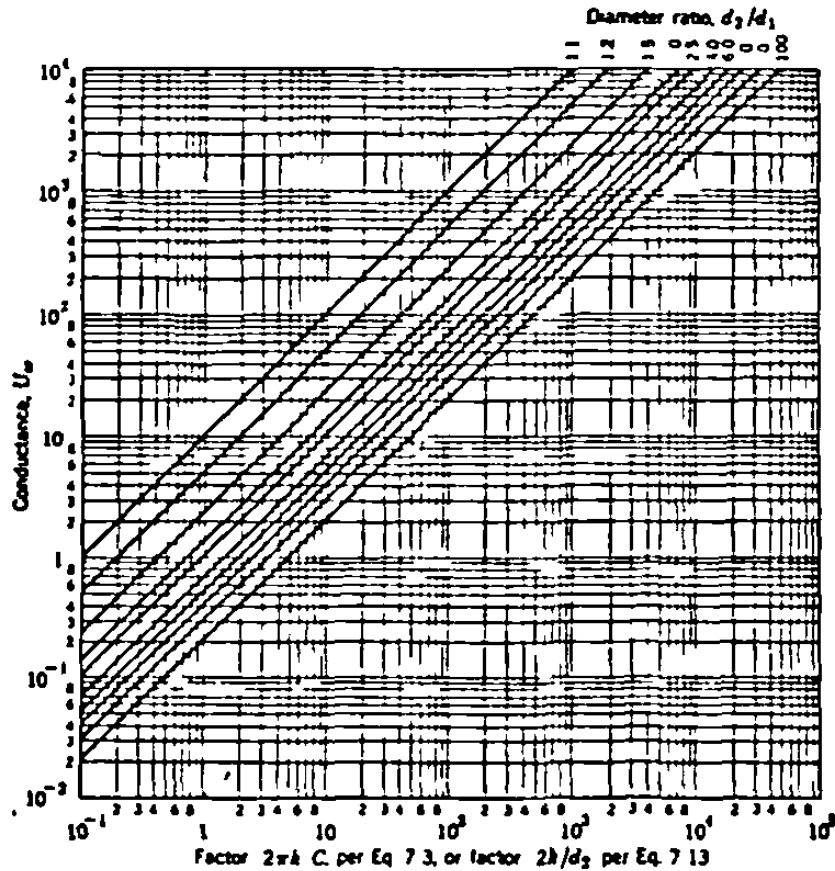


Figura 6-5
Conductancia térmica del aislante eléctrico.

Si la capa es un solo tubo concéntrico d_1 es el diámetro interior pero si son 2 agujeros en el tubo, $d_1 = \sqrt{2}d_0$ donde d_0 es el diámetro de los agujeros individuales. Si la unión del termopar hace contacto con la superficie del cuerpo a una temperatura t_1 transfiriendo calor por los conductores al ambiente (figura 5-2)

$L = 0$ soldando la unión a la superficie donde se supone una resistencia térmica de 0 entonces el error en la medida de la temperatura a causa de la distribución local de la temperatura está dada por la ecuación

$$t_1' - t_1 = q/\gamma kD + q/AU_s$$

donde $q = (UckA)^{1/2} (t_1' - t_a)$ BTU/hr

k es la conductividad térmica del material básico

D es el diámetro del elemento sensitivo

A Area de contacto entre el elemento sensitivo y el material (ft^2)

U_s Conductividad límite en la superficie (BTU/ $ft^2-hr-^{\circ}F$)

para soldadura de contacto q/AU_s es despreciable U_s depende del material, presión, temperatura, lubricación y rugosidad y varía - en un rango de 150 a 15,000 BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$ si el contacto entre el material y el aislante se pierde entonces

$$U_s = \frac{1}{2/(U_f/2 + U_r) + 1/U_w}$$

donde U_s es la conductancia llmite en la superficie sobre el área de contacto BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

U_f es la conductancia llmite fluida en la superficie interna en el área BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

U_r es la conductancia por radiación en la superficie interna BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

U_w es la conductancia térmica del aislante BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$

$$U_w = k/h$$

donde k es la conductividad térmica del aislante BTU/hr $ft^2 \text{ } ^\circ F$
y h es el espesor de la capa aislante ft

en la fórmula de U_s si no existe aislamiento la ecuación queda

$$U_s = \frac{1}{2/(U_f/2 + U_r)}$$

Si hay humedad en el contacto de una de las superficies queda:

$$U_s = \frac{1}{(U_f/2 + U_r)}$$

Si hay humedad en el contacto de ambas superficies el primer término en el denominador desaparece

$$U_s = \frac{1}{1/U_w}$$

Si el contacto en un arreglo ocurre en un punto interno en el - -

cuerpo con una longitud los conductores metidos en el cuerpo -- tendran un error de

$$t_{2'} - t_2 = \frac{q}{2\pi kD} + \frac{q}{AU_s}$$

Si la instalaci3n es cimentada o en forma tal que el flujo de calor al ambiente sea transferido a lo largo de los conductores el error en la temperatura debido a la discrepancia de temperatura - en la uni3n est4 dada por la ecuaci3n

$$t_{2'} - t_2 = \frac{q}{kAm} \operatorname{csch}(mL) + \frac{q}{m} \operatorname{cot} h(mL)$$

donde $m^2 = UC/kA$ y $C = \pi d_2$

es la longitud de la inmersi3n (ft)

q es el flujo de calor en los conductores en el punto -- donde existe BTU/hr $q = (UCkA)^{1/2} (t_{2'} - t_2)$

k es la conductividad t4rmica de los conductores - BTU/hr ft² °F

A es el 4rea transversal de los conductores ft²

d_2 es el di4metro de los conductores ft

g es la raz3n de incremento en la temperatura en direcci3n del incremento de x °F/ft

t_2 es la temperatura en la uni3n °F

$t_{2'}$ es la temperatura no distribuida en la uni3n

U es el valor de la conductividad en la superficie de d_2 BTU/hr ft² °F

$$U = \frac{1}{\frac{2}{2(U_b + U_r)} + \frac{1}{U_w} + \frac{1}{(U_b + U_{rb})}}$$

El termino $\frac{2}{(U_b + U_r)}$ corresponde a la resistencia en la super-

ficie de cualquier tubo sin aislante.

U_f es la conductancia del fluido que limita la superficie - -

$$\text{BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

U_r es la conductancia en los contornos de radiación BTU/hr ft² °F

Si el hueco es relleno solidariamente con cemento y quedan en contacto con los alambres del termopar con la pared del hueco el término $2/(U_f + U_r)$ es despreciable y

$$U_w = \frac{2k}{d_2 \log \left(\frac{d_2}{d_1} \right)}$$

donde U_w es la conductancia de las capas de cemento o el material que rellena el espacio anular entre el termopar y la pared interior (BTU/hr ft² °F)

k es la conductividad térmica del cemento o material de relleno - BTU/hr ft² °F.

d_2 es el diámetro del hueco ft

$d_1 = 2 d_o$ y d_o es el diámetro de un hueco.

El término $\left(\frac{1}{U_b + U_{rb}} \right)$ es la resistencia entre el área unitaria -

de la pared y la parte del cuerpo suficientemente distante que no sea afectado por el flujo de calor q de calor a través de la instalación al medio ambiente. U_b puede encontrarse así:

$$U_b = \frac{3k}{d_2 \text{seuh}^{-1} \left(\frac{2L}{d_2} \right)}$$

donde k es la conductancia térmica del cuerpo básico en BTU/hr ft² °F

d_2 es el diámetro del hueco ft L es la longitud de la inmersión.

Esta relación puede encontrarse graficamente con la figura 6-6.

DESIGN CALCULATION TECHNIQUES

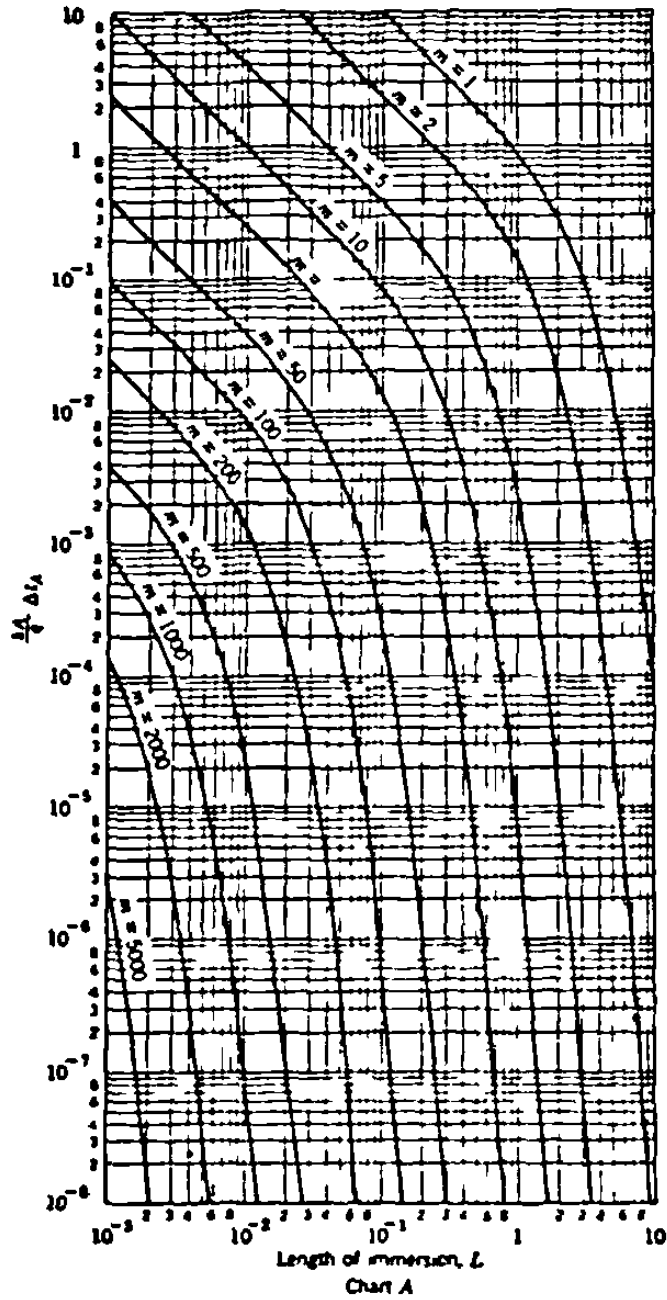
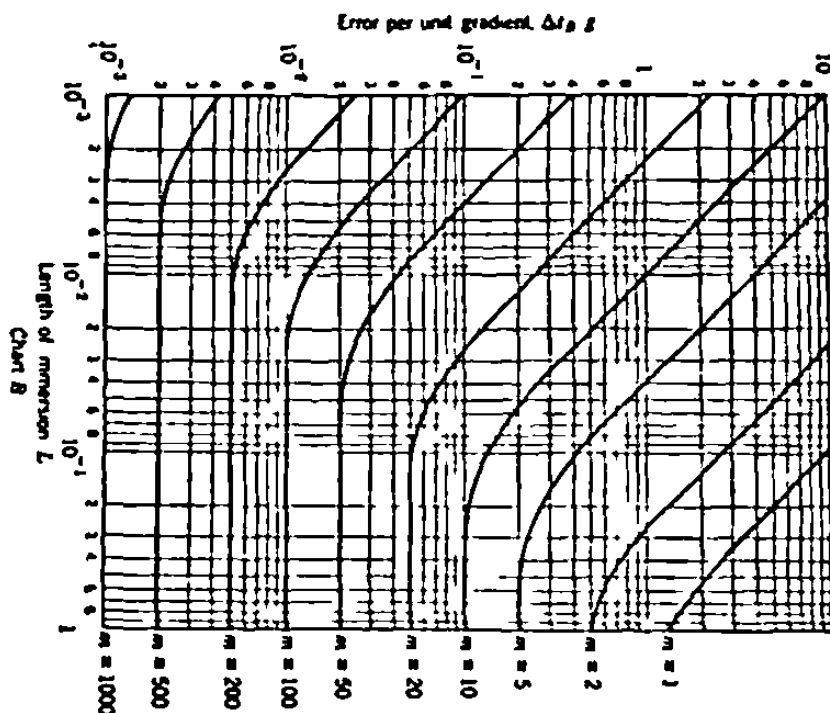


Figura 6-6

Error de temperatura para la figura 6-2 por la inmersión en la instalación por la ecuación:

$$t_2' - t_2 = \frac{q}{k A_m} \operatorname{Csc} h m L + \frac{q}{m} \cot h m L, \quad t_2' - t_2 = \Delta t_a + \Delta t_b.$$



Continuación de la fig. 6-6

U_{rb} es la conductancia de los contornos de radiación reflejándose al diámetro d_2 (BTU/hr ft^2 °F)

U_{rb} desaparece excepto con cuerpos transparentes como el vidrio, de lo contrario se calcula por las fórmulas tradicionales de -- transferencia de calor.

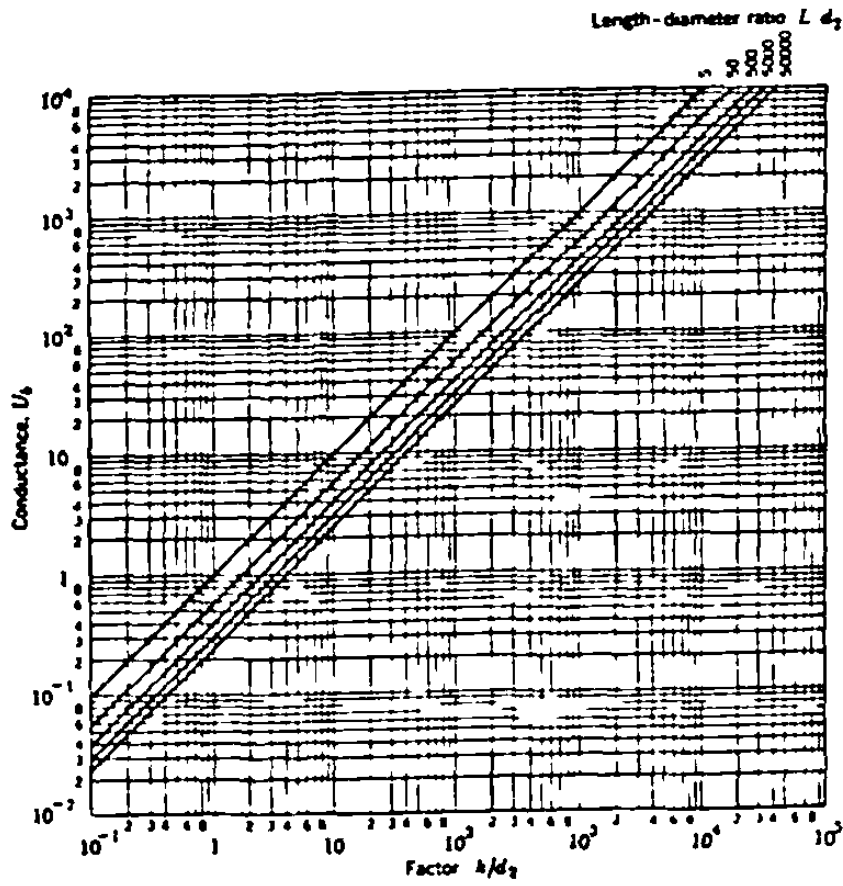


Figura 6-7
 Conductancia térmica límite del cuerpo básico para la
 ecuación $U_b = \frac{3k}{d_2 \operatorname{sen} h^{-1} (2L/d_2)}$

C A P I T U L O V I I
M A T E R I A L E S P R O T E C T O R E S E S P E C I A L E S

MATERIALES PROTECTORES ESPECIALES

La inserción de el elemento sensitivo para la medición de la temperatura en el interior de un punto en un cuerpo sólido requiere un hueco hecho en el elemento, por lo que se hace necesario un taladrado generalmente.

