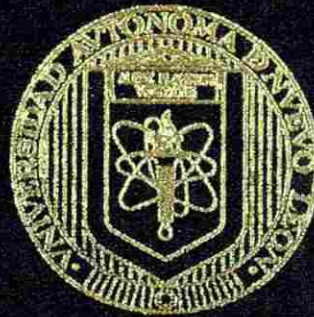


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



TECNICA DE MEDICION DE DEFORMACION APLICADO AL
DISEÑO MECANICO CON DEFORMIMETROS ELECTRICOS

POR

ING. JOSE ERNESTO BERNAL AVALOS

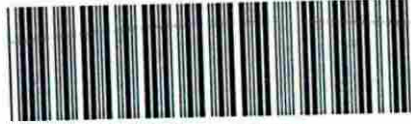
TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN DISEÑO MECANICO

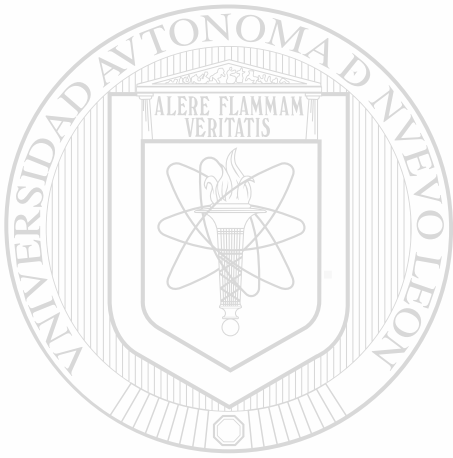
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
JUNIO DE 1999

J. E. B. A.
TECNICA DE MEDICION DE DEFORMACION APLICADO AL
DISERNO MECANICO CON DEFORMIMETROS ELECTRICOS

59 27 57
59 27 57
59 27 57
59 27 57



1020126377



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



TECNICA DE MEDICION DE DEFORMACION APLICADO AL
DISEÑO MECANICO CON DEFORMIMETROS ELECTRICOS

POR

UANL

ING. JOSE ERNESTO BERNAL AVALOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

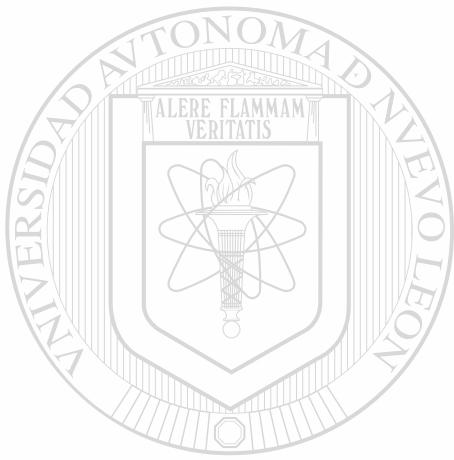
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN DISEÑO MECANICO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.

JUNIO DE 1999



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

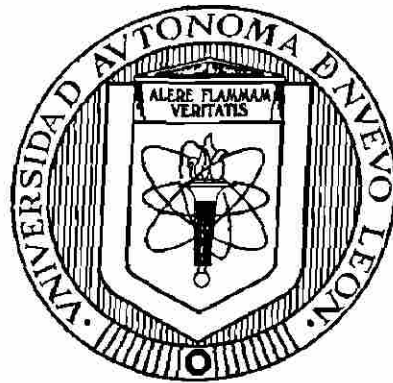


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**FONDO
TESIS**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



TEMA DE TESIS:

TÉCNICA DE MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN APLICADO AL
DISEÑO MECÁNICO CON DEFORMIMETROS ELÉCTRICOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

REALIZADO POR

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
ING. JOSE ERNESTO BERNAL AVALOS

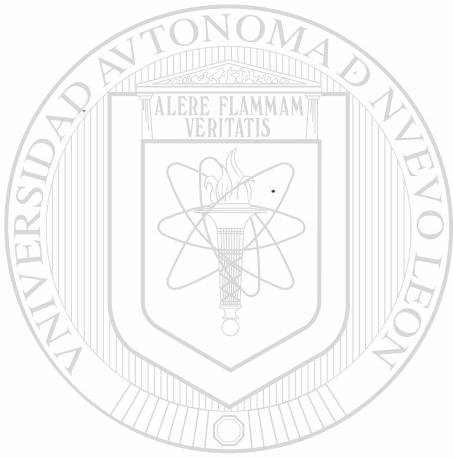
TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
DISEÑO MECANICO

San Nicolás de los Garza, N.L., Junio 1999

TM
25853
.M2
FIME
1999
B47

0131-50060



UANL

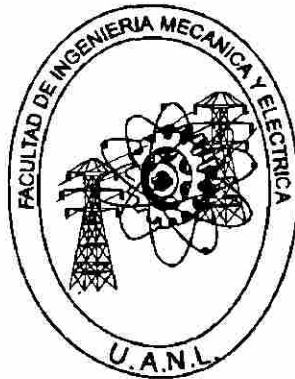
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

30 - Junio - 08
D. de la Cruz

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



TEMA DE TESIS:

TÉCNICA DE MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN APLICADO AL
DISEÑO MECÁNICO CON DEFORMIMETROS ELÉCTRICOS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

REALIZADO POR

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
ING. JOSE ERNESTO BERNAL AVALOS

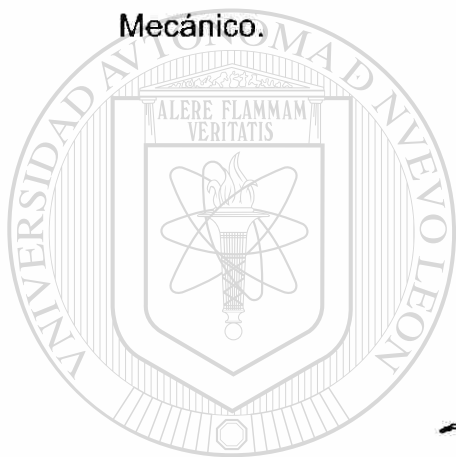
TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE
LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
DISEÑO MECANICO

San Nicolás de los Garza, N.L., Junio 1999


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO


Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "Técnica de medición de deformación aplicado al diseño mecánico con deformímetros eléctricos", realizada por el alumno Ing. José Ernesto Bernal Avalos con número de matrícula 011069, sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico.




El Comité de Tesis


Asesor
M.C. Moisés Espinosa Esquivel

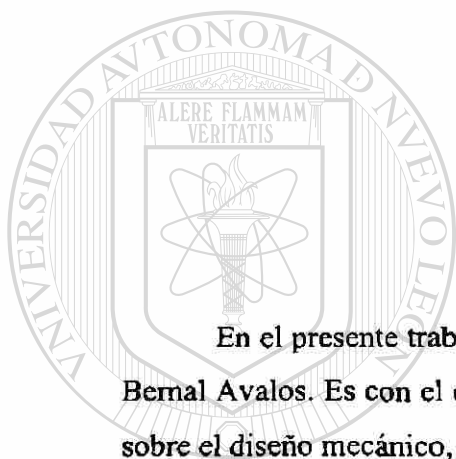

Coasesor
M.C. Daniel Ramírez Villarreal


Coasesor
M.C. David Antonio Oliva Alvarez


Vo. Bo.
M.C. Roberto Villarreal Garza
División de Estudios de Post-grado.

San Nicolás de los Garza, N.L., Junio 1999

Prologo



En el presente trabajo realizado por los ingenieros Eligio Jaime Muñoz y Ernesto Bernal Avalos. Es con el objetivo de tener un apoyo a futuras investigaciones que traten sobre el diseño mecánico, y la aplicación de los medidores eléctricos de deformación.

Con la revolución industrial iniciada en Europa en el siglo XVIII principalmente en Inglaterra, se creó una gran competencia entre las naciones para ver quien diseñaba y fabricaba los mejores equipos, militares, como industriales, que les darían una supremacía a nivel mundial, y la conquista de mercados.

Los diseños de las máquinas, estructuras, equipos, etc., se hicieron a partir de las necesidades que se tenían pero sujetos a los materiales, herramientas, máquinas, capacidad de fabricación, y equipos de medición de la época.

La falta de conocimientos completos en metalurgia, mecánica de materiales, etc., hacía que el diseño de los equipos fueran muy limitados, y eso hacía que se fabricaban con un alto rango de seguridad, muchas veces restándole eficiencia.

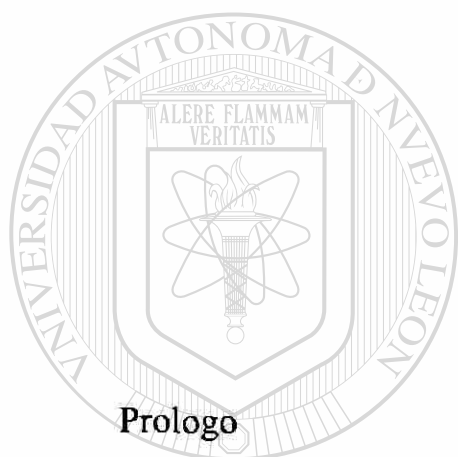
El desarrollo de elementos para la medición de carga, mediante mediadores de deformación, empezó con la automatización de los procesos de la industria metal

mecánica. La medición de cargas se hacía antes de 1930 mediante aparatos y medidores mecánicos muy rústicos, cuyo rango de error era muy alto.

A medida que la ciencia electrónica y las aleaciones ha avanzado en estos años, los medidores de deformación se han ido perfeccionando con una gran eficiencia, a tal grado que su rango de error se ha reducido en gran medida. Con el uso de mejores medidores y computadoras, la aplicación de los medidores de deformación es muy amplia y versátil. Los ingenieros intervienen en el diseño de máquinas, los cuales tiene muchos componentes. La efectividad de la máquina se verifica por medio de mediciones. La medición es un arte, una ciencia y una técnica por sí misma. Toda actividad implica una medición. Tal esfuerzo se apoya en la comprensión de la física de las técnicas de medición.

Los medidores de deformación en el diseño, y rediseño de máquinas o bien componentes de éstas, ocupa un lugar de gran importancia, ya que permiten analizar el real esfuerzo al que se está sometiendo la máquina entera o algún elemento, lo cual permitir realizar las modificaciones necesarias que realmente necesita; por otro lado en los sistemas de control de procesos, son de gran importancia para controlar diferentes procesos mecánicos-eléctricos de una planta industrial.

Indice General



Prologo

U A N L PAGINA
5

Capítulos

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

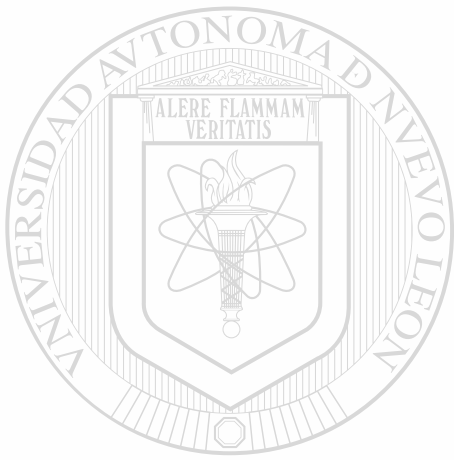
1. Síntesis	11
2. Introducción	14
2.1 Objetivo de la tesis	14
2.2 Justificación del trabajo	15
2.3 Planteamiento del problema	15
2.4 Límites de estudio	15
2.5 Metodología a emplear	15
2.6 Revisión de bibliográfica	15
3. Esfuerzo y deformación unitaria	16

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.1 Concepto de esfuerzo	16
3.2 Esfuerzo normal directo	17
3.3 Elementos sometidos a esfuerzos axiales	19
3.4 Esfuerzo cortante directo	20
3.5 Elementos sometidos a esfuerzos cortantes	24
3.6 Esfuerzo de apoyo	26
3.7 Concepto de deformación	27
3.8 Coeficiente de Poisson	28
3.9 Deformación por cortante	30
3.10 Modulo de elasticidad	31
3.11 Modulo de elasticidad a cortante	31
3.12 Esfuerzo térmico	32
3.13 Fuerzas en un cuerpo	32
3.14 La Ley de Hooke	35
4. Efectos de temperatura sobre los medidores de deformación	34
4.1 Deformación unitaria	39
4.2 Métodos para compensación de temperatura	40
4.3 Medidores de deformación planos	44
4.4 Usos especiales de cables y medidores de deformación planos	47
4.5 Medidores de deformación semiconductores y sensores de estado sólido	50
4.5.1 Medidores semiconductores	50
4.5.2 Medidores de estado sólido	51
4.6 Accesorios de los medidores de deformación	52
4.6.1 Materiales para la preparación de la superficie	53
4.6.2 Tipos de adhesivos	53
4.6.3 Recubrimientos de protección	53
4.6.4 Recubrimientos para detección de fallas	53
5. Tipos de medidores eléctricos de deformación	56
5.1 Puente de Wheatstone	56
5.2 Puente de Wheatstone portátil	57

6. Montaje de los medidores eléctricos de deformación	60
6.1 Celda de carga a flexión	60
6.2 Temperatura compensada eliminando componentes flexionantes	61
6.3 Celdas de carga axial	62
6.4 Celdas de carga de uso general, precisión, alta temperatura	62
6.5 Usos especiales de las celdas de carga, discretas, pequeñas, de alta salida, regulables, puentes ultra bajos de 120 y 350 Ω de capacidad	67
7. Usos y aplicaciones de las celdas de carga	72
7.1 El uso de los medidores eléctricos de deformación	72
7.2 Otras aplicaciones de las celdas de carga	73
8. Realización de pruebas mecánicas en diferentes materiales, aplicando la técnica de los medidores eléctricos de deformación	76
8.1 Simbología del medidor eléctrico de deformación	76
8.2 Material usado en la fabricación del medidor eléctrico de deformación	77
8.2.1 Material empleado en la fabricación de la cubierta.	77
8.3 Selección correcta de un medidor eléctrico de deformación	79
8.4 Materiales y tipos de medidores eléctricos de deformación	80
8.5 Procedimiento del pegado	81
8.6 Pruebas mecánicas en los materiales	82
8.6.1. Estándar para probetas sometidas a ensayo de tensión	82
8.7 Medición de deformación unitaria en las probetas sometidas a ensayo de tensión	85
8.8 Realización de pruebas a los materiales hasta lograr la ruptura del material	89
9. Conclusiones y recomendaciones	94
Bibliografía	96
Lista de tablas.	98

	10
Lista de figuras	99
Glosario	102
Resumen autobiográfico	110



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



CAPITULO 1

SÍNTESIS

Esfuerzo y deformación unitaria.

En este capítulo se define con claridad el concepto de esfuerzo de (tensión, compresión, flexión etc.) aplicado a diferentes materiales, ya que el objetivo de cualquier análisis es establecer la seguridad de los elementos con los que se va a trabajar.

Se incluyen diferentes elementos sometidos a esfuerzos, enriqueciendo la explicación con ejemplos y figuras para el mejor entendimiento del tema.

Así como también se define el concepto de deformación unitaria de un elemento. La forma de medir y calcular los esfuerzos así como los diferentes tipos de deformación, se definirá a) módulo de elasticidad, b) esfuerzo y deformación causado por la temperatura, así como las fuerzas aplicadas a un cuerpo, c) ley de hooke y el módulo de young.

Efectos de la temperatura sobre los medidores eléctricos de deformación.

En este capítulo se analiza los efectos causados por la temperatura del medio ambiente, arriba o debajo de las condiciones ambientales normales, y que puede afectar a la medición de la deformación unitaria. Se definirá las componentes de dicha deformación, a) unitaria mecánica b) unitaria térmica, así como los métodos de compensación de temperatura de los medidores eléctricos de deformación, con circuitos de compensación y circuitos autocompensables se ilustra este capítulo con varios ejemplos, y con gráficas de temperatura.

Tipos de medidores eléctricos de deformación.

En este capítulo trataremos de analizar el circuito simple (circuito potenciómetro). Así como el puente de wheatstone su uso y sus características.

Montaje de los medidores eléctricos de deformación.

Se conocerá el montaje de uno, dos, o mas medidores eléctricos en una viga a flexión, o en un elemento en dirección axial y lateral, así como los medidores eléctricos compensados por temperatura.

Uso y aplicaciones de las celdas de carga.

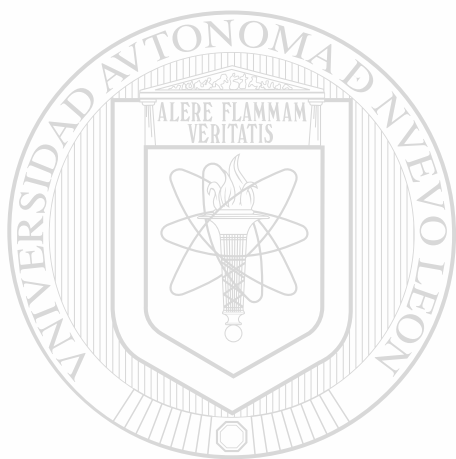
En este capítulo se vera algunos de los muchos ejemplos en donde se aplican las celdas de carga.

Realización de pruebas mecánicas en diferentes materiales, aplicando la técnica de los medidores eléctricos de deformación.

En este capítulo se realizan pruebas en cuatro materiales (acero estructural, acero inoxidable, aluminio y bronce) a tensión en la maquina universal en el laboratorio de pruebas mecánicas de la F.I.M.E., para demostrar todo lo explicado en capítulos anteriores.

Conclusiones y Recomendaciones.

En este capítulo se recomienda la aplicación de la técnica de deformación con medidores eléctricos y la mejor manera de aplicarla.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO 2

INTRODUCCIÓN

2.1 Objetivo de la tesis.

El objetivo principal de esta tesis es presentar en forma teórica y práctica, como la técnica de los medidores eléctricos de deformación, son de gran ayuda para el diseño de las máquinas y equipos, ya que dan una imagen real de los esfuerzos a que están siendo sometidos estos.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La aplicación de la técnica de los medidores eléctricos de deformación, en el análisis de los esfuerzos en los materiales, aplicando los conocimientos experimentales de dichos medidores de deformación. En el desarrollo de este tema, se tratará de justificar la aplicación de la técnica de dichos medidores eléctricos de deformación aplicadas al diseño mecánico, para encontrar los esfuerzos en los materiales en forma práctica y real.

2.2 Justificación del trabajo.

Empleando esta técnica se puede solucionar problemas de diseño detectando la variable de deformación en los elementos.

2.3 Planteamiento del problema.

El planteamiento del problema consiste en la elección correcta de los medidores eléctricos de deformación, y su posicionamiento en los elementos mecánicos para detectar la variable de deformación.

2.4 Límites de estudios.

Es aplicado solo a materiales que tienen una zona elástica en su comportamiento mecánico.

2.5 Metodología a emplear.

La metodología a seguir en el desarrollo de este tema, es basado en escritos, libros, y manuales prácticos, se utilizan tablas y figuras para el mejor entendimiento del tema, realización de pruebas y ensayos según los procedimientos recomendados, revisión bibliográfica de los medidores de deformación, y su aplicación según el material, y las condiciones que se presenten en el estudio de las pruebas.

2.6 Revisión bibliográfica.

Los textos utilizados en esta tesis como fuente informática ofrecen análisis completos y satisfactorios con ejemplos ilustrativos para el desarrollo de la misma.

CAPITULO 3

ESFUERZO Y DEFORMACIÓN UNITARIA

3.1 Concepto de esfuerzo.

El objetivo de cualquier análisis de resistencia es establecer la seguridad. Lograr esto, requiere que el esfuerzo que se produzca en el material del miembro que se analiza, esté por debajo de un cierto nivel de seguridad. Comprender lo que significa esfuerzo en un miembro que soporta carga, como se describe a continuación, es de la mayor importancia para estudiar la resistencia de los materiales.

Esfuerzo es la fuerza interna que ofrece el material a la fuerza aplicada.

Nos interesamos en lo que sucede dentro de un miembro que soporta una fuerza. Debemos determinar la magnitud de fuerza que se ejerce sobre cada área unitaria del material. El concepto de esfuerzo puede expresarse matemáticamente como:

$$\text{esfuerzo} = \frac{\text{fuerza}}{\text{area}} = \frac{F}{A}$$

En algunos casos, como se describe en la siguiente sección que trata del esfuerzo normal directo, la fuerza aplicada se reparte uniformemente en la totalidad de la sección transversal del miembro.

Entonces, es esencial que se considere el nivel de esfuerzo en un punto. Por lo general el objetivo es determinar en qué punto ocurre el esfuerzo máximo, y cual es su magnitud.

En el sistema de unidades anglosajonas, la unidad típica de fuerza es la libra, y la unidad de superficie más conveniente es la pulgada cuadrada. Por consiguiente, el esfuerzo se indica en lb/plg^2 , que se abrevia psi. Los niveles de esfuerzo característicos, en los diseños de maquinaria y análisis estructurales, son de varios miles de psi. Por esta razón, con frecuencia se utiliza la unidad kip/plg^2 , que se abrevia ksi.

3.2 Esfuerzo normal directo.

Uno de los tipos más fundamentales de esfuerzo, es el esfuerzo normal denotado por la letra griega minúscula σ (sigma), en donde el esfuerzo actúa de manera perpendicular, o normal, a la sección transversal del miembro de carga. Si el esfuerzo es también uniforme sobre el área de resistencia, el esfuerzo se conoce como esfuerzo normal directo.

Los esfuerzos normales pueden ser de compresión o de tensión. Un esfuerzo de compresión es aquel que tiende a aplastar el material del miembro de carga, y a acortar al miembro en sí. Un esfuerzo de tensión es aquel que tiende a estirar al miembro y romper el material.

En la figura 3.1 se muestra un ejemplo de un miembro sujeto a un esfuerzo de compresión. El pedestal de soporte se diseñó para colocarse bajo equipo pesado durante un ensamble, y el peso del equipo tiende a aplastarse al eje cuadrado del soporte, al someterlo a compresión.

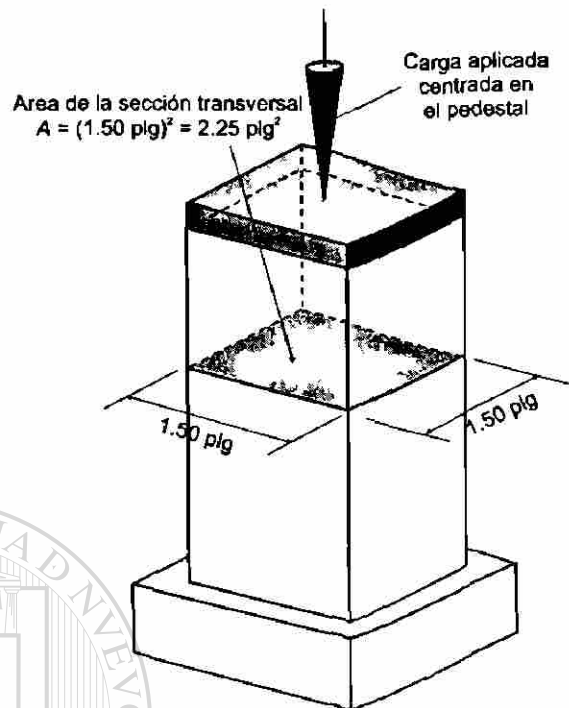


Figura 3.1

Ejemplo de esfuerzo de compresión directa

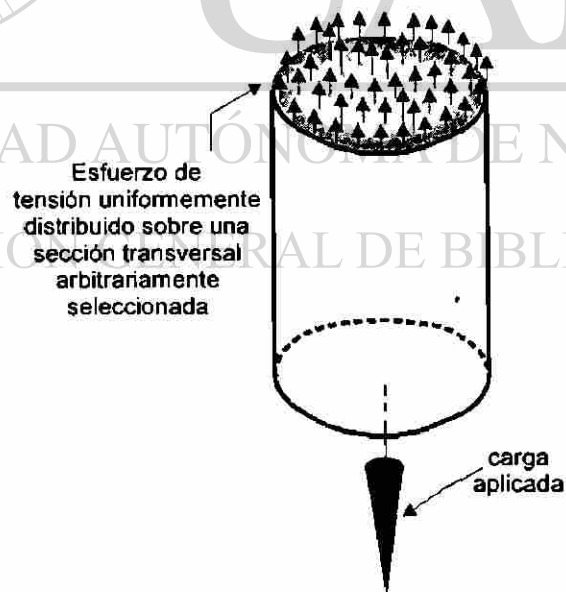
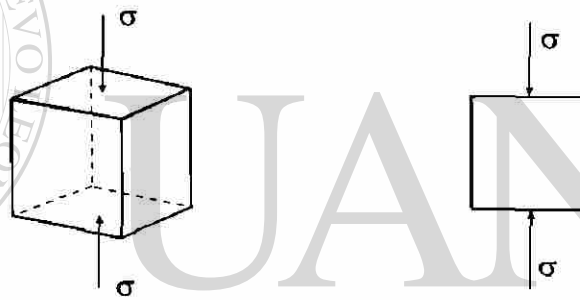


Figura 3.2

Ejemplo de esfuerzo de tensión sobre una sección transversal

3.3 Elementos sometidos a esfuerzos axiales.

La ilustración de esfuerzos en la figura 3.2, es útil para visualizar la naturaleza de la resistencia interna a la fuerza aplicada externa, particularmente para aquellos casos en donde los esfuerzos son uniformes sobre la totalidad de la sección transversal. En otros casos, es más conveniente visualizar las condiciones de esfuerzo sobre un elemento pequeño (infinitesimal). Considérese un pequeño cubo de material, en alguna parte dentro del eje cuadrado del pedestal de soporte que se muestra en la figura 3.1. Debe haber una fuerza de compresión neta que actúe sobre las caras superior e inferior del cubo, como se muestra en la figura 3.3 (a). Si se considera que las caras son áreas unitarias, estas fuerzas pueden considerarse como los esfuerzos que actúan sobre las caras del cubo. Un cubo de esta clase se conoce como elemento sometido a esfuerzo.



(a) elemento tridimensional

(b) elemento bidimensional

Figura 3.3

Elementos para la visualización de esfuerzos de compresión

Debido a que el elemento se toma de un cuerpo en equilibrio, el elemento en sí está también en equilibrio, y los esfuerzos en las caras superior e inferior son iguales. Un elemento simple como éste, con frecuencia se muestra como un elemento cuadrado bidimensional en lugar de cubo tridimensional, como se muestra en la figura 3.3(b).

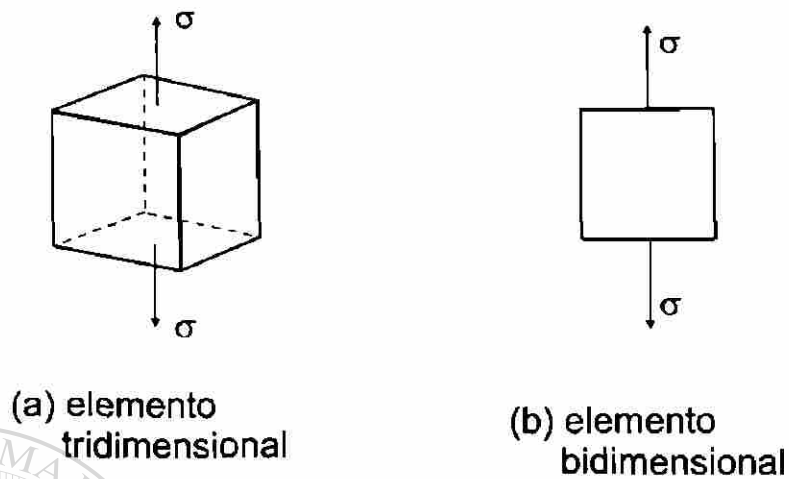


Figura 3.4

Elemento para la visualización de esfuerzos de tensión

Asimismo, el esfuerzo de tensión sobre cualquier elemento puede mostrarse como la figura 3.4, donde el vector de esfuerzo actúa hacia afuera desde el elemento. Note que los esfuerzos de compresión o tensión mostrados, actúan en forma perpendicular a la superficie del elemento.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.4 Esfuerzo cortante directo.

