

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA**



**ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS  
APLICADO AL DISEÑO Y REDISEÑO  
DE MAQUINAS**

**PRESENTA**

**FELIPE A. GOMEZ CAVAZOS**

**COMO REQUISITO  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO**

**CD. UNIVERSITARIA**

**FEBRERO DE 1996**

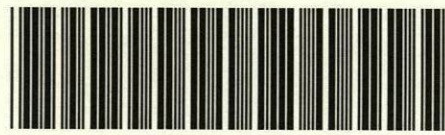
7

PA413

.5

G6

E.1



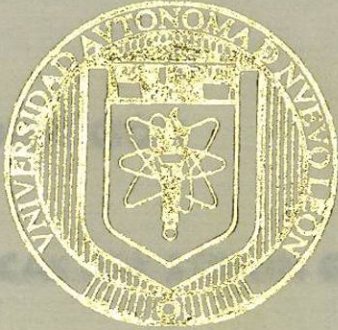
1080064367

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA

TEMA

PAGINA



1.- INTRODUCCION

2

2.- TÉCNICA

3

3.- TÉCNICAS DE FOTODELASTICIDAD

4-6

4.- TÉCNICA ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS  
APLICADO AL DISEÑO Y REDISEÑO  
DE MAQUINAS

6-7

5.- TÉCNICA APLICADA DEL

8-10

6.- TEORIA DEL STRAIN GAGE

11-67

PRESENTA

FELIPE A. GOMEZ CAVAZOS

7.- APLICACIONES

68

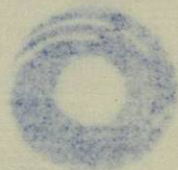
8.- BIBLIOGRAFIA

69

COMO REQUISITO  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO

CD. UNIVERSITARIA

FEBRERO DE 1996



LIBRERIA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Handwritten signature or initials in the bottom right corner.

T  
A4L  
.5  
96

thesis

# ÍNDICE

<b>TEMA</b>	<b>PAGINA</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2.- TÉCNICAS DEL STRAIN GAGE</b>	<b>3</b>
<b>3.- TÉCNICAS DE FOTOELASTICIDAD</b>	<b>4-6</b>
<b>4.- TÉCNICAS DE LACA FRÁGIL</b>	<b>6-7</b>
<b>5.- TÉCNICA APLICADA DEL STRAIN GAGE</b>	<b>8-10</b>
<b>6.- TEORÍA DEL STRAIN GAGE</b>	<b>11-67</b>
<b>7.- APLICACIONES INDUSTRIALES DEL STRAIN GAGE</b>	<b>68</b>
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>69</b>

## INTRODUCCION

El Strain Gage es un elemento muy utilizado en ingeniería en el diseño y rediseño de elementos de maquinas.

Este elemento es capaz de proporcionarnos, con los aparatos auxiliares necesarios, la deformación, su temperatura, que carga soporta, que presión, etc.

El principio básico del funcionamiento del Strain Gage el siguiente:

Como se sabe, la resistencia ohmica de un elemento conductor que tenga una forma y dimensiones dada, puede calcularse apartir de la siguiente formula:

$$R=P(l / A)$$

Donde:

R = Es la resistencia ohmica del material

P = Es la resistividad del material (la cual es una constante diferente para cada material)

l = Es la longitud del material

A = Es el área de sección transversal.

Como la resistencia puede variarse modificando las dimensiones del material. Como sabemos, cuando un material se somete a carga sufre una deformación, aunque esta carga sea muy pequeña.

Si colocamos un Strain Gage es un elemento sometido a carga deformaremos el elemento, así como el Strain Gage; al deformarse el Strain Gage tanto su área como su longitud inicial van a cambiar. Al ocurrir esto cambia su resistencia. Este cambio de resistencia lo podemos detectar con un aparato auxiliar (un puente de Wheatstone generalmente) y para pasarlos a una escala conveniente donde leamos estos cambios ya sea como valores de esfuerzos, deformaciones, temperatura, etc.

Una vez que conocemos alguno o algunos de los parámetros anteriores podemos afirmar, como ingenieros, que tan seguro esta o se encuentra el elemento analizado. En caso de que este seguro habrá que modificarlo para que su funcionamiento sea eficaz y evitemos una posible falla. Estas modificaciones podrían ser en sus dimensiones cambiando su material, etc.

El área de trabajo de un Strain Gage común es en la elástica dentro de la curva esfuerzo-deformación de un material. Aunque en la actualidad se fabrican Strain Gage para que trabajen en la zona plástica, son mas comunes los que trabajan en zona elástica.

La correcta selección de un Strain Gage depende de muchos factores y tiene que ser cuidadoso. Pero en una forma general la selección del Strain Gage debe de contemplar lo siguiente:

- El tipo de material del que se trata.
- El tipo de carga a la que se encuentra sometido.
- El rango de la carga al que se encuentra sometido.
- El tipo de esfuerzo al que se encuentra sometido.
- Condiciones ambientales.
- El factor de sensibilidad del Strain Gage debe ser el adecuado para una correcta medición

Una vez que se ha hecho la correcta selección del Strain Gage se procede a pegarlo utilizando la técnica adecuada y que se describirá mas adelante.



# TECNICAS DE CAMPO COMPLETO

Como se dijo anteriormente, luego de seleccionar correctamente el Strain Gage, se procede a su pegado. Pero para hacer esto hay que saber donde colocarlo; es decir, saber en que parte de la pieza esta presente el mayor esfuerzo y decir si se encuentra dentro de los limites que permitan un buen factor de seguridad para el elemento.

Para saber el lugar donde el Strain Gage debe ser pegado se hace uso de las llamadas técnicas de campo completo, las cuales son:

1.- Foto-Elasticidad

2.- Lacas frágiles

La finalidad de estas técnicas es de encontrar el área de máximo esfuerzo en el elemento sometido a carga.

La primera técnica que se tratara es:

1.- Foto-Elasticidad

Esta técnica experimental esta limitada a usarse para materiales transparentes como por ejemplo vidrio, plasticos,ceramicos,etc.

Esta técnica utiliza una fuente de luz que se proyecta sobre el elemento para que con la ayuda de un aparato auxiliar, detectar las zonas de máximo esfuerzo. Dicho aparato auxiliar se le conoce como polariscopio y no es mas que una serie de lentes alineados longitudinalmente.

A continuación se detalla las partes del polariscopio y se explica brevemente la función de cada uno de ellos:

a) Una fuente de luz

Esta fuente de luz es la que se proyecta sobre el elemento a analizarse. Puede ser un foco común y corriente o cualquier otra fuente de luz.

El filtro tiene la función de dejar pasar únicamente las ondas de luz de un solo color dependiendo del filtro del que se trata. Por ejemplo, puede ser un filtro verde, un rojo, azul, etc. Las ondas que logran pasar a través del filtro tienen diferente longitud de onda, tienen diferente frecuencia, no tienen un orden y se encuentran en diferentes planos en el espacio.

c) Dos lentes de polaroid

El lente polaroid tiene la función de ordenar las ondas en un solo eje. Estas ondas, sin embargo tienen diferente amplitud.

d) Dos lentes  $\frac{1}{4}$  de onda

El lente de  $\frac{1}{4}$  de onda limita el paso de las ondas de una misma amplitud.

e) Un marco de carga

El marco de carga es propiamente la pieza que se quiere analizar y se encuentra colocado entre los lentes de  $\frac{1}{4}$  de onda.

El funcionamiento del polariscopio es muy simple y sencillo .

Primeramente colocamos la pieza a analizar sobre el marco de carga . Cabe recordar que el material debe ser transparente para que puedan pasar los rayos de luz a través de él. Una vez colocada la pieza se enciende la fuente de luz y se observa cuidadosamente el cuerpo de la pieza a través del último lente polaroid ( que es el que se encuentra más lejano a la fuente de luz y más próximo al marco de carga).

Al ver cuidadosamente el material notaremos que se habrán formado unas sombras en el cuerpo del mismo. Estas sombras al ser más intensas unas que otras nos estará indicando las zonas más esforzadas. Estas zonas son producidas por una serie de líneas que representan a las ondas de luz que pasan a través del material. Entre más líneas haya más esforzado estará el material y se verán más oscuras las sombras.

Aunque la finalidad de esta técnica es de encontrar la zona más esforzada, podemos conocer el esfuerzo al que está sometido el material utilizando la siguiente fórmula:

$$\sigma = K (N / t )$$

Donde:

$\sigma$  = Representa el esfuerzo.

K = Es una constante llamada constante de franja y es propia de cada material.

N = Es el numero de franjas de la zona.

t = Representa el espesor del material.

La otra técnica utilizada para encontrar las zonas de alto riesgo es la que se describe a continuación . Esta técnica puede utilizarse en metales, no así la técnica anterior. Esta técnica nos indica únicamente el lugar donde se encuentra la zona mas esforzada pero no nos dice el valor del esfuerzo en dicha zona . A esta técnica se le llama de Laca Frágil.

## 2.- Laca frágil:

La forma de llevar a cabo esta técnica es muy simple y sencilla y se describe a continuación:

- Se aplica sobre el elemento de la maquina trabajando una pintura frágil llamada "stresscoat".
- Esta capa de pintura se rompe en grietas dando o fijando la zona de alto riesgo.
- Cuando las grietas son muy finas y no se alcanza a ver a simple vista se procede a colocar una capa de pintura reflejante sobre todo el cuerpo del elemento analizado y posteriormente se remueve esta pintura con un trapo.
- En la zona donde existen grietas no se remueve la pintura ya que esta se adhiere al material y de esta manera podemos ver mas fácilmente la zona de mas alto riesgo.

- Las dos técnicas anteriores, tanto como la Laca frágil como la de Foto-Elasticidad nos indican el lugar donde se encuentra la zona mas esforzada así como también nos indica la dirección del esfuerzo ( la dirección del esfuerzo se obtiene trazando una línea perpendicular a otra línea que sigue la alineación de las líneas en una técnica y la alineación de las grietas en la otra) lo que nos indica en una forma precisa el valor de dicho esfuerzo; es por esto que para conocer el valor real del esfuerzo requerimos usar otra técnica mas exacta y precisa y que es la técnica del Strain Gage.

## TECNICA DEL STRAIN GAGE

Esta técnica nos permite conocer el valor real del esfuerzo en un elemento de una maquina sometida a carga. Además, con los aparatos adecuados podemos conocer otros parámetros como carga, presión, temperatura, deformación, etc.

Esta técnica requiere de elementos auxiliares como:

- 1) Un puente de Wheatstone.
- 2) Una barra compensadora con un Strain Gage pegado ( la barra debe ser del mismo material el cual queremos conocer el esfuerzo).
- 3) Una fuente de energía ( generalmente de 12 volts).
- 4) Un galvanómetro o amperímetro.

Esta técnica es sumamente sencilla y consiste en pegar el Strain Gage en la dirección correcta ( dichas técnicas fueron comentadas con mayor detalle anteriormente).

Una vez pegado el Strain Gage se procede a soldar dos cables conductores calibre 26 o 28 a sus terminales. Estos cables se conectan a un par de terminales del puente. En otro par de terminales se conecta la barra compensadora. Esta compensadora tiene la función de nivelar los cambios por temperatura que se podrían presentar en el elemento a analizar.

Los otros dos pares de terminales del puente van conectados a una resistencia fija y una resistencia variable respectivamente. Por un extremo del puente se alimenta mediante la fuente de energía y en el otro extremo se conecta al galvanómetro o amperímetro; el galvanómetro o amperímetro nos indica cuando el puente esta equilibrado.

Cuando hacemos todas las conexiones y energizamos el puente, y el galvanómetro marque corriente, procedemos a mover la resistencia variable ( la cual esta graduada en una escala conveniente donde se puede leer esfuerzo, deformación, etc.).

En el puente de que se dispone en el laboratorio leemos deformación unitaria. Si quisiéramos el esfuerzo, este se obtendrá con solo multiplicar este valor por el modulo de la elasticidad del material del elemento .

## PEGADO DE STRAIN GAGE

Los materiales de los cuales esta hecho el strain gage son muy variados y pueden ser :

- Cromo-niquel
- Cobre-niquel
- Platino-tungsteno

Los tipos de Strain Gage que existen son 4 y a continuación se señalaran:

- Simples : Nos indican la deformación en un sentido.
- Duales : Nos indican la deformación en dos sentidos.
- Múltiples : Nos indican la deformación en tres sentidos.
- Diafragma : Nos indican la deformación en forma radial.

El pegamento que se utiliza para la fijación del Strain Gage al elemento es un cemento de epoxico y puede ser Duco o Eastman 910.

Los recubrimientos que se utilizan para la protección del Strain Gage contra el medio ambiente son muy variados y pueden ser :

- Cera microcristalina.
- Plástico.
- Cemento.
- Silicon
- Asbesto mezclado con resina epoxica.

A continuación se describen el procedimiento para el pegado de un Strain Gage en un elemento de una maquina.

- 1) Se limpia la superficie con una lija suave.

- 1) Se limpia la superficie con una lija suave.
- 2) Se trazan los ejes de referencia.
- 3) Se limpia la superficie con acetona utilizando gasa o isopos de algodón.
- 4) Se limpia la superficie con amoníaco diluido al 40%.
- 5) Se limpia la superficie con ácido fosfórico diluido al 5%.
- 6) Se pega el Strain Gage utilizando el cemento epoxico.

En este paso lo que se hace primero sacar el Strain Gage de su envoltura, colocarlo sobre una superficie limpia y con un pedazo de cinta scotch colocando la cinta sobre el Strain Gage y es adherido.

Luego colocamos un poco de pegamento epoxico en la zona donde pegaremos el Strain Gage de la siguiente manera:

\* Pegamos un extremo del pedazo de cinta y con el dedo índice vamos oprimiendo de este lado de la cinta hasta el otro extremo restante poco a poco hasta lograr que el Strain Gage haya sido puesto en contacto en la superficie impregnada de pegamento.

\* Se espera de 10 a 15 minutos y se retira con mucho cuidado el pedazo de cinta dejando pegado el Strain Gage .

- 7) Se procede a soldar los extremos del Strain Gage.

Después de haber pegado el Strain Gage se procede a soldar los extremos con mucho cuidado con dos cables de calibre 26 o 28.

- 8) Se recubre la zona donde se pego el Strain Gage con algún recubrimiento adecuado ( en nuestro caso fue cera microcristalina).

- 9) Con una cinta "masking tape" se cubre la zona y soldamos los extremos de los alambres que sobresalen .

Por ultimo cubrimos con cinta la zona y soldamos los extremos por debajo del recubrimiento con el elemento . Esto con el fin de evitar el desorendimiento de los mismos con algún tirón involuntario o accidental .

# ESFUERZO Y DEFORMACION UNITARIA.

## GENERALES.

Un cuerpo sólido puede estar cargado por fuerzas de cuerpo (gravedad, fuerza centrífuga etc.), por fuerzas de superficie, o por ambas. Las fuerzas resultantes internas serán referidas como esfuerzos. Para nuestro propósito, esfuerzo será definido como una fuerza que actúa sobre un área unitaria.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Donde :} \quad \begin{array}{l} \sigma = \text{Esfuerzo normal (lbs/In}^2\text{)} \\ P = \text{Carga (lbs)} \\ A = \text{Area de la sección Transversal} \\ \quad \text{normal al eje de carga (In}^2\text{)} \end{array}$$

Ejemplos de esfuerzos son: Tensión, Compresión, flexión, cortadura y torsión:

Un cuerpo sólido sujeto a un esfuerzo manifestará deformación. La magnitud de la deformación depende principalmente de las propiedades elásticas del material. Cualquier cambio dimensional será referido como deformación unitaria.

Deformación unitaria es definida como un cambio en longitud sobre la longitud unitaria debido a las fuerzas aplicadas.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{Donde:} \quad \begin{array}{l} \epsilon = \text{Deformación unitaria axial (ins/in)} \\ \Delta L = \text{Cambio en longitud (ins)} \\ L = \text{Longitud unitaria (in)} \end{array}$$

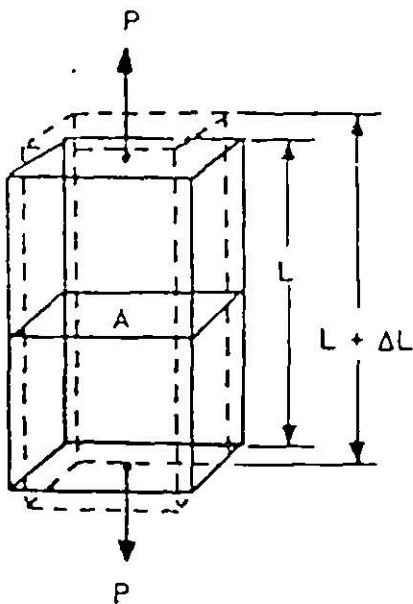


Fig. 1

La relación entre esfuerzo y deformación unitaria está ilustrada en una curva típica esfuerzo-deformación unitaria. Inicialmente, la relación entre las fuerzas aplicadas y la deformación dimensional aparece como una relación lineal. Esta región elástica termina en el límite proporcional donde termina la linealidad. Eventualmente hay incrementos de elongación sin incremento apreciable en la carga aplicada (referido como el punto de fluencia si el esfuerzo se incrementa otra vez con una deformación unitaria adicional). El pico de la curva indica el máximo esfuerzo y es llamado Resistencia Última. Debajo de este punto la curva decae hasta el punto de fractura. Mientras que el esfuerzo real o verdadero continúa incrementándose por arriba de la Resistencia Última, la curva indica los esfuerzos basados en el área de la sección transversal original.



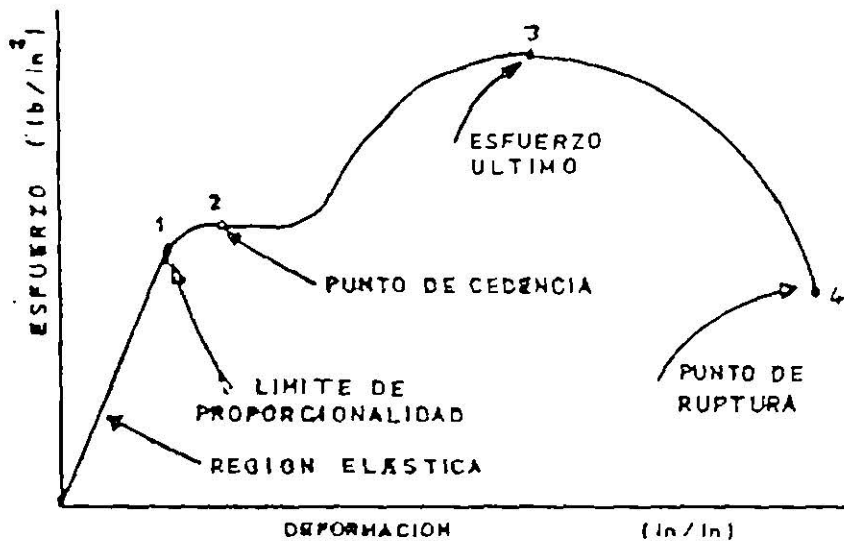


Fig. 2

Robert Hooke descubrió la relación entre esfuerzo y deformación unitaria. Mas tarde Thomas Young determinó las constantes elásticas para varios materiales en un ensayo de tensión; que cuando la multiplicamos por la deformación unitaria es igual al esfuerzo resultante. Estas constantes son conocidas como módulos de Young o módulo de elasticidad. Esto es la ley de Hooke.

$$\sigma = E\varepsilon \text{ Donde: } E = \text{Módulo de Young (Lb/in}^2\text{)}$$

$$\text{de Donde: } \varepsilon = \Delta L/L \text{ y } \sigma = P/A$$

$$\text{Entonces: } \sigma = E \Delta L/L = E\varepsilon$$

$$E = \sigma/\varepsilon = (P/A)/(\Delta L/L)$$

$$\varepsilon = \sigma/E = (P/A)/E$$

Notese que la Ley de Hooke y el módulo de young son validos solamente para carga de tensión uniaxial dentro de la región elástica de la curva esfuerzo-deformación unitaria.

Sin embargo: para los metales más comunes en ingeniería, cargados uniaxialmente a compresión resulta una variación despreciable de ' E ' de la obtenida en tensión, hablando practicamente.

$$E \text{ Tensión} = E \text{ Compresión}$$

Cuando toma lugar una deformación en un cuerpo sólido bajo la acción de carga axial, no solamente hay cambio de longitud axial sino también lateral o cambio de dimensión normal. Simeon Poisson cuantificó esta relación por medio de la razón de la deformación unitaria lateral a la deformación unitaria axial.

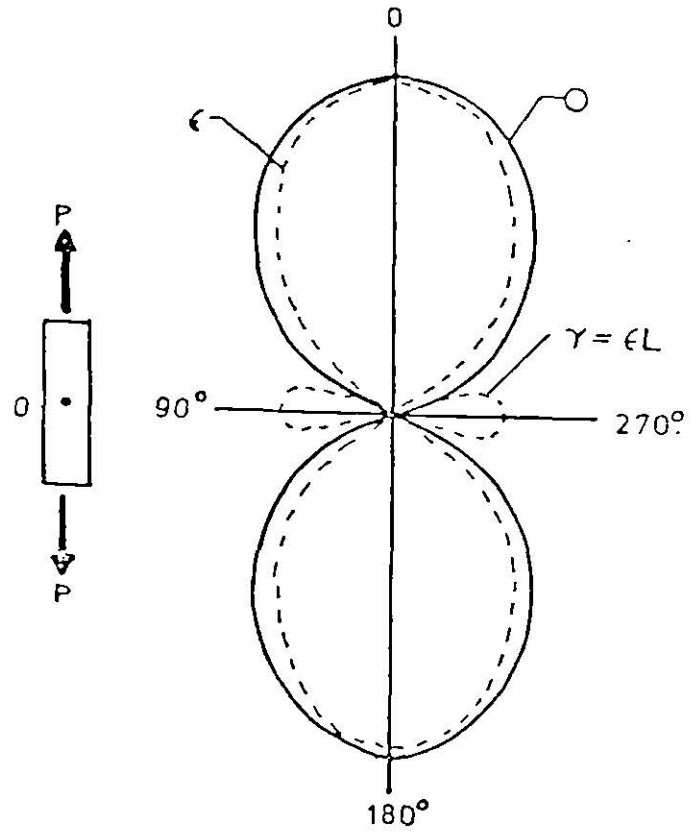
$$\mu = -\varepsilon_L/\varepsilon_A \text{ Donde } \mu = \text{razón de Poisson}$$

$$\varepsilon_L = \text{Elongación Lateral (ins/in)}$$

$$\varepsilon_A = \text{Elongación Axial (ins/in)}$$

El valor negativo de  $\varepsilon_L$  compresión.

El rango de valores de la razón de poisson es desde 0.3 a 0.7. Una comparación relativa entre esfuerzo y deformación unitaria puede ser hecha de un cuerpo cargado uniaxialmente ( a tensión ).



TRAZO DEL PUNTO POLAR  
EN TENSION

Fig. 3

Trayectoria polar del punto O en tensión.

La resistencia eléctrica es una propiedad eléctrica de un material la cual depende de la concentración de electrones libres. La geometría del conductor afecta también la resistencia.

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

- DONDE: R = Resistencia (ohms)  
 P = Resistividad específica (ohms-in)  
 L = Longitud (ins)  
 A = Area de la sección (in<sup>2</sup>)

En 1865 Lord Kelvin condujo experimentos con alambres de cobre y acero bajo cargas de tensión. Empleando un puente de Wheastone, concluyó que la resistencia eléctrica del alambre variaba con el incremento de la Deformación Unitaria y que los dos materiales variaban en la sensitiviada a la Deformación Unitaria.

$$S_A = 1 + 2\mu + (d\rho/\rho)/(dL/L)$$

DONDE S<sub>A</sub> = Sensitividad del conductor

Note que la resistencia específica y la geometría del conductor cambian con la Deformación Unitaria.

El factor de sensitividad del alambre sensor de un calibrador de deformación de la minilla típico será referido como el factor de celda.

$$C.F. = (\Delta R/R)' / (\Delta L/L)$$

DONDE  $(\frac{\Delta R}{R})'$  = Cambio de resistnecia eléctrica de un Calibrador de Deformación encapsulado.

El factor de celda de un Calibrador de Deformación de laminilla tiene un rango de 2.0 a 4.0.

