

300618

2



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA

INCORPORADA A LA U. N. A. M.

**DISEÑO DE UN EQUIPO PARA HACER PRACTICAS
DE MEDICION DE TEMPERATURA EN LA
UNIVERSIDAD LA SALLE**

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
RAUL ALBERTO MARTINEZ SANCHEZ

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2002





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS: SILVIA, GEORGINA Y JUAN CARLOS

A TODOS LOS QUE ME APOYARON DE ALGUNA MANERA

AL M.C. ANTONIO VALIENTE, DIRECTOR DE ESTA TESIS.

I N D I C E

CAPITULO I TEMPERATURA

- 1.1 Equilibrio Térmico y Ley Cero de la Temperatura
- 1.2 Concepto de Temperatura
- 1.3 Escala Internacional de Temperatura
- 1.4 Escalas de Temperatura

CAPITULO II MEDICION DE TEMPERATURA

- 2.1 Dilatación de los Cuerpos
- 2.2 Termómetros de Vidrio
- 2.3 Sistemas Térmicos de Llenado
- 2.4 Termómetros Bimetálicos
- 2.5 Termómetros de Resistencia
- 2.6 Termopares
- 2.7 Milivoltmetros
- 2.8 Pirómetros (Radiación y Ópticos)
- 2.9 Otros Tipos de Termómetros

CAPITULO III DISEÑO DE EQUIPO PARA EL LABORATORIO

- 3.1 Objetivos
- 3.2 Diseño y Construcción
- 3.3 Descripción Final del Aparato

CAPITULO IV DISEÑO DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIO

- 4.1 Preliminares Sobre el Diseño
- 4.2 Prácticas

CAPITULO V CONCLUSIONES

- 5.1 Resultados (Tablas)
- 5.2 Gráficas
- 5.3 Conclusiones Generales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C A P I T U L O I

T E M P E R A T U R A

1.1 EQUILIBRIO TERMICO Y LEY CERO DE LA TERMODINAMICA

1.2 CONCEPTO DE TEMPERATURA

1.3 ESCALA INTERNACIONAL DE TEMPERATURA

1.4 ESCALAS DE TEMPERATURA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1 ZEMANSKY, MARCK W.

"CALOR Y TERMODINAMICA"

4a. Ed. Aguilar, España 1973

2 BALZHISER, RICHARD E.

"TERMODINAMICA QUIMICA PARA
INGENIEROS"

1a. Ed. Esp. Prentice Hall,
España 1979

3 PERRY & CHILTON

"CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK"

5a. Ed. Mc Graw Hill, USA 1978

4 NACIF N. JOSE

"INGENIERIA DE CONTROL AUTOMATICO"

Tomo I, 1a. Ed. La Ilustración
México, D. F. 1978

5 ALONSO/ROJO

"FISICA, MECANICA & TERMODINAMICA"

1a. Ed. Fondo Educativo Inter-
americano, S. A.
México, D. F., 1979

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1 EQUILIBRIO TERMICO Y LEY CERO DE LA TERMODINAMICA

1

Consideremos sistemas termodinámicos de masa y composición constantes, cada uno de los cuales requiere únicamente de una pareja de variables independientes para ser descritos.

Nos referiremos a estas variables como Y y X a modo de par de coordenadas o variables independientes.

Las coordenadas Y y X del sistema permanecen constantes en tanto no se modifiquen las condiciones externas; a esto se le dice estado de equilibrio.

El estado de equilibrio de un sistema depende de su proximidad con otros sistemas y de la naturaleza de la "pared" que los separa. Esta pared puede ser adiabática o diatérmica.

Si una pared es adiabática (Fig 1-a), un estado Y, X para el sistema A puede coexistir con un estado Y', X' , para el sistema B, esto es, que en los sistemas A y B pueden darse cualesquiera valores para las cuatro coordenadas, en tanto la pared resista, los esfuerzos ocasionados por la diferencia entre los valores de Y, X e Y', X' .

En cambio si los sistemas se encuentran limitados por una pared diatérmica (Fig. 1-b) los valores X , Y , y X' , Y' cambiarán espontáneamente hasta que se obtenga un estado de equilibrio del sistema en conjunto.

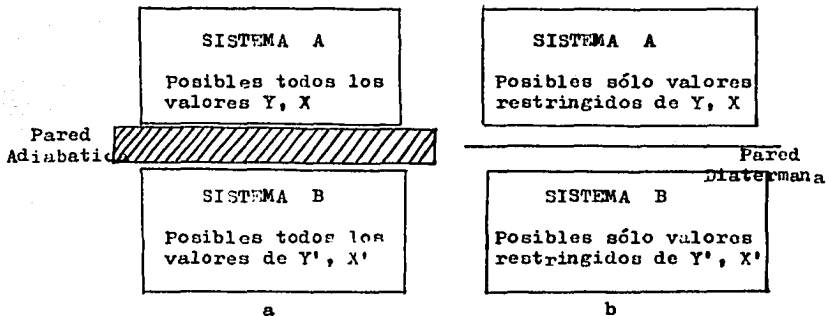


FIG 1 PROPIEDADES DE PAREDES ADIABATICAS Y DIATERMANAS

Ejemplos de paredes adiabaticas: Gruesas capas de madera, hormigón, asbesto, fieltro, etc.

Ejemplo de pared diatérmica lámina metálica delgada.

La definición del equilibrio térmico puede enunciarse de la siguiente manera:

"El equilibrio térmico es el estado alcanzado por dos (o más) sistemas y caracterizado por valores particulares de las coordenadas de los sistemas, después de haber estado en comunicación

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

entre sí a través de una pared diatérmica".

Ahora supongamos que hay dos sistemas A y B separados entre sí por una pared adiabática, pero cada uno de ellos se encuentra en contacto con un sistema C a través de una pared diatérmica, y todos los sistemas rodeados a la vez por una pared adiabática, como en la figura 2-a.

Experimentalmente es posible demostrar que ambos sistemas (A y B) alcanzarán el equilibrio térmico con el sistema C y que no habrá cambio alguno si posteriormente sustituimos la pared adiabática (Fig. 2-a) que separa a A y B con una pared diatérmica.

Si no se permite que los sistemas A y B alcancen el equilibrio con C simultáneamente sino que hacemos que primero se obtenga el equilibrio entre A y C y luego entre B y C (siendo el estado del sistema C igual en los dos casos), entonces sucederá que cuando pongamos en comunicación a A con B a través de una pared diatérmica, se observará que no hay cambio ya que están en equilibrio térmico.

En base a los hechos experimentales anteriormente descritos puede enunciarse lo siguiente:

"Dos sistemas en equilibrio térmico con un tercero están en equilibrio térmico entre sí".

El postulado anterior, de acuerdo con R. H. Fowler, es el llamado principio cero de la termodinámica o Ley cero de la termodinámica.

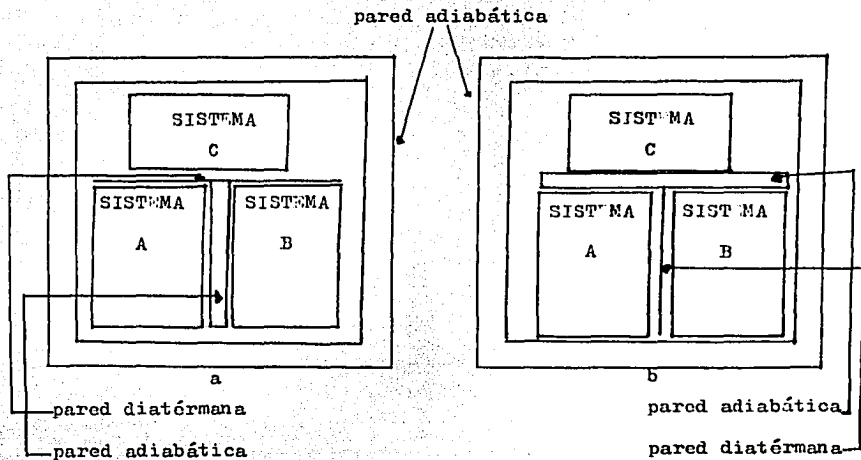


FIG. 2. LEY CERO DE LA TERMODINAMICA

1.2 CONCEPTO DE TEMPERATURA

1.2

En función de lo anteriormente analizado (Equilibrio térmico y ley cero de la termodinámica) podemos determinar un concepto termodinámico de lo que es la temperatura.

Consideremos un sistema A en el estado Y_1, X_1 , en equilibrio térmico con un sistema B en el estado Y_1', X_1' . Si se separa el sistema A y se modifica su estado, es posible encontrar otro estado Y_2, X_2 en el cual se halle en el equilibrio térmico con el estado inicial Y_1', X_1' del sistema B. La experiencia demuestra que existe un conjunto de estados $Y_1, X_1; Y_2, X_2; Y_3, X_3$, etc., cada uno de los cuales está en equilibrio térmico con el mismo estado Y_1' y X_1' del sistema B, y que, según la ley cero, están en equilibrio térmico entre sí. Supongamos que todos estos estados representados en un diagrama YX, se sitúan sobre una curva tal como la I de la figura 3, que denominaremos como isoterma.

Una isoterma es el lugar de todos los puntos que representan estados en los cuales un sistema está en equilibrio térmico con un estado de otro sistema.

Haciendo una analogía con el sistema B, hallaremos un conjunto

de estados Y_1', X_1' ; Y_2', X_2' , etc., los cuales todos se hallan en equilibrio térmico con un estado (Y_1, X_1) del sistema A y, por lo tanto, en equilibrio térmico entre sí. Dichos estados se representan en la figura 3 en un diagrama Y' X' y están situados en la isoterma I'.

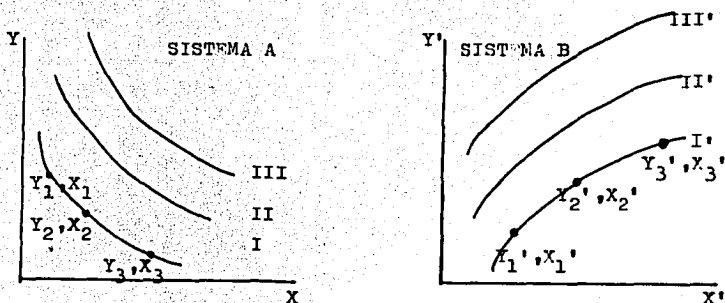


FIG. 3 ISOTERMAS DE DOS SISTEMAS DISTINTOS

Aplicando la ley cero se deduce que todos los estados de la isoterma I del sistema A se encuentran en equilibrio térmico con todos los estados sobre la isoterma I' del sistema B. Llamaremos a las curvas I e I' ISOTERMAS CORRESPONDIENTES DE AMBOS SISTEMAS.

Si lo que se ha expuesto anteriormente se repite para diferentes condiciones iniciales, se puede obtener otro conjunto de estados del sistema A, que se encuentran sobre la curva II, cada

uno de los cuales está en equilibrio térmico con cada estado del sistema B que se encuentra sobre la curva II'. De este modo, es posible hallar una familia de isotermas I, II, III, etc. del sistema A y una familia correspondiente I', II', III', etc. del sistema B. Además, si aplicamos varias veces la ley cero, pueden obtenerse isotermas correspondientes de otros sistemas C, D, etc.

Los estados de isotermas correspondientes de todos los sistemas tienen algo en común, esto es, que se encuentran en equilibrio térmico entre sí.

Se puede decir que estos sistemas poseen una propiedad que nos asegura e indica que se encuentran en equilibrio térmico entre sí.

Esta propiedad se denomina temperatura.

"La temperatura de un sistema es una propiedad que determina si un sistema se encuentra o no en equilibrio térmico con otros sistemas".

Podemos encontrar el concepto de temperatura de una manera un poco más sofisticada.

Cuando un sistema A de coordenadas Y, X , es separado de un

sistema C de coordenadas Y'' , X'' , el acercamiento al equilibrio térmico viene dado por cambios en las cuatro coordenadas.

El estado final de equilibrio térmico se designa por una relación entre las cuatro variables lo cual se puede expresar de la siguiente forma:

$$f_{ac} (Y, X, Y'', X'') = 0 \quad (1)$$

Pongamos por ejemplo un gas que siguiese la ley de Boyle, la función para el equilibrio térmico sería:

$$PV - P''V'' = 0$$

El equilibrio térmico entre el sistema B, de coordenadas Y' , X' y el sistema C se designa análogamente por la relación:

$$f_{bc} (Y', X', Y'', X'') = 0 \quad (2)$$

donde f_{bc} puede ser enteramente distinta de f_{ac} , pero admitiéndose también que es una función sin singularidades.

Supongamos que se despeja Y'' en las ecuaciones (1) y (2) nos queda:

$$Y'' = g_{ac} (Y, X, X'')$$

$$Y'' = g_{bc} (Y', X', X'')$$

igualando:

$$g_{ac} (Y, X, X'') = g_{bc} (Y', X', X'') \quad (3)$$

Ahora, de acuerdo a la ley cero, el equilibrio térmico A y C y entre B y C implica el equilibrio térmico entre A y B que se indica con las coordenadas A y B únicamente.

Queda:

$$f_{AB} = (Y, X; Y', X') = 0 \quad (4)$$

Dado que la ecuación (3) expresa también las dos mismas situaciones de equilibrio, ha de coincidir con la (4); esto es, se ha de reducir a una relación entre Y, X; Y', X' únicamente. Por consiguiente, la coordenada extraña X'' de (3) ha de desaparecer, y la ecuación se reducirá a:

$$h_A(Y, X) = h_B(Y', X')$$

Aplicando una segunda vez el mismo razonamiento a los sistemas A y C en equilibrio con B, se obtiene finalmente, cuando los tres sistemas están en equilibrio térmico.

$$h_A(Y, X) = h_B(Y', X') = h_C(Y'', X'') \quad (5)$$

De otro modo: existe una función de cada conjunto de coordenadas, y estas funciones son todas iguales cuando los sistemas están en equilibrio térmico entre sí.

El valor común t de estas funciones es la temperatura empírica común a todos los sistemas:

$$t = h_A(Y, X) = h_B(Y', X') = h_C(Y'', X'') \quad (6)$$

La relación $t = h_A(Y, X)$ es simplemente la ecuación de una isoterma del sistema A tal como en la curva I de la figura 3. Si se le da a t un valor numérico distinto, se obtiene una curva diferente, tal como la curva II de la figura 3.

La temperatura de todos los sistemas en equilibrio térmico se representa por un valor numérico. El establecimiento de una escala de temperaturas consiste en la adopción de un conjunto de reglas para asignar un número a un conjunto de isothermas correspondientes y un número distinto a un conjunto de isothermas correspondientes.

Otro concepto de temperatura nos viene dado más específicamente si tomamos como elementos de definición otras propiedades termodinámicas de los sistemas como lo son: Energía interna, Entropía, Volumen, Presión y Número de moles.

Una ecuación fundamental del sistema esta dada en función de sus variables fundamentales, así tenemos el ejemplo de la entropía (S) en función de Energía Interna (U) número de moles (N) y volumen (V).

Consideremos a la entropía como una variable dependiente y la relación que la define puede estar dada por:

$$S = S(U, V, N)$$

Y esta misma expresión expresada de manera diferencial queda:

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial U}\right)_{N,V} dU + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_{N,V} dV + \left(\frac{\partial S}{\partial N}\right)_{U,V} dN \quad (7)$$

Debido a que estas son variables de estado, es posible relacionar variaciones diferenciales en cada una de las propiedades N , V y U ; independientemente del camino que tome el proceso. Así como los parámetros en sí mismos son propiedades de estado, también lo son los derivados que aparecen como coeficientes de dU , dV , dN .

También es posible expresar la relación fundamental en una forma explícita (o dependiente) para la energía: $U = U(S, V, N)$. Y la relación fundamental expresada en forma diferencial:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{V,N} dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_{S,N} dV + \left(\frac{\partial U}{\partial N}\right)_{S,V} dN \quad (8)$$

Los derivados parciales que aparecen como coeficientes de los términos diferenciales son muy frecuentes en análisis termodinámicos por tal razón se les ha asignado símbolos y designaciones especiales por así convenir para su tratamiento.

La primera de estas magnitudes es llamada temperatura termodinámica y se define como:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{N, V} \quad (9)$$

Para establecer una relación entre esta temperatura termodinámica y nuestro concepto intuitivo de temperatura que es medida por

un termómetro hay que proceder de una manera analítica.

Desde el punto de vista matemático, la derivada de dos variables de estado es también una variable de estado y deberá tener las mismas características de estado que las propiedades fundamentales mismas.

Ahora bien, según se tiene conocimiento cualquier variación de U , manteniendo N y V constantes, siempre se produce en S una variación del mismo signo.

Por lo tanto, la temperatura termodinámica siempre deberá tener signo positivo.

Siguiendo con la temática anterior se observó que $(\partial U / \partial S)_{N, V}$ deberá tender a cero a baja energía (lo anterior se demostró debido a que el recíproco de esta cantidad es muy grande a baja energía).

Se asienta así que a bajas energías hay un cero absoluto de temperatura.

De todo lo anteriormente expuesto se concluye que:

La temperatura termodinámica será una variable de estado positiva;

cuya magnitud varía desde cero, cuando los niveles energéticos son extremadamente bajos, hasta valores muy altos, en la medida que aumenta la energía del sistema.

El problema ahora es: ¿Cómo medir la temperatura?

Resulta obvio que la evaluación de la derivada

$$\left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{N,V}$$

no es de ningún modo, una manera práctica de hacerlo.

Se puede llegar a demostrar que la temperatura termodinámica recién definida es equivalente a la temperatura que se define por la ecuación de estado de los gases ideales:

$$PV = nRT \quad (10)$$

de donde:

$$T = \frac{PV}{nR} \quad (11)$$

Si siguiéramos el desarrollo llegaríamos a la conclusión de que la temperatura termodinámica difiere de la temperatura de gas ideal en un factor constante, por lo tanto son equivalentes.

$$T = kt \quad (12)$$

1.3 ESCALA INTERNACIONAL DE TEMPERATURA

4

En el año de 1948, en la IX Conferencia General de Pesos y Medidas se adoptó la "Escala Internacional de Temperatura".

Esta escala está basada en la asignación de valores a seis temperaturas específicas y en el uso de fórmulas de interpolación cuidadosamente especificadas para todas las temperaturas intermedias. Los puntos fijos, así como, las fórmulas de interpolación han sido elegidos de modo que la escala internacional de temperatura se adapte exactamente como sea posible a la temperatura del gas ideal.

Los puntos fijos están indicados en la siguiente tabla. @ 1 atm

| PUNTOS | TEMPERATURA ° C |
|---|-----------------|
| (1) Punto de ebullición del O ₂ puro | -182.970 |
| (2) Punto de congelación del agua saturada con aire | 0.000 |
| (3) Punto de ebullición del agua pura | 100.000 |
| (4) Punto de ebullición del azufre puro | 444.600 |
| (5) Punto de fusión de la plata pura | 960.800 |
| (6) Punto de fusión del oro puro | 1063.000 |

TABLA 1

3 La tabla siguiente resume las fórmulas de interpolación y los instrumentos standar:

| Rango de temp. °C | Eq. de interpolación. | Instrumento STD |
|---|--|--------------------------------------|
| Temp. ebul. del O ₂ = -182.970° hasta temp. cong. del agua = 0° | $R_t = R_0 [1 + AT + BT^2 + C(T-100)T^3]$ R ₀ =Resistencia a la T cong. del H ₂ O A, B, C=constantes determinados por calibración en los puntos de ebullición del oxígeno, del agua y del azufre. | Termómetro de resistencia de platino |
| Temp. cong. del Agua= 0.000° hasta temp. de cong. del antimonio=630.74° | $R_t = R_0 [1 + AT + Bt^2]$ R ₀ =Resistencia a la T. cong. del H ₂ O A y B=constantes determinadas por calibración en los puntos de ebullición del agua y del azufre | |
| Temp. de cong. del antimonio=630.74° hasta temp. cong. del oro= 1064.000° | $E = A + BT + CT^2$ E=fem del termopar std. A, B y C=constantes que se determinan por calibración en los puntos de congelación del antimonio, plata y oro | Termopar de platino 10% radio |
| Temp. cong. del oro= 1064.00 a mayores | fórmula de Wien rad. cpo. negro $J_t = J_{Au} \frac{\exp(C_2/\lambda) (T_{Au} + T_0) - 1}{\exp(C_2/\lambda) (T + T_0) - 1}$ J _t y J _{Au} son las energías radiantes C ₂ =1.438 B (cm°K) T ₀ =temperatura de congelación del agua=273.16°K =long. de onda de la radiación (cm) Au = Oro | Pirómetro óptico |

TABLA 2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.4 ESCALAS DE TEMPERATURA

5.4

Para medir la temperatura de cualquier sistema se hace uso de los termómetros, pero las unidades utilizadas para poder cuantificar esta temperatura son los grados en que se divide la escala que tienen los termómetros.