Cortante hace referencia a la acción de corte. Cuando se utilizan unas tijeras domésticas normales, se hace que una de las dos hojas se deslice sobre la otra para cortar papel, tela o cualquier otro material. Un fabricante de lámina metálica utiliza una acción cortante similar al cortar metal para un ducto. En estos ejemplos, la acción de cortar progresa sobre la longitud de la línea que debe cortarse, de forma que sólo una pequeña parte del corte total se haga para un tiempo dado. Y, desde luego, el objetivo de la acción es en realidad cortar el material. Es decir, se quiere que el material se fracture.

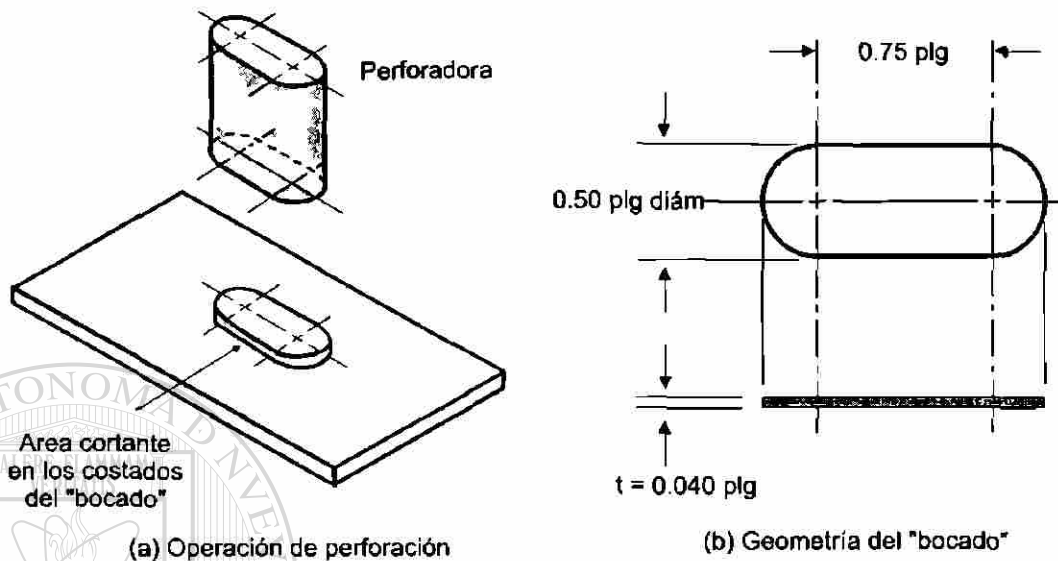


Figura 3.5

Ilustración de esfuerzo cortante directo

en una operación de perforación

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Los ejemplos descritos en esta sección, junto con las figuras anexas, ilustran varios casos donde se produce cortante directo. Es decir, la fuerza cortante interna se opone a la carga aplicada directa, lo que produce un nivel uniforme de fuerza cortante sobre el área. El símbolo que se utiliza para el esfuerzo cortante es la τ (letra griega minúscula tau). Entonces, el esfuerzo cortante directo puede calcularse a partir de:

$$\text{esfuerzo cortante} = \tau = \frac{\text{fuerza aplicada}}{\text{area cortante}} = \frac{F}{A_s}$$

La figura 3.5 muestra una operación de perforación, donde el objetivo es cortar una parte del material del resto. La acción de perforación produce una ranura en la

lámina metálica plana. La parte que se extrae en la operación es el trozo o bocado. Muchas formas diferentes pueden producirse mediante perforación, tanto con el trozo como con la lámina en que se ha hecho el agujero en la parte deseada. Normalmente la operación de perforación se diseña de tal manera, que se perfora la totalidad de la forma al mismo tiempo. Por consiguiente, la acción cortante ocurre sobre los lados de la lámina. El área que se corta en este caso, se calcula multiplicando la longitud del perímetro de la forma cortada, por el espesor de la lámina. Es decir, para una operación de perforación.

$$A_s = \text{perímetro} \times \text{espesor} \\ = p \times t$$

Cortante simple. Con frecuencia se inserta un perno o un remache en un agujero cilíndrico a través de partes coincidentes para conectarlas, como se muestra en la figura 3.6. Cuando se aplican fuerzas perpendiculares al eje del perno, existe la tendencia de cortarlo a través de su sección transversal, produciendo un esfuerzo cortante. Esta acción se llama cortante simple, porque una sola sección transversal del perno resiste la fuerza cortante aplicada. En este caso, generalmente se diseña el perno para que el esfuerzo cortante esté por debajo del nivel que haría que se fracturase el perno.

Cortante doble. Cuando se diseña una conexión por medio de pernos como se muestra en la figura 3.7, hay dos secciones transversales que resisten la fuerza aplicada. En esta disposición, se dice que el perno está a esfuerzo cortante doble.

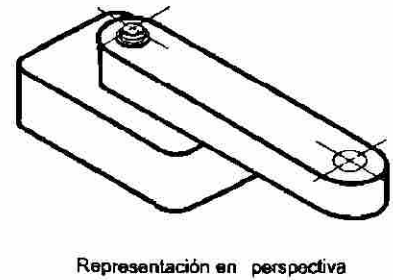
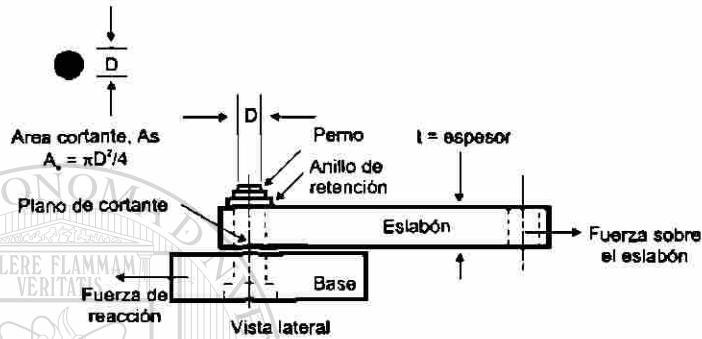
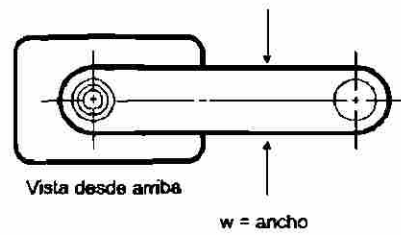


Figura 3.6

Conexión mediante perno que ilustra el esfuerzo cortante simple

El área sometida a cortante son dos secciones transversales del perno

$$A_s = 2(\pi D^2/4)$$

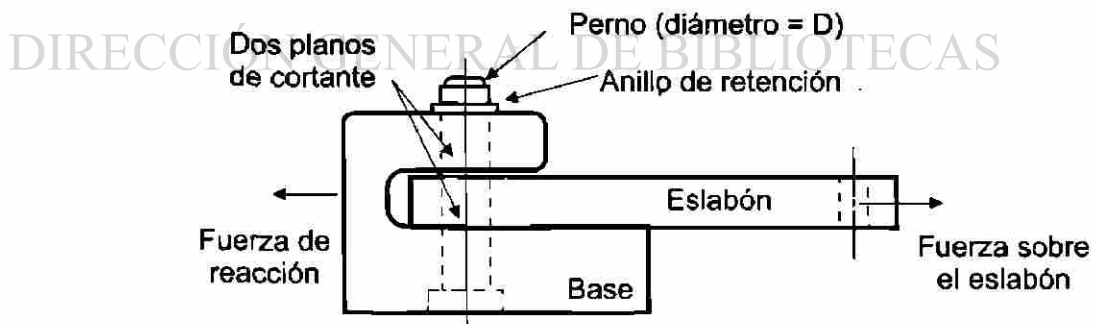


Figura 3.7

Junta mediante perno que ilustra el esfuerzo cortante doble

3.5 Elementos sometidos a esfuerzo cortantes.

Un elemento cúbico infinitesimalmente pequeño de material del plano de cortante, aparecería como se muestra en la figura 3.8, donde los esfuerzos cortantes actúan paralelos a las superficies del cubo. Por ejemplo, un elemento tomado del plano de cortante de la cuña de la figura 3.9, tendría un esfuerzo cortante que actuaría hacia la izquierda en su superficie superior. Para el equilibrio del elemento respecto a fuerzas horizontales, debe haber un esfuerzo igual que actúe hacia la derecha en la superficie inferior. Este es la acción de corte característica del esfuerzo cortante.

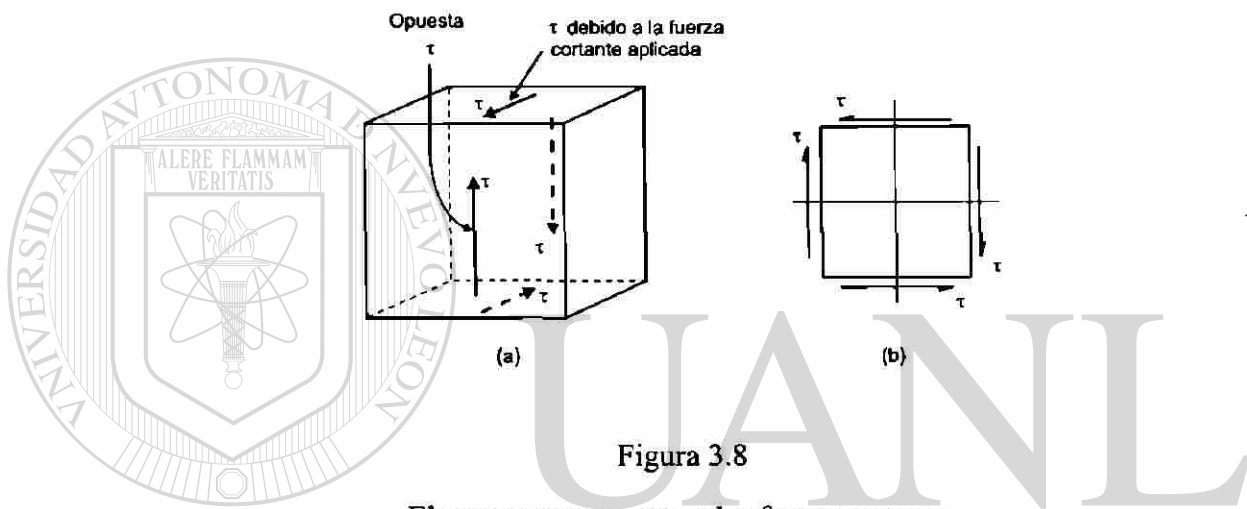


Figura 3.8

Elemento que muestra el esfuerzo cortante.

a)Elemento tridimensional. b)Elemento bidimensional

Pero los dos vectores de esfuerzo en las superficies superior e inferior no pueden actuar solos, porque el elemento, tendería a girar por la influencia del par formado por las dos fuerzas cortantes que actúan en direcciones opuestas. Para equilibrar este par, se desarrollan un par de esfuerzos cortantes iguales, en los lados verticales del elemento sometido a esfuerzos, como se muestra en la figura 3.8(a).

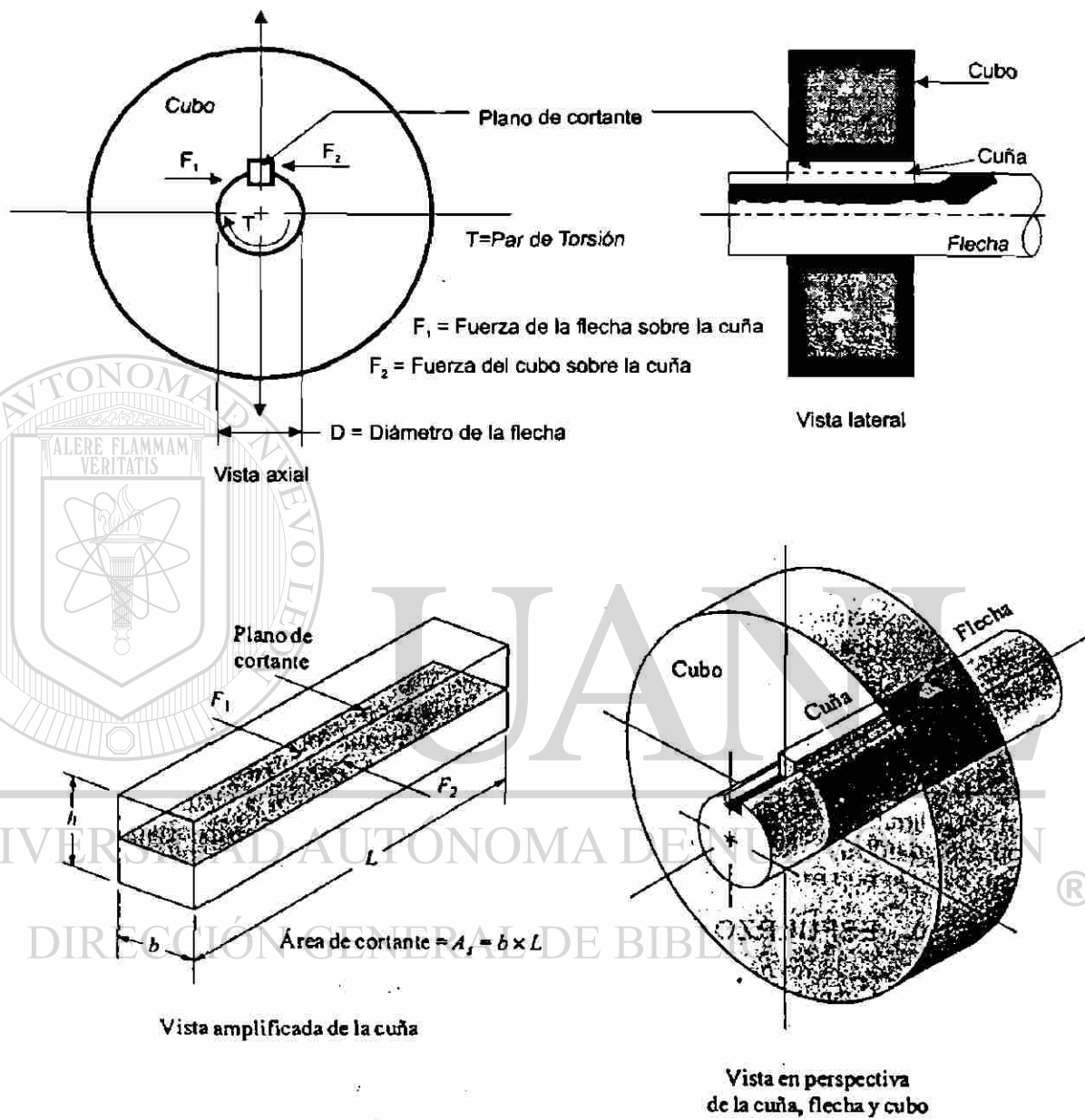


Figura 3.9

Acción cortante directa sobre una cuña entre un eje y el cubo de engrane o polea

3.6 Esfuerzo de apoyo.

Cuando un cuerpo sólido descansa sobre otro y le transfiere una carga, en las superficies en contacto se desarrolla la forma de esfuerzo conocida como esfuerzo de apoyo. Al igual que el esfuerzo de compresión directo, el esfuerzo de apoyo es una medida de la tendencia que tiene la fuerza aplicada de aplastar el miembro que lo soporta

El esfuerzo de apoyo se calcula igual que los esfuerzos normales directos:

$$\sigma_b = \frac{\text{carga aplicada}}{\text{area de apoyo}} = \frac{F}{A_b}$$

En superficies planas en contacto, el área de apoyo es simplemente el área sobre la que se transfiere la carga de un miembro al otro. Si las dos partes tienen áreas distintas,

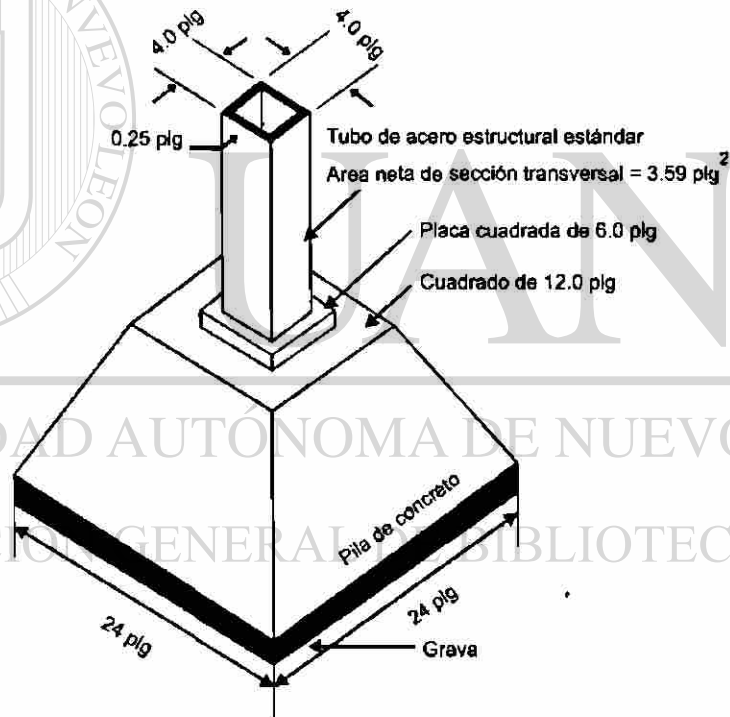


Figura 3.10

Ejemplo de esfuerzo de apoyo

se utiliza el área menor. Otra condición es que los materiales que transmiten las cargas deben permanecer casi rígidos y planos, con el fin de conservar su capacidad de transmitir las cargas. La deflexión excesiva reducirá el área de apoyo efectiva. La figura 3.10

muestra un ejemplo de la construcción de un edificio, en donde el esfuerzo de apoyo es importante. Una columna cuadrada de acero hueca de 4.00 plg. , descansa sobre una gruesa placa cuadrada de acero de 6.00 plg.. La placa descansa sobre una pila de concreto que, a su vez, descansa sobre una base de grava. Estas áreas sucesivamente más grandes son necesarias, para limitar los esfuerzos de apoyo a niveles para los materiales involucrados.

3.7 Concepto de deformación.

Todo miembro de carga se deforma por la influencia de la carga aplicada. El eje cuadrado del pedestal apoyo de la figura 3.1, se acorta cuando sobre el se coloca equipo pesado.

La deformación total de un miembro de carga puede, desde luego, ser medido. Más adelante se demostrará como puede calcularse la deformación

La figura 3.11 nos muestra una fuerza de tensión axial de 10 000 lb, aplicada a una barra de aluminio con un diámetro de 0.75 plg. antes de aplicar la carga, la longitud de la barra era de 10 plg.. Luego de aplicar la carga, la longitud es de 10.023 plg.. Por consiguiente, la deformación total es de 0.023 plg. la cual se calcula por la formula

$$e = \frac{PL}{AE} = \frac{10\,000\text{ lb} \times 10\text{ plg}}{\pi(0.375)^2 \times 10.5 \times 10^6} = 0.023\text{plg}$$

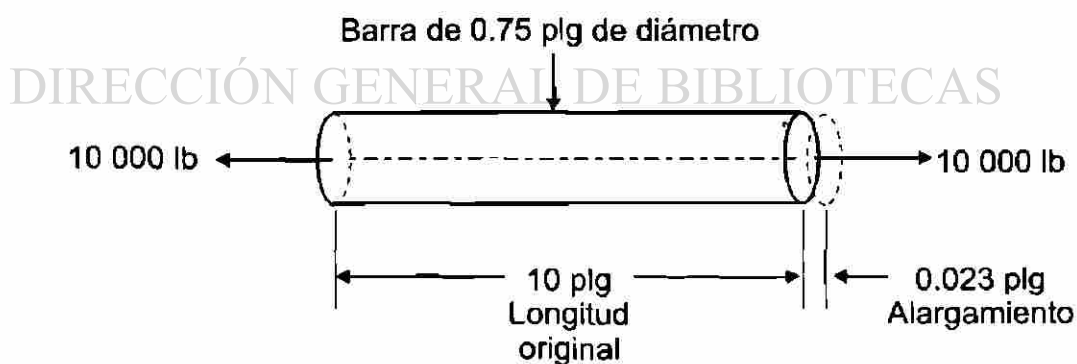


Figura 3.11

Alargamiento de una barra sometida a esfuerzo de tensión.

La deformación que también se conoce como deformación unitaria, se obtiene dividiendo la deformación total entre la longitud original de la barra. La deformación se denota con la letra griega minúscula épsilon (ϵ):

$$\text{deformacion unitaria} = \epsilon = \frac{\text{deformacion total}}{\text{longitud original}}$$

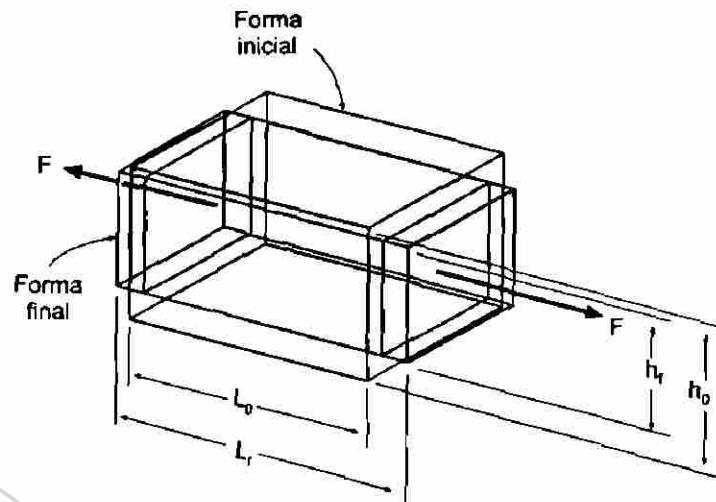
3.8 Coeficiente de Poisson.

Si se remite a la figura 3.12, se podrá obtener una comprensión más completa de la deformación de un miembro sujeto a esfuerzos normales. El elemento que se muestra está tomado de la barra de la figura 3.11. La fuerza de tensión en la barra la alarga en la dirección de la fuerza aplicada, como a de esperarse. Pero, al mismo tiempo, el ancho de la barra se acorta. De este modo, en el elemento de esfuerzo ocurre un alargamiento y contracción simultáneas. Puede determinarse la deformación axial a partir del alargamiento, y de la contracción, puede determinarse la deformación lateral.

El coeficiente de la deformación lateral en el elemento a la deformación axial se conoce como coeficiente de Poisson, y es una propiedad del material del que está hecho el miembro de carga.

Material	Coeficiente de Poisson (ν)
Aluminio (la mayoría de sus aleaciones)	0.33
Bronce	0.33
Hierro colado	0.27
Concreto	0.10 – 0.25
Cobre	0.33
Bronce al fósforo	0.35
Acero al carbón y aleado	0.29
Acero inoxidable (18-8)	0.30
Titanio	0.30

Tabla 3.1 Valores aproximados del coeficiente de Poisson



$$\text{Deformación axial} = \frac{L_f - L_0}{L_0} = \varepsilon_a$$

$$\text{Deformación lateral} = \frac{h_0 - h_f}{h_0} = \varepsilon_l$$

$$\text{Coeficiente de Poisson} = \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_a} = \nu$$

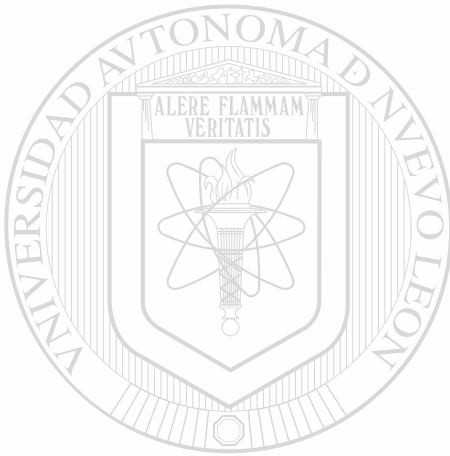


Figura 3.12

Ilustración del coeficiente de Poisson

para un elemento sometido a esfuerzo a tensión.

En el presente texto, se utiliza la letra griega minúscula nu (ν) para denotar el coeficiente de Poisson. Nótese que algunas referencias utilizan mi (μ).

Los materiales metálicos más comúnmente usados, tienen un coeficiente de Poisson con valor entre 0.25 y 0.35. Para el concreto, varía ampliamente según el grado y el esfuerzo aplicados, pero generalmente cae entre 0.1 y 0.25. Los elastómeros, y el caucho, tienen un coeficiente de Poisson que llega a ser hasta de 0.50. En la tabla 3-1 se muestra valores aproximados del coeficiente de Poisson.

3.9 Deformación por cortante.

Las demostraciones anteriores de deformación, describieron la deformación normal, porque esta es causada por el esfuerzo de compresión o tensión normal, desarrollado en un miembro de carga. Bajo la influencia del esfuerzo cortante, se produce la deformación por cortante.

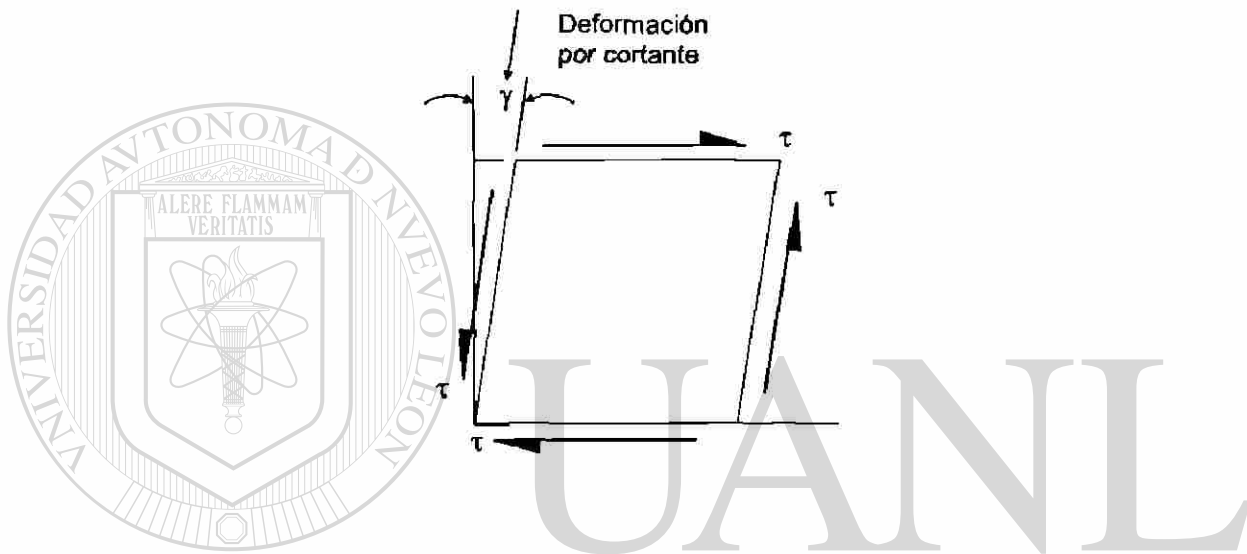


Figura 3.13

Deformación por cortante en un elemento infinitesimal.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La figura 3.13 muestra un elemento sujeto a esfuerzo cortante. La acción cortante en las caras paralelas del elemento tienden a deformarlo angularmente, como se muestra de forma exagerada. El ángulo γ (gamma), medido en radianes, es la deformación por cortante. En los problemas prácticos se encuentran sólo valores sumamente pequeños de deformación por cortante y, por consiguiente, las dimensiones del elemento sólo se cambian levemente.