Ejemplo:

$$C.F. = 2.0$$

$$R. = 350 \Omega$$

$$\Delta R. = 0.7 \Omega$$

$$\Delta L = \left( \frac{\Delta R}{R} \right) / C.F.$$

$$= (0.7/350) / 2.0$$

$$\frac{\Delta L}{L} = 0.001 \frac{\text{ins}}{\text{in}} \text{ ó}$$

$$= 1000 \times 10^{-6} \text{ ins/in}$$

$$= 1000 \frac{\text{MICROIN}}{\text{IN}}$$

Usando esta información el esfuerzo puede ser calculado:

considere: E = 10.5 X 10<sup>6</sup>  
 y la deformación dentro de la región elástica

$$\sigma = E\epsilon = 10.5 \times 10^6 (0.001) = 10,500 \text{ psi}$$

\* CIRCUITO POTENCIOMETRO

GENERALES:

Uno de los circuitos más simples para calibradores de deformación es el circuito potenciómetro (representado abajo) en el cual el calibrador de deformación se conecta

Las tres principales componentes de un circuito potenciómetro son:

- 1.- Fuente de Potencia, la cuál proporcione un voltaje constante (V) al circuito.
- 2.- Calibrador de Deformación Unitaria con una resistencia inicial  $R_g$ .
- 3.- Resistencia, con una resistencia inicial -  $R_b^*$  para controlar la corriente en el circuito.

\* Esta resistencia puede ser otro Calibrador de Deformación.

Junto con las componentes mencionadas, hay también muchos medios para obtener una lectura de salida del cambio en voltaje a través del calibrador. El tipo de lectura deseado dependerá de la magnitud del cambio en voltaje y de la precisión con la cual se desee hacer la medición.

### PUENTE DE WHEATSTONE

#### GENERALES:

La idea fundamental al usar el puente de Wheatstone con Calibradores de Deformación es para cambiar el nivel de referencia ( $E + \Delta E$ ) tal que el valor numérico de E sea reducido efectivamente a cero.

Cuando se usa el circuito puente de Wheatstone (para calibradores de deformación como circuito de resistencias) se balancea de tal forma que la salida sea cero -- cuando se aplique un voltaje de entrada.

Cuando toma lugar un desbalanceo subsecuente en las resistencias del circuito, la cantidad de desbalanceo es representada por la salida.

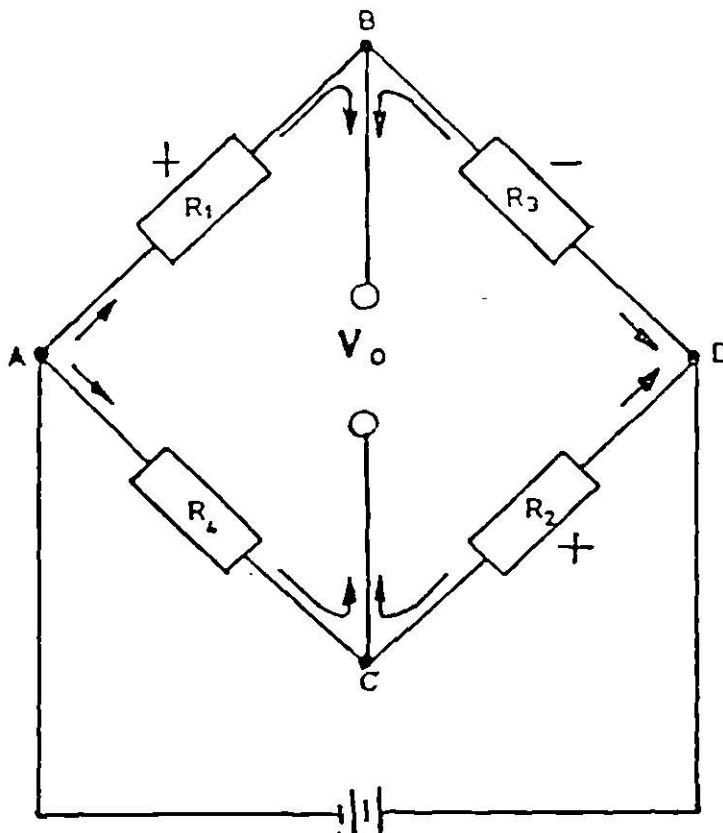


Fig. 5

## Solución

Ecuación	Razón
(1) $I_1 R_1 =$ Caída de Voltaje AB	
(2) $I_2 R_2 =$ Caída de Voltaje CD	
(3) $I_3 R_3 =$ Caída de Voltaje BD	Por Ley de OHR
(4) $I_4 R_4 =$ Caída de Voltaje AC	
(5) $I_1 R_1 = I_4 R_4$	
(6) $I_3 R_3 = I_2 R_2$	Condición requerida para salida cero.
Pero	
(7) $I_1 = I_3$	
(8) $I_2 = I_4$	Por deformación circuito serie.
De Donde	
(9) $I_1 R_3 = I_4 R_2$ o $I_4 = \frac{I_1 R_3}{R_2}$	Substituyendo $I_1$ por $I_3$ y $I_4$ por $I_2$
(10) $I_1 R_1 = \frac{I_1 R_3}{R_2} (R_4)$	Substituyendo la ecuación (9) por $I_4$ y en la ecuación (5)
(11) $I_1 R_1 = \frac{I_1 R_3 R_4}{R_2}$ De donde	Solución Algebraica
(12) $R_1 R_2 = R_3 R_4$	

El principio de la operación depende de la deflexión del Calibrador de Deformación o Calibradores, los cuales generan un cambio en resistencia, que desbalancea el circuito, como resultado para una salida dada el voltaje de salida varía proporcionalmente y el cambio de voltaje  $\Delta E$  puede ser leído con un instrumento apropiado. Las ventajas del circuito puente de Wheatstone sobre el circuito potenciómetro son muchas. La ventaja principal es que puede medir Deformación Unitaria; tanto estáticas como dinámicas convenientemente combinadas. En la mayoría de los casos la compensación por temperatura puede ser lograda en un rango de temperaturas muy basta. La manipulación de las características de conteo del puente de Wheatstone puede aumentarse el puente de salida, tanto como cuatro veces la salida de un calibrador simple. También el puente de Wheatstone puede cancelar componentes no deseadas e lucradas en la medición; por ejemplo es necesario eliminar una flexión unitaria cuando se aplican cargas directamente axiales. El caso inverso también puede ser realizado. Esto es las cargas axiales pueden ser canceladas tal que se midan solamente Deformación Unitaria, debidas a la flexión. Sujeto a la posibilidad de algunas pequeñas no-linealidades; cuando se miden Deformación Unitaria muy grandes las salidas del puente de Wheatstone deben ser:

- 1.- Directamente proporcionales al voltaje aplicado
- 2.- Directamente proporcional a las sumas y diferencias de las cargas unitarias en las resistencias en las cuatro ramas. Hay una regla general que puede ser usada como una guía se leccionar de la rama o ramas del puente en la temperatura correcta compensación en la salida del arreglo de calibradores de deformación. La regla es: El puente de Wheatstone será desbalanceado solamente en proporción a la diferencia algebraica de los cambios de resistencia en cualquiera de

sensibilidad seleccionada del transductor. Las terminales verde y negra están conectadas a un punto de alambre balanceador como se representa tal que el producto de las ramas opuestas sea igual a  $R_1(R_2 + R_{2B}) = (R_3 + R_{3B}) R_4$

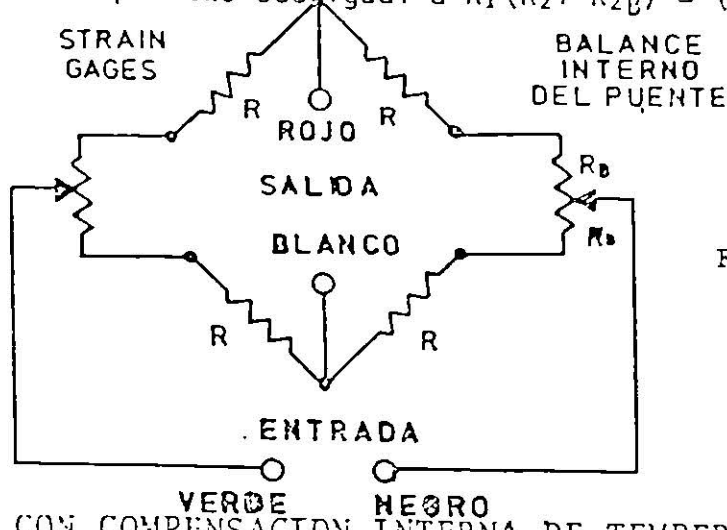


Fig. 7

PUENTE CON COMPENSACION INTERNA DE TEMPERATURA

Porque cada una de las resistencias de los cuatro calibradores no cambian en la misma proporción con la variación de temperatura. El puente estará desbalanceado. Esto produce un voltaje de salida, el cual simula una carga mecánica con cambio de temperatura, la compensación interna de temperatura está formada por la introducción de un alambre compensador de temperatura usualmente dentro de la esquina superior del puente y localizada en la sección de sensibilidad a la temperatura del transductor siguiente al calibrador de deformación. La terminal roja está conectada a los dos extremos del alambre condensador de temperatura tal que los productos de las ramas opuestas restantes son igual a un rango de temperatura dado.  $(R_1 + R_{1B} + R_{TC}) (R_2 + R_{2B}) = (R_3 + R_{3B}) (R_4 + R_{4B})$ .

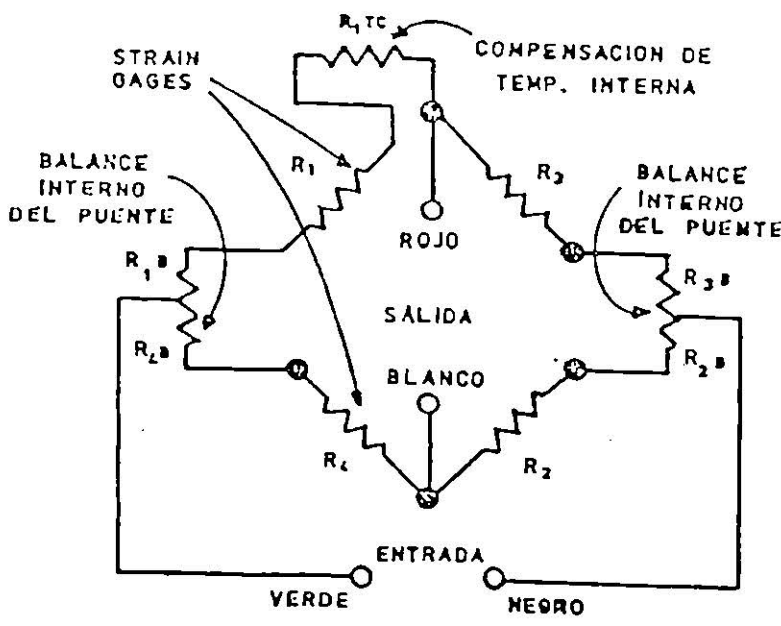


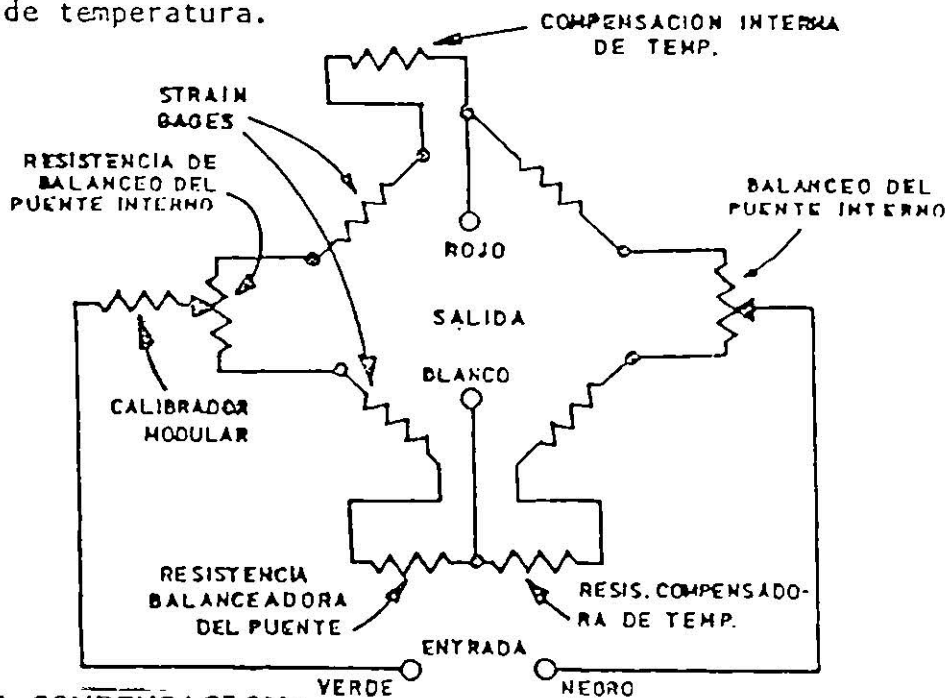
Fig. 8

## PUENTE CON PUENTE DE BALANCEO EXTERNO Y COMPENSACION DE TEMPERATURA.

Las resistencias del puente de balanceo externo y compensación de temperatura son usadas para ajustar el puente cuando sucede un desbalanceo durante el ensamble de un transductor.

La resistencia del puente de balanceo externo y compensación de temperatura es usualmente de alambre en serie en las esquinas blancas del puente. La resistencia de compensación de temperatura y la resistencia del puente balanceador las dos son de alambre y formando la misma función que los alambres del puente de balanceo interno y compensación de temperatura.

Fig. 9



### PUENTE CON MODULO DE COMPENSACION:

Como casi todos los metales se vuelven más flexibles con el aumento de temperatura (por ejemplo) el módulo de elasticidad tiene un coeficiente de temperatura negativo; el transductor dará una salida muy grande cuando se incrementa la temperatura. Así una carga constante mecánica dará un cambio en la salida como una temperatura variable. Los módulos de compensación están formados por la adición de un módulo calibrador fuera del puente. Este calibrador de compensación para el coeficiente termoelástico del transductor escogido de acuerdo al rango de temperaturas dado y el metal. Los módulos de calibración (de laminilla de níquel) están colocados lo más próximo posible a la sección de sensibilidad a la deformación del transductor y está usualmente alambrada en serie con la esquina verde del puente. Para una carga dada y un cambio de temperatura del puente de salida variará debido al cambio en el módulo de elasticidad del transductor del metal seleccionado. Simultáneamente el módulo de calibración variará su resistencia a un valor apropiado que varía al aplicar el voltaje a través del puente de compensación para el efecto modular en el puente de salida.

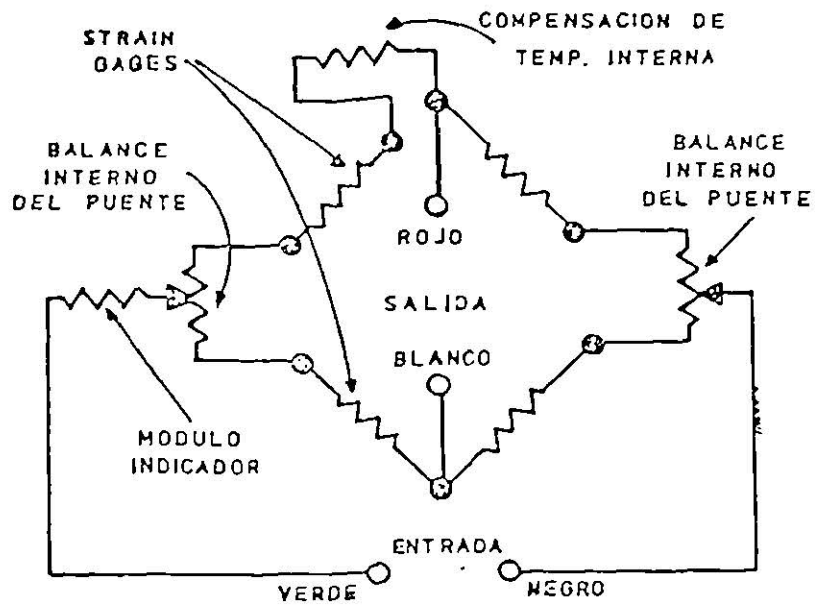


Fig. 10

PUENTE DE VOLTAJE CONSTANTE CON TERMINALES DE RESISTENCIA AJUSTABLE.

Para ajustar la resistencia de entrada de un puente del tipo de voltaje constante a valores estandar, se usa una terminal de resistencia ajustable. Esta resistencia es una resistencia de alambre enrollado y está conectada entre las terminales de salida verde y negra. Esto reducirá la resistencia de entrada a un valor apropiado pero no afecta la calibración en milivolts de salida por volts de entrada.

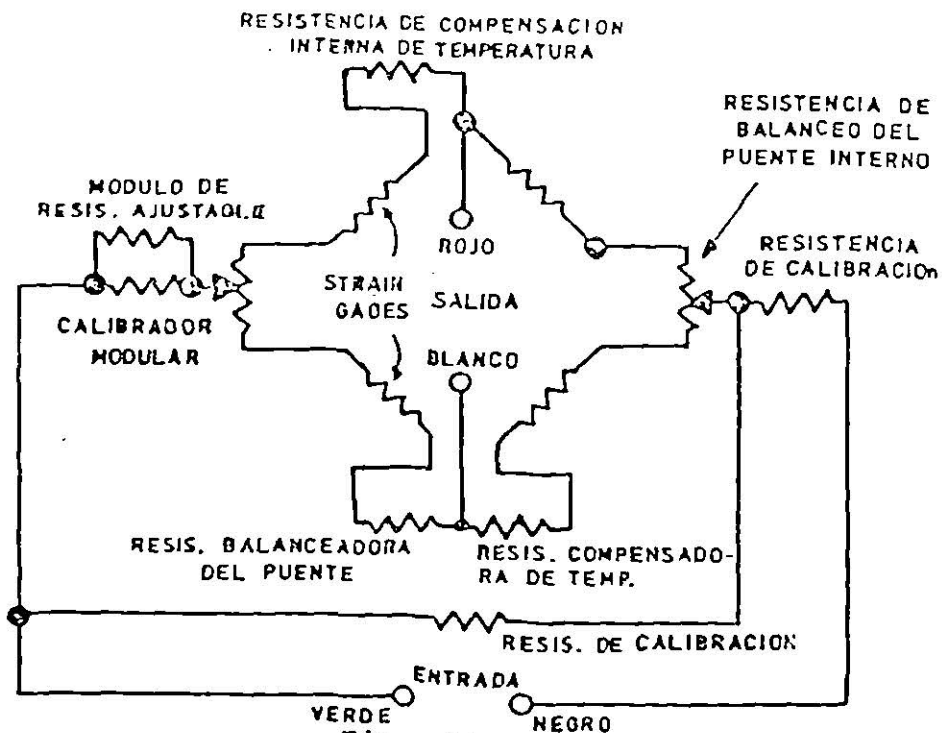


Fig. 11



# PUENTE DE CORRIENTE CONSTANTE CON TERMINAL DE RESISTENCIA AJUSTABLE.

Para ajustar la resistencia de entrada de un puente del tipo de corriente constante a valores estandar se usa una terminal de Resistencia ajustable. Esta resistencia es enrollada y está conectada en serie con la terminal de salida negra. Esto regula la resistencia de entrada a un valor apropiado pero esto no afectará la libración en milivolts de salida por miliamper de entrada.

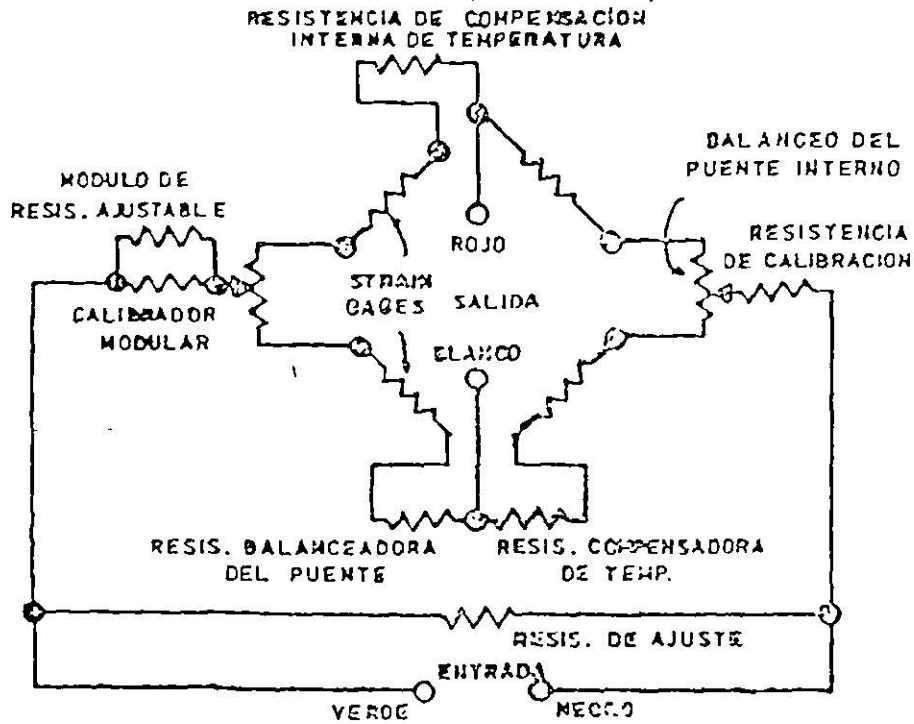


Fig. 12

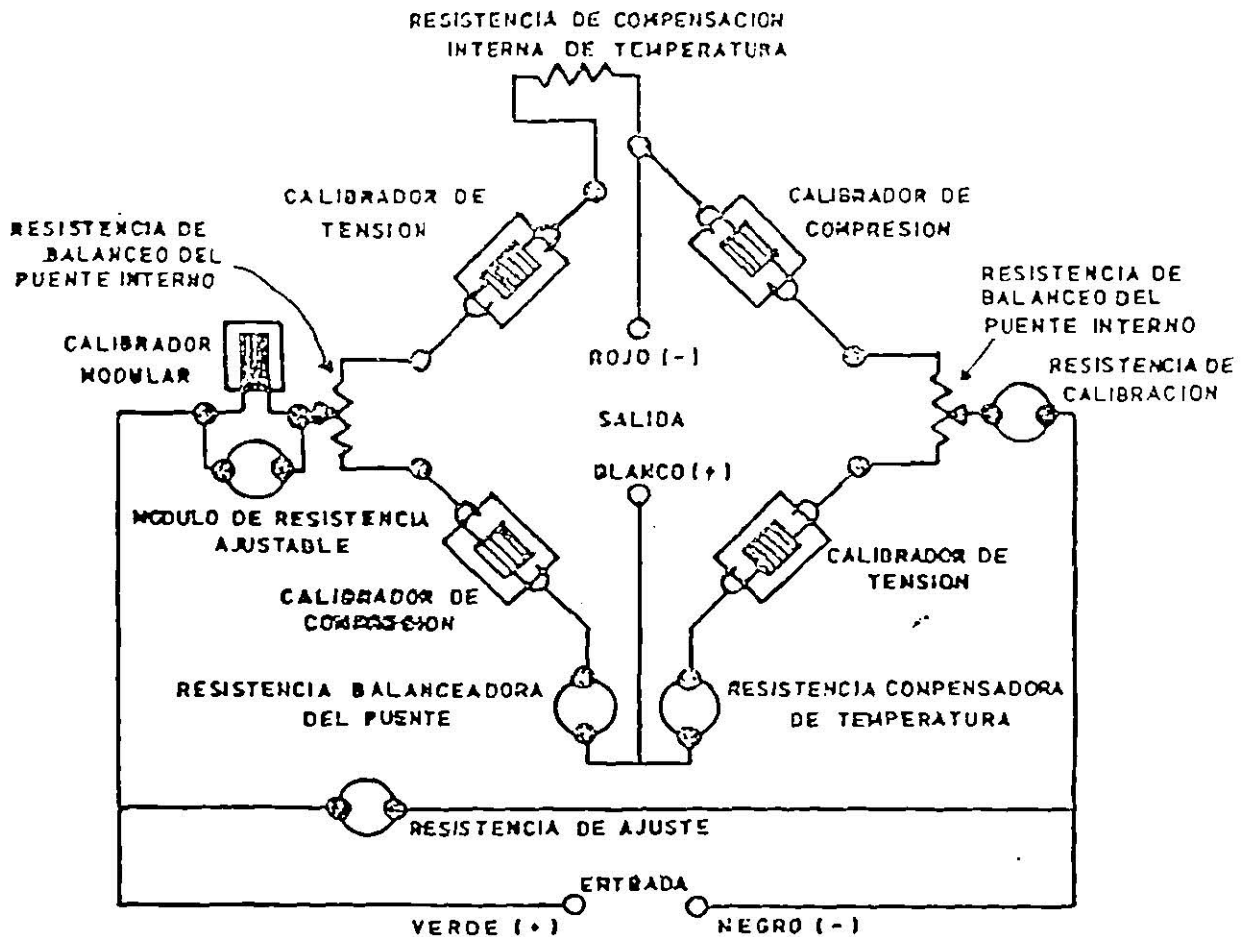
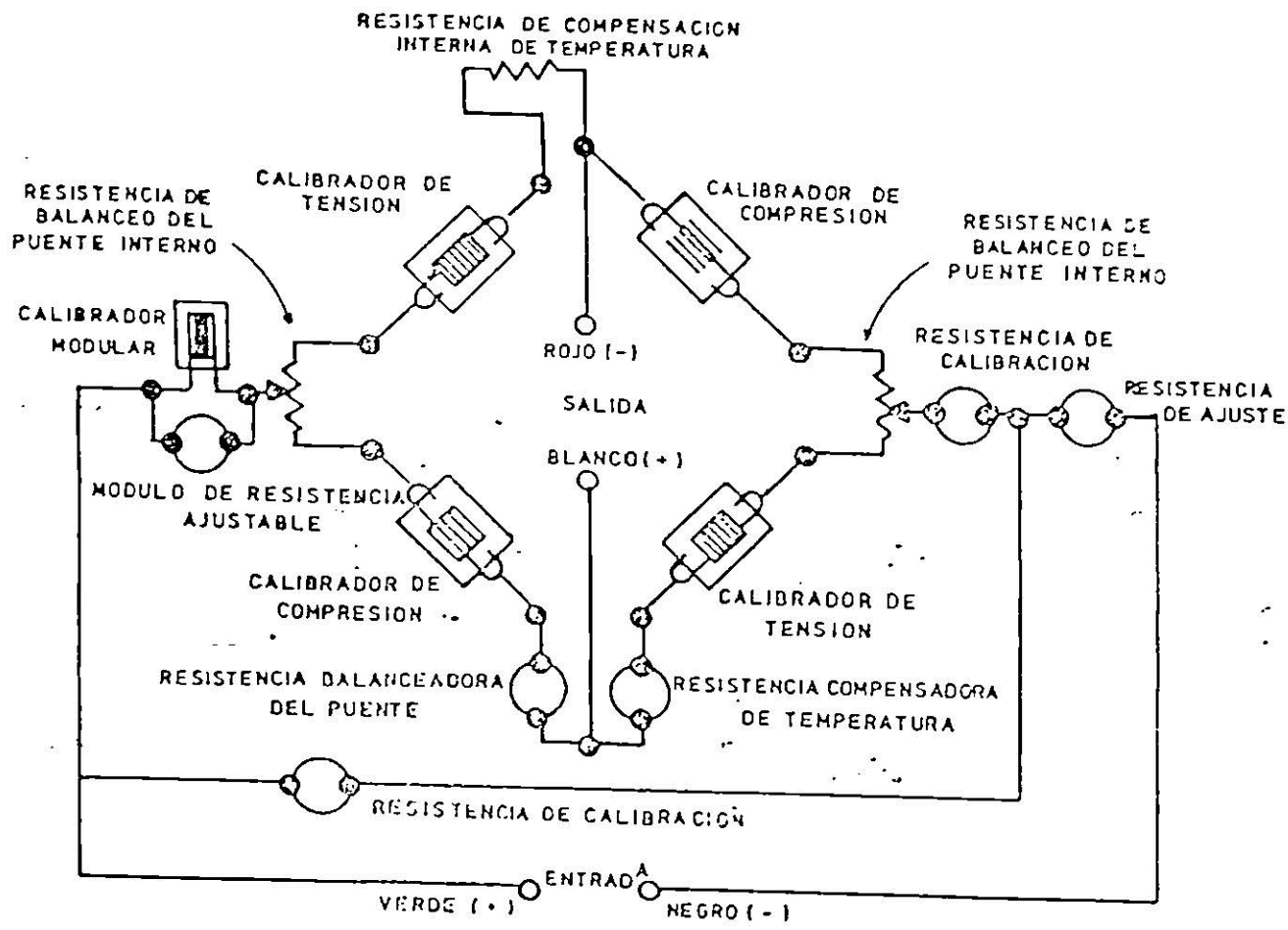


Fig. 13 PUENTE DE VOLTAJE CONSTANTE.



