

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERÍA



Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de tensión y compresión en elementos simples.

Por:

Francisco Tapia Molina.

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista Saltillo Coahuila, México.

Mayo del 2001

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

**Diseño y construcción de un banco didáctico para pruebas de tensión y
compresión en elementos simples.**

POR:

Francisco Tapia Molina

TESIS

**Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por el Comité de Tesis

Asesor principal

M. C. Juan A. Guerrero Hernández

Sinodal

Sinodal

ING. Juan Arredondo Valdez

M. C. Héctor Uriel Serna Fernández

Coordinador de la División de Ingeniería

M. C. Jesús R. Valenzuela García

**Buenvista Saltillo Coahuila, México.
Mayo del 2001
AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por darme la vida y la oportunidad de vivirla al lado de gente buena y generosa.

A mi Alma Mater por acogerme en su seno y darme la oportunidad de realizar mis estudios a nivel profesional.

A mis maestros y amigos, que con su ejemplo y consejos, me han dado las bases para seguir superándome día con día.

Al M.C. Juan A. Guerrero y al Ing. Juan Arredondo por el apoyo y colaboración que me brindaron para poder realizar el presente trabajo.

Mis más grandes agradecimientos a la Familia Gómez Torres Por todo el apoyo que me han dado.

DEDICATORIA

Dedicado a todos aquellos que siempre han estado conmigo (Mis Padres, Hermanos, Maestros y amigos).

A veces en la vida
Encuentras un amigo especial
Alguien que cambia tu vida
Simplemente siendo parte de ti.
Alguien que te hace reír
Hasta que no puedes parar
Alguien que te hace creer
Que realmente vale la pena este mundo.
Alguien que te convence
Que realmente hay una puerta cerrada
Solo esperando a que la abras
Esto es verdaderamente una amistad.
Cuando estás deprimido y,
El mundo te parece oscuro y vacío
Ese amigo está allí, para levantarte el espíritu
Y hacer que ese mundo oscuro y vacío
De repente parezca lleno y luminoso!!!
Esa amistad, hace que se despejen
Los tiempos duros, los tiempos tristes
Y los tiempos confusos en tu vida.
Si le das la espalda a los problemas
Él está allí para seguirte
Y si pierdes tu camino él estará
Por siempre guiándote y Alegrándote.
Por siempre estará allí para
Levantar tus manos y decirte
todo está bien...
Y si llegas a encontrar a otro amigo
Él se sentirá completamente feliz
Porque no tendrás nada de que preocuparte.
Tienes para siempre un amigo en tu vida,
Y para siempre no tiene ningún final
Ese amigo es Dios.

INDICE DE CONTENIDO.

	Página
AGRADECIMIENTOS.	iii
.....	
DEDICATORIA.	iv
.....	
INDICE DE FIGURAS.	viii
.....	
INDICE DE CUADROS.	x
.....	
I. INTRODUCCIÓN.	1
.....	
1.1 Antecedentes.	2
.....	
1.2 Objetivos.	4
.....	
II. REVISION DE LITERATURA.	5
.....	
2.1 Definición de diseño.	5
.....	
2.2 El proceso del diseño.	6

.....	
2.3 Materiales de la ingeniería.	7
.....	
2.4 Diseño de unidades soldadas.	8
.....	
2.5 Factor de seguridad.	10
.....	
2.6 La mecánica de materiales.	12
.....	
2.6.1 Concepto de deformación.	13
.....	
2.6.2 Esfuerzo normal y deformación unitaria.	14
2.6.3 Ley de Hooke.	15
.....	
2.6.4 Esfuerzo de flexión.	17
.....	

2.6.5 Esfuerzo de corte.	18
.....	
2.6.6 Propiedades mecánicas de los materiales.	20
2.6.7 Diagrama esfuerzo deformación.	21
2.6.8 Ensayo de materiales.	23
.....	
2.6.9 Máquinas de ensayo.	24
.....	
2.6.10 Máquina de ensayo dinámica.	25
2.7 Galgas extensométricas.	27
.....	
2.7.1 Extensómetros eléctricos. .	28
.....	
2.7.2 Tipos de galgas.	28
.....	
2.7.3 Componentes de las galgas extensométricas.	29
.....	
2.7.4 Fundamentos para la selección de galgas extensométricas.	30
.....	
III. MATERIALES Y MÉTODOS.	32
.....	
3.1 Procedimiento para el montaje de galgas extensométricas	32

.....	
3.1.1 Preparación de la superficie.	32
.....	
3.1.2 Solventes desengrasantes.	33
.....	
3.1.3 Abrasión de la superficie.	34
.....	
3.1.4 Trazo de líneas.	35
.....	
3.1.5 Acondicionamiento de la superficie.	36
3.1.6 Neutralización.	36
.....	
3.1.7 Adhesión de la galga extensométrica.	37
3.1.8 Manejo y preparación.	38
.....	
3.1.9 Adhesivos.	41
.....	
3.1.10 Técnica para soldar.	43
.....	
3.2 Metodología para el diseño.	45
.....	
3.3 Funcionamiento.	47
.....	
3.4 Material y equipo.	48
.....	

IV.	RESULTADOS.	50
	
V.	CONCLUSIONES.	53
VI.	LITERATURA CITADA.	54
	
VII.	APENDICE.	57
	Cálculos del diseño.	58
	Dibujo del diseño.	60
	Factor de concentración de esfuerzos.	71
	D. Pasos en la selección de galgas extensométricas	73
	E. Indicador de deformación P3500.	79
	F. Forma normalizada para probetas en ensayos de	
	tensión.	81

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
2.1	Soldadura a tope en tensión y cortante.	9
2.2	Diagrama esfuerzo deformación	14
2.3	Esfuerzo de corte.	19
2.4	Esfuerzo de cortadura doble.	19
2.5	Diagrama de esfuerzo deformación unitaria. ...	23
2.6	Máquina universal.	26
2.7	Código para la selección de galgas extensométricas.	31
3.1	Abrasión de la superficie para montaje de galgas extensométricas.	34
3.2	Trazo de líneas para montaje de galgas extensométricas.	35
3.3	Acondicionamiento del área para montaje de galga extensométrica.	36
3.4	Aplicación de neutralizante M Prep 5A.	37

3.5	Manejo y preparación para el pegado de la galga extensométrica.	38
3.6	Alineación de la galga para su montaje.	40
3.7	Verificación de la alineación de la galga.	40
3.8	Aplicación de catalizador.	41

3.9	Aplicación del pegamento M -Bond 200.	42
3.10	Pegado de la galga extensométrica.	42
3.11	Remoción de la cinta adhesiva.	43
4.1	Probeta plana con chaflán.	50
4.2	Probeta plana con muesca.	51

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
	a
Cuadro 2.1 Factores utilizados para la determinación del factor de seguridad.	11
Cuadro 3.1 Material utilizado para la construcción del banco de pruebas.	48
Cuadro 3.2 Equipo utilizado para la construcción del banco de pruebas.	49

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos del diseño de máquinas es dimensionar, formar las piezas, escoger materiales y proponer procesos de manufactura apropiados que nos ayude a evitar fallas en el diseño de una máquina. Esto implica realizar cálculos y prever las condiciones de falla de cada uno de los elementos que constituyen la máquina (Norton, 1999).

A menudo usamos las teorías para obtener fórmulas y ecuaciones que nos ayudan a predecir el comportamiento mecánico de los materiales, pero esas expresiones no pueden usarse en el diseño práctico a menos que se conozcan las propiedades físicas de los materiales. Además muchos problemas prácticos no son analizables solo teóricamente debido a que es indispensable realizar pruebas físicas. Por lo general la única manera de establecer el comportamiento de los materiales es cuando están sometidos a carga y llevar a cabo experimentos de laboratorio (Hollowenko, 1974).

Dentro de las pruebas más comunes de los materiales son la prueba de tensión y compresión. Para ejecutar los ensayos que darán como resultado las cantidades numéricas que miden las propiedades mecánicas se debe contar con especímenes y máquinas de ensayo. Las máquinas de ensayo deben

cumplir dos funciones, que son: Aplicar carga a los especímenes y medir la carga aplicada, pudiendo así utilizar medidores de deformación y registrar los cambios de longitud del espécimen (Fitzgerald, 1970).

La medida de deformación es la medida del desplazamiento entre dos puntos a una distancia inicial de separación. Una de las técnicas para medir deformaciones de manera precisa es el uso de las galgas extensométricas (strain gage), dado que ésta técnica representa una de las herramientas más importantes dentro de las técnicas para mediciones eléctricas aplicadas a la medición de deformación (Omega, 1985).

1.1 Antecedentes.

Algunos personajes famosos como Leonardo da Vinci (1452 – 1519) y Galileo Galilei (1564 – 1642) llevaron a cabo experimentos para determinar la resistencia de alambres, barras y vigas, aunque no desarrollaron teorías adecuadas (respecto a los estándares actuales) para explicar el resultado de sus pruebas. El famoso matemático Leon Hard Euler (1707 – 1783) desarrolló la teoría matemática de las columnas y calculó la carga crítica de una columna en el año de 1744, mucho antes de que existiera evidencia experimental que mostrara la importancia de sus resultados (Timoshenko, 1999).

El descubrimiento del principio en el que se basa la resistencia eléctrica de las galgas extensométricas fue hecho por Lord Kelvin, el cual aplicó una carga de tensión en un alambre de hierro y notó que éste incrementaba la resistencia con la aplicación de cargas en el alambre, además él observó que ese alambre de hierro presentó un mayor incremento en esa resistencia cuando ambos están sujetos a dichas cargas. Finalmente Lord Kelvin empleó un puente de Wheatstone para medir el cambio de resistencia. En este clásico experimento él estableció tres vitales factores que han contribuido al desarrollo del análisis de resistencia eléctrica en galgas extensométricas:

- Diferentes materiales tienen diferente sensibilidad.
- La resistencia de un alambre cambia como función de la tensión.
- El puente de Wheatstone puede usarse para medir este cambio de resistencia eléctrica exactamente (Dally y Riley, 1979).

Las primeras galgas de laminilla metálica fueron hechas en Inglaterra en 1952 por la Sanders-Roe Ltd. y la Tech Technograph Printed Circuits Ltd. Fueron construidas con laminillas cementadas metálicas en hojas de laca. Actualmente Las galgas de laminilla, se fabrican en longitudes de 6 pulgadas hasta $\frac{1}{64}$ pulg y con una gran variedad de configuraciones de rejilla, incluyendo galgas simples, rosetas de dos, tres y cuatro elementos, medios puentes y puentes completos (Dally y Riley, 1979).

1.2 Objetivos:

Diseñar un banco didáctico para pruebas de análisis de esfuerzos (tensión y compresión) en elementos simples.

Construir el banco didáctico de funcionamiento sencillo y de bajo costo.

Determinar esfuerzos y deformaciones analíticas y experimentalmente de elementos simples.

REVISION DE LITERATURA.

2.1 Definición de diseño.

La palabra diseño proviene de la palabra designaré, que significa “designar, marcar”, el diccionario incluye varias definiciones de la palabra diseño, siendo la más aplicable “delinear, trazar o planear como acción o trabajo, concebir inventar o idear”, el diseño de ingeniería se puede definir como el proceso de aplicar las técnicas y principios científicos con el objetivo de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficiente detalle para permitir su realización (Norton, 1999).

El diseño de máquinas se ocupa de la creación de la maquinaria que funge segura y confiablemente bien. Una máquina puede definirse de muchas maneras, entre ellas las dos siguientes:

- 1. Un aparato de unidades interrelacionadas.**
- 2. Dispositivo que modifica una fuerza o un movimiento.**

Las partes interrelacionadas a las cuales hace referencia la definición a veces también se conocen como elementos de máquinas. La idea del trabajo útil es fundamental a la función de una máquina, ya que en ella

**siempre habrá alguna transferencia de energía. La mecanización de fuerza
y movimientos también es**

vital para nuestros intereses ya que al convertir la energía de una forma a otra, las máquinas crean movimiento y generan fuerzas. Es la tarea del ingeniero definir y calcular movimientos, fuerzas y cambios de energía a fin de determinar el tamaño, las formas y los materiales necesarios para cada uno de los componentes de la máquina. En ello está la esencia del diseño de máquinas (Norton, 1999).

En una estructura estática, como el piso de un edificio, diseñado para soportar un peso particular, el factor de seguridad de la estructura se incrementa añadiendo material, apropiadamente distribuido a sus partes estructurales. En una máquina dinámica, añadir peso a partes en movimiento, pudiera tener el efecto opuesto, con lo que se reduciría el factor de seguridad de la máquina, su velocidad permisible y su capacidad de carga útil. Dado que la aceleración de las partes en movimiento dentro de la máquina está dictada por su diseño cinemático y por su velocidad de operación (Norton, 1999).