3.10 Módulo de elasticidad.

Puede obtenerse una medida de la rigidez del material, calculando el coeficiente del esfuerzo normal en un elemento, y la deformación correspondiente en el mismo dentro del límite proporcional del material. Esta relación se conoce como módulo de elasticidad, y se denota por E.

Es decir:

$$\text{módulo de elasticidad} \approx \frac{\text{esfuerzo normal}}{\text{deformación normal}} = E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Un material con un valor de E elevado se deformará menos con un esfuerzo dado, que con un valor reducido de E. Un término más completo para E sería el módulo de elasticidad a tensión o compresión, porque se define en función del esfuerzo normal. Sin embargo, el término "módulo de elasticidad", sin ningún modificador, generalmente se considera como el módulo de tensión.

3.11 Módulo de elasticidad a cortante.

El coeficiente del esfuerzo cortante y la deformación por cortante se conoce como módulo de elasticidad a cortante, módulo de rigidez, y se denota por G.

Es decir:

$$G = \frac{\text{esfuerzo cortante}}{\text{deformación por cortante}} = \frac{\tau}{\gamma}$$

G es una propiedad del material, y se relaciona con el módulo de tensión y el coeficiente de Poisson por:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

3.12 Esfuerzo térmico.

En la sección anterior, las piezas estructurales sometidas a cambios de temperatura se encontraban libres, de manera que podían dilatarse y contraerse con libertad. Si las piezas se sujetaran de tal modo que se impidiera la deformación, se generarían esfuerzos.

Considérese un miembro estructural de acero en un horno, que se calienta mientras que los elementos a los cuales está conectado se mantienen a una temperatura más baja. Si se supone el caso ideal, los apoyos se considerarían rígidos e inmóviles. De este modo se impediría la expansión del elemento de acero.

Si se permitiera que la pieza de acero se expanda, se alargaría en una proporción de $\delta = \alpha \cdot L \cdot \Delta t$. Pero como está sujeta, esta cantidad representa la deformación total aparente del acero. Luego la deformación unitaria sería:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{\alpha \cdot L \cdot \Delta T}{L} = \alpha(\Delta t)$$

δ = deformación total (plg.)

Donde: ΔT = gradiente de temperatura ($^{\circ}F$)

α = coeficiente de dilatación plg/plg $^{\circ}F$

El esfuerzo resultante en la pieza se puede hallar por medio de:

$$\sigma = E \epsilon \quad \text{ó:} \quad \sigma = E \alpha(\Delta t)$$

3.13 Fuerzas en un cuerpo.

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, el esfuerzo será definido como una fuerza que actúa sobre una área unitaria. Ver figura 3.14.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = Esfuerzo normal (lbs./plg²)

P = Carga (lbs.)

A = Area de la sección transversal normal al eje de carga (plg²)

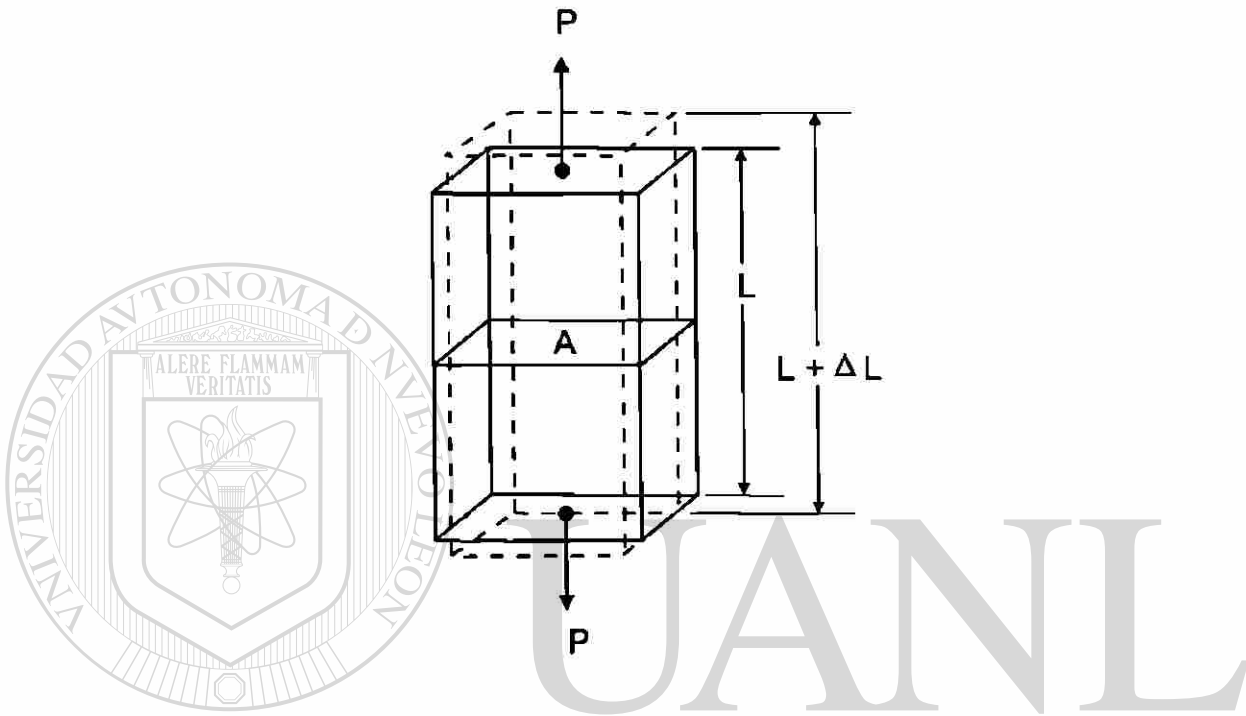


Figura 3.14

Cuerpo sólido sometido a cargas de tensión.

Ejemplos de esfuerzos son: tensión, compresión, flexión, corte 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 referida como un cambio en longitud sobre la longitud unitaria debido a las fuerzas aplicadas.

$$\epsilon = \frac{DL}{L}$$

Donde:

ϵ = Deformación unitaria axial. (plg/plg)

DL = Cambio de longitud. (plg)

L= Longitud unitaria (plg)

La relación entre esfuerzo y deformación unitaria está ilustrada en una curva típica de 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 llamada "resistencia ultima". Debajo de este punto la curva desciende hasta el punto de fractura. Mientras que el esfuerzo real o verdadero continúa incrementándose por arriba de la "resistencia ultima", la curva indica los esfuerzos basados en el área de la sección transversal original. Ver figura 3.15.

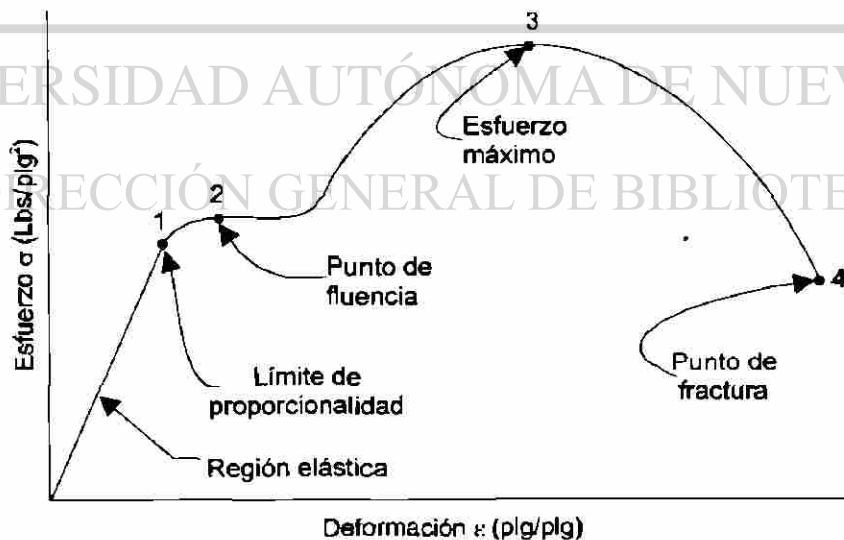


Figura 3.15

Gráfica típica esfuerzo deformación

3.14 La Ley de Hooke.

Robert Hooke descubrió la relación entre esfuerzo y deformación unitaria. Más 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 módulos de elasticidad. Esto es la ley de Hooke.

$$\sigma = E\varepsilon$$

Donde:

E = Módulo de Young (lbs./plg²)

De donde:

$$\varepsilon = \frac{DL}{L} \text{ y } \sigma = \frac{P}{A}$$

Entonces

$$\sigma = E \left(\frac{DL}{L} \right) = E\varepsilon$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \left(\frac{P}{A} \right) / \left(\frac{DL}{L} \right)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \left(\frac{P}{A} \right) / E$$

Nótese que la Ley de Hooke, y el Módulo de Young, son válidos 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 prácticamente.

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

Cuando toma lugar una deformación en un cuerpo sólido bajo la acción de carga axial, no solo hay cambio de longitud axial sino también lateral o cambio de dimensión

normal. Simeon Poisson cuantificó esta relación por medio de la razón de deformación unitaria lateral, a la deformación unitaria axial.

$$m = \frac{-\varepsilon L}{\varepsilon A}$$

Donde:

m = Razón de Poisson

εL = Elongación Lateral (plg/plg)

εA = Elongación Axial (plg/plg)

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). Ver figura 3.16.

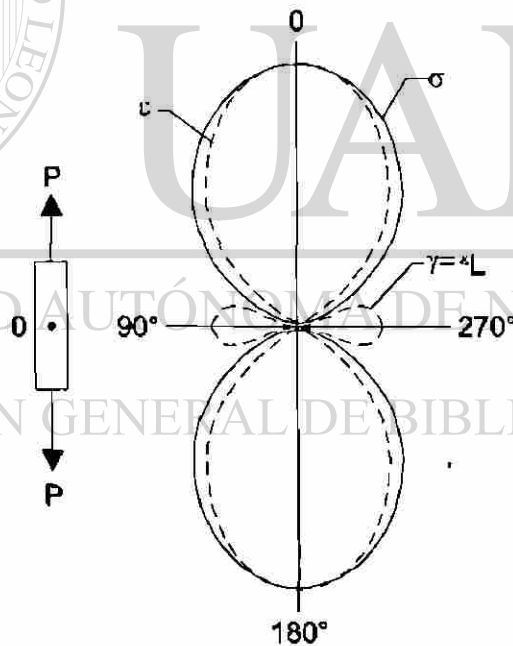


Figura 3.16

Trayectoria Polar del punto 0 en tensión.

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

$$R = \rho \left(\frac{L}{A} \right)$$

Donde:

R = Resistencia (ohms)

ρ = Resistividad específica (ohms-plg)

L = Longitud (plg)

A = Area de la sección (plg²)

En 1865 Lord Kelvin condujo experimentos con alambre de cobre y acero bajo cargas a 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 sensibilidad a la deformación unitaria.

$$SA = 1 + 2m + (D \rho / \rho) / (DL/L)$$

Donde:

SA = Sensitividad del conductor.

m = Razón de Poisson

ρ = Resistividad específica

L= longitud del medidor

D= diámetro del medidor

Note que la resistencia específica y la geometría del conductor cambian con la deformación unitaria.

El factor de sensitividad del alambre sensor de un medidor de deformación de laminilla típico será referido con el factor de celda.

$$G.F. = (DR/R) / (DL/L)$$

Donde:

(DR / R) = Cambio de resistencia eléctrica de un medidor de deformación encapsulado.

El factor de celda de un medidor de deformación de laminilla tiene un rango de 2.0 a 4.0.

Ejemplo:

$$G.F. = 2.0$$

$$R = 350 \text{ W}$$

$$DR = 0.7W$$

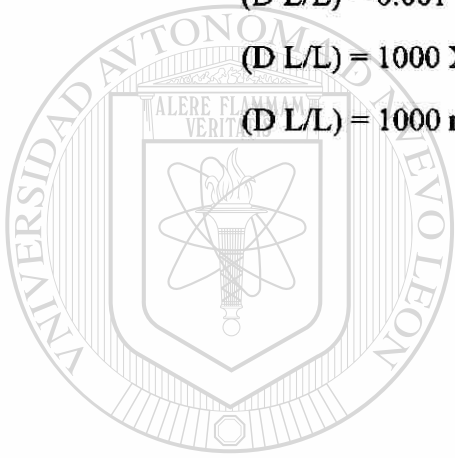
$$(DL/L) = (DR/R) / G.F.$$

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

$$(DL/L) = 0.001 \text{ plg/plg } \acute{o}$$

$$(DL/L) = 1000 \times 10^{-6} \text{ plg/plg}$$

$$(DL/L) = 1000 \text{ micron/plg}$$



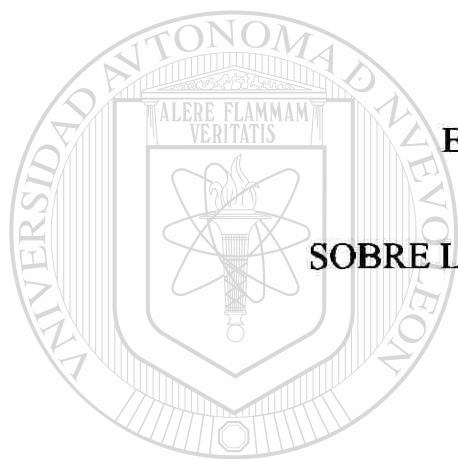
UANL

UNIVERSIDAD AUT3NOMA DE NUEVO LE3N

DIRECCI3N GENERAL DE BIBLIOTECAS



CAPITULO 4



EFECTOS DE TEMPERATURA

SOBRE LOS MEDIDORES DE DEFORMACIÓN

4.1 Deformación unitaria.

La exactitud de la deformación unitaria obtenida a partir de un medidor de deformación unitaria tipo resistencia impresa está influenciada por algunos factores contenidos en el medio ambiente, materiales, tiempo e instrumentación. Uno de los más importante factores ambientales en la medida de deformación unitaria estática, es el cambio de temperatura del medidor y del espécimen de prueba durante el tiempo de medición. Los efectos de dichos cambios de temperatura, y la eficiencia de varias técnicas de compensación de temperaturas serán discutidos en los siguientes párrafos.

Uno de los mayores problemas causados por usar medidores de deformación unitaria, es la medida de deformación bajo condiciones de temperaturas transitorias, especialmente bajo condiciones ambientales adversas bien abajo, o arriba de las condiciones ambientales normales. En dichos casos la deformación en una estructura o

componentes puede ser causada por fuerzas externas, por esfuerzos térmicos, por desigualdad de cambios de temperatura o expansión diferencial.

Las componentes de dichas deformaciones pueden ser definidas como a) deformación unitaria mecánica E_t , la cual está dentro del límite de elasticidad del espécimen, que es proporcional al esfuerzo, b) deformación unitaria térmica del espécimen a_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 técnicos. Los analistas de esfuerzos diseñan con criterios basados principalmente en esfuerzos a tensión, interesándose únicamente en las mediciones de deformación unitaria mecánica.

La idea de un medidor de deformación unitaria para análisis de esfuerzos, entonces deberá ser insensitivo a las deformaciones en el espécimen causadas por expansión térmica simple a_F . Esto puede ser efectuado de varias formas. A través de uso de técnicas simples o el uso de uno de los muchos tipos de medidores de deformación, hechos especialmente para estos propósitos.

4.2 Métodos para compensación de temperatura.

Los métodos para compensación de temperaturas de un medidor eléctrico 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 medidor, es usado para cancelar efectivamente la respuesta de la deformación unitaria, que sufre el medidor de los cambios de resistencia debido a cualquier temperatura; la autocompensación para la temperatura es el control del coeficiente de temperatura de resistividad, del medidor de deformación tal que la respuesta actual del medidor de deformación, al cambio de resistencia debido a cualquier temperatura sea minimizada.

El medidor aparente es un método original usado para obtener la compensación por temperatura de una resistencia al medidor de deformación adherido aunque se usen

los antiguos conceptos, el método del medidor aparente todavía ofrece muchas ventajas que pueden competir con los métodos nuevos como el medidor autocompensado por temperaturas.

El principio del método del autocompensador aparente de temperatura es enteramente básico. En esta práctica simple se adhieren un medidor activo al espécimen de prueba, y un segundo idéntico aparente, o compensador se adhiere a una pieza separada a un pequeño cuadro del mismo material que al espécimen de prueba.

El medidor aparente o compensador está físicamente acomodado para ser expuesto a los mismos cambios ambientales que el medidor activo, pero aislado de carga o deformación. En el estado no esforzado, ambos medidores entonces tendrán la misma respuesta a los cambios de temperatura.

Los medidores, activo y aparente están conectados en ramas adyacentes al puente de medición (Wheatstone). En esta configuración el medidor aparente cancela los efectos de los cambios de temperatura en la resistencia del medidor, y el puente balanceado responderá únicamente a la deformación unitaria impuesta al medidor activo.

Ver figura 4.1.

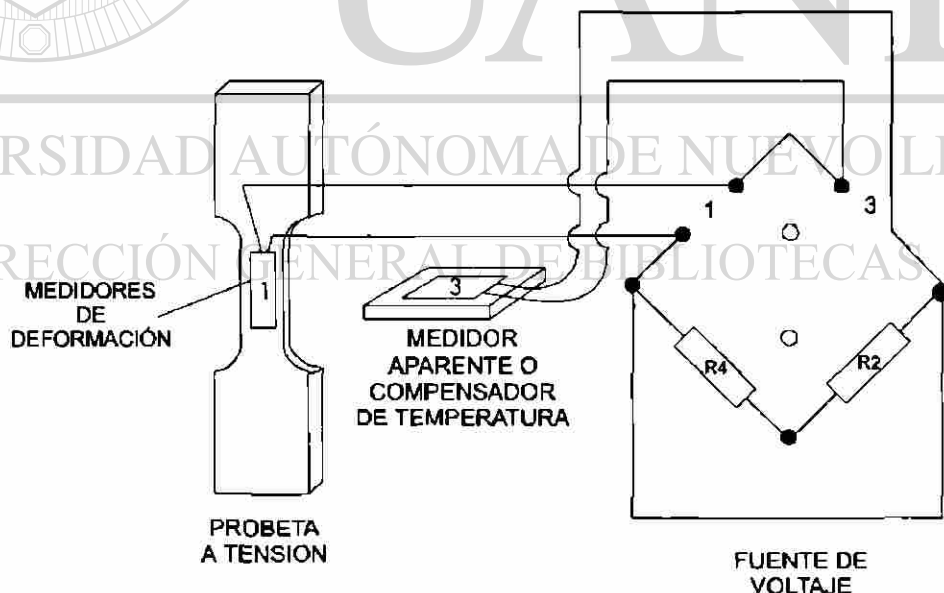


Figura 4.1

Diagrama de un compensador de temperatura usando un medidor aparente.

Los ejemplos típicos se muestran en la figura 4.2.

Note que las curvas están graficadas a una escala aplicable al trabajo del medidor de deformación. Es evidente que la principal constante fija representa substancialmente no-linealidad y de pendiente cero. Aún el mejor material seleccionado tiene un coeficiente de temperatura cero solamente sobre un rango de temperatura límite.

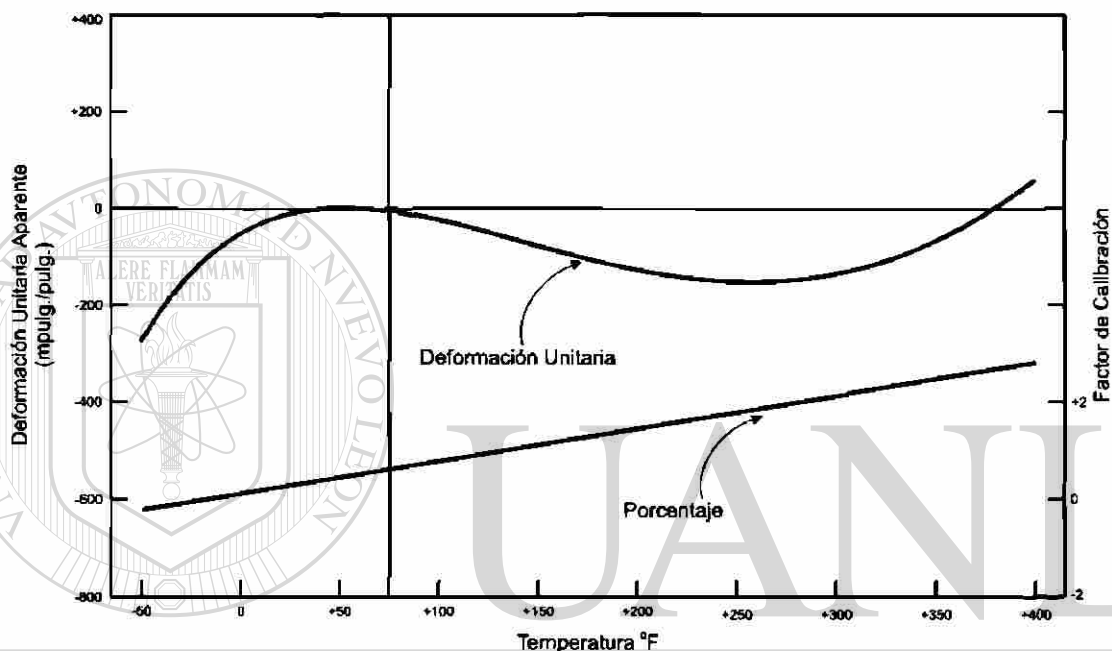


Figura 4.2

Influencia de la temperatura en la deformación

Para seleccionar todos los rangos de temperatura y materiales de los especímenes enlistados, se requiere un extenso margen de coeficientes de temperatura. En resumen un lote de materiales en medidores de deformación, teniendo un coeficiente de temperatura aparente a cualquier espécimen dado, es difícil de obtener. Ver figura 4.3. En las consideraciones prácticas forzaremos a tomar un coeficiente con una tolerancia equivalente a ± 1 micropulg/pulg/ $^{\circ}$ F.

El método de compensación aparente tiene tres ventajas, que no se podrán obtener con un medidor simple, que tenga un coeficiente de temperaturas seleccionadas.

Estas ventajas son:

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

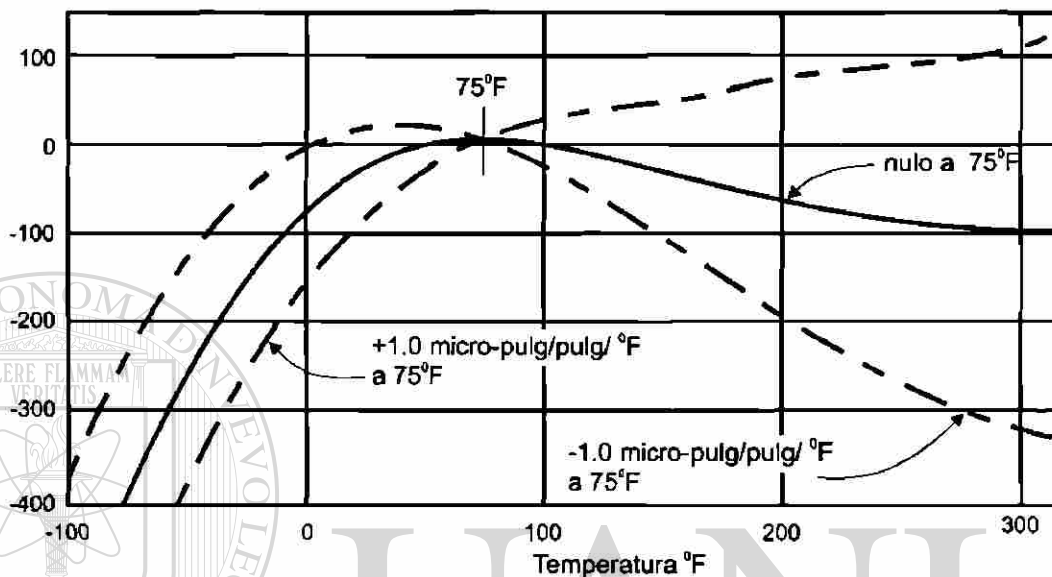


Figura 4.3

Influencia de la temperatura en el cambio de resistencia.

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

Las mismas características que aportamos para la compensación de no linealidad, esto es respuesta idéntica de los medidores activos y aparente, también hace este método efectivo sobre un amplio rango de temperaturas. Por ejemplo, los medidores aparentes tienen que ser usados sucesivamente sobre el rango de temperatura de salón a -320°F , donde la temperatura de respuesta de ambos medidores tomados separadamente, es más que el equivalente de 10000 micro plg/plg. El método también tiene que ser usado a

1200°F. En resumen, cero o temperatura de arranque puede ser cualquiera dentro del rango de operación del medidor.

Las características de expansión térmicas del espécimen de prueba, es un factor que contribuye al coeficiente absoluto de temperatura del medidor adherido a éste.

De nuevo donde el medidor, activo y aparente, es adherido al mismo tipo de material. El efecto de la expansión térmica del espécimen de prueba, será efectivamente cancelado. Un número de compensación de temperatura se añade en la descripción del medidor, para distinguir los medidores que tengan las mismas características básicas de temperaturas, (hay también un pequeño código de colores en cada medidor, para indicar el número de la temperatura de compensación). Es necesario solamente estar seguro que ambos medidores, el activo y el aparente tengan el mismo número de identificación. Esto nos dará la seguridad de que todos los medidores, sean del mismo lote y por lo tanto deberán tener las mismas características.

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

4.3 Medidores de deformación planos.

La familia completa del tipo SR-4 cable y medidores planos de deformación, contienen mas de 1000 modelos diferentes capaces de hacer mediciones de precisión, en un amplio rango de condiciones:

- En temperaturas cryogenicas a -452 °F
- En temperaturas elevadas a 1800 °F
- Con tensión y compresión forzadas mas de un 10 %

- Con una resolución precisa de esfuerzo en longitudes tan pequeñas como 0.007 plg.
- Bajo condiciones de prueba estáticas y dinámicas.

Muchas configuraciones diferentes de mallas están disponibles algunas se muestran en la tabla. 4.1 y figura 4.4. Cualquiera de las numerosas herramientas diseñadas, puede ser seleccionada para determinar las magnitudes y direcciones de componentes, en campos de esfuerzo multiaxial (Ambos, planos y para espacios pequeños están incluidos en la línea estándar de medidores).

Los medidores compensados de temperatura, están disponibles para aplicaciones donde la más alta exactitud debe ser sostenida sobre un rango de temperaturas. Los medidores compensados, están muy cerca a coincidir con el coeficiente de expansión térmico, molibdeno, titanio, aluminio, magnesio, aceros inoxidable, plásticos y acero suave.

La familia estándar de medidores también contiene una amplia gama de modelos:

- Unido, desmontable y sistemas que llevan filamentos libres.
- Guía y diseño de cojinetes para conexión de instrumentación por cableado vía soldadura.
- Resistencias de 120, 350, 500, 1000 y 5000 Ω para coincidir con los tipos estándar de puentes lectura exterior/ excitación instrumental.