FLEXION

Un calibrador simple en la rama uno está alineado sobre la viga como se muestra un calibrador ficticio (rama tres) es usado para compensación de temperatura. este caso la viga es sensitiva a cualquier componente de carga axial. Salida de Punte = 1

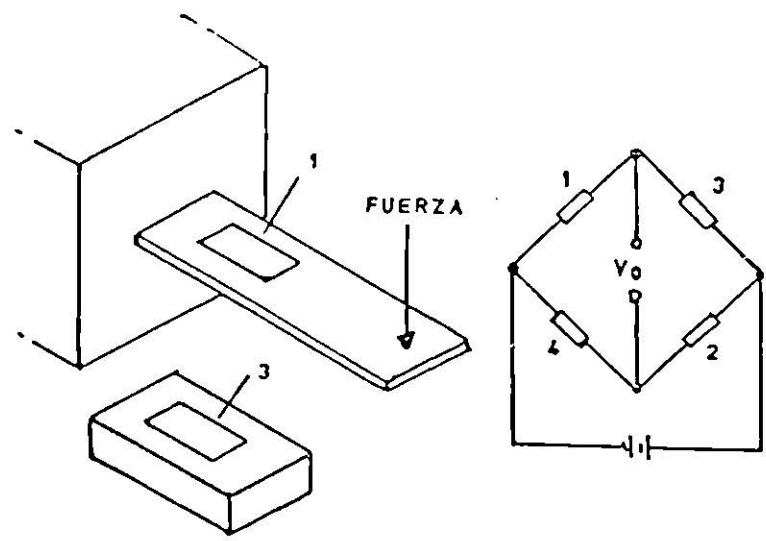


Fig. 15

Un arreglo que puede ser usado si solamente un lado del elemento flexionado es provechado como vibrador. El calibrador uno está montado axialmente y el calibrador dos transversalmente. Si los momentos del calibrador uno y dos son los mismos, la salida del puente deberá ser  $= (1 + \mu)$ . En general, sin embargo, el calibrador dos puede ser montado en un punto de momento flexionante diferente del que tenía el calibrador uno y esto puede ser registrado. La compensación de temperatura deberá ser dispuesta, sin embargo, el efecto de cualquier carga axial no será cancelado. Puente de salida  $= 1 + (a/b) \mu$ .

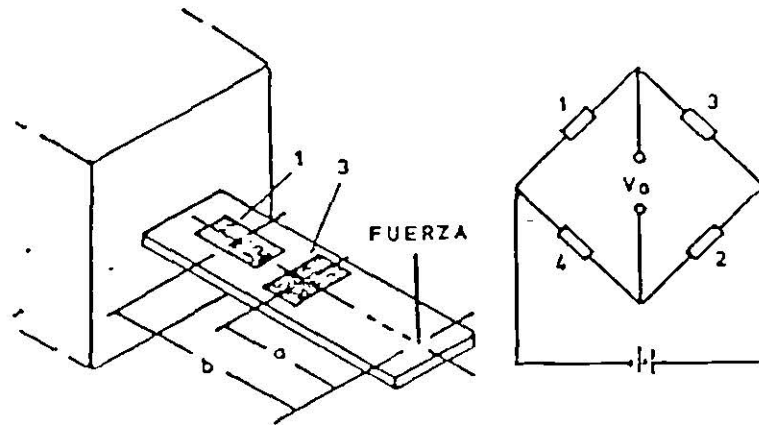


Fig. 16

TEMPERATURA COMPENSADA ELIMINANDO COMPONENTES FLEXIONANTES:

Los calibradores uno y dos serán montados en dirección axial y los calibradores tres y cuatro serán montados lateralmente (referido como calibradores de la relación de poisson).

Para una carga de tensión como se muestra, los calibradores uno y dos reaccionan a la deformación unitaria tensiva mientras los calibradores tres y cuatro captan la deformación unitaria compresiva resultado de la contracción lateral del miembro. Si la razón de poisson es de 0.3 la salida del calibrador será 2.6 veces la salida del calibrador activo simple y 1.3 veces la salida del calibrador activo 2, si el puente  $= 2 (1 + \mu)$ , cuando  $\mu =$  ratio de poisson.

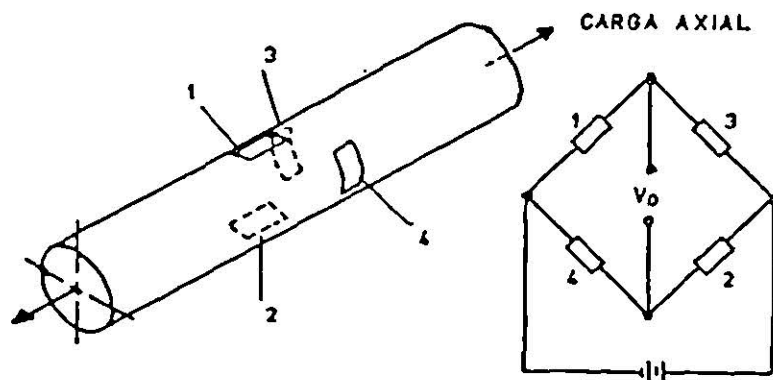


Fig. 17

## CARGA AXIAL:

Dos calibradores medirán la carga axial pero cancelarán la flexión. Dos calibradores de medición son usados en los lados opuestos del puente. Si la flexión se presenta, estos efectos en los calibradores uno y dos serán iguales y de signo opuesto. Los componentes de la flexión por tanto serán cancelados. Los calibradores compensadores tres y cuatro eliminarán los efectos por temperatura. La salida del puente será el doble de un calibrador simple.

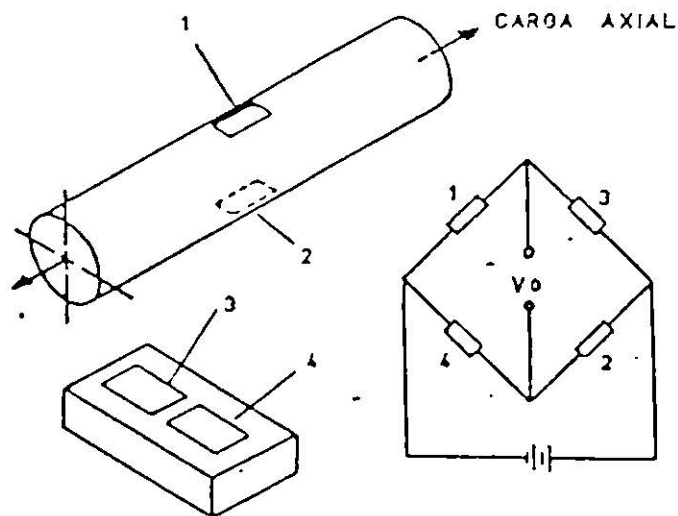


Fig. 18

## ARREGLO DE CELDA DE CARGA

Un arreglo de celda de carga compensada por temperatura y eliminadora de cualquier efecto de carga excéntrico. La salida del puente es  $= (1 + \mu)$ . La ventaja de esta configuración es que al promediar se eliminan las lecturas incorrectas resultantes de algún cargado excéntrico; las dos ramas restantes (2 y 4) pueden ser formadas por calibradores de deformación inactivos o por resistencias fijas.

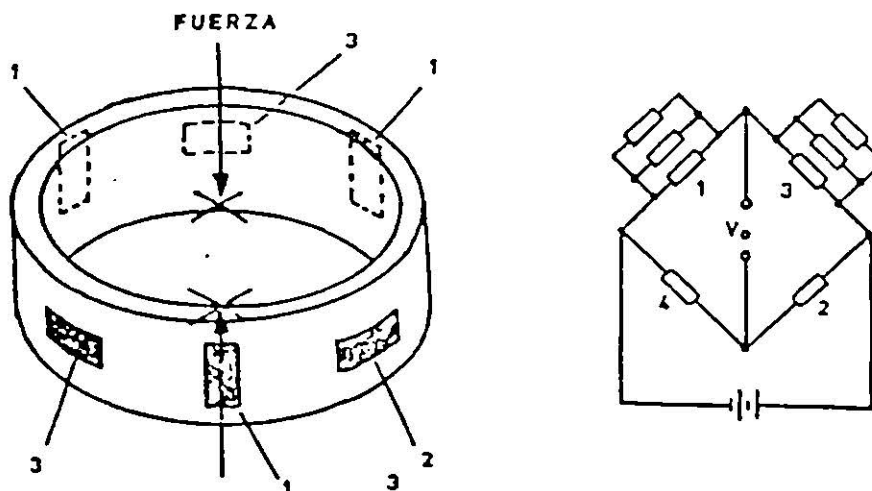


Fig. 19

## TORSION

La orientación de los calibradores es tal que aporten máxima sensibilidad a la torsión, elimine Deformación Unitaria causadas por cargas axiales y minimize deformaciones unitarias causadas por flexión. Los efectos de flexión pueden no ser completamente cancelados. Dependiendo del gradiente del momento a lo largo de la flexión. Por esto es deseable que los calibradores estén localizados lo más cercano posible uno de otro:

Salida de Puente = 4

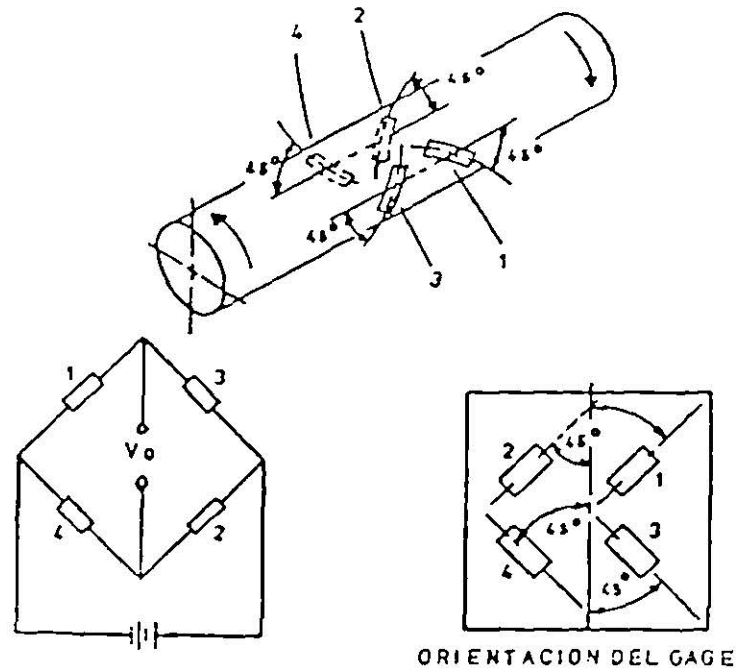


Fig. 20

## EFFECTOS DE TEMPERATURA SOBRE LOS CALIBRADORES DE DEFORMACION:

### GENERALES.

La exactitud de la Deformación Unitaria obtenida a partir de un calibrador de Deformación Unitaria tipo resistencia impresa; esta influenciada por algunos factores contenidos en el medio ambiente, materiales, tiempo e instrumentación. Uno de los más importantes factores ambientales en la medida de Deformación Unitaria Está es el cambio en temperatura del calibrador y del espécimen de prueba durante la medición. Los efectos de dichos cambios en temperatura y la eficiencia de varias técnicas de compensación de temperatura serán discutidas en los siguientes párrafos.

Uno de los mayores problemas causados por usar Calibradores de Deformación Unitaria es la medida de la Deformación Unitaria bajo condiciones de temperatura transitorias, especialmente bajo condiciones ambientales adversas bien abajo o arriba de las condiciones ambientales normales. En dichos casos la deformación en una estructura o componente puede ser causada por fuerzas externas, por esfuerzos térmicos

jados por desigualdad de cambios de temperatura o expansión diferencial. Las componentes de dichas deformaciones pueden ser definidas como a) Deformación Unitaria Mecánica Et, la cual está dentro del límite de elasticidad del espécimen, que es proporcional al esfuerzo en el espécimen, y b) Deformación Unitaria Térmica del espécimen,  $\alpha F$ , la cual ocurre sin restricciones y sujeto a un cambio uniforme de temperatura.

La Deformación Unitaria Mecánica como se definió incluye deformaciones causadas por cargas aplicadas y esfuerzos térmicos. Los analistas de esfuerzos diseñan con criterios basados principalmente en esfuerzos interesándose únicamente en las mediciones de Deformación Unitaria Mecánica. La idea de un calibrador de Deformación Unitaria para análisis de esfuerzos, entonces deberá ser insensitivo a las deformaciones en el espécimen causadas por expansión térmica simple,  $\alpha F$ . Esto puede ser efectuado de varias formas. A través del uso de técnicas simples o el uso de uno de los muchos tipos de calibradores de deformación hechos especialmente para este propósito.

#### CONSIDERACIONES BÁSICAS:

Una explicación simplificada de lo que acontece con un Calibrador de deformación cuando se sujeta a un cambio de temperatura debe incluir cuatro propiedades de los materiales.

Esto es:

- Cf El coeficiente térmico, de resistividad del filamento calibrador en estado libre, sin adherir.  
ohms/ohms/grado
- $\alpha f$  Coeficiente térmico de expansión del filamento calibrador.  
pulgs/pulg/grado
- GF Sensitividad de deformación unitaria del filamento calibrador en.  
ohms/ohm/pulgs/pulg
- $\alpha s$  Coeficiente térmico de expansión del espécimen de prueba al cual el calibrador es adherido en.  
pulgs/pulg/grado

Ambos, el coeficiente térmico de resistividad y el coeficiente térmico de expansión son funciones no lineales y las expresiones exactas involucran términos de segundo o mayor orden. Los datos de los manuales están usualmente expresados como líneas rectas de pendiente sobre un rango especificado de temperatura.

Aunque las características de no linealidad de las funciones de los coeficientes térmicos de expansión y resistencia tienen considerable significado con lo relacionado con compensación de temperatura de calibradores de deformación, para el propósito de esta explicación se simplificará a considerar esto como una relación simple lineal.

Para un filamento libre despegado sujeto a un cambio de temperatura  $\Delta T$ , el cambio unitario en resistencia es:

$$\left( \frac{\Delta R}{R} \right) = CF \times \Delta T$$

Donde R es la resistencia original y  $\Delta R$ , es el cambio en resistencia. Al mismo tiempo el cambio unitario en longitud del filamento será:

$$\left(\frac{\Delta L_f}{L_f}\right) = \alpha_f \times \Delta T$$

Donde L es la longitud original y  $\Delta L$  es el cambio en longitud.

Ahora consideremos el filamento adherido a un especimen de pruebas de manera que el filamento esté obligado a seguir los cambios dimensionales del especimen considerando las causas de dicho cambio. Esto es, en síntesis, el criterio de un calibrador de deformación adherido, si no se obliga al filamento a seguir la deformación, no actuará como calibrador de deformación. El especimen, cuando está sujeto a un cambio de temperatura, sufrirá un cambio unitario en longitud de:

$$\left(\frac{\Delta L_s}{L_s}\right) = \alpha_s \times \Delta T$$

El filamento adherido sufrirá una deformación unitaria mecánica igual a la diferencia entre el cambio en dimensión del especimen y el cambio en dimensión del filamento que ocurriría si el filamento no está obligado. Entonces el filamento es obligado a aceptar la Deformación Unitaria esto es:

$$\epsilon_f = \left(\frac{\Delta L_s}{L_s}\right) - \left(\frac{\Delta L_f}{L_f}\right) = \alpha_s \times \Delta T - \alpha_f \times \Delta T$$

La deformación unitaria impuesta, con respecto a la sensibilidad de respuesta del filamento, producirá un cambio en resistencia igual a:  $\epsilon_f \times GF$ .

El cambio unitario total en resistencia del calibrador adherido cuando se experimenta un cambio de temperatura, puede ser entonces expresado como.

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = CF \times \Delta T + \epsilon_f \times GF =$$

$$CF \times \Delta T + (\alpha_s - \alpha_f) \Delta T \times GF$$

Como se indicó por las ecuaciones anteriores la respuesta de la temperatura de calibrador adherido depende de ciertas propiedades tanto del filamento del calibrador como del especimen de prueba. La respuesta a la temperatura de cualquier calibrador dado puede variar ampliamente, dependiendo de  $\alpha_s$  del material del especimen en el cual se adhiere. Los valores nominales de  $\alpha_s$  para algunos materiales comunes son:

Cuarzo -----	+ 0.5 ppm/F
Acero suave -----	+ 6.5 ppm/F
Acero inoxidable -----	+ 6 a + 9 ppm/F
Aleación de aluminio -----	+ 13 ppm/F
Aleación de magnesio -----	+ 15 ppm/F

Un calibrador de deformación que tiene una temperatura de respuesta CERO sobre cuarzo por ejemplo, debería tener una respuesta de + 6 micro pulgadas/pulgadas fahrenheit; cuando fuera colocado en acero debido a la diferencia en las características de expansión térmica de los materiales del especimen si  $\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$  del calibrador instalado es esencialmente cero sobre un rango de temperatura podríamos decir que el calibrador está compensado para el material particular sobre el cual está adherido sobre un rango de temperatura designado. Con ciertos límites entonces un cambio de temperatura de un especimen sin esforzar producirá un cambio en resistencia despreciable en el calibrador adherido y entonces no aparecerá

Indicaciones de deformación unitaria que podrían ser mal interpretadas como productoras de esfuerzos.

## MÉTODOS PARA COMPENSACION DE TEMPERATURA:

Los métodos para compensación de temperatura de un calibrador de deformación pueden ser divididos en dos grupos, circuitos de compensación y circuitos autocompensables. El circuito de compensación es un sistema en el cual un cambio de resistencia o cambio de voltaje externo a la deformación que sufre el calibrador es usado para cancelar efectivamente la respuesta de la deformación unitaria que sufre el calibrador de los cambios de resistencia debida a cualquier temperatura; la autocompensación para temperatura es el control del coeficiente de temperatura de resistividad, del calibrador de deformación tal que la respuesta actual del calibrador de deformación al cambio en resistencia debido a cualquier temperatura sea minimizada.

### COMPENSACION DE TEMPERATURA USANDO UN CALIBRADOR APARENTE

El calibrador aparente es un método original usado para obtener la compensación por temperatura de una resistencia del calibrador de deformación adherido aunque se usen los antiguos conceptos, el método del calibrador aparente todavía ofrece muchas ventajas que pueden competir con los métodos nuevos como el calibrador autocompensado por temperatura.

El principio del método del autocompensador aparente de temperatura es enteramente básico. En esta práctica simple se adhiere un calibrador activo al especimen de prueba y un segundo idéntico aparente ó compensador se adhiere a una pieza separada o un pequeño block del mismo material que el especimen de prueba. El calibrador aparente o compensador está entonces físicamente acomodado para ser expuesto a los mismos cambios ambientales que el calibrador activo pero aislado de carga o deformación. En el estado no esforzado, ambos calibradores entonces tendrán la misma respuesta a los cambios de temperatura. Los calibradores, activo y aparente están conectados en ramas adyacentes del puente de medición (Wheatstone). En esta configuración el calibrador aparente cancela los efectos de los cambios de temperatura en la resistencia del calibrador activo y el puente balanceado responderá únicamente a la deformación unitaria impuesta al calibrador activo.

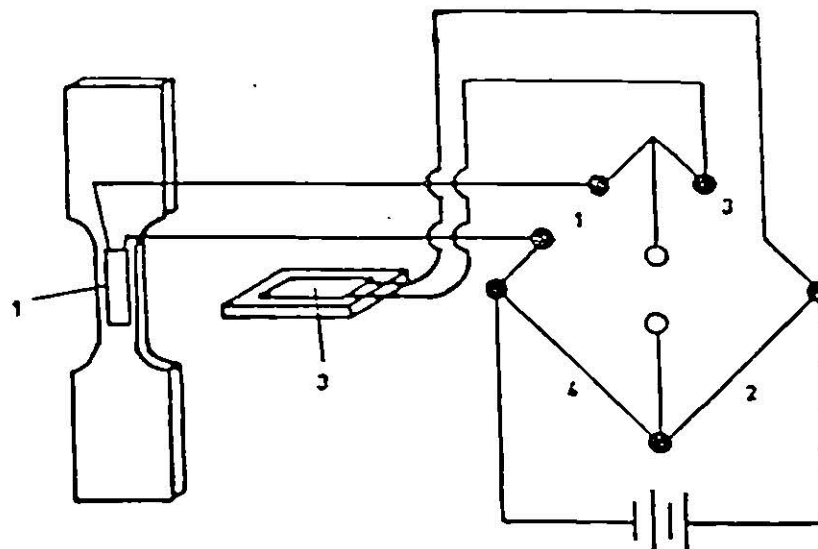


Fig. 21



Al explicar las ventajas del método de compensación del calibrador aparente, consideremos las características del coeficiente de resistencia eléctrica de los materiales a la sensibilidad a la deformación comúnmente usados en calibradores eléctricos adheribles. La aleación de constantan es típica. En cada elevación de temperatura, de constantan tiene un diferente coeficiente térmico de resistencia. Las tolerancias comerciales normales para esta aleación de bajo coeficiente es  $\pm 0.000011$  ohms/ohm/grado farenheit entre 68 y 212°Farenheit ( $\pm 0.000020$  ohms/ohm/grado centígrado entre 20 y 100 °C). La resistencia típica contra curvas de temperatura para el rango de temperatura de - 50 a + 400°F se muestran enseguida. Las pendientes características de la curva es el lado opuesto plano S, con alto coeficiente positivo apareciendo en la región sub-cero y curvando hacia arriba hacia una pendiente positiva en la región de elevada temperatura. Los coeficientes positivos y negativos son elevados en la región de temperatura intermedia; esta región es no-lineal en el rango de temperaturas completo.