Las escalas termométricas más conocidas y utilizadas son: Los grados Fahrenheit y los grados Celsius (centígrados).

La escala más común son los grados Celsius y fue establecida en el año de 1742 por el mismo Ander Celsius (astrónomo sueco) cuando asignó al punto de ebullición del agua 100° y al de congelación 0° . Oficialmente $^{\circ}\text{C}$, representa en la actualidad grados Celsius aunque a continuación nos referiremos a esta escala como centígrada para efectos de uniformidad a lo largo de esta tesis.

La otra escala, (Fahrenheit) fue establecida por un hombre de oficio soplador de vidrio a principios del año 1700, ya que podía construir termómetros de mercurio cuya concordancia de lectura era bastante satisfactoria.

Los parámetros que tomó Fahrenheit tienen un origen desconocido, pero se ha especulado que el punto correspondiente a 0° era la

temperatura de una mezcla de hielo y sal, y que 96° , la temperatura de un hombre sano, posiblemente se escogió como punto superior debido a la facilidad de dividir este número entre 2,3,4,6 y 8 en contraposición con el 100° C que no tiene dicha característica.

La escala Fahrenheit se ha normalizado de la siguiente manera: 32° F representa el punto de congelación del agua y 212° F el punto de ebullición.

En el sistema SI, la temperatura se mide en kelvins o como se ha dado por llamarlos, grados Kelvin en honor de Lord Kelvin. Esta es la razón de que en el Sistema Internacional muchas veces se omite el símbolo de grados, por ej.: se puede escribir el punto de ebullición del agua como: 373 K.

Las escalas Centígrada y Fahrenheit son escalas relativas, esto quiere decir que el punto que corresponde al cero fue establecido arbitrariamente por sus inventores.

En base a las leyes de la termodinámica y a las leyes de los gases ideales se ha demostrado (teórica, mas no físicamente) la existencia de un cero absoluto, es decir, la total inmovilidad de las moléculas de un sistema, y esto representa la mínima temperatura que el ser humano piensa pueda existir.

La escala absoluta correspondiente a los grados centígrados y cuyas unidades son de la misma magnitud es la ya presentada escala Kelvin, la escala absoluta correspondiente a los grados Fahrenheit es la escala Rankine ($^{\circ}R$), llamada así en honor a un ingeniero escocés.

Redondeando el cero absoluto de la escala Rankine, que es $-459.58^{\circ}F$ a $-460^{\circ}F$ y de igual manera, $-273.15^{\circ}C$ a $-273^{\circ}C$ se expone en la siguiente tabla las relaciones de las escalas relativas y absolutas.

| | | | | |
|---------------|---------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| 212 | 672 | TEMPERATURA DE EBULLICION DEL AGUA | 373 | 100 |
| ↑ 180 ↓ | | 1 ata | | ↑ 100 ↓ |
| | 32 | 492 | TEMPERATURA DE CONGELACION DE AGUA | |
| 0 | 460 | | 255 | -18 |
| -40 | 420 | $^{\circ}C = ^{\circ}F$ | 233 | -40 |
| FAHRENHEIT | RANKINE | | KELVIN | CENTIGRADA |
| -460 | 0 | | 0 | -273 |

FIG 4 ESCALAS DE TEMPERATURA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Hay que considerar que un grado en la escala Kelvin-Centigrada no es de la misma magnitud que la escala Rankine-Fahrenheit. Si $\Delta^{\circ}\text{F}$ representa la diferencia de temperatura unitaria en la escala Fahrenheit, $\Delta^{\circ}\text{R}$ será la diferencia de temperatura unitaria en la escala Rankine, y $\Delta^{\circ}\text{C}$ y $\Delta^{\circ}\text{K}$ serán las unidades análogas en las otras dos escalas, por lo que:

$$\Delta^{\circ}\text{F} = \Delta^{\circ}\text{R}$$

$$\Delta^{\circ}\text{C} = \Delta^{\circ}\text{K}$$

Y si consideramos $\Delta^{\circ}\text{C}$ es de mayor magnitud que $\Delta^{\circ}\text{F}$,

$$\frac{\Delta^{\circ}\text{C}}{\Delta^{\circ}\text{F}} = 1.8 \quad \text{ó} \quad \Delta^{\circ}\text{C} = 1.8 \Delta^{\circ}\text{F}$$

$$\frac{\Delta^{\circ}\text{K}}{\Delta^{\circ}\text{R}} = 1.8 \quad \text{ó} \quad \Delta^{\circ}\text{K} = 1.8 \Delta^{\circ}\text{R}$$

Lamentablemente las notaciones $\Delta^{\circ}\text{C}$, $\Delta^{\circ}\text{F}$ etc. no son de uso común por lo que $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{F}$, $^{\circ}\text{K}$ y $^{\circ}\text{R}$ representan lo mismo temperaturas como diferencias de temperaturas y es necesario interpretar el significado en base a la ecuación que se utilice o se considere.

Las relaciones entre las escalas relativas y absolutas están dadas por:

$$T_{^{\circ}\text{R}} = T_{^{\circ}\text{F}} \left(\frac{1\Delta^{\circ}\text{R}}{1\Delta^{\circ}\text{F}} \right) + 460 \quad (13)$$

$$T_{^{\circ}\text{K}} = T_{^{\circ}\text{C}} \left(\frac{1\Delta^{\circ}\text{K}}{1\Delta^{\circ}\text{C}} \right) + 273 \quad (14)$$

Y la relación entre las temperaturas relativas, ya que no tienen
cero común queda:

$$T_{\text{°F}} - 32 = T_{\text{°C}} \frac{1.8 \Delta^{\circ}\text{F}}{1 \Delta^{\circ}\text{C}} \quad (15)$$

Existe otra escala que no es muy conocida y tampoco es muy utilizada, es la escala Réaumur (°Ré), introducida alrededor de 1731, es aún usada por algunos países europeos. El punto de congelación del agua se marca a 0° Ré y el de ebullición a 80° Ré.

Esta escala la usan los fabricantes de alcohol.

C A P I T U L O I I

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

- 2.1 DILATACION DE LOS CUERPOS

- 2.2 TERMOMETROS DE VIDRIO

- 2.3 SISTEMAS TERMICOS DE LLENADO

- 2.4 TERMOMETROS BIMETALICOS

- 2.5 TERMOMETROS DE RESISTENCIA

- 2.6 TERMOPARES

- 2.7 MILIVOLTMETROS

- 2.8 PIROMETROS (RADIACION Y OPTICOS)

- 2.9 OTROS TIPOS DE TERMOMETROS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 6 ANDREW, WILLIAM G. "APPLIED INSTRUMENTATION IN THE
PROCESS INDUSTRIES"
Vol. 1, Gulf Publishing Co.
Houston, U.S.A. 1974
- 4 NACIF NARDRI, JOSE "INGENIERIA DE CONTROL AUTOMATICO"
Tomo I, La Ilustración, S. A.
México, D. F. 1978
- 7 DANIELS, Farrington "CURSO DE FISICOQUIMICA EXPERIMENTAL"
Mc Graw Hill, Colombia 1972
- 8 HOLZBOCK, W. G. "INSTRUMENTOS PARA MEDICION Y CONTROL"
C.F.C.S.A. ESPAÑA, 1975
- 9 NANMAC ® "NANMAC TEMPERATURE HANDBOOK"
1981/82 U.S.A.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1 DILATACION DE LOS CUERPOS

4

Al incrementar la temperatura de cualquier cuerpo ya sea gas, líquido o sólido, lo que se está haciendo es incrementar la energía cinética de las moléculas de este cuerpo, lo cual se traduce en un movimiento más intenso de estas, y por efecto de este mayor movimiento se apartan unas de otras.

El reflejo físico de esto es la dilatación de los cuerpos, siendo esta más pronunciada en los gases que los líquidos y en los sólidos, siendo estos últimos los que menor dilatación sufren en relación a los anteriores.

Esta dilatación es específica para cada cuerpo y esto se aprovecha para poder medir la temperatura de cualquier sistema de una manera indirecta.

La mayoría de los instrumentos indicadores de temperatura se basan en la dilatación de los cuerpos.

Hay que considerar que en los líquidos y gases el estudio de la dilatación térmica se complica debido a que los recipientes que los contienen también sufren una dilatación por efecto de la temperatura.

DILATACION DE LOS SOLIDOS

Como ya se ha mencionado, los sólidos se dilatan poco comparativamente con los gases y líquidos al calentarse.

Es más sencillo para los sólidos, considerar la llamada dilatación lineal que es la que sufren las varillas, alambres, vigas, etc.

Cada sólido se dilata más o menos a la misma cantidad de energía calorífica aplicada o transmitida, cada cuerpo posee una cualidad, propia que llamamos coeficiente de dilatación lineal (K) que se define como:

El aumento de longitud que experimenta un cuerpo al aumentar su temperatura en 1°C .

Consideremos una barra sólida cuya longitud a la temperatura $t^{\circ}\text{C}$ es L_0 (Fig. 5)

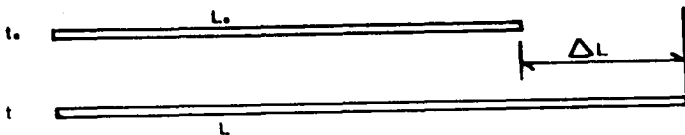


FIG 5 DILATACION TERMICA LINEAL.

Cuando su temperatura alcanza el valor $t^{\circ}\text{C}$, su longitud será L .

Aplicando la definición de coeficiente de dilatación, se puede expresar de la siguiente manera:

$$K = \frac{\Delta L}{L_0 \Delta t} [=] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad (16)$$

Esta relación es válida para intervalos limitados de temperatura, ya que el coeficiente de dilatación varía al cambiar la temperatura inicial del cuerpo.

Sin embargo, estas variaciones son muy pequeñas y pueden despreciarse en la mayoría de los casos.

Si despejamos ΔL resulta:

$$\Delta L = K L_0 \Delta t \quad (17)$$

A continuación se presenta una tabla con los coeficientes de varios sólidos. Se puede apreciar que en general son muy pequeños y se expresan dentro del orden de millonésimas.

TABLA 3
COEFICIENTE DE DILATACION DE ALGUNOS SOLIDOS ($^\circ\text{C}^{-1}$)

| <u>Sustancia</u> | <u>Coefficiente</u> | <u>Sustancia</u> | <u>Coefficiente</u> | <u>Sustancia</u> | <u>Coefficiente</u> |
|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|
| Aluminio | 24×10^{-6} | Hierro | 11.7×10^{-6} | Vidrio Ord. | 9×10^{-6} |
| Cobre | 16.6×10^{-6} | Cuarzo | 0.58×10^{-6} | Vidrio Pyrex | 3×10^{-6} |
| Bronce | 18×10^{-6} | Níquel | 13×10^{-6} | Platino | 8.9×10^{-6} |
| Acero | 10×10^{-6} | Oro | 14×10^{-6} | Zinc | 26.3×10^{-6} |
| Invar | 0.9×10^{-6} | Plata | 19×10^{-6} | Iridio | 6.5×10^{-6} |

DILATACION DE LOS LIQUIDOS

Consideremos un cuerpo que a t_0 °C tiene un volumen V_0 . Al aumentar la temperatura a t °C su volumen pasa a ser V , de manera que ha experimentado una dilatación $\Delta V = V - V_0$.

Para esto existe un coeficiente de dilatación cúbica que definiremos de la siguiente manera.

Si tomamos un cuerpo cúbico que a t_0 °C tiene una arista L_0 y un Volumen V_0 de manera que $V_0 = L_0^3$. Al incrementar la temperatura a t °C, la nueva arista es L y el nuevo volumen es V , siendo $V = L^3$, si consideramos que $L = L_0 + \Delta L$, la relación equivalente será:

$$V = (L_0 + \Delta L)^3 = L_0^3 + 3L_0^2 \Delta L + 3L_0 (\Delta L)^2 + (\Delta L)^3 \quad (18)$$

Si $V_0 = L_0^3$ y ΔL es mucho menor que L_0 es posible hacer la siguiente aproximación:

$$V = V_0 + 3L_0^2 \Delta L \quad \text{o sea} \quad \Delta V = 3L_0^2 \Delta L$$

Luego

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{3L_0^2 \Delta L}{L_0^3} = 3 \frac{\Delta L}{L_0} \quad (19)$$

Y por tanto,

$$\frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} = 3 \frac{\Delta L}{L_0 \Delta t} = 3K \quad \text{por tanto} \quad \Delta V = 3K V_0 \Delta t \quad (20)$$

donde $3k$ es el coeficiente de dilatación cúbica que se usa en el caso de líquidos.

Para medir o determinar el coeficiente de dilatación de un líquido se hace uso de un aparato llamado dilatómetro, que no es otra cosa que un bulbo con una extensión en forma de tubo donde tiene marcada una escala. (Fig. 6)

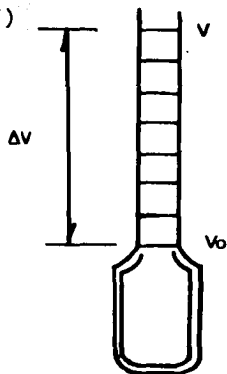


FIG. 6 DILATOMETRO

Haciendo una analogía con la ecuación del coeficiente de dilatación lineal tenemos:

$$K = \frac{\Delta V}{V_0 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (21)$$

Lo anterior nos indica el coeficiente de dilatación lineal del líquido en cuestión y al multiplicarlo por 3 tendremos el coeficiente de dilatación cúbica.

DILATACION DE LOS GASES

Al aumentar la temperatura de un gas, esto aumenta tanto su volumen como su presión.

Todos los gases se dilatan $1/273$ de su volumen cada aumento de 1°C en su temperatura a presiones y temperaturas normales.

Se puede decir que el coeficiente de dilatación cúbica es igual para todos los gases: $1/273$.

A continuación se describirán los indicadores de temperatura que se basan en la dilatación de los cuerpos.

2.2 TERMOMETROS DE VIDRIO

4.6

La propiedad en que se basa este tipo de termómetros es en la DILATACION TERMICA que ya se observó en el capítulo anterior.

Se llama comunmente a los termómetros de vidrio a aquellos en que mediante un bulbo y un capilar de vidrio, llenos de un líquido son capaces de indicar la temperatura en una escala marcada en la superficie del tubo de vidrio.

Los líquidos más utilizados para este fin son: el mercurio, el alcohol y el tolueno.

El termómetro de mercurio es el instrumento más simple y el más utilizado para medir la temperatura.

Las ventajas que ofrece el mercurio como fluido es que tiene un coeficiente de dilatación muy uniforme, no moja el vidrio, se purifica fácilmente y es de fácil lectura. A presión atmosférica permanece líquido entre los -40°C y $+357^{\circ}\text{C}$.

Los termómetros se disponen en varios grados e intervalos:

a) de 0°C a 100, 250 y 360°C , graduados en 1°C

- b) conjuntos de termómetros de -40 a $+400^{\circ}\text{C}$, cada uno teniendo un intervalo de 50°C y graduados en 0.1°C
- c) de 18° a 28° , graduados en 0.01°C , o de 17 a 31°C , graduados en 0.02°C , para trabajos calorimétricos
- d) de -5.0 a $+0.5^{\circ}\text{C}$, graduados en 0.01°C
- e) tipo Beckmann con intervalo ajustable, graduados en 0.01°C
- f) termómetros de alta temperatura, en que se usan vidrios de combustión o cuarzo especiales, con nitrógeno o argón bajo presión para extender el límite de temperatura tan alto como 750°C

Si se agrega talio al mercurio para dar una solución al 8.5% , la amalgama se puede enfriar hasta -60°C antes de la congelación.

El pentano líquido se puede usar para trabajar a temperaturas del aire líquido.

El tolueno se puede usar a -100°C .

Se usa alcohol etílico para temperaturas hasta -130°C que es su punto de fusión a 1 atm.

El Termómetro de Beckmann, ya mencionado se indica en la figura 7.

Este instrumento indica directamente 0.01°C y se puede estimar a 0.001°C , su intervalo es de 5 ó 6°C , pero se puede colocar para

cualquier temperatura al ajustar el mercurio en el depósito en la parte superior de la escala, y entonces se golpea ligeramente con la mano para romper la columna en la entrada del depósito.

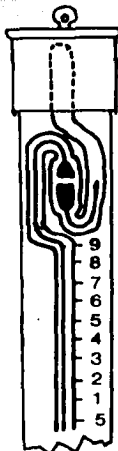


FIG. 7 TERMOMETRO DE BECKMANN

La columna se rompe cuando la temperatura esta un poco arriba de la temperatura deseada, porque es necesaria cierta cantidad de enfriamiento para devolver el mercurio en la escala.

Estos termómetros de mercurio tienen algunas desventajas como lo son:

La imposibilidad de medir temperaturas bajo -40°C sin alterar la presión o la composición del mercurio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La impracticidad de medir altas temperaturas por ser necesario un termómetro muy largo.

Y la más grave de todas: el cambio del punto cero.

Cuando se enfría el bulbo después de haber sido calentado, pasa mucho tiempo para que regrese a su dimensión original. Si se calienta un termómetro hasta 100°C y entonces se le enfría muy rápidamente, se encontrará el punto cero más bajo que antes del calentamiento. Este defecto es conocido como depresión del punto cero. El bulbo continúa contrayéndose lentamente, pero puede tardar semanas para que sea alcanzado nuevamente el punto original cero.

Los termómetros de vidrio están calibrados para la inmersión total del fluido que contienen, por lo que si una parte del vástago del termómetro queda expuesta al ambiente, la lectura se verá alterada.

2.3 SISTEMAS TERMICOS DE LLENADO

4.6

Los termómetros de este tipo están basados en la acción elástica de los tubos de bourdon, espirales, fuelles o diafragmas, que transmiten un movimiento angular uniforme cuando se les aplica una presión.

Dicha presión proviene de un bulbo, lleno con un gas o un líquido que cambia sus propiedades físicas con la temperatura. Este cambio es transmitido a la espiral o bourdon, a través de un tubo capilar (fig. 8).

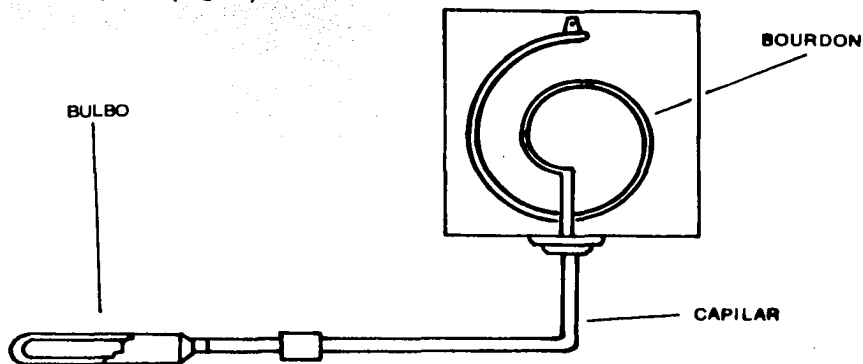


FIG. 8

Este tipo de termómetros fueron diseñados principalmente para proporcionar un equipo de lectura remota.

gracias a que los capilares pueden ser relativamente largos sin alterar ostensiblemente la lectura, aunque está limitada la longitud a 250ft (76m).

Las ventajas que ofrecen este tipo de indicadores de temperatura además de la expuesta son:

- a) Sencillez del sistema, lo cual permite una construcción robusta lo cual disminuye la posibilidad de deterioro durante el embarque, instalación y uso.
- b) El mantenimiento requerido es poco, aunque el costo de reemplazo de los sistemas termales es generalmente alto comparándolos con los elementos primarios de detección del tipo eléctrico.
- c) Su uso en procesos industriales hace posible que se iguale en sensibilidad, tiempo de respuesta y exactitud con otro instrumento de medición de temperatura disponible para el mismo uso.
- d) No necesita suministro externo de energía tales como; aire comprimido o electricidad por ser autocontenidos. Aunque se puede combinar con sistemas de transmisión eléctricos o neumáticos.
- e) El sistema posee la suficiente potencia para mover mecanismos de control además del puntero indicador.