Solo si el material del cuerpo es suave o granular pueden graparse los conductores al cuerpo en su superficie; de lo contrario se deberá localizar el punto con precisión y efectuar el taladrado.

El medidor de temperatura al colocarse puede estar expuesto a condiciones adversas por lo que es necesario protegerlo segun el caso particular.

Para el circuito eléctrico de un termómetro termoeléctrico debe protegerse con aislantes eléctricos; si está en un ambiente humedo, la protección adecuada es un baño de parafina, si se le desea dar una mayor protección al esfuerzo mecánico, se puede dar con seda o algodón sobre los alambres; aunque con la parafina es suficiente para la protección contra el agua o la humedad, cuidando por supuesto que no sea expuesto a temperaturas altas.

La cera de abejas en su estado puro es más adherente que las parafinas, pero posee una resistividad eléctrica baja, se aplica disuelto en benzeno, si necesita una protección adicional se puede disolver en colofonia y goma de caucho evitando de esta manera la corrosión.

Va prefabricados existen algunas lacas listas para aplicar, como las lacas hechas a base de resinas alcalinas, hechas para temperaturas arriba de 220°F; las lacas a base de materiales orgánicos -

mezclados con silicones soportan temperaturas hasta 500°F, la fibra de vidrio se usa de 650 a 750 pues se convierte en semiconductor a los 800°F.

Para proteger con metales resistentes al calor y a la corrosión generalmente se escogen plásticos, cerámica y otros metales para elementos estructurales mecánicos.

Los plásticos poseen propiedades de fabricación en su estructura desarrollando un excelente aislamiento eléctrico así como térmico, su resistencia química es mejor que los metales y se ve afectada muy lentamente por el agua y algunos líquidos hidrocarburos; y aunque su resistencia al esfuerzo es baja no se ve afectado por los choques térmicos.

El ámbar que es una sustancia resinosa amarilla (debido al color es su nombre) que se encuentra en los litorales marinos posee las mismas propiedades del plástico.

Si el ambiente es de humedad, para eliminar este efecto se usa la cera o cualquier aislante repelente.

El rango de trabajo para el plástico es abajo de 350°F.

El Polytetrafluoretileno es útil al derredor de 550°F, es fuerte, rápidamente maquinable resistente a toda química y solventes, algunas combinaciones de fibra de vidrio y silicones y mica pueden usarse de 500 a 1000°F.

La fibra de vidrio cubierta de silicones de caucho se usa de -100° a 500°F.

La cerámica es usada como aislante eléctrico y térmico en donde -

Las temperaturas no permitan los plásticos, pero los refractarios no metálicos son quebradizos, porosos y fácilmente destructibles, imposibles de soldar o maquinar. Sin embargo pueden unirse con cemento.

De los refractarios no metálicos todos con excepción del carbón son aislantes eléctricos pero a elevada temperatura se convierten en semiconductores.

La mica se usa como aislante también, pero a altas temperaturas se pierde en agua por cristalización.

La porcelanización se usa a temperaturas no excedentes de 2500°F.

El vidrio ordinario es un buen aislante hasta temperaturas de 650°F e inerte químicamente.

Las uniones cementadas suelen ser quebradizas, por lo que es más aconsejable soldar, atornillar o rivetear para una mejor protección si se esperan cambios de temperatura, vibraciones, choques térmicos o mecánicos.

De las instalaciones cementadas podemos tener diferentes diseños_ .

a) Conductores emergiendo juntos

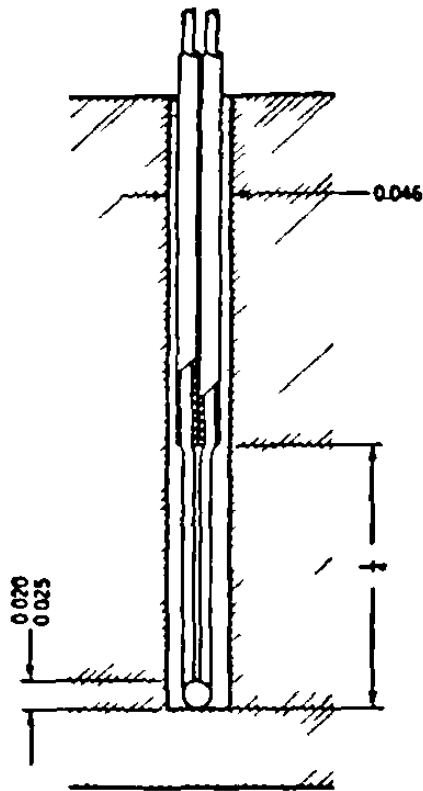


Figura 7-1
Instalación con conductores
emergiendo juntos

tiene aplicación en la combustión interna y en Ingeniería industrial, esta forma se instala en un sólido a 1/4 de plg. de profundidad se usa de -425°F a 1400°F .

b) Conductores trenzados

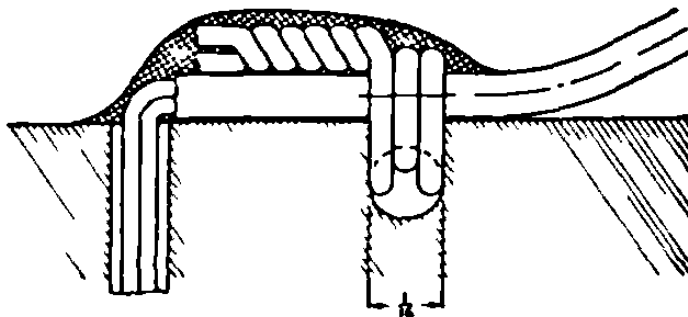


Figura 7-2
Método de conductores
Trenzados

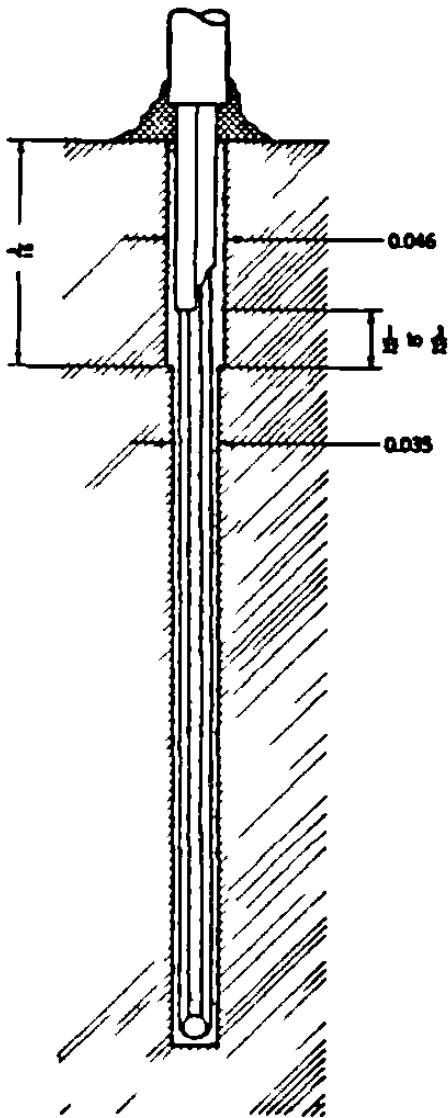


Figura 7-5

Instalación con conductores emergiendo juntos.

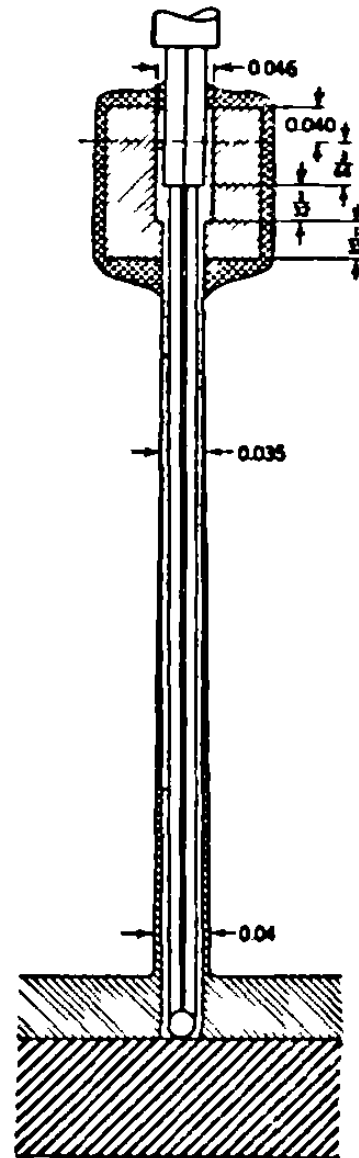


Figura 7-6

Conductores emergiendo juntos para aplicar en aletas delgadas.

La instalación 7-3 se efectúa si no hay necesidad de removerse - parcialmente los conductores; la 7-4 se usa si el hueco es mayor pero ocasiona una menor precisión en las lecturas; la figura 7-5 representa la forma utilizada cuando no hay espacio suficiente.

La figura 7-6 muestra una modificación de las instalaciones anteriores donde se agrega una aleta delgada.

b) Conductores emergiendo separados.

Se usan los conductores de esta manera cuando la parte donde se va a instalar es suficientemente grueso en su espesor.

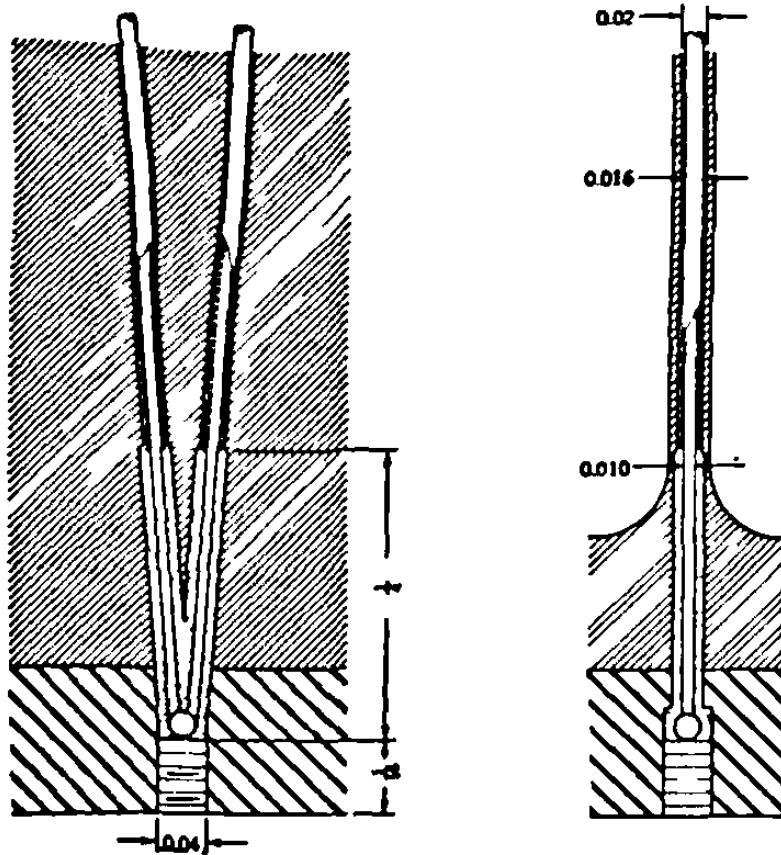


Figura 7-7
 Instalacion con conductores
 emergiendo separados

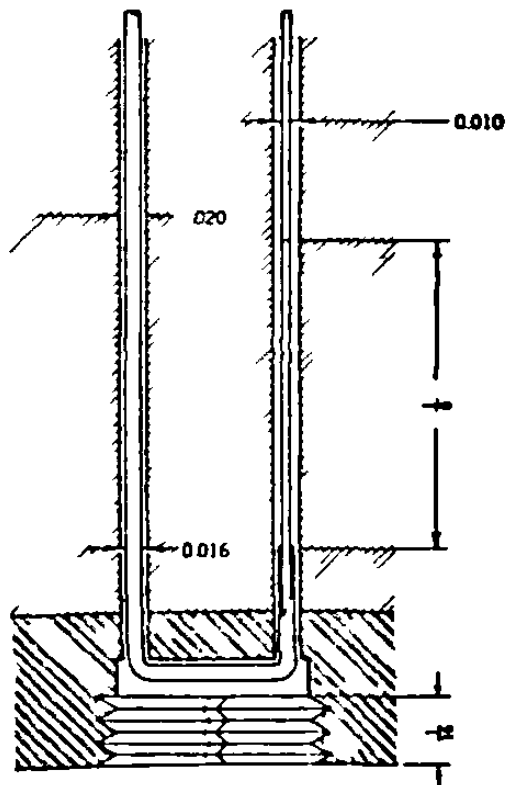


Figura 7-8
 Instalación con conductores
 emergiendo separados

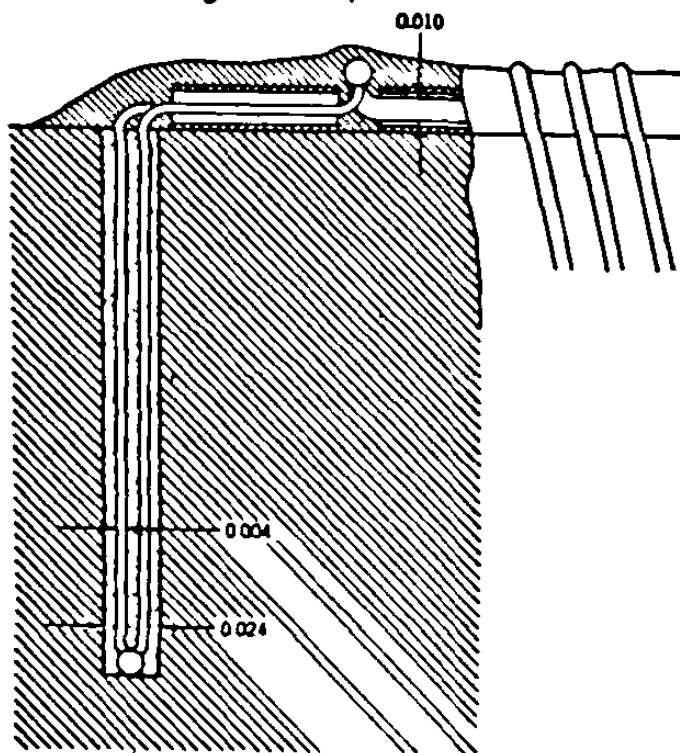


Figura 7-9
 Instalación a pequeña escala

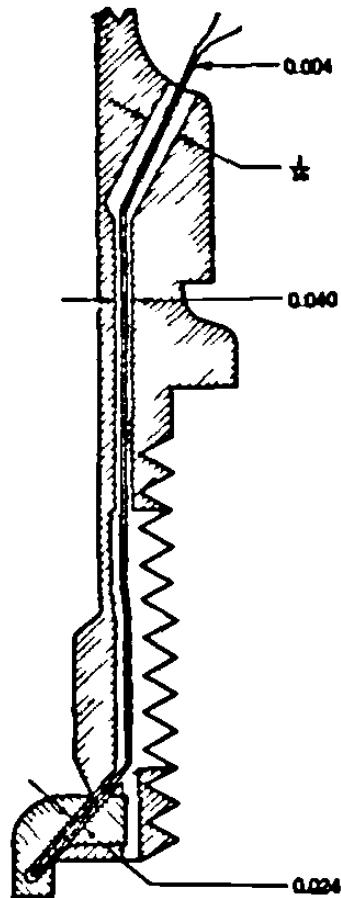


Figura 7-10
Instalación con chispa en
tapón-electrdo

- La figura 7-7 es la más usada cuando el espesor de la porción analizada no es muy grueso.