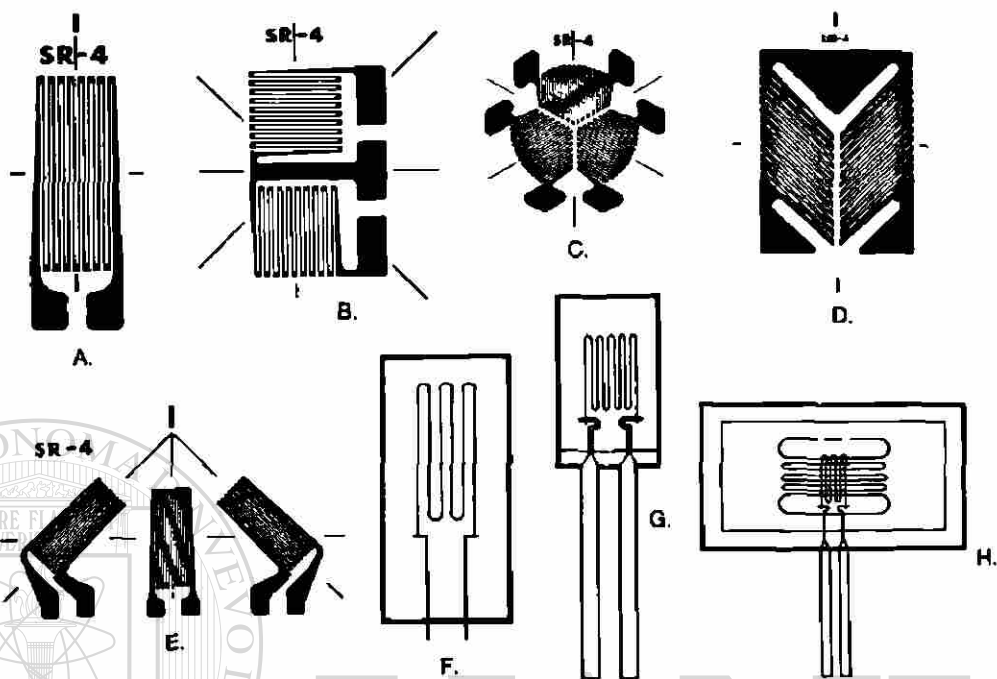
Poliamidas y medidores tipo papel plegable, mas grandes de 1/8 plg pueden ser usados para medir esfuerzos mayores de 4 a 5 % de su capacidad. Poliamidas y medidores tipo papel serán para esfuerzos entre 2 y 3 % de su capacidad. Los medidores de vidrio fenólico podrán manejar deformaciones del 2 %. Cualquier galga con adhesivos cerámicos estará limitada a deformaciones de aproximadamente 0.5 %, por las propiedades inelásticas del adhesivo, para deformaciones mas largas a altas temperaturas el proceso de flama Rokide, puede ser usado para conseguir mediciones arriba del 1 %.

El rango del cable estándar SR-4 y los medidores planos son mostrado en la tabla4.1

Tipo de medidores	Nomenclatura	Transmisor	Rango de temp. Recomendado (°F)	Temperatura Extendida (°F)	Temperatura compensada (°F)	Aplicación (primaria/ secundario)	Longitud disponible de medidores.	Factor Nominal
Uso general, parrilla metálica plana de constantan	FAP/FAQ FAE/FSQ FAB	papel delgado Poliarmidas vidrio fenólico	-100 a +150 -100 a +400 -100 a +600	-320 a +180 -320 a +600 -320 a +600	+50 a +150 +50 a +400 +50 a +400	estática/dinámica estática/dinámica estática/dinámica	1/32 a 1/2 1/64 a 1/2 1/32 a 1/2	2.1 2.1 2.1
Uso general, parrilla de cables de constantan (aleación de cobre 60 % y níquel 40%)	A A, AF AB ABD AB, ABF	devanado de papel papel plano devanado de bakelita devanado de bakelita	-100 a +100 -100 a +150 -100 a +250 -100 a +250 -100 a +300	-320 a +150 -320 a +180 -320 a +350 -320 a +350(st) -320 a +400(dy) -320 a +400	ninguna +50 a +150 ninguna ninguna +50 a +250	estática/dinámica estática/dinámica estática/dinámica estática/dinámica estática/dinámica	1/16 a 6 1/4 a 1 1/8 a 5/16 1/8 a 5/16 1/16 a 3/4	2.0 2.0 2.0 2.0 2.0
Uso general, dinámica 150-parrilla de cable elástica	C, CD CB, CBD	papel bakelita	-100 a +150 -100 a +250	-320 a +180 -320 a +350	ninguna ninguna	dinámica dinámica	1/4 a 7/8 1/4 a 5/16	3.3 3.3
Dinámica de gama amplia, parrilla plana inelástica.	DLB-PT	vidrio fenólico	-320 a +600	-452 a +600	ninguna	dinámica	1/8 a 1/2	4.0
Transferible conductor niquelcromo V parrilla plana	FNO, FNH	Filamento libre transf	-452 a +600	-452 a +700(st) -452 a +1800(dy)	ninguna	estática/dinámica	1/4 a 1/2	2.2
Uniendo cerámica y rocio de flama, HT filamento libre parrilla de alambre	HT-200 HT-400 HT-800 HT-1200	filamento libre transferible de vidrio de vidrio	-452 a +800 -100 a +450 -452 a +800 -320 a +1200	-452 a +700(st) -452 a +1800(dy) -320 a +450(st) -320 a +600(dy) -452 a +600(st) -452 a +1800(dy) -452 a +1200(st) -452 a +1500(dy)	ninguna +50 a +400 +75 a +600 ninguna	dinámica/estática estática/dinámica estática/dinámica dinámica/estática	1/8 a 1/2 1/2 a 1/2 1/2 a 1/2 1/8 a 1/2	2.2 2.0 2.2 4.0
Temperaturas parrilla metálica plana	FSM	vidrio poliarmida	-420 a +600	-452 a +750	+75 a +600	estática/dinámica	1/32 a 1/4	2.1
Criogenica, niquelcromo V parrilla plana	FNB	vidrio fenólico	-452 a +600	-452 a +600	ninguna	estática/dinámica	1/16 a 1/4	2.2

Tabla 4.1

Características estandarizadas del cable SR-4 y medidores de deformación planos.



A.- alambre uniaxial.

B.- elemento hoja roseta plana a 90° .

C.- elemento hoja roseta plana a 60° .

D.- elemento hoja de tijera roseta plana a 45° .

E.- elemento hoja roseta plana a 45° .

F.- alambre uniaxial.

G.- alambre uniaxial de cinta delantera.

H.- alambre uniaxial de filamento libre de mudanza removible.

Figura 4.4

Ejemplos gráficos de medidores de deformación planos.

4.4 Uso especial de cables y medidores de deformación planos.

Medidores de deformación con envolturas especiales, conductores metálicos y diferentes formas, han sido diseñados para muchas aplicaciones. Los medidores listados mas adelante son aquellas que tienen mas uso. Figura 4.5.

Medidores de gran rendimiento tienen conductores dúctiles, y por eso pueden manejar un mayor esfuerzo que sus competidores de hojas de alambre. Las deformaciones con mas de 10 % pueden ser medidas con precisión por los medidores de rendimiento.

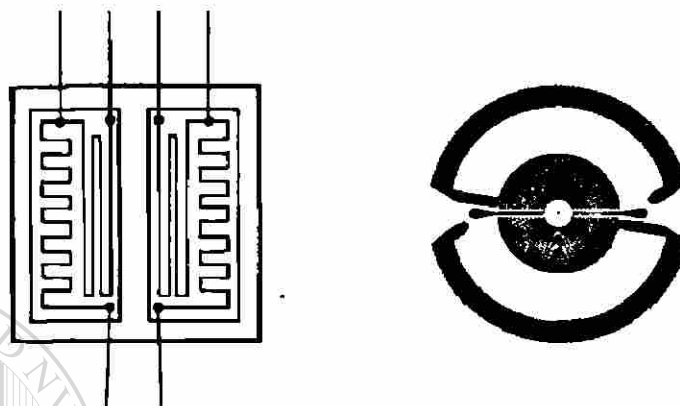


Figura 4.5

Medidores de deformación con envolturas especiales

El cemento de piedra caliza se pega muy bien a la envoltura de los medidores, lo cual asegura una muy buena adherencia de la deformación del concreto al medidor.

Estos medidores son unidades separadas diseñadas para la supervivencia de largo plazo en las estructuras de concreto; los medidores pueden operar en su lugar por largos periodos de tiempo.

La encapsulación de policarbonato asegura una estabilidad de largo plazo, y una durabilidad ambiental para medidores en el asfalto, y medidores empotrados en hielo. Este modelo a sido usado con gran éxito para medir las deformaciones de adherencia en las pistas de aeropuertos, que están sujetas a las pesadas cargas de los aviones. y también es usada de manera exitosa en hielo, y tierra congelada. Este medidor tiene un modulo de elasticidad muy bajo, y puede medir deformaciones hasta de un 6%.

Los medidores soldables están disponibles como elementos sencillos así como en puentes completos. Estos medidores están montados en portadores de acero inoxidable

de .05 plg de grueso para tener baja energía soldable directamente al probar los materiales.

Tipo	Nomenclatura	Conductor	Temperatura Recomendada (°F)	Temperatura Extensión(°F)	Temperatura Compensación (°F)	Factor nominal
Medidores de cable de sujección...Alta elongación para deformaciones 10%	PA	Papel delgado	50 a 150	50 a 180	Nada	2.0
Medidores con protección de concreto	AS-9	Envoltura de latón	-50 a 100	-100 a 180	50 a 150	2.1
Medidores con protección de asfalto y hielo	EMB 300-35	Policarbonato	-100 a 275	-275 a 300	Nada	2.1
Medidores soldables	FABW	0.005"	-100 a 500	-320 a 600	50 a 250	2.0
	FNWFB	inoxidables	-452 a 700	-452 a 1200	nada	2.2
	FNW		-452 a 1000	-452 a 1200	-452 a 1000	3.5
Medidores de diafragma	FAES	Poliamida	-100 a 400	-320 a 500	50 a 150	2.1
	FAES-4					

Tabla 4.2

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Características de los medidores de deformación.

Los medidores de diafragma son más comúnmente usados en transductores de presión, y otros aparatos similares, estos medidores pueden contener elementos sensores sencillos o múltiples; estos medidores pueden medir la fuerza tangil en el centro de la pieza, así como la fuerza radial de compresión en el perímetro del diafragma.

Como se enseña en esta pagina se han diseñado medidores de deformación para mucha variedad de usos. La precisión y flexibilidad del proceso de foto, permite fabricar medidores a la medida en virtualmente cualquier diseño de dos dimensiones. Para requerimientos especiales, se han diseñado:

- medidores de 25 pies de largo .
- medidores con envolturas super delgadas.
- medidores con muy alta resistencia.
- medidores con múltiples mallas de resistencia acopladas a varios materiales, para medición directa de presión, así como de fuerza.

4.5 Medidores de deformación semiconductores y medidores de estado sólido.

Los medidores y los medidores semiconductores son extremadamente sensibles, algunos modelos poseen una resolución tan alta como 150 ohms. Los dispositivos de esta familia son manufacturados a partir de un monocristal de silicio, en el cual el efecto fotoresistivo produce un gran cambio resistivo, por unidad de deformación aplicada.

4.5.1. Medidores semiconductores

Los medidores de deformación semiconductores son compatibles, se dispone de la información para su operación, su sistema de control es basado en temperatura, y además posee dispositivos compensados para su uso, cuando la alta calidad sea requerida. Niveles pequeños de deformación, pueden ser medidos mediante estos dispositivos. Además, la capacidad del voltaje de salida de las medidores semiconductores, son mucho mayores, si las comparamos con la capacidad obtenida a través de los medidores convencionales. Por lo tanto, los medidores semiconductores.

Son medidores idóneos para su uso en transductores de salida alta.

Se puede eliminar la necesidad de amplificación e instrumentación compleja en muchas de las aplicaciones.

A menudo se puede mejorar la calidad de medición cuando la resistencia de contacto (o bien, la variación en la resistencia) por uniones o contactos eléctricos, merman las lecturas obtenidas por medidores convencionales.

Los medidores semiconductores son extremadamente estables. El monocristal de silicio es perfectamente elástico; por lo tanto no presenta histéresis, cedencia, o

termofluencia. También, estos medidores poseen una vida útil alta debido a la fatiga, de manera que son adecuadas para medir fuerzas, y deformaciones dinámicas.

Sin embargo, los medidores semiconductores son más dependientes de la temperatura que las medidores convencionales, y la curva de la resistencia semiconductor contra la deformación se convierte en no-lineal, incrementándose con los niveles de deformación. Una compensación cercana, y/o corrección de estos efectos puede ser ajustada en muchos casos. Se suministra los datos, para los niveles de corrección de temperatura-deformación para todos sus medidores semiconductores que están en el mercado, (también se somete a pruebas al 100% de los filamentos de las medidores semiconductores, a 3000×10^{-6} plg de deformación por tensión antes de embarcarse).

En la carta de selección, tanto los medidores enlistados, como los de uso general, proveerán la mejor combinación para la linealización, el ajuste a cero, y la sensibilidad de la deformación. Los medidores enlistados compensados por temperatura, están vinculados al coeficiente de expansión térmica de diversos materiales, para mejorar la calidad dentro del intervalo de 50°F a 150°F. Las medidores de alta resistencia ofrecen las mayores capacidades en los niveles de salida, con la mínima disipación de potencia interna. Los medidores cortos son seleccionados a partir de otras familias, a modo de ofrecer una gama de características y longitudes de medición, tan pequeñas como 0.03 pulgadas.

Todos los medidores que tienen como cubierta vidrio fenólico, se pueden utilizar de -452°F hasta 500°F. Todas los medidores de filamento libre son utilizables desde -452°F hasta 700°F.

4.5.2 Medidores de estado sólido

Los modelos en las líneas de medidores, son esencialmente los mismos que poseen los medidores semiconductores, pero sin la prueba detallada, de compatibilidad y datos presentados en los medidores. Los medidores son las opciones más económicas para aplicaciones menos críticas:

- En transductores calibrables operando en ambientes relativamente constantes.
- Para mediciones en vibración y sonido.
- Como detectores de sobrecarga y/o de falla.
- Como medidores de posición.

Para mayor información en medidores semiconductores y medidores ver tabla 4.3

Tipo	Cobertura vidrio fenólico	Cobertura filamento libre	Temperatura de Compensación (°F)	Factor Nominal	Longitudes Disponibles (plg)	Resistencias Nominales Disponibles (Ω)
De uso general	bien	bien	---	110 a 118	0.06 0.20	120, 350
Con ajuste del cero de temperatura compensada	bien	bien	50 a 150	-103 a -110	0.06 a 0.16	120, 350
De alta resistencia	bien	bien	---	136 a 150	0.09 0.35	1000 a 5000
Cortas	bien	bien	---	110 a 145	0.03 a 0.12	120, 350, 1000

Tabla 4.3

Características para los medidores semiconductores de deformación

4.6 Accesorios de los medidores de deformación

La línea de accesorios de medidores de deformación, deberán contener lo que sea necesario, para una instalación apropiada en la medición de cualesquier ambiente, el cual puede ser opuesto por la galga misma. La línea de accesorios contiene:

- Materiales para preparación de superficie
- Adhesivos
- Recubrimientos de protección
- Sistemas de cableado conductor
- Juntas de acoplamiento

Los accesorios están descritos en las paginas siguientes.

4.6.1 Materiales para la preparación de la superficie.

Estos accesorios son utilizados para la limpieza de superficies, en las cuales los medidores de deformación van a ser acopladas. Los materiales disponibles son solventes químicos, acondicionadores para superficies de metales y neutralizadores, agentes de limpieza mecánicos, y una unidad de soplado de arena con aire portatil. Los paquetes que contienen una sección de todos los materiales para preparación de superficie esta disponibles a bajo costo.

4.6.2. Tipos de adhesivos

El completo desarrollo de los medidores de deformación, es exclusivamente realizado, si una cinta adhesiva de calidad, se acopla a la galga con el material a someterse a un esfuerzo. Los adhesivos en la línea de accesorios proveen tales cintas, para una gran diversidad de condiciones ambientales, tal como se muestra en la tabla 4.4

4.6.3 Recubrimientos de protección.

Estos materiales son utilizados para prevenir el daño mecánico y químico, después de que la galga de deformaciones ha sido instalada. Las propiedades generales, de los sistemas de protección para recubrimiento en la línea de accesorios en la tabla 4.4

4.6.4 Recubrimientos para detección de fallas.

Las estructuras sujetas a condiciones de carga dinámica, a menudo fallan durante el servicio, causando perdidas de propiedades o, a veces, hasta vidas. Una señal de precaución en tales casos de inminente falla por fatiga, es extremadamente importante. Este recubrimiento es, típicamente, utilizado en metales y aleaciones, durante la investigación de las características de fatiga y límites de tenacidad, bajo una variedad de condiciones de carga.

Tipo	Compatibilidad	Tiempo de Curado (horas)	Temperatura de Seguridad (°F)	Temperatura Máxima (°F)
Con pegamento BLH SR-4 (nitrocelulosa)	papel delgado	10@temperatura ambiente 2@120°F	-100 a +180	-320 a +200
DUCO (nitrocelulosa)	papel estándar	48@temperatura ambiente 12@120°F	-100 a +150	-320 a +200
E-910 (cianoacrilico)	todo	---	-100 a +150	-320 a +200
BLH EPY-150 para temperatura ambiente (resina epóxica)	todo	16@temperatura ambiente 1@150°F	-320 a +150	-450 a +300
BLH EPY-350 para temperaturas medias (resina epóxica)	todo, excepto papel	6@250°F 2@500°F	-452 a +400	-452 a +600
QA-1 (resina epóxica)	todo, excepto papel	2@500°F	-320 a +425	-320 a +450
BLH EPY-600 para temperaturas altas (resina epóxica)	poliamida y fenólicos	1@225°F	-452 a +600	-452 a +650
BLH PLD-700	Vidrio con poliamida	21/2@500° F	-452 a +750	-452 a +800
baquelita (resina fenólica)	baquelita y fenólicos	60@300°F	-320 a +300	-452 a +500
BLH CER-1000 (cerámica)	transferible/filamento libre	1 a 6@600°F	-452 a +1000	-452 a 1250
BLH CER-1200 (cerámica)	transferible/filamento libre	1 a 6@600°F 1 a 1000°F	-452 a +1200	-452 a +1400
Rokide (alúmina)	transferido/filamento libre	---	-452 a +1500	-452 a +1600

Tabla 4.4

Adhesivos para medidores de deformación

El recubrimiento para detección de fallas consiste, básicamente, de dos capas; una matriz de capa epóxica como base, conteniendo microcápsulas, las cuales son llenadas con una emulsión conductiva eléctricamente, y una capa superior de pintura conductiva de plata. El recubrimiento para detección de fallas está entonces diseñado, para quebrarse en cualquier momento que el material falle. La fractura se propaga muy rápidamente en la matriz epóxica, ocasionando que las microcapsulas se rompan. El cambio en la resistencia eléctrica entre la base del metal y la pintura conductiva, es fácilmente detectada con ohmetro. Una observación eléctrica puede entonces estar

hecha, desde un punto remoto del sistema que está siendo monitoreado. Esta técnica es particularmente valiosa si el área cubierta no es de pronto acceso, o cuando un sistema de alarma eléctrico es utilizado. Ver tabla 4.5

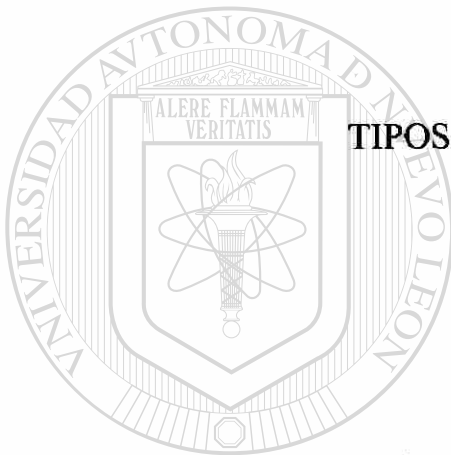
- Algunas aplicaciones incluyen :
- Grúas viajeras
- Miembros estructurales en un puente
- Miembros estructurales en aviación
- Grandes turbinas o carcazas de generadores
- En cualquier estructura metálica en la cual la fractura por la fatiga pueda ocurrir.

Tipo	Curado (horas)	Temperatura (°F)	Protección ofrecida
BLH BARRERA A Fibra con teflon, unido con sellador de silicon	1@aire seco	-325 a +150	humedad, algunos aceites y químicos atmósfera en general
BLH BARRERA B Recubrimiento vinílico líquido y precubierto	4@aire seco	-325 a +150	humedad, muchos aceites y químicos atmósfera en general
RTV curado al aire Hule con silicón	utilizable: 2 curado total: 72	-100 a +450	humedad, aceites, excelente protección mecánica
BLH BARRERA D Semirrigido epóxico	1@150°F ½@200°F	-100 a +225	humedad, aceites, combustibles, mayoría de químicos y solventes, excelente protección mecánica
BLH BARRERA E Neopreno impreso con hule	uso inmediato	-20 a +200	humedad, atmósfera general, combustibles, mayoría de químicos y solventes, excelente protección mecánica
BLH BARRERA F sistema de colado espumas de uretano	½@aire seco	-350 a +350	humedad, mayoría de solventes aceites y gasolina, excelente protección térmica y mecánica
BLH BARRERA G Hule flexible, cepillado	1/3@aire seco	-452 a +300	humedad aceite y gasolina, líquidos criogénicos
BLH BARRERA H Cubierta de resina de silicon para Rokide y adhesivos cerámicos	1@200°F ½@350°F ¼@450°F 1@600°F	-100 a +650	humedad protección mecánica
BLH BARRERA J Recubrimiento de silicón	1/3@aire seco	-75 a +250	humedad
BLH BARRERA WD Cera microcristalina Di-jell	uso inmediato	-100 a 150	humedad, atmósfera en general
BLH BARRERA WC Cera microcristalina Ceres	uso inmediato	-150 a 150	humedad, atmósfera en general

Tabla 4.5

Recubrimientos de protección

CAPITULO 5



TIPOS DE MEDIDORES ELECTRICOS

DE DEFORMACIÓN

5.1 Puente de wheatstone.

La idea fundamental al usar el puente de Wheatstone con medidores eléctricos de deformación, es para cambiar el nivel de referencia ($V_0 + \Delta V$), tal que el valor numérico de V es reducido efectivamente a cero.

Cuando se usa el circuito puente de Wheatstone (para medidores de deformación como circuito de resistencias), se balancea de tal forma que la salida sea cero cuando se aplique un voltaje de entrada. Ver figura 5.1.

El principio de la operación depende de la deflexión del medidor de deformación, 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 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 deformaciones unitarias; tanto estáticas como dinámicas convenientemente combinadas.

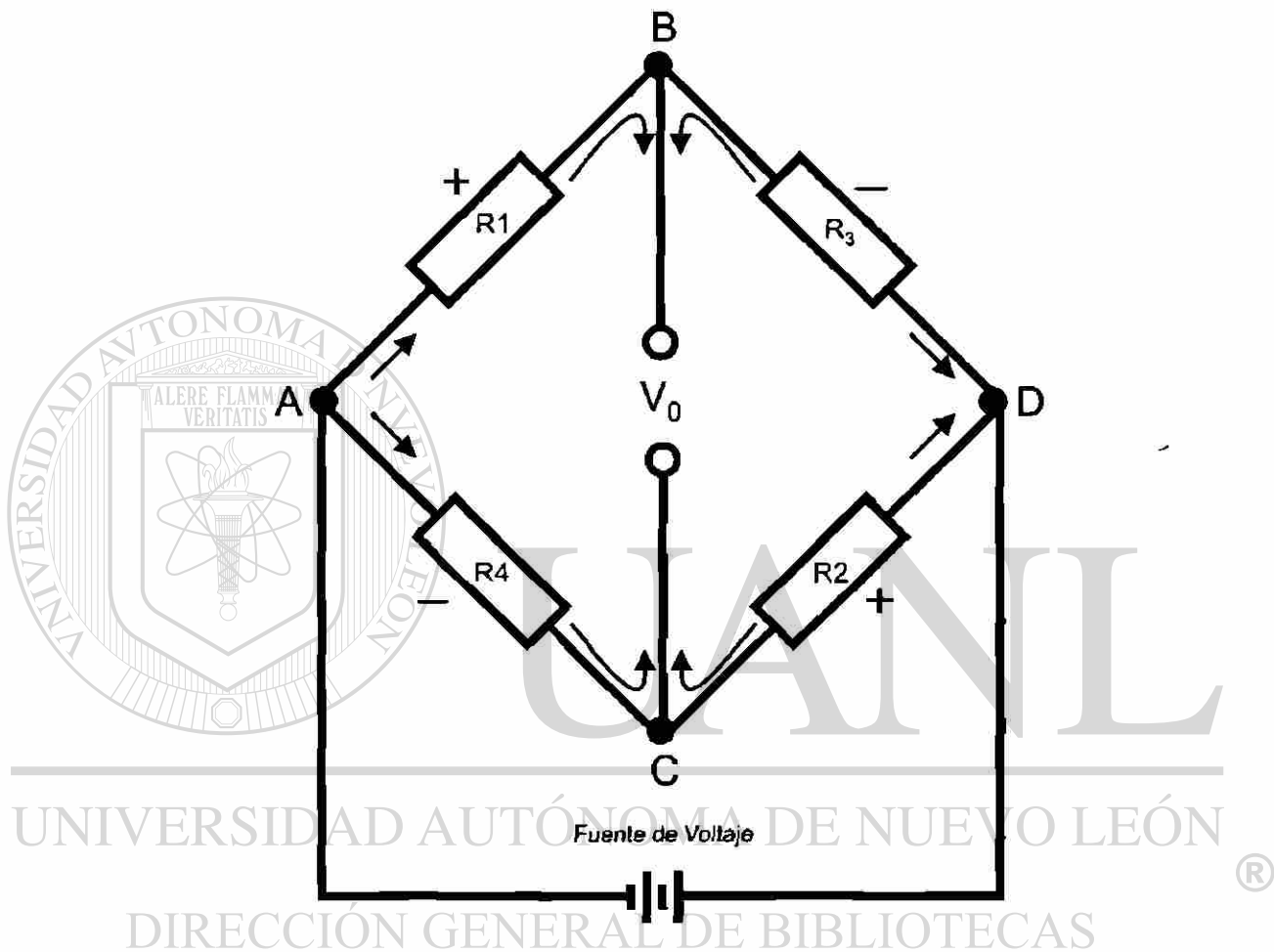


Figura 5.1

Puente de Wheatstone

5.2 Puente de wheatstone portátil.

El medidor de deformación portátil modelo P-3500 (ver figura 5.2), es un instrumento que funciona con una fuente de baterías y su única característica es el análisis de pruebas a tensión, y su uso se basa con transductores de medición de deformación. El P-3500 ofrece una oportunidad de lectura de salida en LCD o LDE, e

incorpora muchas operaciones que lo hacen un instrumento muy avanzado y fácil de usar, la operación es una secuencia lógica de activación al oprimir paso a paso los botones del control según el color, preparando el instrumento para medidas exactas y confiables.

El P-3500 también tiene incorporado un amplificador de corriente directa de alta estabilidad, y ofrece un puente de precisión de excitación regulable y controles de medición de precisión estable. Medidas estáticas son indicadas directamente en la pantalla con una resolución de lectura de $1\mu\epsilon$. Con un ancho de banda de salida análogo de -3dB a 4kHz esta provisto con osciloscopio externo de medición para grabar medidas dinámicas, el instrumento acepta medidas de deformación lleno, medio, y cuarto de puente, en todas las medidas el puente requiere armar componentes completos de medición para 120, 350, y 1000 ohms.

En el puente de excitación de 2 volts de corriente directa, resulta una medición baja e insignificante debido al calor guardado en el movimiento de medición.