Las limitaciones que tienen son las siguientes:

- a) Las dimensiones del bulbo no se pueden variar arbitrariamente y esto es una limitante por el espacio que se cuenta para su instalación.
- b) Los intervalos mínimos no son tan pequeños como en los elementos de tipo eléctrico.
- c) En caso de daño en el sistema termal, este tiene que ser sustituido por completo por uno nuevo.
- d) Es superado en sensibilidad y exactitud absoluta por los termómetros de resistencia en intervalos cortos.

Ahora bien, la temperatura ambiente influye en la lectura que se recibe en la caja, para ello se han ideado sistemas de compensación para contrarrestar este efecto.

1) Compensación de caja Fig. 9



FIG. 9 COMPENSACION DE CAJA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Consiste en colocar una tira bimetalica fija a la espiral de medición y se sujeta a un soporte.

Cuando la temperatura en la caja se eleva, la espiral medidora se dilata y tiende a mover la aguja indicadora hacia arriba, al mismo tiempo la tira bimetalica mueve a la espiral en dirección opuesta dando como resultante que el movimiento transmitido a la aguja es cero.

2) Compensación completa Fig. 10.

Consiste en otro sistema termal, pero sin bulbo.

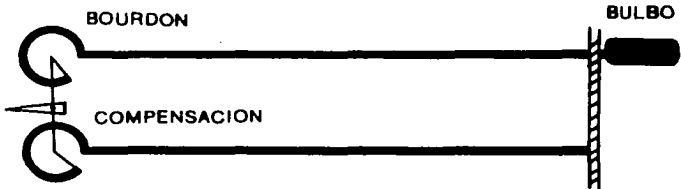


FIG. 10 COMPENSACION COMPLETA

De tal modo que las espirales de estos dos sistemas se expanden en direcciones opuestas y están interconectadas, por tanto, cualquier cambio de temperatura ya sea en la caja o a lo largo del tubo capilar se nulifica. Se debe usar compensación completa con capilares de más de 4.6m aunque existan condiciones de temperatura ambiente muy estable.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS TERMALOS

Pueden clasificarse en dos grupos:

a) Los que responden a cambios volumétricos

(CLASE I) llenados con un líquido orgánico

(CLASE IV) llenados con mercurio

b) Los que responden a cambios de presión

(CLASE II) llenados con un líquido en equilibrio con su vapor

(CLASE III) llenados con gas

- Sistemas CLASE I (llenados con líquido orgánico)

Según el tipo de compensación por cambios de temperatura ambiente se pueden dividir en:

Clase I-A (Compensación completa)

Clase I-B (Compensación de caja)

La distancia máxima del capilar para los de la clase I-A es de 60m y para los de clase I-B es de 4.5m.

Los límites máximos y mínimos en que se pueden trabajar satisfactoriamente este tipo de sistema, depende del líquido empleado, variando aproximadamente entre - 125 a 600°F, no teniendo efecto en la medición que la temperatura por medir cruce la temperatura ambiente.

El intervalo mínimo posible está limitado por las dimensiones prácticas del bulbo y generalmente es de 25 a 50°F. El intervalo máximo está limitado por la linealidad de la expansión y compresión del líquido de llenado siendo normalmente no mayor de 600°F.

Los límites de temperatura son:

CLASE I-A -100 a 200°F

CLASE I-B - 30 a 150°F

En este tipo de sistema la posición relativa del bulbo (diferencia de niveles entre el bulbo y la caja) no afecta la medición.

La escala está uniformemente dividida ya que el coeficiente de expansión del líquido es proporcional a la temperatura.

La velocidad de respuesta de este tipo de sistema termal es generalmente inferior a los otros, debido a su baja conductividad térmica.

Las condiciones que deben llenar los líquidos usados en este sistema son:

- a) Su punto de fusión debe ser menor que aquel al cual esté sujeto cualquier parte de su sistema termal.
- b) Deberá tener una presión de vapor para cualquier temperatura del bulbo considerablemente más baja comparada con la presión o su presión inicial del sistema.
- c) Deberá tener una expansión lineal característica sobre el intervalo del bulbo.
- d) Debe ser estable, durante la vida útil del sistema.
- e) Su viscosidad deberá ser relativamente baja.

Para bajas temperaturas se usa alcohol etílico, para intervalos de temperatura intermedios, metaxileno y para intervalos altos se usa tetrahidronaftaleno.

- Sistemas CLAS^o IV (Llenos con mercurio)

También existe en este tipo de sistema la compensación de caja (IV-B) y la compensación completa (IV-A)

La temperatura mínima a que se puede trabajar este sistema está limitada por el punto de congelación del mercurio que es -38°F (-38.8°C). Es estable a cualquier temperatura, pero el límite máximo es generalmente 1000°F (537.7°C) debido al rápido incremento de su presión de vapor.

El intervalo mínimo de temperatura es de 100°F (55°C); las divisiones de la escala o gráfica son iguales.

Los tubos de conexión pueden tener una longitud hasta de 200 pies. Este límite depende de la relación entre el volumen del bulbo y el volumen de los tubos capilares y la espiral. Un aumento de temperatura en la espiral, tiene un efecto similar para el mercurio que un aumento de temperatura en el bulbo.

Sin embargo como el volumen de mercurio es pequeño, también el efecto será proporcionalmente pequeño.

Para la fabricación de este tipo de termómetros se sigue el siguiente procedimiento:

Se hace vacío en el sistema y después se llena completamente con mercurio de triple destilación y a una presión inicial que varía entre 400 y 1000 lb/plg^2 .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El límite de temperatura ambiente es de -20°F a $+150^{\circ}\text{F}$.

Cuenta con protección de sobre intervalo de hasta un 100% del intervalo del instrumento.

El error por diferencia de niveles entre el bulbo y la caja del instrumento es considerable, éste se puede reducir si el fabricante conoce de antemano la diferencia en altura y corrige la presión inicial. Puede; sin embargo, no considerar este dato cuando la diferencia de altura sea de 25 pies como máximo.

- Sistemas CLASF. II (Llenos de un líquido en equilibrio de su vapor)

La siguiente figura (Fig. 11) muestra un sistema térmico de la clase II. Consiste, al igual que los anteriores, de un bulbo, un tubo capilar de conexión y una espiral de medición o bourdón.

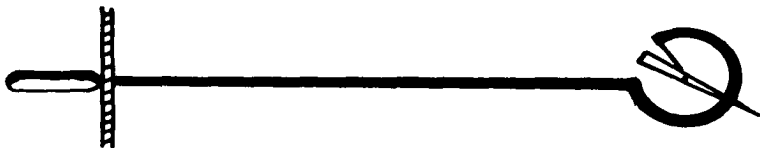


FIG. 11

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como se vé en la figura, el bulbo está lleno de un líquido altamente volátil y el espacio restante ha sido llenado con la misma materia en estado de vapor. La interfase entre el líquido y el vapor siempre debe existir en el bulbo.

Hay cuatro diferentes tipos que son:

CLASE II-A Está diseñado para operar con la temperatura del proceso por arriba del resto del sistema termal.

CLASE II-B Está diseñado para operar con la temperatura del proceso por debajo del sistema termal.

CLASE II-C Está diseñado para operar con la temperatura del proceso por arriba y por abajo del resto del sistema termal (en este caso el volumen del bulbo es mayor que el de los sistemas II-A y II-B)

CLASE II-D Esta diseñado para operar con la temperatura del proceso por arriba, por abajo y al mismo nivel que el resto del sistema termal. En este caso existen dos líquidos, uno volátil y otro relativamente no volátil. El líquido volátil se encuentra en la parte sensible del bulbo y el segundo líquido es usado para transmitir la presión de vapor al mecanismo de expansión.

En este tipo de termómetros Clase II, no es necesaria la compensación por cambios de temperatura ambiente, ya que es en el bulbo donde la máxima sensibilidad está localizada.

El límite máximo de temperatura está restringido por el punto crítico del líquido usado, así como la tendencia de la mayoría de los líquidos orgánicos conocidos a un cambio en su composición química a temperaturas de 600°F o mayores.

El límite mínimo de temperatura es generalmente de 40°F.

Los intervalos disponibles son predeterminados por el fabricante de acuerdo con el líquido de llenado, oscilando entre 65° y 100°F el primero para temperaturas relativamente altas y el segundo para bajas.

Una característica importante de esta clase de termómetros es la velocidad de respuesta. Es el más rápido de todos los tipos, ya que cualquier variación en la temperatura provoca de inmediato una variación igualmente veloz de la presión de vapor la cual se transmite casi instantáneamente.

La máxima longitud del capilar para este tipo es de 150 pies.

Las gráficas o escalas son del tipo exponencial, es decir, no son

uniformes, y son recomendables para su uso en la parte alta de la escala ya que se tiene en ese punto una gran exactitud y legibilidad para situar el punto de control.

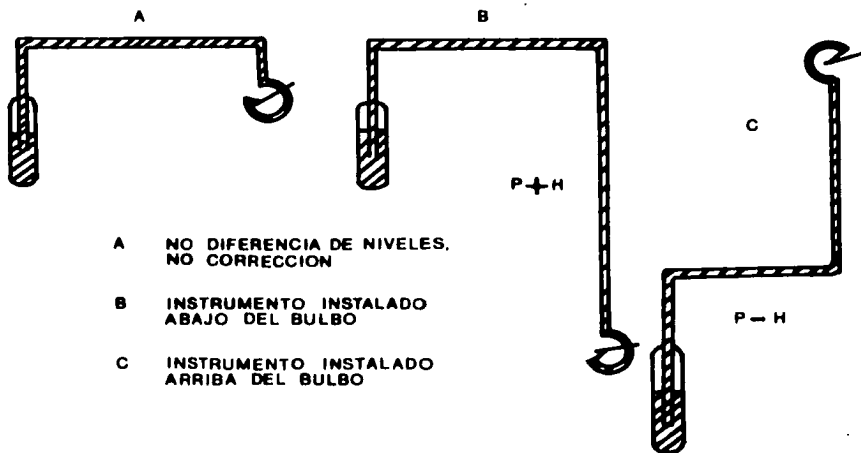
La protección de sobre-intervalo es más restringida que en los otros tipos del sistema de llenado, ya que es menor del 100% del intervalo máximo dado por debajo del límite máximo.

El error por diferencia de niveles es apreciable para el sistema tipo II-C, cuando el capilar y la espiral se encuentran llenos de líquido (ver Fig. 6-2) por lo que no se recomienda en general este tipo de sistema cuando se tiene diferencia de niveles apreciables entre el bulbo y la espiral.

Si vemos la Fig. 12, apreciaremos que cuando el instrumento se encuentra arriba del bulbo y el tubo está lleno de líquido, el instrumento no indica la temperatura correcta (A), sino una temperatura más baja (C).

En el caso contrario, cuando el instrumento se encuentra abajo del bulbo, el instrumento indica un valor demasiado alto debido a que la presión que actúa sobre la espiral es igual a la presión en el bulbo (P) adicional a la presión de la altura (H).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



- A NO DIFERENCIA DE NIVELES.
NO CORRECCION
- B INSTRUMENTO INSTALADO
ABAJO DEL BULBO
- C INSTRUMENTO INSTALADO
ARRIBA DEL BULBO

FIG 12 EFECTO DE ALTURA (PRESION HIDROSTATICA)

Los líquidos usados para este tipo de sistema son:

- ETANO Para temperaturas que están entre -100 y $+80^{\circ}\text{F}$
(con cambio de presión de 20 PSIG hasta 600 PSIG)
- PROPANO Entre 0 y 200°F (cambio de presión de 20 a 600 PSIG)
- ETER METILICO Entre 25 y 230°F (cambio de presión de 20 a 600 PSIG)
- CLORURO DE ETILO Entre 100 y 350°F (cambio de presión de 20 a 600 PSIG)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ETER ETILICO Entre 140° y 375° F (cambio de presión de 20 a 500 PSIG)

ALCOHOL ETILICO Entre 220 y 400° F (cambio de presión entre 20 y 440 PSIG)

- Sistemas CLASE III (Llenos de gas)

Como ya se ha visto, al variar la temperatura de un gas cambia proporcionalmente su presión y este sistema se basa en dicho principio.

Para compensar los cambios de temperatura ambiente se utiliza un bimetalico en la caja (compensación de caja) no existiendo compensación completa para este tipo de termómetros ya que se ha encontrado prácticamente que una relación 9 a 1 del volumen del bulbo y volumen del capilar con la espiral disminuye considerablemente el efecto de los cambios de temperatura ambiente.

Las dimensiones del bulbo son generalmente de 7/8" de diámetro exterior por 6 a 10" de longitud, dependiendo de la gama seleccionada.

El límite de temperatura mínimo deberá estar por encima de la temperatura crítica del gas utilizado.

Cuando se usa nitrógeno (normalmente el más utilizado) los límites mínimo y máximo son de -125 y $+800^{\circ}\text{F}$, aunque en otros casos puede tornarse de -400 a $+1000^{\circ}\text{F}$.

Cuando se usa helio, cuya temperatura crítica es de 9.2°K pueden tenerse límites inferiores de algunos grados absolutos.

El rango mínimo de temperatura es de 150°F .

La velocidad de respuesta es generalmente alta, debido al gran área que presenta su bulbo.

La máxima longitud del capilar es de 200 pies, sus gráficas o escalas son uniformemente divididas. La capacidad de sobre-intervalo varía con la gama y puede ser de hasta 300% del intervalo.

El error por diferencia de niveles entre el bulbo y la espiral es despreciable debido a la baja densidad del gas.

2.4 TERMOMETROS BIMETALICOS

4, 5, 7

Como ya lo expusimos con anterioridad, los sólidos se dilatan al incrementar su temperatura, y para un incremento igual, unos se dilatan más que otros.

Esto se ha aprovechado para medir la temperatura de acuerdo a un arreglo del siguiente tipo: (ver Fig. 13)

Dos tiras de metales diferentes pero de idénticas dimensiones son unidas cara a cara de un modo tal que no se puedan separar, al calentarse, y debido a que poseen diferentes coeficientes de dilatación, el efecto que se produce es un encorvamiento de la tira metálica.

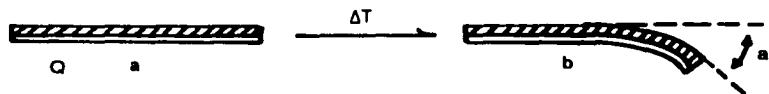


FIGURA 13

LA TIRA SUPERIOR SE DILATA MAS QUE LA TIRA INFERIOR A UN INCREMENTO IGUAL EN LA TEMPERATURA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La amplitud del ángulo α dependerá directamente del incremento de la temperatura ΔT .

Este efecto ha sido aprovechado para contar con un indicador de temperatura de bajo costo, de construcción robusta y de exactitud confiable para la industria.

El termómetro bimetalico, según se muestra en la figura (14) consta de una tira bimetalica helicoidal, con lo cual el efecto antes mencionado (encorvamiento) se traduce a un movimiento circular que se transmite por medio de un pivote a una aguja indicadora, la cual señala en la escala, la temperatura a la que está el medio donde se encuentra la parte sensible del termómetro.

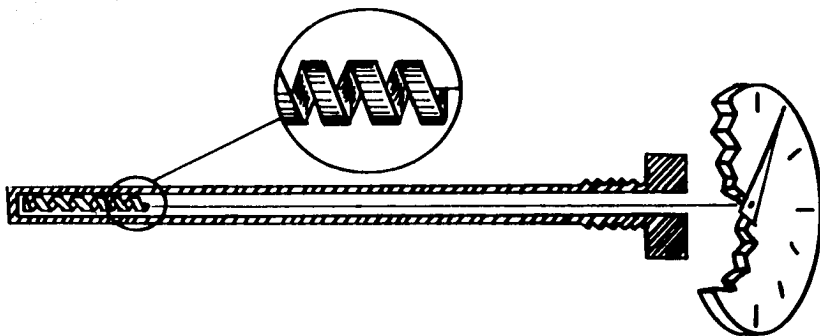


FIG. 14 TERMOMETRO BIMETALICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Ventajas del termómetro bimetalico

- a) No está lleno de ninguna sustancia fluida, por lo que no existe riesgo de fugas.
- b) Es de fácil lectura en relación a los termómetros de vidrio.
- c) Se fabrican en rangos de -185°C hasta 500°C .
- d) Su exactitud es del 1% del total de la escala.
- e) Los hay en conexión posterior, inferior y todo ángulo.

2.5 TERMOMETROS DE RESISTENCIA

8.4

El principio en que se basan estos termómetros es en que la resistencia eléctrica de los metales conductores varía cuando cambia su temperatura de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$R_t = R_o (1 + at) \quad a = \frac{R_t - R_o}{t R_o}$$

Donde:

R_o = Resistencia a 0°C (ohms)

R_t = Resistencia a la temperatura t (ohms)

a = Coef. de resistencia por temperatura ($\frac{\text{ohm}}{\text{ohm}}^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Se puede decir que es un dispositivo para determinar resistencia eléctrica, cuya escala está graduada en unidades de temperatura.

Observemos el diagrama de un termómetro de resistencia (fig 15) se apreciará que tiene un arreglo que en electrónica se conoce como puente de Wheatstone y sirve para determinar resistencias eléctricas.

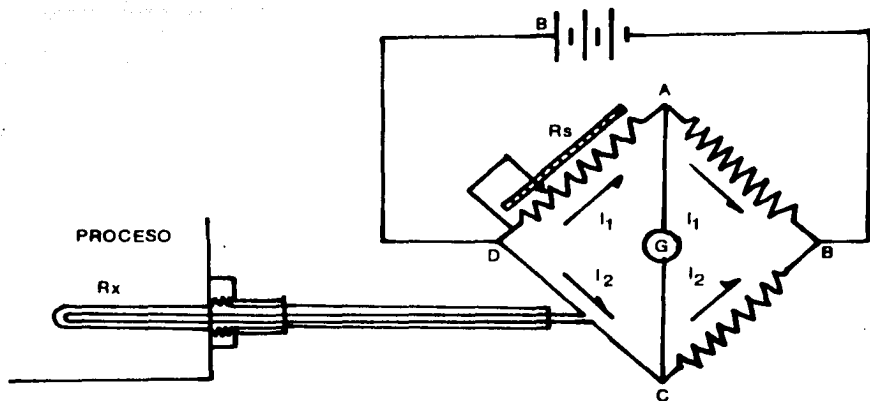


FIG. 15 DIAGRAMA DE: TERMOMETRO DE RESISTENCIA

En la figura;

R_1 y R_2 resistencias fijas de valor conocido (ohm)

R_s reóstato graduado (resistencia variable) (ohm)

R_x resistencia a determinar (ohm)

G galvanómetro

B+ Batería (fem)

I Corriente eléctrica (amperes)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando el puente está balanceado, es decir, que variando R_s logramos que la corriente a través del galvanómetro sea cero debido a que el potencial en A es igual al del punto C, entonces:

$$I_1 R_s = I_2 R_x \quad \text{y} \quad I_1 R_1 = I_2 R_2$$

Dividiendo entre sí estas dos ecuaciones:

$$\frac{I_1 R_s}{I_1 R_1} = \frac{I_2 R_x}{I_2 R_2} = \frac{R_s}{R_1} = \frac{R_x}{R_2}$$

Despejando:

$$R_x = \frac{R_2}{R_1} R_s$$

Si R_1 y R_2 son conocidos entonces:

$$R_x = K R_s, \quad K = \frac{R_2}{R_1}$$

Por tanto R_x se calcula conociendo el valor de R_s en el instante en que el galvanómetro indica cero.

El metal que más se utiliza es el de platino debido a su inactividad química y a su elevada resistencia.

Para el platino, el coeficiente de resistencia por temperatura

(a) es de 0.00392 ohm/ohm °C para un intervalo de 0° a 100°C.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para todos los conductores este coeficiente es positivo y la resistencia tiene un comportamiento directamente proporcional respecto a la temperatura.