2.2 El proceso del diseño.

El diseño de ingeniería ha sido definido como el proceso de aplicar diferentes técnicas y principios científicos con el objeto de determinar, un dispositivo, un proceso o un sistema con detalles suficientes que permitan su realización. El diseño puede ser simple o complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático; puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia (Norton, 1998).

El diseño es un componente universal de la práctica de ingeniería. Pero por la complejidad de las cuestiones de ingeniería, generalmente se requiere que se cuente con un conjunto de problemas bien estructurados que se elaboran para idear un concepto o unos conceptos particulares relacionados con un tema específico (Norton, 1998).

2.3 Materiales de la ingeniería.

Las ecuaciones matemáticas que se usan en el diseño son derivadas de un material idealizado, el cual se supone que tiene las siguientes propiedades:

a) Elasticidad perfecta. Las cargas o fuerzas que actúan sobre un cuerpo causan cambios en su forma y sus dimensiones. Un material perfectamente elástico es uno que regresa a su forma original inmediatamente después de retirar las cargas. Las ecuaciones usadas en diseño son casi deducidas suponiendo una elasticidad perfecta. Si el material es tal que esta hipótesis no puede hacerse, las complicaciones matemáticas, en muchos casos, resultan muy complejas para efectuar cálculos prácticos. Sin embargo, no debe olvidarse que en algunos casos puede haber una considerable variación entre los esfuerzos reales en el cuerpo y los esfuerzos obtenidos a partir de ecuaciones para una sustancia idealizada. Un material puede exhibir un alto grado de elasticidad frente a cargas

pequeñas pero puede retener una deformación permanente cuando las cargas son suficientemente grandes.

- b) **Homogeneidad:** Un cuerpo homogéneo es aquel que tiene las mismas propiedades en toda su extensión.
- c) **Isotropía:** Un material isótropo es aquel cuyas propiedades elásticas son las mismas en todas las direcciones.

En realidad un metal no es una sustancia homogénea, si no que consiste de un agregado de cristales muy pequeños, cuya resistencia depende de su orientación con respecto a la fuerza aplicada. Cuando los diminutos cristales tienen una orientación al azar, la localización en el cuerpo, o la inclinación a la que es tomada una probeta de prueba, no tiene efecto sobre el resultado de ensayo. La hipótesis de que un material es homogéneo e isótropo se satisface para todo fin práctico. Esto es cierto para materiales fundidos, laminados en caliente o recocidos. En contraste, los materiales que han sido laminados o estirados en frío pueden tener la orientación requerida en sus cristales y exhibir un definido efecto de grano con variación en la resistencia, dependiendo de la dirección que tenga la carga aplicada. En este caso no puede hacerse la suposición de que el material es homogéneo e isótropo (Spots, 1999).

2.4 El diseño de unidades soldadas.

El punto vital de cualquier diseño es el de lograr los ahorros máximos en el costo pero al mismo tiempo desarrollar un producto que sea agradable en

su apariencia, que tenga suficiente resistencia, y proporcione seguridad en su aplicación (John Deere, 1980).

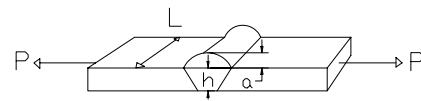
Ventajas de la construcción soldada.

- La soldadura es más flexible y ofrece muchos ahorros básicos de costo sobre operaciones de fundición o formación a presión.
- La soldadura es tres o cuatro veces más fuerte que los otros procesos de fabricación.
- Una soldadura es más dúctil.
- Un producto soldado tiene menos tendencia a agrietarse que las piezas de acero.
- Las estructuras soldadas proporcionan mayor libertad de diseño.

Las piezas soldadas son más resistentes a choques y fuerzas de impacto que la mayoría de las piezas fundidas (John Deere, 1980).

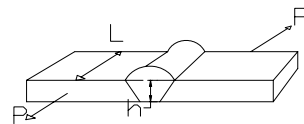
Soldadura a tope en tensión

Esfuerzo normal: $\sigma = \frac{P}{hL}$



Soldadura a tope en cortante.

Esfuerzo promedio: **cortante** $\tau = \frac{P}{hL}$



Soldadura de filete cortante

$$\tau = \frac{P}{0.707hL} = (1.414) \frac{P}{hL}$$

Fig. 2.1 Soldadura a tope en cortante y tensión.

Esfuerzo cortante promedio:

Puede emplearse la ecuación usual para el factor de seguridad por cargas estáticas.

$$FS = \frac{\tau_{yp}}{\tau} = \frac{0.5\sigma_{yp}}{\tau}$$

Donde:

Fs = Factor de seguridad.

P = Carga lb.

τ_{yp} = Esfuerzo cortante de cedencia promedio (lb/plg^2).

σ_{yp} = esfuerzo de cedencia promedio (lb/plg^2).

2.5 Factor de seguridad

Un factor de seguridad se expresa de muchas formas. Se trata de una relación de dos cantidades que contienen las mismas unidades, como resistencia entre esfuerzo, carga crítica entre carga aplicada, carga para falla de una pieza entre carga esperada en el servicio, ciclos máximos entre ciclos aplicados o velocidad máxima de seguridad entre velocidad de operación (Spots, 1999).

Dado que para cualquier elemento de máquina hay mas de una forma potencial de fallo, quizás exista mas de un valor de factor de seguridad N. El

valor más pequeño de N para cualquier pieza es el que más preocupa, ya que prevé el modo más probable de falla. Cuando N queda reducido a un valor 1, el esfuerzo en la pieza es igual a la resistencia en el material (o la carga aplicada es igual a la carga que lo hace fallar) y la falla ocurre. Por lo tanto, deseamos siempre que N sea siempre mayor que 1 (Spots, 1999).

Es posible seleccionar algunas guías de acción para la elección de un factor de seguridad en el diseño de máquinas, con base a la calidad y a lo apropiado de los datos y propiedades de los materiales disponibles, en las condiciones de entorno esperadas en comparación con las existentes al obtenerse los datos de prueba de los materiales y en la precisión de los modelos de análisis, de cargas y esfuerzos aplicados para los estudios (Spots, 1999).

Cuadro 2.1 Factores utilizados para la determinación del factor de seguridad.

INFORMACIÓN	CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	FACTO R
Datos del material disponibles de pruebas (F1)	→ El material realmente utilizado fue probado.	1.3
	→ Datos representativos del material disponibles a partir de pruebas.	2
	→ Datos suficientemente representativos del material disponible a partir de pruebas.	3
	→ Datos poco representativos del material disponible a partir de pruebas.	5 +

Condiciones de entorno en el cual se utilizará (F2).	→ Idénticas a las condiciones de prueba del material.	1.3
	→ Esencialmente en un entorno de ambiente de habitación.	2
	→ Entorno moderadamente agresivo.	3
	→ Entorno extremadamente agresivo.	5 +

Cuadro 2.1 continuación...

Modelos analíticos para cargas y esfuerzos (F3).	→ Los modelos han sido probados contra experimentos.	1.3
	→ Los modelos representan al sistema con precisión.	2
	→ Los modelos representan al sistema aproximadamente.	3
	→ Los modelos son una burda aproximación.	5 +

(Spots, 1999)

2.6 La mecánica de materiales.

La mecánica de materiales es una rama de la mecánica aplicada que trata del comportamiento de los cuerpos sólidos sometidos a varios tipos de carga. Otros nombres para este campo de estudio son resistencia de materiales y mecánica de los cuerpos deformables. El objetivo principal de la mecánica de materiales es determinar los esfuerzos, deformaciones unitarias y desplazamientos en estructuras y componentes debido a las cargas que actúan sobre ellas. Si podemos encontrar esas cantidades para todos los valores de las cargas hasta las causas que ocasionan la falla, tendremos la representación completa del comportamiento mecánico de esas estructuras (Timoshenko, 1999).

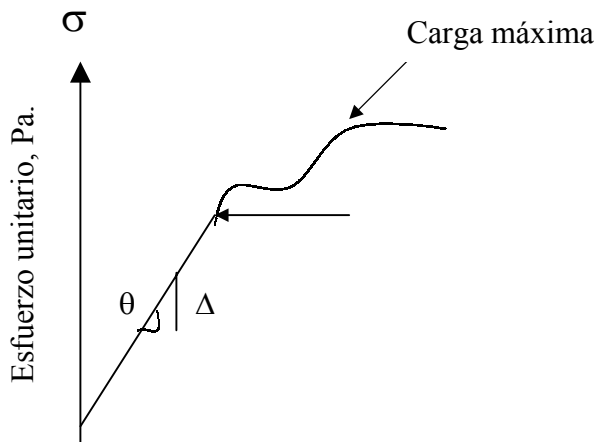
Los análisis teóricos y los resultados experimentales desempeñan papeles igualmente importantes en la mecánica de materiales, a menudo usamos teorías para obtener fórmulas y ecuaciones que predicen el comportamiento mecánico, pero esas expresiones no pueden ser usadas en el diseño práctico a menos que se conozcan las propiedades físicas de los materiales. Además muchos problemas prácticos no son analizables solo teóricamente y en tales casos son indispensables las pruebas físicas. El desarrollo de las pruebas físicas es una fascinante mezcla de teoría y experimento; en algunos casos la teoría ha señalado el camino para llegar a resultados útiles y la experimentación lo ha hecho en otro. Al estudiar la mecánica de materiales se advierte que los esfuerzos de la disciplina se dividen en dos partes: Primero, en entender el desarrollo lógico de los conceptos y segundo aplicar los conceptos a situaciones prácticas (Timoshenko, 1999).

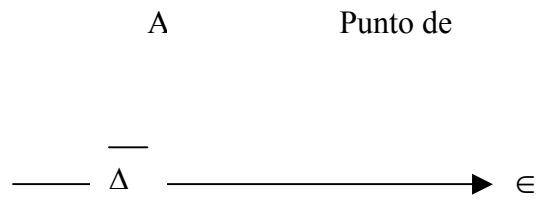
2.6.1 Concepto de deformación.

Un aspecto importante del análisis y diseño de estructuras es el de deformaciones causada por las cargas aplicadas. Obviamente, es importante evitar deformaciones tan grandes que hagan inservible la estructura diseñada. Pero ocurre también que el análisis de las deformaciones puede ayudarnos a la determinación de los esfuerzos, ciertamente, no es siempre posible determinar las fuerzas en los elementos de una estructura aplicando solo los principios de

estática. Esto es porque en estática se trabaja con la hipótesis de estructuras rígidas, indeformables. El considerar como deformables las estructuras utilizadas por los ingenieros, conduce al estudio de las deformaciones de los diferentes elementos, lo que hará posible el cálculo de fuerzas que son hiperestáticas, es decir, estáticamente indeterminadas. Para determinar la distribución real de esfuerzos dentro de un elemento, es necesario entender las deformaciones que tienen lugar en su interior (Beer y Johnston, 1991).

Consideremos una barra BC (Fig. 2.2b), de longitud L y de sección transversal uniforme A , que está suspendida en el punto B, si aplicamos una carga P al extremo C, la barra se alarga. Representando gráficamente la magnitud σ de la carga contra deformación unitaria ϵ obtenemos el diagrama Esfuerzo–deformación (Fig. 2.2 a). Si bien es cierto que este diagrama contiene información útil para el análisis de la varilla considerada, ésta no puede ser utilizada para predecir la deformación de una varilla del mismo material pero de dimensiones diferentes (Beer y Johnston, 1991).





0 Deformación unitaria.

Fig. 2.2a. Diagrama esfuerzo-deformación. 2.6.2 Esfuerzo normal y

deformación unitaria:

Los conceptos fundamentales de la mecánica de materiales son el esfuerzo y la deformación unitaria.

Esfuerzo normal: $\sigma = \frac{P}{A}$

Donde:

σ = Esfuerzo normal Pa.

P =Carga aplicada N.

A = área de la sección transversal m².

Deformación unitaria: $\varepsilon = \frac{\delta}{L}$

Donde:

ε = Deformación unitaria m/m.

δ = Alargamiento m.

L = Longitud m.

Ecuación de $\delta = \frac{PL}{AE}$

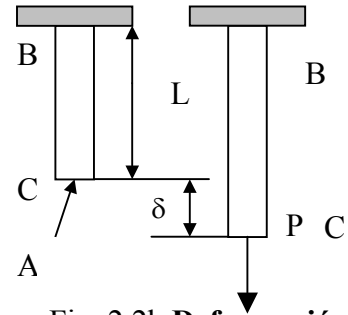


Fig. 2.2b Deformación unitaria

deformación

Donde:

P = Carga aplicada N.