La figura 7-8 es la apropiada cuando hay un marcado cambio de temperatura en el interior o la superficie opuesta del cuerpo.

La figura 7-9 es el diseño apropiado para espacios limitados y patrones de temperatura complejos.

En la figura 7-10 se ve una instalación de electrodos con tapón de chispa usado a altas temperaturas.

c) Conductores saliendo por lados opuestos de un cuerpo.

En la figura 7-11 se observa la instalación donde es posible efectuar dicho arreglo.

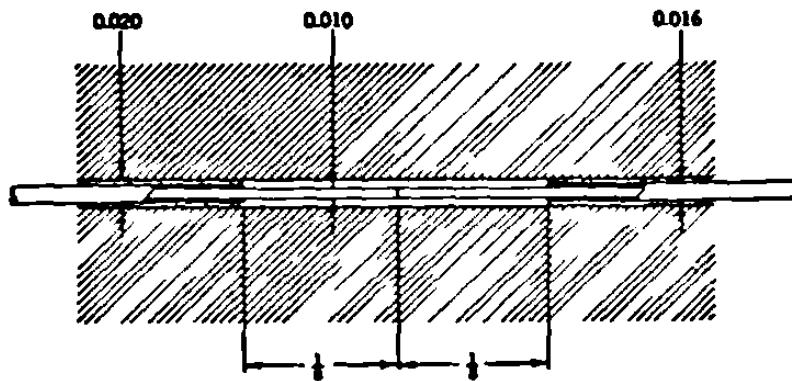


Figura 7-11

Instalación con conductores
emergiéndolo sobre los lados
opuestos de un cuerpo.

C A P I T U L O V I I I

GRADIENTE DE TEMPERATURA Y DISEÑOS DE INSTALACION

GRADIENTE DE TEMPERATURA Y DISEÑOS DE INSTALACION

La razón de flujo por unidad de tiempo por conducción a un punto dentro de un sólido es proporcional a la conductividad térmica - del material analizado, es también proporcional al gradiente de temperatura.

La diferencia entre los valores instantáneos de temperatura de 2 puntos dividido por la distancia entre ellos nos valora el gradiente de temperatura en un intervalo de tiempo.

El Gradiente de Temperatura en un punto interior con conductores juntos como en la figura 8-1 indica el diseño conveniente en un sólido. La inserción puede ser de $9/16$ a 6 pulgadas de profundidad, la precisión en la lectura varía de .25 a .75% según el alambre, la distancia entre los puntos es de $3/16$ se usan hasta -- 1400°F y -425°F . Se usa para instalaciones que se expongan a - humedad alta o condiciones submarinas se modifica de la siguiente manera, el termopar debe usar alambres de 0.01plg. duplex de hierro-constantano aislado con vidrio. La figura 8-2 muestra una modificación para ocupar menos espacio.

El diseño para conductores separados se observa en las figuras - 8-3 y 8-4.

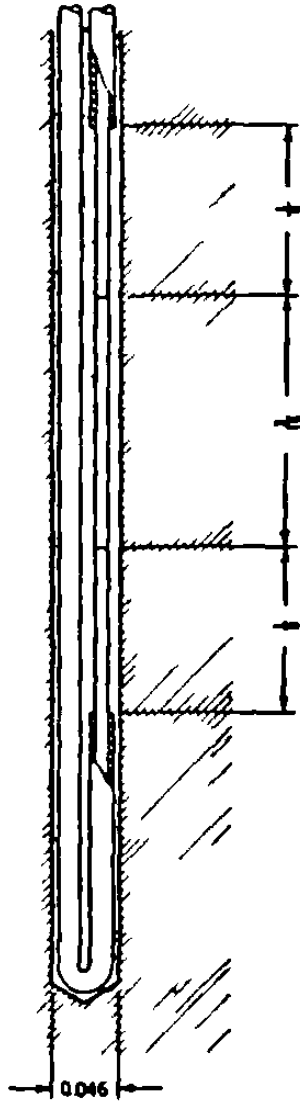


Figura 8-1
Gradiente en la instalación con conductores emergiendo juntos.

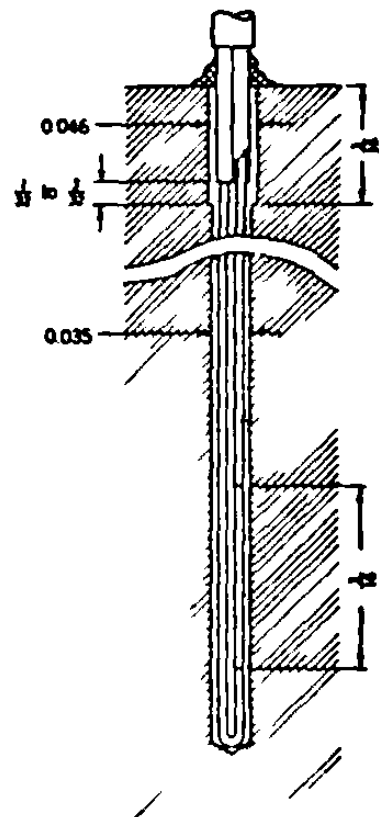


Figura 8-2

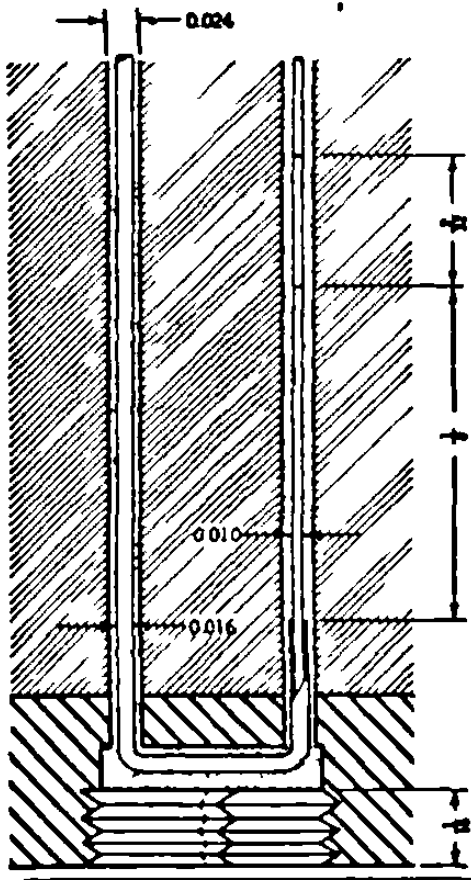


Figura 8-3

Gradiente en conductores separados

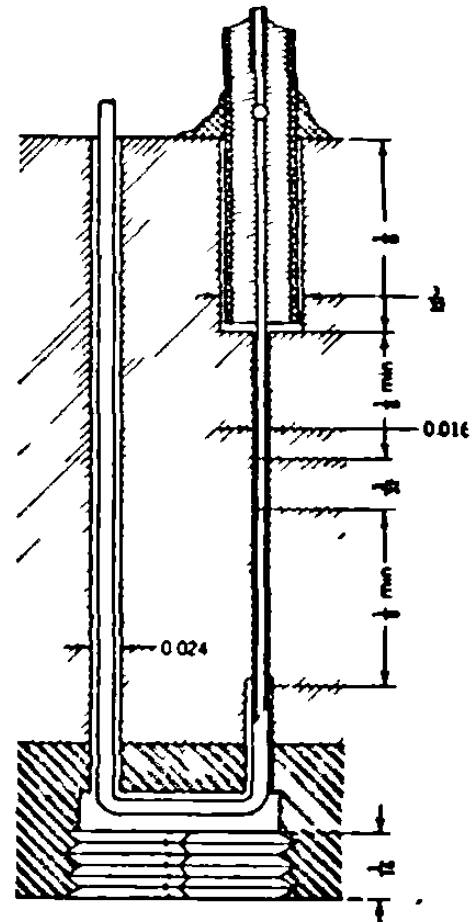


Figura 8-4

Gradiente en conductores separados

El diseño para conductores emergiendo sobre lados opuestos se puede observar en la figura 7-11 del capítulo anterior.

La aplicación de los diseños para cada caso en especial es para mantener el servicio de la unión termoeléctrica con la mejor comunicación térmica con el cuerpo estudiado creando la menor influencia sobre él y obteniendo el menor error.

C A P I T U L O I X
T E R M O M E T R O S D E R E S I S T E N C I A

TERMOMETROS DE RESISTENCIA

Estos aparatos están basados en la resistencia que un material ofrece al paso de una corriente eléctrica dependiendo de la temperatura. El elemento sensitivo se compara con circuitos arreglados donde antes se fijan puntos de la escala de temperatura de la misma manera como se hace en los termopares.

Los elementos sensitivos pueden ser:

- 1) METALICOS.- Donde el metal se escoge de tal manera de que el coeficiente de resistencia a las temperaturas varle entre -- .0022 y no mayor de .0032 por °F, el material más usado por sus características es el Platino y protegido con cuarzo, vidrio, mica; el cobre - níquel ahapeado con platino; el Tungsteno y Molibdeno vaciado en cerámica o cuarzo.
- 2) NO METALICOS.- Como son las unidades compactas de cerámica las cuales tienden a una gran resistencia eléctrica con residuos bajos de inductancias y capacitancias (termisores), también pueden ser unidades soldadas con vidrio o bien con plata, según el rango analizado de temperatura. Los elementos de precisión pueden ser montados sobre vastagos de mica, como se muestra en las figuras 9-1, 9-2 y 9-3 en los dos primeros se minimizan esfuerzos y problemas de contaminación. En la figura 9-B se observa la construcción clásica donde la punta de platino se encuentra sobre la mica tocando solamente algunos puntos discretos librando así esfuerzo; las restricciones en este caso es que debe trabajar abajo de 1800°F, además el tiempo de respuesta es de 10 minutos y es muy frágil en su manejo. En la figura 9-1A se representa una modificación donde el metal queda montado rígidamente sobre la mica. En la figura -- 9-2A el filamento se incrementa por lo que no es recomendable pues se deforma el espiral. En la figura 9-2B se compacta -

la construcción dando mayor precisión. En la figura 9-3 la construcción reduce la resistencia térmica entre el espiral y el ambiente minimizando así los errores, en éste caso el platino, el alambre y la mica se colocan emparedados.

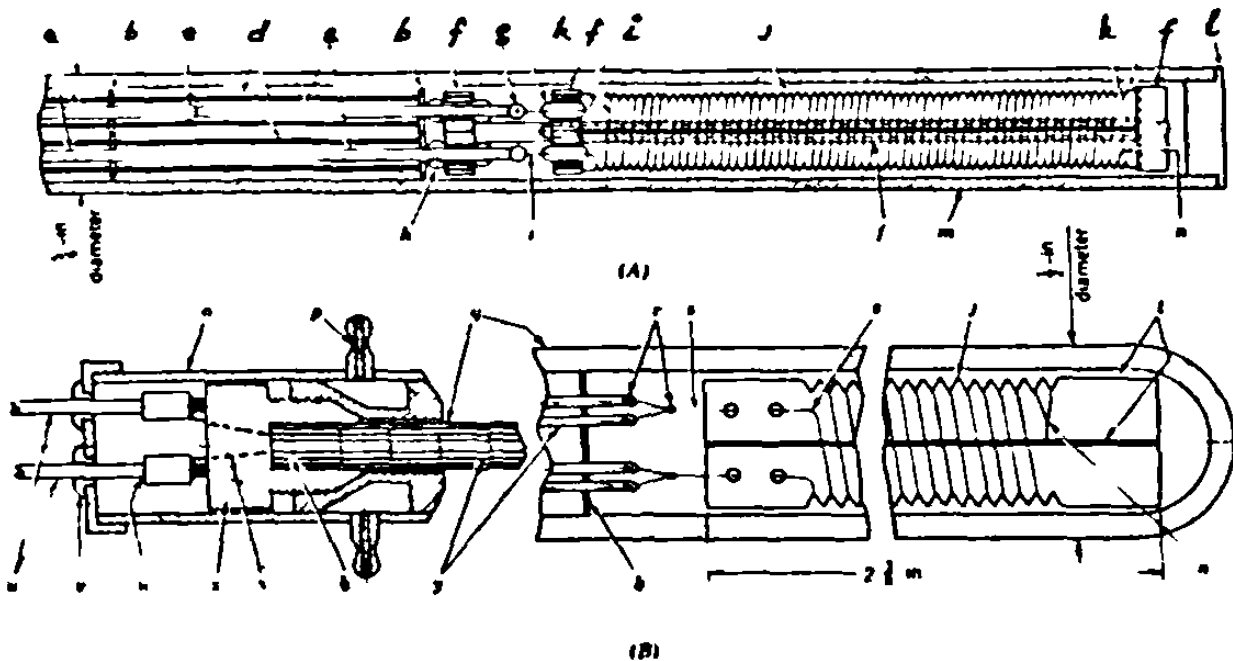


Figura 9-1

(A) Rortuck-type and (B) classical Callendar-type precision elements. a, 0.002 in diameter copper lead wires; b, 4-hole mica-disk spacers; c, silver-soldered junctions; d, tubular nickel spacers; e, 0.002-in diameter platinum leads; f, brass middle assembly; g, silver-soldered junctions; h, lead-glass insulator sealed to wire; i, 0.002 in-wre bifilar wound 50-ohm iron-powder resistance; p, platinum sensitive element; j, double-thread notch; k, four mica vanes, mounted in spindle; l, silver-soldered brass end plug; m, brass tube; n, coil anchorage; o, copper housing; p, circulating air connections; q, quartz tube or ceramic tube; r, fused junctions; s, 0.004 in-wre bifilar wound 25-ohm iron-powder resistance; t, platinum sensitive element; u, four vane dovetailed-construction mica-core spindle; v, external copper lead wires; w, electro-insulation bushings; x, fusible-alloy connections in copper case; z, paraffin impregnated-wood split-screw head; y, 0.024-in diameter platinum leads. (By permission J. R. Rortuck in *J. Opt. Soc. Am.* 6, no. 8, 867-871, October 1919; C. W. Hinds and G. K. Burgess in *Bulletin of the Bureau of Standards*, 6, no. 2, Fig. 1, November 1909.)

