

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN
METALES A TEMPERATURA AMBIENTE PARA LOS
DIFERENTES ENSAYOS ESTATICOS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ADMINISTRADOR
PRESENTA

Gilberto Ernesto Arizpe Cantú

MONTERREY, N. L.

NOVIEMBRE DE 1976

T
TA405
A7
C.1



1080072265

ING. ROBERTO A. MIRRELES PALOMARES
10 DE DICIEMBRE DE 1976
2^{do} VOCAL



BIBLIOTECA



BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD EN
METALES A TEMPERATURA AMBIENTE PARA LOS
DIFERENTES ENSAYOS ESTATICOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ADMINISTRADOR
PRESENTA

Gilberto Ernesto Arizpe Cantú

MONTERREY, N. L.

NOVIEMBRE DE 1976

T
TA405
A7

FECHA: 9/Dic/97
DONADO POR: Biblioteca
"Iny. Guadalupe E
Cedillo Garza"
UANL FINE BIBLIOTECA



Dedico esta tesis,

Como un testimonio de mi eterno cariño y gratitud

A mis Padres:

Sr. Gilberto Arizpe Rdz.

Sra. Gloria N. Cantú de Arizpe

A ellos que no escatimaron esfuerzo alguno por encaminarme por el sendero de la verdad, y que gracias a sus sacrificios y a su continuo apoyo he podido lograr la consumación de la presente, y a su vez les doy las gracias por haberme legado el tesoro más preciado:

MI EDUCACION Y MI CARRERA PROFESIONAL.

A mis Hermanos:

Ing. Gerardo G. Arizpe C.

C.P.T. José Sergio Arizpe C.

C.P.T. Carlos Javier Arizpe C.

C.P.T. Ma. del Carmen Arizpe C.

Que en los momentos más difíciles, así como en los de plena dicha, no dejaron de alentarme con su entusiasmo y amistad.

A mi Novia:

Srita. Adriana E. González Lozano

Con amor y Respeto

A mis Familiares

A mis amigos

A mis compañeros de Tesis:

José Luis Vega Farías

Miguel Angel Gracia E.

Javier G. Villarreal S.

*Que con su ayuda brindada co
laboraron plenamente en la -
realización de este escrito.*

A mis Asesores y Amigos:

Ing. Felipe Fuentes Espinosa

Ing. Rodolfo Ayala Estrada

Que con su ayuda desinteresada
ayudaron plenamente en la solu
ción de los problemas surgidos
en la presente.

A mi Facultad

Al H. Jurado

* I N D I C E *

Prólogo

Símbología

CAPITULO I.- Relación entre: Cargas, esfuerzos y Deformaciones.

1.1	Introducción -----	1
1.2	Clasificación de Estados de Carga-----	4
1.3	Relación Fuerza-Desplazamiento-----	5
1.4	Relación Esfuerzo-Deformación Unitaria-----	9
1.5	Relación Esfuerzo-Deformación Unitaria- para otros Materiales-----	19
1.6	Elasticidad-----	22
1.7	Plasticidad-----	25
1.8	Relación de Esfuerzo Verdadero y Defor- mación Natural-----	26

CAPITULO II.- Rigidez.

2.1	Módulo de Elasticidad -----	29
2.2	Velocidad de Aplicación de Carga-----	31

CAPITULO III.- Condiciones Generales.

3.1	Selección del Sistema Aplicador de Carga	37
3.2	Selección del Sistema Medidor de Defor- mación-----	46
3.3	Selección de Probetas-----	58
3.4	Selección de Strain-Gage-----	60
3.5	Preparación de Probetas-----	67
3.6	Condición de Ambiente-----	70

<i>CAPITULO IV.- Módulo de Elasticidad en Metales a Tensión.</i>	
4.1 Estadística de Prueba-----	74
4.2 Cálculo del Módulo de Elasticidad-----	83
4.3 Conclusiones-----	85
 <i>CAPITULO V.- Módulo de Elasticidad en Metales a Compresión.</i>	
5.1 Estadística de Prueba-----	87
5.2 Cálculo del Módulo de Elasticidad-----	93
5.3 Conclusiones-----	95
 <i>CAPITULO VI.- Módulo de Elasticidad en Metales a Corte.</i>	
6.1 Clasificación de Estados de Carga-----	96
6.2 Relación de Esfuerzo-Deformación Unitaria	98
6.3 Relación de Poisson para varios Materiales	104
6.4 Deducción del Módulo de Corte-----	106
6.5 Conclusiones-----	108
 <i>CAPITULO VII.- Instructivo Propuesto para Prácticas.</i>	
7.1 Objetivo -----	111
7.2 Instructivo-----	112
Bibliografía -----	125

* P R O L O G O *

El mundo industrial y técnico se preocupa cada vez más por los ensayos. En términos generales, los ingenieros, los diseñadores, los constructores, administradores industriales y arquitectos, están familiarizados con la idea del ensaye y confían cada vez más en los ensayos como base para optar decisiones importantes.

En vista del importante lugar que la realización de ensayos ha alcanzado en el mundo técnico, es apropiado dedicar algún tiempo al estudio del ensaye como tema por sí mismo. Un curso que involucre el ensaye de materiales posee un sitio aceptado en todos los planes de estudios de ingeniería universitarios.

Se ha intentado en este escrito glosar en forma condensada la información más importante sobre los diferentes ensayos es tá ticos con el fin de proporcionar al estudiantado una idea más general sobre estos ensayos. Dentro de esta información se ha in cl uído una descripción detallada de la Máquina Universal, Aparatos y Aditamentos así como los procedimientos para efectuar los tipos de prueba a tratar.

Es por eso que en este escrito nos ha parecido importante señalar los objetivos principales, considerando los factores más importantes que intervienen para lograr el progreso en la industria, tratando de exhortar a los futuros ingenieros que pas arán a formar parte integrante, con el ingenio de su profesión, -- de ese México progresista en la Internacionalización de la Indus-

tría.

Siendo este el objetivo final que sustenta y anima el contenido de las páginas siguientes, será vuestra indulgencia y aprobación las que reafirmen nuestro propósito de seguir superando metas con el compromiso de rendir siempre los mejores frutos.

-SIMBOLOGIA-

Símbolo	Significado	Unidades
h	Altura de la viga, en donde se quiere encontrar el esfuerzo.	cm
b	Ancho de la viga, en donde se quiere encontrar el esfuerzo.	cm
A	Area	cm^2
A_0	Area Inicial	cm^2
P	Carga	Kg
e	Deformación Total	cm
ϵ	Deformación Unitaria	cm/cm
θ	Deformación Angular	grados
D_0	Diámetro Inicial	cm
Dext.	Diámetro Externo	cm
Dint.	Diámetro Interno	cm
σ	Esfuerzo Unitario	Kg/cm^2
σ_u	Esfuerzo Ultimo	Kg/cm^2
σ_y	Esfuerzo de Cedencia	Kg/cm^2
σ_{pl}	Esfuerzo de Proporcionalidad	Kg/cm^2
σ_w	Esfuerzo de Trabajo	Kg/cm^2
$\sigma_{esp.}$	Esfuerzo Especificado	Kg/cm^2
τ	Esfuerzo Cortante	Kg/cm^2
t	Fuerza Tensiva	Kg
C	Fuerza Compresiva	Kg
F.S.	Factor de Seguridad	—
L	Longitud	cm
L_0	Longitud Inicial	cm
M	Momento flexionante	Kg-cm
J	Momento Polar de Inercia	cm^4
I_0	Momento de Inercia para una sección circular.	cm^4
I_{\square}	Momento de Inercia para una sección rectangular.	cm^4
E	Módulo de Elasticidad	Kg/cm^2
T	Momento de Torsión	Kg-cm

<i>Símbolo</i>	<i>Significado</i>	<i>Unidades</i>
c	Radio	cm
R_g	Radio de Giro	cm
$\Delta\sigma$	Variación de Esfuerzo	Kg/cm^2
$\Delta\epsilon$	Variación de deformación unitaria	cm/cm
V.A.C.	Velocidad de Aplicación de Carga	%
R_Ω	Resistencia eléctrica	ohms
ΔR_Ω	Cambio de la Resist. Eléct. en la Resist. de la Calibración total.	ohms
l	Longitud del Conductor	cm.
Δl	Cambio de longitud en el largo total del Conductor.	cms.
K	Factor de Calibración	_____
T_r	Momento Resistente	Kg-cm
da	Diferencial de Area	cm^2
τ_p	Esfuerzo Cortante a una distancia P	Kg/cm^2
τ_c	Esfuerzo Cortante a una distancia C.	Kg/cm^2
ϵ_s	Deformación total por Cortadura	cm.
γ	Deformación unitaria por Cortadura	cm/cm.
G	Módulo de Elasticidad a Corte	Kg/cm^2
dl	Diferencial de longitud	cm.
μ	Relación de Poisson	_____

CAPITULO I
RELACION ENTRE:
CARGAS, ESFUERZO Y DEFORMACIONES

1.1 Introducción. -

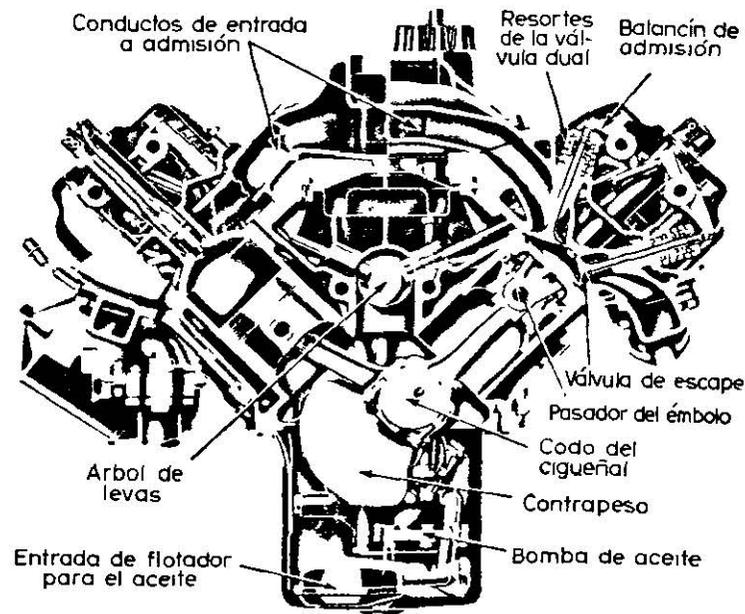
Las máquinas o estructuras de ingeniería, como automóviles, puentes, generadores eléctricos, etc. se construyen generalmente uniendo o ensamblando diversos cuerpos, -- llamados piezas o miembros, de manera tal que la estructura montaje o máquina, desarrolle una función determinada. En muchas de dichas estructuras, la función principal de un -- miembro es resistir las fuerzas externas, llamadas cargas, -- que le son aplicadas.