L = Longitud m.

A = Area de sección transversal m².

E = Modulo de elasticidad N/m²

2.6.3 Ley de hooke (módulo de elasticidad)

BEER Y JOHNSTON, (1991). Menciona que La mayoría de las estructuras de ingeniería son diseñadas para sufrir pequeñas deformaciones, que conforman solo la parte recta del diagrama esfuerzo-deformación correspondiente, para esa posición el esfuerzo σ es directamente proporcional a la deformación ϵ , (Fig. 2.2a) y podemos escribir:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = E \quad E \int_0^{\epsilon} \Delta\epsilon = \int_0^{\sigma} \Delta\sigma$$

$$\sigma = E \epsilon$$

Esta relación se conoce como la ley de Hooke, en honor al matemático Robert Hooke (1635 – 1703). El coeficiente E es el módulo de elasticidad del material en cuestión o también *módulo de Young*, en honor al científico Thomas Young (1773 – 1829). Como ϵ es adimensional, el módulo E está expresado en las mismas unidades que σ .

El máximo valor de esfuerzo para el cual puede utilizarse la ley de Hooke es el límite de proporcionalidad del material correspondiente. En caso de materiales dúctiles que poseen un punto de fluencia bien definido, el límite de proporcionalidad casi coincide con el punto de fluencia. Para otros materiales, el límite de proporcionalidad no puede definirse tan fácilmente, puesto que es difícil determinar con precisión el valor del esfuerzo σ , para el cual la relación entre σ y ϵ deja de ser lineal (BEER Y JOHNSTON, 1991).

2.6.4 Esfuerzos normales por flexión.

Shigley, (1990). Comenta que para deducir las relaciones correspondientes a los esfuerzos normales por flexión se harán las siguientes idealizaciones.

1. La viga se somete a flexión pura; esto es que la fuerza cortante es cero y que no hay cargas axiales o de torsión.
2. El material es isotrópico y homogéneo.
3. El material cumple la ley de Hooke.
4. La viga es inicialmente recta y su sección transversal es constante en toda su longitud.
5. La viga tiene un eje de simetría en el plano de la sección.
6. Las dimensiones de la viga son tales que solo puede fallar por flexión y no por aplastamiento, corrugación o pandeo lateral.
7. Las secciones transversales planas permanecen así durante la flexión.

La deformación es proporcional a la distancia, desde el eje neutro como:

$$\sigma = -\frac{Ey}{\rho}$$

En este caso se trata de flexión pura, lo que significa que no actúan fuerzas axiales en la viga.

$$\sigma = -\frac{My}{I}$$

La ecuación establece que el esfuerzo por flexión es directamente proporcional a la distancia y desde el eje neutro y al momento flexionante M, donde se entiende que la ecuación anterior da el valor del esfuerzo máximo. Luego, cuando se sabe que sentido tiene el momento, se determina a simple vista si los esfuerzos son a tensión o compresión (Shigley, 1990).

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

M=momento flexionante Nm I = momento de inercia m⁴

C=Distancia del eje neutro a la superficie exterior de una viga m

σ = Esfuerzo por flexión N

2.6.5 Esfuerzo cortante.

Beer y Johnston, (1991). Los esfuerzos cortantes se presentan normalmente en pernos, pasadores y remaches utilizados para conectar varios miembros estructurales y componentes de máquinas. Sean por ejemplo las placas A y B que están conectados por un remache CD (Fig.

2.3). Si las placas están sometidas a fuerza de tensión de magnitud P , se desarrollan esfuerzos cortantes en la sección del remache correspondiente al plano EE' . Trazando los diagramas del remache y la porción localizada por encima del plano EE' , concluimos que la fuerza cortante V en la sección es igual a P . El esfuerzo cortante promedio de la sección se obtiene de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$\tau_{prom} = \frac{V}{A} = \frac{P}{A}$$

τ = Esfuerzo cortante Pa
 P = Fuerza N
 A = Area de sección transversal

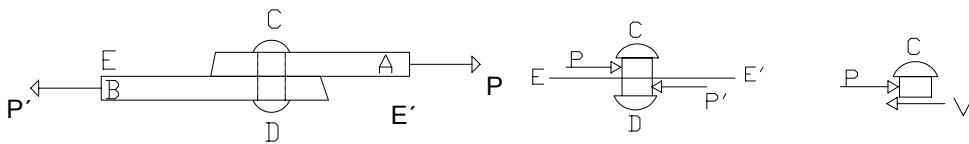


Fig. 2.3 Esfuerzos de corte.

El remache considerado trabaja a cortante simple. Sin embargo pueden presentarse otros casos de carga. Por ejemplo, si se usan las placas de separación C y D para conectar las placas A y B , el cortante ocurrirá en cada uno de los planos KK' y LL' del remache EG . Se dice que los remaches trabajan a cortante doble. Para determinar el esfuerzo cortante promedio en cada plano, dibujamos diagramas de cuerpo libre del remache EG y de la porción del

remache localizada entre los dos planos. Observando que la fuerza cortante V en cada sección vale $V=P/2$, concluimos que el esfuerzo cortante medio es:

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A} = \frac{F}{2A}$$

Fig. 2.4. Esfuerzos de cortadura doble.

Shigley, (1990). Los pernos, pasadores y remaches crean esfuerzos en los elementos que conectan, a lo largo de la superficie de apoyo o superficie de contacto. Por ejemplo consideremos de nuevo las dos placas A y B conectadas por el remache CD (Fig. 2.4). El remache ejerce en la placa A una fuerza P igual y opuesta a la fuerza F ejercida por la placa en el remache. La fuerza P representa la resultante de las fuerzas elementales distribuidas en el interior del medio cilindro de diámetro d y de longitud t igual el espesor de la placa. Puesto que la distribución de estas fuerzas y de los esfuerzos correspondientes es muy complicada, en la práctica se usa un valor promedio nominal σ_b del esfuerzo, llamado esfuerzo de apoyo, que se obtiene dividiendo la carga P por el área del rectángulo que representa la proyección del remache en la sección de la placa. Como esta área es igual a td siendo (t) el espesor de la placa y (d) el diámetro del remache (Fig. 2.4), tenemos:

$$\sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{td}$$

2.6.6 Propiedades mecánicas de los materiales

Para que las máquinas y estructuras funcionen adecuadamente, su diseño requiere que entendamos el comportamiento mecánico de los materiales usados. Por lo general la única manera de establecer el comportamiento de los materiales cuando están sometidos a cargas es hacer experimentos de laboratorio (Timoshenko, 1999).

El procedimiento usual es colocar pequeños especímenes del material de maquinas de prueba, aplicar las cargas y medir las deformaciones resultantes (cambios de longitud y diámetro). La mayoría de laboratorios de prueba de materiales están equipados con máquinas capaces de cargar los especímenes de diversas maneras; incluidas cargas estáticas y dinámicas y la carga de tensión y compresión (Timoshenko, 1999).

2.6.7 Diagrama esfuerzo-deformación.

Timoshenko, (1999). Después de efectuar una prueba de tensión o compresión y determinar el esfuerzo y la deformación unitaria para varias magnitudes de carga, podemos trazar un diagrama de esfuerzo Vs

deformación unitaria (Fig. 2.5). Tal diagrama esfuerzo-deformación unitaria es una característica del material particular que se está probando y contiene importante información sobre propiedades mecánicas y tipo de comportamiento. El acero estructural es uno de los metales mas usados y se encuentra en edificios, puentes, barcos, grúas, vehículos, etc. El diagrama comienza con una línea recta que van del origen O al punto A (Fig. 2.2a, Pag.14) lo que significa que la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en esta región inicial se comporta linealmente o proporcionalmente. Mas allá del punto A, la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria ya no existe. (Timoshenko, 1999).

Para aceros de bajo carbono varía de 30 – 50 Ksi (210 – 350 MPa), pero los aceros de alta resistencia varían o pueden tener límites proporcionales de mas de 80 Ksi (550 MPa). La pendiente de la línea recta de O a A se llama limite de elasticidad (Timoshenko, 1999).

Hibbeler, (1997). Menciona que las fases ocurridas en el diagrama esfuerzo deformación son:

- Comportamiento elástico: Se dice que la muestra responde elásticamente si retorna a su longitud o forma original, donde el esfuerzo es proporcional a la deformación.
- Fluencia: También llamada esfuerzo de fluencia, en esta fase ocurre una deformación plástica donde una carga ocasiona que el material cambie permanentemente las propiedades del mismo.

- Endurecimiento por deformación: Cuando termina la fluencia y se aplica más carga, el área de su sección transversal disminuye hasta el esfuerzo último.
- Estricción: en el esfuerzo último, el área de sección transversal comienza a disminuir, también se le llama formación del cuello. De aquí la curva del diagrama tiende hacia abajo hasta que la probeta se rompe.

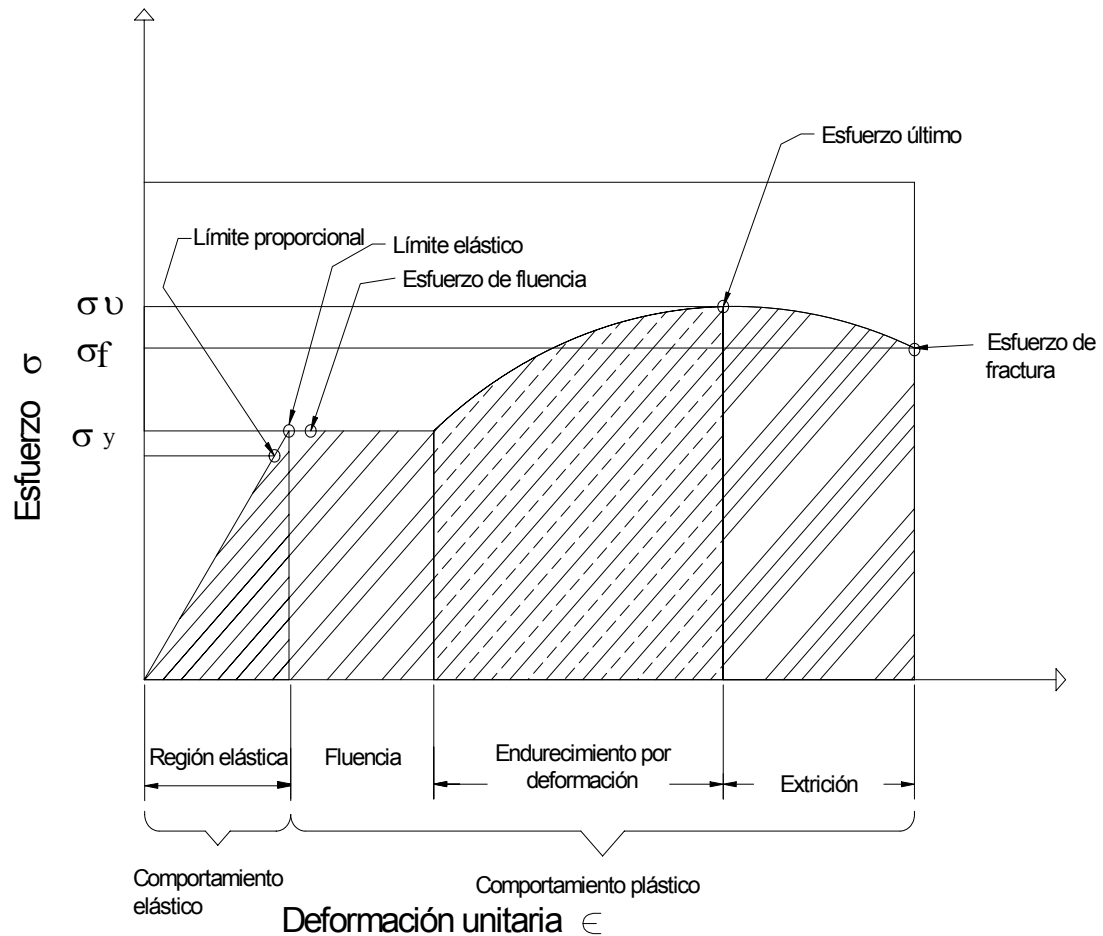


Figura 2.5 Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para materiales dúctiles.

2.6.8 Ensayo de materiales.

Fitzgerald, (1970). Las propiedades mecánicas describen cualidades de un material con respecto a otro a ciertas características. Para comparar materiales, se deben tener evaluaciones numéricas de estas cualidades. Se han desarrollado pruebas que establecen estas cualidades numéricas para las propiedades mecánicas.