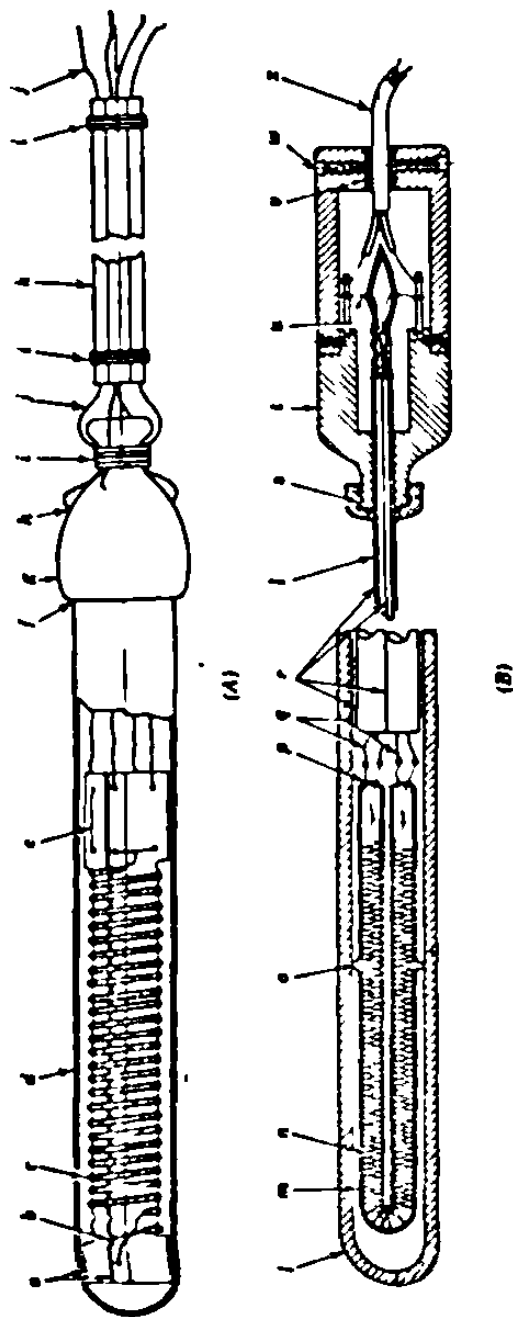


Figure 9-2

Con ed filament elements. (A) Meyer's design. (B) Barber's design. a, 0.004 in thick mica, dovetailed-cross-constructio
 ep tube b end-loop an h ring c, 0.004-in-wire 0.018-in outside diameter d ameter he is 28-ohm ice-point-resistance, platinum sensitive ele-
 ment d 0.218-in outside diameter 0.01-in-wall helium led sealed platinum protecting tube e anchoring of leads, f seal, g glass
 head h leads emerging through seals i binding j 0.012-in diameter platinum current and potential leads k, insulating tubes, l,
 1/2-in outside diameter glass or Pyrex sheath, m 0.06-in-bore 0.008-in-wall glass or Pyrex U-tube n 0.002-in-wire, 0.06-in out-
 side diameter helix 25 5-ohm-ice-point-resistance platinum sensitive element o vents for evacuating drying and refilling with
 helium p seals q 0.008-in diameter platinum or gold current and potential leads, r, tin bore, s ins sheaths, t, cluck,
 lead s r p seals q 0.008-in diameter platinum sealed through cad glass pointed with porcelain seal tion t fiber optic collar, u grub screws
 t hermot head, u platinum leads sealed through cad glass pointed with porcelain seal tion t fiber optic collar, v grub screws
 an s four-strand cable By permission of C H Meyers in RP 608 J Research Natl Bur Standards 9, no 6, Figs 1, 6, and 5, 1961
 (1) December 1958, C R Barber J Sci Instr 37, no 8 48, February, 1961

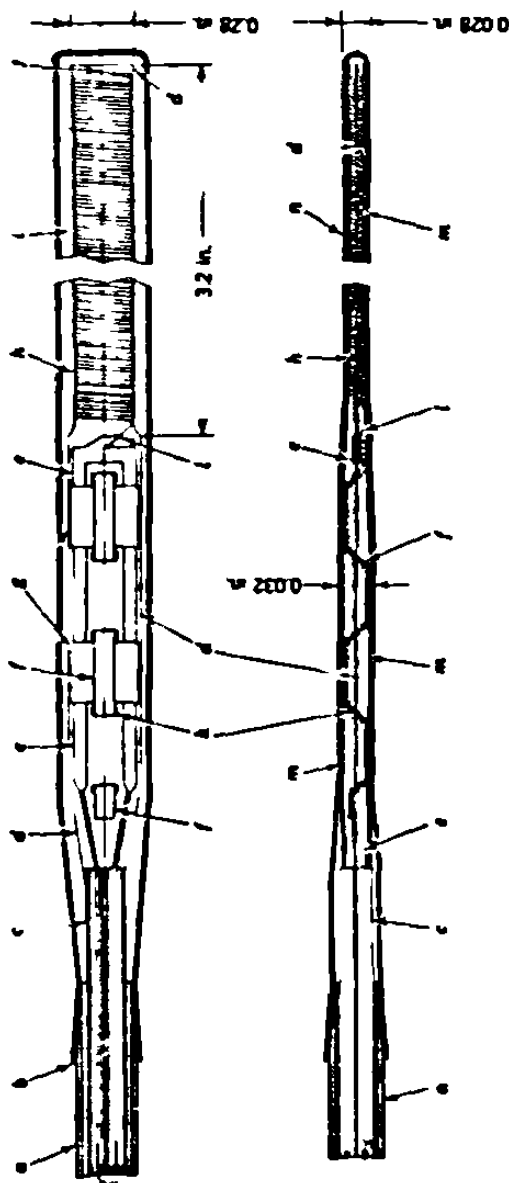


Figure 9-3

Flat quick-response wire-wound element—Gittings design. A glass tube *b* and soldered joint, two twin-hole silver tubes, *d*, dotted and serrated 0.004-in thick mica spacers *e* 0.02-in diameter platinum leads rolled to 0.002 in thickness *f* 0.004 in thick by 0.12-in wide mica lace *g*, four 0.004-in thick mica relays or strips. A 0.004-in wire 28.6 ohm resistance bifilar-wound platinum sensitive element *h*, 0.02-in pitch by 0.012-in deep serrations *j* coil an element *k* five 0.04- by 0.12-in slots, *l*, 0.004-in thick flattened fused junctions, *m* two 0.002-in thick mica insulating strips, and a silver or platinum sheath rolled down tight. (By permission of J. Gittings in *J. Res. Natl. Bur. Stand.*, August, 1961)

La protección que se debe hacer para termómetros de precisión es limpiar la mezcla con aire o helio a la presión inicial de $1/2$ - atmósfera para termómetros de platino y después proteger con algún aislante contra la oxidación, pues en las paredes interiores del tubo los vapores no deben hacer reacción. Los aislantes recomendados para este propósito son vidrio, carbón o barniz especial.

La unión de los conductores a los elementos sensitivos se hace con soldadura autógena y según el rango es el metal usado, la plata para menos de 600°F , el oro para 1800°F en adelante, el cobre se usa para más de 400°F . En cualquier caso debe minimizar los espacios en las uniones evitando así errores en las lecturas.

Como aparato medidor puede usarse el Principio del Puente de - - Wheatstone A-C. Figuras 9-4 y 9-5.

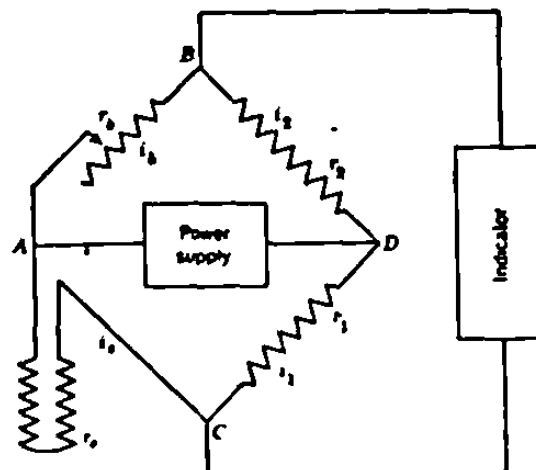


Figura 9-4
Puente de Wheatstone

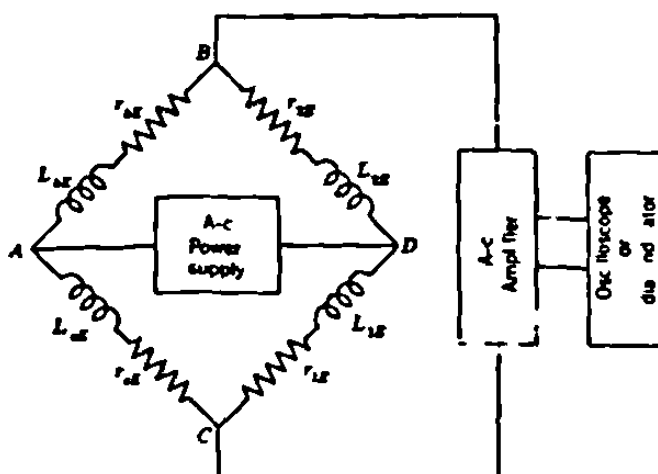


Figura 9-5
Puente de Wheatstone

La sensibilidad de un galvanómetro se define como la EMF, V , en serie con el galvanómetro y una resistencia externa produciendo una deflexión en la escala divisoria, v/mm . Todo esto nos produce una serie de errores.

Para una indicación electrónica, la sensibilidad está dada por un incremento de Voltaje muy pequeño que se amplifica a la magnitud deseada; pero también produce errores.

Podemos tener los siguientes errores:

a) Error debido a la disipación de potencia en el elemento sensible y se da por la ecuación

$$\Delta t = \frac{\varphi_0}{UA}$$

donde Δt es el error en $^{\circ}F$; φ_0/A es la disipación de potencia eléctrica en el elemento sensible por unidad de superficie de Area en la salida $BTU/nr-Ar^2$ y U es la conductancia térmica de

la superficie de área a la salida $\text{BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$; también - -
 $\frac{Q}{A} = \frac{W_e}{A}$ donde W_e es la disipación eléctrica en el elemento sensi
tivo (Watts) y $J = 0.293 \text{ Whr/BTU}$. A su vez $U = 1/(1/U_i +$
 $1/U_w + U_o)$ donde U_i es la conductancia desde el elemento sensi
tivo a la superficie interior, U_w es la conductancia del área
de la pared exterior y U_o es la de la porción del material su-
ficientemente distante para ejercer un efecto en la temperatu-
ra.

Para bulbos sumergidos en agua $1/U_w$ es el término dominante,
la cantidad ΔT para un bulbo sumergido en aire y agua varía -
aproximadamente 25 veces más grande en el agua.

Cuando el filamento es embebido o fundido en vidrio cuarzo o -
cerámica el término $1/U_i$ se desprecia y U_w es calculado como
un cilindro de diámetro interior d , igual al del alambre y un
diámetro exterior igual al vástago.

Para elementos sensitivos semiconductores, $1/U_i$ desaparece y -
 U_w es la conductancia del cuerpo de material semiconductor re
ferido a el área de superficie de salida, $\text{BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$.

Para Termisores esféricos o de gota, U_w es dado por la ecuación

$$U_w = 10k/d^2$$

donde d^2 es el diámetro de la gota en pies; k es la conductiv
dad térmica del material de la gota en $\text{BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$.

Para Cilindros grandes o termisores de rodillo o vástago

$$U_w = 8 k/d^2$$

donde d^2 es el diámetro del rodillo y k su conductividad.

Para discos Termisores (Figura 9-6)

$$U_w = 6 k/d^2$$

donde d^2 es el espesor del disco en pies.

U_0 es la conductancia del termisor referido a su diámetro ϕ - espesor en BTU/hr ft^2 °F.

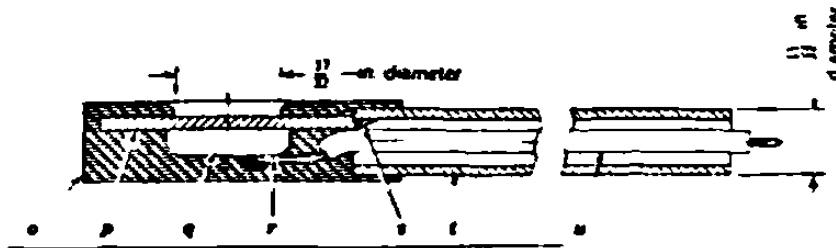


Figura 9-6

Prueba de Termisor Plano. o, block; p, plato sumergido; q, disco soldado al plato; r, unión soldada del conductor al termisor; s, soldadura; t, tubo exterior; u, aislamiento del conductor.

b) Error debido a la Conducción de Calor.

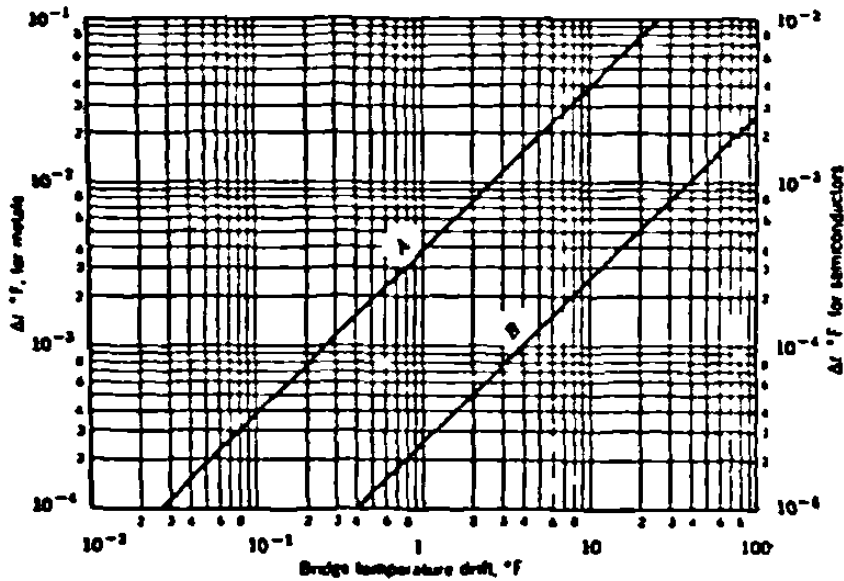
Este error se estudió en el Cap. 7 y su rango varía de 0.01 a 0.055°F.

c) Error debido a las fugas. Aparato medidor (Puente) ver - Figura 9-4. La razón igual de los brazos y el circuito puente (r_1 y r_2 respectivamente). El error está dado por la ecuación

$$\Delta t = (t_2 - t_1) \alpha_b / \alpha_e$$

donde Δt es el error en °F, α_b es el coeficiente de resistencia a la temperatura en el brazo de r_b del puente por °F; α_e es el coeficiente de resistencia a la temperatura en el elemento sensitivo por °F y $t_2 - t_1$ es la fuga de la temperatura de calibración en el brazo balanceado del puente en °F.