El P-3500 opera completamente en cociente de razón métrica. El cambio a minutos en el puente es debido al movimiento de excitación por el deterioro de las baterías, no afecta la exactitud de las lecturas. El factor de medición es estable (a una resolución de 0.001) cerca a un panel frontal de un potenciómetro de 10 vueltas, el factor de medición de la lectura de salida se lee en la pantalla digital al oprimir-soltar un botón.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

El P-3500 opera con un paquete de baterías internas de 6 celdas tipo "D", y que están realmente disponibles a lo ancho del mundo donde su reemplazo es requerido. La vida de las baterías es de aproximadamente 250 a 300 horas de uso continuo, 200 horas aproximadamente con lecturas de salida LED. Las condiciones de las baterías, es monitoreado por un panel frontal de medida miniatura mientras que el instrumento esta encendido, un adaptador de la línea externa de voltaje, esta también disponible (115 a 230 Vac y 50 a 60 Hz).

Un conector de entrada para el transductor opcional, facilita la conexión de 4 o 6 medidores de deformación tipo alambre al transductor base. La característica única sensor-remoto del P-3500, es operada siempre donde las cargas sensor-remoto son conectadas a dichas cargas, y no es requerido interruptor. Una calibración remota al resistor, es también accesible vía a un contacto cerrado al conector transductor.

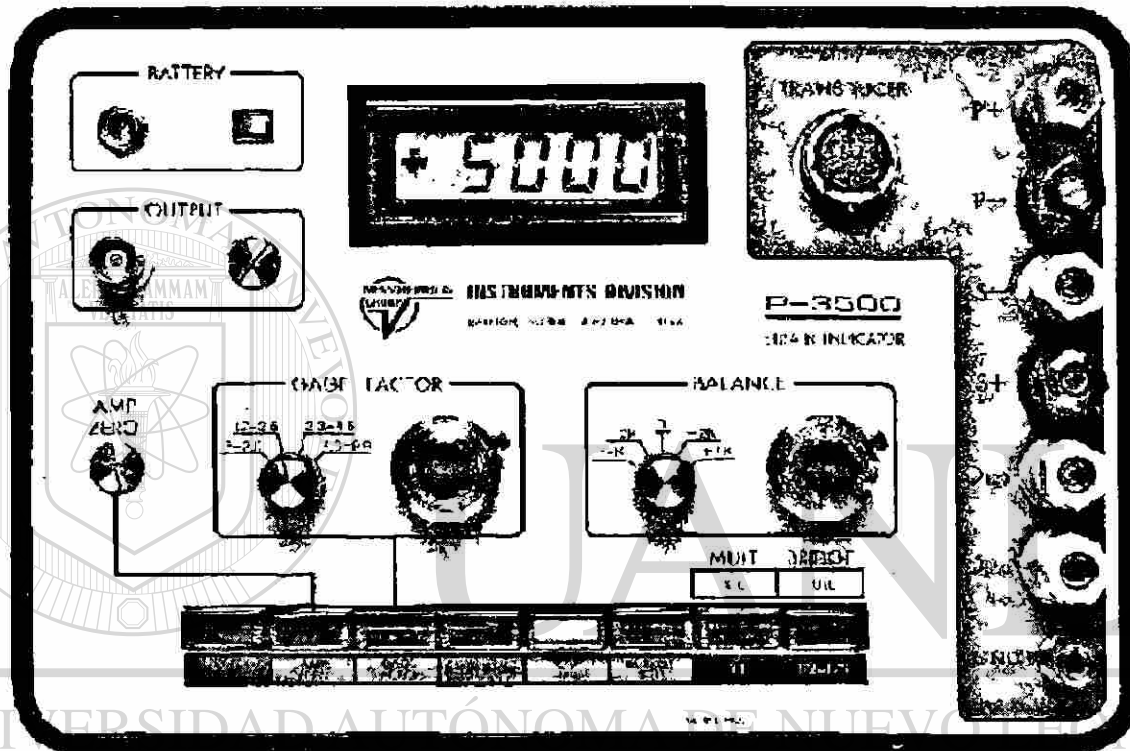


Figura 5.2

Puente de Wheatstone portátil modelo P-3500

CAPITULO 6

MONTAJE DE LOS MEDIDORES

ELECTRICOS DE DEFORMACION

6.1 Celda de carga a flexión.

Un medidor simple en la rama uno está alineado sobre la viga como se muestra, un medidor ficticio (rama tres) es usado para compensación de temperatura. En este caso la viga es sensitiva a cualquier componente de carga axial. Ver figura 6.1

Un arreglo que puede ser usado si solamente un lado del elemento flexionado es aprovechado como medidor. El medidor 1 está montado axialmente y el medidor 2 transversalmente. Si los momentos del medidor uno y dos son los mismos la salida del puente deberá ser $(1 = m)$. En general, sin embargo, el medidor dos puede ser montado en un punto de momento flexionante diferente del que tenía el medidor 1, y esto puede ser registrado. La compensación de temperatura deberá ser dispuesta, sin embargo, el efecto de cualquier carga axial no deberá ser cancelado. Puente de salida = $1 + (a / b) m$. Ver figura 6.1.1

a y b= distancia de posicionamiento del medidor en la viga

m = razon de Poisson

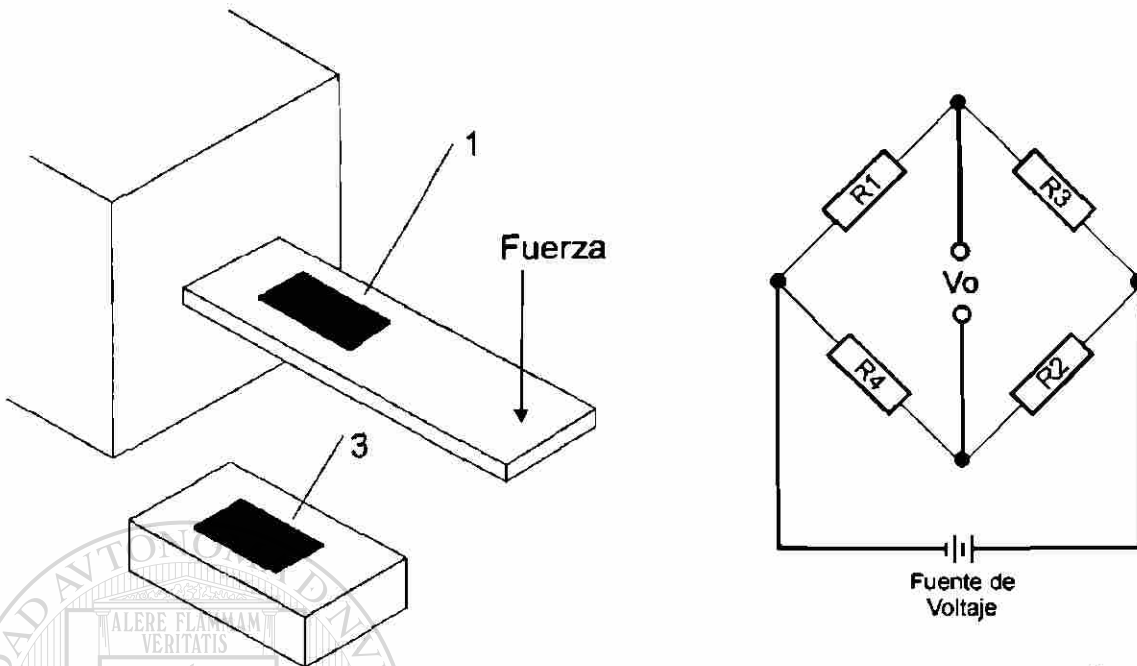


Figura 6.1
Medidor alineado sobre una viga

6.2 Temperatura compensada eliminando componentes flexionantes.

Los medidores uno y dos serán montados en dirección axial, y los medidores tres y cuatro serán montados lateralmente, (referido como medidores de la posición de Poisson). Ver Figura 6.2

Para el efecto de tensión como se muestra, los medidores uno y dos reaccionan a la deformación unitaria tensiva, mientras los medidores tres y cuatro, captan la deformación unitaria compresiva resultando de la contracción lateral del miembro. Si la razón de Poisson es de 0.3, la salida del medidor será 2.6 veces la salida del medidor activo simple, y 1.3 veces la salida del medidor activo 2, salida del puente = $2(1 + m)$, cuando $m =$ razón de Poisson.

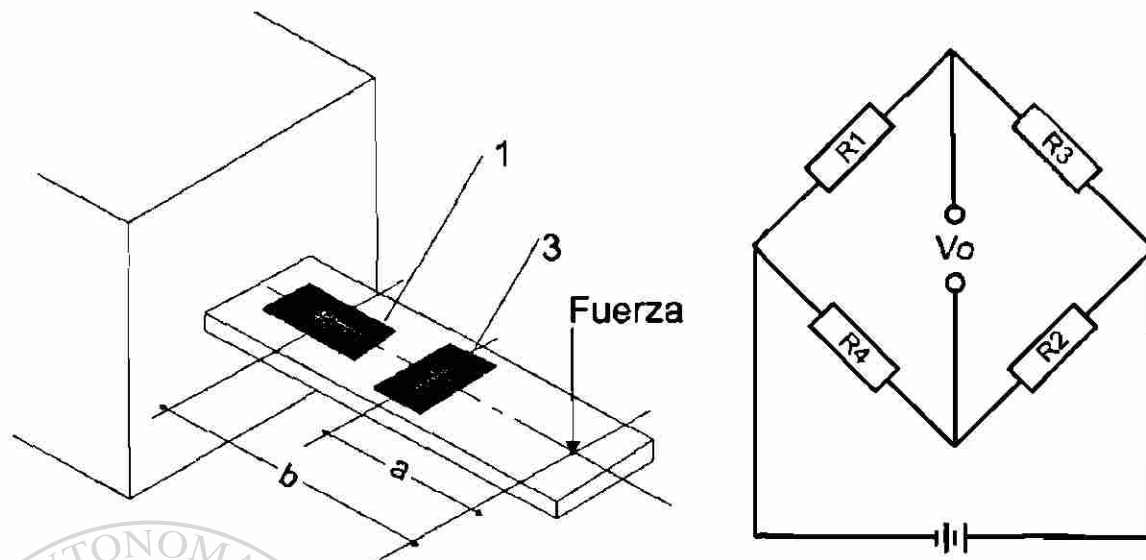


Figura 6.1.1

Montaje de medidores en una viga.

6.3 Celda de carga axial.

Dos medidores medirán la carga axial. Dos medidores de medición son usados en los lados opuestos del puente. Si la tensión se presenta, estos efectos en los medidores uno y dos serán iguales y de signo opuesto. Los componentes de la tensión por tanto serán cancelados. Los medidores compensadores tres y cuatro eliminarán los efectos por temperatura. La salida del puente será el doble de un medidor simple. Ver Figura 6.3.

6.4 Celdas de carga de uso general, precisión, alta temperatura.

Las celdas de carga son transductores de precisión para medidas de peso y otras fuerzas lineales. Contienen medidores de deformación vinculadas con la carga interna de la estructura relacionada con la deformación, por la aplicación de fuerzas de tensión o compresión. Los medidores de deformación producen señales eléctricas, las cuales son proporcionales a la fuerza aplicada en la salida.

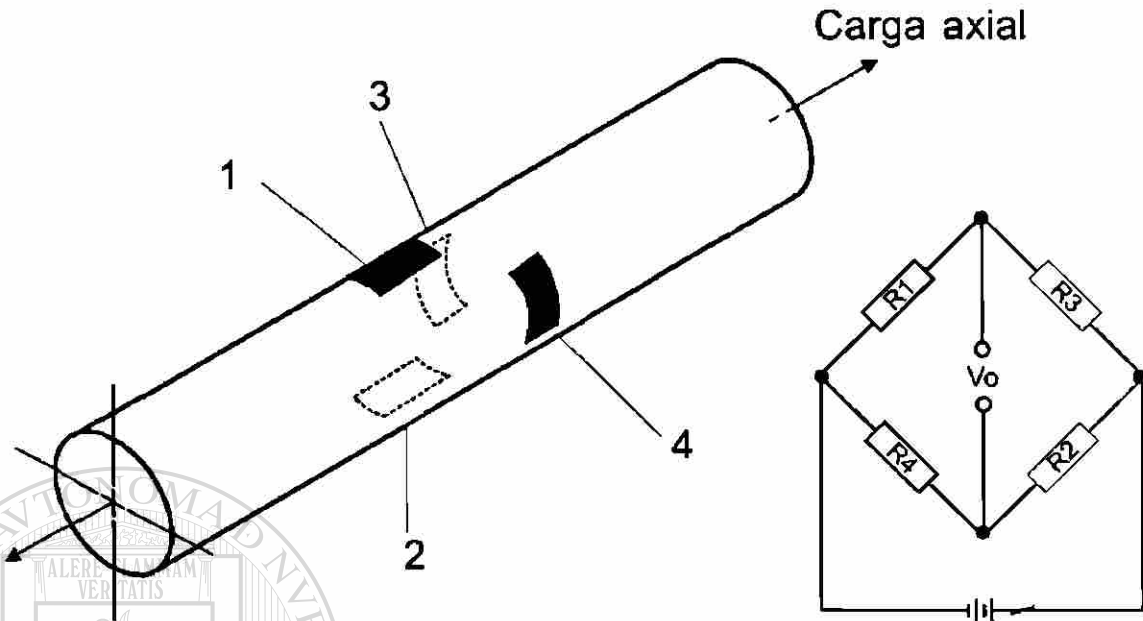
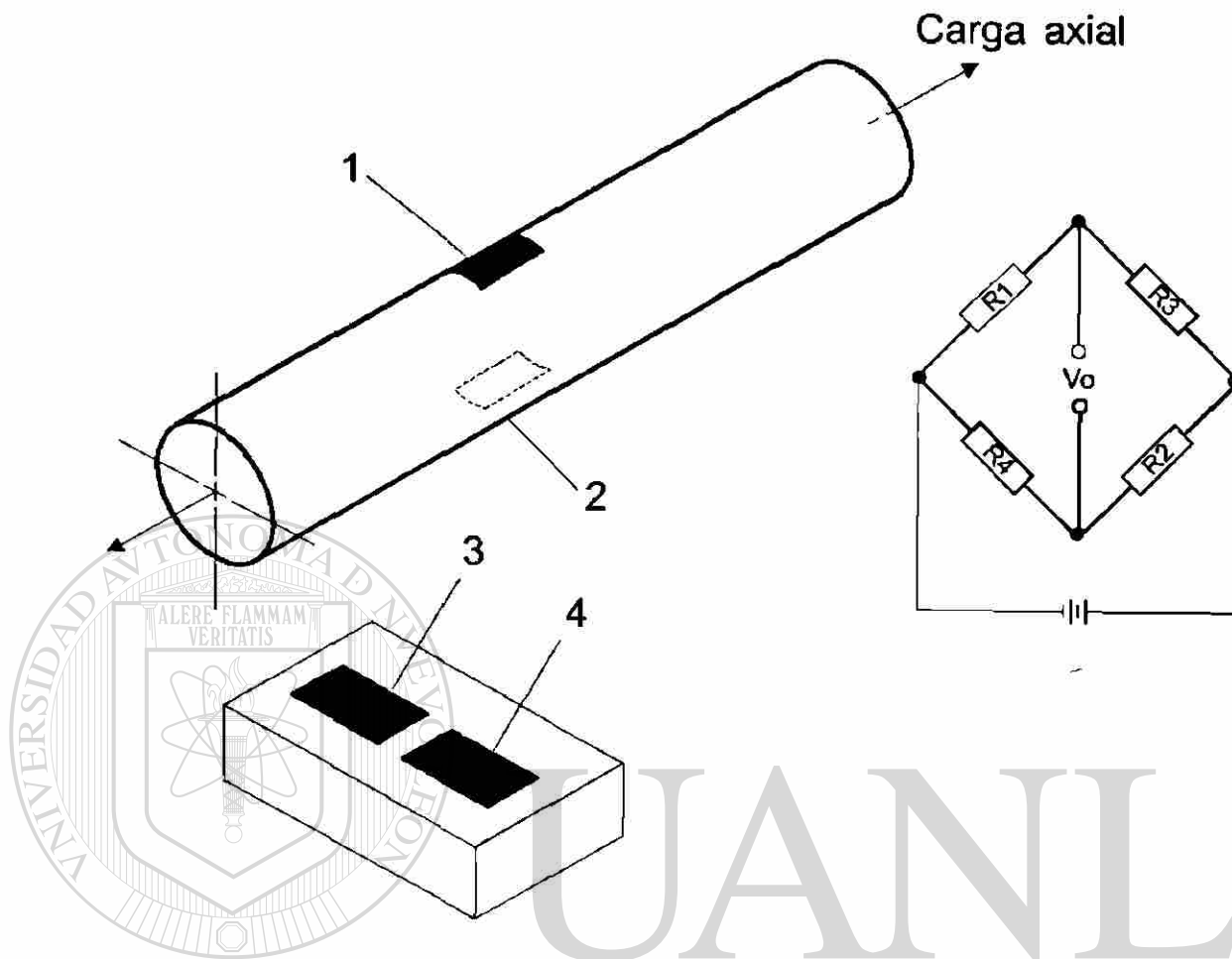


Figura 6.2

Medidores montados en dirección axial y lateral

Las celdas de carga, ofrecen la inherente ventaja de todos los dispositivos de medidores de deformación, excelente estabilidad, exactitud confiable y resolución infinita. No contienen partes móviles fluidos o sellos. Están disponibles con escalas completas de rango de carga arriba de 1.5 millones de libras para diversas aplicaciones, como:

- Materiales y cargas de vehículos
- Pruebas de resistencia tensil y medición de tensión en cables.
- Partes de controladores de sistemas de procesos automatizados.
- Control de presión en roladores.
- Medidores de empuje de motores.



Figuras 6.3

Medidores compensadores del efecto de temperatura

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Los elementos amortiguadores de carga en modelos estándar, son probados bajo sistema magnaflux (método magnético de localizar defectos superficiales), aceros de alta resistencia son diseñados uniformemente, con deformación continua de carga donde los medidores son colocados.

Los medidores concuerdan con las características de estructura de carga, y están eléctricamente balanceadas para una exacta compensación de temperatura, esto para mantener la exactitud sobre un rango de operación de temperaturas.

La deflexión a plena carga es muy pequeña, menos de 0.012 plg para los modelos mas estandarizados y tan pequeños, como 0.002 plg para algunos modelos de usos específicos. Pequeña deflexión, bajo diseño de masa, y ausencia de partes móviles, dan a las celdas cargas, con excelente y alta respuesta de frecuencia, para medición de fuerzas dinámicas.

Modelos estandarizados están disponibles con un puente medidor de la deformación o dos idénticos, puentes independientes por redundancia siempre hará que un puente falle, (las celdas deben ordenarse con mas de dos puentes si son requeridos para una aplicación). Todas las celdas están herméticamente selladas. Están calibradas individualmente, y probadas rigurosamente a la capacidad de carga. Ver figura 6.4.

Celdas especificadas para servicios de tensión están calibradas en tensión, pero todas deben ser usadas para carga plena en compresión, con cercanos resultados en la mayoría de los casos.

Celdas especificas para servicio de compresión son calibradas en compresión, y algunas de estas celdas son también usadas en tensión con iguales desempeños.

Celdas especificas para usos generales, son destinadas para servicio universal con ambas cargas, tensión y compresión.

Las celdas de presión tienen ajuste exacto especificado, temperaturas de compensación, y otros parámetros de uso general de las celdas. Ver tabla 6.1

Celdas con altas temperaturas tienen materiales especiales, diseñadas y fabricadas con técnicas de compresión para asegurar larga estabilidad térmica, y exactitud en temperaturas por arriba de los +450 °F. Ver tabla 6.2.

Series	U3G1 y U3G2	C3P1 y C3P2B	T3P1 y T3P2B	C2P1	T2P1	U3G1-H	C2G1-H y T2G1-H
Propósitos generales Servicio universal... tensión o compresión U3G1...puente sencillo 350 Ω U3G2...puente doble 350 Ω	20 a 10,000 (U3G1) 50 a 250,000 (U3G2) 3.0	50 a 10,000 (C3P1) 50 a 250,000 (C3P2B) 3.0	Precisión Exactitud de 0.1 % Calibrado en tensión pero con resultados parecidos en compresión T3P1...puente sencillo de 350 Ω T3P2B...puente doble de 350 Ω	Precisión Modelos de alta capacidad 1500000 lb Solo compresión 350 Ω unidades disponibles en puentes dobles	Precisión Modelos de alta capacidad 1500000 lb Calibrados en tensión pero casi igual desempeño en compresión 350 Ω unidades disponibles en puentes dobles	Alta temperatura Versión de U3G1 series continuas deben ser +450 °F Servicio universal... tensión de compresión 350 Ω puente sencillo	altas temperaturas, alta capacidad continuas hasta +450 °F C2G1-H... compresión en cargas de modelos 2000000lb 350 Ω puente sencillo
Especificaciones							
Rangos disponibles de escalas complejas lb.	20 a 10,000 (U3G1) 50 a 250,000 (U3G2) 3.0	50 a 10,000 (C3P1) 50 a 250,000 (C3P2B) 3.0	Precisión Exactitud de 0.1 % Calibrado en tensión pero con resultados parecidos en compresión T3P1...puente sencillo de 350 Ω T3P2B...puente doble de 350 Ω	Precisión Modelos de alta capacidad 1500000 lb Solo compresión 350 Ω unidades disponibles en puentes dobles	Precisión Modelos de alta capacidad 1500000 lb Calibrados en tensión pero casi igual desempeño en compresión 350 Ω unidades disponibles en puentes dobles	Alta temperatura Versión de U3G1 series continuas deben ser +450 °F Servicio universal... tensión de compresión 350 Ω puente sencillo	altas temperaturas, alta capacidad continuas hasta +450 °F C2G1-H... compresión en cargas de modelos 2000000lb 350 Ω puente sencillo
Tipo de salida, RO* (mV/V)	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	3.0	2.0
Precisión de calibración (% de RO)	0.25	0.10	0.10	0.10(<1m lb) 0.25(todos los demás)	0.10(<300K lb) 0.25(todos los otros excepto 1.5m lb = 0.5u) 0.05	0.25 Ca temperatura de cuarzo	0.25 Ca temperatura de cuarzo
Sin linealidad (% de RO)	0.25(<30 lb) 0.10(50 lb-10k lb) 0.05(los otros)	0.05(<300lb in) 0.02(todos los demás)	0.05(excepto <300lb in compresión=0.10)	0.05(>1m lb) 0.03(todos los demás)	0.05	0.10	0.20
Repetibilidad (% de RO)	0.10(<30lb) 0.05(50-300lb) 0.02(los otros)	0.05(<300lb) 0.02(todos los demás)	0.05(<300lb) 0.02(los demás)	0.02(>1m lb) 0.01(todos los demás)	0.02	0.10	0.10
Histeréisis (% de RO)	0.10(<30lb) 0.05(50-300lb) 0.02(los otros)	0.05(<300lb) 0.02(todos los demás)	0.05(<300lb) 0.02(los demás)	0.02	0.02	0.10	0.10
Cedencia elástica (% de RO)	0.10(<30lb) 0.05(50-300lb) 0.03(los otros)	0.05(<300lb) 0.03(todos los demás)	0.05(<300lb) 0.03(los demás)	0.020(>1m lb) 0.15(todos los demás)	0.02	0.10	0.10
Rango de temperatura para operación segura (°F)	-30 a +175	30 a +175	-30 a +175	-30 a +175	-30 a +175	+15 a +450	+15 a +450
Rango de temperatura compensada(°F)	+15 a +115	+15 a +115	+15 a +115	+15 a +115	+15 a +115	+15 a +425	+15 a +425
Efecto de temperatura en Zero bal (% de RO /°F)	+0.0025	+0.0015	+0.0015	+0.0015	+0.0015	+0.0025	+0.0025
Efecto de temperatura en RO (% de carga /°F)	+0.005	+0.0008	+0.0008	+0.0008	+0.0008	+0.005	+0.005
Excitación recomendada * a +77 °F	12V(cd o ca)	12V(cd o ca)	12V(cd o ca)	10V (cd o ca)	10V (cd o ca)	12V (cd o ca)	12V (cd o ca)

Tabla 6.1

Usos generales, presión cartas de selección de celdas de carga para altas temperaturas

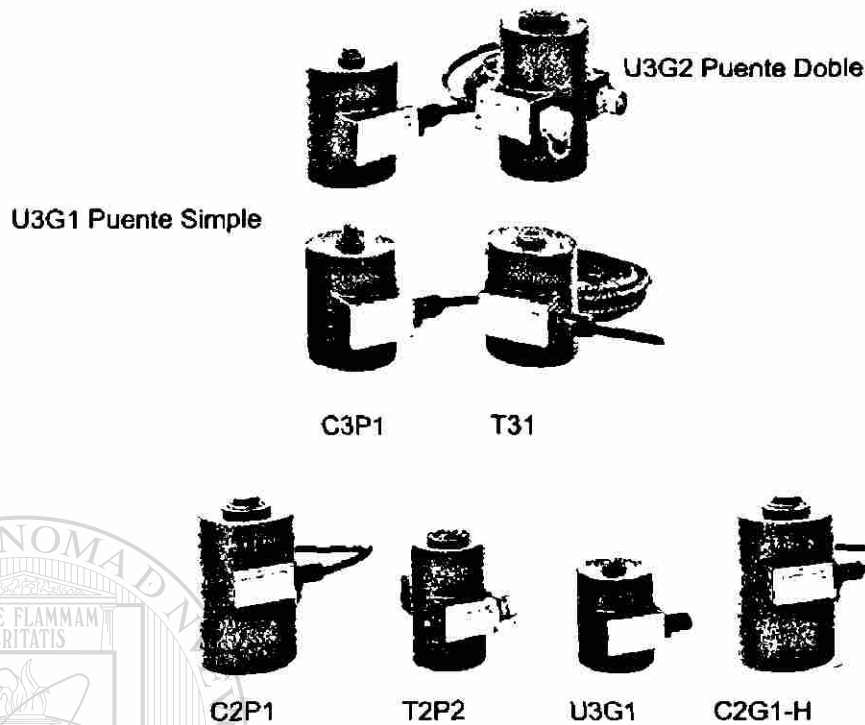


Figura 6.4

Tipos de celdas con puente simple y puente doble.

6.5 Usos especiales de las celdas de carga, discretas, pequeñas, de alta salida, regulables, puentes ultra bajos de 120 y 350 Ω de capacidad.

Las celdas de carga en estas paginas tienen diseños especiales y desarrollos característicos.

Las celdas de bajo perfil (U3L1, U3L2) proporcionan servicio de tensión y compresión en donde el espacio es limitado. Son inmunes a carga en ambos lados, (arriba de 100% de la capacidad de carga axial nominal), para momentos contrarios, (arriba del 50% de la capacidad de carga axial nominal en lb-in) tienen una alta vida de fatiga. La deflexión es menor que 0.005 plg en plena carga. La frecuencia natural es más grande que 10 KHZ para modelos arriba de 10,000lb de capacidad. Estas celdas son ideales para medidas de fuerza estática y dinámica, y para pruebas de fatiga.

Las celdas miniaturas (U2M1, C2M1, C2M1C) (ver tabla 6.2). son extremadamente pequeñas por su tipo de carga son sólo 2 plg. de diámetro por 1.5 plg de largo, para modelos a compresión arriba de 5000 lb. de capacidad. Tienen poca deflexión, menor que 0.006 plg., y son inmunes relativamente a severas cargas y cargas excéntricas. Ver figura 6.5.