Además del platino, que como ya mencionamos es el más utilizado, son usados comunmente el níquel, cobre, níquel-acero y tungsteno.

Para el níquel, el coeficiente α es de $0.0063 \text{ ohm/ohm } ^\circ\text{C}$.

La construcción de este tipo de termómetros se lleva a cabo enrollando el alambre fino (elemento) sobre una mica, es calentado para relevarlo de esfuerzos y luego colocado dentro de un protector.

La principal ventaja de este tipo de termómetros es que son de respuesta inmediata y que mediante puentes adecuados para eliminar la resistencia del conductor puede llegarse a exactitudes de $\pm 0.001 \text{ } ^\circ\text{C}$.

A continuación mostramos tablas que relacionan resistencia con temperatura de algunos materiales utilizados.

TABLA DE RESISTENCIA Vs. TEMPERATURA
 PARA TERMOMETRO DE RESISTENCIA

| Niquel 200 Ohm | | | | Niquel 100 Ohm | | | | Platino 100 Ohm | | | |
|----------------|-------|-----|-------|----------------|--------|-----|--------|-----------------|--------|-----|--------|
| °F | Ohms | °F | Ohms | °F | Ohms | °F | Ohms | °C | Ohms | °C | Ohms |
| -100 | 107.2 | 250 | 325.2 | -150 | 63.59 | 225 | 153.36 | -100 | 80.28 | 240 | 190.46 |
| -95 | 109.8 | 255 | 329.2 | -145 | 64.38 | 230 | 154.90 | -95 | 82.30 | 245 | 192.27 |
| -90 | 112.4 | 260 | 333.0 | -140 | 65.18 | 235 | 156.45 | -90 | 84.32 | 250 | 194.08 |
| -85 | 114.8 | 265 | 337.0 | -135 | 66.00 | 240 | 158.00 | -85 | 86.33 | 255 | 195.89 |
| -80 | 117.4 | 270 | 341.0 | -130 | 66.83 | 245 | 159.57 | -80 | 88.34 | 260 | 197.69 |
| -75 | 119.8 | 275 | 345.0 | -125 | 67.67 | 250 | 161.14 | -75 | 70.35 | 265 | 199.50 |
| -70 | 122.4 | 280 | 349.0 | -120 | 68.52 | 255 | 162.72 | -70 | 72.35 | 270 | 201.29 |
| -65 | 125.0 | 285 | 353.2 | -115 | 69.39 | 260 | 164.30 | -65 | 74.35 | 275 | 203.09 |
| -60 | 127.6 | 290 | 357.2 | -110 | 70.26 | 265 | 165.89 | -60 | 76.34 | 280 | 204.88 |
| -55 | 130.2 | 295 | 361.4 | -105 | 71.15 | 270 | 167.50 | -55 | 78.33 | 285 | 206.67 |
| -50 | 132.8 | 300 | 365.6 | -100 | 72.05 | 275 | 169.11 | -50 | 80.32 | 290 | 208.46 |
| -45 | 135.4 | 305 | 369.8 | -95 | 72.96 | 280 | 170.72 | -45 | 82.31 | 295 | 210.25 |
| -40 | 138.2 | 310 | 374.0 | -90 | 73.88 | 285 | 172.35 | -40 | 84.29 | 300 | 212.03 |
| -35 | 140.8 | 315 | 378.2 | -85 | 74.81 | 290 | 173.98 | -35 | 86.26 | 305 | 213.81 |
| -30 | 143.4 | 320 | 382.4 | -80 | 75.76 | 295 | 175.62 | -30 | 88.23 | 310 | 215.58 |
| -25 | 146.2 | 325 | 386.6 | -75 | 76.72 | 300 | 177.27 | -25 | 90.20 | 315 | 217.36 |
| -20 | 148.8 | 330 | 390.8 | -70 | 77.68 | 305 | 178.93 | -20 | 92.16 | 320 | 219.13 |
| -15 | 151.6 | 335 | 395.2 | -65 | 78.67 | 310 | 180.60 | -15 | 94.13 | 325 | 220.89 |
| -10 | 154.2 | 340 | 399.6 | -60 | 79.66 | 315 | 182.27 | -10 | 96.09 | 330 | 222.66 |
| -5 | 157.0 | 345 | 404.0 | -55 | 80.66 | 320 | 183.95 | -5 | 98.05 | 335 | 224.42 |
| 0 | 159.8 | 350 | 408.4 | -50 | 81.68 | 325 | 185.64 | 0 | 100.00 | 340 | 226.18 |
| 5 | 162.6 | 355 | 412.8 | -45 | 82.70 | 330 | 187.33 | 5 | 101.95 | 345 | 227.94 |
| 10 | 165.4 | 360 | 417.2 | -40 | 83.74 | 335 | 189.04 | 10 | 103.90 | 350 | 229.69 |
| 15 | 168.2 | 365 | 422.8 | -35 | 84.79 | 340 | 190.76 | 15 | 105.85 | 355 | 231.44 |
| 20 | 171.0 | 370 | 428.4 | -30 | 85.86 | 345 | 192.47 | 20 | 107.79 | 360 | 233.19 |
| 25 | 173.8 | 375 | 434.0 | -25 | 86.93 | 350 | 194.20 | 25 | 109.75 | 365 | 234.93 |
| 30 | 176.6 | 380 | 439.6 | -20 | 88.02 | 355 | 195.94 | 30 | 111.67 | 370 | 236.67 |
| 32 | 177.7 | 385 | 440.2 | -15 | 89.11 | 360 | 197.68 | 35 | 113.61 | 375 | 238.41 |
| 35 | 179.4 | 390 | 444.8 | -10 | 90.22 | 365 | 199.43 | 40 | 115.54 | 380 | 240.14 |
| 38 | 182.2 | 395 | 449.6 | -5 | 91.34 | 370 | 201.19 | 45 | 117.47 | 385 | 241.88 |
| 45 | 185.0 | 400 | 454.4 | 0 | 92.46 | 375 | 202.94 | 50 | 119.39 | 390 | 243.61 |
| 50 | 188.0 | 405 | 459.2 | 5 | 93.62 | 380 | 204.74 | 55 | 121.32 | 395 | 245.33 |
| 55 | 191.0 | 410 | 464.0 | 10 | 94.78 | 385 | 206.57 | 60 | 123.24 | 400 | 247.06 |
| 60 | 194.0 | 415 | 468.8 | 15 | 95.94 | 390 | 208.31 | 65 | 125.16 | 405 | 248.78 |
| 65 | 197.0 | 420 | 473.6 | 20 | 97.12 | 395 | 210.11 | 70 | 127.07 | 410 | 250.50 |
| 70 | 200.0 | 425 | 478.4 | 25 | 98.31 | 400 | 211.92 | 75 | 128.98 | 415 | 252.21 |
| 75 | 203.2 | 430 | 483.4 | 30 | 99.52 | 405 | 213.73 | 80 | 130.89 | 420 | 253.92 |
| 80 | 206.2 | 435 | 488.4 | 35 | 100.74 | 410 | 215.56 | 85 | 132.80 | 425 | 255.63 |
| 85 | 209.4 | 440 | 493.4 | 40 | 101.98 | 415 | 217.39 | 90 | 134.70 | 430 | 257.34 |
| 90 | 212.6 | 445 | 498.4 | 45 | 103.22 | 420 | 219.23 | 95 | 136.60 | 435 | 259.04 |
| 95 | 215.8 | 450 | 503.4 | 50 | 104.48 | 425 | 221.07 | 100 | 138.50 | 440 | 260.75 |
| 100 | 219.0 | 455 | 508.4 | 55 | 105.74 | 430 | 222.93 | 105 | 140.39 | 445 | 262.44 |
| 105 | 222.2 | 460 | 513.8 | 60 | 107.01 | 435 | 224.79 | 110 | 142.29 | 450 | 264.14 |
| 110 | 225.4 | 465 | 519.0 | 65 | 108.29 | 440 | 226.66 | 115 | 144.18 | 455 | 265.83 |
| 115 | 228.8 | 470 | 524.2 | 70 | 109.58 | 445 | 228.54 | 120 | 146.06 | 460 | 267.52 |
| 120 | 232.0 | 475 | 529.4 | 75 | 110.87 | 450 | 230.42 | 125 | 147.94 | 465 | 269.21 |
| 125 | 235.2 | 480 | 534.6 | 80 | 112.17 | 455 | 232.32 | 130 | 149.82 | 470 | 270.89 |
| 130 | 238.6 | 485 | 539.8 | 85 | 113.48 | 460 | 234.22 | 135 | 151.70 | 475 | 272.57 |
| 135 | 241.8 | 490 | 545.0 | 90 | 114.80 | 465 | 236.13 | 140 | 153.58 | 480 | 274.25 |
| 140 | 245.2 | 495 | 550.4 | 95 | 116.13 | 470 | 238.05 | 145 | 155.45 | 485 | 275.92 |
| 145 | 248.6 | 500 | 555.8 | 100 | 117.46 | 475 | 239.97 | 150 | 157.32 | 490 | 277.59 |
| 150 | 252.0 | 505 | 561.2 | 105 | 118.80 | 480 | 241.91 | 155 | 159.18 | 495 | 279.26 |
| 155 | 255.4 | 510 | 566.6 | 110 | 120.15 | 485 | 243.85 | 160 | 161.04 | 500 | 280.93 |
| 160 | 259.0 | 515 | 572.0 | 115 | 121.51 | 490 | 245.80 | 165 | 162.90 | 505 | 282.59 |
| 165 | 262.4 | 520 | 577.5 | 120 | 122.87 | 495 | 247.76 | 170 | 164.77 | 510 | 284.25 |
| 170 | 265.8 | 525 | 583.2 | 125 | 124.25 | 500 | 249.72 | 175 | 166.62 | 515 | 285.91 |
| 175 | 269.4 | 530 | 588.8 | 130 | 125.63 | 505 | 251.69 | 180 | 168.47 | 520 | 287.57 |
| 180 | 273.0 | 535 | 594.4 | 135 | 127.02 | 510 | 253.67 | 185 | 170.32 | 525 | 289.22 |
| 185 | 276.6 | 540 | 600.0 | 140 | 128.41 | 515 | 255.66 | 190 | 172.16 | 530 | 290.87 |
| 190 | 280.2 | 545 | 605.6 | 145 | 129.82 | 520 | 257.66 | 195 | 174.00 | 535 | 292.51 |
| 195 | 283.8 | 550 | 611.4 | 150 | 131.23 | 525 | 259.66 | 200 | 175.84 | 540 | 294.15 |
| 200 | 287.4 | 555 | 617.2 | 155 | 132.65 | 530 | 261.68 | 205 | 177.78 | 545 | 295.79 |
| 205 | 291.2 | 560 | 623.0 | 160 | 134.08 | 535 | 263.70 | 210 | 179.51 | 550 | 297.15 |
| 210 | 294.8 | 565 | 628.8 | 165 | 135.51 | 540 | 265.73 | 215 | 181.24 | 555 | 299.07 |
| 215 | 298.3 | 570 | 634.6 | 170 | 136.96 | 545 | 267.76 | 220 | 183.17 | 560 | 300.70 |
| 220 | 302.2 | 575 | 640.4 | 175 | 138.41 | 550 | 269.81 | 225 | 185.00 | 565 | 302.33 |
| 225 | 306.0 | 580 | 646.2 | 180 | 139.87 | 555 | 271.86 | 230 | 186.82 | 570 | 303.95 |
| 230 | 309.8 | 585 | 652.2 | 185 | 141.34 | 560 | 273.92 | 235 | 188.64 | | |
| 235 | 313.6 | 590 | 658.2 | 190 | 142.81 | 565 | 275.98 | | | | |
| 240 | 317.4 | 595 | 664.2 | 195 | 144.30 | 570 | 278.06 | | | | |
| 245 | 321.4 | | | 200 | 145.79 | 575 | 280.14 | | | | |
| | | | | 205 | 147.29 | 580 | 282.24 | | | | |
| | | | | 210 | 148.79 | 585 | 284.33 | | | | |
| | | | | 215 | 150.31 | 590 | 286.44 | | | | |
| | | | | 220 | 151.83 | 595 | 288.56 | | | | |

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

2.6 TERMOPARES

8,9

En el año de 1821, T. S. Seebeck observó que si se forma un circuito cerrado empalmando dos alambres de distinto material por sus dos extremos y se calienta una de las uniones, mientras que la otra se mantiene a temperatura ambiente, se produce en el circuito una corriente eléctrica.

Si dos hilos de cobre se conectan a los bornes de un galvanómetro por un extremo y por el otro se unen mediante un pedazo de hierro, al calentar una de las uniones del cobre y hierro podrá comprobarse el paso de una corriente a través del aparato debido a que se desviará la aguja del galvanómetro. El sentido de esta corriente en el alambre de hierro es desde la junta caliente a la fría. La diferencia de potencial así obtenida se llama fcm térmica Fig. 16.

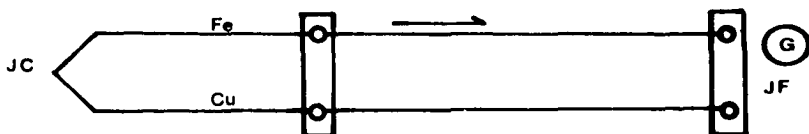


FIG. 16 ESQUENA DEL EFECTO TERMOELECTRICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Un termopar está formado simplemente por dos alambres de diferente composición metalúrgica conectados en ambos extremos para completar un circuito eléctrico. La fuerza electromotriz (fem) generada depende de la diferencia de temperaturas entre la junta caliente (comunmente llamada junta de referencia) y la junta fría dada una composición metalúrgica de los dos alambres.

Hay algunas leyes termoeléctricas que afectan tanto al diseño del termopar como al uso de la fuerza electromotriz producida.

Seebeck estableció que la magnitud de la corriente inducida varía como una función de la magnitud de la diferencia de temperatura entre las juntas y las propiedades térmicas de los metales distintos.

Los principios del flujo de electrones indican que la fem producida resulta de los diferentes niveles de energía de los dos metales.

- Efecto Peltier.

Unos años más tarde que Seebeck descubriera la termoelectricidad; en el año de 1834, J. A. Peltier encontró que cuando una corriente es pasada a través de la junta de referencia, la unión medidora es enfriada o calentada dependiendo de la dirección de la corriente. El calor liberado o absorbido es directamente proporcional a la

magnitud de la corriente que está pasando a través de la junta medidora.

- Efecto Thomson.

En 1847, Sir W. Thomson (Lord Kelvin) examinó conductores eléctricos sencillos con corriente fluyendo y en donde existían gradientes de temperatura a lo largo de estos.

En ciertos conductores, el calor es absorbido cuando una corriente pasa de las partes frías a las partes calientes del metal, y el calor es liberado cuando la corriente fluye de las partes calientes a las partes frías del metal.

Este efecto varía con los diferentes materiales.

LEYES TERMOELECTRICAS

Ley de los circuitos homogéneos.

Establece: Una corriente eléctrica no puede ser sostenida en un circuito de un solo metal, por la sola aplicación de calor.

Ley de los metales intermedios.

La suma algebraica de los fem's en un circuito compuesto por

cualquier número de metales distintos es cero si todo el circuito está a una temperatura uniforme.

Si las relaciones de dos metales distintos son conocidas con respecto a un tercer metal, entonces la relación entre los dos primeros metales con respecto a ellos dos pueden ser hallados.

Ley de las temperaturas intermedias.

Esta muy relacionada con la ley de los metales intermedios.

Si dos metales distintos y homogéneos producen una fem térmica E_1 , cuando las juntas están a las temperaturas T_1 y T_2 , y producen una fem térmica E_2 cuando las juntas están a T_2 y T_3 , la fem generada cuando las juntas están a T_1 y T_3 será $E_1 + E_2$.

Una combinación de estas tres leyes puede leerse:

La fem térmica generada en cualquier circuito teniendo cualquier número de metales distintos y homogéneos es sólo función de las temperaturas en las juntas.

El uso de termopares está gobernado por estas leyes y efectos enunciados.

Poder Termoeléctrico y Diagramas.

Eligiendo un metal como base para un sentido comparativo de las diferentes propiedades termoeléctricas de diferentes metales, y formando circuitos con alambres del metal elegido y de cada uno de los demás, pueden determinarse las diferencias de potencial o FEM entre las juntas cuando una de ellas se mantiene a 0°C y se eleva la temperatura de la otra gradualmente. Suele escogerse como metal fijo el plomo.

La variación de la FEM con la temperatura para cada par de metales puede representarse como una curva; tomando como abscisas las temperaturas de la junta caliente, la de la junta fría se supone igual a cero, y como ordenadas los valores de la FEM.

Las curvas representadas en la fig. 17 han sido obtenidas en esta forma, expresando las temperaturas en $^{\circ}\text{C}$ y las fuerzas electromotrices en microvolts.

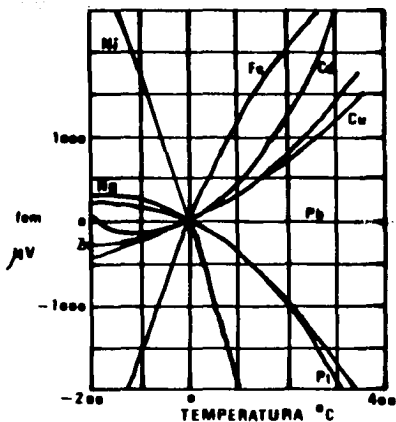


FIG. 17 DIAGRAMA DE PODER TERMOELECTRICO

Todas las curvas deben atravesar el eje de las abscisas, puesto que una de las juntas se encuentra siempre a 0°C , y cuando las dos juntas tienen la misma temperatura, la FEM es nula. Los puntos de cada curva en los cuales la tangente es horizontal (pendiente = 0), son los correspondientes a la temperatura neutra o temperatura de máxima o mínima FEM para el metal de que se trate y el plomo. La temperatura neutra del par platino-plomo por ejemplo, es de -150°C , y la del zinc-plomo -200°C .

La curva que representa a la FEM (E) en función de la temperatura (t) de la junta caliente, estando la fría a 0°C , es aproximadamente una parábola. Por tanto se puede escribir la siguiente relación entre (E) y (t):

$$E = at + b/2 (t^2)$$

Donde a y b son constantes. Estas constantes dependen de la naturaleza de los metales. El valor de (E) que hace que la línea cambie de curvatura puede determinarse derivando e igualando a cero:

$$dE/dt = a + bt = 0 \text{ de donde}$$

$$t = -a/b$$

Luego si (E') es el valor la FEM para la temperatura neutra tendremos:

$$E' = -a^2/2b$$

La siguiente tabla reúne los valores de los coeficientes a y b para varios metales, (a) es positivo cuando la corriente pasa por la junta caliente a la fría. Se han escogido los valores de las constantes de manera que si (t) se expresa en grados centígrados la FEM se mide en microvolts.

| Metal | a | b |
|----------|--------|--------|
| Cobre | 2.86 | 0.0080 |
| Zinc | 2.73 | 0.0138 |
| Cadmio | 3.11 | 0.0334 |
| Hierro | 13.20 | 0.0286 |
| Níquel | -19.16 | 0.0290 |
| Cobalto | -15.51 | 0.0760 |
| Mercurio | -3.21 | 0.0168 |
| Platino | -3.10 | 0.0206 |

TABLA 4 COEFICIENTES a Y b PARA VARIOS METALES

Supongamos que E_0 es la FEM generada por un par formado por un metal (A) determinado y el plomo cuando las temperaturas de sus dos juntas son 0°C y una $t^\circ\text{C}$, se tendrá

$$E_0 = at_0 + b/2 (t_0^2)$$

Si la temperatura t_0 se incrementa en Δt , el nuevo valor de (E) será:

$$E_0 + \Delta E = a (t_0 + \Delta t) + b/2 (t_0 + \Delta t)^2$$

Si Δt es muy pequeño, su cuadrado puede suprimirse, quedando:

$$E_0 + \Delta E = a t_0 + b/2 (t_0)^2 + a \Delta t + b t_0 \Delta t$$

Restando la primera ecuación de la última, nos queda:

$$\Delta E = a \Delta t + b t_0 \Delta t$$

O sea, el incremento Δt de temperatura produciendo un incremento de FEM.

En la FEM, la relación $\Delta E / \Delta t$ cuando Δt tiende a cero es la derivada de (E) con respecto a (t) y se llama poder termoeléctrico del metal (A) respecto al plomo a la temperatura (t_0).