Para facilitar los cálculos se gráfica como sigue.



Grafica de Error en la determinación de temperatura

d) Errores debido a los Cambios de Temperatura en la Resistencia de los Conductores. En las figuras 9-7, 9-8 y 9-9 arreglo de 4 alambres, la resistencia de el elemento R_0 se mide independientemente de los conductores.

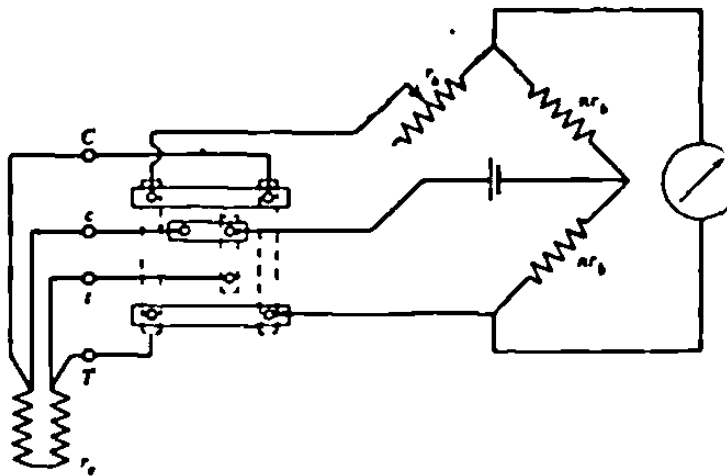


Figura 9-7
Puente de Wheatstone con cuatro conductores

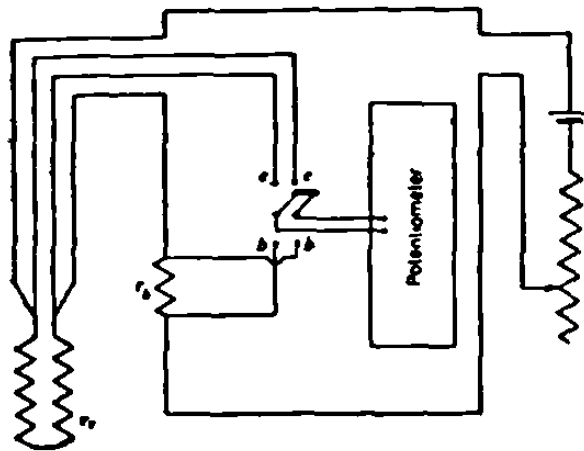


Figura 9-8
Potenciómetro con 4 conductores

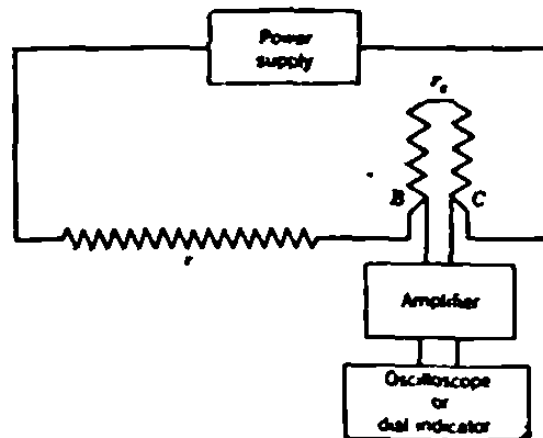


Figura 9-9
Potenciómetro con 4 conductores
con indicación electrónica.

Por lo tanto la variación en la resistencia de los conductores no tienen efecto una sobre otra.

Para arreglos de 2, 3 o 4 alambres mostrados enseguida (figuras 9-10, 9-11 y 9-12)

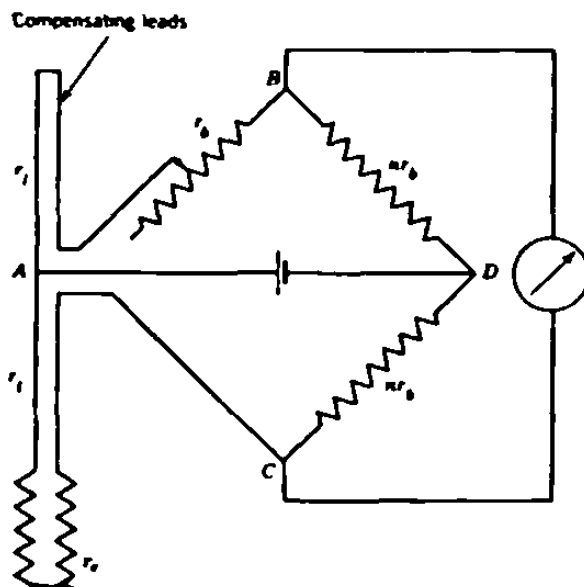


Figura 9-10

Puente de Wheatston con dos elementos

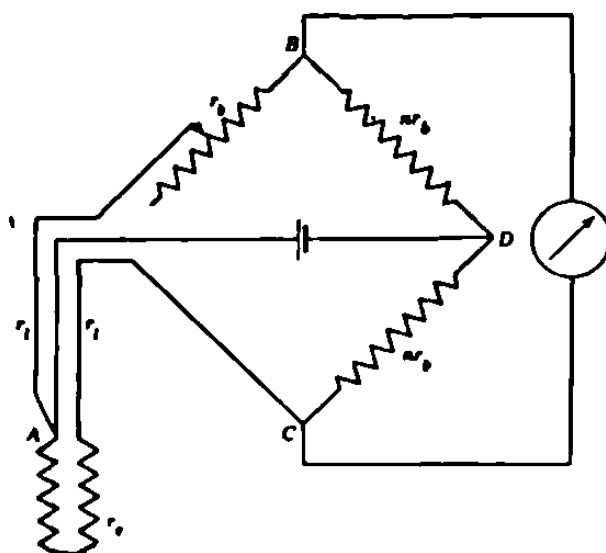


Figura 9-11

Puente de Wheatston con 3 conductores

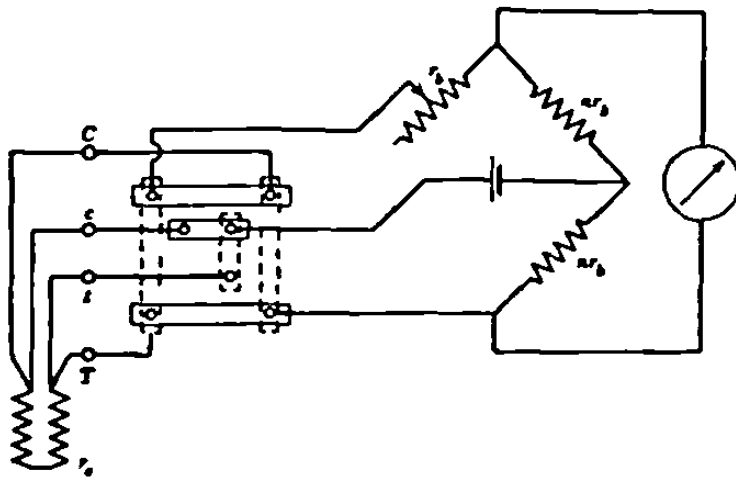


Figura 9-12
Punto de Wheatstone con 4 conductores

Las resistencias de los conductores suceden en los brazos de - el puente y sus variaciones no se compensan entre sí, el error está dado por la siguiente ecuación

$$\Delta t = (t_2 - t_1) \gamma \alpha_1 / \gamma_2 r_1$$

donde Δt es el error en °F, α_2 es el coeficiente de resistencia a la temperatura del elemento sensitivo por °F; α_1 es el coeficiente de resistencia a la temperatura de el material que constituyen los alambres conductores por °F, γ_2 es la resistencia del elemento sensitivo en ohms. Y $t_2 - t_1$ y r_1 son dados dist - ferentemente en cada uno de los 3 casos.

- 1) Para arreglos de 2 alambres, $t_2 - t_1$ significa el cambio de - temperatura de los conductores desde que cada calibración fué ejecutada en °F, y r_1 es la resistencia del para de -- alambres en ohms.
- 2) Para arreglos de 3 alambres como en la figura 9-1, $t_2 - t_1$ es la Diferencia de temperatura entre los 2 conductores, r_1 co - nectado a los brazos del puente en °F y r_1 es la resisten - cia del conductor individualmente en ohms.

3) Para arreglos de 4 alambres ($t_2 - t_1$) es la diferencia de temperaturas entre los dos pares de conductores, entre éstos y los conductores compensadores en °F. Y r_1 es la resistencia de un par de conductores en Ω

La solución gráfica se da en la figura 9-13.

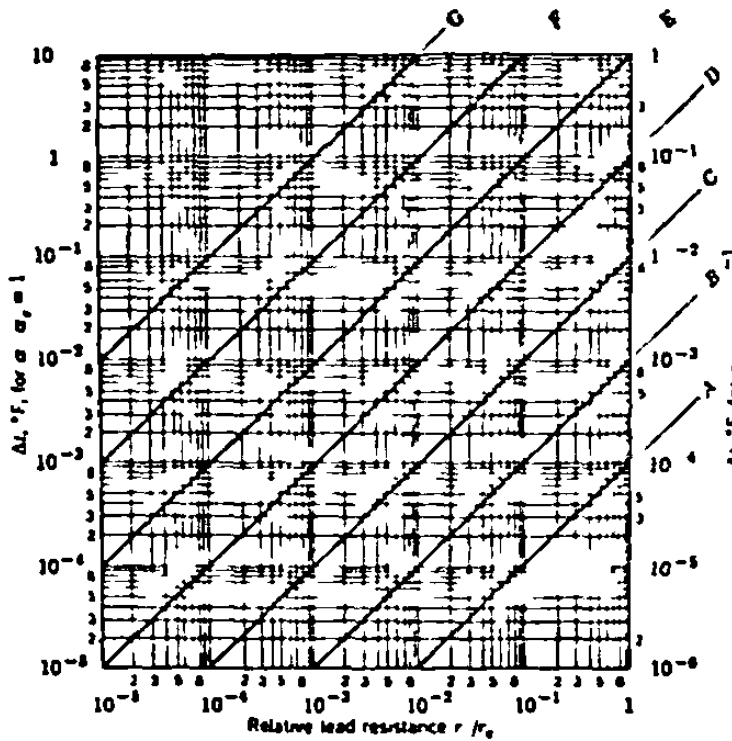


Figura 9-13

Error in temperature determination Δt °F due to temperature variations in the resistances of the lead wires for various temperature differentials $t_2 - t_1$ °F in Eq 2-22. Thus $t_2 - t_1$ is on curves A 10 °F B 2 °F C 10 °F D 1 °F E 10 °F 10 °F and G, 10 °F. Left-hand scale is for metallic elements of the same temperature coefficient of resistance as the lead-wire materials. Right-hand scale is for semiconducting sensitive elements of temperature coefficients of resistance 10 times those for the lead-wire materials.

e) Errores debido a la filtración en el aislamiento. Esta pérdida resulta ser efecto parasito voltario.

El error resultante en la medición de la temperatura está dado por la ecuación

$$\Delta t = r_e / (K_e + r_i) \Delta e$$

donde Δt es el error $^{\circ}F$, γ_s es el coeficiente resistente a la temperatura del elemento sensitivo por $^{\circ}F$, γ_i es la resistencia del elemento sensitivo en ohms, y d_s es la resistencia del aislante desviado. Para el cálculo práctico es bueno usar la gráfica 9-14.

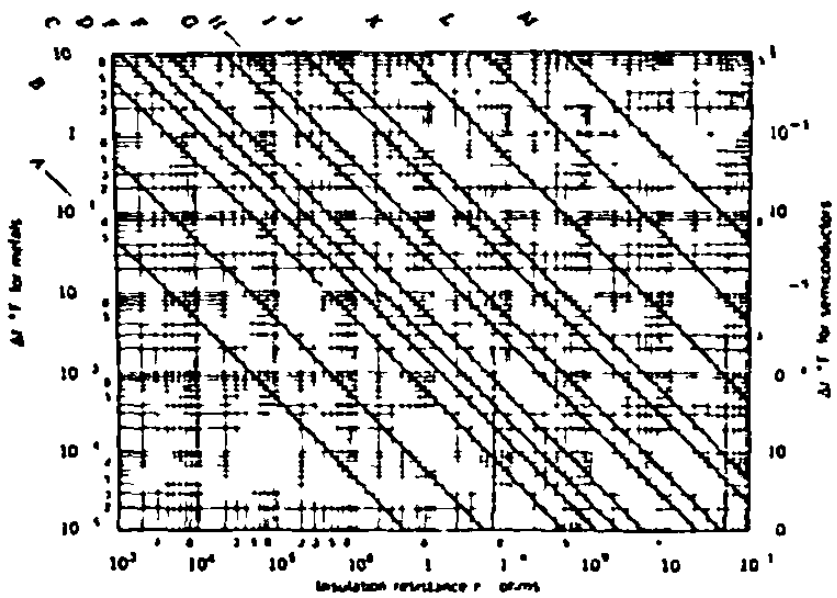


Figura 9-14

Error in temperature determination Δt , $^{\circ}F$, due to insulation leakage in the circuit of the sensitive element for various electric resistances r_i , ohms, of the element. Thus r_s is for curves A 0.1 ohm, B, 1 ohm, C 10 ohms, D 25 ohms, E 50 ohms, F 100 ohms, G 500 ohms, H 1000 ohms, I 5000 ohms, J 10⁴ ohms, K 10⁵ ohms, L 10⁶ ohms and M 10⁷ ohms. Left-hand scale is for metallic sensitive elements of temperature coefficient of resistance α_s 0.0022 per $^{\circ}F$. Right-hand scale is for semiconducting sensitive elements of temperature coefficient of resistance α_s 0.022 per $^{\circ}F$.

f) Errores debidos a Efectos Parásitos de Voltaje.

El valor anda alrededor de 1 Volt. para corriente Directa el error es

$$\Delta t = 1 / S_e$$

donde Δt es el error y S_e es la sensibilidad del elemento sensitivo Volt/ $^{\circ}F$.

Para un elemento termistor de $\alpha_s = .022 / ^{\circ}F$ operando a $V_{AC} = 100$ volts para $S_e = \alpha_s V_{AC} = 2.2$ Volts/ $^{\circ}F$ el error es $\Delta t = 1 / 2.2 = .45^{\circ}F$.

Para un elemento sensitivo de platino de 25 Ω operando a - -

0.002 amp. $S_e = \mathcal{A}_e \mathcal{L}_e T_e = .0022 \times .02 \times 25 = .00011V/^{\circ}F$ el error $\Delta t = 11/.00011 = 9100^{\circ}F$ y este error es demasiado grande.