Los resultados de los ensayos hechos sobre un material dado son afectados por cierto número de factores, tales como la rapidez de aplicación de la carga, el tamaño y la forma de los especímenes y la disposición del aparato. Para permitir una comparación de los resultados de ensayos sobre un material con los obtenidos a partir de los ensayos sobre otro material, los procedimientos de ensayo están normalizados por la ASTM (American Society for Testing Materials), donde especifica procedimientos que deben seguirse en laboratorios de ensayo, y también especifica la calidad y comportamiento de materiales específicos (Fitzgerald, 1970).

2.6.9 Maquinas de ensayo.

Fitzgerald, (1970). Para ejecutar los ensayos que darán por resultado las cantidades numéricas que miden las cantidades mecánicas, se debe de tener especímenes disponibles, medidos para determinar deformaciones

unitarias y máquinas de ensayo. Las máquinas de ensayo ejecutan dos principales funciones: Aplican la carga al espécimen y luego miden la carga aplicada. Se usan medidores de deformación de varios tipos para medir los cambios de longitud del espécimen, debidos a la aplicación de carga. Existen por su puesto, muchos y diferentes tipos de máquinas para efectuar los diferentes ensayos. Algunas máquinas llamadas “máquinas para un fin particular”, están diseñadas para efectuar solamente una función particular, tal como el ensayo por dureza o el ensayo por impacto. Otras máquinas se diseñan para ejecutar un cierto número de ensayos diferentes, tales como tensión, compresión y flexión. Las máquinas de este tipo se llaman máquinas de tipo universal. Es imperativo que la máquina de ensayo aplique la carga con una alineación adecuada y a una velocidad uniforme y controlable. La máquina también debe ser capaz de medir exactamente la carga aplicada en las etapas necesarias de la carga. Es igualmente importante para el experimentador el ser capaz de medir los pequeños cambios de longitud con la exactitud requerida. Para este fin se usa un medidor de deformaciones. Su operación puede estar basada en principios mecánicos, ópticos o eléctricos Fitzgerald, (1970).

2.6.10 http://www.cedex.es/lceym/eq_labce/eq_cmpre.html. Maquina de ensayo dinámica de 10.000 Kn.

Es una prensa universal dinámica de doble efecto. Su estructura resistente está formada por un bastidor, cuatro columnas y dos travesaños (Fig. 2.5).

Permite realizar ensayos con probetas de 5.000 mm, sus columnas están separadas 1.200 mm y permiten manipular muestras de gran tamaño.

Aplicaciones:

Ensayos a tracción, flexión, compresión y fatiga, en Materiales de construcción: Materiales metálicos, anclajes y sistemas de pretensado, perfiles metálicos materiales compuestos hormigones de altas prestaciones, hormigones de presas, rocas, etc.

Estudios estáticos y dinámicos de elementos constructivos: Tubos, pilares, vigas, paneles, ensayos de flexión y cortante, apoyos, punzonamiento, ensayos de simulación sísmica de carga, elementos de construcción antisísmica, hormigón confinado, nudos de edificación y elementos de puentes.

Características.

Funcionamiento:

En modo estático y dinámico con control de carga, de desplazamiento o control externo. Capacidad de carga en estático desde - 10.000 Kn hasta + 6.300 kN. Capacidad de carga en dinámico desde - 6.700 kN hasta + 6.300 kN Pistón de doble efecto, con una carrera de 400 mm.

Equipamiento:



Figura 2.6. Maquina universal.

Para tracción: Dos portagarras o mordazas de tipo hidráulico, superior o inferior.

Para compresión: Dos platos cuadrados, el inferior fijo y el superior provisto de

rótula esférica, para flexión: Puente horizontal para ensayos de flexión de 4.000

mm de longitud, para traslado: Un manipulador para probetas o piezas pesadas

y dos elementos para transporte pesado por colchón de aire.

2.7 Galgas extensométricas (strain gage).

Creus, (1998). Menciona que el principio de las galgas extensométricas se basa en la variación de la longitud y de diámetro, y por tanto de resistencia, que tiene lugar con un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión. Existen dos tipos de galgas extensométricas: Galgas cementadas formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegadas a una hoja base de cerámica, papel o plástico y galgas sin cementar en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial. En ambos tipos de galgas, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos. La

galga forma parte de un puente de Wheatstone y cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Se aplica al circuito una tensión nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente. El intervalo de medida de estos transductores varía de 0 – 0.6 a 0 – 10000 bar y su precisión es del orden de $\pm 0.5 \%$.

2.7.1 Extensómetros eléctricos (strain gage)

Measurements Group, (2000) <http://www.measurementsgroup.com>. La extensometría eléctrica ha sido usada en el análisis experimental de esfuerzos por más de 40 años y es probablemente la más usada, comprendida y aceptada que cualquier otra técnica experimental. El término Strain Gage es ahora generalmente aceptado, significa una resistencia eléctrica extensométrica. Pero en su más amplio significado abarca todos los dispositivos que pueden medir deformaciones bajo el uso de las propiedades eléctricas, mecánicas y ópticas que actualmente se conocen. Los extensómetros consisten en una longitud determinada de alambre plano y alargado y colocado entre dos puntos separados que están rígidamente fijos al material de ensayo. El alambre es conectado y se vibra su frecuencia natural por medio de un electroimán, el cual se usa además para recoger la frecuencia del monitor. La deformación es

medida como una función del cambio de frecuencia que bajo la tensión del alambre del orden de 4 a 6 pulgadas, no obstante algunos son tan pequeños como 2 pulgadas.

2.7.2 Tipos de Extensómetros eléctricos.

- Alambre de vibración (vw).
- Strain gage de capacitancia.
- El extensómetro piezoeléctrico.
- El extensómetro piezo-resistivo o semiconductor.
- Extensómetro de resistencia eléctrica.
- Strain gage de resistencia.

2.7.3 Materiales de los cuales se componen los extensómetros eléctricos

- ◆ Aleación Cobre Níquel.
- ◆ Aleación Cromo Níquel. Karman (Ni, Cr, Fe, Cu), Constantan, Advance.
- ◆ Platino - Tungsteno (8 % tungsteno) temperatura de 900 °C.
- ◆ Isoelastic (aleación).
- ◆ Manganin.

Material base:

- Epoxies.
- Fenólicos.
- Poliesteres.
- Polymides.

Measurements Group, (1992). Una laminilla de Strain Gage convencional consiste de la laminilla impresa de un material rolo de aproximadamente .0001 a .0002 pulgadas de espesor o en caso del platino – tungsteno es troquelado por las dificultades del proceso de impresión. El extensómetro debe tener pequeñas terminales, las cuales sobresalen al encapsulamiento.

2.7.4 Fundamentos para la selección de galgas extensométricas.

(MEASUREMENTS GROUP, 1992). La aleación constantan es la más usada, tiene alta sensibilidad o factor de galga, sin importar el nivel de deformación o temperatura. Su alta resistencia permite lograr valores de resistencia apropiada, aún en rejillas muy pequeñas y su coeficiente de temperatura en resistencia no es excesivo, tiene buena vida por fatiga y alta capacidad de elongación, tiende a exhibir cambios de temperatura superficial a 65 °C. Puede compensarse por temperaturas para cubrir un amplio rango de pruebas.

Constantan recocido (P aleación). Se usa en mediciones con grandes deformaciones 5% (50,000 $\mu\epsilon$), es muy dúctil y su longitud de galga es de 0.125 in (3 mm) y más largas pueden ser deformadas más de 20%. Limitante:

Deformación después de muchos ciclos debido al cambio de resistencia permanente.

Aleación isoelastica: Se usa cuando se han de hacer mediciones con deformación dinámica. La aleación D ofrece ventajas como vida superior en fatiga comparada con la aleación A y un alto factor de galga (3.2), lo que mejora la señal de ruido en la prueba dinámica.

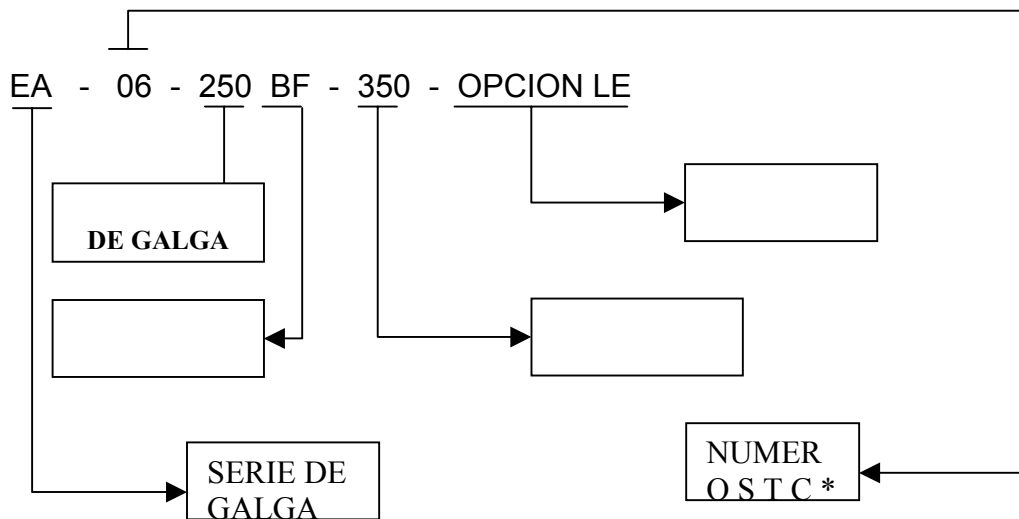


Figura 2.7. Código para la selección de extensómetros eléctricos, (ver apéndice D).

*(S.T.C.) Coeficiente de expansión térmico (ppm/°F).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Montaje de galgas extensométricas.

3.1.1 Preparación de la superficie

Measurements group, (2000). Las galgas extensométricas pueden ser montadas satisfactoriamente a casi cualquier material, si la superficie es preparada adecuadamente.

Existen muchas técnicas de preparación de superficies disponibles, los procedimientos y técnicas que a continuación se describen, fueron desarrollados cautelosamente y probadas por completo.

El propósito de preparar la superficie, es para desarrollar un área químicamente limpia en la muestra, obteniendo una aspereza apropiada de acuerdo a los requerimientos de instalación de las galgas como lo es una superficie alcalina, y el trazado de las líneas visibles para localizar y orientar las galgas. El sistema de preparación de superficies debe lograr los objetivos para aleaciones de aluminio y acero en 5 operaciones básicas.

- Aplicación de solvente desengrasante.
- Abrasión superficial.
- Trazado de líneas.
- Acondicionamiento de la superficie.
- Neutralización.

DEBE EVITARSE:

- ◆ Tomar la superficie de la gaga con los dedos.
- ◆ Limpiar hacia atrás y hacia delante o usar esponjas sucias.
- ◆ Arrastrar contaminantes al área limpia de las áreas que no se han limpiado.
- ◆ Permitir que una solución de limpieza se evapore en la superficie.
- ◆ Alterar el orden de los pasos a seguir en la preparación de la superficie y en el montaje.

3.1.2 Solventes desengrasantes.

La aplicación de desengrasante se lleva a cabo para remover aceites, grasas, contaminantes orgánicos y residuos solubles. El desengrasado debe ser siempre la primera operación, y puede llevarse a cabo usando un solvente como el desengrasante CSM-1. Se prefieren aplicaciones de rocío para evitar una contaminación de regreso del solvente padre. Use una esponja o algodón para limpiar el espécimen completo si es posible, o un área que cubra de 100 a 150 mm en todos los lados donde se ubique la galga.

3.1.3 Abrasión de la superficie.

La superficie es lijada para remover cualquier adherente pegado o suelto (escamas, herrumbre, pintura, laca, oxido, etc.), y desarrollar una textura superficial apropiada para el montaje. Para superficies gruesas o rugosas puede ser necesario comenzar con una máquina pulidora, arenador de disco o lima; pero para la mayoría de los especímenes una superficie adecuada puede ser producida solamente con papel de carburo de silicio de grano apropiado. Coloque una cantidad suficiente de acondicionador M-Prep A en el área de la galga y lije con papel de carburo de silicio 320 para aluminio o grano 220 para acero. Agregue el acondicionador A cuanto sea necesario para mantener la superficie húmeda durante el proceso de limpieza Fig. (3.1a). Cuando se produzca una superficie brillante, limpie la superficie con una esponja seca o con una gasa (Fig. 3.1b). Debe usarse una gasa limpia cada vez que limpie la muestra, debe limpiarse un área suficientemente grande para asegurar que los



(a)



(b)

Figura 3.1 **Abrasión de la superficie.**

contaminantes no sean arrastrados de nuevo al área de la galga durante los pasos siguientes.