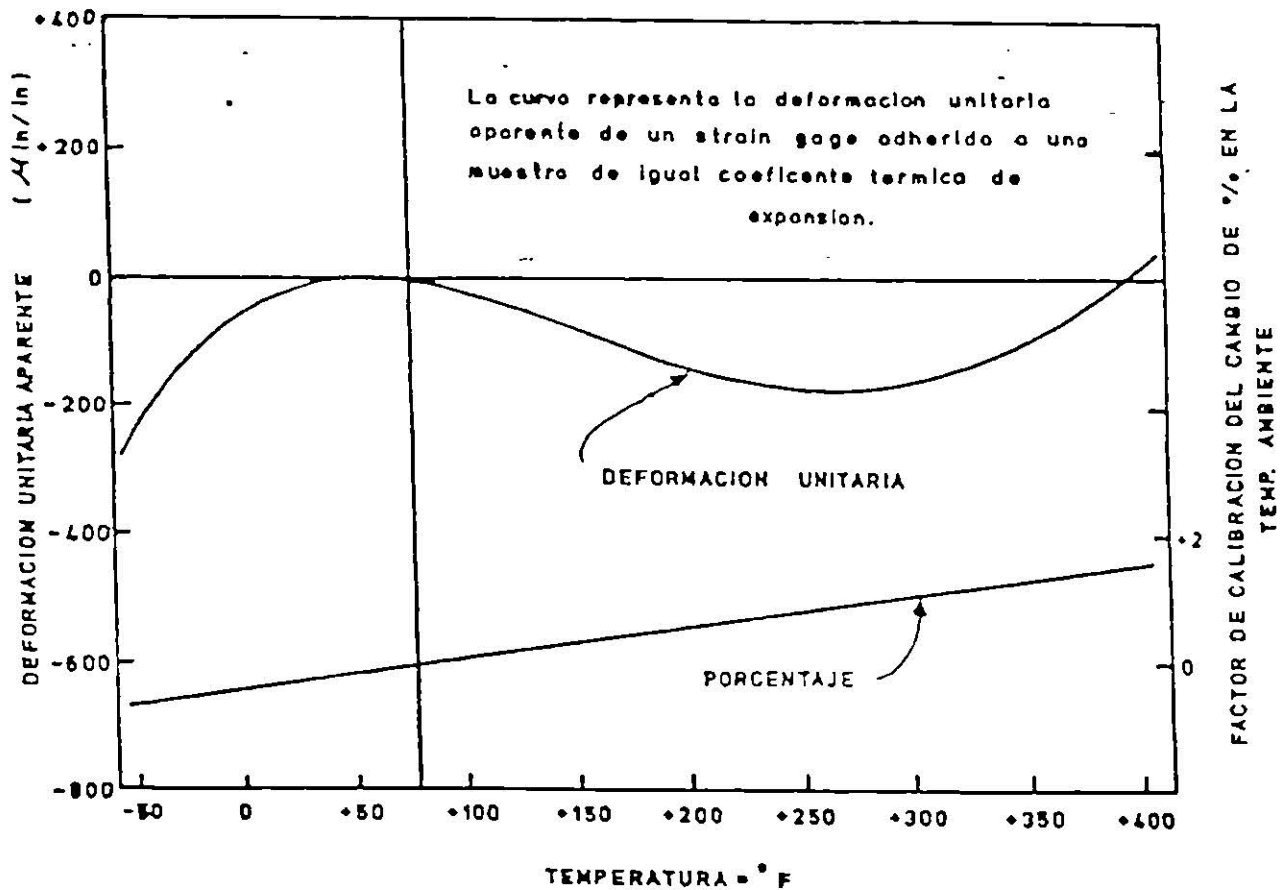


Fig. 22

Por medio de la selección fundición y técnicas de procesamiento apropiadas, podemos obtener constantes con positivo, negativo y esencialmente coeficientes de temperatura cuando adherimos a cualquier material de prueba. Los ejemplos típicos se muestran en la figura siguiente. Note que las curvas están graficadas a una escala aplicable al trabajo del calibrador de deformación. Es evidente que la principal constante fija representa

stancialmente no-linealidad y desviada desde pendiente cero. Aún el mejor mater seleccionado tiene un coeficiente de temperatura cero solamente sobre un rango temperaturas límite.

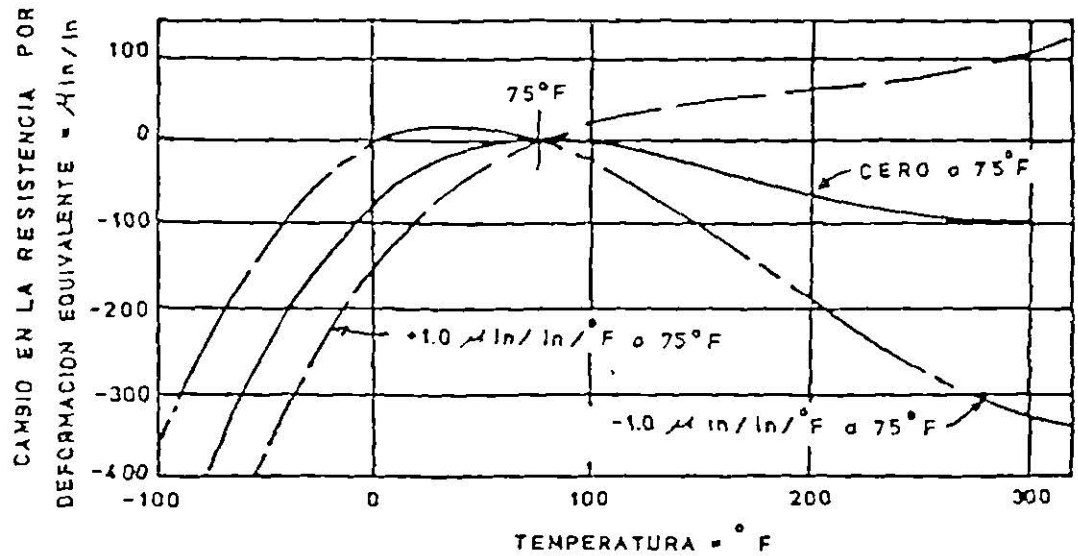


Fig. 23

Para seleccionar todos los rangos de temperatura y materiales de los especimenes enlistados se requiere un extenso margen de coeficientes de temperatura. En resumen un lote de materiales sensores de deformación teniendo un coeficiente de temperatura perfectamente apareado a cualquier especimen dado, es difícil de obtener. En las consideraciones prácticas forzaremos a tomar para un coeficiente con una tolerancia equivalente a  $\pm 1$  micro pulg/pulg/grado.F.

El método de compensación aparente tiene tres ventajas que no se podrán obtener con un calibrador simple que tenga un coeficiente de temperatura seleccionado.

- 1.- La ausencia de no linealidad en la temperatura de respuesta.
- 2.- Efectiva compensación sobre un amplio margen - de rangos de temperatura.
- 3.- Efectiva compensación en especimenes de todos los materiales.

La ausencia de no linealidad se obtiene cancelando las características de no linealidad del calibrador activo con las características idénticas de no linealidad del calibrador aparente de compensación. Sin embargo si las características de temperatura de respuesta del calibrador activo no son exactamente y precisamente idénticas, la respuesta sobre todo serán lineales y muy pequeñas comparadas con las canceladas con un calibrador autocompensable por temperatura.

Las mismas características que aportamos para la cancelación de la no linealidad, esto es respuesta idéntica de los calibradores activo y aparente, también hace este método efectivo sobre un amplio rango de temperaturas. Por ejemplo, los calibradores aparentes tienen que ser usados sucesivamente sobre el rango de temperatura de salón a  $-320^{\circ}\text{F}$  donde la temperatura de respuesta de ambos calibradores tomadas separadamente es más que la equivalente de 10 000 micro pulg/pulg. El método también tiene que ser usado a  $1200^{\circ}\text{F}$ . En resumen, el cero o temperatura de arranque puede ser cualquiera dentro del rango de operación del calibrador.

Las características de expansión térmica del especimen de prueba es un factor que contribuye al coeficiente absoluto de temperatura del calibrador adherido a este. De nuevo donde los calibradores, activo y aparente son adheridos al mismo tipo de material.

El efecto de la expansión térmica del espécimen de prueba, será efectivamente cancelado. Esto es entonces innecesario tener existencia de calibradores de deformación que tengan coeficientes particulares para materiales de espécimen dados. Se deberá enfatizar que el calibrador activo y el calibrador compensador tengan las mismas características de temperatura. Un número de compensación de temperatura se añade en la descripción del calibrador para distinguir calibradores que tengan las mismas características básicas de temperatura, (hay también un pequeño código de colores en cada calibrador para indicar el número de la temperatura de compensación). Es necesario solamente estar seguro que ambos calibradores, el activo y el aparente tengan el mismo número de identificación. Esto nos dará la seguridad que todos los calibradores sean del mismo lote, y, por lo tanto deberán tener las mismas características.

Sin embargo, hay algunas situaciones en las cuales la técnica del calibrador aparente, no trabajará efectivamente. Donde la temperatura ambiental cambia rápidamente esto puede ser una diferencia grande de temperatura entre los calibradores activo y aparente. Por eso es algunas veces difícil el balanceo de los efectos del calor causados por efectos radiantes. Hay también otras razones físicas, tales como falta de espacio u otras condiciones ambientales que hacen el uso del calibrador aparente impráctico. Deberíamos recordar que una diferencia de 5 ó 10°F, entre el calibrador activo y aparente raramente causa un error significativo.

### AUTOCOMPENSACIÓN DE TEMPERATURA

Como en un estado bajo compensación de temperatura usando un calibrador aparente, muchas aleaciones sensibles a la Deformación Unitaria como el constantan muestran coeficientes de resistencia indicativa del punto de fusión o calor del material. Al manufacturar los materiales en bruto pueden controlarse estas características con límites especificados pero bajo las mayores condiciones ideales no se pueden controlar los límites con las tolerancias requeridas para aleaciones usadas en calibradores de Deformación Unitaria. Una cuidadosa búsqueda para una fundición particular puede hacerse de tal manera que cuando se procese en laminilla y se manufacture como calibrador de Deformación Unitaria, el sistema deberá exhibir una respuesta de temperatura mínima sobre un rango de temperatura especificada sobre el material de prueba teniendo un coeficiente de expansión térmica específico. Algunas características típicas de respuestas de temperatura para el constantan se muestran en seguida.

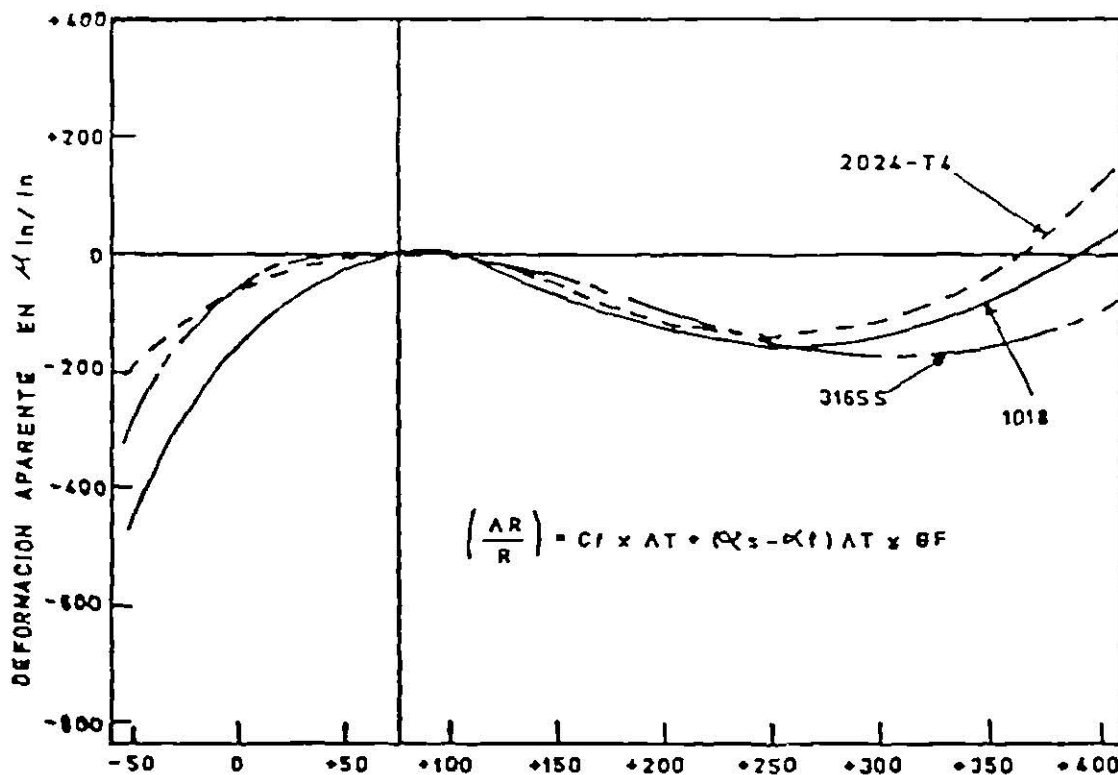


Fig. 24

considerando que la deformación unitaria aparente medida con un calibrador manufacturado del lote indicado de constantan y adherido a un acero rolado en frío - 1018. Este acero en particular tiene un valor de manual para el coeficiente lineal de expansión térmica de  $6.5 \times 10^{-6}$  pulg/pulg sobre un rango de temperatura de 68°F a 212°F, teóricamente algunos de los calibradores de un lote particular, adherido al material que tenga un coeficiente diferente al del acero tendrá una variación en el coeficiente de temperatura de exactamente, la diferencia entre el coeficiente de expansión del espécimen de prueba. Si graficamos ésta diferencia en coeficiente de expansión térmico entre una probeta de acero y otros materiales podemos observar la aproximación de respuesta de temperatura del comportamiento de varios lotes de calibradores de constantan con respecto a otros materiales que la probeta de acero.

En resumen de la selección de materiales con una respuesta específica de temperatura, es posible procesar materiales en bruto por trabajo en frío o con un tratamiento térmico para llegar a la característica mínima de Deformación Unitaria aparente. Los cambios metalúrgicos en algunas aleaciones sensibles a la deformación creadas por incrementos de temperatura arriba de su estabilidad normal de rangos de operación altera el coeficiente de temperatura como se muestra para las más comunes aleaciones para calibradores de Deformación en A y B

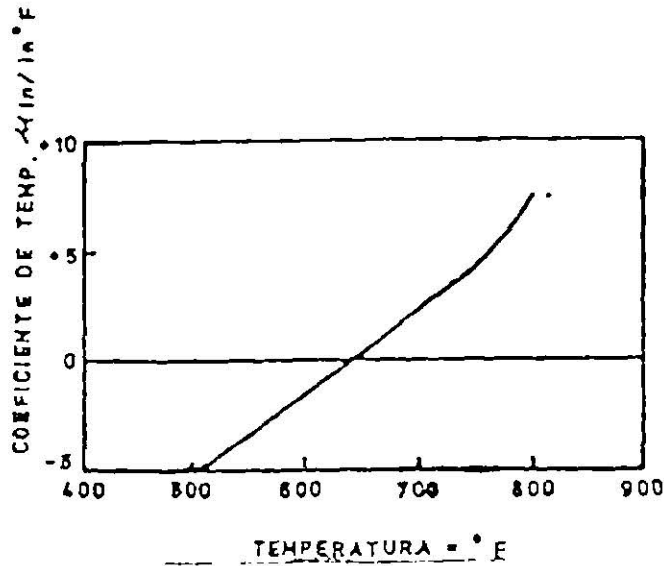


Fig. 25

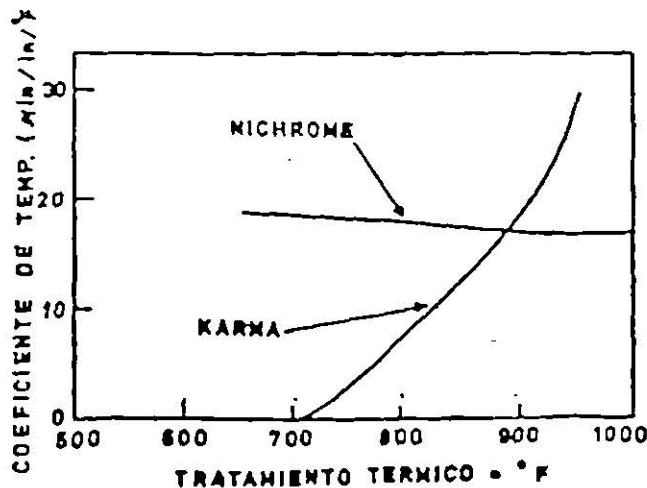


Fig. 26

Estas gráficas son típicas para excursiones relativamente cortas de temperatura y no indican el efecto del tiempo del fenómeno de temperatura. La fundición particular de karma mostrada en B nos indica una fundición satisfactoria para usarse en Calibradores de Deformación. Esto demostrará el control con el cual puede ser ejercido por el cuidadoso tratamiento térmico. La karma puede ser seleccionada en el estado del material en bruto con valores de coeficiente de temperatura de resistencia en el rango de constantan. El Nichrome V no podrá ser considerado como un material controlable manifestando más de 2 micropulgadas/pulg/° de cambio sobre el rango completo de temperaturas de prueba.

La combinación de la selección apropiada del material en bruto y los resultados del proceso de control en calibradores de deformación autocompensables por temperatura con una tolerancia práctica en el coeficiente de temperatura de  $\pm 1$  micropulg/pulg/°F para una temperatura específica en un material particular. Las desventajas de este sistema son no linealidad en la temperatura de respuesta y desviación en rangos de temperatura grandes.

Algún grado de criterio puede ser ejercido al usarlo en la selección de un calibrador particular para mínima respuesta de temperatura dependiendo no solamente del material de prueba pero si del rango de temperatura. Por ejemplo, un constantan del tipo autocompensador deseable para usarse en aceros suaves en un rango de temperaturas elevado arriba de la temperatura de salón por lo general no será autocompensador en el mismo material en el rango de temperatura muy alto. El calibrador normalmente seleccionado para usarse en aceros inoxidable y en regiones de temperatura elevada indicarán una temperatura de respuesta mínima en aceros suaves y en regiones de baja temperatura abajo de 59°F. De forma similar, un calibrador que se usa normalmente en aluminio a elevadas temperaturas será más adecuado para usarse en aceros inoxidable en rangos de temperatura muy bajos. Un ejemplo de esta técnica es probarlo a temperaturas en la región criogenica. Un calibrador de 15 ppm se usará sobre un material de 13 ppm y la curva de compensación de temperatura rotará en ese eje hasta dar un calibrador con una deformación unitaria aparente muy baja a 7°k.

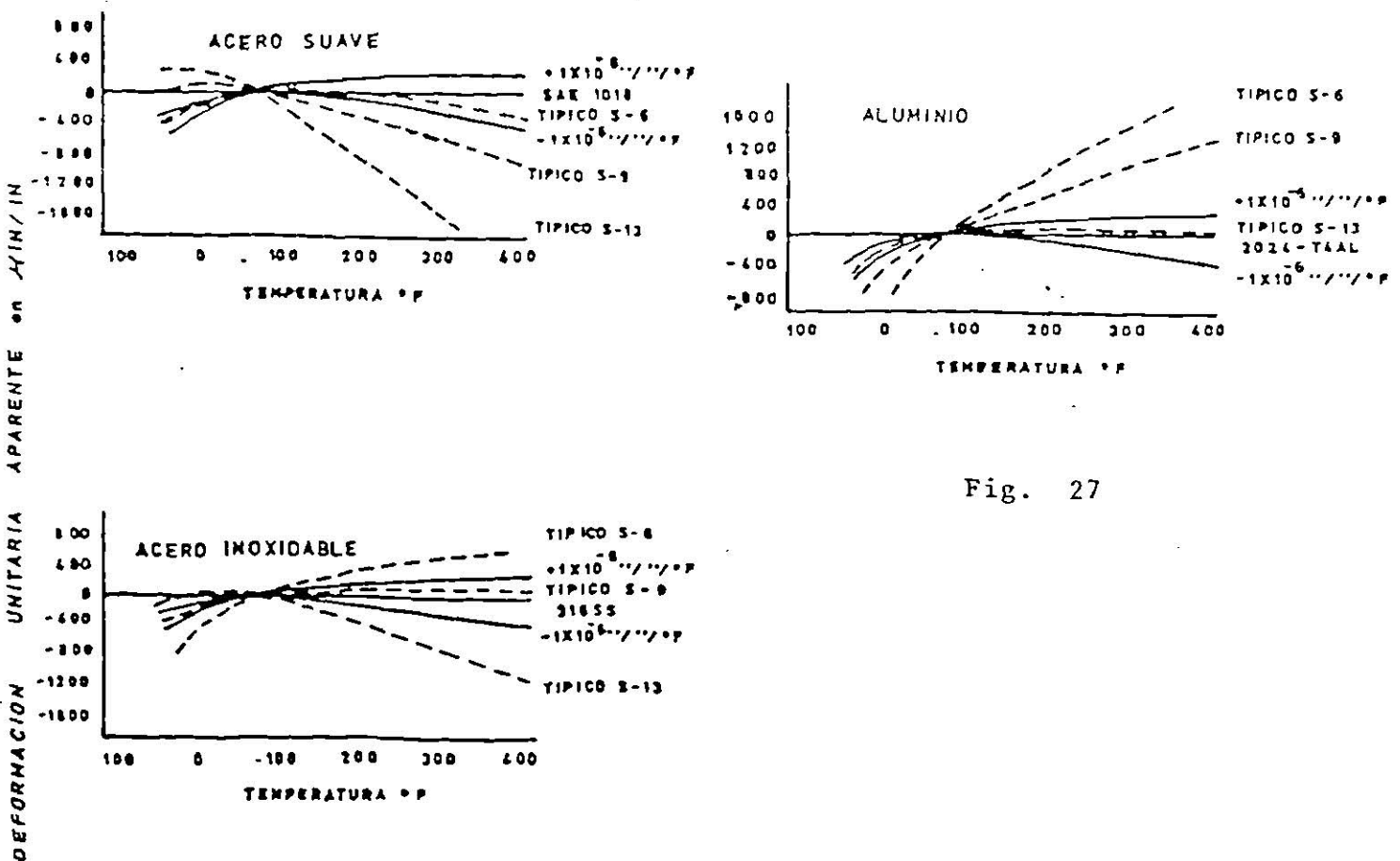


Fig. 27

## ELIMINACION DE ERRORES EN TERMINALES DE ALAMBRE:

La introducción de Calibradores de Deformación autocompensadores de temperatura, lo cuales eliminan la necesidad de un Calibrador compensador en las cercanías de todas las aplicaciones, presenta el problema de eliminación de errores debidos al efecto de la temperatura sobre las terminales de alambre conectadas al circuito medidor. Este problema no existe en aplicaciones con calibrador aparente donde ambos calibradores activo y compensador se usan como se ilustra en A.

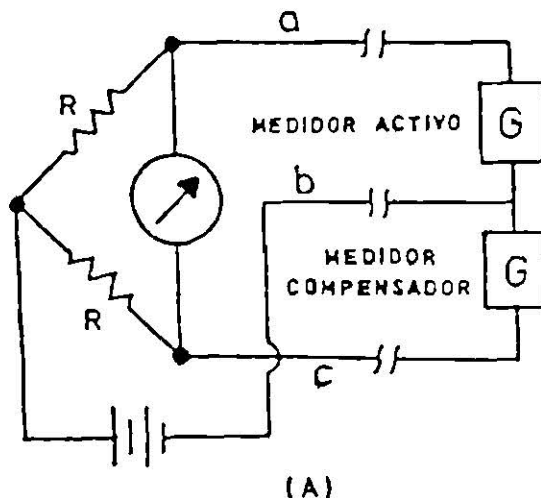


Fig. 28

Ahí, los dos calibradores se colocan remotamente del circuito medidor y son conectados a éste por tres terminales a, b, y c. Las resistencias (R), de algún tamaño conveniente, completan el circuito puente.

Donde las terminales de alambre a y c son de la misma resistencia y sujetos a la misma temperatura estos efectos en la medida de deformación unitaria, son despreciable debido al arreglo simétrico del circuito puente. La terminal de alambre b puede ser diferente resistencia que los otros y no es necesario sin embargo que esté sujeto a la misma temperatura en el circuito de potencia, esto es que no tiene efectos en el balanceo del puente.