Puesto que el efecto voltaico solo se presenta en corriente - directa el cual no pasaría en un tubo amplificador de corriente Alterna y no representa un error apreciable.

g) Errores debidos a Fuerza Electromotriz.

En este caso el cobre es usado para minimizar este error termo eléctrico.

Se dan por la ecuación para corriente alterna

$$E_{AB} = e_{AB} (t_1 - t_2)$$

donde E_{AB} es la emf Volts; e_{AB} es la potencia termoeléctrica entre el par de metales A y B Volts/ $^{\circ}F$ y t_1 y t_2 son las temperaturas de las dos uniones opuestas. Para la solución se -
recurre a la Figura 9-15

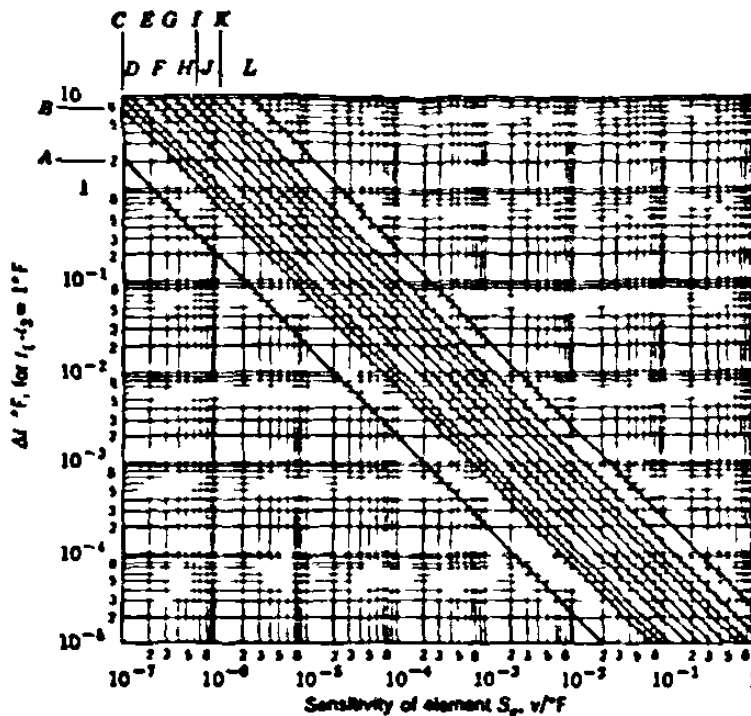


Figure 9-15

Error in temperature determination due to nonuniformities in temperature in the thermometer circuit. Error Δt , °F per unit temperature difference, is $t_1 - t_2$, 1°F in Eq 2-25 for pairs of junctions between various materials, as plotted vertically against the sensitivity of the element S_e , v/°F. Curves are for junction pairs of A, copper against cadmium gold silver or zinc, B copper, gold, or silver against manganese or tungsten, C copper gold or silver against silver solder 50 per cent silver 15.5 per cent copper 15.5 per cent zinc and 18 per cent cadmium, D copper gold or silver against brass copper with 10 to 40 per cent zinc or phosphor bronze (copper with 1.25 to 10 per cent tin), E, copper gold or silver against molybdenum lead tin, or lead-tin solders, F, platinum against lead tin or lead tin solders, G platinum against brass (copper with 10 to 40 per cent zinc or phosphor bronze (copper with 1.25 to 10 per cent tin), H copper gold or silver against carbon gold-chromium alloy gold with 21 per cent bromine or platinum, I, copper gold or silver against mercury, J platinum against nickel, K nickel against copper, gold silver or tungsten, and L copper gold or silver against constantan copper with 40 to 45 per cent nickel.

Para circuitos de corriente directa el error esta dado por la ecuación

$$\Delta t_{AB} = E_{AB} / S_e$$

donde Δt_{AB} es el error en °F; E_{AB} es la emf termoeléctrica por el par de unión AB Volts; S_e es la sensibilidad del elemento sensitivo. Volts/°F su calculo gráfico se efectua con la figura 9-15.

h) Errores debido a la Resistencia al contacto. Cuando se efectúan conexiones entre elementos de circuitos sin soldadura se presenta la resistencia al Contacto por ejemplo, cuando se abrazan atados a un poste, o bien cuando se conectan bajo presión por algun artefacto, también se presenta con contactos de cepillo; pero en todos los casos depende el buen contacto de: a) la limpieza de sus superficies, b) de la buena conexión entre ellos, c) de la diferencia de potencial eléctrico que pase por dicho contacto d) de los materiales participantes. Para este propósito el bronce es un buen material de contacto. La resistencia varía inversamente a la fuerza o unión entre los miembros contactantes.

i) El error por Temperatura está dado por la ecuación

$$\Delta t = r_e / r_e \alpha_e$$

donde Δt es el error en °F, r_e es la resistencia no conocida al contacto en Ω ; r_e es la resistencia del elemento sensitivo en Ω y α_e es el coeficiente de resistencia a la temperatura del elemento sensitivo para una solución rápida se recurre a la grafica de la figura 9-16

j) Errores en la Calibración, esto es debido a la precisión del aparato para calibrarse correctamente antes de una medición.

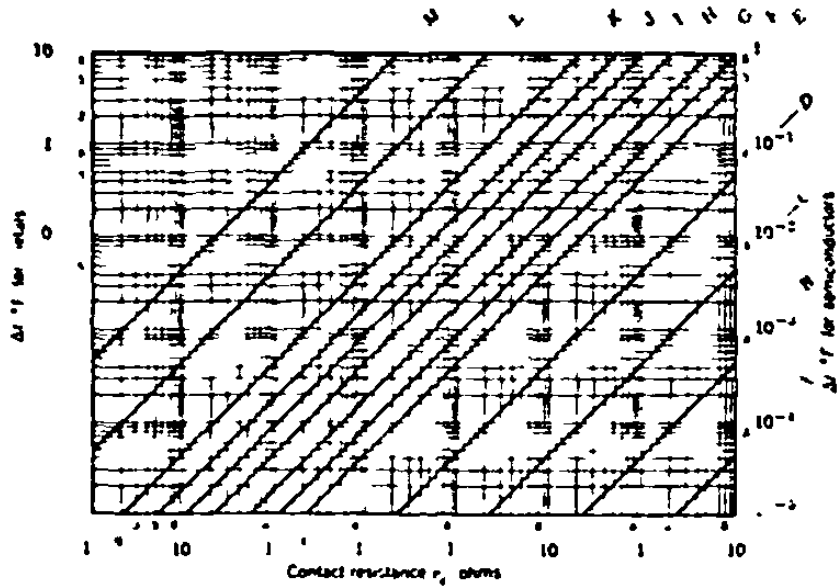


Figure 9-16

Error in temperature determination Δt °F due to electric contact resistances r_c ohms, in the circuit of the sensitive element for various electric resistances r_s ohms, of the sensitive element. Thus r_s is for curves A 10⁷ ohms, B 10⁶ ohms, C 10⁵ ohms, D 10⁴ ohms, E 10³ ohms, F, 500 ohms, G 250 ohms, H 100 ohms, I 50 ohms, J 25 ohms, K 10 ohms, L 1 ohm and M 10⁻¹ ohm. Left-hand scale is for metal sensitive elements of temperature coefficient of resistance α_r 0.0022 per °F. Right-hand scale is for semiconducting sensitive elements of temperature coefficient of resistance α_r 0.022 per °F.

C A P I T U L O X
D E T E C T O R E S D E R A D I A C I O N

DETECTORES DE RADIACION

Pirómetros Ópticos.- El Ojo Humano es un detector de radiación - usado. Se basa en la capacidad del ojo para distinguir la brillantez de la superficie de un cuerpo en comparación a una referencia contrapuesta. Las Intensidades y los rangos de longitud de onda pueden regularse por medio de filtros. Existen instrumentos portátiles manejables ya comerciales que incluyen lentes - ventanas y prismas para dicho objeto. Para calibrar los pirómetros ópticos es necesario tener una fuente de radiación de un cuerpo negro controlando de forma precisa la temperatura en la -- fuente.

Los principios del pirómetro de radiación incluyen una fuente de radiación Standard que se llama cuerpo negro, el que se define - teóricamente como un cuerpo que absorbe toda la radiación que incide sobre él; tal cuerpo emite energía con mayor rapidez que - cualquier otro a la misma temperatura.

En la figura 10-1, se observa un corte transversal de un pirómetro de radiación tipo espejo. La radiación del objeto pasa por la ventana A al espejo B enfocado para formar una imagen del objeto en el diafragma interno J, la imagen es enfocada luego por el espejo D sobre termopares E (termopila). Observando C a través - del lente H se determina su uso correcto. El aumento de la temperatura de la termopila es proporcional a la rapidez con que la energía radiante incide en ella. Por lo que la fem es proporcional a T^b aunque prácticamente algo de energía se disipa por lo - que la ley estudiada se convierte en

$$E = K T^b$$

donde K y b se determinan prácticamente por calibración.

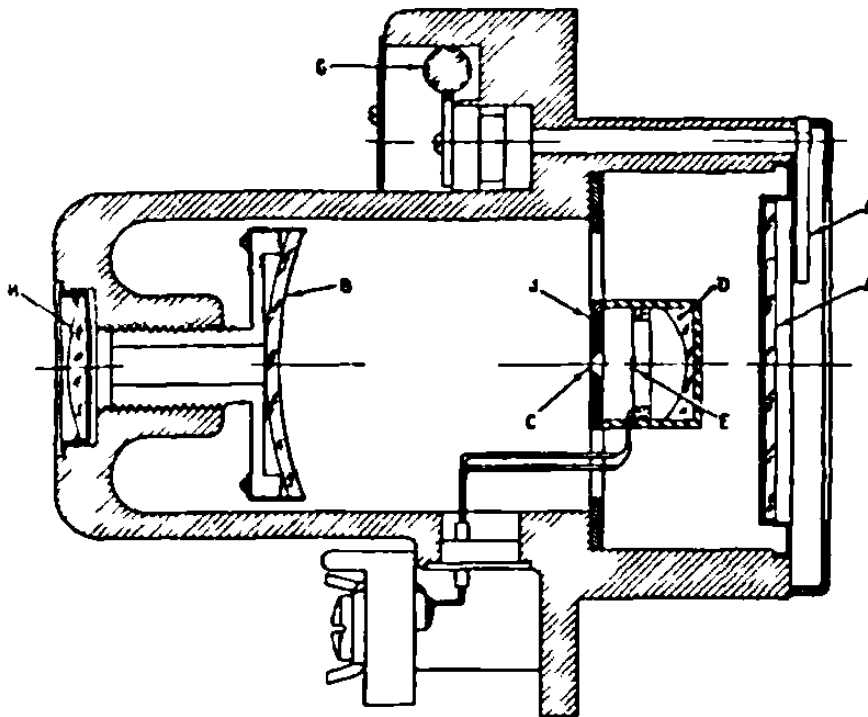


Figura 10-1
Pirómetro de radiación tipo espejo

En la figura 10-2 se observa el pirómetro óptico semejante al de radiación, la diferencia es que el óptico utiliza una sola longitud de onda o una banda angosta de longitudes de onda de la parte visible del espectro.

Se mide la temperatura comparando la brillantez emitida por la fuente con respecto a una fija usando un filtro para calor rojo restringiendo la radiación a la longitud de onda de la radiación roja.

El tipo usado en la industria es el de la figura 10-2a el telescopio tiene un filtro para color rojo montado en vidrio y un filamento calibrado sobre el cual se enfoca el objeto analizado, con un interruptor que cierra el circuito eléctrico para funcionar y una pantalla de absorción para cambiar el intervalo del pirómetro.

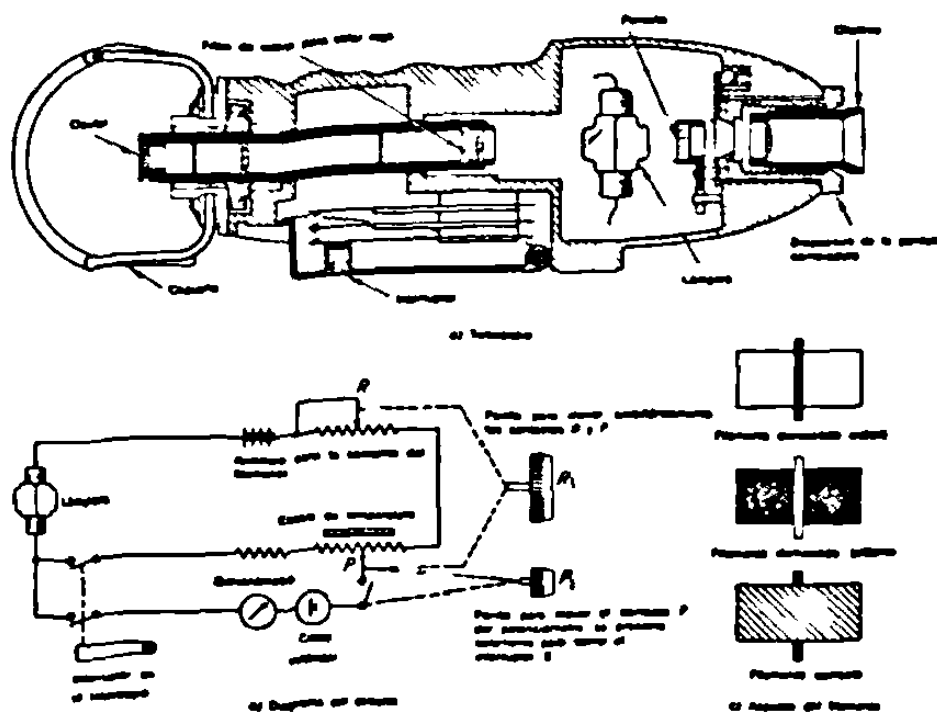


Figura 10-2

Pirómetro óptico tipo de filamento que desaparece: a) Telescopio; b) Diagrama del circuito; c) aspecto del filamento.

En la figura 10-2b se observa el circuito interior del aparato y en el 10-2c el aspecto del filamento.

Estos aparatos miden altas temperaturas de cuerpos inaccesibles, pueden estar en movimiento y las partes interiores del aparato no se exponen a ningún efecto destructivo debido al calentamiento. Pueden producir errores en la medición porque la igualación fotométrica es cuestión de criterio, puede influir también la existencia de humos y gases entre el cuerpo y el aparato así como la distancia entre ellos.

La lámpara más ampliamente usada es la mostrada en la figura 10-3

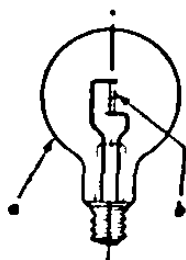


Figura 10-3

Filamento de la lámpara. a, Bulbo de vidrio relleno de argón; b, filamento de tungsteno.