Frecuentemente se les llama miembros resistentes -- a las cargas pues aunque pueden tener otras funciones en la estructura, la principal condición que deben satisfacer es -- que resistan las cargas sin motivar que la estructura deje -- de trabajar satisfactoriamente.

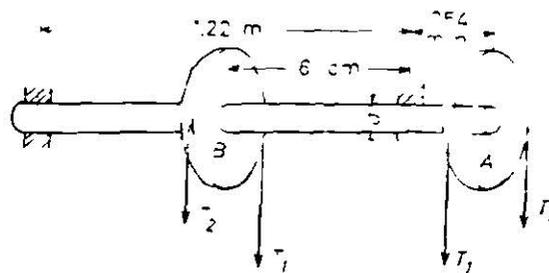
Como se puede observar en la fig. 1.1, se presen -- tan algunas estructuras de máquinas en las cuales algunas -- de sus partes son sometidas a diferentes esfuerzos; como -- por ejemplo en la fig. 1.1 (a), se muestra un motor de au -- tomóvil de cuatro tiempos en el cual varias de sus partes -- están sometidas a esfuerzos:

1.-) La biela está sometida a esfuerzos de Tensión y Com -- presión.

- 2.-) El pistón está sometido a esfuerzos de Compresión y Rozamientos.
- 3.-) El pasador del pie de la biela, está sometido a esfuerzos de flexión y Corte.
- 4.-) El cigueñal está sometido a esfuerzos de flexión y Torsión.
- 5.-) La cámara donde se introduce el pistón está sometida a esfuerzos de Rozamiento.



(a)



(b)

Fig. 1.1

En la fig. 1.1(b), se muestra un eje que se encuentra sometido a esfuerzos de Torsión y Flexión.

El comportamiento o reacción del miembro que más probablemente dará lugar a que deje de trabajar satisfactoriamente en cuanto a resistencia a las cargas, se debe a:

- a).- Que la creación de grandes fuerzas internas, necesarias para mantener en equilibrio las cargas, origina frecuentemente la fractura del miembro, o.
- b).- Una deformación excesiva que conduzca a la deformación permanente del mismo. Si la intensidad en este de las fuerzas internas (es decir la fuerza -- por unidad de área, llamada esfuerzo) originada por las cargas, llega a ser suficientemente grande, el miembro se fracturará (se romperá en dos), especialmente si es de un material frágil; este comportamiento, por supuesto hará que el miembro deje de trabajar satisfactoriamente y, por tanto, limitará su capacidad para soportar carga.

Por otro lado, la capacidad de resistir carga puede limitarse por el cambio de forma del miembro (deformación o flecha) en reacción a las cargas, aun cuando puedan aplicarse cargas mucho mayores antes de que se fracture o se aplaste.

1.2 Clasificación de Estados de Carga.-

La reacción de un miembro a las cargas y su capacidad de soportarlas dependen del tipo de ellas. Las cargas se clasifican como sigue:

- 1.- Cargas estáticas o Constantes.- Son fuerzas que se van aplicando poco a poco y no repentinamente, y que permanecen casi constantes después de que se aplican por completo al miembro, o bien que son repetidas relativamente pocas veces, como las que actúan sobre la mayor parte de los miembros de los edificios o la carga aplicada a una barra en una máquina de ensayos o pruebas.
- 2.- Cargas Repetidas.- Son fuerzas que se aplican, dentro de límites definidos o siguiendo un ciclo determinado, un número muy grande de veces, produciendo en el material un esfuerzo que varía continuamente. Un ejemplo puede ser las cargas aplicadas al cigüeñal de un motor durante su funcionamiento.
- 3.- Cargas de Choque o Impacto.- Son fuerzas que se aplican en un período de tiempo relativamente corto. Una carga de choque se aplica, en general, por un cuerpo en movimiento cuando entra en contacto con el miembro resistente, y la fuerza ejercida por el cuerpo móvil y el período de tiempo durante el cual actúa no pueden, de ordinario, determinarse.

Otras Clasificaciones de Cargas.-

Las cargas se clasifican también en Distribuidas y Concentradas.

Una carga distribuida puede ser uniformemente distribuida y no uniformemente distribuida. Así, si se extiende un volumen de grano de forma regular sobre un piso de manera que su altura sea constante, el piso quedará sometido a una carga uniformemente distribuida, mientras que si el grano se distribuye de tal manera que la altura de su capa no sea constante, se dice que el piso quedará sometido a una carga no uniformemente distribuida.

Una carga concentrada es aquella cuya superficie de contacto con el miembro que la resiste es despreciable -- con relación al área del mismo.

1.3 Relación Fuerza - Desplazamiento.-

La fig. 1.2 muestra un miembro al que se le transmite una fuerza de tensión "P". La fuerza está aplicada al miembro a través de articulaciones o conexiones. Las conexiones pueden ser articuladas, remachadas, soldadas, fijas o de alguna otra forma.

La distribución de fuerzas internas en la vecindad de una articulación es, la mayor de las veces, muy complicada. Sin embargo, se omite en el modelo.

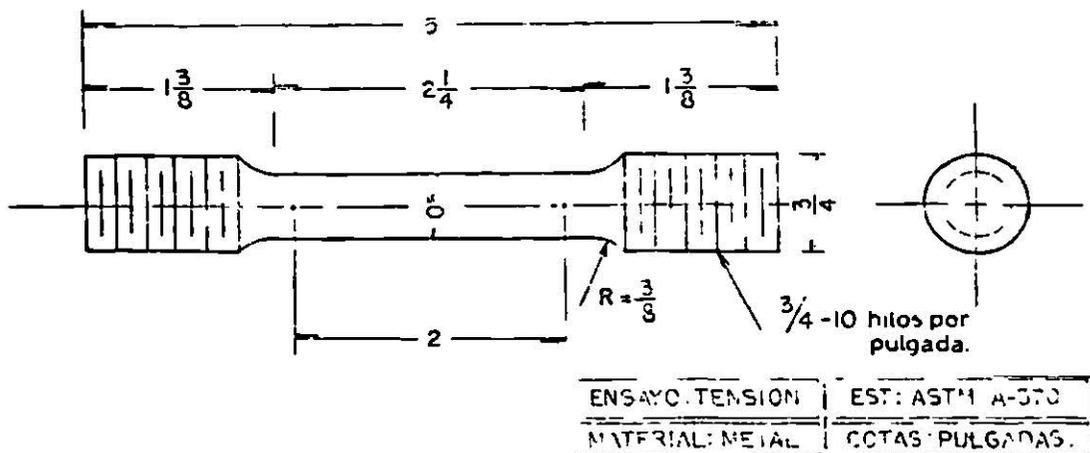


Fig. 1.2

La simplificación anterior es una aplicación del principio de Saint-Venant el cual establece que:

La distribución interna de fuerzas en un miembro, a una cierta distancia del punto de la aplicación de una carga fuerza local, depende solamente de la magnitud y ubicación de la fuerza resultante.

Para calcular el comportamiento de un miembro sujeto a una carga de tensión pura es necesario tener cierta información de las propiedades mecánicas del material. Tal información se obtiene, generalmente, por medio de un ensayo a la tensión. Aunque se emplean otros tipos de pruebas para obtener una información adicional, la prueba de tensión es la que más se usa.

En la fig. 1.2 se muestra un dispositivo que se usa en una prueba a la tensión. La longitud calibrada "L₀" mide, comunmente, 5.08 cm. Los cambios en ésta longitud se miden por medio de un instrumento sensible, mientras que la carga se aumenta continuamente con una proporción conocida. En tal prueba, el espécimen se transforma en más largo y más delgado, alternativamente se puede controlar la relación del cambio de longitud. Estos cambios en las dimensiones se llaman DEFORMACIONES. Debe tenerse cuidado de asegurar que los desplazamientos del cuerpo como un todo queden excluidos.

La palabra desplazamiento la usaremos para describir una deformación medida en una dirección particular o --

con respecto a un eje particular. La deformación puede ser lineal (alargamiento) o angular (alabeo). Cuando la carga medida "P" se dibuja en un eje, y en el otro se dibuja el cambio de longitud "e" (llamado desplazamiento axial), se obtiene una curva FUERZA-DESPLAZAMIENTO, como se ilustra en la fig. 1.3.