Si designamos por (Q) el poder termoeléctrico tendremos:

$$Q = a + b t$$

Lo cual es la ecuación de una recta.

DESCRIPCION Y USO PRACTICO DE LOS TERMOPARES

El instrumento se localiza lejos del punto en el cual la temperatura está siendo medida, por lo que la resistencia sensitiva a la temperatura para mantener constante la junta de referencia está siempre localizada dentro del instrumento como parte de su circuito. Así pues tenemos formado el circuito por los siguientes elementos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 1.- El termopar
- 2.- La cabeza de bornes
- 3.- El alambre de extensión
- 4.- El instrumento

El termopar que contiene la junta de medición o junta caliente está conectado por medio del block de bornes al alambre de extensión, que tiene la finalidad de prolongar la junta fría hasta el instrumento receptor el cual contiene la resistencia compensadora por junta fría además de los medios de medición.

Así que, realmente existen tres termopares dentro del circuito que son :

- a) El termopar propiamente dicho
- b) El alambre conductor externo
- c) El alambre conductor interno

Las temperaturas en el block de bornes y en las terminales del instrumento receptor no tienen influencia debido a la ley de las temperaturas intermedias que en este caso explica que el efecto neto de los tres termopares es el mismo que si tuviéramos un solo termopar que fuese desde la junta de medición, a la junta de referencia. Estos tres componentes del circuito termoelectrico estarán siempre presentes en cualquier instalación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Termopares prácticos

Los cinco termopares más frecuentemente usados en la práctica son:

- a) Cobre - constantano (tipo T)
- b) Hierro - constantano (tipo J)
- c) Cromel - constantano (tipo E)
- d) Cromel - alumel (tipo K)
- e) Platino - platino más 13% rodio (tipo R)
- f) Platino - platino más 10% rodio (tipo S)

Las características de estos termopares son:

Cobre - constantano (tipo T)

Tienen un alambre de cobre puro como conductor positivo y un alambre de aleación cobre - níquel (constantano), como conductor negativo. Se usan para medir temperaturas entre los -184°C y los 315°C , son de precio muy bajo y ofrecen alta resistencia a la corrosión en atmósferas húmedas. Pueden ser usados en atmósferas reductoras y oxidantes.

Estos termopares tienen una exactitud superior dentro de su gama de temperatura recomendada en comparación con los otros termopares.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Hierro - constantano (tipo J)

En este caso el conductor positivo es un alambre de hierro y el negativo uno de constantano. Se aplican normalmente para temperaturas que van desde -17°C hasta 760°C , dependiendo de su calibre. Son recomendables para uso en atmósferas donde existe deficiencia de oxígeno libre. La oxidación del conductor de hierro se incrementa rápidamente arriba de los 282°C , se recomiendan calibres gruesos si es que se trabaja arriba de esta temperatura, para aumentar su vida útil. Son recomendables ampliamente en atmósferas reductoras. Como su costo es relativamente bajo son muy utilizados para la medición de temperaturas dentro de su gama recomendada.

Cromel - constantano (tipo E)

Tienen un alambre de cromel como conductor positivo y un alambre de constantano como negativo. Se emplean primordialmente para atmósferas oxidantes. No corroe a temperaturas bajo cero.

Cromel - alumel (tipo K)

Consisten de un alambre de aleación cromo - níquel (cromel) como conductor positivo y un alambre de aleación níquel - aluminio (alumel) como conductor negativo. La gama de temperatura recomendada es desde 282°C a 582°C de acuerdo con el calibre del alambre

usado. Este tipo de termopares presta un servicio óptimo en atmósferas oxidantes aunque también puede usarse en atmósferas reductoras o alternativamente oxidantes y reductoras siempre y cuando se use un tubo de protección apropiado y ventilado. Su costo es un poco mayor que los del tipo J.

Platino - Platino rodio (Tipos R y S)

Estos tipos tienen como conductor negativo un alambre de platino puro y como conductor positivo un alambre de 87% Pt y 13% Rh (tipo R) o un alambre de 90% Pt y 10% Rh (tipo S).

Si cuentan con una protección adecuada, sirven para la medición de temperaturas hasta de 1650°C en atmósferas oxidantes.

Estos termopares se contaminan con facilidad cuando se usan en cualquier otra atmósfera, por lo que deben de ser tomadas algunas precauciones en el caso de usarse en estas condiciones, mediante tubos de protección adecuados. Los vapores metálicos, el hidrógeno y los silicenos son veneno para este tipo de termopares. El rodio del conductor positivo puede sublimarse en pequeñas cantidades a altas temperaturas y afectar al conductor negativo de platino, por lo que siempre se usan aisladores cerámicos de dos perforaciones en una sola pieza, a lo largo de la longitud completa de ambos conductores. Su costo es más elevado que el de los anteriores y sus FEM pequeñas por lo que la aplicación de este

tipo de termopares está restringida a altas temperaturas únicamente.

- Termopares para aplicaciones especiales

Molibdeno-Renio

Este tipo de termopares se recomiendan para temperaturas máximas 1650°C con aisladores y tubos de protección de óxido de aluminio. Se recomienda su uso únicamente en atmósferas inertes, reductoras o vacío, debido a que el oxígeno libre destruye al termopar. En la actualidad se usa en reactores químicos, tratamiento térmico y hornos al vacío.

Tungsteno-Renio

Se recomiendan para temperaturas máximas de 2,200°C usándolos con tubos protectores y aisladores de óxido de berilio. Se recomienda para atmósferas inertes, reductoras o vacío, ya que el oxígeno libre destruye al termopar. No deberá estar sujeto nunca a choques térmicos o vibraciones. Es importante hacer notar que el polvo de óxido de berilio es sumamente tóxico cuando se inhala aun en cantidades pequeñas.

Iridio - Iridio/Rodio

La máxima temperatura recomendada es de 1980°C y con aisladores de óxido de berilio. Se recomienda usarlos en atmósferas oxidantes conteniendo azufre libre. Puede tolerar pequeñas cantidades de hidrógeno si la atmósfera es esencialmente oxidante.

Tungsteno - Tungsteno/Renio

Este tipo de termopares es recomendado para las mismas temperaturas que los de Tungsteno - Renio. La diferencia está en que provee tres veces más potencia termo eléctrica a 1650°C.

Al final de este capítulo se muestran tablas que nos enseñan la relación que existe entre la fuerza electromotriz generada en milivolts por los diversos tipos de termopares comerciales contra las temperaturas a las que están sujetas sus juntas de medición.

La siguiente tabla nos muestra los límites de temperatura recomendados para varios tipos de termopares.

| TIPO DE TERMOPAR | TEMPERATURA MINIMA °C | TEMPERATURA MAXIMA °C | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | <u>CALIBRE</u> 8 | <u>CALIBRE</u> 14 | <u>CALIBRE</u> 20 | <u>CALIBRE</u> 24 | <u>CALIBRE</u> 30 |
| TIPO T (Cu-Constantano) | -185° | - | - | - | - | - |
| TIPO J (Fe-Constantano) | -17° | 760° | 590° | 480° | 370° | 205° |
| TIPO E (Cromel-Constantano) | -185° | 870° | 650° | 535° | 425° | 425° |
| TIPO K (Cromel-Alumel) | -17° | 1260° | 1100° | 980° | 870° | 870° |
| TIPOS Ry S (Pt-Pt 13% ó 10% Rh) | -17° | - | - | - | 1480° | - |
| PLATINO 30% Rodio-Platino 6% Rodio | -17° | - | - | - | 1760° | - |
| 40% IRIDIO 60% Rodio Iridio | -17° | - | - | - | 1980° | - |
| Tungsteno-Renio | -17° | - | - | - | 2200° | - |
| Tungsteno-Tungsteno 26% Renio | -17° | - | - | - | 2310° | - |

TABLA 5 LIMITES DE TEMPERATURA PARA TERMOPARES

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

2.7 MILIVOLTMETROS

8

Las medidas de temperatura con milivoltímetros se fundamentan en que el termopar origina una tensión o fem (fuerza electromotriz) que produce la desviación de la aguja de un milivoltmetro intercalado en el circuito, cuya escala está directamente calibrada en grados de temperatura.

El milivoltmetro tipo d'Arsonval o de bobina móvil (ver figura 18) combina la acción de dos campos magnéticos: uno de ellos es producido por un imán fijo permanente y el otro aparece a causa de la circulación de corriente por las espiras de una bobina que puede girar entre los polos de aquel.

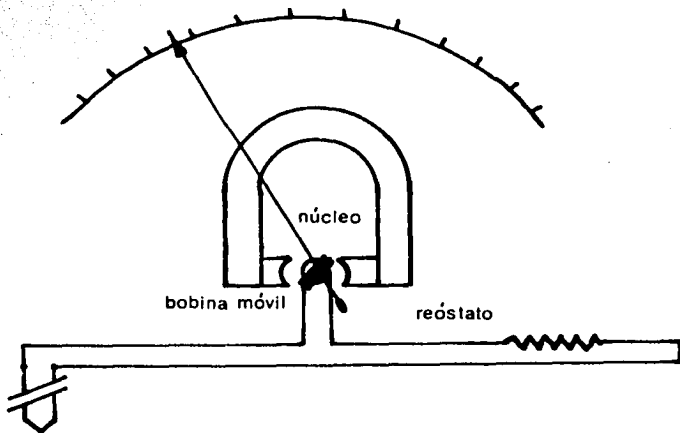


FIGURA 18 ESQUEMA MILIVOLTMETRO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La interacción de ambos campos tiende a hacer girar la bobina, con un par proporcional a la corriente que circula por ella. La bobina es libre de girar, pero lo hace contra la acción de un resorte que provoca la aparición de un par restaurador o antagonista que se opone al del giro. La desviación de la bobina es indicada sobre una escala por una aguja solidaria al eje de aquella. La bobina gira hasta que el par debido a la corriente que circula por ella se equilibra con el par antagonista del resorte.

La desviación es proporcional a la intensidad de la corriente y constituye, por tanto, una medida de ésta.

En la determinación de la fuerza electromotriz, lo que se mide realmente es el voltaje o diferencia de potencial y esto es debido a que el voltímetro ofrece gran resistencia al paso de la corriente, por lo que prácticamente toda la caída del sistema se produce en el instrumento.

Esta forma de medición es llamada de voltaje y no de corriente.

El uso de milivoltios en lugar de voltios, obedece a lo pequeño de los valores implicados.

El milivóltmetro que se ha descrito es utilizado para la medición del potencial eléctrico de termopares.

a amplitud de la tensión media va de 0 a 50 mV aproximadamente.

La lectura mínima de un milivóltmetro es de 12 mV.

Milivóltmetros Potenciométricos o Potenciómetros.

En el milivóltmetro la medida nos es dada por la desviación del indicador, mientras que en un potenciómetro es dada por la reducción a cero.

Esta diferencia básica entre los dos aparatos reside en que el milivóltmetro mide directamente la FEM de la salida termopar e indica su magnitud, mientras que el potenciómetro necesita una segunda fuente de tensión, la salida de la cual se ajusta para compensar la salida del termopar. El ajuste requerido para lograr esta compensación es lo que mide el potenciómetro.

La siguiente figura nos muestra el esquema de un circuito de potenciómetro.

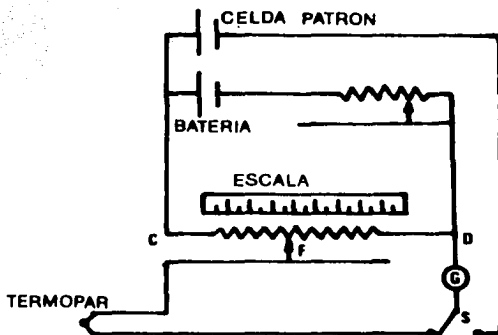


FIGURA 19 CIRUCUITO DE UN POTENCIOMETRO

En la figura pueden apreciarse dos circuitos distintos estando el interruptor en la posición izquierda. Uno es el formado por el termopar, contacto F del cursor del potenciómetro de medida, punto D del galvanómetro, interruptor y vuelta al termopar.

El otro está formado por la batería, potenciómetro de ajuste, punto D, potenciómetro de medida, punto C y se cierra con la batería. Los dos circuitos tienen un tramo común, la resistencia del potenciómetro de medida comprendida entre C y D. Como el contacto F es deslizante, puede tomar cualquier posición entre C y D y encontrar el ajuste para el cual la caída de tensión entre F y D debida a la intensidad que circula por el circuito de la batería, equilibre exactamente la fem del termopar aplicada a los mismos puntos. En esta condición no fluye corriente alguna en el circuito del termopar y el galvanómetro indica desviación a cero.

Si la fem de la batería es constante habrá una posición y sólo una del contacto F que equilibra el valor de la fem del termopar, por ejemplo, para cada temperatura medida. Por tanto, las posiciones del contacto pueden indicarse sobre una escala graduada directamente en grados de temperatura.

Para que se cumpla la condición de que la fem de la batería sea constante debe compensarse periódicamente su disminución. Ello se logra variando la resistencia del potenciómetro de ajuste, con lo que se consigue mantener constante la caída de tensión en los bornes

C y D del potenciómetro de medida, lo que equivale a la condición expuesta.

El control periódico de la batería (que suele ser una pila seca) es posible por medio de una pila patrón.

La característica de estas pilas es que no pueden soportar una corriente de descarga de más que fracciones de un microampere por tiempo prologado, descargas mayores sólo son posible por cortos intervalos seguidos de períodos de reposo suficientemente largos; con estas limitaciones su fem es prácticamente constante durante años enteros.

Pasando el interruptor a la posición de la derecha se interrumpe el circuito del termopar conectándose a la de la pila patrón, que comprende galvanómetro, resistencia C-D, pila patrón y de nuevo el interruptor. Este circuito tiene en común con el de la batería la resistencia C-D. Variando el potenciómetro de ajuste se consigue una caída de tensión provocada por la corriente en el circuito de la batería, que compense esto, el galvanómetro señalará desviación cero.

Si no es posible, por acción sobre el potenciómetro de ajuste, el conseguir llevar el galvanómetro a cero, debe cambiarse la batería.

Las ventajas del potenciómetro sobre el milivóltmetro son las siguientes:

a) La indicación del galvanómetro no tiene que ser proporcional a la fem de salida del termopar, porque cualquiera que sea la desviación, la reducción a cero debe restablecerse moviendo el cursor F para obtener una lectura de temperatura.

b) Las resistencias del termopar, el alambre de la gufa y el galvanómetro en condiciones normales tienen poca influencia en la exactitud del instrumento debido a que en condiciones de ajuste, no fluye corriente, y por tanto no hay caída de voltaje.

c) Como la escala no está limitada por la indicación del galvanómetro, es posible una mayor amplitud dando como resultado una mayor facilidad de lectura para pequeñas diferencias de temperatura, y por lo tanto mayor exactitud.

d) Es posible la utilización de un instrumento sin galvanómetro y el uso de circuitos electrónicos.

El milivoltmetro potenciométrico electrónico se desarrolló en conjunto con las aplicaciones del termopar, pero actualmente no tiene esta limitación. Es un instrumento de muy alta precisión, extremadamente sensible y sorprendentemente potente, para la medición de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

pequeños potenciales eléctricos.

Si estos potenciales son menores que los suministrados por la salida de los termopares, pueden preamplificarse antes de conectarlos al potenciómetro electrónico.

Este instrumento es quizás el primer instrumento que se ha desarrollado para aplicaciones industriales, siendo después utilizado en trabajos de laboratorio, lo contrario del procedimiento normal.

Cuando la temperatura a medir está más allá de los intervalos de temperatura detectables por un termopar, el aparato a utilizar es un pirómetro, cuyo nombre deriva de la palabra griega *πυρός* (Pyros)=Fuego.

Normalmente se utiliza para temperaturas que están por arriba de los 2 500°C por un tiempo prologado.

Básicamente hay dos tipos de pirómetros que son los ópticos, llamados así porque es el ojo humano el que determina la medición y los de radiación, que aunque el primero se base también en la radiación de los cuerpos calientes, en el segundo no es el ojo humano el que determina la medición.

El pirómetro de radiación

Básicamente es un instrumento de termopar, pero en vez de llevar el elemento sensible a un contacto físico con el cuerpo caliente, separados tan sólo por un tubo o pared de protección, el elemento de medición de este pirómetro, está contenido en un tubo que es enfocado al cuerpo desde cierta distancia, recibiendo lo que es conocido como calor radiante. La cantidad de calor radiante que absorbe el termopar debe ser lo suficientemente grande para que aparezca una fem medible, ya por un milivoltmetro o por un potenciómetro como los descritos en páginas anteriores. Para conseguir este propósito se utilizan

dos métodos.

Uno es multiplicar la respuesta conectando varios termopares en serie. A este montaje se le denomina termopila. Como para cada junta de medida de un termopar existe la correspondiente junta de referencia, sería necesario extender todas estas conexiones al instrumento de medida.

En lugar de esto, quedan montadas en el interior del tubo visor, pero quedando fuera del alcance de la radiación. Cuando no reciban ninguna radiación, ambas juntas estarán a la misma temperatura. Cuando el tubo se enfoque al cuerpo caliente, la junta de medida será expuesta a la radiación de aquél y aumentará su temperatura. La fem generada será relativamente independiente de la temperatura de la junta de referencia, ya que ésta es igual a la que tenía la junta de medida antes de ser expuesta a la radiación.

Otro método de intensificar la fem de salidas, es utilizar unas lentes que concentran el calor radiante en la junta de medición. Prácticamente todos los tubos visores contienen estas lentes. La intensificación con lentes de corta longitud focal es suficiente para permitir el uso de un solo termopar en lugar de una termopila.

Las ventajas del pirómetro de radiación consisten principalmente en los altos niveles de temperatura para los que se pueden utilizar y la alta velocidad de respuesta que les es propia. Otra es

que tiene gran facilidad para medir la temperatura de un objeto dentro de un horno, en lugar de la temperatura ambiente del mismo, y también la posibilidad de medir temperaturas de objetos en movimiento en puntos a los cuales un termopar convencional no puede llegar.

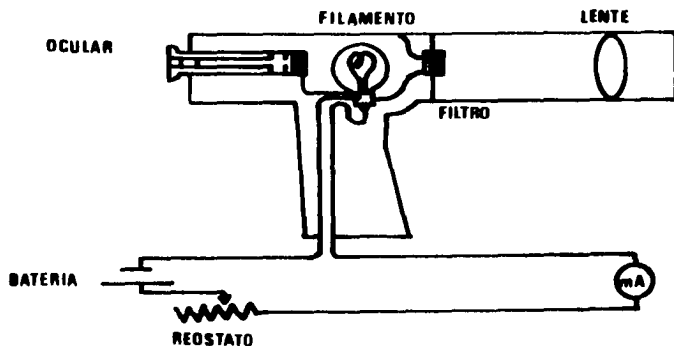
El pirómetro óptico

Hay dos tipos: Pirómetro óptico monocromático y el de dos colores.

El pirómetro óptico monocromático utiliza un denso filtro rojo que elimina todas las longitudes de onda excepto la de un solo color.

Lo que resulta es luz monocromática, cuya intensidad se expresa en brillantez. El pirómetro óptico monocromático mide la temperatura de un cuerpo caliente determinando la brillantez de la superficie bajo medición. Su manejo consiste en comparar manualmente la intensidad de las fuentes de luz observadas por el pirómetro.

Una fuente luminosa es el cuerpo caliente, la otra, una lámpara eléctrica en el dispositivo de medición. La luminosidad de la lámpara se puede ajustar manipulando un reóstato en serie con ella. La cantidad de ajuste que se requiere para igualar las dos fuentes luminosas (lo cual se visualiza por el efecto de ver "desaparecer" el filamento de la lámpara contra el fondo rojo producido por el cuerpo caliente) es una medición de la temperatura que traducida en miliamperes y por medio de tablas suministradas por el fabricante se obtiene la correspondiente temperatura.



El pirómetro de dos colores, es diferente al anterior en cuanto que utiliza dos longitudes de onda de la misma fuente de medición.

Cualquiera de los pirómetros expuestos (de radiación y ópticos) son exactos sólo bajo condiciones de cuerpo negro. Tal cuerpo es un perfecto radiador de energía y tiene una emisividad de 1.