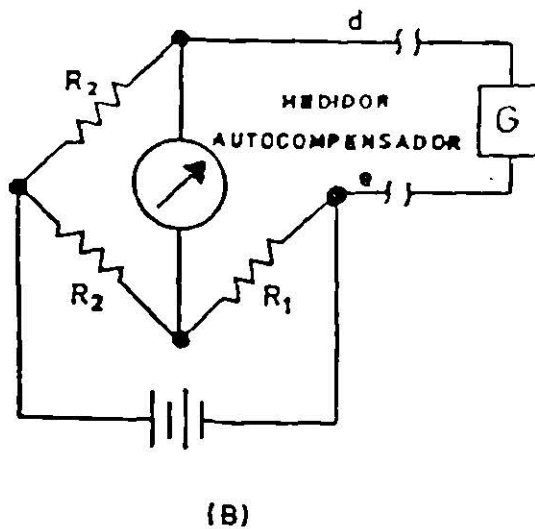


Fig. 29

Cuando se procede con un calibrador de Deformación autocompensado es innecesario usar un calibrador compensador excepto en circunstancias inusuales. El circuito simplificado para el calibrador autocompensado mostrado en B donde las terminales de alambre d y e está conectado el calibrador con el circuito de medición en el cual  $R_1$  está normalmente formada igual a la resistencia del calibrador G, y las resistencias  $R_2$  son de cualquier magnitud conveniente. Ahora, si las terminales de alambre d y e son de muy baja resistencia, o si están hechas de un alambre de bajo coeficiente como un constantan este circuito puede ser usado sucesivamente. En muchos casos sin embargo no es práctico satisfacer ambas condiciones. Si el alambre es de cobre puede requerir también por conveniencia tamaños grandes, o si se usa constantan ó manganeso, la resistencia absoluta podrá producir grandes inco-

modidades. Al representar la magnitud de los errores los cuales pueden resultar de descuidos, al usar el circuito B. Considerando el caso cuando las terminales de alambre d y e son de alambre de cobre No. 18, 10 pies de longitud y sujeto a un rango de temperatura de 70 a 250°F, en el transcurso de la medición de deformación. La resistencia total de d + e para ese tamaño de alambre es 0.12 ohms., considerando un coeficiente de temperatura apropiado de una resistencia de 0.0022 ohms/ohm/°F para el alambre de cobre, el cambio de resistencia de las dos terminales de alambre deberá ser 180°F X 0.0022 ohms/ohm/°F X 0.12 ohms, ó 0.047 ohms. Ahora consideraremos G con una resistencia de 120 ohms, el cambio unitario de resistencia en la rama del calibrador debido al efecto de temperatura en las terminales será  $0.047 \div 120$ , ó 390 ppm. Si el factor de celda es 2, corresponde a un error en la lectura de deformación de 195 micropulg/pulg. Un error de esta magnitud anulará los muchos propósitos para el cual el calibrador está designado. Sin embargo un calibrador de resistencia de 350 ohms manifestará un error de 67 micropulgadas/pulg debido al efecto de las terminales de alambre. Es claro que algunos métodos de compensación por efecto de terminales son necesarios si el investigador toma promedio de las características que forman un calibrador.

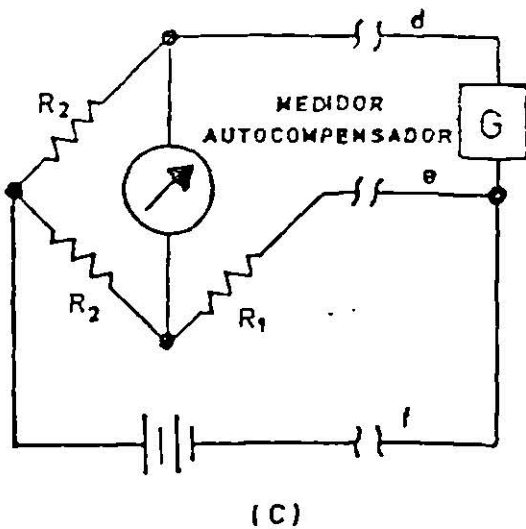


Fig. 30

sistencia  $R_1$  está formada aproximadamente igual a G y las resistencias  $R_2$  son igual a cualquier magnitud conveniente; las terminales de alambre f pueden ser de diferente en resistencia desde d y e no necesita estar sujeta a la misma temperatura, sin embargo es generalmente tenido con ellos. Podemos observar que el circuito C coloca las resistencias de las terminales d y e en las ramas adyacentes del puente y la terminal f es externa al puente en serie con la fuente de poder. El resultado es que todas las terminales de alambre pueden estar sujetas a una variación de resistencia amplia debida a la temperatura y producirán errores despreciables en la lectura del calibrador.

Afortunadamente existe una solución muy práctica y simple, que es el tan llamado método de los tres alambres de medición de resistencia mostrado en c donde el calibrador autocompensable G. Está conectado al circuito de medición por tres terminales de alambre, d, e, y f. otra vez d y e son iguales y sujetos a la misma temperatura a lo largo de toda su longitud la re-

B para no aceptar grandes errores.

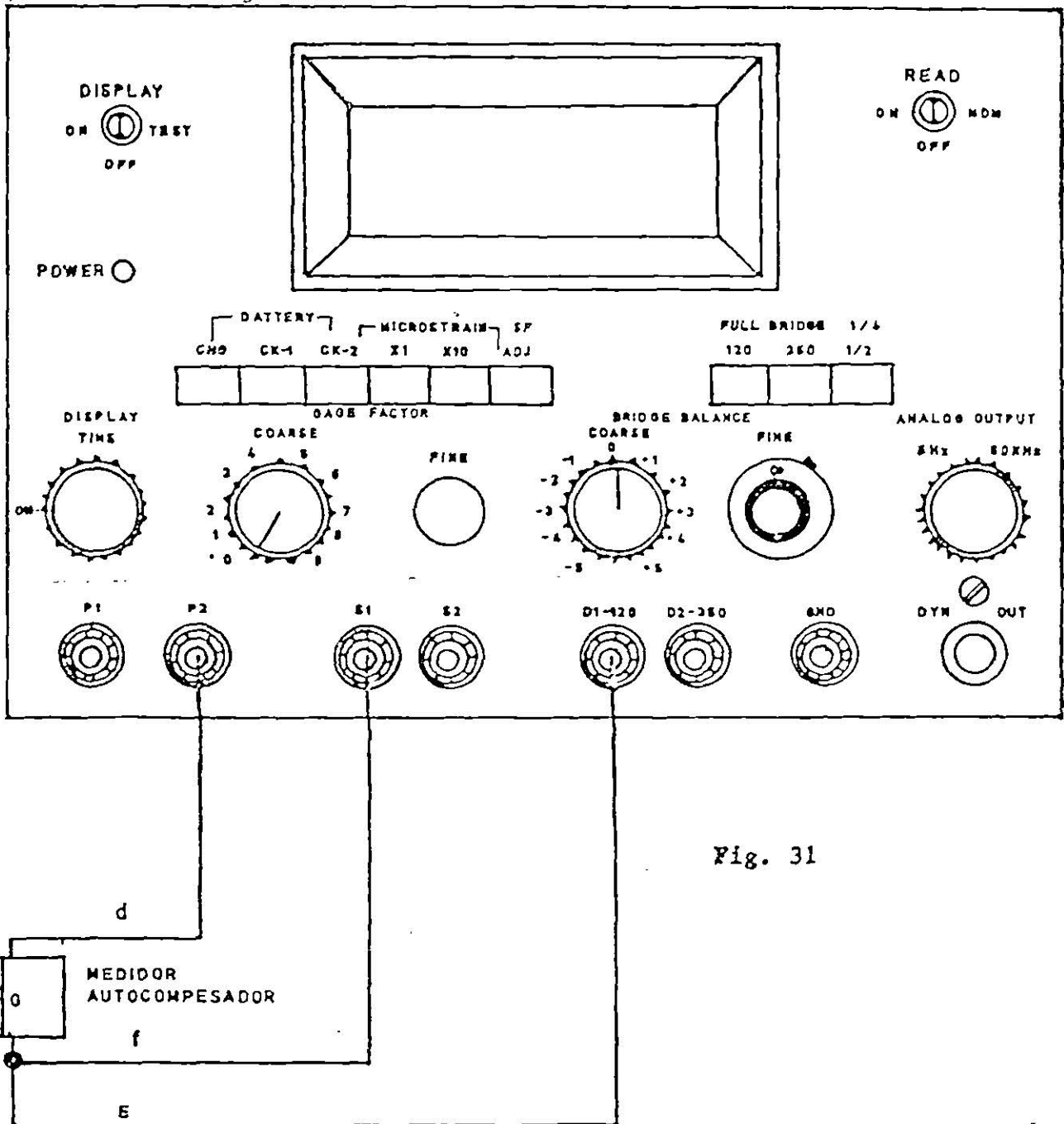


Fig. 31

el dibujo D representa una forma conveniente para usar el sistema de tres terminal de alambre con un indicador digital de deformación unitaria (BLH modelo 1200). Est es una variación del circuito c en el cuál las tres terminales de alambre f se col can en el preamplificador del circuito al circuito de la fuente poder. El resultad neto es el mismo, donde las dos terminales d y e están en ramas adyacentes del pue te.

**CORRECCION POR ETAPAS.**

El ajuste por temperatura produce un cambio en la salida del puente:

Los módulos o compensadores por etapas están usualmente acompañados por el uso de material activo termicamente con relación a un alto coeficiente térmico de resist cia (TCR).

Esto nos proporciona una exactitud segura del puente sobre un rango de temperaturas especificado. Típicamente el cambio en el módulo de Young (E) para los siguientes teriales son:



MATERIAL	% DE CAMBIO EN E/100°F
Acero para herramientas	- 1.5
17-4PH	- 1.7
Aluminio 2024	- 4.0

El cambio en el módulo de Young (E) del material contra temperatura, combinado con un cambio en el factor de celda, contra temperatura del calibrador, todo influye a la cantidad de correcciones necesitadas. El constantan por ejemplo exhibe un cambio en el GF de + 0.5%/100°F. Ver la gráfica.

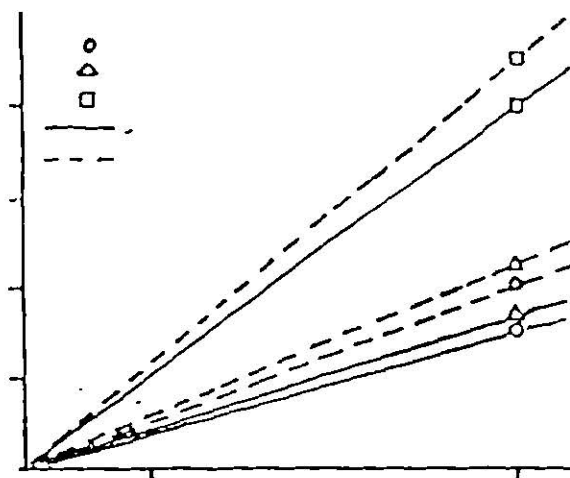


Fig. 32

La práctica popular por correcciones en etapas es insertar un resistor de corrección por etapas en serie con el puente, con el propósito de reducir el voltaje de excitación de entrada en el puente, de esta manera reduciremos la salida del puente a un valor igual en por ciento al cambio, cambiando el módulo de Young del substrato y el cambio en el factor de celda.

Cuando ejecutamos una corrección por pasos en el puente es ventajoso usar un resistor de alto coeficiente de temperatura de resistencia tal como el Níquel (3333 ppm/°F ó 6000 ppm/°C). Por ejemplo, cuando usamos acero para herramientas con un cambio en el módulo de Young de -1.5%/100°F y una constante de celda con un cambio en GF de + 0.5%/100°F, nos podríamos reducir la salida un 2%/100°F. De esta manera para un puente de 350 ohms. La resistencia de entrada puede ser incrementada a 7 ohms/100 (2% de 350 ohms).

Típicamente el resistor de corrección por etapas está dividido y colocado en serie con cada una de las terminales de excitación como se muestra en el circuito dibujado para mantener simetría.

El cálculo típico del valor del resistor de corrección por etapas se muestra abajo. Debido a la variación del material es usualmente necesario incrementar el valor calculado a aproximadamente 1 ohm, y ajustar el resistor compensador al valor de corrección por desviación.

DISEÑO TÍPICO DE STRAIN GAUGE

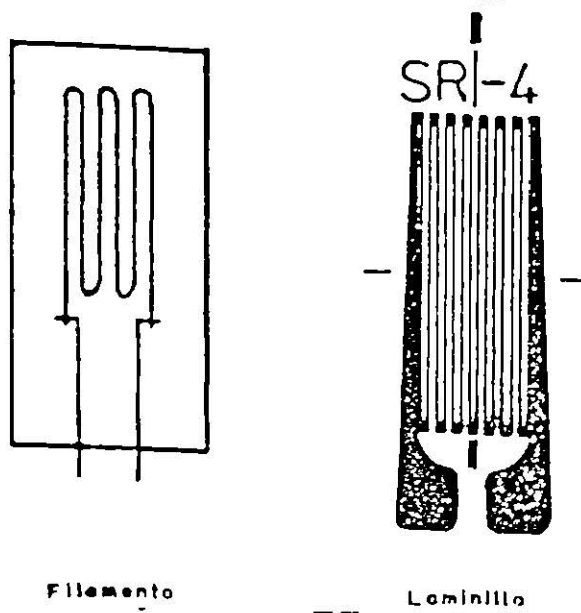


Fig. 34

Los ejemplos de calibradores dibujados de cada lote de calibradores están adheridos (paralelo y transversalmente) al eje de una viga calibrada de un esfuerzo uniaxial conocido. Usando la lectura de un indicador de deformación unitaria del calibrador paralelo el factor de celda G.F. se deducirá.

$$G.F. = (\Delta R/R)' / \epsilon_A$$

Donde:  $(\Delta R/R)$  = es el cambio en resistencia del calibrador adherido.

El calibrador de prueba actual es sensible en ambos ejes y deformación unitaria - transversal.

$$(\Delta R/R)' = G.F. \epsilon_A = S_A \epsilon_A + S_L \epsilon_L$$

Donde:  $S_L$  = Sensitividad lateral  
 $\epsilon_L$  = Deformación Unitaria Lateral

Para un esfuerzo uniaxial, la deformación unitaria transversal está relacionada por la relación de poisson ( $\mu = -\epsilon_L / \epsilon_A$ ). Conociendo  $\epsilon_A$  y  $\epsilon_L$  de la viga de prueba y  $(\epsilon')$  los calibradores paralelo y transversal, se deriva un coeficiente de sensibilidad transversal " k ".

$$K = \frac{\epsilon_A (\epsilon')_L - \epsilon_L (\epsilon')_A}{\epsilon_A (\epsilon')_A - \epsilon_L (\epsilon')_L}$$

Donde:  $(\epsilon')_A$  = Lectura del indicador de Deformación Unitaria del calibrador axial.

$(\epsilon')_L$  = Lectura del indicador de Deformación Unitaria del calibrador transversal.

Los valores típicos para valores de celda y coeficientes de sensibilidad transversal se enlistan en la siguiente tabla:

Tipo de Deformación	G.F.	K(%)
FAE-03-12	1.90	+ 1.3
FAE-03-35	1.82	- 0.3
FAE-06-35	2.02	+ 0.7
FAE-12-12	1.92	- 0.8
FAE-12-35	2.08	- 0.6
FAE-12-100	2.04	- 0.6
FAE-25-12	2.07	0
FAE-25-35	2.02	- 0.6
FAE-25-100	2.06	- 0.4
FAE-50-35	2.02	- 1.7
FAE-50-100	2.03	- 1.3
FAB-06-12	2.01	- 0.6
FAB-12-12	2.02	- 1.2
FAB-12-35	2.03	+ 0.5
FAB-12-100	2.04	- 1.0
FAB-25-12	2.10	- 1.5
FAB-25-35	2.04	- 1.7
FAB-25-100	2.10	- 0.9
FAB-50-12	2.02	- 2.6
FAB-50-35	2.06	- 1.7
FAP-03-12	1.87	0
FAP-06-12	1.96	- 0.7
FAP-12-12	1.96	- 1.1
FAP-25-12	1.92	- 1.3
FAP-25-35	2.01	- 1.0
FSM-03-12	1.94	+ 0.4
FSM-06-35	2.01	- 1.8
FSM-12-12	2.00	- 2.7
FSM-12-35	1.98	- 3.0
FSM-25-35	2.02	- 2.3
FSM-25-100	1.99	- 3.9
FSE-06-35	1.99	- 1.4
FSE-12-35	2.00	- 1.1
FSE-25-35	2.03	- 1.7

VALORES TÍPICOS PARA FACTOR DE CELDA Y COEFICIENTE DE SENSITIVIDAD TRANSVERSAL.

La sensibilidad transversal de un calibrador de laminilla puede decrecer al aumentar la sección transversal de los segmentos pequeños en los extremos, así desensibilizamos la porción de un calibrador activo de rejilla. Los factores que influyen en la sensibilidad transversal de un calibrador de laminilla son espesores y módulos de adhesivo, material de la rejilla y geometría, ancho de los segmentos, radio de los segmentos axiales de la rejilla y material de la cubierta del calibrador. Los efectos de la sensibilidad transversal sobre otras propiedades del calibrador se ilustran en las siguientes gráficas.

En un campo general de Deformación Unitaria biaxial, un calibrador de deform. deberá captar ambas deformaciones unitarias axial y trasversal, si la sensibilidad transversal del calibrador es despreciable. El error de la Deformación Unitaria indicada " E " es:

$$E = K \frac{(\epsilon_L/\epsilon_A) + \nu}{1 - \nu K} \quad (100)$$

Donde E = Porcentaje de error

La siguiente gráfica muestra el porcentaje de error en el factor de celda si sensibilidad transversal no está compensada para dar el campo general de deform. unitaria. ( $\epsilon_L/\epsilon_A$ ).

Ejemplo: FAB- 25-35

conociendo: GF= 2.04

$$K = - 1.7$$

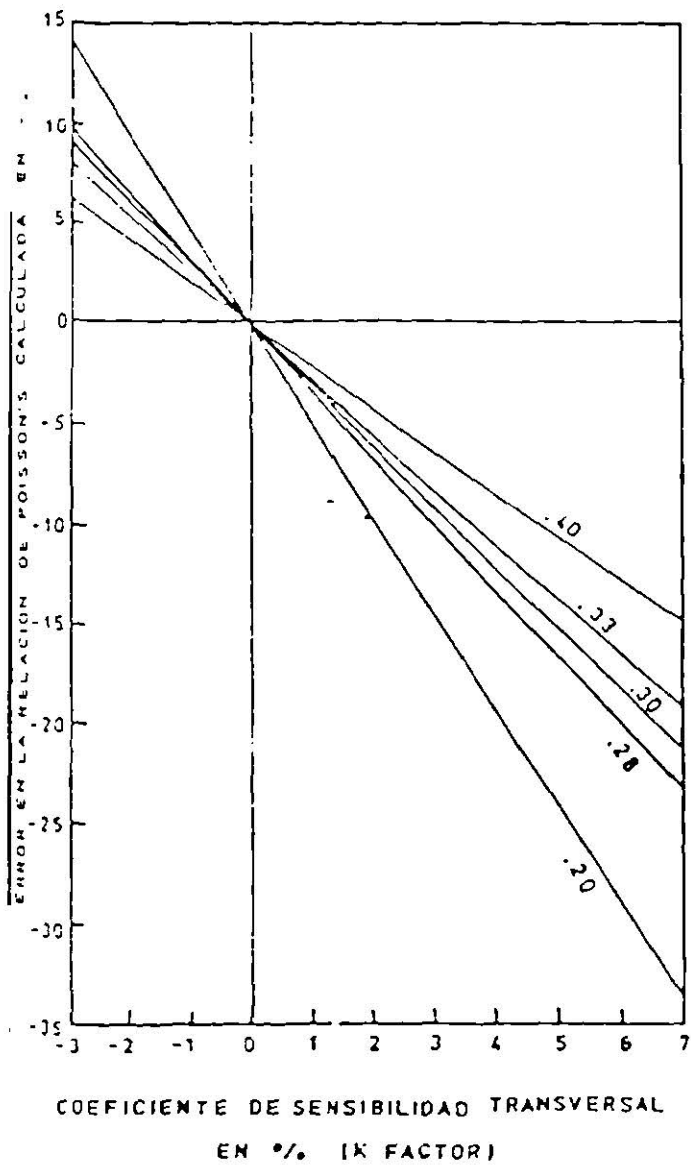
$$\nu = 0.285$$

Deformación Unitaria  $\epsilon' = 1000 \mu$  "/"  
indicadas:

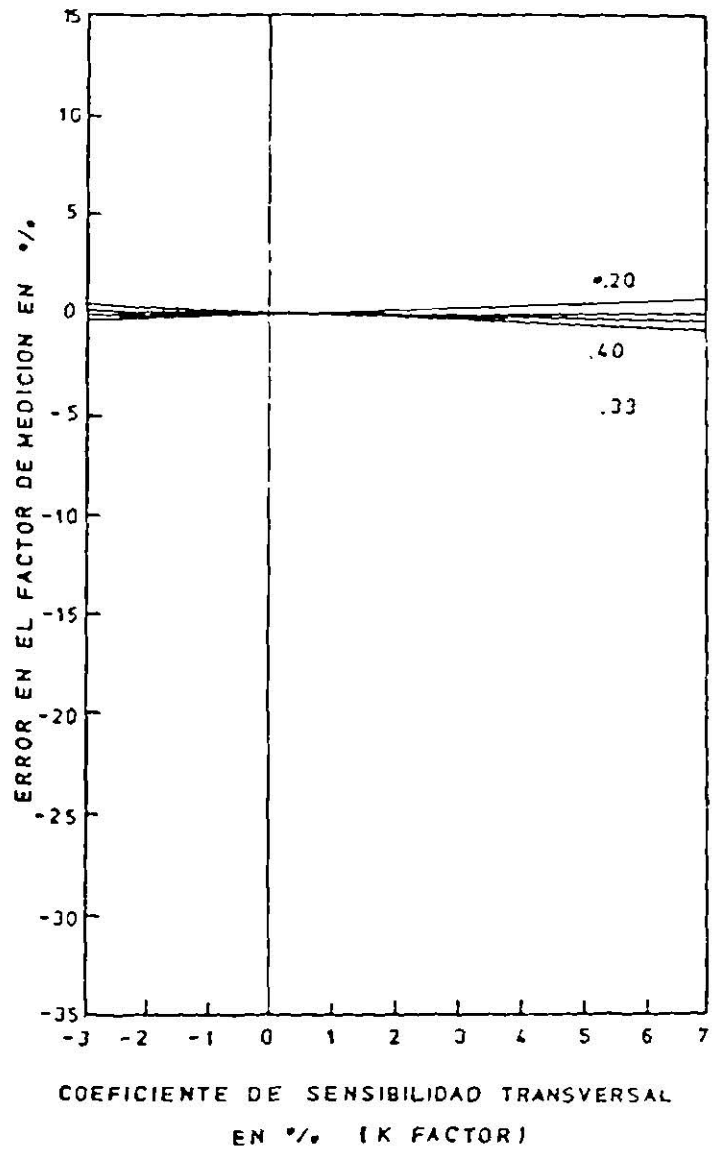
a) Para un campo de esfuerzos uniaxiales ( $\epsilon_L/\epsilon_A$ ) = 1

$$E = \frac{- 0.017 (1 + 0.285)}{1 - [(0.285)(-0.017)]} (100)$$

$$= - 2.20\% \text{ error}$$

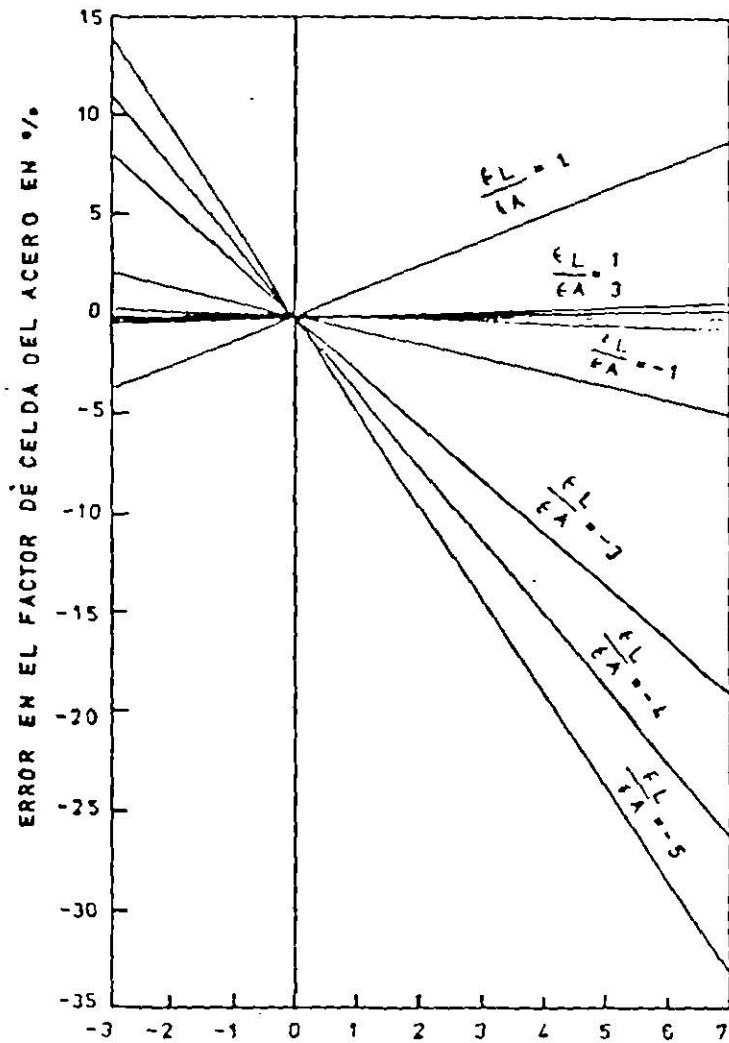


ERROR DE SENSIBILIDAD TRANSVERSAL  
EN LA DETERMINACION DE LA  
RELACION DE POISSON'S



ERROR DE SENSIBILIDAD TRANSVERSAL  
EN EL FACTOR DE MEDICION  
PARA DIFERENTES MATERIALES

Fig. 35



COEFICIENTE DE SENSIBILIDAD TRANSVERSAL  
DEL ACERO EN % (K FACTOR)

ERROR DE SENSIBILIDAD TRANSVERSAL  
EN EL FACTOR DE CELDA PARA  
CAMPOS GENERALES DE ESFUERZOS

Fig. 36

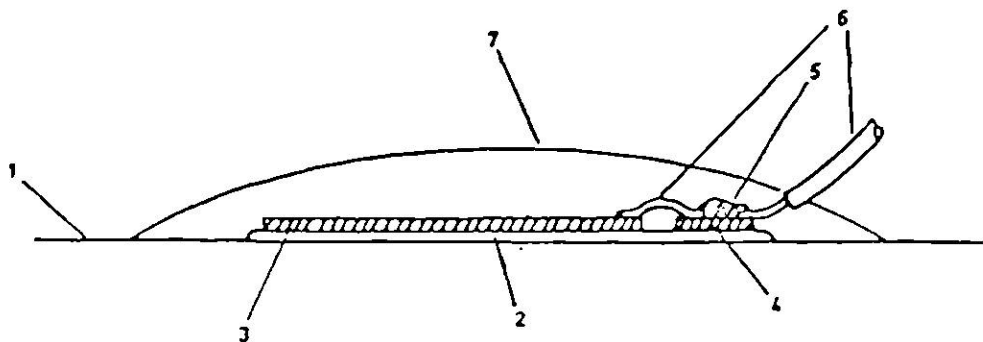
El proceso de la selección de los correctos componentes de la instalación de un  
librador de deformación es crítico si se hacen mediciones exactas con calibrador  
de deformación sin componentes simples de la instalación del calibrador.