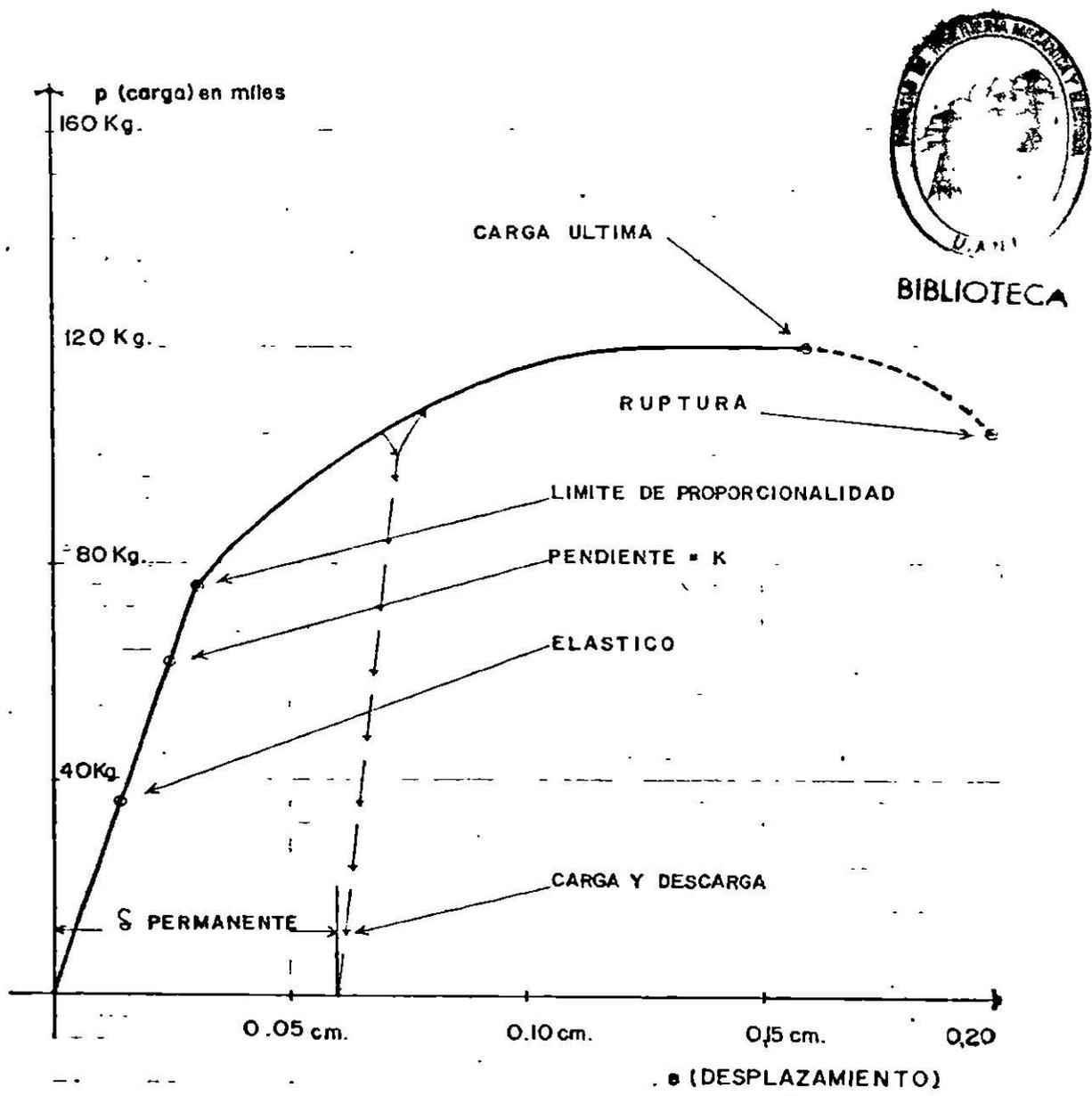


Fig. 1.3

La porción lineal de la curva se llama Rango Elástico. Si se detiene la carga dentro del rango elástico y se permite que decrezca hasta cero, la deflexión también decrecerá hasta cero.

El comportamiento elástico se caracteriza por la ausencia de deformación permanente al retirar la carga.

Una definición más concisa es: El comportamiento elástico se caracteriza por una relación lineal entre carga y deformación.

Esta definición constituye la ley de Hooke, que se puede establecer como:

La deformación es proporcional a la carga.

Debido a que el comportamiento de muchos materiales sigue esta ley casi por completo, la Ley de Hooke es muy importante y base de la teoría de la elasticidad. Esta ley no se limita solamente a la carga axial, sino a cualquier forma de carga, como en el caso de la aplicación de momentos.

La Ley de Hooke se puede expresar para la carga axial, en cualquiera de las siguientes maneras:

$$e = \frac{P}{K}$$

en donde K es la rigidez (o constante del resorte).

$$e = fp$$

donde f es la flexibilidad

1.4 Relación Esfuerzo-Deformación Unitaria.-

1.4a) Esfuerzo.- El esfuerzo es una función de la fuerza interior en un cuerpo, y se produce por la aplicación de cargas exteriores.

Para entender la composición y distribución de las fuerzas internas, consideremos una barra simple sujeta a una fuerza axial "P" en cada extremo, entendiendo por fuerza axial, aquella carga que es transmitida a un cuerpo y que pasa por el centroide del mismo, como se indica en la fig. 1.4 (a).

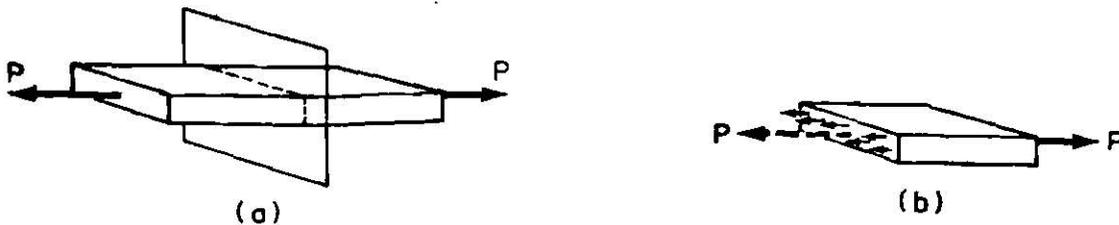


Fig. 1.4

Supóngase que esta barra está formada de un gran número de fibras alineadas paralelamente. Si se hace una sección de la barra, se obtiene un diagrama de cuerpo libre similar al indicado en la fig. 1.4 (b).

Una regla básica de estática es que si una estructura está en equilibrio, cualquier porción de la estructura debe estar en equilibrio. En este diagrama de cuerpo libre, la fuerza externa aplicada está a la derecha.

Como el cuerpo está en equilibrio deben de haber fuerzas que actúen hacia la izquierda. Estas fuerzas que resisten la carga aplicada, son transmitidas por las fibras

de la barra. La suma de las cargas soportadas por cada fibra es igual a la carga aplicada.

La fuerza interior total en la barra es la resultante de todas las fuerzas en las fibras, y es igual a "P" (KG).

Sin embargo, no es comun hablar de la fuerza total en la barra, sino más bien de la intensidad de la fuerza en las fibras. Esta intensidad de las fuerzas se llama Esfuerzo o Esfuerzo Unitario.

Este esfuerzo unitario se define con fuerza por unidad de área. En término algebraicos,

$$\sigma = P/A$$

donde:

σ = Esfuerzo Unitario en Kg/cm²

P = Carga Aplicada en Kgs.

A = Area sobre la cual actúa la carga en cm²

La definición $\sigma = P/A$, es una fórmula muy importante y útil. Deben tomarse en cuenta ciertas consideraciones:

- 1).- Esta fórmula se aplica a partes que estan cargadas ya sea a tensión o compresión.
- 2).- Las cargas, deben aplicarse a través del centroide de la sección transversal y debe coincidir con el eje.
- 3).- Y esta ecuación es válida únicamente para la región elástica del material.

1.4b).- Deformación.- Considérese una barra sujeta a una -- carga axial de tensión "P", como se muestra en la figura 1.5.

Cuando se aplica la carga, se desarrolla un esfuerzo unitario en la barra que es igual a $\sigma = P/A$. Además la barra se alarga ligeramente debido a la aplicación de la carga.

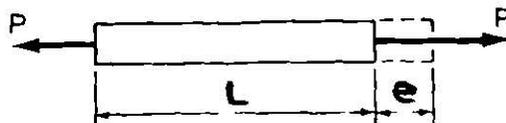


Fig. 1.5

Estos cambios de longitud se conocen como DEFORMACIONES, también se les conoce como elongaciones o contracciones.

Una deformación es, por consiguiente, el cambio de longitud de una parte.

DEFORMACION TOTAL, es el cambio total de longitud del miembro.

Es la dimensión "e" indicada en la fig. 1.5

Deformación unitaria se define como el cambio de longitud por unidad de longitud. Expresada algebraicamente;

$$\epsilon = e/L$$

donde:

ϵ = Deformación Unitaria en cm/cm.

e = Deformación Total (cambio total de longitud) en cm.

L = Longitud Original en cm.