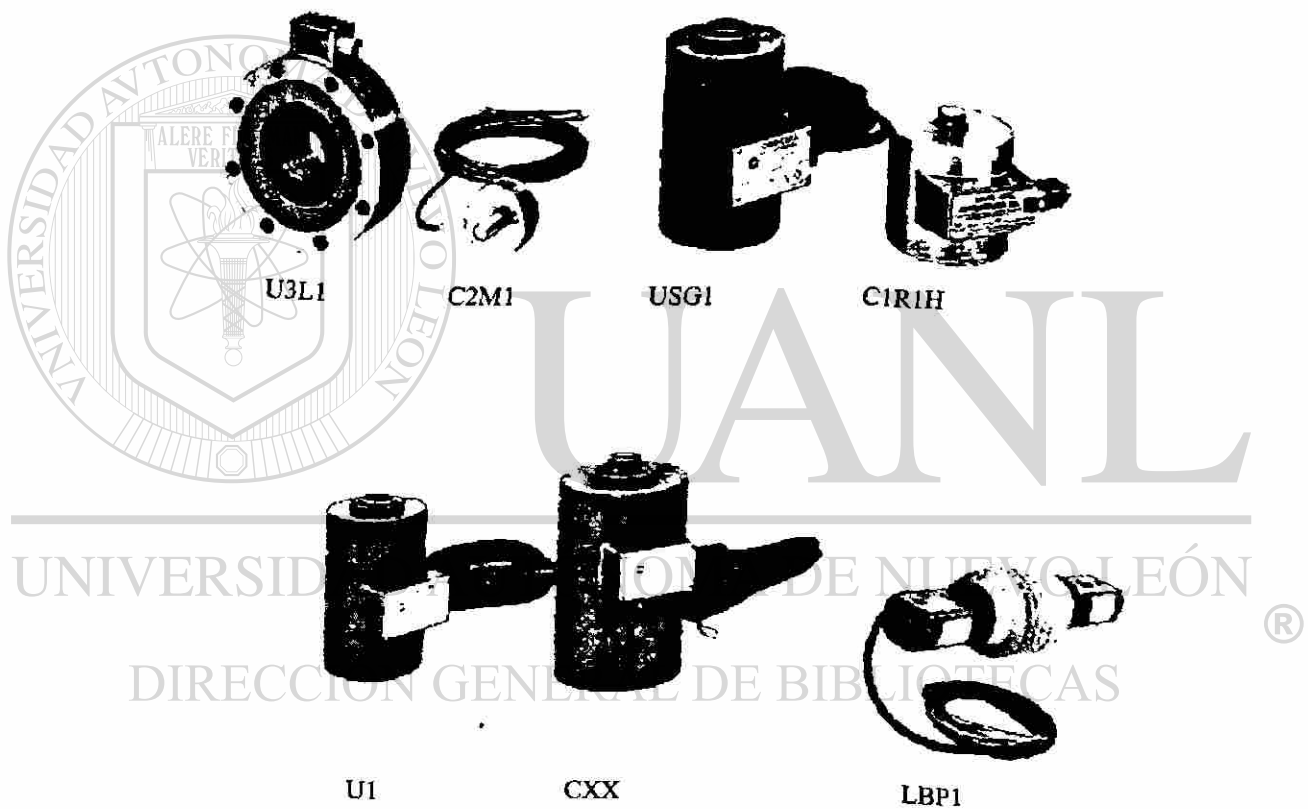


Figura 6.5

Celdas reforzadas para máxima seguridad

Series	U3L1 y U3L2	U2M1, C2M1, C2M1C	USG1	C1R1H y C2R1	UI y C	CXX	LBFI
	Discretas Servicio universal... tensión y compresión Exacto siempre con el lado adverso y cargas excéntricas Alta vida de fatiga U3L2...puente doble 350 Ω	Miniatura Alta inmunidad para cargas adversas Pequeña reflexión Alta respuesta a la frecuencia U2M1...tensión o compresión universal C2M1C...compresión únicamente C2M1C... alta capacidad de compresión únicamente puente de sencillo de 350 Ω	Alta salida Un volt para escala completa Servicio universal, tensión y compresión Deflexión pequeña Protección contra sobrecarga extrema Puente sencillo de 350 Ω	Diseño reforzado por medio ambicnic muy difites C1R1H... garga metálica de tensión...1mV/V de salida C2R1 garga de tensión semiconductor,es, medidores de deformación ...de 1 volt de salida ambas series tienen puentes de 350-ohmios.	120-ohms para fines generales UI servicio universal a tensión o compresión C Reemplazo para celdas usadas solo a compresión en existencia en 120-ohms y sistemas 2mV/V	120-ohms precisión exacta de 0.10% solo en compresión Reemplazo para celdas de presión en existencia en 120-ohms, y sistemas 2mV/V	Celdas de carga tipo viga...diseñadas en forma ideal para uso en escalas de plataforma. Alta inmunidad a los lados excéntricos y al empuje de las cargas, puentes de 350 ohms.
Especificaciones							
Rangos disponibles de escalas complejas lb.	5,000 a 500,000	100 a 5,000 (U2M1 y C2M1) 10,000 a 200,000(C2M1C)	250 a 100,000	1,000 a 10,000	50 a 200,000 (UI) 2,000 a 200,000 (C)	500 a 20,000	50 a 10,000
Tipo de salida, RO* (mV/V)	3.0 mV/V	2.0 mV/V	1 volt	1.0 mV/V (C1R1H) 1 volt (C2R1)	2.0 mV/V	2.0 mV/V	2.0 mV/V
Precisión de calibración (% de RO)	0.25 (precisión disponible de 0.10)	0.25 (C2M1, C2M1C) 0.50 (U2M1)	250 a 100,000	0.25	0.25	0.10	0.25 (exactitud a 0.10 disponible)
Sin linealidad (% de RO)	0.10	0.15	0.25	0.25 (C1R1H) 0.35 (C2R1)	0.10 (UI < 2 K Lb.) 0.20 (UI > 2 K Lb.)	0.10 (UI < 2 K Lb.) 0.20 (UI > 2 K Lb.)	0.03
Repetibilidad (% de RO)	0.02	0.05	0.35	0.05	0.25 (C)	0.05	0.01
Histerisis (% de RO)	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10 (UI) 0.25 (C)	0.05	0.02
Cedencia elástica (% de RO)	0.05	0.03	0.05	0.05	0.10 0.15 (UI y C)	0.08	0.01
Rango de temperatura para operación segura (°F)	-65 a +200	-30 a +150	-30 a +175	+400 (C1R1H) +250 (C2R1)	-30 a +175	-30 a +175	-20 a +175
Rango de temperatura compensada(°F)	+15 a +115	+15 a +115	+15 a +115	+15 a +350 (C1R1H) +50 a +150 (C2R1)	+15 a 115	+15 a 115	50 a +115
Efecto de temperatura en Zero bal (% de RO /°F)	+0.0025	+0.0025	+0.0015	0.005 0.0025	+0.0025	+0.0015	+0.0015
Efecto de temperatura en RO (% de carga, °F)	+0.0025 (+0.008 disponible)	+0.005	+0.0008	0.005	.005	0.008	0.008
Excitación recomendada	12V (cd o ca)	12V (C2M1, U2M1) 18V (C2M1C)	12V (cd o ca)	10 V (cd o ca) para C1R1H 16.5 VDC para C2R1	6V (cd o ca)	6V a (dc o ac)	12Vdc
* a +77 °F							
** No linealidad combinada e histerisis							

Tabla 6.2

Carta de selección de celdas de carga para usos especiales.

Celdas de alta salida (USG1) contiene un semiconductor de deformación, y produce 1 volt de salida en plena escala se puede manejar directamente largo cableado, sin necesidad de señales especiales acondicionadas, o amplificadoras. Ver figura 6.5

Celdas reforzadas (C1R1H y CSR1) están diseñadas para máxima durabilidad en ambientes muy severos de operación. Soportaran sobrecargas arriba del 500% de la capacidad, y son del tipo soldada con acero inoxidable en su construcción. El modelo C1R1H (figura 6.5) puede ser usado continuamente para mas de 400°F. El modelo CSR1 (tabla 6.2) tiene una galga semiconductor que produce hasta un volt de salida, y puede ser usado continuamente para +200 °F ver tabla 6.2.

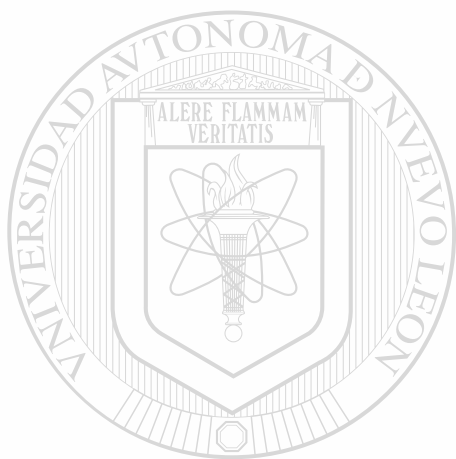
El puente de 120 Ω con los modelos (U1, C, CXX) son usados principalmente como remplazo para la celda de 120 Ω de carga, en los sistemas existentes, y para expansión de los mismos. Ver tabla 6.2.

Las celdas de carga tipo viga (LBP1), son dispositivos muy pequeños para satisfacer determinados usos en escalas de la plataforma, y dispositivos de cargas similares. El sentido de la fuerza en las celdas de carga, midiendo la vuelta a tensión en cualquier viga de acero maquinada teniendo una carga en un extremo y restringida en

otro. Este diseño ofrece alta exactitud (a 0.10% salida clasificada) más inmunidad , excelente a la carga, y a las cargas adversas del empuje

Además de las celdas enumeradas aquí, se han desarrollado muchos otros tipos para el trabajo corrosivo, y en ambientes de muy alta temperatura

Celdas especiales se han fabricado con capacidades de carga hasta 12 millones de libras.



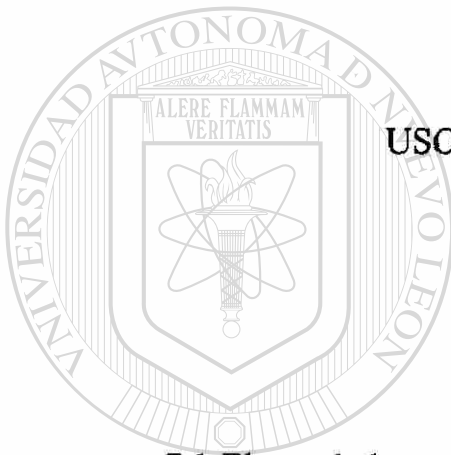
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



CAPITULO 7



USOS Y APLICACIONES DE LAS CELDA DE CARGA

7.1 El uso de los medidores eléctricos de deformación.

Es la técnica más avanzada para detectar el comportamiento de los elementos metal-mecánicos, parámetros como deformación esfuerzo, a condiciones tanto a temperaturas ambiente, como a temperaturas elevadas son medibles por dicha técnica, la variable que determina dichos parámetros es la *alteración* que sufre el elemento, o celda de carga en su resistencia eléctrica (Ω), al ser deformada por efecto de alguna carga mecánica, o por incremento de temperatura.

Como ya se comentó en capítulos anteriores las celdas de carga tienen múltiples usos en la industria metal mecánica, en la industria aero espacial, en los sistemas de control, en el análisis de estructuras, etc. donde en el proceso se puede estar chequeando la tensión, comprensión, el peso, la elongación, etc., y computar todas las señales y así controlar todo.

Las empresas que trabajan con equipos que su uso pueda ocasionar daños materiales, principalmente humanos, deberán instalar en sus equipos sistemas de celdas de carga para evitar daños en los equipos, y en el elemento humano.

Las celdas de carga deberán estar conectadas a una computadora central, que registre todos los sistemas de carga de los equipos que estén funcionando, si hay un problema en el sistema se detecta y la computadora lo ajusta automáticamente. En el capítulo 6 vimos el montaje de las celdas de carga considerando la carga máxima, el esfuerzo, el tipo de material, utilizando los conceptos de mecánica de materiales tecnología de los materiales y procesos de fabricación etc., así como la forma geométrica adecuada.

En la figura 7.1 tenemos algunos ejemplos de la aplicación de las celdas de carga, pero hay una gama infinita de usos para dichas celdas,

7.1.2 Otras aplicaciones de las celdas de carga.

Como ya se comentó en capítulos anteriores el uso de las celdas de carga es muy amplio, en los análisis de estructuras, en procesos de control etc., a continuación citaremos algunos ejemplos.

En los puentes colgantes, se determina con exactitud la elongación de los cables al estar estos sometidos a tensión, por la carga vehicular y peso propio del puente, además los esfuerzos positivos y negativos originados por dicha carga, y las elongaciones y contracciones por efectos de temperatura.

En los ferrocarriles, además de detectar las posibles fallas en los elementos motores, es muy importante la detección oportuna del alargamiento excesivo de los rieles, ya que esta falla causada por altas temperaturas causa accidentes.

En los aeropuertos. En las pistas de aterrizaje para determinar la elongación o contracción de dichas pistas, principalmente en climas muy fríos donde las temperaturas pueden descender hasta -50°C al cubrirse de hielo.

En los aviones, determinan los daños que puede sufrir la estructura por los efectos del vuelo, como el empuje de la fuerza de aceleración, las presiones que soporta la estructura por las diferentes alturas de vuelo etc.

En los vuelos aeroespaciales, se obtiene con las celdas de carga, los esfuerzos y presiones, a que es sometida la nave con la super aceleración de la misma que puede ser hasta de 40,000 km./hr , así como con las temperaturas tan grandes que se originan al salir o al regresar a la atmósfera.

Se pueden calibrar con exactitud básculas de pesaje etc. Ver figura 7.2.

Estos son unos pocos de los muchos ejemplos que se pueden enumerar, para los medidores eléctricos de deformación y las celdas de carga.

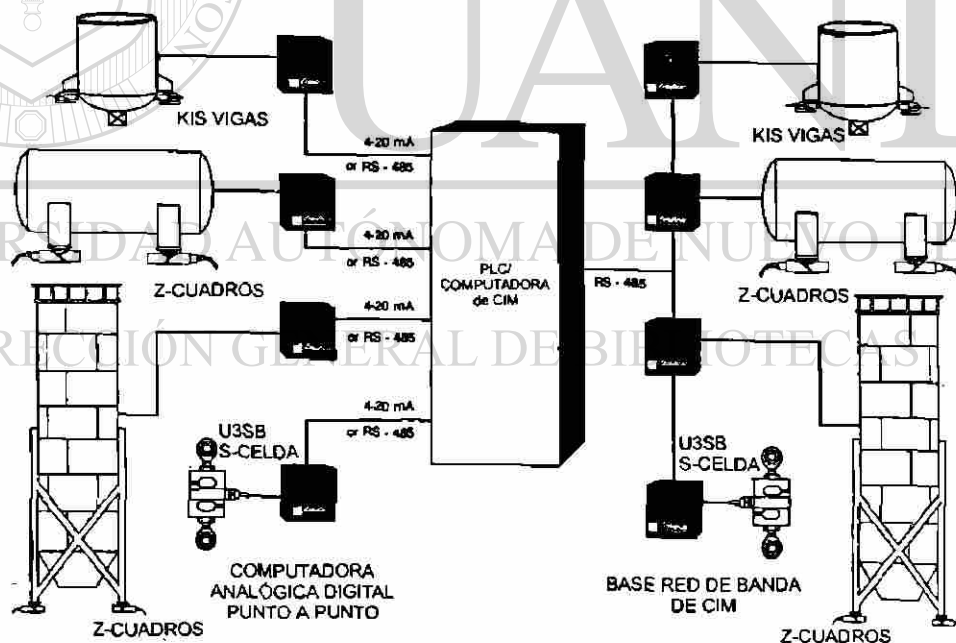


Figura 7.1

Computadora Analógica punto a punto

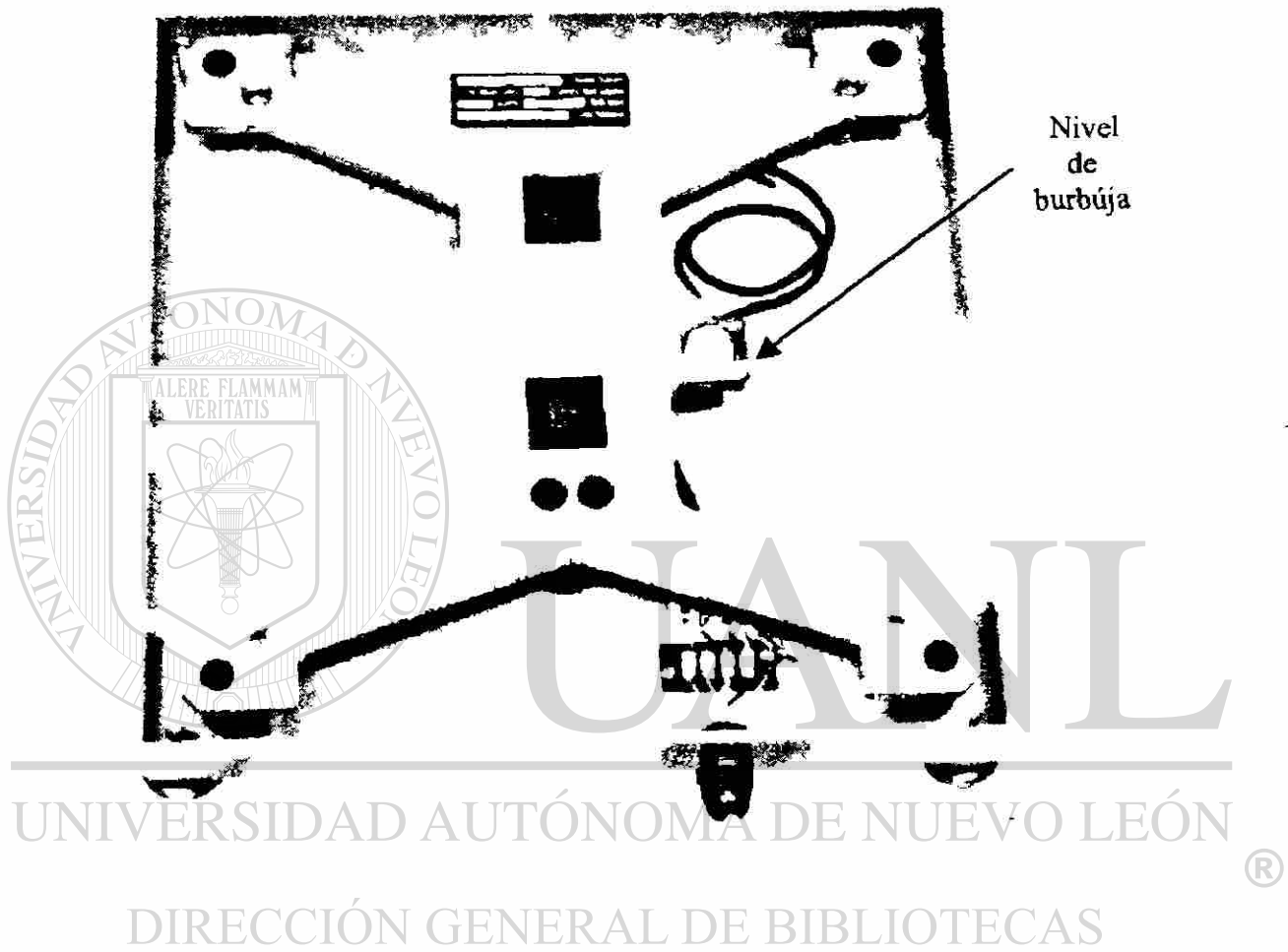


Figura 7.2

Montaje de plataforma PLK

CAPITULO 8



REALIZACION DE PRUEBAS MECANICAS EN DIFERENTES MATERIALES, APLICANDO LA TECNICA DE LOS MEDIDORES ELECTRICOS DE DEFORMACION.

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

8.1 Simbología del medidor eléctrico de deformación.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
FAB-50-12S6

F.- laminilla.

W.- (wire) alambre.

A.- Advance (Cromo-Niquel) material del que está echo el medidor de deformación.

B.- Backelita material del que está hecho la bolsa.

50/100 = 0.5" longitud.

12 X 10 = 120 Ω (resistencia ohms).

S6 = tipo de terminal.

Serie FAB

1. Espesor del calibrador.	0.0025"
2. Flexibilidad - radio de flexión de seguridad mínimo.	0.125"
3. Rango de temperatura máxima en °F.	-320 a 600
4. Rango de temperatura de compensación °F.	-100 a 450
5. Limite de deformación máximo.	2%
6. Características de fatiga a 10^7 ciclos	34 μ en 1"
1500 μ "1" ajuste a cero sin falla.	
7. Adhesivos compatibles.	Todos excepto el SR4 y el Duco

8.2 Material usado en la fabricación del medidor eléctrico de deformación.

Cobre

Germanio

Acero inoxidable

Cromo

Tungsteno

Aluminio

Níquel

Platino

Cobre-Níquel

Silicio

Vanadio

Cromo-Níquel

Platino- Tungsteno

8.2.1 Material empleado en la fabricación de la cubierta.

Bakelita

Polipropileno

Acrílico

Poliéster

Celulosa

El medidor de deformación es un elemento muy utilizado en ingeniería en el diseño y rediseño de elementos de máquinas.

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

El medidor de deformación se puede definir como un elemento cuya propiedad conductiva es utilizada para registrar una señal mecánica, y transformarla en señal eléctrica.

El principio básico del funcionamiento del medidor de deformación es el siguiente:

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

$$R = \frac{f \times L}{A}$$

donde:

R Representa la resistencia ohmica del material.

f Representa la resistividad del material (la cual es una constante diferente para cada material).

L Representa la longitud del material.

A Representa el área de la sección transversal.

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

Si colocamos el medidor de deformación en un elemento sometido a carga deformaremos el elemento, así como al medidor de deformación, 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 pasarlos a una escala conveniente, donde leamos estos cambios ya sea como valores de esfuerzo, deformación, 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 no este seguro habrá que modificarlo para que su funcionamiento sea eficaz, y evitemos una posible falla. Estas modificaciones podrían ser en sus dimensiones cambiando el material, etc.

8.3 Selección correcta de un medidor eléctrico de deformación.

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

La correcta selección de un medidor de deformación depende de muchos factores, y tiene que ser cuidadosa la selección de el medidor de deformación se debe contemplar lo siguiente:

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

Una vez que se ha hecho la correcta selección del medidor de deformación, se procede a pegarlo utilizando la técnica adecuada, las cuales se describen a continuación:

Como se dijo anteriormente, luego de seleccionarse correctamente el medidor, 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 para luego medir el mismo, y decir sí se encuentra dentro de los limites adecuados que permitan un buen factor de seguridad para el elemento.

8.4 Materiales y tipos de medidores eléctricos de deformación.

Los materiales de que están fabricados los medidores de deformación son muy variados y pueden ser de:

- Cromo-Niquel.
- Cobre-Niquel.
- Platino-Tungsteno.

Los tipos de medidores de deformación que existen son los siguientes, (ver figura 4.4, 4.5 y tablas 4.1, 4.2):

- **Simple.**
Los cuales nos indican la deformación de un elemento en un sentido.
- **Duales.**
Los cuales nos indican la deformación de un elemento en dos sentidos.
- **Múltiples.**
Los cuales nos indican la deformación de un elemento en tres o más sentidos.
- **Diafragma.**
Los cuales nos indican la deformación del elemento en forma radial.

El pegamento que se utiliza para el pegado del medidor de deformación, con el elemento, es un cemento epoxico, y puede ser "Duco" o "Eastman 910". Los recubrimientos que se utilizan para la protección del medidor de deformación, contra el medio ambiente son muy variados y pueden ser:

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

8.5 Procedimiento del pegado.

A continuación se describe el procedimiento del pegado del medidor de deformación en un elemento de una maquina.

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 amoniaco diluido al 40 %.
5. Se limpia la superficie con ácido fosfórico diluido al 5 %.
6. Se pega el medidor de deformación utilizando el cemento epoxico. En este paso lo

que se hace primeramente es retirar el medidor de deformación de su envoltura, para posteriormente adherirlo con cinta adhesiva sobre una superficie limpia. Después se retira la cinta y se trae consigo al medidor de deformación. Habiendo colocado previamente un poco de pegamento epoxico, en la zona donde pegaremos el medidor de deformación de la siguiente manera:

Primeramente pegamos un extremo de cinta, y con el dedo indice vamos oprimiendo desde un lado hasta el otro extremo, poco a poco, hasta lograr que el medidor de deformación haya sido puesto en contacto con la superficie impregnada de pegamento.

Se espera de 10 a 15 minutos, y se retira con mucho cuidado la cinta pegada al medidor de deformación.

7. Después se procede a soldar los extremos del medidor de deformación con dos cables de calibre # 26 o # 28.
8. Se recubre la zona donde se pego el medidor de deformación con algún recubrimiento adecuado (en nuestro caso utilizamos cera microcristalina).
9. Por ultimo con cinta masking-tape se recubre la zona, y soldamos los extremos de los alambres que sobresalen por debajo del recubrimiento del elemento. Esto con el fin de evitar el desprendimiento de los mismos con algún tirón involuntario o accidental.

8.6 Pruebas mecánicas en los materiales.

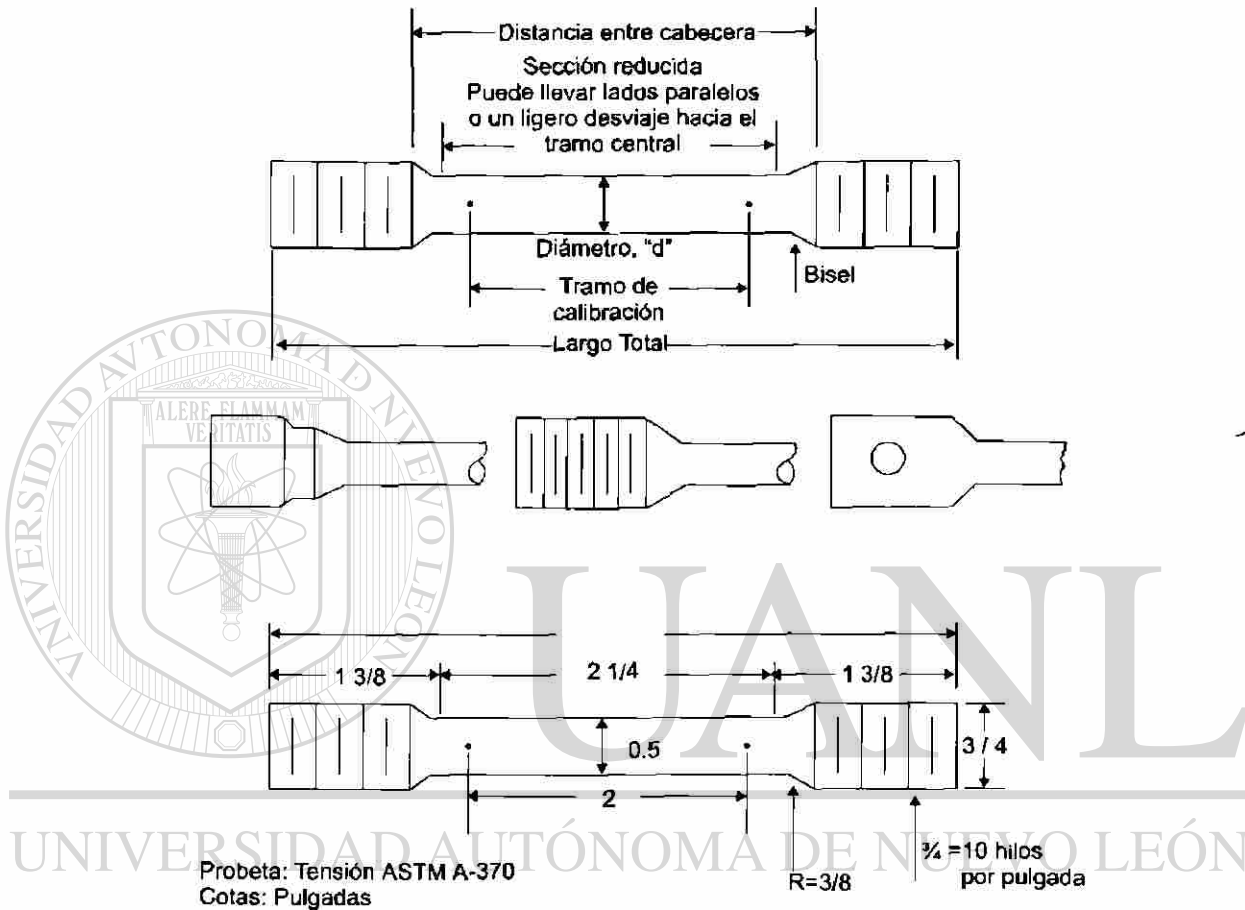
Para la realización de estas pruebas, se mando maquinar las probetas (acero A-36, acero inoxidable 420, aluminio y latón) según las especificaciones de la figura 8.1, procediendo a la preparación de las mismas como se indica en el punto 8.5, cuando ya se tienen las probetas preparadas, se proceden enseguida a colocar cada una se conectan los alambres al medidor de deformación como lo indica la figura 8.2, obteniendo los siguientes resultados (carga contra deformación unitaria), y graficando cada una de las pruebas (punto 8.7). Y aún cuando en ningún de las pruebas se llega a la ruptura del material en estos casos, se demuestra la técnica de los medidores eléctricos de deformación. Explicando ampliamente en capítulos anteriores.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

8.6.1 Estándar para probetas sometidas a ensayo de tensión.

Las probetas para ensayos de tensión se maquinan de diferentes formas. La sección transversal del espécimen puede ser redonda, rectangular o irregular según sea el caso.