Los materiales usados para los lentes y las ventanas se expresan en la siguiente tabla

TABLA DE MATERIALES DE LOS LENTES

Material	Chemical Composition	Approximate Reflection Loss per Glass Air Surface	Approximate Short Wavelength Cutoff λ μ
Optical glass	—	05	1.4
Pyrex 7740	—	05	3
Fused silica	SiO ₂	035	—
Sapphire	Al ₂ O ₃	05	2
Fluorite	CaF ₂	035	15
Spinel	MgO	15	7
Ruby	Al ₂ O ₃	05	2
Silver chloride	AgCl	10	6
Antimony coated	Sb	—	—
Potassium bromide	KBr	05	—
Thallium bromide	4 percent TlBr	15	6
Silver chloride	5 percent Tl	—	—

La reflexión óptica requiere superficies con alto coeficiente de reflexión constante y con la longitud de onda dentro del rango usado; los mejores materiales son cobre, plata y oro. El oro es el más usado por ser el que menor desgaste tiene. La plata y el cobre se protegen con películas infrarrojas transparentes suficientemente gruesas como para no ser antirreflejantes. El carbón es

usado muy ampliamente para pintar las partes metálicas negras que son depositadas por evaporación en vacío parcial.

Existen detectores termoeléctricos, neumáticos, fotoconductores, fotoresistores, fotoemisores y fotovoltaicos.

Las consideraciones hechas para un diseño de pirómetros se pueden presentar en el siguiente orden.

- 1.- El rango de temperaturas de la superficie de la fuente.
- 2.- La precisión deseada en la medida.
- 3.- Las localizaciones donde se harán las mediciones.
- 4.- El tiempo en el que se deberán efectuar las mediciones.

La Ley antes expresada de Stefan-Boltzman es

$$W_{0-\infty} = \sigma T^4$$

donde W es la emisión por las longitudes de onda desde 0 a ∞ ; T es la temperatura absoluta de la superficie del cuerpo fuente; σ es la Cte de Stefan-Boltzman que vale $3.49 \times 10^{-12} \text{ W/in}^2 (\text{OR})^4$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{K}^4$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-5} \text{ erg/cm}^2 \text{ seg } ^\circ\text{K}^4$$

$$\sigma = 0.172 \times 10^{-8} \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{R}^4$$

según el sistema de unidades.

La emisividad de una superficie adimensional al igual que el Coeficiente de Absorción. Se define como " E " y es la fracción de un rayo incidente de potencia radiada absorbida por una superficie. La fracción absorbida es la unidad menos la fracción reflejada.

Para todas longitudes de onda la ecuación de Planck's

$$W_\lambda = c_1 / \lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)$$

donde W_λ es la emisión hemisférica en el rango de direcciones de

λ a $\lambda + \Delta\lambda$; λ es la longitud de onda de radiación (cms) T es la temperatura absoluta $^{\circ}\text{K}$ $C_1 = 3.74 \times 10^{-6}$ erg cm^2/seg ; $C_2 = 1.438$ $\text{cm}^{\circ}\text{K}$.

Para el sistema óptico se usa un recolector de luz y un aparato - para enfocar, este artefacto es un sistema de lentes como se muestra en la figura 10-4, como se observa en la 10-4A y D y se usan lentes en la B, C, E y F.

Para un lente solo expresado en la figura A y D, la distancia de la imagen requerida está dada por la ecuación

$$D_e = D_s (A_e'/A)^{1/2}$$

donde D_e es la distancia desde el lente objetivo a la superficie del detector en pulgadas; D_s es la distancia del lente a la superficie del cuerpo de la fuente, A es el área en pulgadas cuadradas de la superficie, A_e' es el área en pulgadas cuadradas de la imagen formada en el detector proyectado sobre el plano normal a D_e . Para la figura 10-4A, el diámetro de la imagen A_e' es más pequeña que el área detectora A_e ; no así en la figura 10-4D donde es más grande.

La longitud de foco requerido del lente objetivo está dado por la ecuación

$$f = D_e D_s / (D_e + D_s)$$

donde f es la longitud de foco en pulgadas. En la figura 10-4E el plano auxiliar del espejo sirve para reflejar la imagen fuera por un lado, y la longitud focal es la mitad del radio de curvatura del espejo por lo tanto

$$L_c = \sim D_e D_s / (D_e + D_s)$$

donde D_c es el radio de curvatura de la superficie reflejada del espejo en pulgadas y $D_e = D_e' + D_e''$ como se observa en la figura 10-4 B y E.

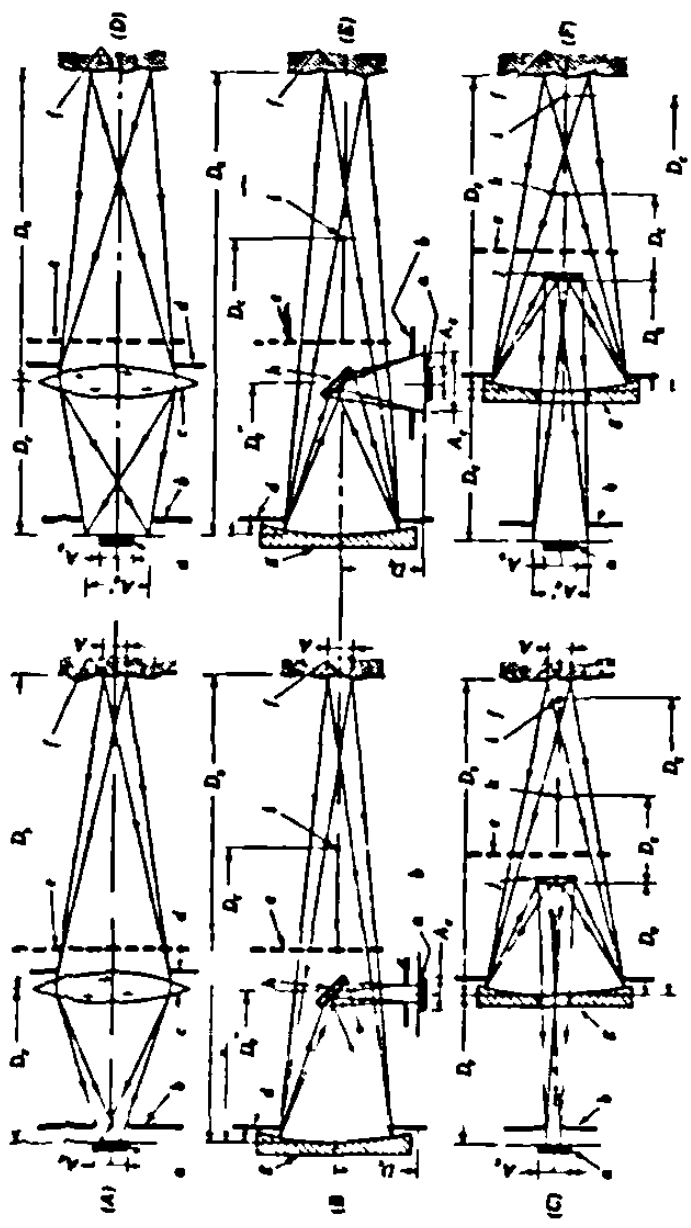


Figure 10-4

Fig 4 2 Schematic optical system diagrams. (A) Lens system for total transfer factor, (B) simple mirror system for total transfer factor, (C) coaxial mirror system for total transfer factor, (D) lens system for intensity transfer factor, (E) simple mirror system for intensity transfer factor, and (F) coaxial mirror system for intensity transfer factor. G source-body element, h source-body plane, i source-body plane, j source-body plane, k source-body plane, l source-body plane, m source-body plane, n source-body plane, o source-body plane, p source-body plane, q source-body plane, r source-body plane, s source-body plane, t source-body plane, u source-body plane, v source-body plane, w source-body plane, x source-body plane, y source-body plane, z source-body plane. alpha center of curvature of concave mirror, beta center of curvature of concave mirror, gamma center of curvature of concave mirror, delta center of curvature of concave mirror, epsilon center of curvature of concave mirror, zeta center of curvature of concave mirror, eta center of curvature of concave mirror, theta center of curvature of concave mirror, iota center of curvature of concave mirror, kappa center of curvature of concave mirror, lambda center of curvature of concave mirror, mu center of curvature of concave mirror, nu center of curvature of concave mirror, xi center of curvature of concave mirror, omicron center of curvature of concave mirror, pi center of curvature of concave mirror, rho center of curvature of concave mirror, sigma center of curvature of concave mirror, tau center of curvature of concave mirror, upsilon center of curvature of concave mirror, phi center of curvature of concave mirror, chi center of curvature of concave mirror, psi center of curvature of concave mirror, omega center of curvature of concave mirror.

Para la figura 10-4 C y F la razón es la siguiente

$$\lambda_e'/\lambda = (D_1 D_2 / D_3 D_2)^2$$

donde $D_1 = D_c D_s / (2D_s - D_c)$

$$D_2 = D_c D_s / (2D_s - D_c) - D_a$$

$$D_3 = D_c' D_2 / (D_e'' - 2D_2)$$

La respuesta del elemento se puede definir como la razón del incremento en la emf en el circuito del elemento sensitivo al correspondiente incremento en la potencia radiante, total o por unidad de área y se puede obtener con ayuda de la figura 10-5.

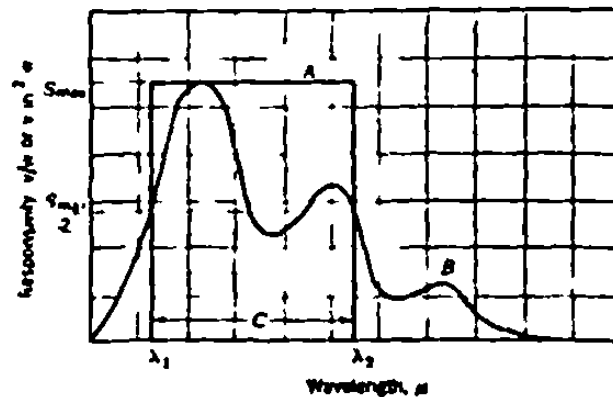


Figura 10-5

Longitud de onda de un elemento. A, onda cuadrada; B, respuesta actual del elemento; C, Longitudes de onda de λ_1 a λ_2 (ciclo).

Factor de Transferencia (F_i) (F_t) se define como la razón de la potencia radiante absorbida por el área sensitiva del detector a la emisión total hemisférica del área del cuerpo donde se desea medir la temperatura.

La Emisividad (E) en un rango dado de longitud de onda depende del material, condiciones y forma geométrica del cuerpo fuente y es dado por la ecuación

$$E W_{\lambda_1-\lambda_2, T} = W_{\lambda_1-\lambda_2, T_A}$$

donde $W_{0-\infty}$ y $W_{\lambda_1-\lambda_2}$ son emisiones totales hemisféricas en cada rango respectivo y E es la emisividad promedio del cuerpo fuente. en este rango a la temperatura T ($^{\circ}R$), T_A es la aparente temperatura del cuerpo fuente.

La respuesta de los elementos de radiación dependen de la ecuación

$$\phi = E F_t W_{0-\infty} (W_{\lambda_1-\lambda_2} / W_{0-\infty})$$

y

$$H = E F_i W_{0-\infty} (W_{\lambda_1-\lambda_2} / W_{0-\infty})$$

donde ϕ es la potencia radiante incidente más la absorción por la superficie sensitiva. H es la potencia radiante por unidad de área. $W_{0-\infty}$ es la potencia radiante emisiva hemisférica del cuerpo negro; $W_{\lambda_1-\lambda_2}/W_{0-\infty}$ es la fracción de $W_{0-\infty}$ en el paso de λ_1 a λ_2 ; E es la emisividad del cuerpo fuente; F_t es el factor de transferencia y F_i es el factor de intensidad.

Para este efecto $W_{0-\infty}$ se encuentra por la fórmula de Stefan Boltzman $W_{\lambda_1-\lambda_2}/W_{0-\infty}$ se encuentra con la figura 10-6.

En la figura 10-7 se gráfica para una rápida solución de la ecuación estando en el eje "X" la escala de la temperatura y en el eje "Y" la escala de $F_t W_{0-\infty}$ o $F_i W_{0-\infty}$.

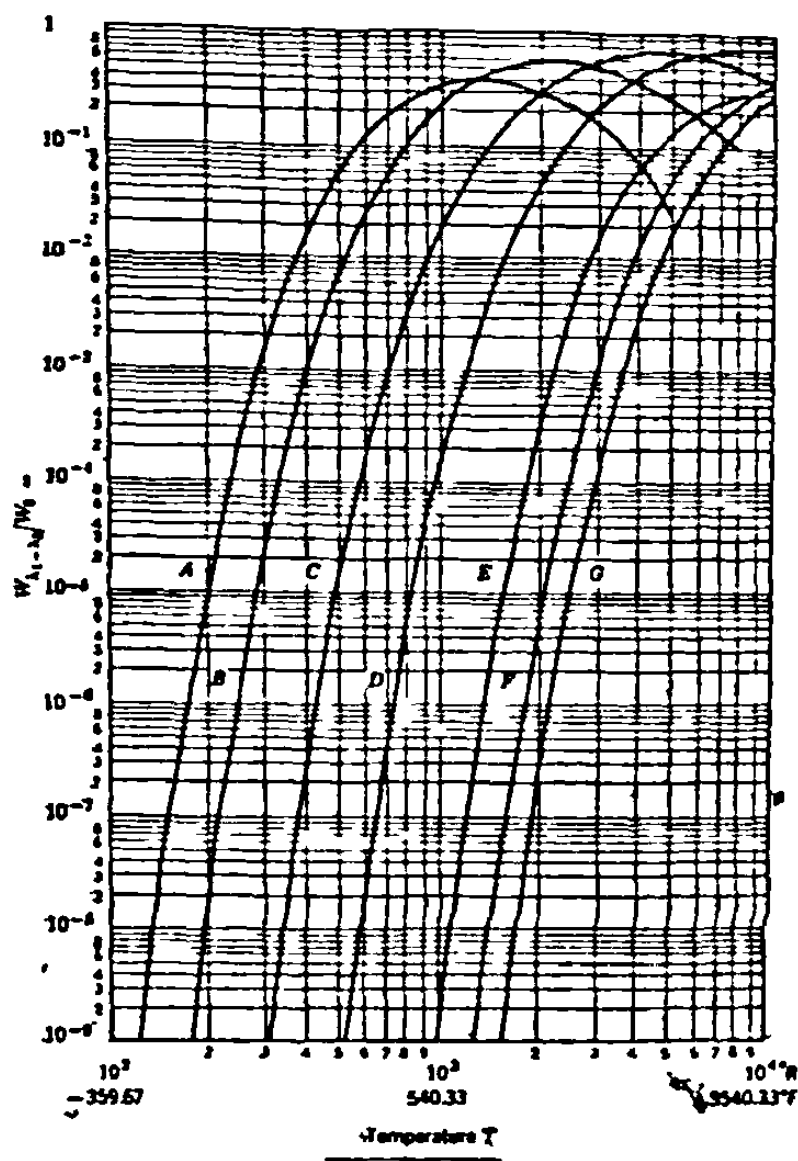


Figure 10-6

Fig 4-5 Fractions of the total hemispherical blackbody radiant power per unit area in the passbands of phot elements $W_{\lambda_1-\lambda_2}/W_{0\infty}$ for source temperatures T °R. Curves are for A photoreceptive cells of passband 7 to 4 μ , B photoreceptive cells of passband 5 to 2 μ , C photoreceptive cells of passband 2.5 to 0.65 μ , D photo resistor cells of passband 1.7 to 0.39 μ , E infrared photoemitter cells of passband .91 to 0.55 μ , F photo optic cells of passband 0.69 to .34 μ and G phot multiplier cells of passband 0.7 to 0.31 μ .