Un método matemático para determinar la deformación total, es de la siguiente manera:

Si se tiene una carga central (axil) que actúa -

en una barra recta de longitud "L", la deformación total de tracción o compresión, "de", de un elemento de longitud --- "dl" es:

$$de = \epsilon dl$$

Integrando la ecuación, en función de la longitud "l", es pues:

$$e = \int_0^l \epsilon dl$$

Si el material es homogéneo y solo hay deformación elástica, se puede substituir la ecuación $\epsilon = \sigma/E$, entonces;

$$e = \int_0^l \frac{\sigma}{E} dl$$

Como es una sección uniforme, entonces el esfuerzo está distribuido uniformemente, su valor es $\sigma = P/A$. Substituyendola nos queda;

$$e = \int_0^l \frac{P}{EA} dl$$

Como $\frac{P}{EA}$ es una constante, entonces puede salir de la integral sin sufrir ninguna alteración:

$$e = \frac{P}{EA} \int_0^l dl ; e = \frac{PL}{EA}$$

donde:

e = Deformación Total en cm.

P = Carga aplicada en Kgs.

L = Longitud en cm.

A = Area de la sección Transversal en cm^2

E = Módulo de elasticidad en Kg/cm^2

Debe de tomarse en cuenta que esta ecuación --- (e=PL/AE) es válida solamente para la región elástica del material.

Una forma de relacionar la ecuación del esfuerzo-
($\sigma = P/A$) y la deformación total es;

$$\sigma = P/A \quad \text{y} \quad e = \frac{PL}{AE}$$

despejando nos queda:

$$\frac{eE}{L} = \frac{P}{A}$$

pero e/L es la deformación unitaria y nos queda:

$$E \epsilon = \sigma$$

El módulo de elasticidad "E" se puede obtener de tablas dependiendo del tipo del material que se esté tratando.

Para eso se puede consultar la tabla 1.1

Módulo de Elasticidad a Tensión.-

Materiales:

	Rango alto ($\times 10^6$)	Rango bajo ($\times 10^6$)
Carburo de Tungsteno Cementado	6.63	4.32
Carburo de Tungsteno-Titanio - Cementado-----	5.66	4.60
Osmio-----	5.62	-----
Iridio-----	5.20	-----
Carburo de Silicio-----	4.78	0.93
Rutenio-----	4.22	-----
Carburo de Titanio Cementado--	4.01	2.95
Aluminio Cerámico-----	3.51	2.24
Tungsteno-----	3.51	-----
Berilio-----	3.06	-----
Carburo de Boro-----	2.95	-----
Molibdeno -----	2.95	-----
Rodio-----	2.95	-----
Aluminio Cementado-----	2.88	2.60
Super Aleaciones a Base de Cobalto	2.53	1.89
Aceros a alta temperatura-----	2.22	2.03
Super aleaciones a base de;		
Cr, Ni, Cu, Fe-----	2.18	2.02
Acero al Carbón-----	2.10	2.03

Materiales:

Rango alto
(X10⁶)Rango bajo
(X10⁶)

Materiales:	Rango alto (X10 ⁶)	Rango bajo (X10 ⁶)
Cobalto (vaciado) -----	2.10	
Aceros de Baja Aleación-----	2.10	<u>2.03</u>
Mica Natural-----	2.10	1.40
Aceros Nitrurizados-----	2.10	1.03
Aceros Sobre-esforzados-----	2.10	2.07
Uranio-----	2.10	
Super aleaciones de Cr, Ni, Fe----	2.10	<u>1.96</u>
Hierro Forjado-----	2.07	
Aceros inoxidable con dureza-----	2.06	<u>1.96</u>
Acero Inoxidable puro-----	2.03	1.96
Aceros Cortados-----	2.03	
Aleaciones Resistentes al calor -- (vaciados)-----	2.03	1.96
Aceros inoxidable martensíticos--	2.03	
Aceros inoxidable (vaciados)	2.03	<u>1.68</u>
Aceros perlíticos maleables-----	1.96	
Tantalio-----	1.89	
Monel-----	1.82	
Mica Sintética-----	1.75	
Aceros Dúctiles-----	1.75	<u>1.30</u>
Aceros maleables estándares-----	1.75	
Aleaciones de Níquel de baja expan sión-----	1.68	1.47
Cobre-Níquel-----	1.54	1.26
Platino -----	1.47	
Aceros Grises-----	1.40	<u>0.63</u>
Hafnio-Vanadio -----	1.40	
Aceros Austeníticos Modulares-----	1.30	
Aluminio-Bronce (vaciado)-----	1.26	<u>1.05</u>
Plata-Níquel-----	1.26	1.23
Bronce-Silicio-----	1.26	1.05
Vidrio Policristalizado-----	1.21	0.87
Cobre -----	1.19	
Latón, 95% de Cobre y bronce-----	1.19	
Comercial 90%.-----	1.19	
Bronces con Plomo-----	1.19	<u>0.98</u>
Paladio-----	1.19	
Bronce con Fósforo-----	1.19	<u>1.05</u>
Starlite-----	1.12	0.91
Cobre con Telurio-----	1.12	
Estaño y Aluminios Bronceados-----	1.12	<u>1.05</u>
Aluminio y Vidrio Silicato-----	0.89	
Nitruro de Boro-----	0.87	
Oro-----	0.84	
Plata-----	0.77	

Tabla 1.1 (a)

Material	Módulo de elasticidad Kg/cm ²		
	A y n y como	A (fu) constante	
Acero estructural aproximadamente, 30% de carbono amonido en caliente	2 110 000	844 000	
Acero inoxidable (60% de carbono)	2 110 000	844 000	
Aluminio (1% de níquel)	2 110 000	844 000	
Acero inoxidable (SAF 324) tratado térmicamente (0.4% a 0.50% Ni)	2 110 000	844 000	
Fundición gris	1 000 000	420 000	
Fundición aleación *	1 410 000	420 000	
Bronce * laminado (7% estaño 5%)	984 000	420 000	
Latón * laminado (60% cinc 4%)	844 000	337 000	
Aleación de aluminio * laminada, revenida (aluminio 9% cobre 4%)	703 000	267 000	
Aleación de magnesio * alta resistencia, extruido magnésio 93% aluminio 6% cinc 0.7%	457 000	183 000	
Metal monl * laminado en caliente (níquel 67% cobre 28%)	1 760 000	665 000	
Plástico laminar * con hojas, sobre base de tejido de vidrio, cruzadas y prensadas	211 000	.....
Hormigón (1 cemento:2 arena:3.5 grava)	176 000	.....
Madera {	Pino amarillo, muestra seca, limpia y pequeña	127 000
	Roble blanco, muestra seca, limpia y pequeña	112 000

Tabla 1.1.(b)

1.4c).- Relación entre esfuerzo y Deformación.- Ya han sido discutidas dos de las definiciones más importantes y básicas las que corresponden al esfuerzo unitario y a la deformación unitaria. De igual importancia es la relación entre estos términos.

En el siglo XVII (1658), Robert Hooke publicó -- un artículo en el que estableció que el esfuerzo era directamente proporcional a la deformación unitaria. Este hecho se conoce como la ley de Hooke. Matemáticamente puede expresarse como $\sigma \propto \epsilon$, que significa, por ejemplo, que si -- una barra está sujeta a una carga de tensión de 100 Kgs. - se alargará una cierta cantidad. Si la carga se incrementa a 200 Kgs., la elongación se duplicará

La proporción $\sigma \propto \epsilon$ puede convertirse en una ecuación, agregando la constante de proporcionalidad "K". La ecuación puede escribirse como $\sigma = K \epsilon$

Esta constante de proporcionalidad fue calculada a principios del siglo XIX (1802) por Thomas Young, un científico inglés. Se conoce como el Módulo de Elasticidad o Módulo de Young. El Módulo de Elasticidad (al que se le ha dado como símbolo "E"). Se ha determinado para los diversos materiales de Ingeniería. En la tabla 1.1 se incluye una lista de los módulos de elasticidad para muchos de los materiales más comunes en Ingeniería.

Al incluir el módulo de elasticidad, la Ley de Hooke ($\sigma \propto \epsilon$) se convierte en una ecuación importante y útil, que se expresa como;

$$\sigma = E\epsilon$$

donde:

σ = Esfuerzo unitario en Kg/cm²

E = Módulo de elasticidad en Kg/cm²

ϵ = Deformación unitaria en cm/cm

1.4d).- Diagrama Esfuerzo-Deformación Unitaria.- Para construir el diagrama, trazamos el esfuerzo unitario como las ordenadas (P/A) y los valores correspondientes de las deformaciones unitarias como las abscisas. El resultado es una gráfica similar a la de la fig. 1.6, que es en este caso para un acero dulce.