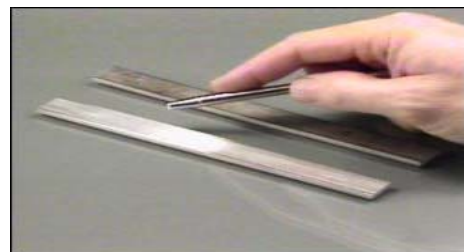
Repita el paso anterior usando un papel de carburo de silicio de grano 400 para aluminio; o 320 para acero.

3.1.4 Trazo de líneas.

La localización y orientación deseada para la galga extensométrica en la superficie de prueba, debe ser marcada con un par de líneas de referencia perpendiculares, cruzadas (Fig. 3.2a). Las líneas de referencia o trazos deben ser tenues, mas que remarcadas o marcadas sobre la superficie. Para aluminio, un lápiz de dureza media es suficiente, para la mayoría de aceros, una pluma de punto de bola o varilla de latón puede ser usada (Fig. 3.2b). Todos los residuos de las operaciones anteriores deben ser removidos en los siguientes pasos.



(a)

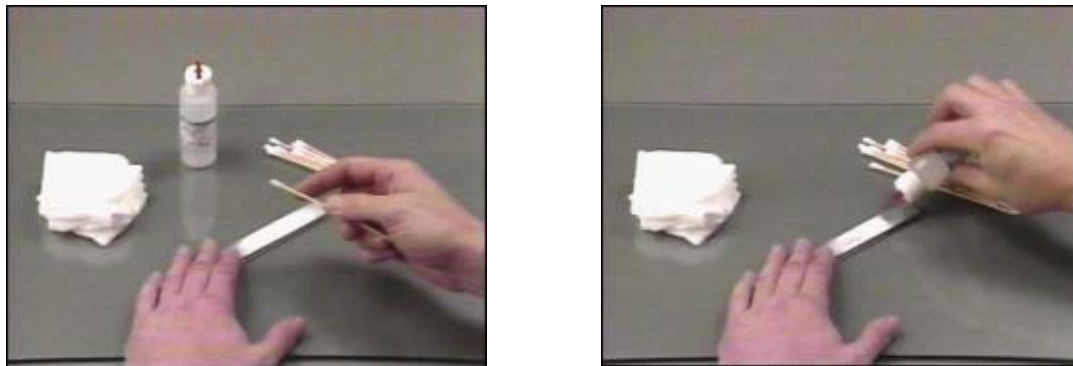


(b)

Figura 3.2 Trazo de líneas.

3.1.5 Acondicionamiento de la superficie.

Después de trazar las líneas, el acondicionador A debe ser aplicado repetidamente y la superficie se debe limpiar con cotonetes hasta que la punta no sea decolorada por el proceso de limpieza (Fig. 3.3a). La superficie debe mantenerse constantemente húmeda con el acondicionador A hasta que el proceso de limpieza sea completo (Fig. 3.3b). Cuando esté limpia



(a)

(b)

Figura 3.3. Acondicionamiento de la superficie.

la superficie, debe ser secada limpiando el área con una sola pasada lenta con esponja o gasa. El evento debe empezar dentro del área limpia para evitar el arrastre de contaminantes en el área circundante. Tire la gasa usada y con una gasa nueva haga un solo recorrido lento en dirección opuesta.

3.1.6 Neutralización.

Para proporcionar una alcalinidad óptima en la aplicación de adhesivos para galga extensométrica, las superficies limpias deben ser neutralizadas. Esto puede hacerse aplicando una cantidad suficiente de neutralizador M-Prep 5 A a

la superficie limpia y limpiando la superficie con Cotonetes (Fig. 3.4a). La superficie limpia debe mantenerse completamente húmeda con el neutralizador 5 A en el transcurso de esta operación. Cuando se neutraliza, la superficie se debe secar con un solo paso de gasa o esponja, tire la gasa y con otra nueva

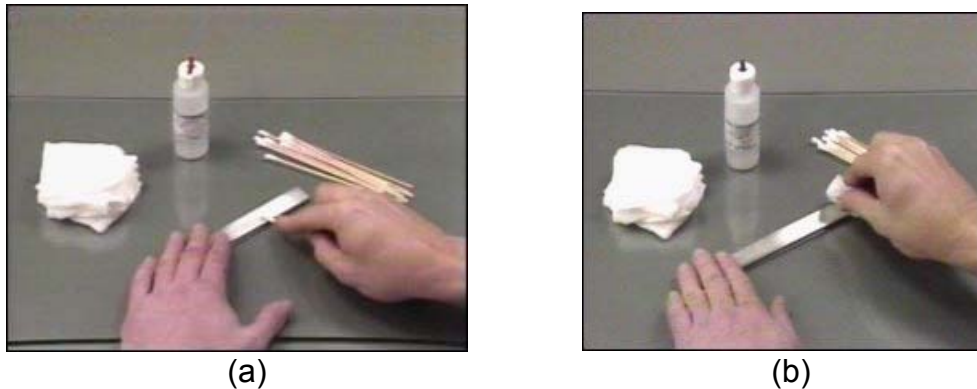


Figura 3.4 Neutralización de la superficie.

haga un solo paso en dirección contraria, siempre comience dentro del área limpia para evitar la recontaminación (Fig. 3.4b).

Si las instrucciones anteriores han sido seguidas con precisión, la superficie esta preparada apropiadamente para el montaje de la galga. Las galgas deben instalarse durante un lapso de 30 minutos en aluminio o 45 minutos en caso de acero.

3.1.7 Adhesión de la galga extensométrica.

La resistencia eléctrica en las galgas, es capaz de obtener sensibles y exactas indicaciones de deformación en la superficie de la parte examinada. El siguiente proceso nos ayuda a asegurar un montaje satisfactorio cuando se usa

el adhesivo M-bond 200. Si los pasos no se siguen correctamente es necesario que se repitan si deseamos obtener resultados precisos y constantes. La adhesión es importante en el desempeño de la galga y la pieza a probar.

3.1.8 Manejo y preparación.

Antes que todo, es necesario limpiar el área de la superficie preparada, si esta fue expuesta a la contaminación durante su manejo (si ocurre una contaminación, debe limpiar con un algodón humedecido o con un solvente bajo en residuos, semejante al M-line neutralizador 5A o GC-6 alcohol isopropilico). Deje secar la galga por varios minutos antes del montaje. Las galgas no deben tocarse nunca con las manos (Fig. 3.5a).



(a)

(b)

Figura 3.5 **Manejo y preparación para pegado.**

Remueva la galga extensométrica de su envoltura de acetato agarrando la orilla del fondo con pinzas (Fig. 3.5b) y colocándola en una placa de vidrio químicamente limpio (o la caja vacía de la galga) con el lado de adherencia de la galga hacia abajo, coloque las terminales apropiadas (si existen), al lado de

los bornes para soldadura, dejando un espacio de aproximadamente $\frac{1}{16}$ pulgadas (1.5 mm) entre el fondo de la galga y la terminal.

Usando una cinta de celofán M-LINE PCT-2 A de longitud de 4 a 6 pulgadas (100 a 150 mm), ancle un extremo de la cinta a la placa de vidrio atrás de la galga y la terminal. Presione firmemente la cinta sobre la galga y las terminales. Levante la galga y las terminales cuidadosamente, levantando la cinta a un ángulo aproximado de 30° a 45° , hasta que la cinta esté libre con la galga y la terminal de conexión. El ángulo ligero es importante para evitar una sobre tensión de la galga y produzca cambios permanentes en su resistencia.

Precaución: Algunas cintas pueden contaminar la superficie de montaje o reaccionan con el adhesivo de montaje. Use solamente cintas certificadas para instalaciones de galgas extensométricas. La galga extensométrica está ahora preparada para ser colocada en el espécimen de prueba. La posición del ensamble galga / cinta debe ser de tal forma que las marcas de alineación estén en triángulo sobre la galga a un ángulo ligero (Fig. 3.6), limpie el ensamble en la superficie del espécimen. Si el ensamble está desalineado,



Figura 3.6 Alineación para montaje de galga extensométrica.

levante la cinta de nuevo a un ángulo somero hasta que en el ensamble esté libre el espécimen, vuelva a posicionar y limpie el ensamble.

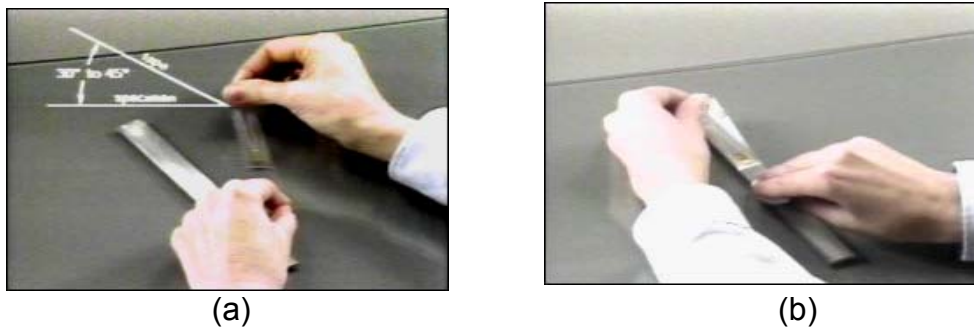


Figura 3.7 Verificación de alineación de galga extensométrica.

En la preparación para aplicar el adhesivo, levante el extremo opuesto de la cinta a los bornes para soldar a un ángulo somero hasta que la galga y la terminal estén libres del espécimen (Fig. 3.7a). Tome de abajo la cinta y presione la superficie, de esta manera la galga permanece plana del lado expuesto con el pegamento, pudiendo así aplicar el adhesivo apropiado (Fig. 3.7b).

3.8.9 Adhesivos.

Su Propósito es transmitir las deformaciones a la muestra del espécimen a la galga. Si esto no se hace, las lecturas de galga no tienen significado.



Figura 3.8 **Aplicación de catalizador.**

El catalizador debe ser aplicado en una capa delgada uniforme. Limpie el pincel en el borde de la botella por aproximadamente 10 segundos para remover residuos de catalizador. Ponga el pincel abajo del respaldo de la galga para deslizarlo. No aplique con el estilo de pintar, el pincel debe cubrir la superficie de la galga. Mueva el pincel para un área adyacente a la cinta previamente para levantar la superficie (Fig. 3.8). Deje que el catalizador se seque en un tiempo menor a un minuto bajo condiciones de ambiente normal de laboratorio. Los siguientes tres pasos deben ser hechos en una secuencia de 3 a 5 segundos. Lea estos pasos antes de proceder.



Figura 3.9 Aplicación de adhesivo M-bond 200.

Levante la parte baja de la cinta. Sostenga la galga sobre la cinta ensamblada en una posición fija, aplique una o dos gotas de adhesivo M-bond 200 al empalme de la cinta y la superficie del espécimen, cerca de $\frac{1}{2}$ pulgada (13 mm) al exterior del área actual de la instalación de la galga (Fig. 3.9).



Figura 3.10 Pegado de galga extensométrica.

Inmediatamente gire la cinta para aproximadamente un ángulo de 30° , de esta manera la galga es extendida sobre el área de instalación. Sosteniendo la cinta ligeramente tensa y comenzando por el fin del borne de la galga, lenta y firmemente haga un paso simple de presión sobre la galga en la cinta del

ensamble con una gasa limpia para llevar la galga hacia abajo sobre las líneas marcadas en la muestra (Fig. 3.10). Suelte la cinta.

Inmediatamente para completar el paso anterior, aplique una presión firme con el dedo pulgar en el área terminal y a la galga. Esta presión debe mantenerse aproximadamente por un minuto. Debemos esperar 2 minutos antes del siguiente paso (retirar la cinta).

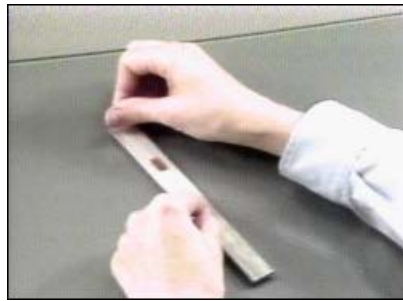


Figura 3.11 Remoción de la cinta adhesiva.

La galga y las terminales deben estar ahora pegadas al espécimen y podremos remover la cinta, levante la cinta y jale hacia atrás, despéguela lenta y firmemente hasta desprenderla completamente de la superficie del espécimen (Fig. 3.11).