Las formas dimensionales de las probetas, dependen de las asignaciones que estipule las normas o estándares referidas por las agencias de ensaye e inspección, en los materiales y productos (como la A.S.T.M., A.S.M.E., D.I.N., I.S.O., etc.).



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 8.1

Tipo de cabeceras y tramo de calibración

La porción central del tramo recto, es de sección menor que los extremos, para provocar que la falla ocurra en una sección, donde los esfuerzos no resulten afectados por los aditamentos de sujeción. Ver figura 8.1.

El tramo de calibración es el marcado según estándar, sobre el cual se miden las lecturas iniciales y finales de diámetro. Los extremos de las probetas redondas y rectangulares pueden ser simples, cabeceados o roscados, los extremos simples deben ser largos para adaptarse a algún tipo de mordaza cuneiforme o plana ver figura 8.1.

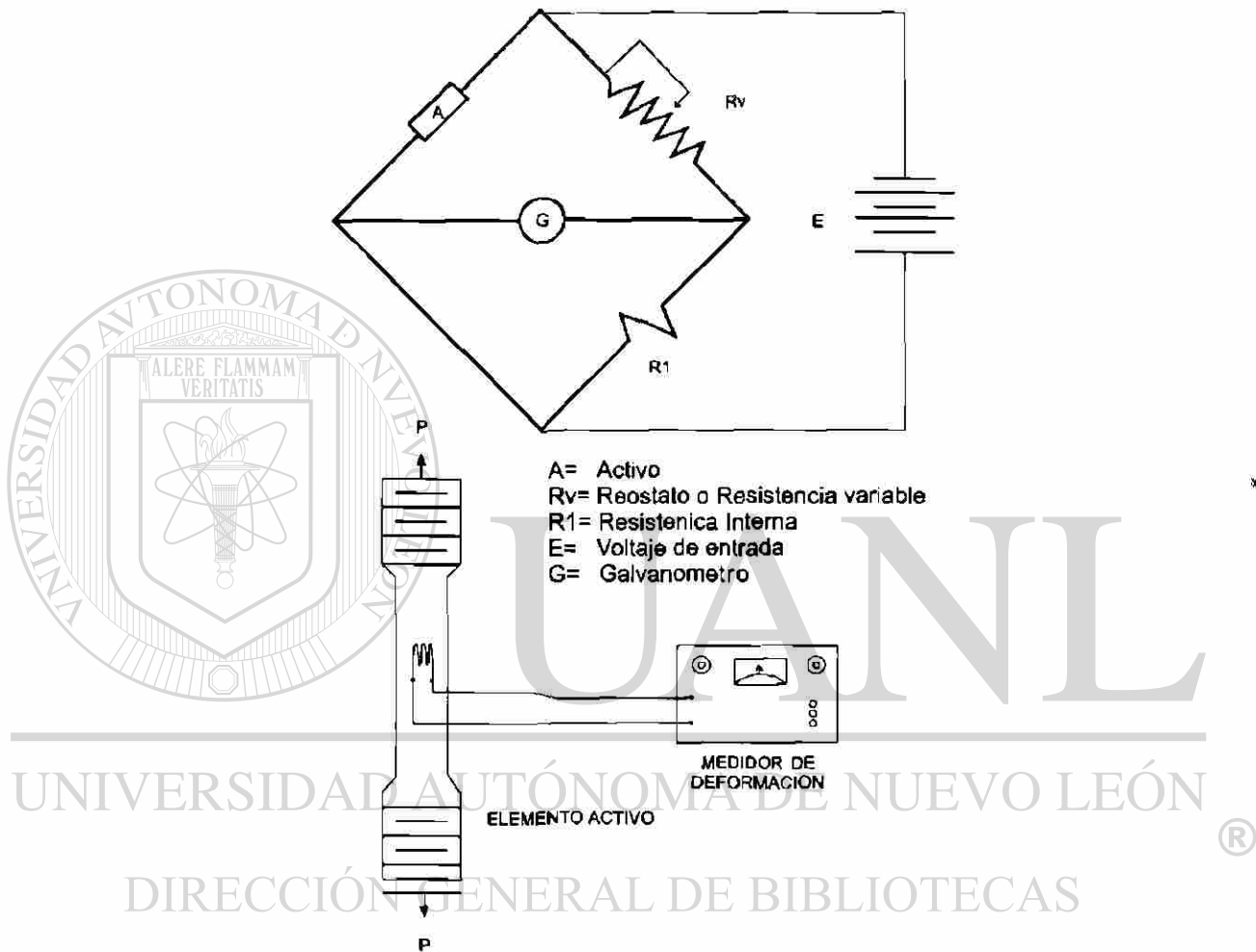


Figura 8.2

Arreglo del circuito puente de Wheatstone

8.7 Medición de deformación unitaria en las probetas sometidas a ensayo de tensión.

Material Aluminio vaciado

$$\sigma_{L.P.} = 630 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F.S. = 2 \quad P_{\text{Ajuste}} 100 \text{ Kg.}$$

$$\text{Sección de Probeta} = 1.266 \text{ cm}^2$$

$$P = \sigma \times A = 630 \times 1.266 = 798 \text{ Kg.} \quad P_{\text{max/ensayo}} = 798/F.S. = 399 \text{ Kg.}$$

Tipo de circuito $\frac{1}{4}$ de puente

Tipo de medidor de deformación EA-06-125-AL-350

$$R = 350 \Omega \quad G.F. = 2.090$$

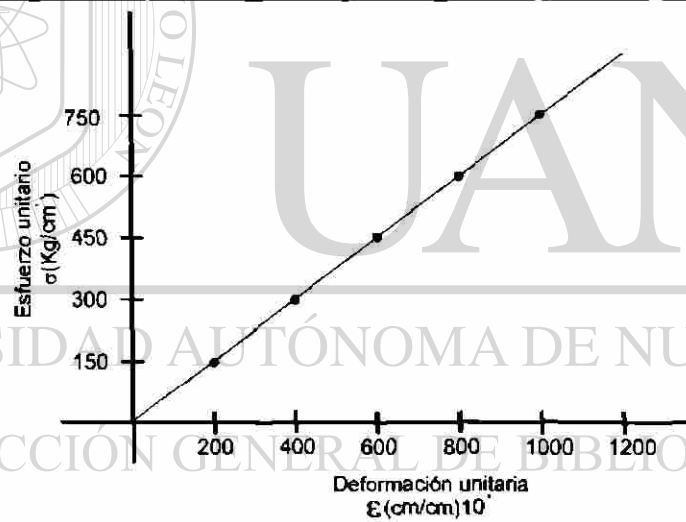


Figura 8.3

Medición de la deformación del aluminio

$$E_1 = 0.7 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = \frac{450 - 300}{600 - 400}$$

$$E = 0.75 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_p = 0.75 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

Material Latón

$$\sigma_{L.P.} = 1750 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F.S. = 2 \quad P_{\text{Ajuste}} = 100 \text{ Kg.}$$

$$\text{Sección de Probeta} = 1.266 \text{ cm}^2$$

$$P = \sigma \times A = 1750 \times 1.266 = 2215 \text{ Kg.} \quad P_{\text{max/ensayo}} = 2215/F.S. = 1107 \text{ Kg.}$$

Tipo de circuito $\frac{1}{4}$ de puente

Tipo de medidor de deformación EA-06-125-AL-350

$$R = 350 \Omega \quad G.F. = 2.090$$

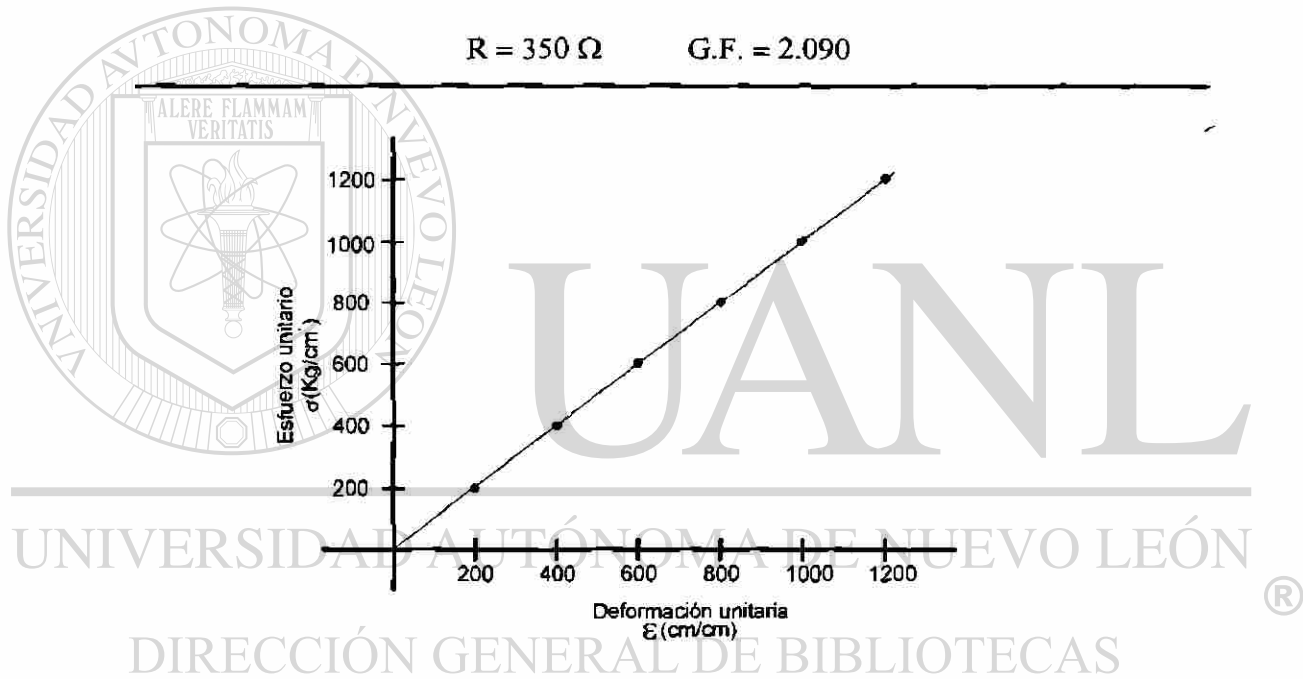


Figura 8.4

Medición de la deformación del latón

$$E_T = 9.8 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = \frac{800 - 600}{(800 - 600)10^{-6}}$$

$$E = 1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_p = 1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

Material Acero A-36

$$\sigma_{L.P.} = 2450 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F.S. = 2 \quad P_{\text{Ajuste}} = 150 \text{ Kg.}$$

$$\text{Sección de Probeta} = 1.266 \text{ cm}^2$$

$$P = \sigma \times A = 2450 \times 1.266 = 3101.7 \text{ Kg.} \quad P_{\text{max/ensayo}} = 3101.7 / F.S. = 1550 \text{ Kg.}$$

Tipo de circuito $\frac{1}{4}$ de puente

Tipo de medidor de deformación EA-06-125-AL-350

$$R = 350 \Omega \quad G.F. = 2.090$$

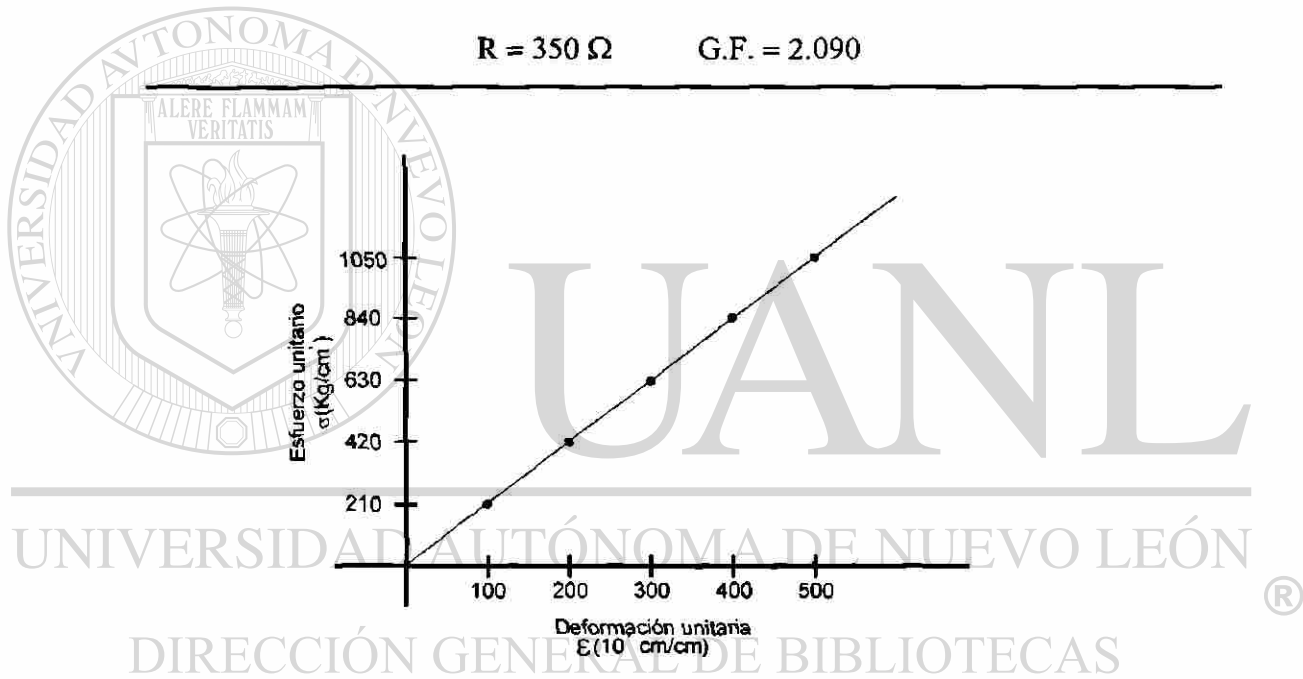


Figura 8.5

Medición de la deformación del acero A-36

$$E_T = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2}$$

$$E = \frac{2000 - 1000}{0.001 - 0.0005}$$

$$E_p = 2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

Material Acero Inoxidable 420

$$\sigma_{L.P.} = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F.S. = 2 \quad P_{\text{ajuste}} 150 \text{ Kg.}$$

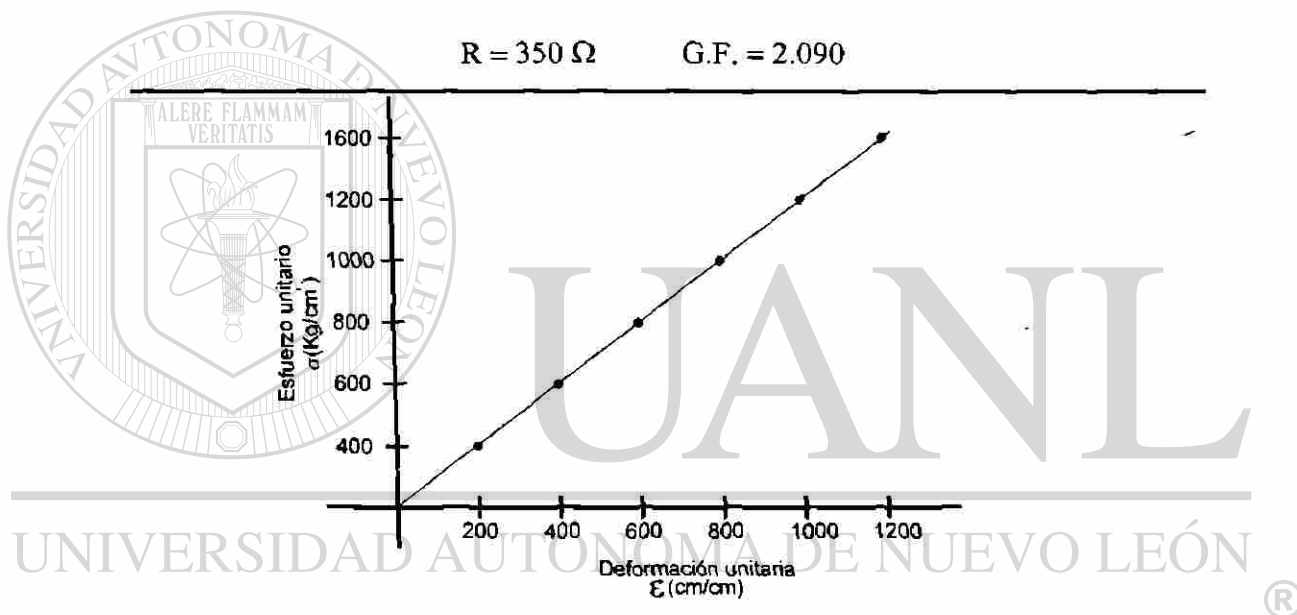
$$\text{Sección de Probeta} = 1.266 \text{ cm}^2$$

$$P = \sigma \times A = 4200 \times 1.266 = 5317 \text{ Kg.} \quad P_{\text{max/ensayo}} = 4200.7 / F.S. = 2100 \text{ Kg.}$$

Tipo de circuito $\frac{1}{4}$ de puente

Tipo de medidor de deformación EA-06-125-AL-350

$$R = 350 \Omega \quad G.F. = 2.090$$



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 8.6

Medición de la deformación del acero A-36

$$E_T = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

$$E = \frac{630 - 420}{(300 - 200) \cdot 10^{-6}}$$

$$E_p = 2.1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

8.8 Realización de pruebas a los mismos materiales hasta lograr la ruptura del material.

Gráfica del Aluminio Vaciado

$$\sigma_p = 630 \text{ kg/cm}^2$$

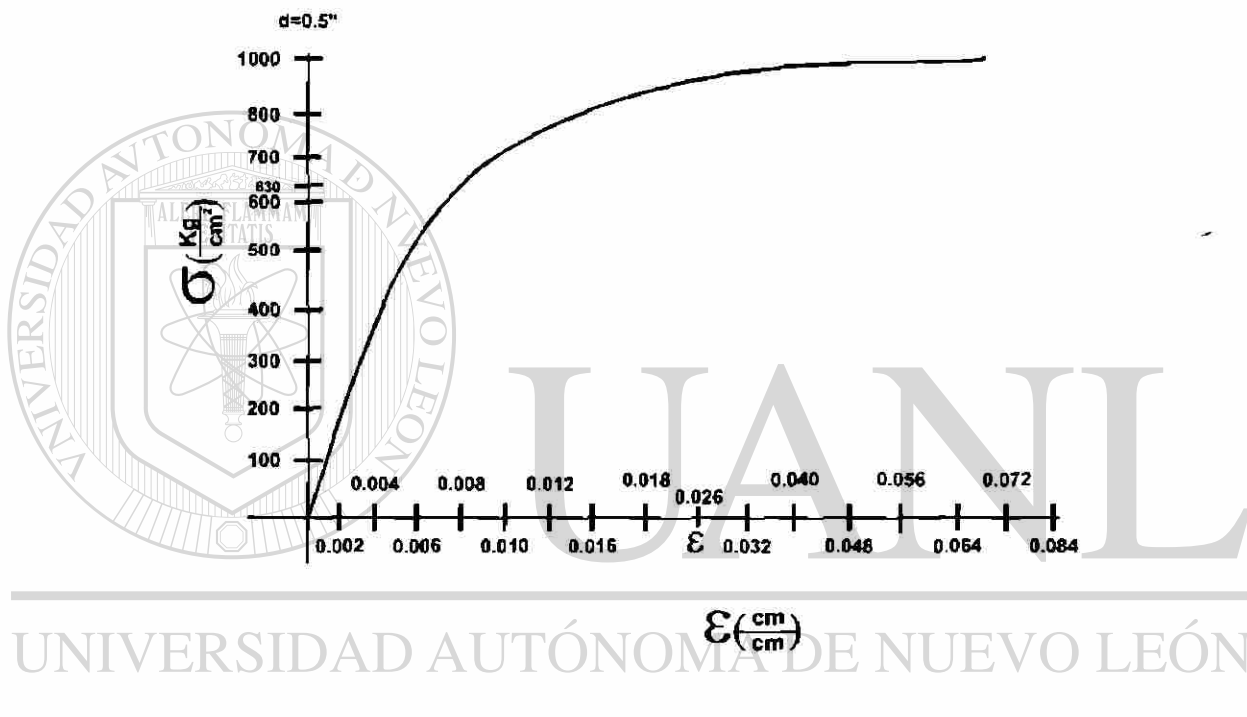


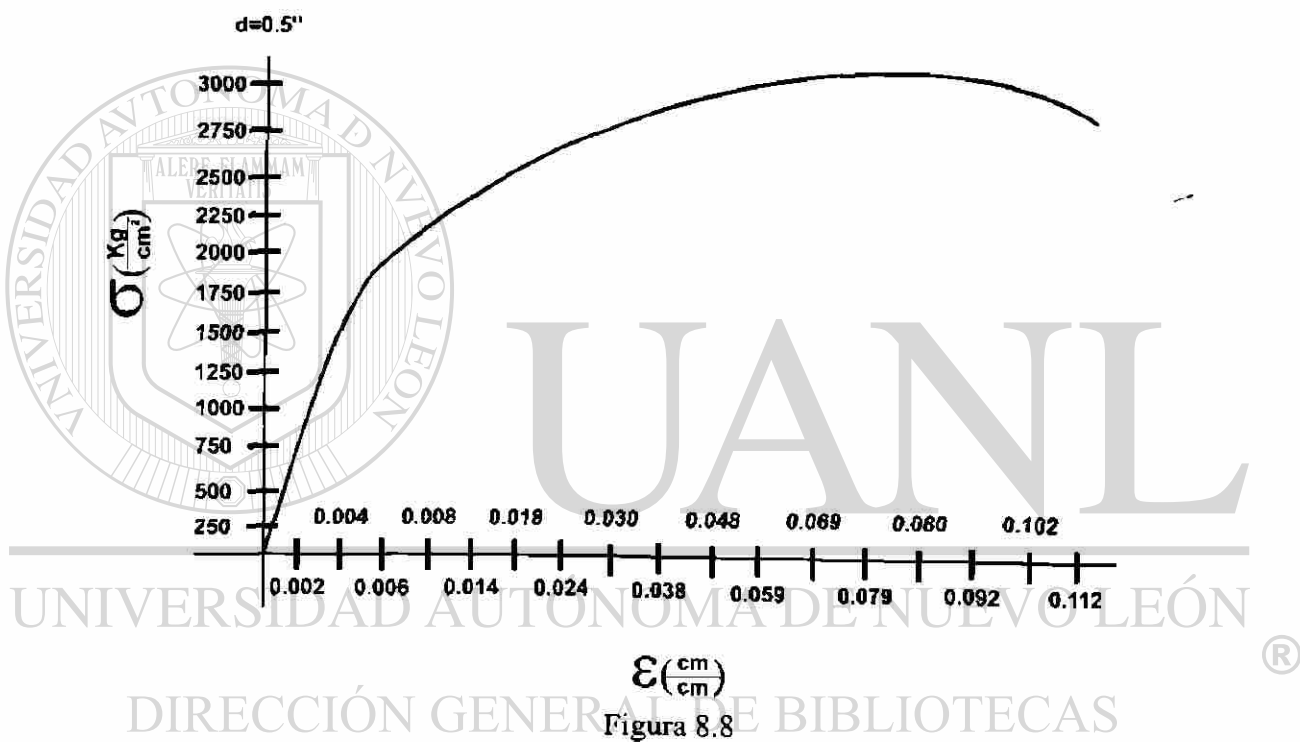
Figura 8.7
Gráfica del aluminio vaciado hasta llegar a la ruptura

De la gráfica se obtiene:

$$E_{\text{grafico}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = \frac{300 - 200}{0.003 - 0.002} = \frac{100}{0.001} = 1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