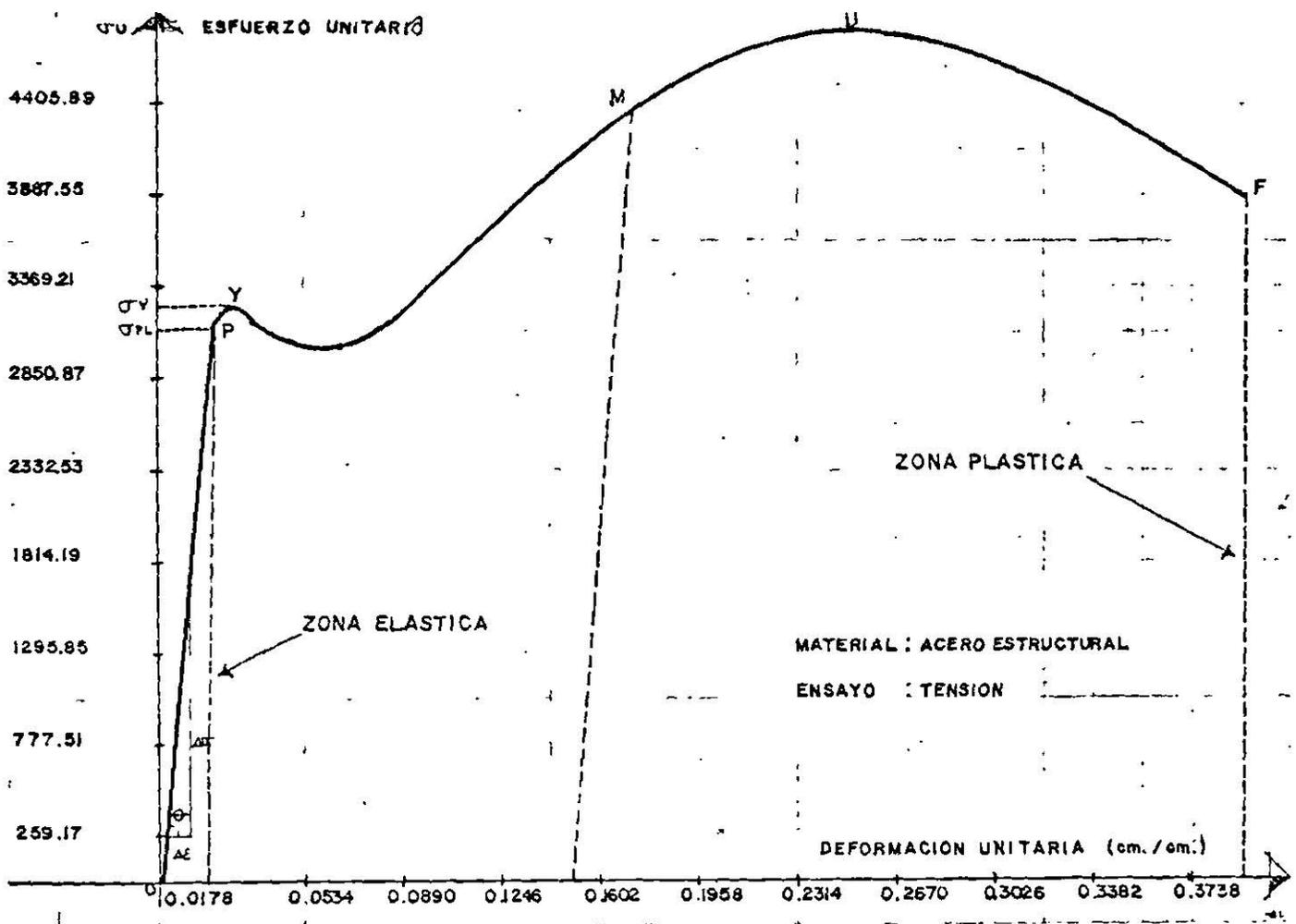


Fig. 1.6

La curva empieza en el origen y continúa en una línea recta hasta que llega a "P". Más adelante se encuentra el punto "Y" donde la curva disminuye su pendiente se hace más horizontal e incluso puede bajar ligeramente.

Después de continuar aproximadamente horizontal a una cierta distancia, la curva tiende otra vez a subir -- hasta "U", alcanzado así el punto "F", donde ocurre la --- fractura.

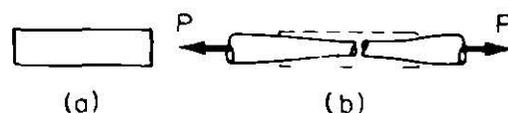
Cada uno de estos puntos o segmentos, recibe su nombre. El punto "P" es el límite de proporcionalidad del material. Para un esfuerzo mayor que el esfuerzo en el límite de proporcionalidad (σ_{pl}), ya no se cumple la ley de --- Hooke.

Justamente después del límite de proporcionalidad

en (Y); la curva disminuye su pendiente y el material se deforma en muy poco o ningún aumento de carga. El material fluye o se deforma plásticamente en éste punto. El esfuerzo para el cual comienza esta fluencia, se llama el esfuerzo en el punto de fluencia σ_y . Puede notarse que el límite de proporcionalidad y el punto de fluencia están muy próximos. Es difícil notar la diferencia entre los dos puntos, a menos -- que se hagan las medidas y dibujos con mucha exactitud. Posteriormente, la curva incrementa su pendiente y alcanza su valor al máximo en "U". El esfuerzo correspondiente a este punto (σ_u) se llama esfuerzo último del material, que es el máximo esfuerzo que el material es capaz de soportar.

Después la curva desciende hasta el punto "F", -- donde ocurre la fractura.

Después que se alcanza el esfuerzo último, y justamente antes de la fractura, el espécimen forma un cuello o acinturamiento en el lugar de la fractura. Por consiguiente el esfuerzo real en este punto es considerablemente mayor -- que el valor mostrado en la curva. Para ilustrar la forma del cuello o acinturamiento, se muestra en la fig. 1.7 un espécimen antes y después de la falla.



a) Antes de la carga. (b) después de la carga

Fig. 1.7

El Rango Elástico o Zona Elástica de un material es el rango de esfuerzos, dentro del cual el material permanece elástico; es decir, regresa a su forma original después de descargarlo. En el rango elástico, los esfuerzos son menores que el punto de fluencia. Cuando los esfuerzos exceden al punto de fluencia, tiene lugar un flujo plástico y el material nunca vuelve a recuperar su forma original. Este rango de esfuerzo se llama RANGO PLASTICO o ZONA PLASTICA.

El diagrama Esfuerzo-Deformación Unitaria indica también la rigidez de un material. Considerando la porción recta de la curva (tramo "OP"), se encuentra que la pendiente de la recta es igual a la variación en el esfuerzo unitario dividido por la variación en la deformación unitaria. La expresión para la pendiente puede escribirse como;

$$T_g \theta = \frac{\text{variación de esfuerzo}}{\text{variación de deformación}} = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$$

Esto es también la definición del módulo de elasticidad ($E = \sigma / \epsilon$).

Una indicación del módulo de elasticidad del material puede obtenerse observando la pendiente de la porción inicial de la curva. Entre mayor es la pendiente de la curva, mayor es el módulo de elasticidad (o rigidez relativa del material).

Si el espécimen sujeto a tensión se carga hasta un esfuerzo menor que el límite de proporcionalidad y después se descarga, los puntos trazados sobre el diagrama --

durante la descarga quedarán sobre la recta original "OP" . Sin embargo, si el espécimen se carga por encima del límite de proporcionalidad, como el punto "M" de la fig. 1.6 y después se descarga, los puntos trazados sobre el diagrama --- caerán sobre la recta "MN" , si el esfuerzo se reduce a cero, se conservará una deformación permanente "on" la barra.

1.5.- Relación Esfuerzo-Deformación Unitaria para otros Materiales.-

Para otros materiales diferentes al acero dulce, pueden trazarse diagramas esfuerzo-deformación unitaria de una manera semejante al punto 1.4d. La fig. 1.8, muestra la forma típica de los diagramas esfuerzo-deformación unitaria para diversos materiales usados

Cada material tiene una forma y propiedades particulares; las curvas mostradas en la fig. 1.8 difieren considerablemente de la correspondiente al acero mostrada en la fig. 1.6. Las características del diagrama esfuerzo-deformación unitaria influyen sobre los esfuerzos usados en el diseño de partes fabricadas con el material correspondiente.

En la mayoría de los materiales no se presenta -- tanta proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria como para el acero.