Así cuando el proceso de selección del calibrador está por iniciarse, se conside  
cuidadosamente el calibrador de deformación, las componentes (laminilla sensible  
cubierta, opciones etc.), el adhesivo para el calibrador de deformación, soldadu  
y los recubrimientos protectores de ambiente.

Es frecuentemente primero, pensar en las instalaciones de un calibrador como un  
puesto. Esto es el uso de algunos alambrados formados, cada uno de los cuales de  
de de otros alambrados para la operación eficiente de la instalación. El caso o  
lla de la medida dependerá enteramente de la correcta selección e instalación apr  
piada de cada uno de esos alambrados.

Las siguientes secciones de este manual contienen la suficiente información pres  
tada en una forma lógica para usar calibradores de deformación para hacer una se  
cción apropiada de las componentes de la instalación de un calibrador. El resulta  
neto será el uso que pueda hacerse de la medición de la Deformación Unitaria y t  
ner resultados confiables de esas mediciones.

El primer paso en la selección de las componentes de la instalación de un calibra  
dor se hace con pocas observaciones generales como:



PARTES DE UN STRAIN GAGE

Fig. 37

- 1.- Material de base (material al cual será pegado el medidor)
- 2.- Adhesivo
- 3.- Calibrador de deformación
- 4.- Soldadura de terminales
- 5.- Soldadura
- 6.- Terminales de alambre
- 7.- Recubrimiento protector de ambiente

¿ Que es hacer una medición?

¿ Cuales son las condiciones ambientales que la medición requiere?

Uno de estos hechos, el criterio más específico que puede notarse, es como el siguiente:

- 1.- Rango de temperatura
- 2.- Magnitud de la deformación unitaria.
- 3.- ¿ Es conocido el eje principal de la deformación unitaria? si no, se puede usar una roseta de calibración de tres elementos.
- 4.- Gradientes de deformación unitaria.
- 5.- Duración de la medición, esto es minutos, horas, años.
- 6.- Numero aproximado de ciclos.
- 7.- Aproximación requerida.
- 8.- Alguna condición ambiental especial la cual afectará adversamente a la instalación por ejemplo: altos campos magnéticos, radiaciones térmicas grandes de alto nivel etc.

Los criterios anteriores han sido investigados, el proceso de selección viene ha ser más específico y de varias componentes las cuales se comprenden cuando se hace una instalación con calibradores de deformación.

El proceso actual para la selección de una instalación con calibradores de deformación es como sigue:

- 1.- La selección de un tipo general de calibrador (series del calibrador) se determina ampliamente por el rango máximo de temperatura en la - - cual se hará la medición y la exactitud requerida. Estos pasos están - determinados por la laminilla sensible y el material de la cubierta. Otras de las consideraciones es la forma de medición estática o dinámica y la magnitud de la medición en deformación unitaria.
- 2.- Selección de la geometría de la rejilla y arreglos de terminales soldables que requiere la aplicación.
- 3.- Selección de la longitud de la rejilla activa.
- 4.- Selección de la resistencia del calibrador.
- 5.- Selección del número de la autocompensación por temperatura el cuál es regido por el coeficiente térmico de expansión del material en el cuál el calibrador será adherido.
- 6.- Selección de opciones si se requieren.
- 7.- Selección de adhesivo basado ampliamente en las consideraciones de temperatura y requerimientos de exactitud.
- 8.- Selección de la soldadura para realizar las conexiones de alambre necesarias.
- 9.- Selección de las terminales de alambre.
- 10.- Selección del recubrimiento protector de ambiente correcto.



## COMPONENTES BASICAS DE UN CALIBRADOR DE DEFORMACION DE LAMINILLA O IMPRESO:

### GENERALES:

La figura ilustra las componentes básicas de un calibrador de laminilla. El Calibrador básicamente está compuesto de dos partes: El primero, es la cubierta del calibrador donde se indica, la matriz longitudinal y transversal; los propósitos de la cubierta es dar soporte, estabilidad dimensional y algún grado de protección mecánica al delicado elemento sensor de deformación unitaria; los calibradores generalmente usan cubiertas orgánicas, las cuales son producidas tanto como películas fundidas como construcción laminar. En los tipos de películas fundidas se reviste de resina y se cura directamente sobre la laminilla sin el uso de algún material de refuerzo, esta construcción resulta delgada, flexible para medidas de alta elongación con límites de temperatura de la resina empleada en la construcción del calibrador.

Las cubiertas laminadas son consumidas de papel impregnado de resina la cual es transferida y pegada bajo calor y presión. El calibrador construido de esta manera es generalmente usado para mediciones de alta temperatura o en la manufactura de transductores de precisión donde la estabilidad eléctrica y dimensional sobre un margen ambiental y condición de carga es de mucha importancia tanto como la alta capacidad de elongación.

La segunda componente del calibrador es la laminilla sensible. La laminilla sensible está formada de hojas delgadas fotograbadas de dos a diez milésimas de pulgada de espesor o menos, de aleaciones metálicas especialmente tratadas térmicamente para obtener el patrón y dimensión de rejilla deseados. El proceso de fotograbado usado en la manufactura de los calibradores BLH de laminilla permite la construcción virtualmente en cualquier patrón dimensional para los requerimientos de aplicaciones especiales.

La longitud de la parrilla, los pequeños extremos de unión y terminales están diseñados para el uso de requerimientos generales como calibradores, mediciones de deformación unitaria en dirección uniaxial, biaxial etc. y llenar las especificaciones de calidad lineal lo cual nos asegura óptimo desempeño sobre la vida de la instalación. Cuando seleccionamos un calibrador, deberemos tener especial cuidado en la geometría del calibrador deseado para el espacio permitido de la instalación y el tipo de medida de deformación la cual será realizada.

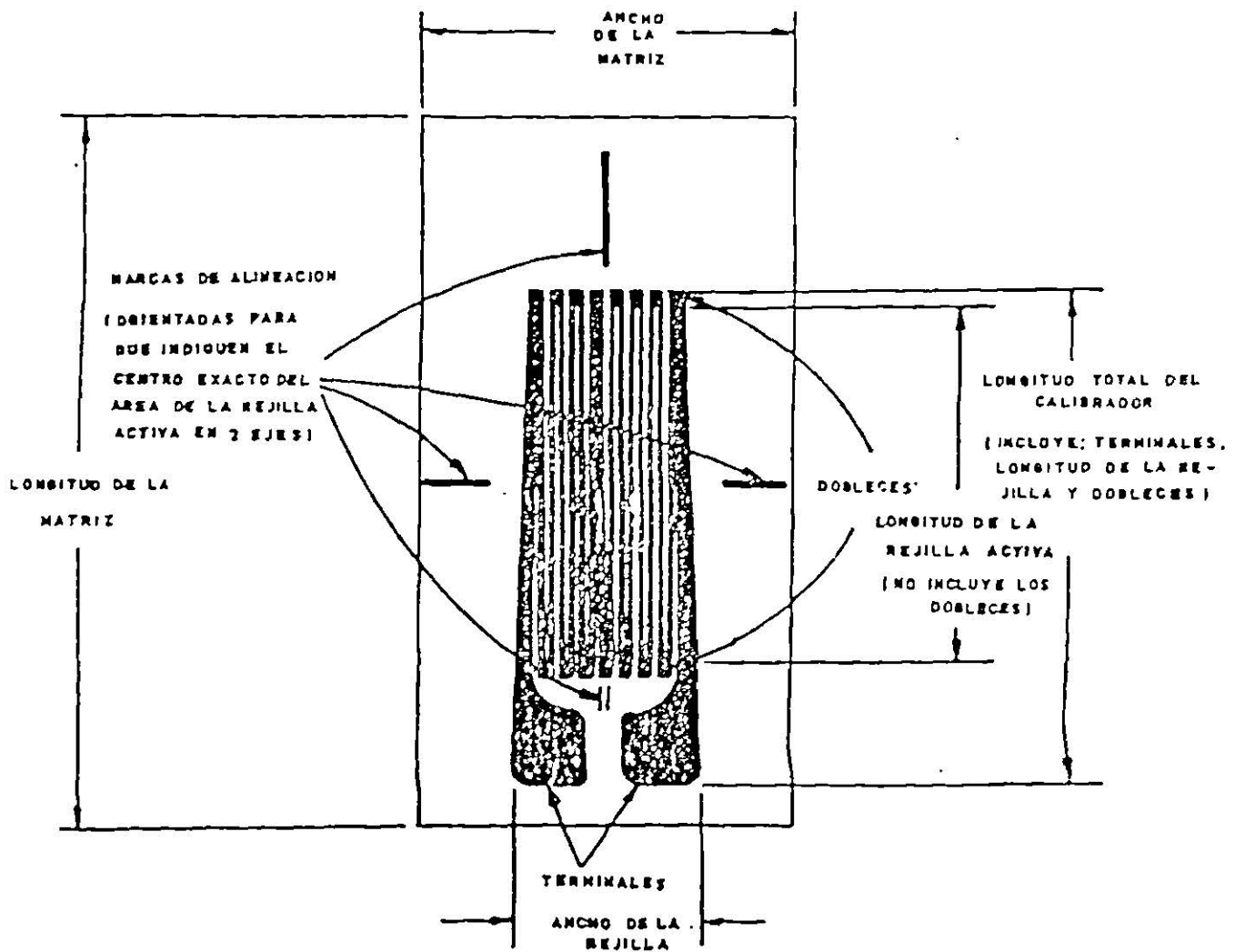


Fig. 38

Antes de seleccionar un tipo de Calibrador de Deformación sobre otro tipo, es completamente provechoso tener un conocimiento general de las laminillas ceras y propiedades particulares de los materiales de recubrimiento. Cada tipo de laminilla y recubrimiento tiene sus ventajas y desventajas la cual debe tomarse en cuenta cuando se seleccione el calibrador correcto para el tipo de medición que se haga. La siguiente descripción de los sensores de laminilla -- más comunes y recubrimientos usados en la construcción de deformamientos eléctricos.

#### MATERIALES SENSORES DE LAMINILLA:

##### 1. Constantan (BLH Aleación 400)

Es una aleación de cobre níquel con bajo y confiable coeficiente de temperatura. Esta aleación es ampliamente usada en las aleaciones de sensores de laminilla; son usadas para mediciones estáticas, transductores, mediciones, dinámicas, donde la deformación varía a un nivel de tolerancia que no excede de  $\pm 1500\mu''/''$ .

##### A. Ventajas del constantan:

- 1.- Buena sensibilidad - GF comunmente 2.0
- 2.- El factor de celda es relativamente insensible a la magnitud de la deformación unitaria y temperatura.

(El factor de celda del constantan se incrementa con la temperatura en una razón de 0.05% por cada 100°F)

- 3.- Tiene buenas propiedades a la fatiga.
  - 4.- Facilmente soldable
  - 5.- Buena capacidad a la elongación.
- B. Desventajas del Constantan:
- 1.- Muestra considerables cambios a cero arriba de 150°F
  - 2.- A muy altas temperaturas se induce en un cambio de - resistencia (deformación unitaria aparente) arriba - de 400°F y abajo de - 50°F.

### II. Stabiloy ( BLH Aleación 800)

Es una modificación de la aleación Cromo-Níquel que tiene un rango muy amplio de temperatura para temperaturas bajas y altas. Los calibradores hechos con esta aleación tienen excelente estabilidad a temperaturas elevadas mínimo cambio con la temperatura, y muy buenas propiedades a la fatiga.

#### A. Ventajas:

- 1.- Muestra un mínimo cambio a cero en tiempo y temperatura.
- 2.- La temperatura puede ser compensada abajo de un rango de temperatura más amplio (un salón a temperatura de 600°F.
- 3.- Aparentemente la curva de deformación unitaria es muy semejante a una recta.
- 4.- El factor de celda da negativo cuando se incrementa la - temperatura - una importante consideración cuando compensamos por temperatura induce cambios en el módulo de -- Young.
- 5.- Nos muestra un cambio mínimo de cero a altos ciclos de - deformación unitaria -  $15 \mu \text{ "/}$  después de  $10^7$  ciclos a  $\pm 1500 \mu \text{ "/}$ .

#### B. Desventajas:

- 1.- Es difícil de soldar (el más común BLH tipo QF-LI)
- 2.- Los calibradores que usan Stabiloy como laminilla sensible son más caros para fabricar y por tanto son más caros que los calibradores que usan constantan.

### III. Dynaloy (BLH Aleación 600)

Es una aleación de Cromo-Níquel con un alto factor de celda (3.2) y excelente resistencia a la fatiga. Es recomendado para mediciones de deformaciones unitarias dinámicas donde la sensibilidad a altas temperaturas de la aleación pueden ser considerables. El rango de temperatura de la aleación es generalmente limitado por el material base y el adhesivo seleccionado.

#### A. Ventajas:

- 1.- Alto factor de celda nominalmente 3.2 contra 2.0 para Constantan y Stabiloy.
- 2.- Características excelentes a fatiga.

## B. Desventajas:

- 1.- Muy sensible a la temperatura - 80 ppm/°F
- 2.- No puede compensarse así mismo por temperatura.
- 3.- La respuesta a la deformación tiende a incrementarse en forma no lineal arriba de 1500µ "/"

## IV. Aleación de Platino (BLH Aleación 1200)

Una aleación de Platino-Tungsteno muestran usualmente estabilizadas y vida a la fatiga a temperaturas de 750°F. Los calibradores hechos con estas aleaciones son recomendadas para mediciones dinámicas cerca de 1500°F y medidas estáticas cerca de 1200°F. Esta aleación tiene un coeficiente de temperatura grande de resistencia y no se puede ajustar así mismo por cambio de temperatura, la porción de error de rendimiento puede ser medida y corregido o puede ser usado un circuito de compensación.

## V. Constantan recocido.

El constantan recocido es frecuentemente usado cuando deben de hacerse mediciones mas allá del límite elástico del material que está haciendo examen.

Las mediciones que usan el Constantan recocido pueden ser usadas arriba de un 15% de elongación.

Nota: El constantan recocido está diseñado como una opción "P" en los calibradores BLH serie FAE.

## A. Ventajas:

- 1.- Capacidad de muy alta elongación a 15%

## B. Desventajas:

- 1.- No deseable para lecturas dinámicas.
- 2.- El constantan recocido no puede compensarse así mismo por temperatura. En la condición de recocido el constantan tiene un coeficiente térmico de 8 ppm/°F.

## MATERIALES BASE:

La base o sostén de los calibradores de deformación sirve para las siguientes funciones:

- 1.- Proporciona un significado del manejo del material sensitivo de la laminilla durante la instalación.
- 2.- Proporciona una estabilidad mecánica y dimensional durante la instalación.
- 3.- Proporciona una fácil superficie de pegado para el cementado del calibrador sobre la superficie del material que está siendo examinado
- 4.- Proporciona un aislante eléctrico entre el metal de la laminilla y el material que está siendo examinado

## I.- BASES PERMANENTES:

Las bases permanentes son generalmente manufacturadas de materiales orgánicos, estas bases son muy delgadas generalmente 0.001" o menos, y son suficientemente flexibles para mantener un contacto mecánico infinito con el espécimen obstando el contorno de la superficie, cambios de temperatura u otras condiciones transitorias. La unión entre la base y la laminilla sensora puede tener un alto grado de esfuerzo cortante a asegurar la fiel transmisión de la deformación unitaria de la superficie del espécimen a la rejilla de la laminilla calibradora.

Los siguientes son algunos de los materiales bases más usados y algunas de sus propiedades.

#### A. Resina Polyimide (FAE, FDE, FSM, FDM, FSE)

Las bases de resina polyimide están provistas en su construcción de una capa de vaciado (FAE) y laminaciones reforzadas de vidrio tales como las series (FDM y FSM). Para un propósito general de uso se recomienda los tipos de capa vaciada son duros, flexibles y tiene una alta capacidad de elongación (arriba del 20%), la temperatura de operación de la base de polyimide de capa vaciada tiene un rango de medición desde la criogenia hasta 400°F. Para altas temperaturas de operación, la resina polyimide está reforzado con vidrio y encapsulado usualmente para un servicio probable de 700°F, con un límite de operación a 750°. Los calibradores que usan base de resina polyimide, están disponibles en un gran rango de opciones de adhesión en terminales.

#### B. Bases de Vidrio Epoxico. (FAQ, FAB).

Las bases de vidrio epoxico se desarrollan para mejorar la capacidad de temperatura y la estabilidad dimensional de calibradores de deformación unitaria -- a encontrar el requerimiento especial para transductores de precisión. El reforzado de vidrio laminado ayuda a reducir el rango de deformación unitaria efectiva del calibrador generalmente al 1% o menos. Sin embargo esta base provee de una estabilidad dimensional excepcional y bases extremadamente delgadas. Las bases de vidrio epoxico son considerablemente más quebradizas que un calibrador polyimide y se debe tener más cuidado al manejarse el calibrador para prevenir al astillamiento o quebradura de la base.

#### C. Bases de Papel (FAP)

El primero y el más utilizado, la base más comercial de calibrador tiene una combinación de papel nitroceluloso en el cual una fibra de papel celuloso es impregnado con un adhesivo nitroceluloso.

El adhesivo es curado por la evaporación de un solvente, usando este tipo de base en los calibradores son fácilmente instalables porque la base porosa se endurece en el adhesivo, conforme se adhiere a la superficie del especimen, y el solvente liberado es inhibido. El rango de temperatura de operación de los calibradores usando base de papel es - 100°F hasta + 180°F.

#### D. Bases Metálicas.

Las bases metálicas son comunmente llamadas calibrador soldable. Las bases metálicas son usadas en BLH en los tipos de calibradores FABW, FSMW, FNH, FNWB. En la construcción los elementos sensores del calibrador son adheridos a una cuña de metal delgada (usualmente 0.005" de espesor) con un adhesivo aislante.

La cuña de metal es ayudado a adherirse al especimen usando energía almacenada, tipo de capacitancia de soldadura de punto. El material cuña usado en la manufactura de estos tipos de calibradores es muy afin de soldarse; por ejemplo, acero con acero etc. y con un coeficiente de expansión igual al del material del especimen para asegurar un mismo esfuerzo térmico con la soldadura de puntos.

## II Bases Temporales.

Las bases temporales tienen un desarrollo para uso donde las condiciones ambientales no son deseables a las bases organicas (generalmente cuando las mediciones son hechas en un ambiente con una temperatura arriba de 750°F.)

Los calibradores de alambre (serie HT) son pegados a una estructura abierta, esto es para proveer una adhesión limitada a la rejilla para el propósito del man

tenimiento y estabilidad dimensional hasta el extremo del adhesivo que pueda soportar el elemento sensible. Los calibradores diseñados para la aplicación de un rocío usan teflón, base el cual puede estabilizar la temperatura del rocío - todavía esparcido sobre el material y provee un relajamiento después que la rejilla es adherida.

Las ventajas de un sistema de base temporal incluye mejoramiento en contactos - térmicos y mecánicos con el espécimen con un mínimo de incremento en el espécimen fijado.

#### SELECCION DE CALIBRADORES:

#### GENERALIDADES.-

Como se menciona previamente; el proceso para seleccionar un medidor de deformación se hace para evaluar los requerimientos del exámen y el ambiente en el cual el exámen es analizado. Si la temperatura del examen es de 500°F, el medidor debe ser seleccionado tal que soporte esta temperatura si la persona desea hacer una medición arriba de un 10% o más grande el medidor debe ser seleccionado tal que tenga un 10% de elongación o más del ya deseado.

Cuando hay requerimiento como los ya mencionados es frecuentemente necesario -- checar un tipo de medidor y sus características con respecto a los otros. Por ejemplo en los caso mencionados uno debe tomar en cuenta la temperatura de cuando el adhesivo, la temperatura estable. En otros ejemplos la persona podría tomar en cuenta la temperatura de compensación para elongaciones altas sin embargo si se selecciona un medidor de deformación con su temperatura de compensación estos factores pueden ser eliminados.

#### Serie. FAE

Esta serie de medidores de deformación es una combinación de laminillas de constantan sobre una base de polyimide el calibrador es duro y flexible haciendo ideal para el pegado firme de los contornos del medidor.

EL FAE es ampliamente usado en el análisis de esfuerzos cuando el rango de operación en la instalación fluctua de - 50°F a 250°F con ajustes especiales este medidor puede ser usado para transductores de precisión con excelentes resultados.

El calibrador FAE ofrece las mejores combinaciones de manejo y operación y costo cuando es usado sin los límites de temperaturas recomendadas del calibrador. Esta serie llega a ser ampliamente usada con varias opciones.

#### CARACTERISTICAS:

- 1) Espesor del Calibrador-----0.0015"
- 2) Flexibilidad-radio de flexión-----0.0625"  
de seguridad mínimo.
- 3) Rango de temperatura máxima en °F ----- -320 a 600
- 4) Rango de temperatura de compensación en °F ----- - 50 a 400
- 5) Límite de deformación máxima ----- 4%
- 6) Características de fatiga a 10<sup>7</sup> ciclos ----- 60μ "1"  
1500 μ "1" ajuste a cero sin falla.
- 7) Adhesivos compatibles ----- todos excepto  
el SR4 y el DUCO

#### SERIES FSE

Estas series de calibradores son los mismos que la serie FAE con excepción de la laminilla Stabiloy la cual ofrece un rango alto de temperatura de compensación.

Características:

- 1) Espesor del calibrador ----- 0.0012"
- 2) Espesor del calibrador ----- 0.1875"
- 3) Espesor del calibrador ----- 450 a 500
- 4) Espesor del calibrador ----- 320 a 425
- 5) Espesor del calibrador ----- 2%
- 6) Espesor del calibrador ----- 20 μ " 1 "
- 7) Espesor del calibrador ----- todos excepto  
el SR4 y el DUCO. .

SERIE FAQ

Esta serie de calibrador son similares a las series FAE exepcto que la base de la FAQ es rígido y quebradizo. La preferencia del FAQ contra el FAE debe ser basado sobre todo en la instalación del medidor scbre corrimientos libres. La serie FAQ es usado por la gente para hacer transductores de precisión donde el costo extra del medidor y demás dificultades manejan características que son aceptados en las tablas que requieren corrimientos libres, En consecuencia para conseguir un máximo resultado de la serie FAQ debe utilizarse un adhesivo apropiado tal como el BLH tipo QA 550.