Gráfica del latón

$$\rho.p = 1750 \text{ kg/cm}^2$$



Gráfica del latón hasta llegar a la ruptura

De la gráfica se obtiene:

$$\begin{aligned} E_{\text{grafico}} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \\ &= \frac{1000 - 500}{0.003 - 0.001} = \frac{500}{0.002} \\ &= 1 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Gráfica de Acero A-36

$$\sigma_{l.p} = 2450 \text{ kg/cm}^2$$

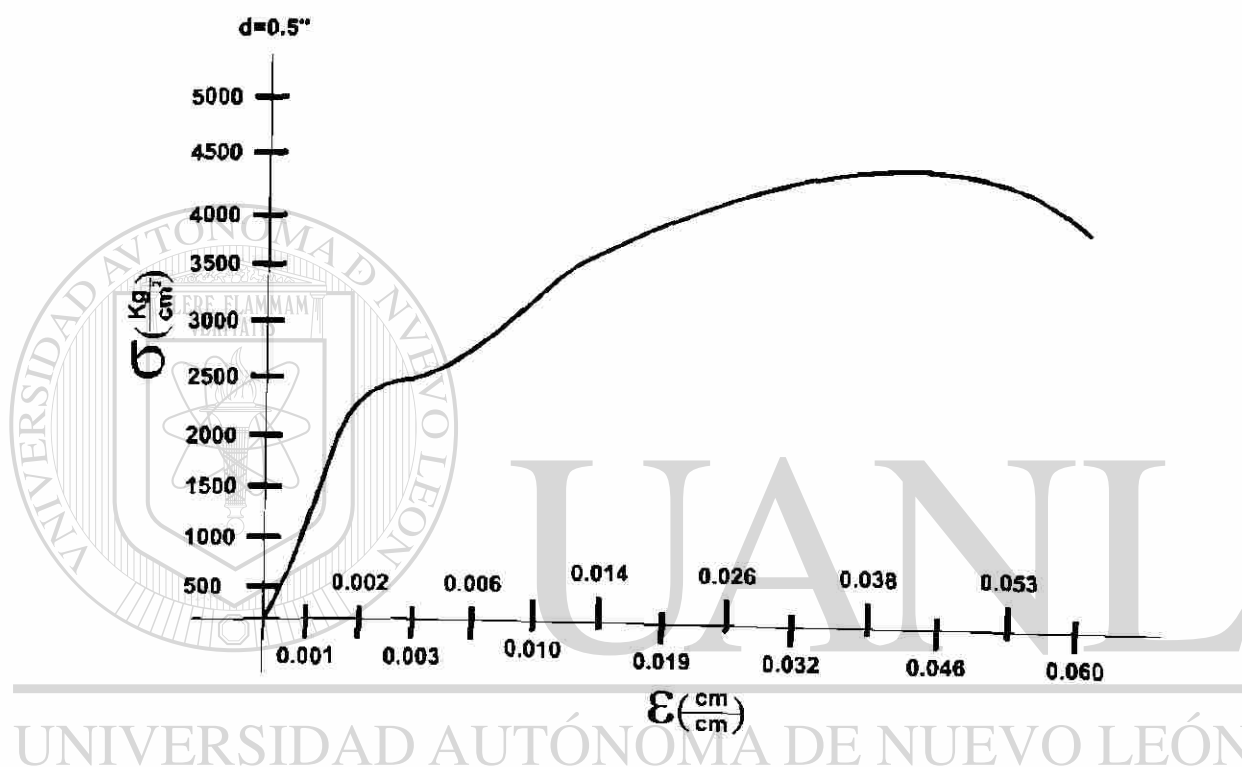


Figura 8.9

Gráfica del acero A-36 hasta llegar a la ruptura

De la gráfica se obtiene:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{grafico}} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \\
 &= \frac{1500 - 1000}{0.0015 - 0.001} = \frac{500}{0.0005} \\
 &= 1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Gráfica del acero inoxidable

$$\sigma. p = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

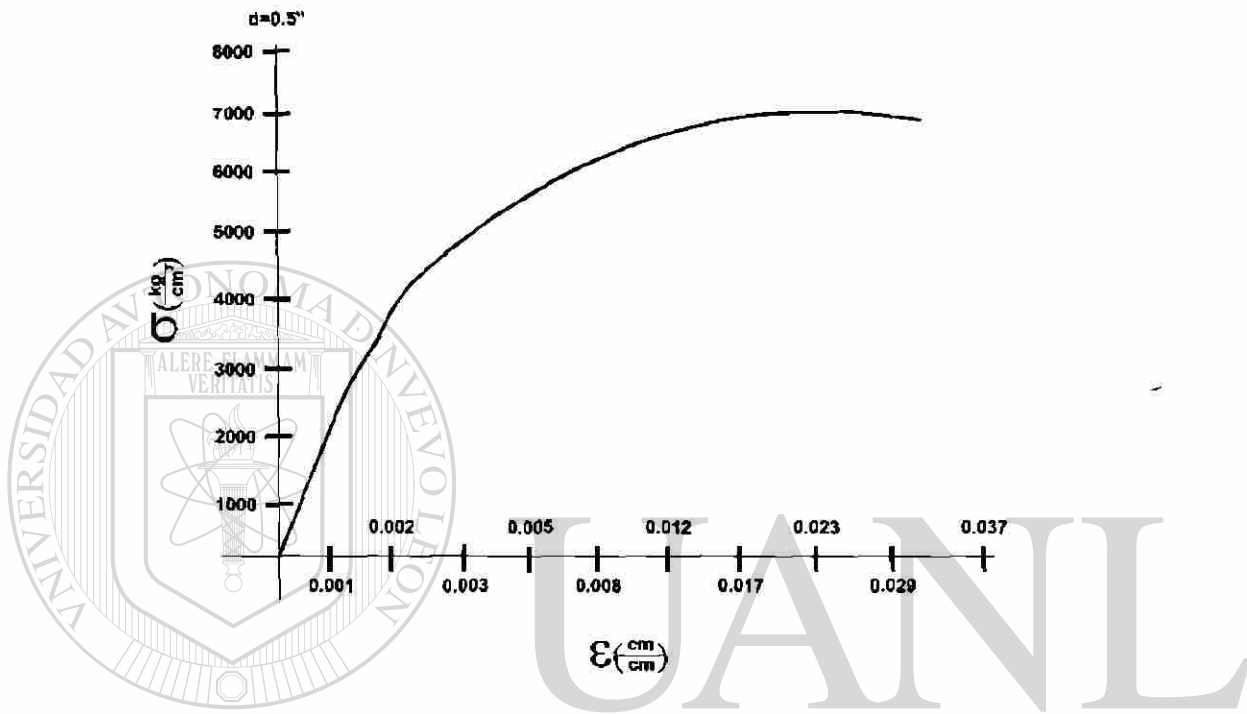


Figura 8.10

Gráfica del acero inoxidable hasta llegar a la ruptura

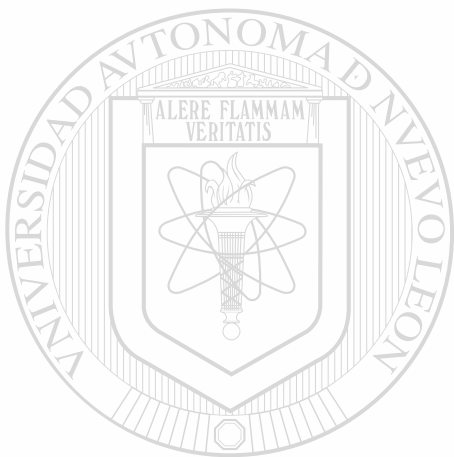
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

De la gráfica se obtiene:

$$\begin{aligned} E_{\text{grafico}} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \\ &= \frac{2000 - 1000}{0.001 - 0.0005} = \frac{1000}{0.0005} \\ &= 2 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \end{aligned}$$

Resultados			
Material	$E_{\text{teórico}}$ (Kg/cm ²)	$E_{\text{medidor de deformación}}$ (Kg/cm ²)	$E_{\text{gráfico}}$ (Kg/cm ²)
Acero A-36	2.1×10^6 Kg/cm ²	2.1×10^6 Kg/cm ²	1×10^6 Kg/cm ²
Aluminio vaciado	7.03×10^5 Kg/cm ²	0.75×10^6 Kg/cm ²	1×10^5 Kg/cm ²
Acero Inoxidable	2.1×10^6 Kg/cm ²	2.2×10^6 Kg/cm ²	2×10^6 Kg/cm ²
Latón	9.8×10^5 Kg/cm ²	1×10^6 Kg/cm ²	5×10^5 Kg/cm ²

Tabla 8.1

Comparación entre $E_{\text{práctico}}$ y $E_{\text{teórico}}$ 

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión la elaboración de este tema ha servido para determinar, los módulos de elasticidad de cada material que se emplean en el laboratorio de pruebas mecánicas, comparándose cada valor obtenido contra el estandarizado para estos materiales.

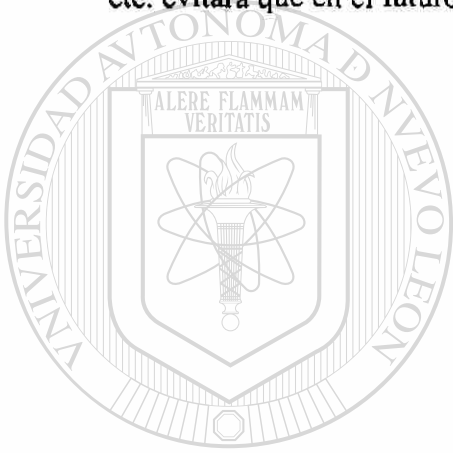
Los valores E_G que corresponden a los resultados obtenidos en la máquina universal de pruebas, no tienen la precisión de los resultados obtenidos por la técnica de los medidores eléctricos de deformación, ya que el eje toma en cuenta el desplazamiento del pistón de la máquina lo cual lo hace inexacto. y los valores obtenidos por la técnica de los medidores eléctricos de deformación, resultan mas precisos por encontrarse ubicado el medidor eléctrico en la zona de deformación del material, lo que es mas recomendable, que los valores del módulo elástico sean valorados con esta técnica de medición eléctrica, ver tabla 8.1 o en su defecto, usar un medidor electromecánico para medir la señal de deformación con igual precisión.

Con este medidor de deformación se puede hacer toda la gráfica completa.

En conclusión la elaboración de este tema, ha servido para demostrar la aplicación de una técnica de varias que hay, para el estudio de los materiales utilizados en la

fabricación de una estructura, maquina o equipo, estos estudios son necesarios para que dicha fabricación sea eficiente, y evitar a lo máximo posible daño en el equipo, y sobre toda proteger a la vida humana por el mal diseño o un estudio equivocado de los materiales a usar en la fabricación del equipo.

La recomendación final sería dependiendo de las necesidades del diseño, documentarse ampliamente con todo lo relacionado a la fabricación, y aplicar las técnicas necesarias para el estudio de los mismos. Ya que teniendo una información suficiente de las necesidades que tengamos para la fabricación de un equipo, estructura etc. evitará que en el futuro se tengan posibles fallas, o un mantenimiento costoso.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Bibliografía

Autor: A. E. Dally.

Técnicas de análisis experimental de esfuerzos.

Editorial: Mc Graw Hill.

Año: 1990, 2ª edición

Autor: Ing. Moisés Espinosa Esquivel.

Manuales de análisis experimental de esfuerzos.

F.I.M.E. – U.A.N.L.

Año: 1993

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Autor: Robert L. Mott.

Diseño de Elementos de máquinas.

Editorial: Prentice-Hall.

Año: 1992, 2ª edición.

Autor: Ferdinand L. Singer.

Resistencia de materiales

Editorial: Harla.

Año: 1982, 3ª edición. *

Autor: W. F. Smith.

Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales.

Editorial: Mc. Graw Hill.

Año: 1983.

Autor: M. F. Spotts.

Design of machine elements

Editorial: Prentice - Hall.

Año: 1982, 5ª edición.*

Autor: Van Vlack.

Materiales para ingeniería.

Editorial: CECSA.

Año: 1981. *

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Manual de Bihelectronics

Año: 1993 U.S.A. DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Encarta

Enciclopedia Microsoft, CD ROM

Año: 1998, 1999.

* Bibliografía clásica.

Lista de Tablas

Tabla	Página
3.1 Valores aproximados del coeficiente de Poisson	28
4.1 Características estandarizadas del cable SR-4 y medidores de deformación planos	46
4.2 Características de los medidores de deformación	49
4.3 Características para los medidores semiconductores de deformación	52
4.4 Adhesivos para medidores de deformación	54
4.5 Recubrimientos de protección	55
6.1 Usos generales, presión, cartas de selección de celdas de carga para altas temperaturas	66
6.2 Carta de selección de celdas de carga para usos especiales	69
8.1 Comparación entre E_{practico} y E_{teorico}	93

Lista de Figuras

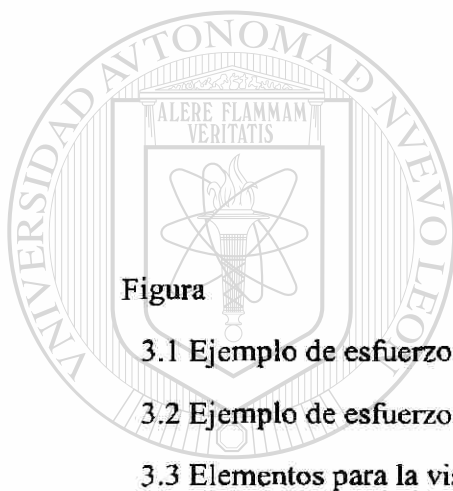
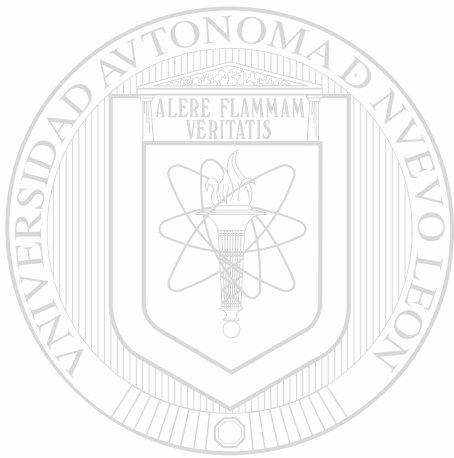


Figura	Página
3.1 Ejemplo de esfuerzo de compresión directa.	18
3.2 Ejemplo de esfuerzo de tensión sobre una sección transversal.	18
3.3 Elementos para la visualización de esfuerzos de compresión.	19
3.4 Elementos para la visualización de esfuerzos de tensión.	20
3.5 Ilustración de esfuerzo cortante directo en una operación de perforación.	21
3.6 Conexión mediante perno que ilustra el esfuerzo cortante simple.	23
3.7 Junta mediante perno que ilustra el esfuerzo cortante doble.	23
3.8 Elemento que muestra el esfuerzo cortante a) elemento tridimensional b) elemento bidimensional.	24
3.9 Acción cortante directa sobre una cuña entre un eje y el cubo de engrane o polea.	25
3.10 Ejemplo de esfuerzo de apoyo.	26
3.11 Alargamiento de una barra sometida a esfuerzo de tensión.	27

3.12 Ilustración del coeficiente de Poisson para un elemento sometido a esfuerzo de tensión.	29
3.13 Deformación por cortante en un elemento infinitesimal	30
3.14 Cuerpo sólido sometido a cargas de tensión.	33
3.15 Gráfica típica esfuerzo deformación	34
3.16 Trayectoria polar del punto 0 en tensión	36
4.1 Diagrama de un compensador de temperatura usando medidor aparente	41
4.2 Influencia de la temperatura en la deformación	42
4.3 Influencia de la temperatura en el cambio de resistencia	43
4.4 Ejemplos gráficos de medidores de deformación planos	47
4.5 Medidores de deformación con envolturas especiales	48
5.1 Puente de Wheatstone	57
5.2 Puente de Wheatstone portátil	59
6.1 Medidor alineado sobre una viga	61
6.1.1 Montaje de medidores en una viga	62
6.2 Medidores montados en dirección axial y lateral	63
6.3 Medidores compensadores del efecto de temperatura	64
6.4 Tipos de celda con puente simple y puente doble	67
6.5 Celdas reforzadas para máxima seguridad	70
7.1 Computadora analógica punto a punto	74
7.2 Montaje de plataforma PLK	75
8.1 Tipo de cabeceras y tramo de calibración	83
8.2 Arreglo del circuito puente de Wheatstone	84
8.3 Medición de la deformación del aluminio	85
8.4 Medición de la deformación del latón	86
8.5 Medición de la deformación del acero A-36	87
8.6 Medición de la deformación del acero inoxidable	88

8.7 Gráfica del aluminio hasta llegar a la ruptura	89
8.8 Gráfica del latón hasta llegar a la ruptura	90
8.9 Gráfica del acero A-36 hasta llegar a la ruptura	91
8.10 Gráfica del acero inoxidable hasta llegar a la ruptura	92



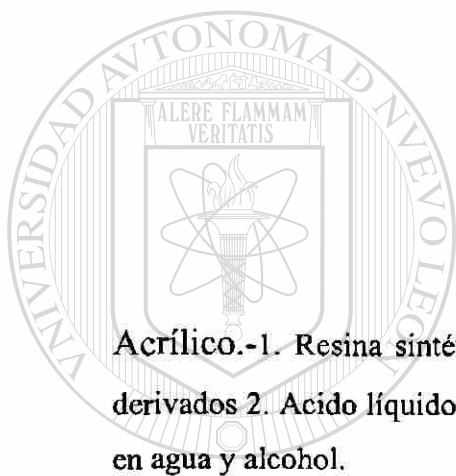
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Glosario



Acrílico.-1. Resina sintética obtenida por polimerización del ácido acrílico o de sus derivados 2. Acido líquido incoloro, de olor sofocante, polimeriza fácilmente, es soluble en agua y alcohol.

Aleación.- producto homogéneo de propiedades metálicas, compuesto de dos o más elementos.

Alumina.- oxido de aluminio que se halla en la naturaleza, ya puro y cristalizado, ya formado con otros cuerpos los feldspatos y las arcillas.

Aluminio.- elemento químico, metal de color blanco, ligero, maleable y resistente a la oxidación se obtiene de la bauxita y se emplea para utensilios eléctricos y, puro o en aleación, para piezas de avión y automóvil. Su símbolo es AL, su número atómico 13 y su peso atómico 26,98.

Amoniaco.- gas incoloro de olor penetrante, compuesto de nitrógeno e hidrogeno, NH_3 que, unido al agua, sirve de base para la formación de ciertas sales.

Asbesto.- Anfíbol que se presenta en cristales aciculados o filamentosos, formando haces o fieltro.

Bakelita.- material termoplástico.

Celulosa.- sustancia sólida, blanca, amorfa, insoluble en el agua, el alcohol y el éter, que forma la parte esencial de la membrana celular de los vegetales, se usa para fabricar papel, tejido, explosivos, barnices, etc.

Cerámico.- (arcilla) relativo a la cerámica.

Ciano.- En química indica la presencia del radical cianogeno.

Ciano Acrílico.- compuesto químico cuya base es el cianuro.

Cianogeno.- gas compuesto de carbono y nitrógeno, CN_2 venenoso o incoloro, inflamable y de olor

Cobre-Niquel.- aleación no ferrosa.

Condensador eléctrico.- aparato compuesto esencialmente de dos conductores, (armaduras) separados por un dieléctrico destinados a aumentar la capacidad eléctrica, y la carga sin aumentar el potencial, este condensador se llama fijo o variable, según que las armaduras guarden siempre su posición relativa o pueda variar esta voluntad.

Constantan (hierro-constantan).- Es una aleación que contiene 54% de Cobre y 46% de Níquel aproximadamente. Esta combinación puede utilizarse en el intervalo de 300°F a 1400°F. Las principales ventajas son comparativamente su bajo costo, alta energía termoeléctrica, y adaptabilidad a atmósferas diferentes

Cobre constantán.- La aleación de constantán empleada con cobre, difiere ligeramente de la utilizada con hierro, y podría contener pequeñas cantidades de manganeso y hierro, esta combinación es mas adecuada para mediciones a bajas temperaturas hasta de -420°F. El límite superior es de 600°F, aproximadamente las combinaciones anteriores se conocen como termopares basados en metal.

Criogénica.- que produce bajas temperaturas, o relativo a ellas.

Cuarzo.- oxido de silicio que se presenta en cristales hexagonales, o en masas cristalinas o compactas, con diversos colores o grados de transparencia, y es uno de los constituyentes del granito y otras rocas.

Duco.- laca de nitrocelulosa poco nitrada, cuya disolución se emplea en pintura pulverizándola con pistola.

Elasticidad.- propiedad que todos los cuerpos poseen, en mayor o menor grado, recobran su extensión y forma primitiva luego que cesa la fuerza exterior que los había deformado.

Elastómetro.- (material) que tiene propiedades elásticas semejantes a las del caucho.

Epsilon(ϵ).- quinta letra del alfabeto griego, equivalente a la e latina.

Epoxica Resina.- Sustancia química polimerizada, se usa como plástico para estructuras, revestimientos y adhesivos.

Fahrenheit.- (escala termométrica) empleada durante mucho tiempo en Francia, y de uso actual en los países anglosajones. Se gradúa haciendo que el 0 de la escala centesimal corresponda al 32 de la escala Fahrenheit, y el 100 de la primera al 212 de la segunda.

Fenólico.- (de fénico) alcohol de la serie cíclica o aromática de la química orgánica, el mas importante es el ácido fénico.

Fosfórico (ácido).- compuesto oxigenado que contiene fósforo en los grados superiores de oxidación.

Fotorresistivo.- resistencia variable según la iluminación incidente.

Galga.- instrumento para hacer mediciones (ángulos, longitudes, etc.)

Germanio.- elemento químico, metal cristalizado en estado puro, se utiliza en la fabricación de transistores. Su símbolo es Ge, su numero atómico 32 y su peso atómico 72.59

Histerisis.- Retraso del efecto debido a la inercia de la materia, cuando varia la intensidad de la causa que actúa sobre ella. Energía que se disipa en forma de calor.

Hooke (Roberto) Ley.- hombre de ciencia ingles (1635-1708). Hizo estudios sobre la gravedad, la traslación de la tierra alrededor del sol, la rotación de los planetas, la propagación de la luz, sonido, etc. Estableció en elasticidad la ley que lleva su nombre, según la cual la deformación es proporcional al esfuerzo.

Inelástica.- que no es elástica.

Karma.- Aleación cobre, níquel, estaño.

Kelvin Lord.- físico inglés (1824-1907) catedrático durante 53 años en la universidad de Glasgow, inventor de la prueba de refrigeración que lleva su nombre, realizó estudios de física y matemáticas puras, telegrafía por cable submarino, creó los aparatos de transmisión, recepción y medida que hoy conocemos. en 1851 publicó su tratado sobre la teoría dinámica del calor, que le coloca entre los fundadores de la termodinámica, definió la temperatura absoluta para una escala independiente de todo cuerpo termométrico, y descubrió el cero absoluto a -273°C .

Monocristal.- Cristal generalmente obtenido artificialmente, en que todas sus partes tienen la misma orientación cristalográfica.

Newton.- unidad de fuerza, equivalente a la fuerza que comunica una aceleración de un metro por segundo a una masa de un kilogramo, su símbolo es N, 2. fis. Nombre del newtonio en la nomenclatura internacional.

Nichorome.- aleación de níquel-cromo, se emplea como aleación para resistencia eléctrica (80% Níquel, 20% Cromo) aproximadamente.

Nitrocelulosa.- éter nítrico que se obtiene sometido a la celulosa purificada en algodón o pasta, a la acción de una mezcla variable de ácido sulfúrico y nítrico, que produce en cada caso, diversos productos, como explosivos, lacas, plásticos, etc.

Oscilografo.- fis. Aparato registrador de oscilaciones. Se emplea en física para medir la intensidad de la corriente eléctrica en un instante dado, así como sus variaciones por rápidas que sean. También se usa para estudiar otros movimientos oscilatorios.

Platino.- elemento químico, metal de color plateado, dúctil, maleable, difícilmente fusible, muy pesado e inatacable por los ácidos a excepción del agua regia. Su símbolo es PL, su número atómico es 78 y su peso atómico 195.09.

Platino -Tungsteno.- aleación de alta refractabilidad.

Poisson Simeón.- (coeficiente) al coeficiente de la deformación lateral y axial en el elemento.

Poliamida.- Polímero sintético que se obtiene por condensación de productos que contienen grupos amida, cuya forma más conocida es el nailón.

Poliéster.- cuerpo que forma parte de ciertos materiales plásticos y de las fibras sintéticas.

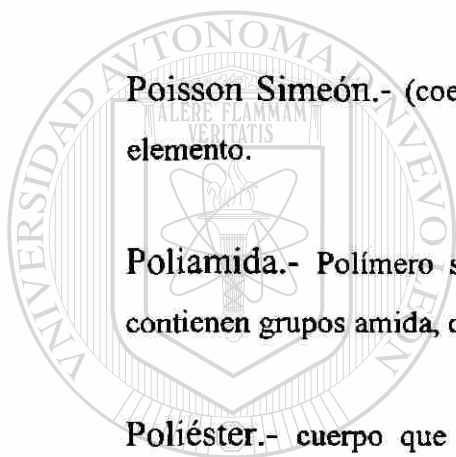
Polipropileno.- Polímero . Derivado del petróleo.

Resistividad.- eléctrica. Resistencia de un material de unidad de sección y longitud.

Rockide.- Proceso de flama.

Roseta.- objeto en forma de rosa.

Semiconductor.- eléctrica. Material de resistencia apreciablemente más alta que la de los buenos conductores e inferior a la de los aisladores, la cual decrece al aumentar la



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



temperatura, 2. cuerpo dotado de débil conductividad eléctrica, considerablemente inferior a la de los metales.

Silicio.- elemento químico, no metal que se extrae de la sílice, es un sólido de color amarillento, de muy alta temperatura de fusión, insoluble en agua y densidad relativa de 2.33 . Su símbolo es Si, su número atómico 14 y su peso atómico 28.086

Silicon (a).- nombre que se aplica a varios compuestos de carácter orgánico que contiene átomos de silicio reemplazando los de carbono. Los mas simples son aceites de bajo punto de fusión y viscosidad, los mas complejos son sólidos y muy buenos aisladores eléctricos.

Sulfuro de Manganeso.- compuesto químico frágil de azufre y manganeso (MnS).

Teflón.- Tetrafluoretileno.

Termofluencia.- que fluye o emite calor.

Tetrafluoretileno.- material aislante con una resistividad extremadamente alta y que es poco afectada por el calor o la humedad.

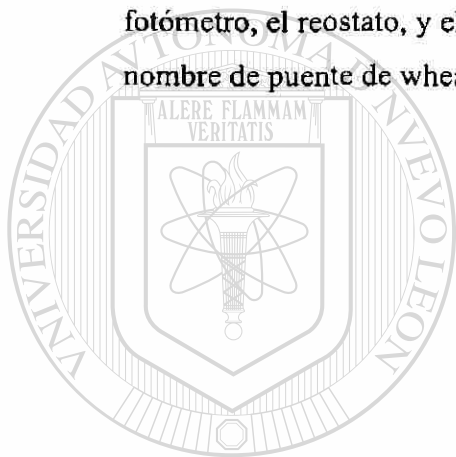
Transductor.- dispositivo que tiene las misión de recibir energía de una naturaleza eléctrica, mecánica, acústica, etc. y suministrar otra energía de diferente naturaleza, pero de características dependientes de la que la recibió.

Tungsteno.- metal de color gris, acero muy duro, denso y difícil de fundir. Su símbolo es W, su peso atómico 184, y su número atómico 74. Se usa en filamentos de lamparas eléctricas y en aceros magnéticos.

Uretano.- polímero

Vanadio.- elemento químico, metal de color y brillos plateados, en aleaciones con el hierro produce aceros de gran resistencia, dureza y facilidad de temple. Su símbolo es V, su número atómico 23 y su peso atómico 50.94.

Wheatstone (Carlos) puente de.- Físico inglés (1802-1875) autor de numerosos inventos entre los que figuran: un teléfono, el estereoscopio, el telégrafo de cuadrante, el fotómetro, el reostato, y el aparato de medidas de resistencias eléctricas, conocido con el nombre de puente de wheatstone.



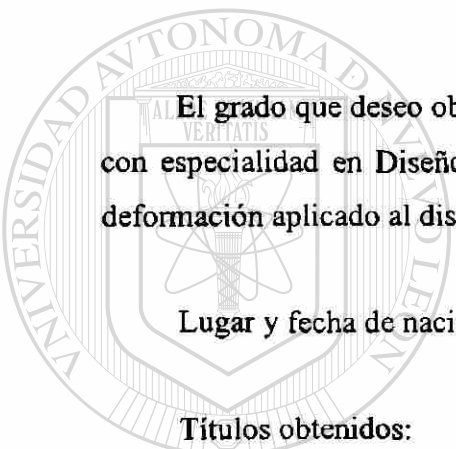
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



RESUMEN AUTOBIOGRAFICO



El grado que deseo obtener con esta tesis es el de maestro en Ingeniería Mecánica, con especialidad en Diseño Mecánico, con el tema de tesis "Técnica de medición de deformación aplicado al diseño mecánico con deformímetros eléctricos"

Lugar y fecha de nacimiento: Monterrey, N.L.; México. 14 de Marzo de 1954.

Títulos obtenidos:

Licenciatura en Ingeniería Mecánica - Eléctrica.

Maestría en Ingeniería Mecánica, especialidad Materiales.

Nombre de los padres:

Sr. Ernesto Bernal Quintanilla

Sra. Felipa Avalos de Bernal

Experiencia Profesional:

Profesor en Ingeniería por 26 años en el Area de Manufactura y Metalurgia.