Sin embargo, esta falta de proporcionalidad no --

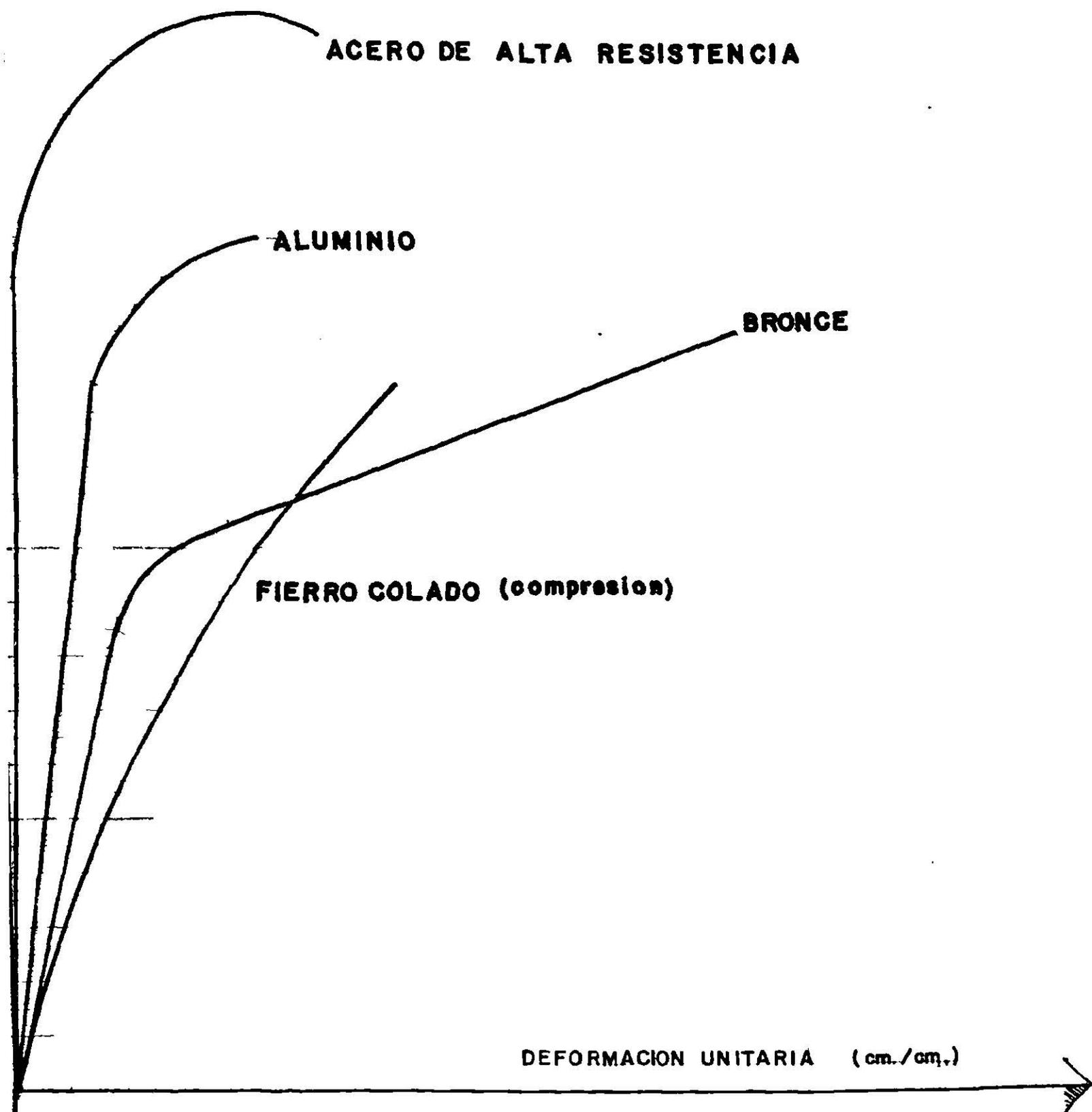


Figura 1.8

causa problemas en los casos usuales de análisis y diseño. Ya que los diagramas de la mayoría de los materiales estructurales más comunes son casi en forma de línea recta hasta alcanzar los esfuerzos que normalmente se usan en el diseño. Sin embargo, si se usa un material que se aparte de la linea lidad aún para esfuerzos pequeños, debe tenerse en cuenta que las deformaciones calculadas usando la Ley de Hooke ten drán algún error.

El módulo de elasticidad es la pendiente del dia grama esfuerzo-deformación unitaria. Para materiales que no tienen una porción inicial recta, el módulo de elasticidad debe definirse arbitrariamente. En estos casos, el mó dulo de elasticidad se toma generalmente ya sea como la pen diente de la tangente inicial a la curva, o como la pendien te de una línea que une el origen y algún esfuerzo unitario arbitrario, que en general, es el esfuerzo de diseño (esfuerzo de cedencia o fluencia). La fig. 1.9, ilustra gráficamente estos módulos de elasticidad. La mayoría de los ma teriales no exhiben un punto de fluencia tan preciso como el acero dulce. Cuando el punto de fluencia no se puede deter minar claramente como, por ejemplo, en el diagrama general-esfuerzo-deformaciones unitarias mostrado en la fig. 1.9, - el punto de fluencia debe definirse arbitrariamente. Esto generalmente se hace especificando una pequeña cantidad de de formación permanente (generalmente el 0.2%) que es acea pta ble en el diseño. Para localizar el punto de fluencia por este método, se traza una recta paralela a la del módulo -- de elasticidad, a partir de una deformación unitaria igual-

a la cantidad aceptable que, como ya se mencionó anteriormente, es generalmente de 0.2%. La fig. 1.9, ilustra este método para determinar el punto de fluencia para un material que no exhibe un punto de fluencia bien definido.

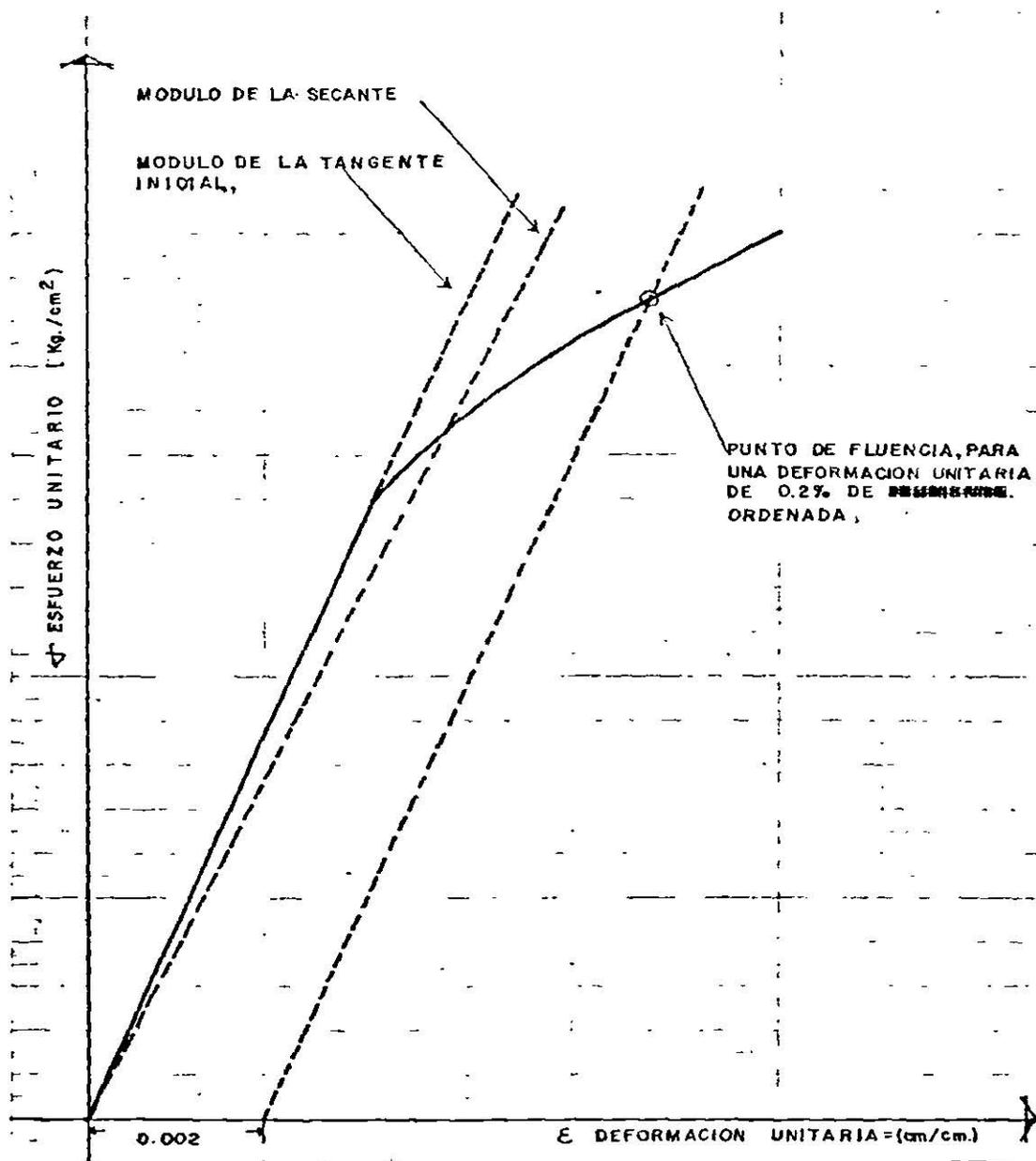


Fig. 1.9

1.6 Elasticidad.-

La elasticidad es aquella propiedad de un material

por virtud de la cual las deformaciones causadas por el es fuerzo desaparecen al removérsele. Algunas sustancias, ta les como los gases, poseen únicamente elasticidad volumétri ca, pero los sólidos pueden poseer además, elasticidad de forma. Un cuerpo perfectamente elástico se concibe como uno que recobra completamente su forma y sus dimensiones ori ginales al retirarse el esfuerzo. No se conocen materiales que sean perfectamente elásticos a través del rango de es fuerzos completo hasta la ruptura, aunque algunos materiales, como el acero, parecen ser elásticos en un considerable ran go de esfuerzos. Algunos materiales, como el hierro fundi do, el concreto, y ciertos materiales no ferrosos, son im perfectamente elásticos, aún bajo esfuerzos relativamente re ducidos, pero la magnitud de la deformación permanente -- bajo carga de corta duración es pequeño, de modo que para propósitos prácticos el material puede ser considerado elás tico hasta magnitudes de esfuerzo razonables.

Si una carga a tensión dentro del rango elástico es aplicada, las deformaciones axiales elásticas resultan de la separación de los átomos o moléculas en la dirección de la carga. Al mismo tiempo se acercan más unos a otros en dirección transversal. Para un material relativamente isotrópico tal como el acero, las características de esfuer zo y deformación son muy similares irrespectivamente de la dirección de la carga (debido al arreglo errático de los mu chos cristales de que está hecho el material), pero para los materiales anisótipos, tales como la madera, estas propie-

dades varían según la dirección de la carga.

El grado de acción elástica exhibido es frecuentemente una función de las condiciones de ensaye. Algunos materiales, los cuales son imperfectamente elásticos bajo carga virginal, parecen tornarse más elásticos después de haber sido pre-esforzados, y el sobre-esforzado de algunos metales parece elevar el límite de acción elástica; de ahí que la historia del deformado previo tenga algo que ver con la definición de los límites de acción elástica. El rango de acción elástica, el cuál puede ser relativamente amplio para algunos materiales a temperaturas normales, usualmente se reduce al aumentar la temperatura. Asimismo, la rigidez de la carga afecta la elasticidad aparente de algunos materiales; por ejemplo, en la madera y el concreto, una carga después de la cuál se verifica una recuperación prácticamente perfecta en un ensaye de corta duración puede producir una deformación permanente considerable si se les sostiene mucho tiempo.