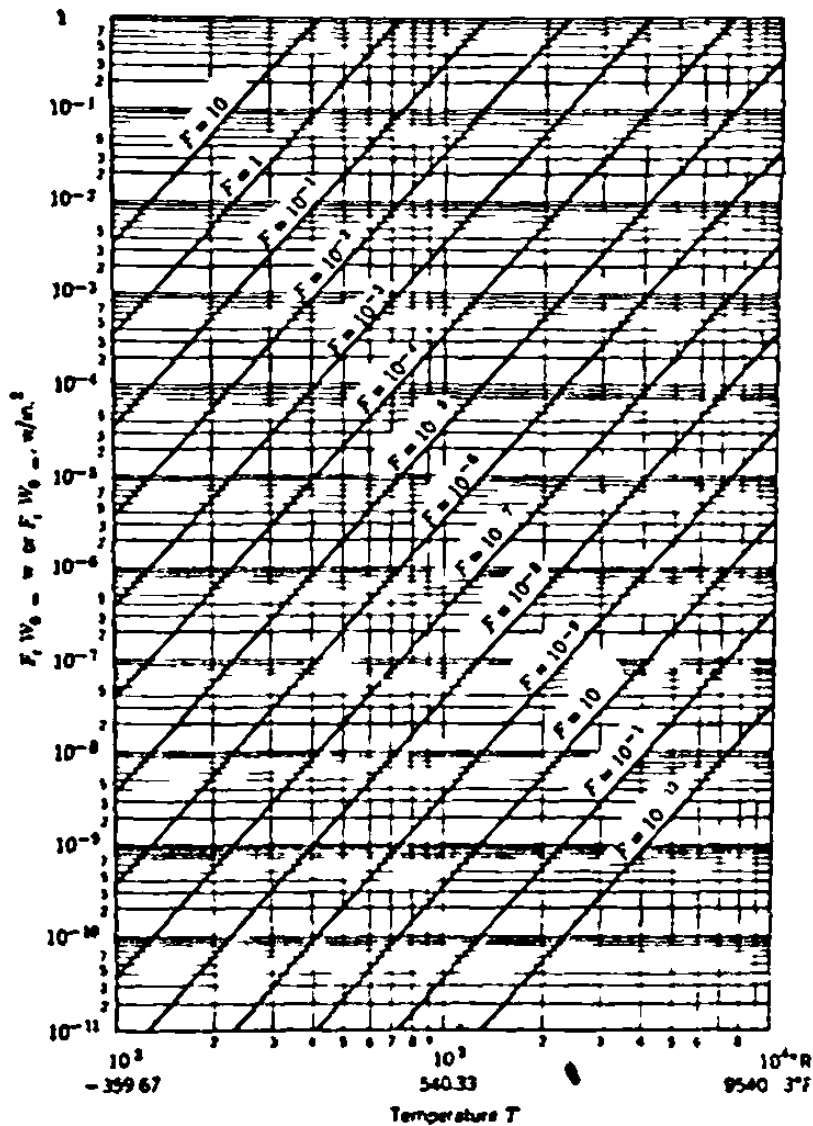


Figure 10-7

Fig 4 6 Total hemispherical blackbody radiant power per unit area of source multiplied by the transfer factor F_1 in w or $F_1 W_{b,0}$ in $w/in.^2$ or source temperature T °R.

C A P I T U L O X I
A P L I C A C I O N E S

A P L I C A C I O N E S

Las aplicaciones de cada caso particular depende de las circunstancias que rodeen el problema, pudiendo resumirse en:

- a) Elementos instalados en la superficie que a su vez pueden ser fijos o portátiles.
- b) Elementos que no estan en contacto que pueden a su vez clasificarse en Pirómetros, Termografía, Fotografía Infraroja, y el Método de Rayo Molecular.

De lo anterior se explicarán ya detalladamente hasta los pirómetros. Ampliaré un poco mas los conceptos adicionales como son:

1) Termografía que depende de la radiación de fósforo en el rango visible donde la intensidad de la radiación es proporcional a la irradiación pudiendo observarse con el ojo humano. La eficiencia de este proceso baja rapidamente con el incremento de la temperatura del fósforo pudiendo tener un error hasta de un 10% por $^{\circ}\text{F}$. Para la aplicación de este fenomeno puede hacerse de dos formas, primera cubriendo la superficie analizada de una película precalibrada y entonces el fósforo, asume un equilibrio térmico con la superficie, y segundo en la proyección termográfica, cuya imagen se enfoca con un sistema óptico igual al expresado en el capítulo anterior.

2) La Fotografía Infraroja son emulsiones fotograficas de sensibilidad de objetos calientes, se puede usar en un rango menos de - abajo de 1000°F se tendría que exponer varios minutos y abajo de 600°F por varias horas, por lo que no se recomienda para temperaturas menores de 2000° .

3) El Método de Rayo Molecular está basado en un rayo de rubidio proyectado sobre la superficie de un sólido, y a su reflejo los átomos emergerán con una distribución de velocidad correspondiente a su temperatura cinética expresada por la ecuación

$$N/N_0 = \left\{ 2\sqrt{E} / [\sqrt{\pi}(kT)^{3/2}] \right\} e^{-E/kT} \Delta E$$

Donde N es el número de moléculas con energía cinética en un rango de $\int_E^{E+\Delta E}$

N_0 es el número de moléculas total

E es la energía cinética $\frac{1}{2}mv^2$ de la masa m

v es la Velocidad en cm/seg

k es la Constante de Boltzman = 1.38×10^{-6} erg/°K

T es la temperatura

Podemos tener la situación de un cuerpo que cambia rápidamente su temperatura con respecto al tiempo, en este caso el tiempo de respuesta τ es importante; si un cuerpo cambia su temperatura uniformemente, los grados de aproximación al equilibrio son arbitrariamente definidos.

Cuando el elemento sensitivo es una unión termoeléctrica a un termómetro de bulbo y tenemos un cambio de temperatura de escalón o paso

$$\frac{(T - T_0)}{(T' - T_0)} = 1 - e^{-t/\tau} \quad \text{y} \\ \tau = VcR$$

donde τ es el tiempo de temperatura (hr), V es el volumen del elemento sensitivo (ft^3), c es la capacidad de calor del material, y R es la resistencia térmica del material

T es la temperatura del elemento sensitivo °F

T' es la temperatura del material medido en °F

t es el tipo prescrito (pasado) (hr)

t' es el tipo prescrito (seg)

T_0 es la temperatura inicial del elemento sensitivo por lo tanto si t es igual a τ se estabiliza

$$\text{y } (T - T_0)/(T' - T_0) = 1 - 1/e \quad \text{o } 63.2\%$$

Si tenemos una rampa de cambios de temperatura

$$T - T_0 = m\tau + (T_0' - T_0 - m\tau) e^{-t/\tau}$$

donde m es la cantidad de veces que cambia de temperatura el cuerpo en el tiempo τ .

Respecto a los Indicadores su τ de respuesta es rapidísimo no importa el tipo de indicador, por lo tanto se desprecia ese lapso.

La figura 11-1 muestra curvas características de los termómetros típicos.

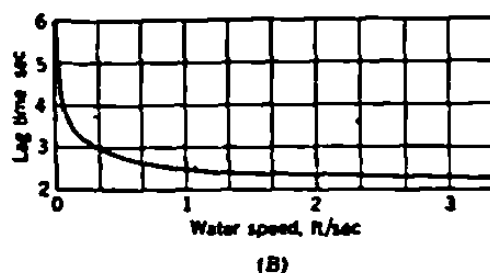
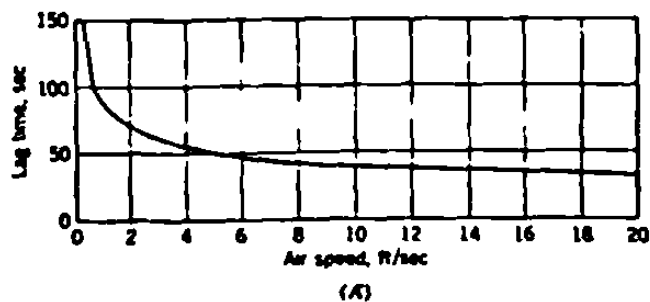


Figura 11-1 Efecto de Velocidad contra tiempo de respuesta para termómetros de mercurio.

En cuanto a los sistemas de radiación su tiempo de respuesta es tan pequeño que se desprecia excepto en distancias grandes.

Si se van a medir temperaturas en fluidos, los medidores son los mismos con ciertas variaciones, ya que la inserción no requiere taladrado especial tan solo la instalación, hay que tener cuidado de la contaminación o corrosión que el fluido pudiera ocasionar el medidor, esto es mas fuerte en líquidos que en gases, - para estos casos los elementos formados de resistencias eléctricas son más sensitivas que los elementos termoelectricos por lo que requerirían menor aislamiento.

En la figura 11-2 se muestra un termopar usado para altas temperatura en líquidos corrosivos.

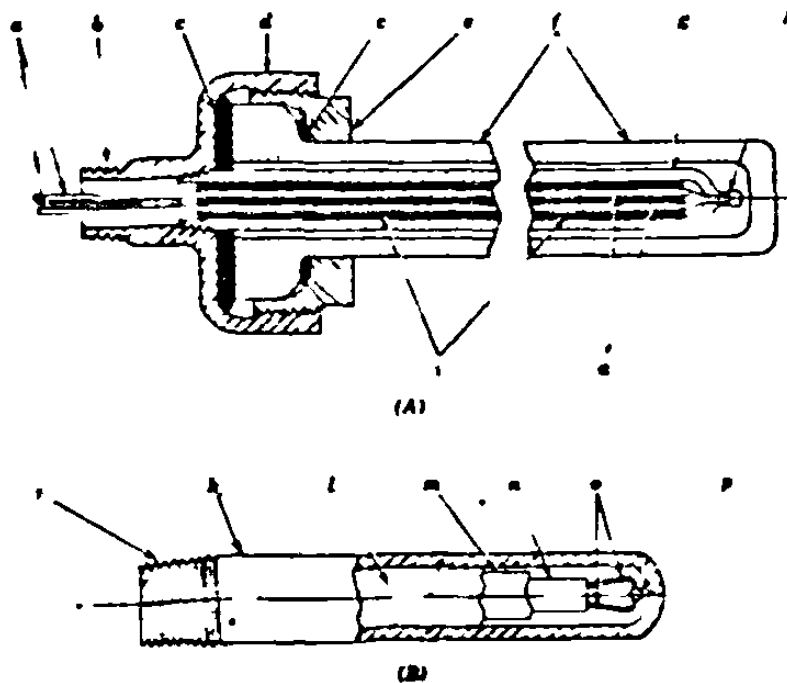


Figura 11-2 A) Diseño para inmersiones permanentes en níquel, plata, bronce, cobre, etc., B) Diseño para sales y carburizados. a, alambres del termopar (cromel alumel); b, rosca; c, asbesto; d, pieza maquinada de hierro; e, seguro; f, tubo de 18 a 36 in; g, protección; h, soldadura eléctrica; i, porcelana; j, pieza maquinada; k, tubo de 12 a 18"; l, empaque de granulos de carbón; m, tubo interior; n, 2 orificios con aislante de porcelana; o, alambres de cromel-alumel.

Respecto a los Gases tenemos el problema adicional de que pueden estar expuestos a presiones altas además de que un sólido sumergido en un gas se le forma una película y la transmisión de calor en ella debe ser por conducción, por otro lado es mucho menor el efecto de la concentración corrosiva sobre el elemento - sensitivo requiriendo así menos aislamiento excepto cuando las presiones son altas pero las partículas en movimiento son más -- que en un líquido proporcionando un incremento de temperaturas.

Existe un fenómeno tendiente a incurrir en errores y este efecto se le llama Salto de Temperatura, en la superficie de un sólido o líquido sumergido en un gas se ejerce una discontinuidad en la temperatura rigiéndose por la siguiente fórmula

$$t' - t = Dg$$

donde t' es la temperatura que podría ocurrir en el gas en la superficie de su pared, t es la temperatura de la superficie, g es la componente normal a la pared $^{\circ}F/in$, D es la distancia del salto de temperatura.

La distancia del salto de temperatura esta dado por la fórmula siguiente aproximadamente

$$D = 2G [(2 - \alpha_c)/\alpha_c] (T/T_0 p) L_0$$

donde T es la temperatura del gas $^{\circ}R$

p es la presión del gas en atm.

L_0 es la trayectoria libre a atm y a T_0 en $^{\circ}R$

α_c es el coeficiente de acomodamiento térmico, describe la tendencia de las moléculas del gas al adherirse a la pared.

G es el factor dependiente de las propiedades del gas en particular.

De forma general los cambios de temperaturas en los gases ocurren

1) Cuando se agrega energía al gas por fuentes exteriores

- 2) Cuando la energía cinética de la masa en movimiento en el gas se transforma en energía térmica.

En ambos casos, el efecto es el incremento de la energía interna en la cual está directamente relacionadas con la temperatura.

La energía interna es propiamente el movimiento translacional de las moléculas individuales de gas. Dicha energía incluyen esta dos rotacional, electrónicos y energías nucleares, por supuesto cada una siguiendo las leyes apropiadas según sus procesos térmicos.

Existen múltiples aplicaciones industriales como son aspiración, velocidad, alta-velocidad, y pirómetros de succión donde el elemento sensible siguen siendo los termopares.

Existen otras aplicaciones más sofisticadas que necesitan métodos más complejos de los cuales nombraré algunos y los trataré superficialmente.

Un ejemplo es el análisis de las temperaturas en el espacio interestelar, todo al rededor de esto es especulación.

Las masas estelares son descritas como gaseosas sin embargo son mezclas de átomos libres, iones, electrones libres, protones, neutrones, etc., y toda esta mezcla se le llama plasma. Aunque la radiación emanada por una estrella es parcialmente absorbida por leyes del exterior llegan a ser visibles algunas veces sirviendo esto para dar una aproximación de su temperatura. Algo semejante ocurre con la medición de las temperaturas en reactores nucleares, solo que relativamente en pequeñas escalas y cerca de mucho más el rango de observación.

La absorción de neutrones se conoce dependiendo de las leyes de absorción y las velocidades de los neutrones, esto por experimentos de distribución de velocidades en un rango de neutrones.

Los métodos de termopares instalados para medición de temperatura en estos casos donde están expuestos a radiación pueden alterarse debido al efecto producido, pero si no se exponen prolongadamente el error es despreciable.

Los casos para bajas y altas presiones pueden efectuarse al igual que los otros casos que se presentan con los aislamientos y protecciones adecuadas.