Características:

- 1) ----- 0.0014"
- 2) ----- 0.1875"
- 3) ----- 320 a 425
- 4) ----- 50 a 275
- 5) ----- 2%
- 6) ----- 85 μ " 1 "
- 7) ----- QA 550 o equivalente.

SERIE FAB.

Esta serie de medidores son similares al FAQ con la excepción de que estos calibradores son encapsulados con terminales.

- 1) ----- 0.0025"
- 2) ----- 0.125"
- 3) ----- 320 a 600
- 4) ----- 100 a 450
- 5) ----- 2%
- 6) ----- 34 μ " 1 "
- 7) ----- todos excepto el  
SR4 y el DUCO.

SERIE FDE

Las series FDE es una combinación de Dynaloy (GF de 3.2) laminilla sensible sobre una base de polyimide. Este medidor es apropiado para mediciones dinámicas debido a un excelente resistencia sensible a la fatiga. Puede notarse que el Dynaloy no puede tener temperatura de compensación por el tratamiento térmico y el coeficiente térmico de la resistencia es muy alto, 80ppm/°F. Sin embargo el factor de calibración es muy alto y las características a fatiga hacen que esta serie de calibradores muy apropiados para ciclos rápidos por lo tanto al balancear a cero no es importante que la máxima deformación se mantenga a 5000 μ " / " (0.5%)

Características:

### Características:

1) Espesor del calibrador	-----	0.0015"
2) " " "	-----	0.0625"
3) " " "	-----	- 450 - 500
4) " " "	-----	NO
5) " " "	-----	2%
6) " " "	-----	10 $\mu$ "/"
7) " " "	-----	todo excepto SR- y Duco.

### SERIES FAP

Esta serie es una combinación de laminilla sensible de constantan sobre una se de papel de mitrocelulosa. La instalación de este calibrador tiene una pequeña diferencia que los otros tipos de calibradores. Una pequeña gota de adhesivo SR4 o Duco se hace sobre la superficie preparada la cual se va a pegar el calibrador. Un pequeño lazo se hace en el calibrador la parte media es cc cada debajo en el adhesivo y luego los bordes se dejan caer en el adhesivo y después totalmente cae sobre el mismo. Usando los dedos con un movimiento de rotación. No deslize los dedos sobre el calibrador porque el adhesivo está fresco, también las terminales pueden ser dañadas. Un pedazo de teflón puede ser también usado en la operación anterior pero no para el secado; una esponja de hule de silicón también puede ser usada sobre todo para adhesivos evaporates la ventaja del calibrador FAP es su rapidez y fácil instalación y también fácil de remover.

### Características:

1) -----	0.0038"
2) -----	0.0625"
3) -----	- 320 a 180
4) -----	- 50 a 150
5) -----	4%
6) -----	100 $\mu$ "1"
7) -----	SR4 y Duco.

### SERIES FSM

Este calibrador es una combinación de Stabiloy y un filtro de vidrio modificado sobre una base de polyimide. El stabiloy es cuidadosamente procesado para producir una temperatura mínima que produzca un error entre 75° y 600°F y puede ser usado a 700°F donde los datos son correctos también puede ser empleado u circuito de compensación. La rejilla está diseñada para reducir la sensibilidad transversal y la resistencia a la fatiga tomando en cuenta límites convencionales.

El níquel recubierto de fibras metálicas de berilio y cobre son especialmente procesados y unidos al medidor para proveer una resistencia máxima a la corrosión y flexibilidad mínima sacrificando la resistencia a la fatiga y la limitación de temperatura.

### Características:

1) -----	0.0025"
2) -----	0.125"
3) -----	- 450 a 750



- 4) \_\_\_\_\_ - 25 a 575
- 5) \_\_\_\_\_ 2%
- 6) \_\_\_\_\_ 15μ ""

SELECCION DE LA LONGITUD DE LA REJILLA ACTIVA:

Cuidados particulares deben ser tomados para seleccionar la longitud de la rejilla activa del calibrador. El calibrador promediará la deformación a lo largo del eje X sensible; por lo tanto cuando la medición toma en cuenta los gradientes el calibrador debe tener una longitud suficientemente corta en los picos de deformación que deben ser usados. Contrariamente si un medidor es pegado sobre un material no homogéneo tal como el concreto, la longitud de rejilla activa debe ser suficientemente grande para darnos deformaciones las cuales deben ser representativamente abajo, debido a los huecos u oclusiones debajo de la rejilla como se muestra en la figura.

En un campo uniforme de deformación, la longitud de rejilla activa debe ser de 0.125" a 0.250". Estos dos tamaños son comunes para ser utilizados, ofrecen una gran amplitud de variantes para calibradores y otras cosas por igual, son generalmente menos caros que los medidores más cortos ó más largos.

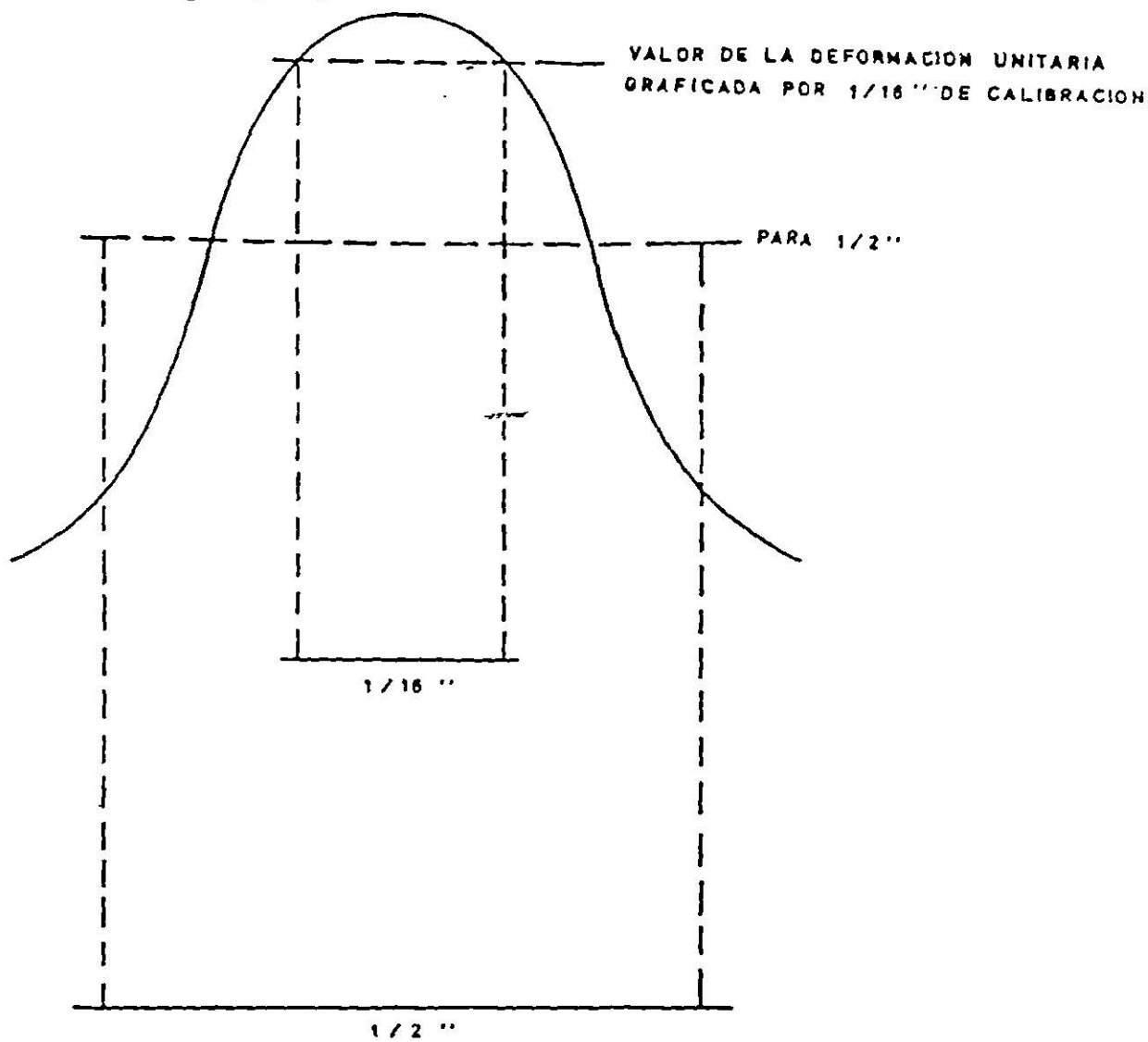


Fig. 39

## SELECCION DE LA RESISTENCIA DEL CALIBRADOR:

Si bien hay un gran número de valores de resistencia que pueden ser tomados en cuenta, los dos valores más comunes son 120 ohm y 350 ohm.

La elección de uno contra otro es generalmente basada bajo las siguientes consideraciones.

1.- La presencia de resistencias parásitas tales como terminales mucho muy largas o resistencias de compensación en serie con los calibradores. Si estas resistencias parásitas son presentadas, ello tiende a desensibilizar el calibrador en un gran porcentaje. El uso de una resistencia de 350 ohm tiende a reducir este efecto.

2.- El voltaje de excitación del calibrador es restringido por un número de factores por ejemplo, la energía disipada en la rejilla la densidad en la rejilla el área de la rejilla, el ancho de la rejilla y la resistencia. Como regla general tanto más grande sea la resistencia del calibrador la energía disipada será mayor por lo tanto el voltaje debe ser más alto en consecuencia se incrementará el voltaje de salida, la estabilidad será muy buena cuando se opere a alta temperatura.

3.- Los calibradores de alta resistencia ayudan a disipar el calor cuando están trabajando sobre muy pobres caídas de calor tales como los plásticos.

4.- Si no se toman en cuenta las consideraciones anteriores puede utilizarse una resistencia de 120 ohm. Un calibrador de 120 ohm, es menos caro que el de 350 ohm.

## SELECCION DEL ELEMENTO REQUERIDO PARA LOS CALIBRADORES:

En análisis experimental de esfuerzos un elemento de señal simple es en muchos casos usado cuando el eje principal de deformación es conocido y solamente se mide un eje ya sea a tracción, compresión etc. si el elemento de señal simple no está alineado en el eje principal por unos cuantos grados; el error es mucho muy grande. Cuando los ejes principales son conocidos y las deformaciones son biaxiales estos pueden ser medidos mediante roseta a 90°. Si los ejes principales no son conocidos se debe de utilizar una roseta rectangular para determinar los ejes principales.

### Selección de Calibradores con temperatura Autocompensada

La selección de un correcto número Autocompensador de temperatura (STC) es muchas veces directo viendo el catálogo de la BLH, notará que al final de la simbología una letra " x ". FAE-25-125x. Cuando está seleccionando el número correcto la persona debe referirse a un material de buen coeficiente térmico. Hay una lista de valores en la parte posterior del catálogo, por ejemplo; si el material es aluminio, el coeficiente de expansión térmico es 13 ppm/°F; por lo tanto el número correcto del calibrador es 13 y la descripción será FAE-25-12-S13. Los STC números que la BLH utiliza son 0,3,5,6,7,9,13,15 y 28.

## SELECCION DE OPCIONES PARA CALIBRADORES:

### 0 MEDIDORES DE DEFORMACION.

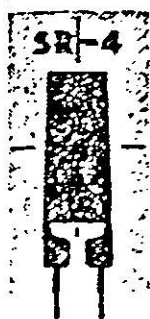
Las opciones para calibradores son hechas basicamente para la instalación del calibrador o medidor ésta selección de la opción es generalmente determinada considerando varios factores tales como: área del trabajo, conductores de alambre que tengan un ángulo en particularmente etc. Estas opciones son convenientes para soldar las terminales al calibrador sin el riesgo de daños al mismo debido al exceso de temperatura en el momento de soldar las siguientes opciones comúnmente utilizadas son:

# selection of strain gage options

Strain gage options are made available primarily as an aid in gage installation. The selection of an option is generally determined by considering the various constraints of the installation, such as a very small working area, or the lead wires must be at a particular

angle, etc. Options are also a convenient way to solder lead wires to the gage without the risk of delaminating the gage due to excessive temperature from the soldering iron. The following is an outline of some of the most commonly used options:

## L — LEADS ATTACHED



GAGE TYPES: FAE, FDE, FAO

This option adds nickel-clad copper-ribbon leads soldered to the FAE gage tabs (nickel-plated beryllium-copper for maximum fatigue life to FDE gages). Lead dimensions are 0.203 mm (0.008 in.) or 0.305 mm (0.012 in.) wide by 0.635 mm (0.025 in.) thick by 25.40 mm (1.000 in.) long. The leads are soldered to the gage tab with 218C (425F) tin-silver solder, usable to 204C (400F). Gage life of copper is much less than that of the gage sensing element. Routing and dressing the leads to keep them out of the strain area will usually overcome this deficiency.

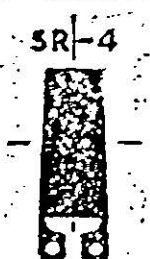
## ES — ENCAPSULATED WITH SOLDER DOTS



GAGE TYPES: FAE, FDE

This option combines options E and S providing a gage with both polyimide film and solder dots. Encapsulation is removed in the area of solder dots for lead attachment.

## S — SOLDER DOTS



GAGE TYPES: FAE, FAB, FAO, FDE

This option simplifies lead attachment by providing an accurately positioned 0.254 mm (0.010 in.), 0.381 mm (0.015 in.), or 0.762 mm (0.030 in.) diameter solder dot on the tab. This allows lead orientation in any position. Solder dot material is tin-silver alloy with a melting point of 218C (425F). The gage retains its flexibility and fatigue life is unaffected.

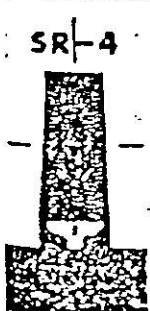
## EG — ENCAPSULATED, GOLD COATED TABS



GAGE TYPES: FAE

Stress analyzed grid configurations in the FAE Series combined with the superior fatigue resistance of gold in this option to produce an all-new general purpose, fully encapsulated gage. This option eliminates the need for terminal strips and interconnecting leads by providing oversize gold-coated tabs to which lead wires can be soldered directly. The gold-coating prevents corrosion during curing process for high-temperature adhesives.

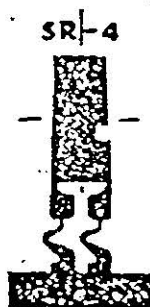
## E — ENCAPSULATION ONLY



GAGE TYPES: FAE, FDE

This option consists of a 0.0254 mm (0.001 in.) layer of polyimide film that covers all of the gage except that portion of the tab necessary for lead attachment. The polyimide overlay provides protection of the sensing element during installation handling, and promotes better long term stability with the foil grid protected from airborne contaminants or fingerprints.

## ET — ENCAPSULATED W/INTEGRAL NICKEL-PLATED BERYLLIUM COPPER TERMINALS



GAGE TYPES: FAE, FDE, FSM

The integral beryllium-copper, nickel-plated, etched terminals are mounted on an extension of the polyimide backing which is then covered with a 0.0254 mm (0.001 in.) layer of polyimide film that encapsulates all but the lead wire attachment area of the terminals. This increases the environmental integrity of the gage, at the same time retaining the flexibility of the gage backing. There is only one solder joint at the gage tab made with 218C (425F) tin-silver alloy solder with a useful paper limit 204C (400F). Only a slight reduction in rated fatigue life occurs. This option is excellent for general purpose gages because installation time is reduced and the more rugged terminal will accept longer lead wires.

## EL — ENCAPSULATED WITH LEADS

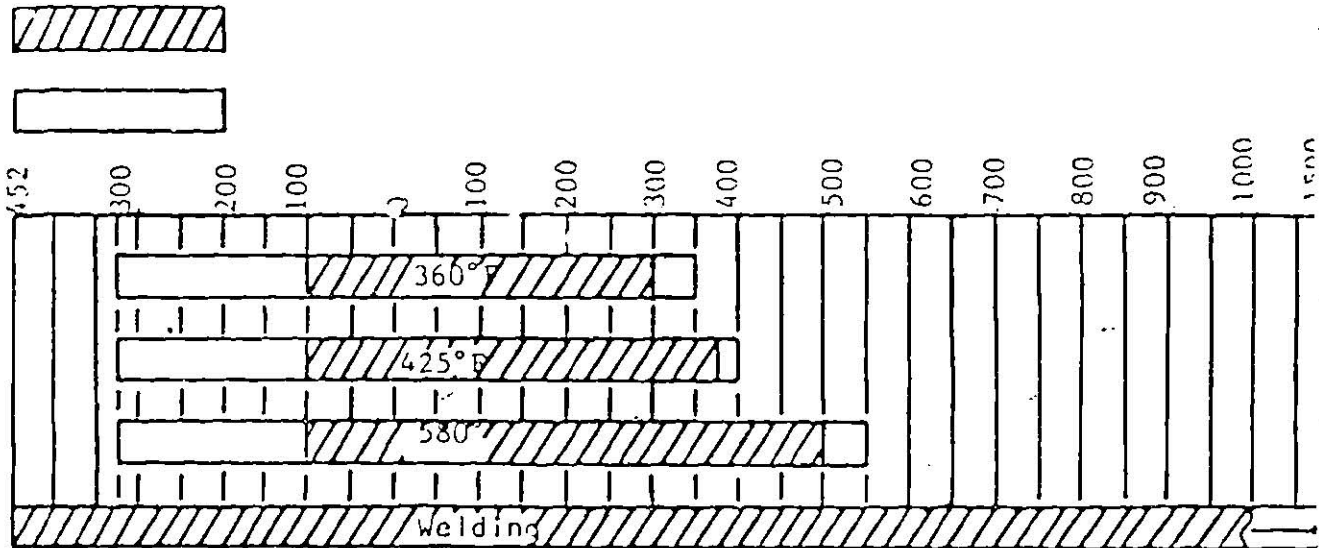


GAGE TYPES: FAE, FDE

This option combines options E and L providing a gage with both ribbon leads and a 0.0254 mm (0.001 in.) layer of polyimide film.

## SELECCION DE LA SOLDADURA DEL CALIBRADOR:

La soldadura es el material más ampliamente usado para unir las terminales de alambre al calibrador. Soldadura eutéctica, aleación de plomo, estaño, plata antimonio son diseñados para darle una forma estable en el soldado por temperatura. La elección de la soldadura para una aplicación particular es determinada por el punto de fusión, la cual debe ser 25° menos que la más alta temperatura de cuarto. La siguiente lista nos da una idea general de las temperaturas de fusión recomendadas. La carta incluye información sobre técnica de soldadura e inspecciones prácticas.



### Fundentes:

En las uniones de soldadura debe tomarse en cuenta la limpieza de la superficie de los conductores y que se encuentran libres de óxidos para eso se agrega un solvente que remueva los aceites contaminantes y una abrasión mecánica requerida para remover el óxido, el uso del fundente es necesario durante el soldado. El fundente está diseñado para retardar la formación de óxido durante el proceso de soldadura. El fundente es naturalmente corrosivo aunque el residuo no es corrosivo. Algunos materiales fundentes tales como sustancias basadas en resinas son activadas mediante el calor. Otros tipos contienen ácidos que reducen las sales neutras cuando se evaporan por calor. Los residuos de fundentes son removidos cuando finaliza el proceso. Use fundente de resina o constantan y remueva los residuos con MEK o alcohol isopropílico, use un fundente de líquido inorgánica o stabloy y renewa los residuos con agua o desmineralizada.

### Soldadura:

Los conductores de alambre de los calibradores usados en alta temperatura pueden ser unidos mediante soldadura. La carga en la soldadura es a razón de 15 a 40 Watts por segundo en operación de trabajo. La soldadura diseñada para esta aplicación son aplicadas con un lápiz soldador de peso ligero portable operado con una corriente alterna. Aunque algunas veces es difícil unir terminales de cobre, los conductores de cobre son fácilmente unidos a materiales del mismo tipo, al níquel o aleaciones de cromo níquel.

## SELECCION DE TERMINALES DE ALAMBRE EN LOS CALIBRADORES:

1) Cobre, por su baja resistividad, es el más ampliamente usado como conductor sin embargo tiene un gran coeficiente de temperaturas más sensible a la deformación, también tiene poca resistencia a la fatiga y la corrosión. Cuando el alambre de cobre ó de ribbon es usado como terminales es necesario checar la

## SOLDERS IN STRAIN GAGE WORK

Tin	Lead	Solder	Liquidus	Mechanical	Wetting Strength	Corrosion & Flow	Low Resistance	High Temperature	Fatigue Temperature	Flux
50	50	361°F	417-421°F	Good	Very Good	Good	Poor	330°F	Good	Rosin
53	37	361°F	361°F	Good	Very Good	Good	Poor	330°F	Good	Rosin
50	47	361°F	361°F	Good	Very Good	Good	Poor	330°F	Good	Rosin
55	54	452°F	464°F	Excellent	Excellent	Very Good	Good	420°F	NG to Low Temp	Rosin
55 S	3.5 Ag*	435°F	430°F	Very High	Very Good	Excellent	Poor	400°F	Very Good	Rosin
10	97.5 = 1.5 Ag	579°F	579°F	Fair	Poor	Poor	Excellent	550°F	Very Good	Corrosive
3 = 1.5 Ag	88 S	562°F	572°F	Good	Good	Good	Very Good	520°F	Very Good	Activated Rosin
35	52 Ag**	243°F	243°F	Good	Excellent	Excellent		200°F		Rosin

\* High Electrical Conductivity. \*\* For use in vacuum seals expensive. † Should be neutralized with ammonia or neutralizer. ‡ S flux is corrosive.

Select a solder that has: Good wetting power and flowing power. Low differential thermal expansion. minimum galvanic corrosion. easy range resistivity. maximum strength and temperature.

Select a flux that is: Non-corrosive. able to improve the solder performance as well as oxidation protection. Does not cause leakage. Has thermal stability. ease of residue removal. spreading activity and safety.

### Other Considerations

1. Choose the right tip temperature so that a fast soldering can be made without damage to the gage backing.
2. The tip must be shaded to provide maximum contact area with the joining parts.
3. While soldering, the base metal should be as hot as the molten solder.
4. Interchangeable tips should have good physical contact with the heating element for high heat transfer.
5. A small tip can lose and recover its heat rapidly. It needs a higher tip temperature.
6. Keep the iron tip well tinned at all times.
7. Cover the working tip with an excess of solder to prolong the tinned tip. Wipe off the excess solder with a moist sponge before each use.
8. Use iron clad tip for high tin content solders.
9. Tin lead solders with copper additive can reduce soldering iron tip deterioration.
10. For very fine copper wires of 0.003 inch or less, use high lead solder with rosin flux because the fluxes copper at soldering temperatures and causes embrittlement.
11. Flux residue should be removed to avoid aging effects and other reactions.
12. Solvent evaporation from liquid rosin flux should be avoided. To maintain original flux density for high quality soldering, constantly replace thinner to make up for loss.
13. Observe the possible hazard of flash fires for rosin flux.
14. Paste fluxes should be avoided for strain gage work because the flux residues are more difficult to remove.
15. Use heat sink whenever possible to reduce damage to plastics.

## INSPECTION OF SOLDERED JOINTS

Classification	Good Joint	Poor Wetting	Cold Joint	Insufficient Heat	Rosin Joint
Contact Angle	Small	75°	Small	75°	Varies
Pinholes	Few	Yes	Some	Few	Few
Solder Surface Appearance	Smooth	Not Continuous	Granulated	Irregular	Irregular
Exposed Base Metal	Bright	Irregular	Frosty	Dull	Irregular
Results	Yes	Yes	No	Some	No
Strength	Good	Little	Poor	Poor	Poor
Electrical Continuity	Good	Some	Some	Poor	No
Causes					
Surface Preparation	—	X	—	—	—
Wrong Flux	—	X	—	—	—
Wrong Solder	—	X	—	—	—
Improper Heating	—	—	—	X	X
Too Much Flux	—	—	—	—	X
Improper Operation	—	—	—	—	—

1. Contact angle or wetting angle: The angle between solder and base metal at the contact point.  
 1°: But erratic  
 1°: Partially covered with rosin  
 1°: Solder was jiggled during solidification

### Checklist for good solder joints

1. Are the surfaces to be soldered free of grease and dirt?
2. Are the surfaces tinned?
3. Is the flux vehicle suitable for your temperature range?
4. Have you selected the right flux and solder?
5. Is your solder iron tip well tinned and clean?
6. Have you chosen the right solder iron temperature, usually 60° to 150°F above the liquidus temperature of the solder?
7. Do you use heat sink device to minimize damage of organic components?
8. Have you maintained the heat sufficiently long to preclude flux inclusions?
9. Do you remove the heat in time to avoid oxidation and damage of components?
10. Do you hold the solder parts in place during solidification?
11. Do you remove the flux residue and neutralize the residue containing acids?
12. Have you inspected the solder joint?

continuidad del mismo.