La emisividad se usa como factor para expresar la cantidad relativa de radiación que se está emitiendo por cualquier cuerpo comparado por el cuerpo negro ideal. Por ejemplo, el cobre a 598°C tiene una emisividad de 0.57 aproximadamente, el plomo gris oxidado, cerca de 0.28. Bastantes cuerpos se aproximan a 1 y para efectos prácticos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

se pueden considerar como cuerpos negros. Esto es cierto para los interiores de hornos cuyas paredes se calientan.

El pirómetro de radiación puede usarse para condiciones de no cuerpo negro por medio de factores de conexión para emisividad reducida.

2.9 OTROS TIPOS DE TERMOMETROS

6

Muchos otros métodos de medición de temperatura han evolucionado a través de los años de acuerdo a los nuevos requerimientos que han presentado incompatibilidades con los métodos tradicionales.

Una breve discusión acerca de varios métodos servirá de información sobre las técnicas aplicables en cada caso.

Termistores

Son semiconductores hechos de carbón, germanio, silicón y mezclas de ciertos óxidos metálicos que tienen altos coeficientes de temperatura, usualmente negativos.

Característicamente, son no-lineales y presentan sus mayores cambios en intervalos de temperaturas criogénicas abajo de 100°K (-173°C). Su resistencia eléctrica es una función de la temperatura absoluta.

Los termistores fueron reconocidos en los principios del siglo XIX pero su uso fue introducido por los laboratorios Bell por el año de 1940.

Sólo en años recientes se han ganado la aceptación de la industria después de que un fabricante patentó un proceso habilitando su

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

producción sobre una base intercambiable. Anteriormente, sus técnicas de producción requerían calibración individual cuando se usaban en un circuito.

Las curvas de calibración son generalmente proporcionadas por el fabricante (ver figura 21). La exactitud depende del rango de temperatura.

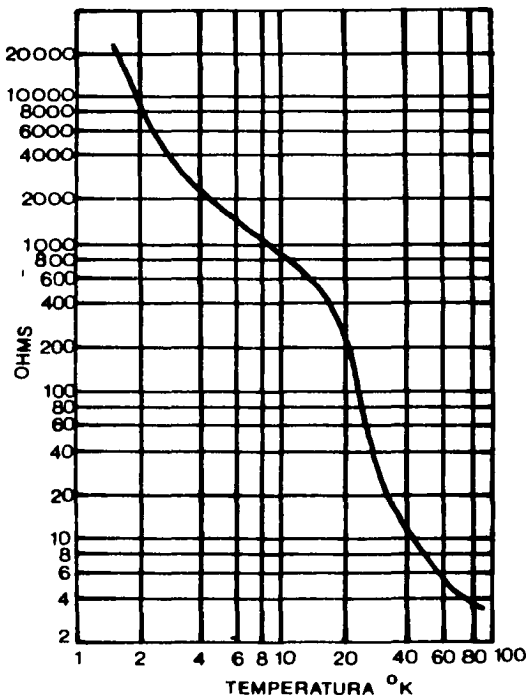


FIGURA 21 UNA CURVA DE CALIBRACION DE UN TERMISTOR TIPICO MUESTRA SU COEFICIENTE NEGATIVO NO LINEAL.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Un fabricante garantiza la calibración de sensores de resistencia de germanio a $\pm 0.005^{\circ}\text{K}$ sobre el intervalo criogénico de 1.5°K a 5.0°K y 0.2°K para el intervalo de 40° a 100°K . La calibración deberá ser revisada periódicamente por los cambios del sensor por el tiempo.

Los termistores de carbón son los de más bajo costo fabricados, aunque los factores de estabilidad necesitan algunas veces otros tipos de sensores.

Los instrumentos de lectura e indicación de alta precisión son generalmente puentes de Wheatstone u otro tipo de puentes. Lecturas más exactas (menores a $\pm 0.05^{\circ}\text{K}$) pueden ser obtenidas por una medición potenciométrica a través de resistores de precisión en serie con el termistor para formar un circuito voltaje-división. Grandes cambios en la resistencia permiten el uso de largos cables. Los de tamaño pequeño ($0.1''$, comunmente) son ventajosos.

Como en los termómetros de resistencia, la corriente a través del sensor debe ser limitada para que el autocalentamiento no afecte la lectura.

Son también utilizados para regulación de voltaje y controladores de nivel de poder.

Para medición de temperatura, su relación temperatura-resistencia no es lineal, pero son muy buenos para la medición en pequeños intervalos debido a su alto coeficiente de temperatura. Son particularmente aplicables para mediciones criogénicas.

Cambios de Color

Diversos productos químicos pueden ser aplicados en la superficie donde la temperatura va a ser detectada.

Cuando estos productos alcanzan su temperatura de sensibilidad, su color cambia, generalmente al negro.

Los métodos de aplicación son variables. Un punto o puntos varios, de las sustancias químicas impresos sobre un papel adhesivo pueden ser fijados en la superficie, o bien pueden ser aplicados como pintura, crayones o tabletas. Tales sustancias químicas pueden ser fabricadas para responder a casi cualquier temperatura entre los 40°C y los 620°C. Son posibles incrementos de 5°C. Su exactitud es de $\pm 1\%$.

Este tipo de sustancias no muestran temperaturas continuas pero indican que han alcanzado una temperatura máxima.

Son muy poco costosos y útiles en la industria.

Termografía

Mientras que las mediciones de temperatura termográficas han sido utilizados en aplicaciones médicas para detectar tumores cancerígenos, la industria bien puede capitalizar eventualmente este método. Una sustancia química sensitiva a la temperatura es aplicada sobre un área a verificar. Cuando la temperatura se estabiliza, el área se fotografía bajo luz ultravioleta mostrando perfiles de temperatura como bandas de colores.

La fotografía infrarroja ha sido ampliamente utilizada para detectar componentes calientes en circuitos impresos y desembocadura calientes en lagos y ríos para la detección de contaminación, y para mostrar vegetación saludable para los granjeros y los ecólogos.

Cristal líquido

Este tipo de detección se basa en la propiedad de algunos cristales líquidos termosensibles, que varían su color de acuerdo a la temperatura, se han logrado encapsular, para hacer práctico su manejo.

Son de lectura continua y se utilizan para medir temperaturas de acuarios y temperaturas de pacientes con fiebre, su intervalo está limitado de 15°C a 50°C aproximadamente, con pequeñas variaciones según el fabricante y su aplicación, son de bajo costo de una apreciable exactitud ($\pm 0.5^\circ\text{C}$).

En la industria no tienen mucha aplicación.

Termometría acústica

Uno de los principios más interesantes utilizados para la determinación de la temperatura es su relación con la velocidad del sonido en el medio a ser medido.

Las técnicas acústicas han sido utilizadas para mediciones de temperatura desde 16,500°C hasta temperaturas cercanas al cero absoluto (-273°C) en procesos criogénicos, tanto en lechos de reactores nucleares, vidrio derretido, metales fundidos y estudios oceanográficos y estudios también de elevada altitud. Las ondas acústicas pueden ser enviadas a través de un material en equilibrio térmico con el medio o directamente a través del medio en sí (tal como a través del océano).

Si bien es cierto que este método de medición de temperatura es costoso y complicado, produce otras determinaciones simultáneamente como subproductos de la medición de temperatura. Incluye presión, viscosidad, velocidad de flujo, forma de flujo (turbulento o laminar) determinación de límites de estratos, y muchas otras propiedades.

Un tipo de medición análogo es la medición de la frecuencia de resonancia de las ondas en una cavidad. La frecuencia de resonancia

varía con la temperatura. Llamado oscilador fluidoico, este artefacto fue diseñado originalmente para el avión supersónico X-15.

Sus intervalos de temperatura son de -32°C a 2500°C con un $\pm 2\%$ de exactitud.

Conos Pirométricos

La industria cerámica utiliza pequeños conos geométricos de determinada composición cerámica para determinar temperaturas de horno. Conforme la temperatura se eleva, los conos se suavizan y se tuercen.

Pueden ser usados individualmente o en grupos de tal modo que cada cono responda o se suavice a diferente temperatura.

Este tipo de indicador no se usa para una medición exacta de temperatura pero determina el punto final de determinada aplicación.

Termómetros de Cristal de Cuarzo.

Los cristales de cuarzo han sido utilizados en circuitos generadores de frecuencia por varios años. Su frecuencia de resonancia es, en mayor parte, una función de la geometría de los cristales. Que también varía linealmente con la temperatura. Por esta razón, los transmisores comerciales tienen que mantener sus cristales en estufas con un estricto control de temperatura.

Esta cualidad puede ser usada para la medición de temperatura. Con-
tando el cristal con un diseño de una "Y" produce un alto grado de
linealidad.

El cuarzo tiene un coeficiente positivo temperatura-frecuencia y su
linealidad es del orden de $\pm 0.05\%$ en el intervalo de -250°C a 280°C .
La resolución del sistema puede ser tan cercana como 0.00009°C .

Sobre los 560°C , el cuarzo no auto-oscila; dentro de su intervalo
operativo, tiene ciertas ventajas sobre los termopares y los termóme-
tros de resistencia comunes, estas ventajas son: repetibilidad, estabi-
lidad y la ausencia de autocalentamiento.

Los termómetros de cristal de cuarzo son exactos, pero son caros y su
uso está confinado usualmente a ambientes de laboratorio.

C A P I T U L O I I I

DISEÑO DE EQUIPO PARA EL LABORATORIO

3.1 OBJETIVOS

3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCION

3.3 DESCRIPCION FINAL DEL APARATO

3.1 OBJETIVO

En este capítulo se describirá el equipo que se construyó para realizar prácticas de medición de temperatura y que quedará instalado en la sección termodinámica de los laboratorios de Ingeniería de la Universidad La Salle.

El equipo debe ser funcional, ya que su utilización por alumnos de esta institución deberá ser restringido a los horarios de las materias de laboratorio, y por tanto es necesario que no haya complejidad en sus elementos primarios para que se logre el objetivo didáctico-práctico de este equipo, de conocer y utilizar diversos tipos de indicadores de temperatura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2 DISEÑO Y CONSTRUCCION

MATERIALES

Se utilizó madera para la fabricación del panel, tablero aglomerado y madera de pino de primera.

La disposición fue la siguiente:

Una mesa con tres cubas para hacer mediciones de temperatura de la siguiente forma:

| | | |
|----------|---|--|
| 1a. CUBA | - | BAJA TEMPERATURA mezcla criogénica elaborada por alumnos |
| 2a. CUBA | - | MEDIA TEMPERATURA Agua a ebullición |
| 3a. CUBA | - | ALTA TEMPERATURA Aceite Automotriz |

El calentamiento se hará por medio de hornilla eléctrica

DISEÑO PRELIMINAR

El equipo contará con varios tipos de instrumentos indicadores de temperatura montados en un panel y serán desmontados (algunos) en el momento de la práctica.

Constará de tres mediciones principales:

BAJA TEMPERATURA (-20°C) (Mezcla criogénica)

- Termómetro bimetalico marca "Surex-Ashcroft"
- Termómetro sistema lleno (R-12) marca "Terice"
- Termómetro industrial de vidrio marca "Terice" -40°C a +40°C

TEMPERATURA MEDIA (50-200°C) (Agua)

- Termómetro bimetalico marca "Surex-Ashcroft"
Intervalo 0 - 200°C
- Termómetro industrial de vidrio marca "Terice"
(Mercurio) Intervalo 0 - 100°C
- Termopar tipo K (0-1000°C) con su receptor (Honey well)
- Termómetro transmisor (sistema lleno) con receptor neumático
Intervalo 0 - 50°C (Honey-well)
- Termómetro sistema lleno con capilar
Intervalo 40 - 100°C (Automotriz)

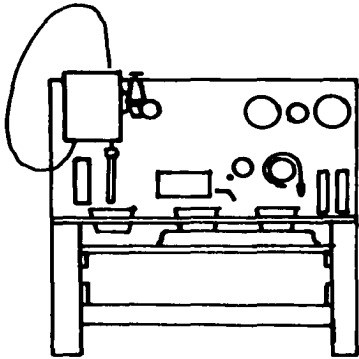
ALTA TEMPERATURA (Aceite) (hasta 1000 °C)

- Termómetro bimetalico marca "Surex-Ashcroft"

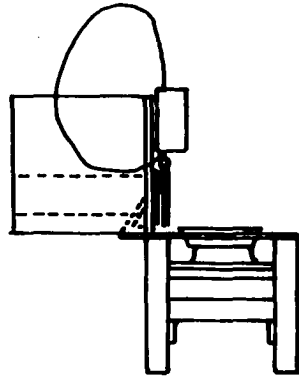
Intervalo 0 - 500°C

- Termopar tipo K 0 - 1000°C con su receptor (Honey-well)

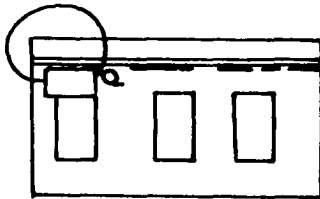
DIAGRAMA



VISTA FRONTAL

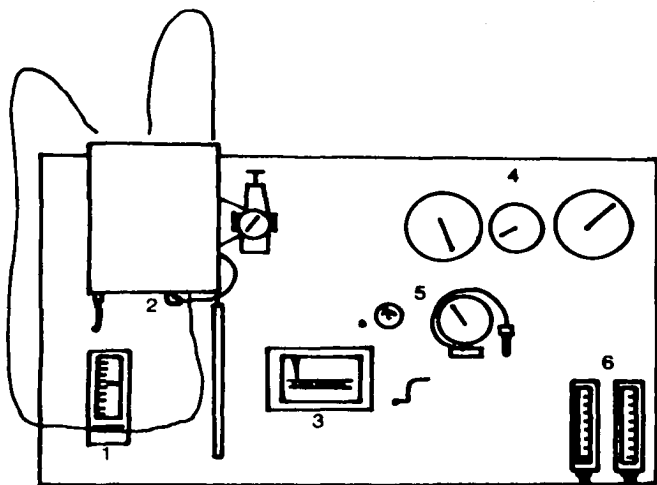


VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



DISTRIBUCION EN EL TABLERO

1, 2, 3, 5 - FIJOS

4, 6 - DESMONTABLES AL MEDIR

1.- RECEPTOR NEUMATICO

2.- TRANSMISOR DE TEMPERATURA SISTEMA LLENO

3.- RECEPTOR TERMOPAR (MILIVOLTMETRO)

4.- TERMOMETROS BIMETALICOS

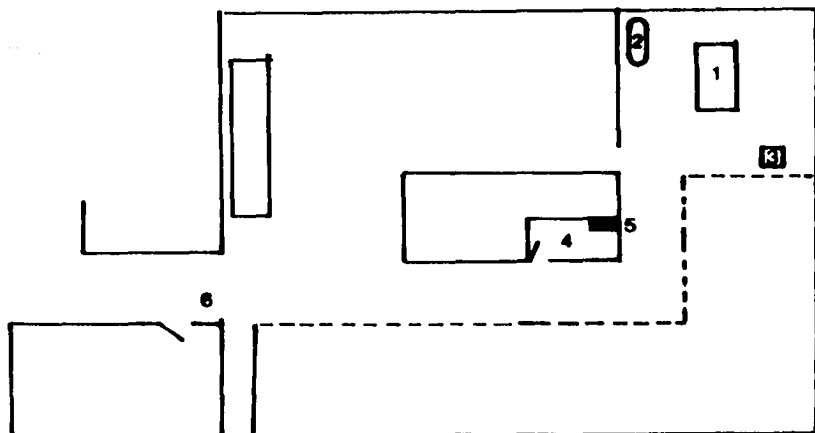
5.- TERMOMETRO SISTEMA LLENO (CAPILAR)

6.- TERMOMETROS INDUSTRIALES DE VIDRIO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

UBICACION EN EL LABORATORIO

LABORATORIO DE CONTROL



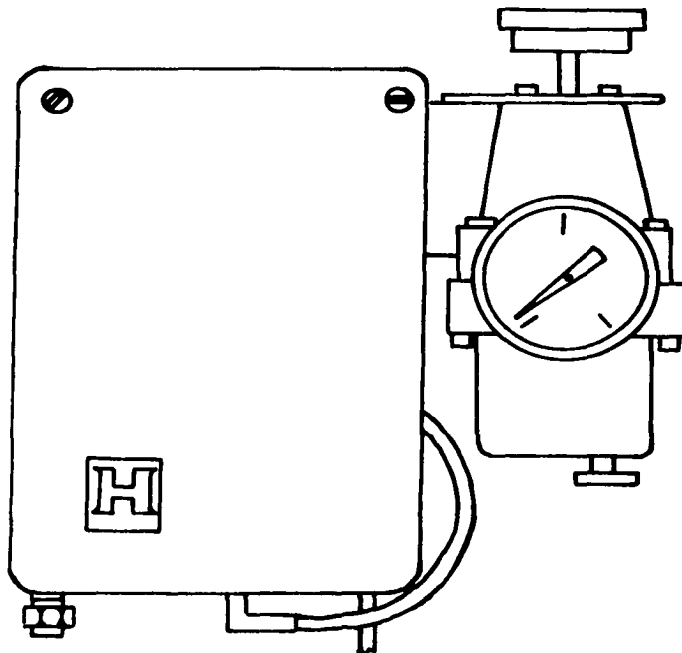
- 1.- CALDERA
 - 2.- COMPRESORA
 - 3.- TORRE DE ENFRIAMIENTO
 - 4.- LABORATORIO DE CONTROL
 - 5.- PANEL DE MEDICION DE TEMPERATURA
 - 6.- ENTRADA A LABORATORIO DE INGENIERIA
- UNIVERSIDAD LA SALLE

3.3 DESCRIPCION FINAL DEL APARATO

EQUIPO SISTEMA LLENO (MEDIA)

TRANSMISOR DE TEMPERATURA (SISTEMA LLENO) INTERVALO 0 - 50°C ENVIA SEÑAL NEUMATICA 3-15 PSI

MONTAJE: EN LA PARTE POSTERIOR TIENE 2 ORIFICIOS DE MONTAJE

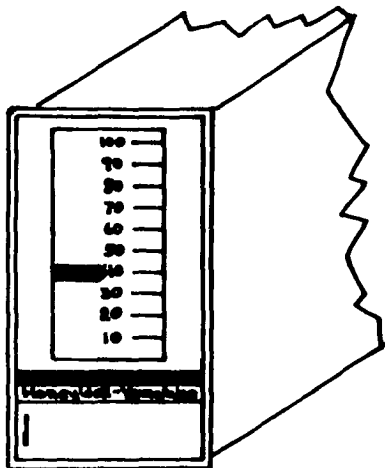


FUNCIONAMIENTO:

EL APARATO CUENTA CON UN SISTEMA LLENO DE MEDICION DE TEMPERATURA Y CON ENTRADA Y SALIDA DE AIRE (3-15 PSI) CON LO QUE SE TRADUCE LA SEÑAL DE PROCESO A UNA SEÑAL NEUMATICA QUE SE RECIBE EN UN INDICADOR.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TAG 1-2 RECIBIDOR NEUMÁTICO (INDICADOR) INTERVALO 0-100 LINEAL.
MARCA HONEY-WELL YAMATAKE.



FUNCIONAMIENTO:

RECIBE LA SEÑAL NEUMÁTICA EQUIVALENTE A LA TEMPERATURA Y LA INDICA EN PORCIENTO, APLICANDO EL FACTOR DE INTERVALO SE PUEDE CONOCER LA TEMPERATURA.