De acuerdo con el concepto del comportamiento elástico, según la definición anterior, una media cuantitativa de la elasticidad de un material podría lógicamente expresarse como el grado al cuál el material puede deformarse dentro del límite de la acción elástica. Sin embargo, como los ingenieros, por lo general, piensan en términos de esfuerzo más bien que deformación, un índice práctico de la elasticidad es el esfuerzo que marca el límite (efectivo) del comportamiento elástico.

El comportamiento elástico es ocasionalmente aso-

ciado a otros dos fenómenos; la proporcionalidad lineal del esfuerzo y de la deformación y la no absorción de energía durante la variación cíclica del esfuerzo. Estos dos fenómenos no constituyen necesarios criterios sobre la propiedad de la elasticidad y realmente son independientes de ella. Es un hecho, sin embargo, que los esfuerzos en los cuales se indica el comportamiento no lineal del esfuerzo y de la deformación o la cedencia real son útiles para diseñar los límites prácticos de la acción elástica de los materiales de construcción comunes.

1.7 Plasticidad.-

La plasticidad es aquella propiedad que permite al material sobrellevar deformación permanente sin que sobrevenga la ruptura.

Una expresión general de la acción plástica involucraría la velocidad de deformación, ya que en el estado plástico los materiales pueden deformarse bajo el esfuerzo constante y sostenido; así mismo involucraría el concepto del límite de deformación antes de la ruptura. Las evidencias de la acción plástica en los materiales estructurales se llaman deformaciones, flujo plástico y creep.

La plasticidad es de importancia en las operaciones de formación, conformación y extrusión. Algunos metales se conforman en frío, por ejemplo, la laminación de perfiles de acero estructural y el forjado de ciertas partes para máquinas. Los metales como el hierro fundido se moldean en estado de fusión.

La plasticidad se presenta en los metales cuando su esfuerzo está por encima del esfuerzo de fluencia y pasando este punto el cuerpo no recobra su forma original.

1.8 Relación de Esfuerzo Verdadero y Deformación Natural.-

Cuando un material dúctil es cargado más allá de la resistencia a la cedencia por todo el rango plástico, -- las dimensiones cambian perceptiblemente; cuando la carga fracturante se alcanza, particularmente después de haberse iniciado la atenuación en el ensayo de tensión, el esfuerzo en la sección crítica se aparta más y más del esfuerzo nominal calculado sobre la base de la sección original. Así, -- en los estudios sobre el comportamiento de materiales sometidos a grandes deformaciones tales como los metales en el rango plástico, se ha descubierto que es deseable calcular el esfuerzo bajo una carga dada con base en las dimensiones instantáneas.

El Esfuerzo Verdadero se obtiene dividiendo la -- carga axial "P" por el área seccional instantánea real "A"; -- siendo esta el área del cuello o acinturamiento del espécimen ya deformado, como se indica en la figura 1.10.

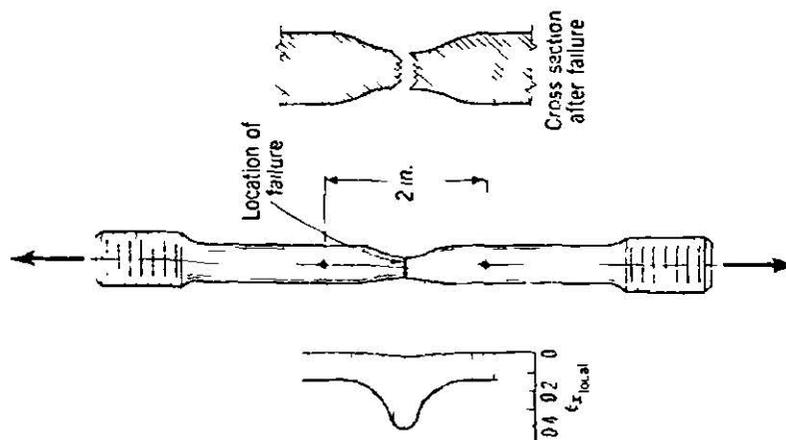
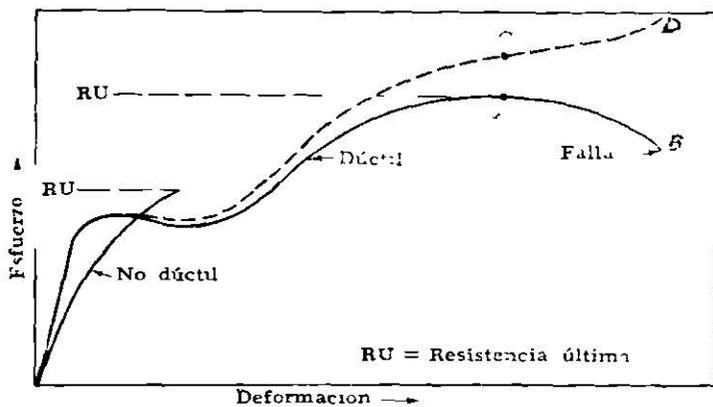


Fig. 1.10

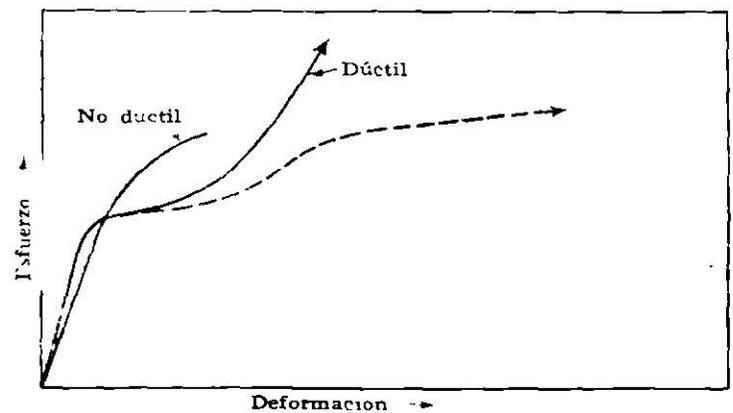
Sin embargo, el esfuerzo verdadero es solamente el esfuerzo promedio sobre el área, porque los esfuerzos reales varían transversalmente en la sección.

La Deformación Natural, también llamada Deformación Verdadera, es el cambio en el tramo calibrado con respecto al tramo calibrado instantáneo a lo largo del cuál -- el cambio ocurre.

En la fig. 1.11, se puede observar el comportamiento del esfuerzo verdadero, representado por una curva punteada.



(a) Relaciones entre esfuerzo y deformación en tensión



(b) Relaciones entre esfuerzo y deformación en compresión

Fig. 1.11

Para obtener el esfuerzo de trabajo, se divide el esfuerzo de fluencia entre un factor de seguridad, esto se hace con el fin de que el esfuerzo caiga dentro de la zona elástica y el cuerpo no falla.

En términos algebraicos;

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{F.S.} \quad ; \quad 2.5 \geq F.S. \geq 1.5^*$$

donde:

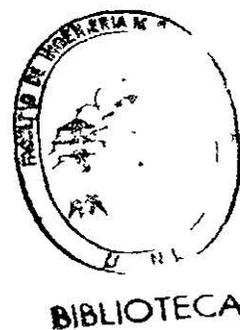
σ_w = Esfuerzo de trabajo en Kg/cm²

σ_y = Esfuerzo de cedencia o fluencia en Kg/cm²

F.S. = Factor de seguridad.

* Este factor es válido solamente para los aceros.

Dependiendo del tipo de Material, varía su factor de seguridad.



CAPITULO II

RIGIDEZ

2.1 Módulo de Elasticidad.-

La rigidez tiene que ver con la deformación relativa de un material bajo carga. Se le mide por la velocidad del esfuerzo con respecto a la deformación. Mientras mayor sea el esfuerzo requerido para producir una deformación dada más rígido se considera que el material.

Bajo un esfuerzo simple dentro del rango proporcional, la razón entre el esfuerzo y la deformación correspondiente es denominada Módulo de Elasticidad (E). Este término es un poco equívoco, ya que se refiere a la rigidez dentro del rango elástico más bien que la elasticidad. Correspondiendo a los tres tipos fundamentales de esfuerzo, existen tres módulos de elasticidad; El Módulo de Tensión, Compresión y Cortante. Bajo el esfuerzo de Tensión o Compresión, esta medida de rigidez es, frecuentemente llamado Módulo de Young, en honor del físico inglés que primeramente lo definió. Bajo corte simple la rigidez es algunas veces llamada Módulo de Rigidez. En términos del diagrama esfuerzo y deformación, el módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama del esfuerzo y deformación en el rango de la proporcionalidad del esfuerzo y la deformación.

Como muchos materiales son imperfectamente elásticos, las definiciones especiales del módulo de elasticidad pueden ser necesarios.

La fig. 2.1 muestra un diagrama de esfuerzo y de-

formación que está continuamente curvado, un tipo de diagrama como el obtenido para el concreto o el hierro fundido. La pendiente de una línea (OA) trazada tangente a la curva en el origen, es el módulo tangente inicial.

La pendiente de la curva en (B) es el módulo tangente con un esfuerzo de " b " (Kg/cm^2). La razón entre cualquier esfuerzo dado y la deformación correspondiente, -- la cuál equivale a la pendiente de la línea (OC), es el módulo secante de elasticidad en el esfuerzo "c" (Kg/cm^2).