2. Materiales Recubiertos: El uso de conductores estañados en placa o recubiertos ayuda a la resistencia de la corrosión e incrementa el límite de temperatura de operación. Las características eléctricas de los conductores recubiertos son superiores a los otros tipos. Se enlista en una tabla de los límites de temperatura de operación de los materiales recubiertos mas comunes.

3. Aleaciones: La aleación Níquel-Cromo tales como Nichrome ó Karma son usadas como conductores en altas temperaturas. Las terminales o la cinta hecha de este material es estable a 700°F y buen servicio a 1700°F para aplicaciones dinámicas. La alta resistividad del níquel-cromo limita el uso de longitudes pequeñas en altas temperaturas de operación. Este material no debe ser substituido por terminales de cobre donde la operación está fuera de rangos de temperatura. Otro tipo muy utilizado como conductor en las terminales es el berilio-cobre esta aleación puede ser encapsulada o en placas y es muy útil en aplicaciones dinámicas.

Donde haya relevación de deformaciones o donde las terminales deban de estar pegadas a la superficie del material por razones mecánicas no deben de ser utilizados.

Aislamiento en las Terminales.

Hay numerosos materiales aislantes para terminales; tales como (PVC) cloruro de polietileno, polietileno irradiado y Nylon. El PVC es muy rugoso, un aislador seguro para temperaturas en un rango de operación de - 100°F a 1500°F. El polietileno radiado puede soportar temperaturas arriba de 400°F. El nylon por su superioridad mecánica tiene comportamientos de frío extremo tiende a aplicarse en un rango de temperaturas cryogénicas.

Teflón:

El teflón por su resistencia mecánica y daño químico en un rango de temperatura de (~ 100 a 500°F) es el más popular de los materiales aislantes. El teflón puede ser fijado por una preparación especial de sodio antes de pegado.  
PELICULA AISLANTE DE POLYIMIDE:

La película de polyimide está cubierta y pegada sobre los conductores para proveer una rigidez, es un aislante flexible capaz de soportar temperaturas arriba de 800°F. La cubierta aislada, tiene un cierto grado de porosidad la cual puede ser considerado donde haya agua fluidos corrosivos o agentes químicos.

Hule Natural y Sintético:

Los conductores cubiertos con un material de hule sintético tales como el neopreno o silicón son generalmente seleccionados para usarse en instalaciones de largas terminales expuestos al medio ambiente o incrustados en el mismo suelo o concreto. El aislante de hule tiene una gran resistencia a la penetración de sustancias.

Vidrio y Cerámico.

Quando la temperatura arriba del rango de los materiales organicos está incluido, las terminales de alambre o cinta está generalmente unido al especimen usando cemento cerámico y rociado de alúmina o el alambre se cubre con fibra de vidrio o una capa de cuarzo. Si la capa de cuarzo es usada es frecuentemente impregnada con resina de silicón al conductor para reducir la tendencia a desmenuarse. La capa de cerámica está aleado con alúmina y oxido de magnesio también es usado en altas temperaturas.

**LEAD WIRE DESIGNATION CODE**

**ST C · 26 V · 3 RWB**

**TYPE MATERIAL SIZE INSULATION NO. OF CONDUCTORS COLOR**

TEMPERATURE RANGE	DESIGNATION	OHMS/FT/COND. at 70F (20C)	QUANTITY	CATALOG NUMBER
	STC-26V-1R	0.04	100 feet	218911
	STC-26V-1W	0.04	100 feet	218970
-150F (-74C)	STC-26V-1B	0.04	100 feet	218909
to	STC-26V-1G	0.04	100 feet	218912
-75F (20C)	STC-26V-3RWB	0.04	100 feet	218960
	STC-26V-4RWBG	0.04	100 feet	218961
	STC-30V-3RWB	0.10	100 feet	218962
	STC-35V-4RWBG	0.40	25 feet	218963
-150F (-103C) to	SDC-27SE-1	0.05	100 feet	218964
300F (149C)	SDC-34SE-1	0.30	100 feet	218965
	STC-26T-1R	0.04	100 feet	218907
	STC-26T-1W	0.04	100 feet	218906
Cryogenic	STC-26T-1B	0.04	100 feet	218905
to	STC-26T-1G	0.04	100 feet	218908
275F (126C)	STC-26T-3RWB	0.04	25 feet	218967
			50 feet	218966
	SDC-36T-1R	0.40	50 feet	218969
	SDC-36T-1W	0.40	50 feet	218970
	SDC-36T-1B	0.40	50 feet	218971
	SDC-36T-1G	0.40	50 feet	218968
	RBCON 4x31U-1	2.40	100 feet	103153
Cryogenic	RBNCC-2x12U-1	0.30	100 feet	216361
to	RBNCC-2x8U-1	0.50	100 feet	216362
200F (48C)	SDNCC-25F-1	0.04	100 feet	218972
Cryogenic	SDNIV-25F-1	2.50	100 feet	218973
to	SDNIV-30U-1	6.50	100 feet	218501
1300F (705C)	RBNIV-3x15U-1	14.50	100 feet	103152

**SLEEVING**

22F Fiberglass Sleeving - 1300F (705C), 100 feet	218502
24F Fiberglass Sleeving - 2000F (1093C), 100 feet	219012

**CABLE**

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	CATALOG NUMBER
4-Conductor, shielded #22 AWG (polypropylene insulated, vinyl jacket)	-40F to 175F (-5C to 80C)	per foot..... 020106

## TERMINALES LARGAS:

Las terminales largas son solcadas y unidas al calibrador dependiendo del tipo que se utilice. Estas terminales deben soldarse en forma exacta y limpia mediante puntos de soldadura. Los puntos deben ser muy cuidadosos ya que puede haber fugas eléctricas.

### Resistencia de las Terminales:

En muchas aplicaciones el efecto de la Resistencia en las terminales sobre el calibrador es nulo. Cuando los diámetros son grandes o pequeños hay resistencia en las terminales, en serie con el calibrador reduce el factor celda en proporción a la razón de las terminales y el calibrador. Para conectar esto por ejemplo un calibrador de 120 ohms es conectado con una terminal de alambre de 75 pies de largo y de # 20 AWG cobre.

El alambre de cobre # 20 tiene una resistencia de  $100 \Omega$  por 1000 pies de longitud. La resistencia total del alambre en serie con el calibrador es de  $1.5 \Omega$ , la cual reducirá el factor de celda a una razón de 1.5:12 o 1.25%. Para medir correctamente, multiplique toda medición de deformación por  $1/0.9875$ .

### ESFUERZO MECÁNICO:

Esto es posible para esfuerzos producidos en las terminales bajo su propio peso la cual influye en la señal de salida.

### SELECCION DE ADHESIVOS PARA CALIBRADORES:

Los adhesivos utilizados para unir el calibrador con el espécimen o al área de análisis pueden poseer una Resistencia cortante (después del curado) para transmitir la deformación del espécimen al calibrador y subsecuentemente el elemento sensible. Los adhesivos capaces de soportar una resistencia cortante de 1500 a 2000 psi sobre un rango de temperatura son aceptables en un esfuerzo de trabajo.

El secado de los adhesivos también nos provee un grado de aislamiento del medidor con respecto a la superficie de análisis. En seguida se enlista una tabla de adhesivos.

### ADHESIVOS:

#### Sistemas de solventes liberadores:

Los sistemas de solventes de liberadores tal como el Duco que pueden ser curados a una temperatura de cuarto simplifican la instalación de calibradores de base de papel.

Estos adhesivos de nitrocelulosa son compatibles con muchos materiales excepto con aquellos que son vulnerables a los solventes ketónicos. Los sistemas de solventes liberadores son propios para temperaturas arriba de  $180^{\circ}\text{F}$  y requiere una presión mínima durante el ciclo de curado. El tiempo de curado para estos adhesivos varía entre 2 y 48 horas dependiendo del porcentaje del solvente, la humedad relativa y la temperatura. Los adhesivos de nitrocelulosa son hidroscopicos y pueden ser protegidos mediante una capa resistente a la humedad que asegurar una estabilidad eléctrica. Otra ventaja del adhesivo de nitrocelulosa es su fácil instalación y pueden ser removidos usando solventes ketónicos.

#### ADHESIVO DE CONTACTO:

Este tipo de adhesivos de Cyano acrylato son de fácil curado tales como el Eastman 910 llamados comunmente adhesivos de contacto. Estos adhesivos son compatibles con muchos materiales y soportan medidores que pueden ser usados completamente y cuya instalación es en tiempo de minutos. El rango de seguridad -



y temperatura máxima del Eastman 910 está enlistado en la tabla de adhesivos de los calibradores. La mezcla y la sensibilidad del Eastman 910, particularmente en la zona de pegado debe tenerse protección durante y después de la instalación

#### ADHESIVOS EPOXICOS:

Los adhesivos epoxicos usados son de dos tipos:

1) Un tipo que seca a temperatura de curado usando un catalizador de amina.

2) Un fijador térmico que es activado mediante un catalizador de ácido anhidrido. Ambos tipos pueden tener un relleno orgánico diseñado para darle una resistencia al adhesivo. Incrementar la viscosidad de la resina. Los ciclos de presión y curado difieren considerablemente en la selección y el examen requerido. Los adhesivos epoxicos tienen una excelente humedad y resistencia y a los cambios químicos y soportar un rango de temperatura entre  $-452^{\circ}\text{F}$  -  $600^{\circ}\text{F}$ .

#### ADHESIVOS FENOLITICOS:

Los adhesivos fenolíticos o Bakelita tienen un sistema de fijación térmico requiere de alta presión y largos ciclos de curado. Este adhesivo es usado arriba de  $200^{\circ}\text{F}$  y a sido remplazado por el epoxico y epoxico-fenolítico. El fenolítico es utilizado en transductores por su gran estabilidad térmico bajo carga.

Adhesivos de Polyimide: Es un tipo de adhesivo de fijación térmica de resina - usado para fabricar la base del calibrador al igual como adhesivo. El adhesivo polyimide soporta temperaturas entre  $-320^{\circ}\text{F}$  -  $750^{\circ}\text{F}$ .

#### ADHESIVOS CERAMICOS:

Los calibradores usados para temperaturas arriba de  $700^{\circ}\text{F}$  requieren de un adhesivo especial. El adhesivo de cerámica consiste de un óxido compuesto de fosfato con una base ácida. Los adhesivos de cerámica son usados para altas temperaturas. El adhesivo es aplicado al especimen como un aislador y a la vez como recubridor del calibrador; al curarlo arriba de  $600^{\circ}\text{F}$  produce una dureza y un recubrimiento poroso con una temperatura de servicio en un rango de  $-452^{\circ}\text{F}$  -  $1000^{\circ}\text{F}$ .

#### TECNICAS DE PEGADOS ESPECIALES:

##### Aplicaciones de Spray:

Otro método para usar un calibrador usado para altas temperaturas es el método de spray. Este proceso pamentado conocido.

Como "Rokide" incluye una solución de Alumina y otra óxido recubridor preparado sobre la superficie del metal usando un atomizador de pistola. Los calibradores, usados con esta aplicación están libres de filamentos (tipo BLH, EHT- 200-400) - Equipado con una base removedora; las ventajas que ofrece este método son: no hay ciclo de curado, se reduce el tiempo de la instalación y no se modifican las características mecánicas ni eléctricas: este tipo de spray resiste las reacciones nucleares y son propias para instalaciones en vacío la temperatura límite de este spray está enlistado en la tabla de adhesivos.

##### Selección de Recubrimientos del Medio Ambiente:

## Descripción General;

Los recubrimientos protectores frecuentemente usados para prevenir los daños químicos y mecánicos que pueden surgir en la instalación. Todas las partes componentes del calibrador son afectadas en algún grado, por la humedad u otro factor ambiental. Para eso debe de ser protegido totalmente el calibrador; los factores que influyen en la selección del recubrimiento son: El medio ambiente la dureación y la exactitud requerida. Los recubrimientos utilizados para cubrir el calibrador no dependen del espécimen. Por lo tanto un gran número de recubrimientos comerciales disponibles para ser usados. La tabla enlista las características de los recubrimientos más populares.

### CERA MICROCRISTALINA:

La cera microcristalina fué uno de los primeros recubrimientos utilizados; la cera es suave y espécimen se calienta antes de la aplicación actualmente la cera es substituida por una emulsión suave que puede ser aplicada sin precalentar el espécimen. El recubrimiento de cera es más efectivo contra la humedad y agua, pero ofrece una pequeña protección mecánica. El recubrimiento hecho de la cera está generalmente limitado para usarse a una temperatura de  $-100^{\circ}\text{F}$  a  $+150^{\circ}\text{F}$ .

### RECUBRIMIENTOS DE PLASTICO:

Los recubrimientos de plástico tales como: el vinilo líquido o resina epoxica flexible son resistentes a un disolvente químico y en algún grado al aceite y a la gasolina; los recubrimientos de vinil son particularmente utilizados en un rango de temperatura criogenicas, los recubrimientos epoxicos tienen un rango de temperatura más alto que los de vinil.

### SILICONES:

Los recubrimientos a base de silicones proveen una protección en contra de los agentes químicos y la humedad pueden ser utilizados en un rango de temperatura de cerca de  $800^{\circ}\text{F}$ . A diferencia de los recubrimientos orgánicos (plásticos) que pueden ser carbonizados y llegar a tener conductibilidad eléctrica a altas temperaturas, los silicones se convierten a silica inofensiva cuando se exceden los límites de temperatura.

### RECUBRIMIENTOS DE HULE SINTETICO:

Los recubrimientos de hule sintético incluyendo Neopleno, Polisulfuros, Polimidos de vutil y hule sintético vulcanizado; ofrecen una excelente protección mecánica y contra el medio ambiente. El rango de temperatura de estos materiales varían entre ( $-100$  y  $+450^{\circ}\text{F}$ ) dependiendo del polimedo seleccionado;

	MIL-PRF-131			MIL-PRF-132			MIL-PRF-133		MIL-PRF-134
	131A	131B	131C	132A	132B	132C	133A	133B	134
BASE	Methacrylate	Methacrylate	Acrylic	Epoxy	Epoxy	Epoxy	Polyimide	Silica & Alumina	Refractory Oxide
COMPATABILITY BY STRAIN GAGE TYPE	A, C	A, C, FAP, PA	FAE, FAB, FAP, SP, SPB, SMB, FAQ, FSE, FDE	FNB, FAE, FAB, DLB, SEMICONS, FAQ, FSE, FDE	FAE, FAB, FAD, FNB, DLB, FSE, SEMICONS	FAE, FAB, FAQ, FDE, FSE, DLB, SEMICONS	FDM, FSM	HT	HT
OPERATING TEMPERATURE	-60F (-51C) to 150F (65.5C)	-60F (-51C) to 180F (82C)	-100F (-73C) to 150F (65.5C)	150F (65.5C)	EPY 500 -452F (-269C) 500F (260C) DA-500 -320F (-195C) 500F (260C)	DA-550 -320F (-195C) 550F (288C) DA-600 -320F (-195C) 600F (315C)	-452F (-269C) 750F (399C)	More than 1000F (538C)	452F (269C) 1500F (815C)
CURE TEMPERATURE	Room Temperature to 150F (66C)	Room Temperature to 150F (66C)	Room Temperature	Room Temperature or 150F (66C)	EPY 500 200F (93C) DA-500 250F (112C) min	250F cure plus 50 above maximum cure or operating temperature	500F (260C)	600F (315C)	None
CURE TIME	12-48 hours	6 hours at RT or 30 mins at RT and 2 hrs at 120F to 140F	1-5 minutes	1-72 hours	2 hours plus 4 hours post cure	2 hours plus 4 hours post cure	2-2 1/2 hours	1-6 hours	None
CURE PRESSURE	1-5 psi (7-35 kPa)	Contact 1-5 psi (7-35 kPa) for 1 minute	Contact pressure for 30 seconds	5-15 psi (35-103 kPa)	EPY 500 10-15 psi (60-103 kPa) DA-500 20-30 psi (138-206 kPa)	50-70 psi (345-483 kPa)	35-45 psi (241-310 kPa)	None	None
SPECIMEN MATERIAL COMPATABILITY	All except plastics soluble in MEK & uncondensable plastics	All except plastics soluble in MEK & uncondensable plastics	All except some plastics	All except some plastics and reactive metals	All except some plastics	All except some plastics	All except some plastics and reactive metals	All except some plastics and reactive metals	All except some plastics
STRAIN LIMIT SINGLE CYCLE	>10%	>10% at room temperature	>10% at room temperature	>10% at room temperature 0.5% at -320F (-195C) temperature	>5% at room temperature 1% at -320F (-195C) temperature	>2%	>2% at room temperature	>1/2%	>1%
ELECTRICAL PROPERTIES	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Deteriorates with increase in temperature above 1200F (649C)	Excellent but deteriorates at high temperature above 1500F (815C)
HUMIDITY RESISTANCE	Poor	Good to marginal	Good to marginal	Good to excellent	Good to excellent	Good to excellent	Good to marginal	Poor, is hygroscopic	Poor, is porous and hygroscopic
MOISTURE PROOFING RECOMMENDATIONS	Low RH, short test - Ceresse and Dyeil Waxes Barrier A, B, C, & E for all other environments	Low RH, short test - Ceresse and Dyeil Waxes Barrier A, B, C, & E for all other environments	Low RH, short test - Ceresse and Dyeil Waxes Barrier A, B, C, & E for all other environments	Normal RH, Ceresse and Dyeil Waxes Barrier A, B, C, D & E for all other environments	All BLH Barriers	All BLH Barriers	Conventional protection to 600F (315C)	Conventional protection to 600F (315C) replace upon return room temperature	Conventional protection to 600F (315C) replace upon return room temperature
GENERAL APPLICATION REMARKS	Good, general purpose cement with adhesive drying	Easiest most reliable for large scale testing	Fast cure, excellent short term test Unstable thermal & mechanical	Transducers and best long-term stability, varying ambient conditions	Low creep excellent transducer adhesive	Low creep excellent transducer adhesive	Fast 2 1/2 hour cure for high temperature organic backed gages	Easier application with freshening wire & lot gages	Fastest application no solderable heat on test specimen high surface recommended

Type	Cure	Temperature Range (°F)	Protection Offered
BLH BARRIER A teflon-fiberglass tape with silicone sealer	air dry 1 hour	- 325 to + 250	moisture, some oils; chemicals, general atmosphere
BLH BARRIER B liquid vinyl coating & precoat	air dry 5 min @ RT	- 325 to + 600	moisture, many chemicals & oils, general atmosphere
BLH BARRIER C air-cure RTV silicone rubber	useable after 2 hours, full cure in 72 hours	- 100 to + 500	moisture, oils, excellent mechanical protection
BLH BARRIER D semi-rigid epoxy	1 hour @ 150°F; 30 min @ 200°F	- 100 to + 225	moisture, oils, engine fuel, most chemicals & solvents, excellent mechanical protection
BLH BARRIER E press-on neoprene patch with integral rubber polymer	none; useable immediately	- 20 to + 200	moisture; general atmosphere; excellent mechanical protection
BLH BARRIER G flexible nitrile rubber, brush on	air dry 30 minutes	- 452 to + 300	moisture, gasoline & oil; cryogenic liquids
BLH BARRIER J silicone coating	air dry 24 hrs @ RT or 30 min @ 170°F	- 75 to + 400	moisture
BLH BARRIER WD Dijell micro- crystalline wax	none	- 100 to + 150	moisture, general atmosphere
BLH BARRIER WC ceres micro- crystalline wax	none	- 100 to + 150	moisture, general atmosphere

## APLICACIONES PRACTICAS DE LOS MEDIDORES DE DEFORMACION.

### Pegado de Deformímetros usando Cyano-Acrilato

- 1) Aplique el catalizador en la parte baja del deformímetro con una brocha.  
Fig. 5 de la página 54 .
- 2) Aplique el adhesivo sobre la superficie del área conocida.  
Fig. 6 de la página 54 .
- 3) Cubrala con una película de teflón sobre toda el área del deformímetro eléc  
trico. Fig. 7 de la página 54 .
- 4) Presione con el dedo de la mano en un tiempo de 30 a 45 segundos.
- 5) Inspeccione área del calibrador o deformímetro eléctrico que se a pegado.
- 6) Remueva la cinta adhesiva dandole un ángulo apropiado fig. 8 de la página  
54 .
- 7) Inspeccione el calibrador por si hay burbujas de aire debajo del calibrador.

Fig. 40

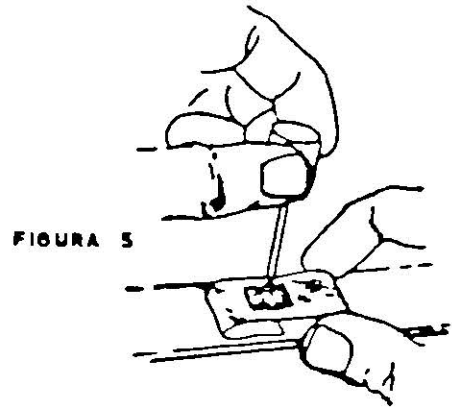


FIGURA 5

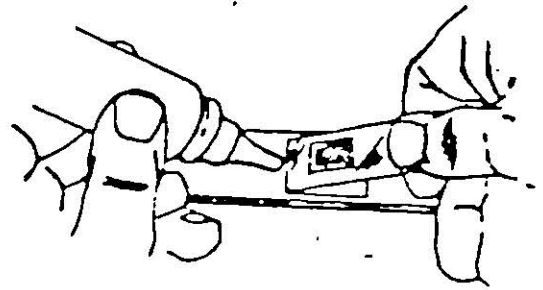


FIGURA 6

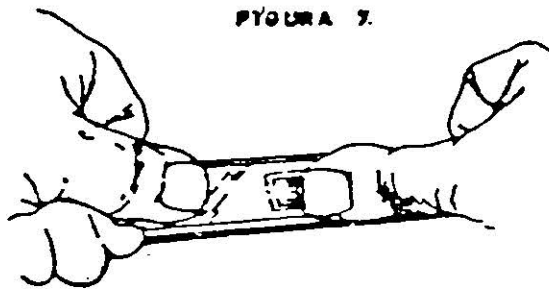


FIGURA 7

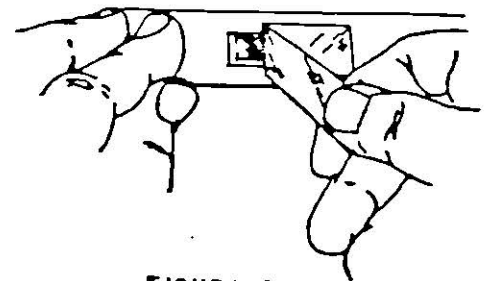
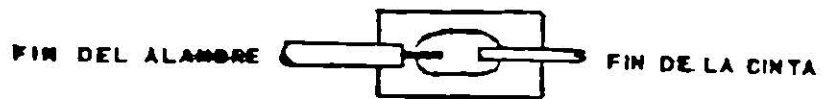


FIGURA 8



## APLICACIONES INDUSTRIALES DEL STRAIN GAGE

LOS STRAIN GAGE SE UTILIZAN EN LA FABRICACION DE CELDAS DE CARGA PARA SISTEMAS DE PESAJE EN EL DISEÑO DE MAQUINAS, TAMBIEN SE UTILIZAN PARA DETECCION DE ESFUERZOS EN LOS SISTEMAS MECANICOS Y PARA REDISEÑAR LOS ELEMENTOS DE MAQUINAS TOMANDO COMO VARIABLE LA DEFORMACION DEL MATERIAL.

LOS STRAIN GAGES SE UTILIZAN PARA DETECTAR PRESION EN LOS TANQUES SOMETIDOS A PRESION DE FLUIDOS Y ASI CONTROLAR EL PROCESO DE UN SISTEMA MECANICO. LOS STRAIN GAGES SE APLICAN EN FORMA GENERAL EN LOS SISTEMAS MECANICOS PARA SU DISEÑO Y REDISEÑO, SABIENDO QUE TODOS LOS MATERIALES SE DEFORMAN BAJO UNA CARGA, PRESION, TEMPERATURA, ETC.

EL CAMPO DE APLICACION DE LOS STRAIN GAGES ES MUY AMPLIO EN EL CAMPO METAL MECANICA Y EN LOS SISTEMAS DE VUELO COMO LO SON TRANSBORDADORES, COHETES DE PROPULSION, ETC.

## **BIBLIOGRAFIA**

### **I.- MANUALES DE ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS**

**AUTOR: ING. MOISES ESPINOZA ESQUIVEL**

**F.I.M.E. - U.A.N.L.**

### **II.- TECNICAS DE ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS**

**AUTOR: DALLY**

### **III.- MEDICIONES MECANICAS**

**AUTOR: KRISNA**

### **IV.- ANALISIS EXPERIMENTAL DE ESFUERZOS**

**AUTOR: DURELLI**