3.1.10 Técnica para soldar.

Si la galga extensométrica está fuera de la encapsulación o está preadherida con cintas guía, oculte el área de rejilla de la galga con cinta, dejando solo los bornes expuestos. Después de que el cautín ha alcanzado su

temperatura de operación normal, limpie el extremo con una gasa y estáñela con soldadura fresca. Estañe los bornes de la galga y las terminales (si usa).

Derrita una pequeña cantidad de soldadura en la punta del caudín, coloque el alambre de soldadura a sobre del borne de la galga o la terminal de cobre. Coloque firmemente la punta del caudín por un segundo, levante la soldadura y el caudín simultáneamente, dejando un montículo plano, brillante y resplandeciente de soldadura en el borne, de otro modo repita el proceso.

Si se forman puntas en vez de gotas lisas, es señal de que existió un flujo inadecuado, o una inapropiada temperatura del caudín.

Para un cable de tres conductores de alambre, separe las guías individualmente a $\frac{3}{4}$ de pulgada (20 mm), desnude $\frac{1}{2}$ pulgada aproximadamente en ambos lados para estañar. No use navaja o cuchillo para cortar el aislamiento.

Ponga la cinta u otra cosa asegurando los alambres a la muestra para prevenir que los alambres se jalen accidentalmente y se despeguen los bornes. Debe colocarse un lazo entre la cinta y la conexión soldada.

Aplique una laca protectora sobre la galga completa y el área de la terminal.

La instalación apropiada de galgas extensométricas tienen una resistencia nominal para toma de tierra de menos de 10,000 a 20,000 megohms.

Es necesario verificar la perdida de resistencia con el examinador de instalación de galgas modelo 1300, altamente recomendado.

3.2 La metodología (Según Norton, 1999) en la que nos apoyamos para realizar el diseño es la siguiente:

- **IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD:** Este primer paso con frecuencia es realizado para usted por alguien, su jefe o su cliente, diciendo “lo que se necesita es...” típicamente este enunciado será breve y carente de detalles. Quedará muy lejos de proporcionarle un enunciado de problema estructurado.
- **INVESTIGACIÓN DE FONDO:** Esta es la fase más importante en el proceso y desgraciadamente suele ser la menos considerada. El término investigación nos lleva a recabar información del problema. Así mismo es deseable hallar si este, u otro similar ha sido resuelto antes, no se necesita reinventar la rueda. La mayoría de los ingenieros inexpertos conceden muy poca atención a esta fase y saltan rápidamente a la etapa de ideación o invención del proceso. ¡Esto debe evitarse! Hay que disciplinarse y no tratar de resolver el problema antes de estar bien preparado para hacerlo.
- **PLANTEAMIENTO DE LA META:** Una vez comprendido el fundamento del área del problema, se está listo para expresar el problema en un planteamiento de meta más coherente que debe ser esbozado con base a una visualización funcional.
- **ESPECIFICACIONES DE TAREA:** Cuando se comprende el funcionamiento y la meta es claramente establecida, se estará listo para formular un conjunto de especificaciones de funcionamiento y no especificaciones de diseño. La diferencia es que las especificaciones de funcionamiento definen

lo que el sistema debe hacer, en tanto las especificaciones de diseño definen como debe hacerse.

- IDEACIÓN E INVENCION: Este paso entraña diversión y frustración. Esta fase es potencialmente, la más satisfactoria para la mayor parte de los diseñadores, pero también la más difícil.
- ANÁLISIS: Una vez que se encuentre en esta etapa, se ha estructurado el problema, por lo menos temporalmente, y pueden aplicarse técnicas de análisis más refinadas para examinar la realización del diseño en la fase de análisis del proceso respectivo.
- SELECCIÓN: Cuando el análisis teórico indica que hay algunos diseños potencialmente viables, el óptimo o mejor disponible debe ser seleccionado para el diseño detallado, la creación de prototipos y las pruebas.
- DISEÑO DETALLADO: Este paso por lo general incluye la creación de un conjunto completo de dibujos de ensamble y de detalle, o de archivos de partes o elementos de diseño auxiliados por computadora (CAD) para todas y cada una de las partes empleadas en el diseño.
- ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS Y PRUEBAS:

Modelos: Finalmente no se puede estar seguro de la corrección o de la viabilidad de un diseño hasta que sea construido o probado. Esto generalmente necesita de la fabricación o elaboración de un modelo físico prototipo.

Pruebas: Los ensayos del modelo o prototipo pueden variar desde su funcionamiento simple y la observación de su operación, hasta conectar un

conjunto de instrumentos extensos para medir con precisión desplazamientos, fuerzas, velocidades, aceleración, temperaturas, etc.

→ **PRODUCCIÓN:** Finalmente con bastante tiempo, dinero y perseverancia, el diseño estará listo para la producción.

Siguiendo los lineamientos anteriores, obtuvimos el diseño de la máquina y se procedió a conseguir los materiales a para su construcción.

3.3 Funcionamiento.

El diseño de la máquina es relativamente sencillo, debido a las limitantes económicas de este proyecto. Consta de una base, dos soportes laterales, tres travesaños (uno fijo y dos móviles), un par de guías, un gato hidráulico con la adaptación de un manómetro para medir la presión de trabajo y ángulos para la sujeción de las probetas.

El sistema diseñado, permite aplicar cargas para realizar ensayos de tensión y compresión, el diseño de este sistema solo nos permite realizar ensayos en su rango elástico, por razones obvias de no poder aplicar grandes fuerzas.

La sencillez del diseño nos da un funcionamiento fácil del mismo. Primero se deben colocar las probetas (con una galga extensométrica montada) en los orificios de los ángulos para sujetarlos con los pasadores, posteriormente se procede a accionar el gato hidráulico hasta vencer la fuerza de fricción y el peso de la estructura móvil. Al obtener dicha presión, se debe registrar para contrarrestársela a la presión total, para obtener la presión neta

que se aplicará a la probeta. Para obtener la fuerza que se está aplicando se debe convertir la presión de kilogramos por centímetro cuadrado a kilogramos, para esto utilizaremos la fórmula siguiente:

$$F = P \times A$$

Donde:

P = Presión marcada por el manómetro (Kg/cm²).

A = Area del embolo del gato hidráulico (3.79 cm²).

F = Fuerza Kg.

Al obtener la fuerza que se aplica a la probeta y la lectura obtenida en el indicador de deformaciones, podrá obtenerse la relación de esfuerzo deformación en el rango elástico del material.

3.4 Material y equipo:

Cuadro 3.1 Material utilizado para la construcción:

Numero	Material	Medidas	Cantidad
1	Canal	3" x 1 1/2 "	160"
2	Redondo sólido	3/4 " φ	58"
3	Espárrago	3/4 " φ	20"
4	Angulo	1" x 1/8"	20"
5	Cuadrado sólido	1/2 "	55"
6	Cercha	1 1/4 " x 1/8 "	33"
8	Soldadura	E6013	1 Kg
9	Redondo sólido	1/4 φ	4 piezas
10	Gato hidráulico	Cap. 2 ton	1 pieza
11	Manómetro	Cap. 42 Kg/cm ²	1 pieza
12	Reductor		1 pieza
13	Tubo de cobre		1 pieza
14	Codo macho de 90°		1 pieza
15	Extensómetros eléctricos		4 piezas

Cuadro 3.2 Equipo utilizado en la construcción del banco de pruebas.

Número	Equipo
1	Taladro industrial (estacionario).
2	Machuelo 1/2 ".
3	Broca (³ / ₄ , ¹ / ₄ , ¹ / ₂).
4	Máquina para soldar.
5	Equipo de corte (oxiacetileno).
6	Pulidor.
7	Esmeril.
8	Segueta manual.
9	Pistola para pintura.
10	Equipo para instalación de galgas.
11	Probador de instalación de galgas modelo 1300.
12	Indicador de deformación MP 3500.

RESULTADOS

Probeta plana con chaflán.

Factor de concentración de esfuerzos geométrico K_t para una barra plana con chaflán a tensión axial.

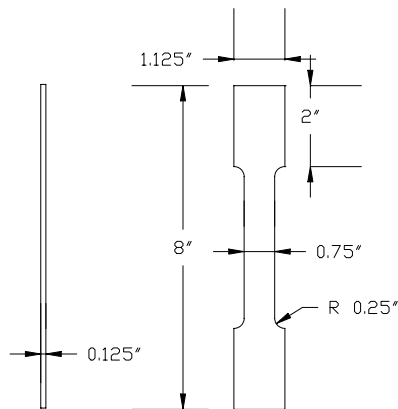
$$K_t \cong A \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE} \quad \text{Donde:}$$

ϵ = Deformación unitaria.

P = Fuerza aplicada (980.66 N).

E = Modulo de elasticidad (200 GPa)

A = Area de la sección transversal de la muestra ($50.4 \times 10^{-6} \text{m}^2$)



$$\frac{D}{d} = \frac{1.25}{0.75} = 1.6$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.25}{0.75} = 0.33$$

$$K_t = 1.5$$

$$\epsilon = \frac{980.6 \text{ N}}{(50.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(200 \text{ gpa})}$$

Fig. 4.1 Probeta plana con chaflán.

$$\epsilon = 97.28 \times 10^{-6}$$

$$\epsilon = (\epsilon)(K_t) = (1.5)(97.28 \times 10^{-6}) = 145.92 \times 10^{-6}$$

Resultado de la prueba:

$$\epsilon = 110 \mu$$

Probeta plana con muesca.

Factor de concentración de esfuerzos geométricos K_t para una barra plana con muesca de tensión axial.

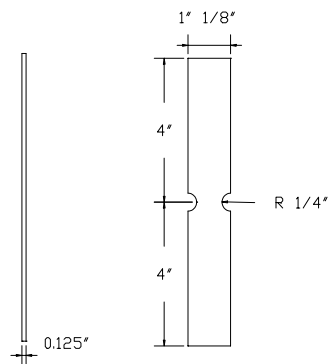
$$K_t \cong A \left(\frac{r}{d} \right)^b \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE} \quad \text{Donde:}$$

ϵ = Deformación unitaria.

P = Fuerza aplicada (980.6 N).

E = Modulo de elasticidad (200 GPa)

A = Area de la sección transversal de la muestra ($50.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$)



$$\frac{D}{d} = \frac{1.25}{0.75} = 1.6$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.25}{0.75} = 0.33$$

$$K_t = 1.7$$

$$\epsilon = \frac{980.6 \text{ N}}{(50.4 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(200 \text{ gpa})} = 97.28 \times 10^{-6}$$

Fig. 4.2 Probeta plana con muesca.

$$\epsilon = (\epsilon)(K_t) = (1.7)(97.28 \times 10^{-6}) = 165.38 \times 10^{-6}$$

Resultado de la prueba:

$$\epsilon = 120 \mu$$

Errores de medición:

Ninguna medición se puede realizar con exactitud perfecta. Un estudio de errores es el primer paso al buscar modos para reducirlos con objeto de establecer la exactitud de los resultados finales.

Existen varios tipos de errores, Los más comunes son: Errores de tipo sistemático (se deben a la falla de los instrumentos), y los de tipo humano (mala lectura, ajuste incorrecto equivocación en cálculos).

El error de lectura del manómetro es aproximadamente de 6.28%.

La fuerza necesaria para vencer el peso de la estructura movable del banco es de 11.37 Kg.

El coeficiente de rozamiento dinámico de acero con acero es de 0.42 seco y 0.12 - 0.029 lubricado.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a los resultados obtenidos analíticamente y experimentalmente, se tienen las siguientes conclusiones:

- El diseño del banco de pruebas al ser demasiado sencillo, resulto un tanto rígido, debido a que está diseñado solo para ensayos de tensión y compresión axial dentro del rango elástico.
- Los resultados obtenidos con el medidor de deformaciones son constantes, es decir, al hacer repeticiones con la misma carga, el resultado en la deformación fue aproximadamente el mismo.
- La desviación existente entre los cálculos realizados y los valores obtenidos con el medidor de deformación, se debe principalmente a errores sistemáticos y de construcción del banco de pruebas, en el cual contrasta la precisión del medidor de deformación contra la graduación del manómetro.
- Los procedimientos para la preparación y montaje de las galgas extensométricas, se realizaron de acuerdo a lo indicado por Measurements group, obteniendo un resultado aparentemente bueno.
- Considerando los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se puede decir que el diseño y procedimientos realizados cumplen nuestras expectativas en un alto porcentaje.

LITERATURA CITADA

Centro Internacional de Tsukuba (sección de maquinaria agrícola), Aplicación de las galgas extensométricas a la maquinaria agrícola, 1999.