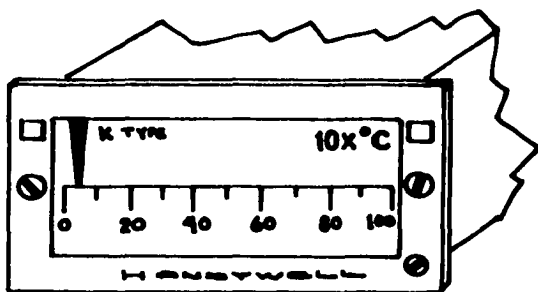
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EQUIPO TERMOPAR-MILIVOLTMETRO

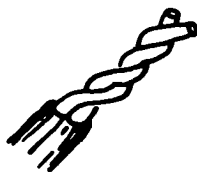
RECEPTOR (MILIVOLTMETRO) PARA TERMOPAR TIPO K

INTERVALO (0-1000°C)

MARCA HONEY-WELL



TERMOPAR TIPO K



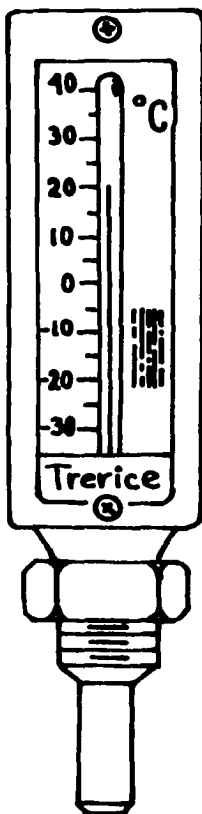
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TERMOMETROS INDUSTRIALES DE VIDRIO

INTERVALOS: -40°C a 40°C

0°C a 110°C

MARCA TRERICE



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

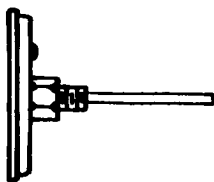
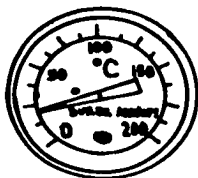
TERMOMETROS BIMETALICOS

MARCA SUREX-ASHCROFT

INTERVALOS: 0-200°C

100-500°C

-50 a 50°C

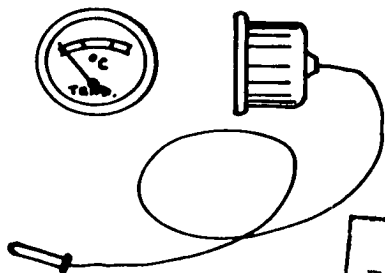
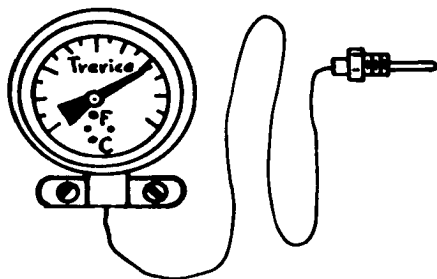


TERMOMETROS SISTEMA LLENO

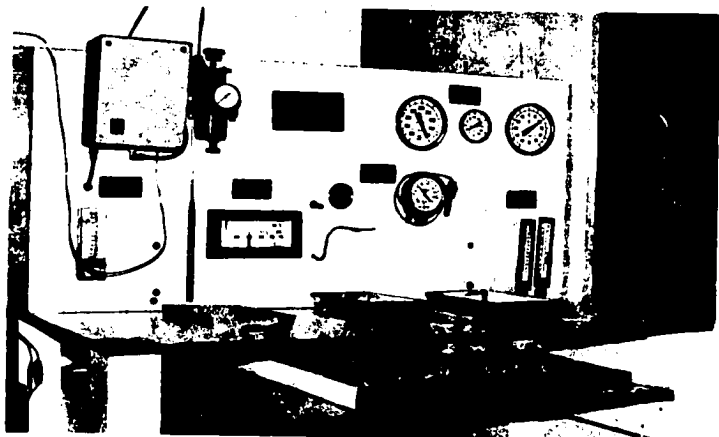
MARCA: TRERICE

INTERVALOS: -40 -65°C

40-100°C



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



PANEL DE MEDICION DE TEMPERATURA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C A P I T U L O I V

DISÑO DE LAS PRACTICAS DE LABORATORIO

4.1 PRELIMINARES SOBRE EL DISÑO

4.2 PRACTICAS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.1 PRELIMINARES SOBRE EL DISEÑO

El tipo de prácticas que se llevarán a cabo utilizando el panel de medición de temperatura nos conduce a diseñar los formatos dentro del siguiente esquema general.

- a) OBJETIVO GLOBAL
- b) FUNDAMENTOS TEORICOS
 - Termodinámicos
 - Sobre el equipo a utilizar
- c) DESCRIPCION DEL APARATO
- d) TECNICA DE OPERACION
- e) TRABAJO POSTERIOR A LA REALIZACION DE LA PRACTICA (CONCLUSION)
- f) CUESTIONARIO
- g) FORMATO PARA RESULTADOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las prácticas están divididas en tres secciones.

PRACTICA No. 1 - BAJA TEMPERATURA

PRACTICA No. 2 - MEDIA TEMPERATURA

PRACTICA No. 3 - ALTA TEMPERATURA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2 PRACTICAS

PRACTICA No. 1

BAJA TEMPERATURA

OBJETIVOS:

Introducir al alumno en el conocimiento y utilización de instrumentos de medición de temperatura (en este caso para baja temperatura).

El alumno será capaz de determinar, según su criterio, las ventajas y deficiencias de cada instrumento en base a su propia experiencia durante la práctica.

FUNDAMENTOS TEORICOS:

La temperatura es una de las propiedades que poseen los sistemas que nos proporciona un dato de mucha importancia para poder definir termodinámicamente un sistema.

De lo anterior deriva la importancia de contar con instrumentos adecuados para la medición de la temperatura.

Termodinámicamente se puede definir la temperatura como:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{N,V}$$

Donde: U = Energía interna
N = No. de moles

S = Entropía
V = Volumen

ANALIZANDO LO ANTERIOR

La derivada de dos variables de estado es también una variable de estado y deberá tener las mismas características de estado que las propiedades fundamentales mismas.

Cualquier variación de U , manteniendo constantes N y V siempre produce una variación de S del mismo signo, por tanto la temperatura termodinámica siempre deberá tener signo positivo.

$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{N,V}$ deberá tender a cero a baja energía, donde existe un cero absoluto de temperatura.

La temperatura termodinámica queda definida como: Una variable de estado positiva cuya magnitud varía desde cero (a niveles energéticos extremadamente bajos) hasta valores muy altos, en la medida que aumenta la energía de un sistema.

El equipo a utilizar en esta práctica son cinco instrumentos de medición de temperatura.

- a) Termómetro bimetalico
- b) Termómetro industrial de vidrio
- c) Termómetro sistema lleno
- d) Termopar tipo K

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

cada uno de ellos, imprimiéndoles características propias y a su vez una misma finalidad, la determinación de la temperatura de una forma directa.

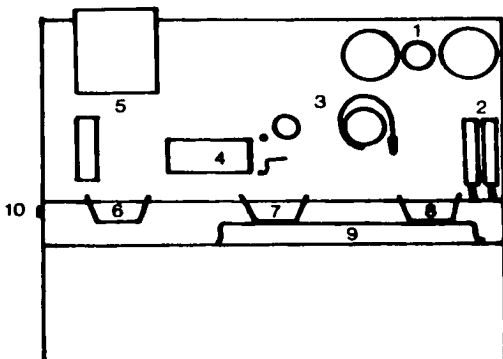
El termómetro de sistema lleno consta de un bulbo sensible, pequeño recipiente metálico que contiene un líquido, un gas o un líquido en equilibrio con su vapor. Tubo capilar que conduce y contiene una mínima cantidad de este fluido hasta el tubo de bourdón o espiral indicadora, tubo plano roscado que es sensible a los cambios de volumen o variaciones en la presión que sufre el fluido por efecto de la temperatura que está midiendo.

El termómetro industrial de vidrio, es un tubo lleno de mercurio que se dilata o contrae a lo largo de un capilar respondiendo a los cambios de temperatura.

El termómetro bimetalico consta de un vástago de longitud variable sin que esto afecte su lectura. Dentro de este vástago, que es un tubo metálico hueco, se encuentra en su parte inferior el elemento bimetalico sensitivo; dos tiras metálicas de distintos coeficientes de dilatación térmica empalmados internamente entre sí, enroscados en una espiral y conectado un extremo a un pivote que comunica el movimiento circular resultante de los cambios de temperatura a una aguja indicadora.

DESCRIPCION DEL APARATO

PANEL CON CUBA PARA CONTENER EL SISTEMA SUJETO DE MEDICION



ESQUEMA DEL APARATO

1.- Termómetros Bimetálicos

Intervalos: 100 - 500 °C
0 - 200 °C
-50 - +50 °C

2.- Termómetros industriales de vidrio

Intervalos: 0 - 110 °C
-40 - 140 °C

3.- Termómetros sistema lleno

Intervalos: -40 - 65 °C
40 - 100 °C

4.- Termopar y lector (tipo K)

Intervalos: 0 - 1000 °C

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.- Sistema lleno, operación neumática

Intervalo: 0 - 50°C

6.- Cuba baja temperatura

7.- Cuba alta temperatura

8.- Cuba temperatura media

9.- Parrilla eléctrica

10.- Interruptor termopar

TECNICA DE OPERACION:

- 1) Elaboración de mezcla criogénica (Ej. Sal y Hielo)
- 2) Se quiebra el hielo en pedazos pequeños (frapé)
- 3) Se colocan dentro de la cuba correspondiente a baja temperatura, capas alternadas de hielo y sal hasta una altura de 3 cm aproximadamente.
- 4) Se mide la temperatura con un termómetro de laboratorio que llamaremos patrón y espere hasta una temperatura constante, anótela.
- 5) Se procede a hacer mediciones con los termómetros bimetálico, industrial y sistema lleno que corresponden al intervalo de medición de la siguiente manera:
- 6) Uno a la vez, se introduce el bulbo o zona sensible dentro de la mezcla criogénica y se toman lecturas cada 15 segundos, anotándose éstas en la tabla de mediciones hasta que la temperatura sea constante (3 lecturas iguales).
- 7) Una vez que se ha hecho lo anterior con los tres instrumentos, se retira la mezcla criogénica de la cuba que será lavada y secada cuidadosamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA

El alumno entregará al profesor lo siguiente:

- a) La hoja de datos obtenidos en la práctica.
- b) Una gráfica en papel milimétrico de tiempo vs temperatura de los tres instrumentos.
- c) Los cálculos de los errores absoluto y relativo en relación a la temperatura del termómetro designado como patrón.
- d) El cuestionario resuelto.

CUESTIONARIO

- 1) Explique el porqué de la baja temperatura de la mezcla criogénica.
- 2) Dé una definición no coloquial de temperatura.
- 3) ¿Por qué el Mercurio es adecuado para este tipo de mediciones de baja temperatura?
- 4) Explique detalladamente el funcionamiento de un termómetro bimetalico.
- 5) Diga una ventaja notoria del termómetro de sistema lleno en comparación con los otros dos en cuanto a su aplicación.
- 6) ¿A qué puede atribuirse que las temperaturas medidas no coincidan en un 100%?
- 7) ¿Qué es el coeficiente de dilatación térmica y como se puede determinar?

DATOS OBTENIDOS EN: BAJA TEMPERATURA

min. °C →

| TIEMPO | BIMETALICO 1 | IND. DE VIDRIO 2 | SISTEMA LLENO 3 |
|--------|--------------|------------------|-----------------|
| 0.25 | | | |
| 0.5 | | | |
| 0.75 | | | |
| 1 | | | |
| 1.25 | | | |
| 1.5 | | | |
| 1.75 | | | |
| 2 | | | |
| 2.25 | | | |
| 2.5 | | | |
| 2.75 | | | |
| 3 | | | |
| 3.25 | | | |
| 3.5 | | | |
| 3.75 | | | |
| 4 | | | |
| 4.25 | | | |
| 4.5 | | | |
| 4.75 | | | |
| 5 | | | |
| 5.25 | | | |
| 5.5 | | | |
| 5.75 | | | |
| 6 | | | |
| 6.25 | | | |
| 6.5 | | | |
| 6.75 | | | |
| 7 | | | |

Tiempo de respuesta = _____ - _____ - _____

Temperatura Patrón = _____

T. BIMETALICO IND. DE VIDRIO SIST. LLENO

| | | | |
|-------------------|--|--|--|
| ERROR ABSOLUTO °C | | | |
| ERROR RELATIVO % | | | |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PRACTICA No. 2

TEMPERATURA MEDIA

OBJETIVOS:

Introducir al alumno en el conocimiento y la utilización de instrumentos de medición de temperatura.

El alumno será capaz de determinar, según su criterio, las ventajas y deficiencias de cada instrumento en base a su propia experiencia sobre la práctica.

FUNDAMENTOS TEORICOS

La temperatura es una de las propiedades que poseen los sistemas que nos proporciona un dato de mucha importancia para poder definir termodinámicamente un sistema.

De lo anterior deriva la importancia de contar con instrumentos adecuados para la medición de la temperatura.

Termodinámicamente se puede definir la temperatura como:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{N,V}$$

DONDE: U = Energía Interna N = No. de Moles
 S = Entropía V = Volumen

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANALIZANDO LO ANTERIOR

La derivada de dos variables de estado es también una variable de estado y deberá tener las mismas características de estado que las propiedades fundamentales mismas.

Cualquier variación de U , manteniendo constantes N y V siempre produce una variación de S del mismo signo, por tanto la temperatura termodinámica siempre deberá tener signo positivo.

$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{N,V}$ deberá tender a cero a baja energía, donde existe un cero absoluto de temperatura.

La temperatura termodinámica queda definida como: Una variable de estado positiva cuya magnitud varía desde cero (a niveles energéticos extremadamente bajos) hasta valores muy altos, en la medida que aumenta la energía de un sistema.

El equipo a utilizar en esta práctica son cinco instrumentos de medición de temperatura.

- a) Termómetro bimetalico
- b) Termómetro industrial de vidrio
- c) Termómetro sistema lleno
- d) Termopar tipo K

Los tres primeros se basan en la dilatación térmica de los cuerpos y el termopar en el efecto termoeléctrico descubierto por T.S. Seebeck.

El termómetro bimetalico consta de un vástago de longitud variable según se requiera. En el interior de este vástago hueco, en la parte inferior, se encuentra el elemento bimetalico sensible que está formado por dos tiras metálicas de distintos coeficientes de dilatación térmica, empalmadas la una a la otra formando una sola tira, la cual está enroscada formando una espiral, que al dilatarse en diferente proporción a un mismo cambio de temperatura da por efecto un movimiento circular que comunica a la aguja indicadora de la carátula por medio de un pivote que se proyecta desde el extremo del elemento bimetalico hasta la carátula por dentro del vástago.

El termómetro industrial de vidrio es un tubo de vidrio sellado que contiene en su parte inferior un bulbo lleno de mercurio que se proyecta hacia arriba por un tubo capilar y al dilatarse o contraerse en respuesta a los cambios de temperatura sube o baja a lo largo de la escala graduada.

El termómetro sistema lleno está formado por un bulbo sensible metálico que contiene un líquido, un gas o un líquido en equilibrio con su vapor. Tiene un tubo capilar flexible que lleva el fluido hasta el tubo de bourdón o espiral indicadora, tubo plano en forma de C que responde con un movimiento de apertura o distanciamiento de sus extremos según varíe la presión en su interior en respuesta a los cambios de temperatura, movimiento que es amplificado por un sistema de engranes y que se indica en la carátula.

El termopar se basa en el efecto termoeléctrico observado por T.S. Seebeck en 1821, el cual consiste en que en un circuito cerrado formado por dos alambres de distinto material unidos en sus extremos, se genera corriente eléctrica al calentar una de las uniones y manteniendo la otra temperatura ambiente.

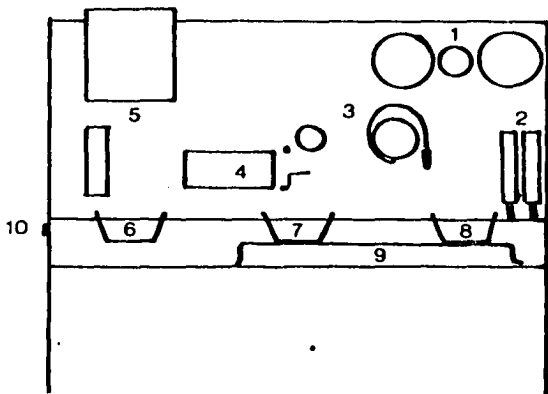
La diferencia de potencial existente para que se produzca esta corriente eléctrica se conoce como fem térmica.

Los principios del flujo de electrones indican que la fem producida resulta de los diferentes niveles de energía en los dos metales.

En esta práctica se utiliza también un termómetro de sistema lleno pero cuya manera de transmitir su lectura a una escala se hace por medio de aire comprimido dirigido a un receptor neumático que es sensible a los cambios de presión, es una transducción de señales.

DESCRIPCION DEL APARATO

PANEL CON CUBA PARA CONTENER EL SISTEMA SUJETO DE MEDICION



ESQUEMA DEL APARATO

1.- Termómetros Bimetálicos

Rangos: 100 - 500 °C
0 - 200 °C
-50 - +50 °C

2.- Termómetros industriales de vidrio

Rangos: 0 - 110 °C
-40 - 140 °C

3.- Termómetros sistema lleno

Rangos: -40 - 65 °C
40 - 100 °C

4.- Termopar y lector (tipo K)

Rango: 0 - 1000 °C

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.- Sistema lleno, operación neumática

Rango: 0 - 50 °C

6.- Cuba baja temperatura

7.- Cuba alta temperatura

8.- Cuba temperatura media

9.- Parrilla eléctrica

10.- Interruptor termopar

TECNICA DE OPERACION

- 1) Se coloca agua en la cuba correspondiente a temperatura media y se calienta a ebullición por medio de la parrilla eléctrica y se continúa con el calentamiento.
- 2) Se mide la temperatura del agua a ebullición con un termómetro de laboratorio que utilizaremos como patrón, se anota la temperatura cuando ésta se haga constante.
- 3) Se procede a tomar lecturas con los termómetros, uno a uno hasta que lleguen a una lectura constante cada 30 seg. y se anotan en la hoja de datos.
- 4) El elemento sensible del termopar es el alambre trenzado de color amarillo que sobresale de una perforación en el panel y que puede ser extraído de éste hasta que se pueda aplicar directamente en el agua.
- 5) El interruptor del termopar se encuentra fijado en la parte superior de la pata posterior izquierda del panel, una vez colocado el elemento sensible en el agua se enciende y se procede a tomar lecturas cada 30 segundos.
- 6) Una vez hecho lo anterior se enfría el agua hasta 40 °C y se trata de mantener esta temperatura constante por medio del termómetro patrón y calentamiento intermitente con la parrilla eléctrica.

- 7) Se enciende el compresor de aire situado en el fondo de los laboratorios de ingeniería y se esperan 10 minutos para que llegue a cierta presión.
- 8) Se abre la válvula de bola que deja el paso al aire hacia el instrumento neumático, esta válvula se encuentra justo enfrente de la entrada al laboratorio de control, junto a la pared, esta línea de aire es la que no tiene regulador a la entrada.
- 9) Se observa el instrumento neumático que cuenta con un regulador y un manómetro, la presión del aire debe mantenerse a 1.5 Kg/cm^2 constante, por medio del regulador.
- 10) El receptor neumático, (parte inferior izquierda del panel) posee un rango lineal de $0 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ y el instrumento de medición tiene un rango de $0 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$, por tanto la temperatura será la que indique el receptor dividida entre dos (lectura porcentual)
- 11) Una vez estabilizado el instrumento neumático se procede a introducir el vástago al final del capilar en la cuba con el agua a $40 \text{ }^\circ\text{C}$, tratando de que el líquido cubra lo más posible la superficie del elemento sensible y se proceden a tomar lecturas cada 30 segundos manteniendo siempre la temperatura a $40 \text{ }^\circ\text{C}$, hasta que en el receptor neumático se alcance una lectura estable. Se anotan las lecturas.
- 12) Se vacía el agua y se seca muy bien la cuba hidroneumática correspondiente a media temperatura.

TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA

El alumno entregará al profesor lo siguiente:

- a) La hoja de datos obtenidos en la práctica.
- b) Una gráfica en papel milimétrico de tiempo vs. temperatura de todos los instrumentos usados en esta práctica.
- c) Los cálculos de los errores absoluto y relativo en relación a la temperatura del termómetro designado como patrón.
- d) El cuestionario resuelto.

CUESTIONARIO

- 1) Si no tuviera termómetro patrón ¿Qué temperatura tomaría como referencia para calcular los errores absoluto y relativo de los termómetros? Mencionala y explique.
- 2) Explique a fondo el efecto termoeléctrico en que se basa el funcionamiento de los termopares.
- 3) ¿Qué ventajas tiene el instrumento cuya lectura se hace por medio neumático? (en la industria)
- 4) ¿Qué inconvenientes presenta en su lectura el termómetro de sistema lleno (carátula negra) utilizado en la práctica?