Creus Antonio, Instrumentación industrial. 6ª edición, Editorial Alfaomega Grupo editor S. A. De C. V. México 1998.

Davis E. Harmer, G. E. Troxel, C. T. Wiskocil, Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería. Compañía editorial Continental S. A., México 1978.

Ferrer A. Y Jiménez G., Análisis de esfuerzos. Centro de graduados del Instituto Tecnológico de Querétaro, 1984.

F. P. Beer y Johnston, Jr., Mecánica de Materiales, Editorial. McGraw-Hill, México 1991.

Gere - Timoshenko, Mecánica de materiales segunda edición.
Editorial Iberoamérica, 1986.

Gere - Timoshenko, Mecánica de materiales cuarta edición.
Editorial Iberoamérica, 1999.

Hall, Hollowenko, Laughlin. Diseño de máquinas. Editorial McGraw Hill. 1974

Hibbeler R. C., Mecánica de materiales, tercera edición, Editorial Prentice Hall, México 1997.

James W. Dally, W. F. Riley, Experimental stress analysis, Ed. McGraw Hill,
Tokio Japón, 1978.

John Deere, Fundamentos de servicio, Soldadura, Publicaciones de servicio
John Deere, 1980, Moline Illinois E.U.A.

**Shigley E. Joseph, Larry D. Mitchel. Diseño de ingeniería
mecánica, cuarta edición, Editorial McGraw Hill.**

M.F. Spots, T. E. Shoup, Elementos de Máquinas 7ª Edición, Editorial McGraw-
Hill, México 1999.

Measurements Group Vishay, student manual for strain gage technology,
Measurements group 1992.

OMEGA, Pressure and strain measurement handbook and encyclopedia,
Omega Engineering, INC. USA, 1985.

Ramírez Espinoza Martín (Tesis), Determinación del esfuerzo cortante y
potencia, en las labores primarias con la utilización de galgas
extensométricas en suelos de la UAAAN, 1991.

Robert L. Norton, Diseño de máquinas, Editorial Prentice Hall, 1999.

Robert L. Norton, Diseño de maquinaria, 1998. Editorial McGraw Hill. 1ª Edición

Robert L. Norton, Machine Desing, 1996, Editorial Prentice Hall, U.S.A.

**Robert W. Fitzgerald. Resistencia de Materiales, Editorial Representación
y servicios de ingeniería, S. A. México 1970.**

Metals Hand Book, Ninth edition, Vol 8, Mechanical Testing.

**Measurements group, Strain gage selection, tech note (TN 505-4),
measurements group, Inc, 1998.**

William D. Cooper, A. D. Elfrick Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición, Editorial Prentice Hall, México 1991.

http://www.cedex.es/lceym/eq_labce/eq_cmpre.html

<http://www.measurementsgroup.com> (Febrero 2000).

<http://www.measurementsgroup.com/gages/mm.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/training/tp.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/schools/edu.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/meters/inst.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/pubs/tl.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/pubs/tnotes.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/cs/cs.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/guide/tn/tn501/501index.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/guide/tn/tn501/501a.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/meetings/mtgs.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/ue/ue1199/ue1199.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/schools/notebook.htm>

<http://www.measurementsgroup.com/guide/notebook/index.htm>

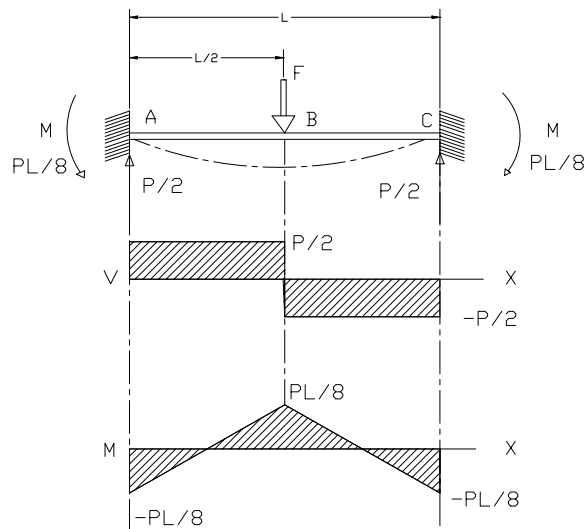
<http://www.measurementsgroup.com/guide/inst/p3500/p3500.htm>

APENDICES

Apéndice A. Cálculos del diseño

Los cálculos para el diseño son los siguientes:

Como el canal central es quién soporta la carga aplicada por el gato se tomó como una viga doblemente empotrada con carga central.



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$M_1 = M_2 = -\frac{FL}{8}$$

$$V_{AB} = -V_{BC} = \frac{F}{2}$$

$$M_{AB} = \frac{F}{8}(4x - L)$$

$$M_{BC} = \frac{F}{8}(3L - 4x)$$

$$Y_{AB} = \frac{Fx^2}{48EI}(4x - 3L)$$

$$Y_{max} = -\frac{FL^3}{192EI}$$

Donde:

Y_{max} = Deformación máxima.

F = Carga aplicada (1569 N).

L = longitud de la viga (0.3048 m).

E = Modulo de elasticidad del material (200 GPa).

I = Momento de inercia ($8.32 \times 10^{-8} \text{ m}^4$).

Nota: La carga de 160 Kg se consideró por ser la máxima que registra el manómetro debido a su capacidad (4.118 MPa).

$$Y_{max} = \frac{(15969N)(0.3049m)^3}{(192)(200 \times 10^9 Pa)(8.32 \times 10^{-8} m^4)}$$

$$Y_{max} = 1.391 \times 10^{-5} m$$

Cálculo del esfuerzo cortante en los pasadores de la probeta.

Considerando que el pasador que sujeta a la probeta está a cortante doble tenemos:

$$\tau_{prom} = \frac{P}{A}$$

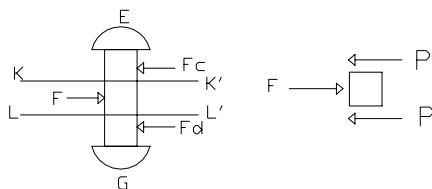
Donde:

τ_{prom} = Esfuerzo promedio.

P = Carga aplicada (1569 N.)

A = Area transversal del pasador ($1.2468 \times 10^{-5} m^2$).

$$\tau_{prom} = \frac{160Kg}{01283cm^2} = 1283Kg/cm^2 = 125.8Mpa.$$



Apéndice B. Dibujos del diseño.

Apéndice C.

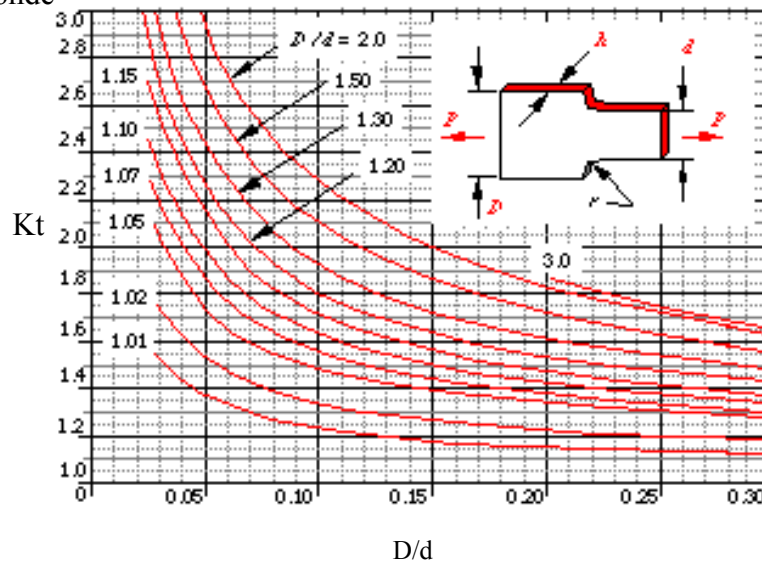
Factor de concentración de esfuerzos:

Factor de concentración de esfuerzos K_t para una barra con chaflán sujeto a tensión axial.

$$K_t \cong A \left(\frac{r}{d} \right)^b$$

$$K_t \cong A \left(\frac{r}{d} \right)^b$$

Donde



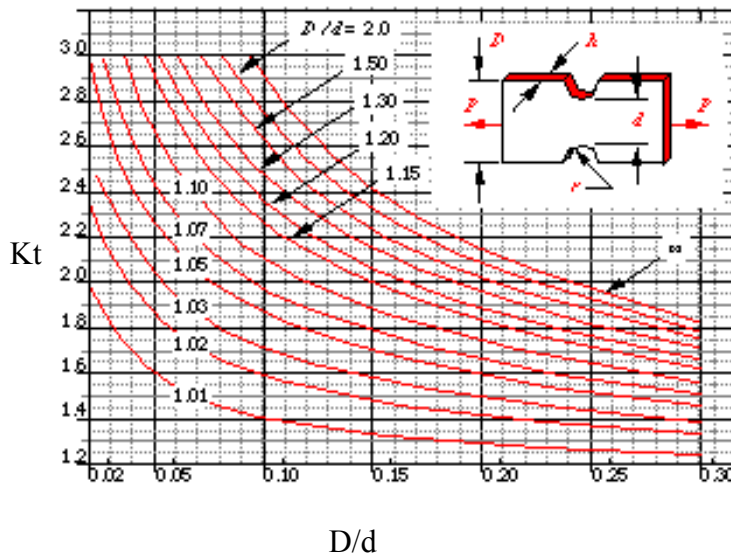
D/d	A	b
2.00	1.09960	-0.32072
1.50	1.07690	-0.29558
1.30	1.05440	-0.27021
1.20	1.03510	-0.25084
1.15	1.01420	-0.23935
1.10	1.01300	-0.21535
1.07	1.01450	-0.19366
1.05	0.98797	-0.13848
1.02	1.02590	-0.16978
1.01	0.97662	-0.10656

Factor de concentración de esfuerzos Kt para una barra con muesca en tensión axial.

$$K_t \cong A \left(\frac{r}{d} \right)^b$$

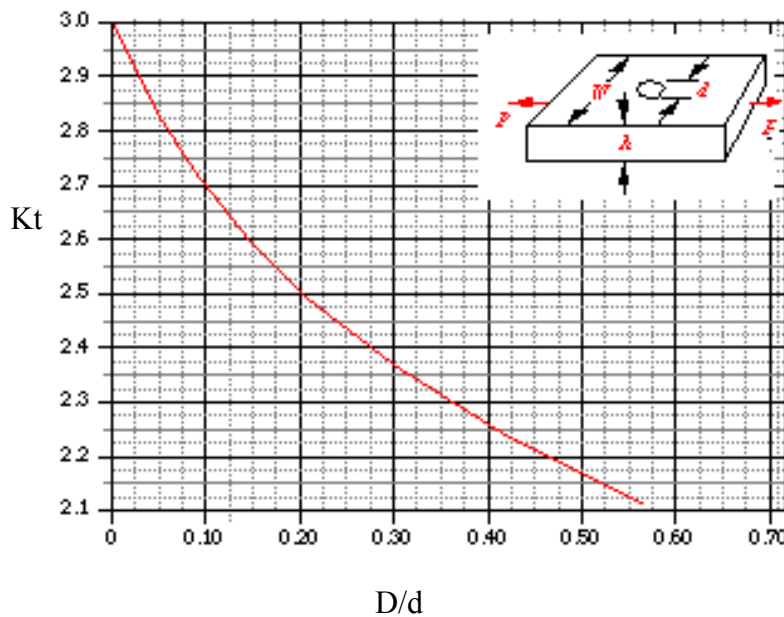
$$K_t \cong A \left(\frac{r}{d} \right)^b$$

Donde:



D/d	A	b
---	1.10950	-0.41712
3.00	1.11990	-0.40923
2.00	1.13390	-0.38586
1.50	1.13260	-0.36592
1.30	1.15860	0.33260
1.20	1.14750	-0.31507
1.15	1.09530	-0.32517
1.10	1.08510	0.29997
1.07	1.09120	-0.20857
1.05	1.09060	-0.24163
1.03	1.05180	-0.22216
1.02	1.05400	-0.16879
1.03	1.04260	-0.14145

Factor de concentración de esfuerzos Kt para una barra con taladro bajo tensión axial.



Para: $\frac{d}{W} \leq 0.65$

$$K_t \cong 3.0039 - 3.753 \frac{d}{W} + 7.9735 \left(\frac{d}{W} \right)^2 - 9.2659 \left(\frac{d}{W} \right)^3 + 1.8145 \left(\frac{d}{W} \right)^4 + 2.9682 \left(\frac{d}{W} \right)^5$$

APENDICE D

Criterios para la selección de galgas extensométricas:

Las características de operación e instalación de una galga extensométrica son afectadas por los siguientes parámetros; los cuales son seleccionables en varios grados:

- ◆ Sensibilidad a la deformación de la aleación.
- ◆ Material de recubrimiento.
- ◆ Tamaño de galga extensométrica.
- ◆ Patrón de galga extensométrica.
- ◆ Numero de compensación de temperatura.
- ◆ Resistencia de la rejilla.
- ◆ Opciones.

Básicamente el proceso de selección de galgas consiste en la determinación de la combinación particular de parámetros, los cuales deben ser compatibles con el medio y otras condiciones de operación, y al mismo tiempo satisfacer las limitantes de instalación y operación.

Serie de galga: Describe el propósito, incluyendo la aleación y el recubrimiento de la galga extensométrica.

Longitud de galga: Nos indica el tamaño de la galga, de acuerdo a las diferentes aplicaciones Micro Measurements cuenta con galgas de 0.008 in (0.2 mm) a 4 in (100 mm).

Patrón de galga: Refiere a la figura o forma de la rejilla, así como en número y orientación de rejilla.

Consideración de parámetros en la selección de galgas extensométricas.

Pasos	Consideraciones
Paso 1 Longitud de la galga extensométrica	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Gradiente de deformación. ◆ Área de deformación máxima. ◆ Exactitud requerida. ◆ Estabilidad en deformación estática. ◆ Elongación máxima.

	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Resistencia cíclica. ◆ Disipación de calor. ◆ Espacio para instalación. ◆ Facilidad de instalación.
Paso 2 Patrón de galga	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Inclinación de deformación (en el plano). ◆ Biaxialidad de la tensión. ◆ Disipación de calor. ◆ Espacio para instalación. ◆ Facilidad de instalación. ◆ Disponibilidad de resistencia de galga.
Paso 3 Serie de galga	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tipo de aplicación (Medición de deformación estática o dinámica). ◆ Temperatura de operación. ◆ Duración de la prueba. ◆ Resistencia cíclica. ◆ Exactitud requerida. ◆ Facilidad de instalación
Paso 4 Opciones	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tipo de medida (dinámica o estática). ◆ Ambiente de instalación (Laboratorio o campo). ◆ Requerimientos de estabilidad. ◆ Sensibilidad a la soldadura (hueso, plástico). ◆ Espacio para instalación. ◆ Tiempo límite de instalación.
Paso 5 Resistencia de galga	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Disipación de calor. ◆ Sensibilidad del alambre conductor. ◆ Señal de ruido.
Paso 6 Numero de coeficiente de expansión térmica (S.T.C.)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Prueba del material del espécimen. ◆ Rango de temperatura de operación. ◆ Exactitud requerida.

Measurements group tech note (TN 505-4), 1998.

Coeficiente de expansión térmica de materiales en la ingeniería.

Material en expansión	Descripción recomendada	Coeficientes (S-T-C)
Alumina,	Fired 3.0 ppm/° F (5.4 ppm/° C)	03
Aluminum Alloy,	2024-T4*, 7075-T612.9 ppm/° F (23.2 ppm/° C)	13*

Beryllium, unalloyed	6.4 ppm/° F (11.5 ppm/° C)	06
Beryllium Copper,	Cu 75, Be 259.3 ppm/° F (16.7 ppm/° C)	09
Brass, Cartridge	Cu 70, Zn 3011.1 ppm/° F (20.0 ppm/° C)	13
Bronze, Phosphor,	Cu 90, Sn 1010.2 ppm/° F (18.4 ppm/° C)	09
Cast Iron, Gray	6.0 ppm/° F (10.8 ppm/° C)	06
Copper, pure	9.3 ppm/° F (16.7 ppm/° C)	09
Glass, Soda, Lime, Silica	5.1 ppm/° F (9.2 ppm/° C)	05
Inconel,	Ni-Cr-Fe alloy 7.0 ppm/° F (12.6 ppm/° C)	06
Inconel X	Ni-Cr-Fe alloy 6.7 ppm/° F (12.1 ppm/° C)	06
Invar	Fe-Ni alloy 0.8 ppm/° F (1.4 ppm/° C)	00
Magnesium Alloy	AZ-31B 14.5 ppm/° F (26.1 ppm/° C)	15*
lybdenum*, pure	Mo 2.2 ppm/° F (4.0 ppm/° C)	03*
Monel, Ni-Cu alloy	7.5 ppm/° F (13.5 ppm/° C)	06
Nickel-A, Cu-Zn-Ni alloy	6.6 ppm/° F (11.9 ppm/° C)	06
Quartz, fused	0.3 ppm/° F (0.5 ppm/° C)	00
Steel, Alloy,	4340 6.3 ppm/° F (11.3 ppm/° C)	06
Steel, Carbon,	1008, 1018* 6.7 ppm/° F (12.1 ppm/° C)	06*
Steel, Stainless, Age Hardenable	(17-4PH) 6.0 ppm/° F (10.8 ppm/° C)	06
Steel, Stainless, Age Hardenable	(17-7PH) 5.7 ppm/° F (10.3 ppm/° C)	06

Steel, Stainless, Age Hardenable	(PH15-7Mo) 5.0 ppm/° F (9.0 ppm/° C)	05
Steel, Stainless, Austenitic	(304*) 9.6 ppm/° F (17.3 ppm/° C)	09*
Steel, Stainless, Austenitic	(310) 8.0 ppm/° F (14.4 ppm/° C)	09
Steel, Stainless,	(316) 8.9 ppm/° F	09

Austenitic	(16.0 ppm/° C)	
Steel, Stainless, Ferritic	(410)5.5 ppm/° F (9.9 ppm/° C)	05
Tin, pure1	3.0 ppm/° F (23.4 ppm/° C)	13
Titanium, Pure	4.8 ppm/° F (8.6 ppm/° C)	05
Titanium Alloy,	6Al-4V*4.9 ppm/° F (8.8 ppm/° C)	05*
Titanium Silicate Polycrystalline	0.0 ppm/° F (0.0 ppm/° C)	00*
Tungsten, Pure	2.4 ppm/° F (4.3 ppm/° C)	03
Zirconium, Pure	3.1 ppm/° F (5.6 ppm/° C)	03

Measurements group 1998.

APENDICE E

Indicador de deformación portátil modelo P3500.



Fig. 7.1 Medidor de deformación P3500.

Especificaciones:

Rango: ± 19999 microdeformaciones en un factor de galga de >6.000
 $\pm (6.000/GF) \times 19999$ microdeformaciones en un factor de galga >6.000

Los rangos se incrementan cuando se usa el botón de múltiplos de 10.

Ejemplo: ± 199990 en un factor de galga >6.000

Exactitud: $\pm 0.05\%$ de lectura ± 3 microdeformaciones para un factor de galga de 1.000 a 9.900. $\pm 0.05\%$ de lectura ± 20 microdeformaciones para un factor de galga de 1.000 a 9.900 cuando se usa n múltiplos de 10.

Sensibilidad (resolución): ± 1 microdeformación en todos los factores de galga. ± 10 microdeformación cuando se usa el múltiplo de 10.

Factor de galga: Con un rango de 0.500 a 9.900 con una precisión de resolución de 0.001 por 10 vueltas del potenciómetro y botón de cuatro posiciones.

Exactitud de factor de galga de $\pm 0.02\%$.

Balance: Botón de 5 posiciones; de ± 2000 microdeformaciones y ± 4000 (GF=2.000). Tolerancia de $\pm 1\%$ nominal. Potenciómetro de 10 vueltas, con un mínimo de ± 1050 microdeformaciones. Posición del cero del calibrador del potenciómetro con ± 2 microdeformaciones.

Excitación del puente: 2.0 Vdc $\pm 0.1\%$. Con una estabilidad de temperatura de $\pm 0.02\%$ por grado centígrado.

Configuración del puente: Con un circuito de cuarto, medio y puente completo. El puente interno está provisto de 120/1000 ohm y 350 ohm en un cuarto de puente, 60 a 2000 en medio puente o puente completo.

Energía: En un paquete interno contiene 6 pilas de tamaño D, con una vida nominal de 300 horas.

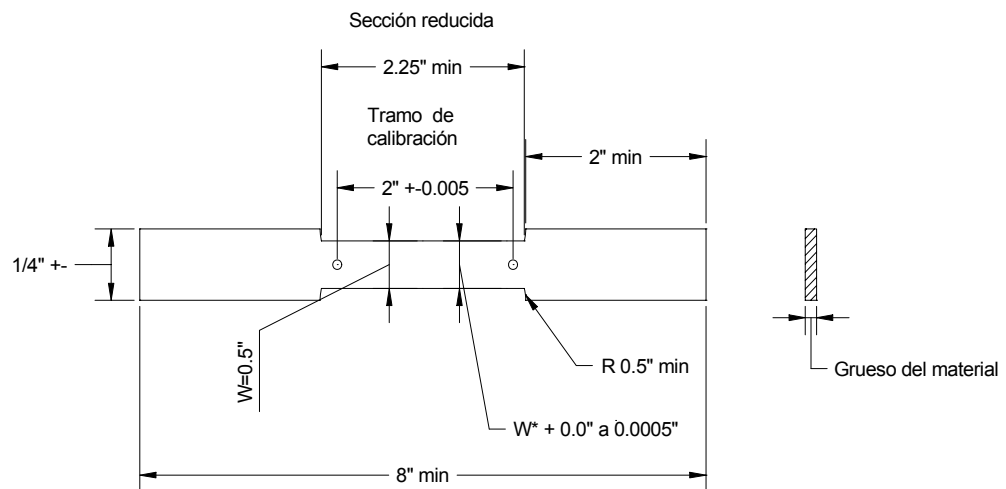
Tamaño y peso: 9 x 6 x 9 pulgadas, peso 6 libras incluyendo baterías

Accesorios: adaptador de voltaje para 115 volts o 230 volts. Operación de 50 o 60 hertz, 60/30 mA.

Para mayor detalle consultar:
<http://www.measurementsgroup.com/guide/inst/p3500/p3500.htm>

Apéndice F.

Probeta rectangular estándar para ensayo de materiales en forma de placa con un grosor de 0.005. a $\frac{5}{8}$ de pulgada.



* Adelgazamiento gradual desde los extremos de la sección reducida hasta el tramo central.

Forma normalizada según la ASTM (American Society for Testing Materials) de probetas para ensayos de tensión en metales dúctiles (ASTM E8).

Característica de galgas extensométricas más comunes.

GAGE SERIES	DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN PRIMARIA	GAMA DE TEMPERATURA	RANGO DE DEFORMACIÓN	VIDA DE FATIGA	
				Nivel de deformación en $\mu\epsilon$	No. de ciclos
EA	Laminilla de constantan en combinación con fondo de polimide, flexible y tenaz. Amplia gama de opciones disponibles para propiedades de análisis de esfuerzos dinámicos y estáticos, no se recomienda par transductores de alta exactitud.	Normal (-75 a 175 °C). De termino corto especial (-195 a 205 °C).	+3 % para longitudes de galga inferiores a $\frac{1}{8}$ in (3.2 mm), +- 5 % para $\frac{1}{8}$ in y más.	+ - 1800 + - 1500 + - 1200	10^5 10^6 10^8
CEA	Universal General-purpose strain gages. La rejilla de Constantan está completamente encapsulada en polimide, con alta rugosidad en terminales recubiertas de cobre. El propósito general de su uso es principalmente para análisis de tensión en sistemas estáticos y dinámicos. Las galgas tipo C son ilustradas en todas las listas de galgas del catalogo 500.	Normal: (-75 a 175 °C) Limite para rosetas apiladas: (65 °C).	+ - 3% para galgas bajo longitudes de $\frac{1}{8}$ in (3.2 mm). + - 5% para $\frac{1}{8}$ in o más.	+ - 1500 + - 1500	10^5 10^6
				* La vida de fatiga puede mejorarse usando un bajo modulo de soldadura.	
WA	Son galgas de constantan totalmente encapsuladas con mucha paciencia en las puntas de alambre. Son útiles para una amplia gama de temperaturas y en ambientes más extremos que la serie EA. La opción W está disponible en algunos modelos, pero para algunas magnitudes se restringe la vida de fatiga.	Normal: (-75 a 205 °C) Especial o short-Term: (-195 a 260 °C)	+ - 2%	+ - 2000 + - 1800 + - 1500	1 0^5 1 0^6 1 0^7

Measurements group.