DATOS OBTENIDOS EN: MEDIA TEMPERATURA

Min. °C →

| TIEMPO | BINETALICO ¹ | SIST. LLENO ² | TERMOPAR ³ | IND. DE VIDRIO ⁴ | SIST. NEUMATICO ⁵ |
|--------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 0 | | | | | |
| 0.5 | | | | | |
| 1 | | | | | |
| 1.5 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 2.5 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 3.5 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 4.5 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 5.5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 6.5 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 7.5 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 8.5 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 9.5 | | | | | |
| 10 | | | | | |

Tiempo de respuesta = _____

Temperatura patrón: _____ °C

Temperatura patrón: _____ °C
(neumático)

T. bimetalico S. Lleno Termopar Ind. de Vidrio Sist Neumatico

| | T. bimetalico | S. Lleno | Termopar | Ind. de Vidrio | Sist Neumatico |
|---------------------|---------------|----------|----------|----------------|----------------|
| ERROR ABSOLUTO (°C) | | | | | |
| ERROR RELATIVO % | | | | | |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PRACTICA No. 3

TEMPERATURA ALTA

OBJETIVOS

Introducir al alumno en el conocimiento y la utilización de instrumentos de medición de temperatura.

El alumno será capaz de determinar, según su criterio, las ventajas y deficiencias de cada instrumento en base a su propia experiencia sobre la práctica.

FUNDAMENTOS TEORICOS

La temperatura es una de las propiedades que poseen los sistemas que nos proporciona un dato de mucha importancia para poder definir termodinámicamente un sistema.

De lo anterior deriva la importancia de contar con instrumentos adecuados para la medición de la temperatura.

Termodinámicamente se puede definir la temperatura como:

$$T = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{N,V}$$

DONDE: U = Energía interna

N = No. de moles

S = Entropía

V = Volumen

ANALIZANDO LO ANTERIOR

La derivada de dos variables de estado es también una variable de estado y deberá tener las mismas características de estado que las propiedades fundamentales mismas.

Cualquier variación de U , manteniendo constantes N y V siempre produce una variación de S del mismo signo, por tanto, la temperatura termodinámica siempre deberá tener signo positivo.

$\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_{N,V}$ deberá tender a cero a baja energía, a baja energía, hay un cero absoluto de temperatura.

La temperatura termodinámica queda definida como: Una variable de estado positiva cuya magnitud varía desde cero (a niveles energéticos extremadamente bajos) hasta valores muy altos, en la medida que aumenta la energía de un sistema.

El equipo a utilizar en esta práctica son dos instrumentos de medición de temperatura.

- a) Termómetro bimetalico
- b) Termopar tipo K

El primero se basa en la dilatación térmica de los cuerpos y el termopar en el efecto termoeléctrico descubierto por T.S. Seebeck.

El termómetro bimetalico consta de un vástago de longitud variable según se requiera. En el interior de este vástago hueco, en la parte inferior, se encuentra el elemento bimetalico sensible que está formado por dos tiras metálicas de distintos coeficientes de dilatación térmica, empalmadas la una a la otra formando una sola tira, la cual está enroscada formando una espiral, la cual al dilatarse en diferente proporción a un mismo cambio de temperatura da por efecto un movimiento circular que comunica a la aguja indicadora de la carátula por medio de un pivote que se proyecta desde el extremo del elemento bimetalico hasta la carátula por dentro del vástago.

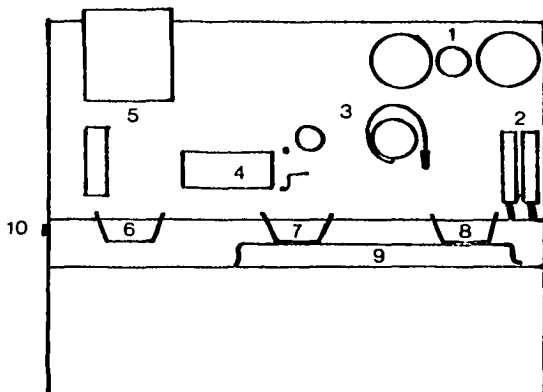
El termopar se basa en el efecto termoeléctrico observado por T.S. Seebeck en 1821, el cual consiste en que en un circuito cerrado formado por dos alambres de distinto material unidos en sus extremos, se genera una corriente eléctrica al calentar una de las uniones y manteniendo la temperatura ambiente.

La diferencia de potencial existente para que se produzca esta corriente eléctrica se conoce como fem térmica.

Los principios del flujo de electrones indican que la fem producida resulta de los diferentes niveles de energía en los dos metales.

DESCRIPCION DEL APARATO

Panel con cuba para contener el sistema sujeto de medición.



ESQUEMA DEL APARATO

1.- Termómetros bimetálicos

Rangos: 100 - 500 °C
0 - 200 °C
-50 - +50 °C

2.- Termómetros industriales de vidrio

Rangos: 0 - 110 °C
-40 - 140 °C

3.- Termómetros sistema lleno

Rangos: -40 - 65 °C
40 - 100 °C

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 4.- Termopar y lector (Tipo k)
Rango: 0 - 1000 °C
- 5.- Sistema lleno, operación neumática
Rango: 0 - 50 °C
- 6.- Cuba baja temperatura
- 7.- Cuba alta temperatura
- 8.- Cuba temperatura media
- 9.- Parrilla eléctrica
- 10.- Interruptor termopar

TECNICA DE OPERACION

- 1) Se calienta el aceite de la cuba correspondiente a alta temperatura a una temperatura de 180°C y se procura mantenerla constante por medio de calentamiento intermitente de la parrilla eléctrica (la temperatura se establece por un termómetro que consideramos patrón).
- 2) Se proceden a tomar las lecturas con el termopar cada 30 segundos hasta que se hagan constante. Se anotan.
- 3) Se toman después lecturas con el termómetro bimetalico, se anotan en la hoja de datos.
- 4) Se apaga la hornilla, y se limpian los elementos sensibles de los termómetros.

TRABAJO POSTERIOR A LA PRACTICA

El alumno entregará al profesor lo siguiente:

- a) La hoja de datos obtenidos en la práctica.
- b) Una gráfica en papel milimétrico de tiempo vs. temperatura de ambos termómetros.

CUESTIONARIO

- 1) Sugiera otro sistema para esta práctica, y explique sus ventajas, si las tiene sobre el aceite utilizado.
- 2) De los dos instrumentos utilizados, liste según su juicio, las ventajas y desventajas de uno respecto del otro.

DATOS OBTENIDOS EN: ALTA TEMPERATURA

Min °C —

| TIEMPO | TERMOMETRO BIMETALICO 1 | TERMOPAR 2 |
|--------|-------------------------|------------|
| 0 | | |
| 0.5 | | |
| 1 | | |
| 1.5 | | |
| 2 | | |
| 2.5 | | |
| 3 | | |
| 3.5 | | |
| 4 | | |
| 4.5 | | |
| 5 | | |
| 5.5 | | |
| 6 | | |
| 6.5 | | |
| 7 | | |
| 7.5 | | |
| 8 | | |
| 8.5 | | |

Tiempo de respuesta = _____

Temperatura patrón: _____

| | BIMETALICO | TERMOPAR |
|-------------------|------------|----------|
| Error Absoluto °C | | |
| Error Relativo % | | |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C A P I T U L O V

C O N C L U S I O N E S

- 5.1 RESULTADOS (TABLAS)

- 5.2 GRAFICAS

- 5.3 CONCLUSIONES GENERALES

5.1 RESULTADOS (TABLAS)

DATOS OBTENIDOS EN: BAJA TEMPERATURA

| min. | °C → | | |
|--------|------------|----------------|---------------|
| TIEMPO | BIMETALICO | IND. DE VIDRIO | SISTEMA LLENO |
| 0.25 | 8 | 10 | 9 |
| 0.5 | - 2 | 0 | - 3 |
| 0.75 | - 7 | - 6 | - 8 |
| 1 | -11 | -10 | -10 |
| 1.25 | -13 | -12 | -12 |
| 1.5 | -15 | -16 | -14 |
| 1.75 | -16 | -16 | -15 |
| 2 | -16.5 | -18 | -18 |
| 2.25 | -17 | -18 | -20 ← |
| 2.5 | -17.5 | -18 | -20 |
| 2.75 | -17.5 ← | -20 ← | -20 |
| 3 | -18 | -20 | -20 |
| 3.25 | -18 | -20 | |
| 3.5 | -18 | -20 | |
| 3.75 | -18 | | |
| 4 | -18 | | |
| 4.25 | | | |
| 4.5 | | | |
| 4.75 | | | |
| 5 | | | |
| 5.25 | | | |
| 5.5 | | | |
| 5.75 | | | |
| 6 | | | |
| 6.25 | | | |
| 6.5 | | | |
| 6.75 | | | |
| 7 | | | |

Tiempo de respuesta = 3 min. - 2.57 min. - 2.25 min.

Temperatura Patrón = -20°C

| | T. BIMETALICO | IND. DE VIDRIO | SIST. LLENO |
|-------------------|---------------|----------------|-------------|
| ERROR ABSOLUTO °C | 2° | 0 | 0 |
| ERROR RELATIVO % | 10% | -- | -- |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DATOS OBTENIDOS EN: MEDIA TEMPERATURA

Min. °C →

| TIEMPO | BIMETALICO | SIST. LLENO | TERMOPAR | IND. DE VIDRIO | SIST. NEUMATICO |
|--------|------------|-------------|----------|----------------|-----------------|
| 0 | 18 | 40 | 20 | 17 | 20 |
| 0.5 | 76 | 90 ← | 80 | 70 | 36 |
| 1 | 82 | 90 | 85 | 84 | 38.5 |
| 1.5 | 84 | 90 | 90 ← | 86 | 39 ← |
| 2 | 85 | | 90 | 87 | 39 |
| 2.5 | 86 | | 90 | 88 | 39 |
| 3 | 87 ← | | | 88 | 39 |
| 3.5 | 87 | | | 89 | |
| 4 | 87 | | | 90 ← | |
| 4.5 | | | | 90 | |
| 5 | | | | 90 | |
| 5.5 | | | | | |
| 6 | | | | | |
| 6.5 | | | | | |
| 7 | | | | | |
| 7.5 | | | | | |
| 8 | | | | | |
| 8.5 | | | | | |
| 9 | | | | | |
| 9.5 | | | | | |
| 10 | | | | | |

Tiempo de respuesta = 3 min - 0.5 min - 1.5 min - 4 min - 2 min
(15 seg)

Temperatura patrón: 93.3 °C

Temperatura patrón: 41 °C
(neumático)

T. bimetalico S. Lleno Termopar Ind. de Vidrio Sist Neumatico

| | | | | | |
|---------------------|------|--------|------|------|------|
| ERROR ABSOLUTO (°C) | 5.8 | 3.33°C | 3.33 | 3.33 | 2 |
| ERROR RELATIVO % | 6.21 | 3.53 | 3.53 | 3.53 | 2.44 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DATOS OBTENIDOS EN: ALTA TEMPERATURA

Min °C —

| TIEMPO | TERMOMETRO BIMETALICO | TERMOPAR |
|--------|-----------------------|----------|
| 0 | 20 | 20 |
| 0.5 | 130 | 120 |
| 1 | 140 | 150 |
| 1.5 | 150 | 160 |
| 2 | 170 | 175 |
| 2.5 | 175 | 180 |
| 3 | 180 | 185 |
| 3.5 | 185 | 190 |
| 4 | 190 | 195 |
| 4.5 | 190 | 200 ← |
| 5 | 195 ← | 200 |
| 5.5 | 195 | 200 |
| 6 | 195 | 200 |
| 6.5 | 195 | |
| 7 | | |
| 7.5 | | |
| 8 | | |
| 8.5 | | |

Tiempo de respuesta = 5 min. = 4.5 min.

Temperatura patrón: 200 °C

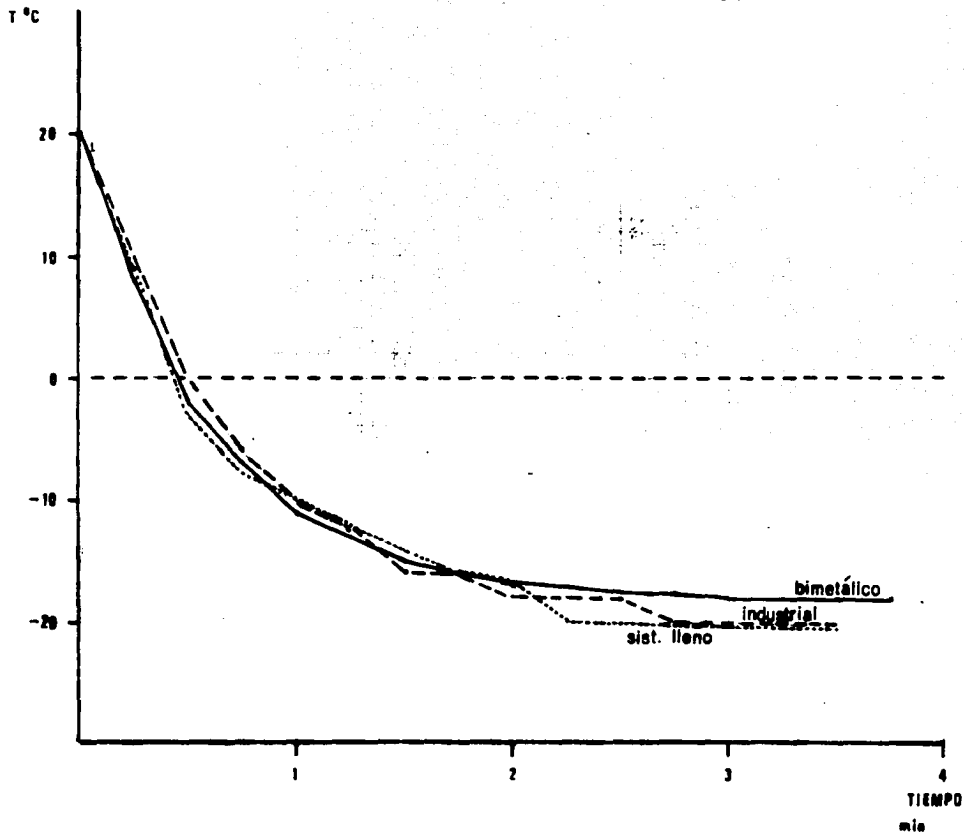
| | BIMETALICO | TERMOPAR |
|-------------------|------------|----------|
| Error Absoluto °C | 5° | 0° |
| Error Relativo % | 2.5 | -- |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.2 GRAFICAS

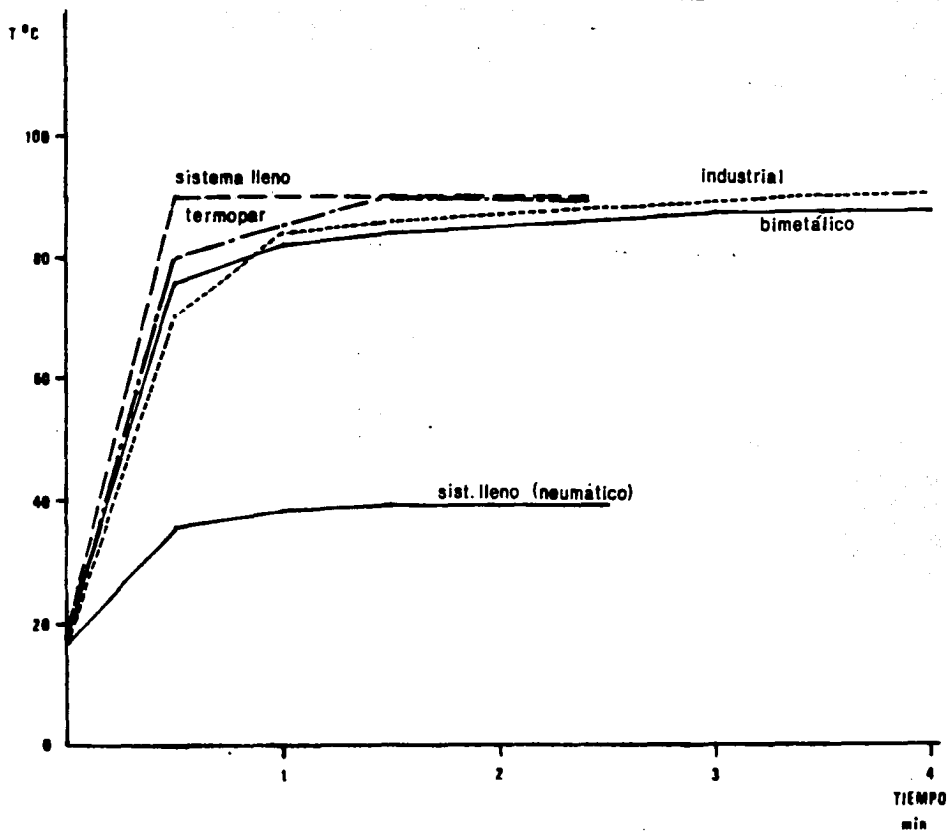
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BAJA



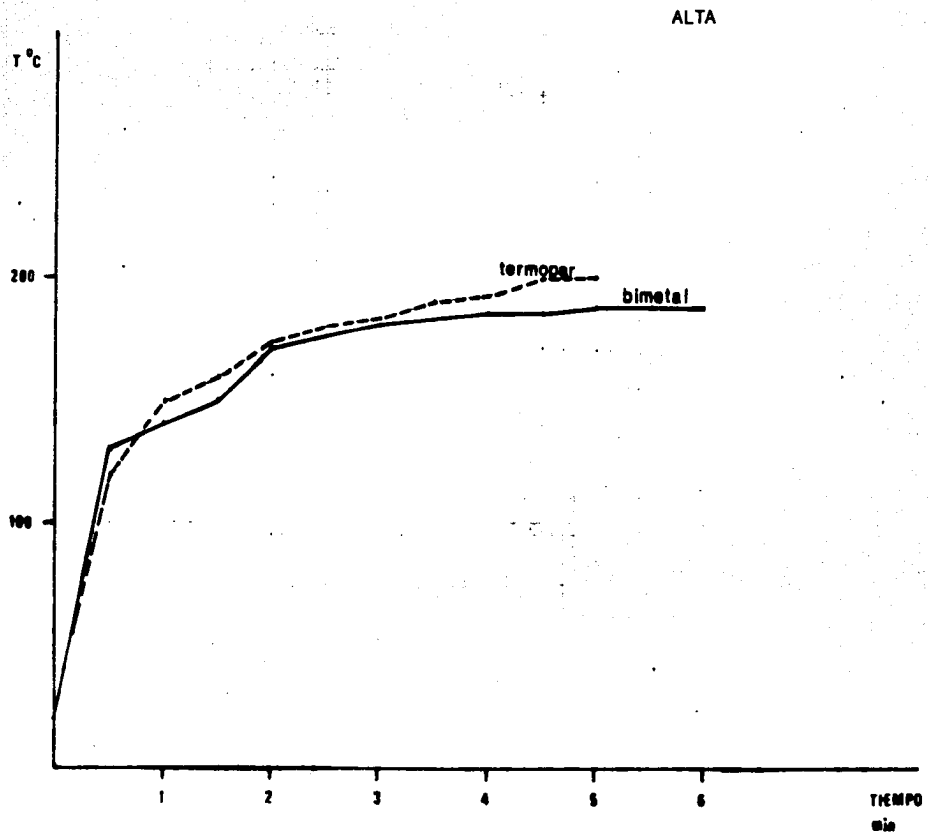
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEDIA



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



5.3 CONCLUSIONES GENERALES

- 1) El equipo ideado para llevar a cabo prácticas de medición de temperatura cumple con los requisitos de:
funcionalidad, facilidad de manejo y principalmente, su objetivo didáctico de que se conozcan algunos de los instrumentos de medición de temperatura de aplicación común dentro de la industria de procesos.

 - 2) Son factores importantes para la correcta selección de un instrumento de medición de temperatura los siguientes:
 - a) Rango de temperatura durante el proceso a medir.

 - b) Precisión requerida

 - c) Velocidad de respuesta del instrumento

 - d) Facilidad de instalación y lectura

 - e) Costo del equipo
- El orden de estos factores puede cambiar según la variable que se considere crítica para cada caso.