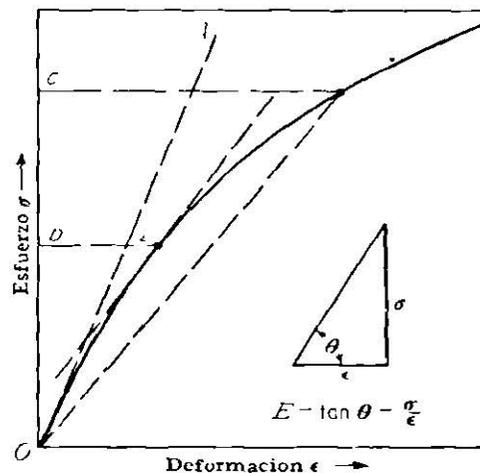


Fig. 2.1

El módulo de elasticidad de los materiales ordinariamente, es determinado en forma directa por ensayos que involucran la medición del esfuerzo y de la deformación de probetas sometidas a esfuerzo simple. Sin embargo, las determinaciones de los módulos algunas veces se efectúan a través del uso de las propiedades especiales y de las relaciones teóricas. El módulo de elasticidad se expresa en unidades de fuerza por área unitaria, como Kg/cm^2 . El módulo bajo esfuerzo axial es del orden de varios millones de --

Kg/cm^2 para la mayoría de los metales.

El módulo en corte para metales es aproximadamente $2/5$ partes del módulo bajo esfuerzo axial.

El término flexibilidad frecuentemente se usa --- como antónimo de rigidez.

Sin embargo, la flexibilidad por lo común tiene - que ver con la flexión o el flambéo.

La rigidez o flexibilidad efectiva o total de un cuerpo o miembro estructural es obviamente una función de - las dimensiones y la forma de un cuerpo así como las características del material.

2.2 Velocidad de Aplicación de Carga.-

Dos condiciones que deben ser cumplidas son:

Aplicar la carga con una determinada velocidad; y
Tratar que dicha carga aplicada sea completamente axial.

Una velocidad de aplicación de carga, es especificada para no incurrir en graves errores. Si dicha aplicación de carga ha sido rápida, la prueba podría ser de impacto - y no una prueba de estática, como se necesita. Si la velocidad es lenta, tardaríamos demasiado tiempo en efectuar una prueba completa. Así pues, para cada material hay una cierta velocidad de aplicación de carga (V.A.C.) dependiendo esta de sus propiedades.

La manera de obtener la velocidad de aplicación - de carga para cada material es de la siguiente manera:

$$V.A.C. = \frac{\sigma \text{ especificado} * \text{área inicial}}{\text{rango de la máquina}} \times 100$$

$$V.A.C. = \frac{\text{Kg/cm}^2 * \text{cm}^2}{\text{Kg}} = \%$$

Para cada material hay un esfuerzo especificado - como se muestra en la siguiente tabla:

MATERIAL	ESFUERZO ESPECIFICADO (Kg/cm ² /min)
BRONCE	600
LATON	2,500
FIERRO VACIADO	600
ACERO MINERO	4,000
ACERO COMERCIAL	3,000
COLD - ROLLED	3,000
ALUMINIO	3,000

El rango de la máquina se escoge por medio de la experiencia que tenga la persona que está realizando la prueba.

La axialidad de la carga es indispensable, para lograr que la probeta trabaje puramente a tensión o compresión. Se pretende evitar excentricidad entre la carga, para evitar esfuerzos flexionantes que alterarían los resultados.

En la fig. 2.2 puede verse la diferencia entre una carga axial y una carga excéntrica.

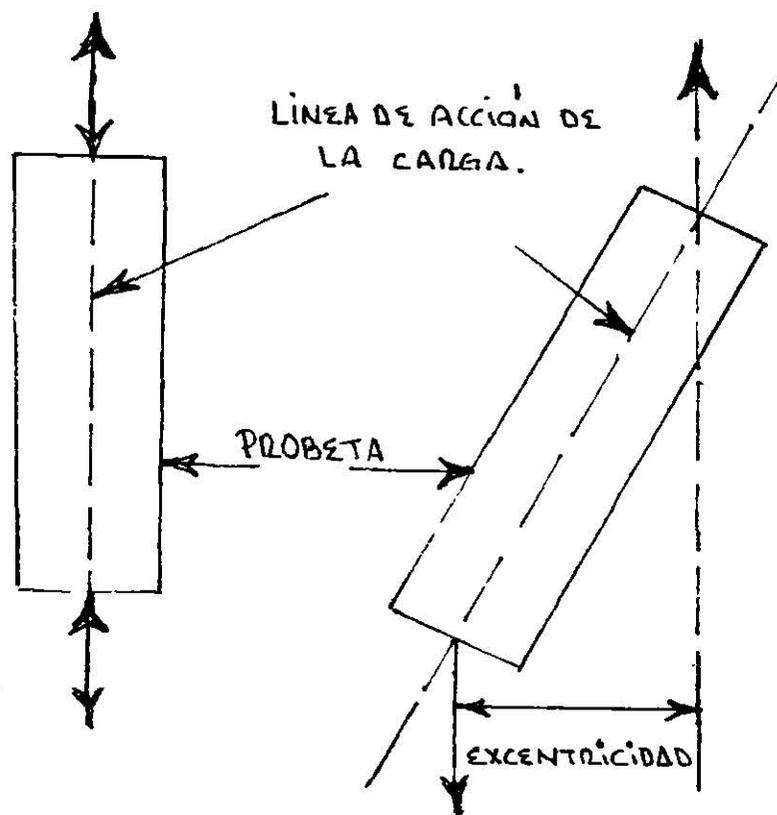


Fig. 2.2.

La velocidad de ensaye no debe ser mayor que aquella a la cuál las lecturas de carga y otras puedan tomarse con el grado de exactitud deseado, y si la velocidad de ensaye ejerce una influencia apreciable sobre las propiedades del material, el ritmo de deformación de la pieza de ensaye debe quedar dentro de los límites definidos, aunque los estudios han indicado que pueden ser razonablemente amplias.

Los métodos para especificar las velocidades de ensaye varían. Un número de recomendaciones para velocidades de ensaye han sido hechas y retiradas de las normas de la ASTM para metales.

Debido al extenso uso anterior de las máquinas de ensaye de

propulsión a tornillo en este país, en el pasado se ha acostumbrado indicar la velocidad de ensaye por la velocidad de desplazamiento del puente movable de la máquina. Sin embargo, durante una o dos décadas pasadas se ha registrado un marcado aumento en el uso de máquinas de ensaye del tipo hidráulico, en las cuales la velocidad de ensaye se controló en términos de la velocidad de aplicación de carga.

Varios requerimientos de la ASTM sobre la velocidad de ensaye en pruebas de tensión y compresión se muestran en las tablas 2.1 y 2.2. respectivamente.

Las velocidades mostradas para probetas metálicas son los valores máximos; las velocidades pueden ser más bajas y frecuentemente se utilizan. Para ensayos que involucren determinaciones del punto de cedencia por medio del descenso de la vigueta, la del indicador de carga, o de separadores, una deformación correspondiente a una velocidad de la cruceta, de aproximadamente 0.127 cm/min., probablemente represente una práctica ordinaria, aunque en los ensayos de laminación, las velocidades más altas no son raras. Con frecuencia la carga se aplica rápidamente a cualquier velocidad conveniente, hasta la mitad de la resistencia a la cedencia o el punto de cedencia especificados, o hasta una cuarta parte de la resistencia a la tensión especificada, cualquiera que sea menor.

Arriba de este punto la carga es aplicada según la velocidad especificada.

Sobre el punto de cedencia de los metales dúctiles

se permiten velocidades más altas porque la variación de la velocidad no parece tener efecto sobre la resistencia última, como sobre la resistencia a la cedencia; el alargamiento sin embargo es sensitivo a la variación de la velocidad a altas velocidades de carga.

Para ensayos que involucren mediciones extensométricas la carga se aplica ya sea en incrementos, y la carga y la deformación se leen al final de cada incremento, o se aplica continuamente a una velocidad lenta (generalmente a velocidades del puente, que varían desde 0.0254 a 0.1270 -- cm/min.), y la carga y la deformación se observan simultáneamente.

Material de ensaye	Referencia de la ASTM	Máxima velocidad del puente plg/min		Velocidad y carga
		A la cedencia	A la resistencia última	
Materiales metálicos . Productos de acero ..	E 8 A 370	Tramo de calibración de 0.062 por plg	Tramo de calibración de 0.5 por plg	Máximo de 100 kips/plg ² a la cedencia
Hierro fundido gris .	A 48		0.125 sobre 15 kips/plg ²	
		Velocidad de viaje especificado de mordazas cuneiformes de propulsión motorizada		
Plásticos	D 638	0.05 *	0.20-0.25 *	2 9-3.1 lb/seg
Hule duro	D 530			
Hule suave vulcanizado	D 412		20 + 1	
Madera	D 143		0.05	
Paralelamente a la fibra			0.10	
Perpendicularmente a la fibra				
Briquetas de mortero de cemento	C 190			600 + 25 lb/min

Tabla 2.1

No hay datos disponibles en que basar cualquier regla simple para transferir las velocidades del puente a la velocidad de aplicación de carga, aunque un factor o "módulo" de transferencia para una máquina particular de ensaye pueden determinarse experimentalmente. Dentro del rango elástico, por supuesto, la velocidad de carga puede computarse rápidamente de la velocidad de deformación. Un estudio de la práctica, realizado hace algunos años, indicó -- que más de un 50% de los laboratorios involucrados usaban velocidades de carga dentro de los límites de 703.70 a --- 4,925.91 Kg/cm² por minuto. Algunos usaban velocidades de carga hasta de 70,370 Kg/cm² por minuto para el acero. Una máxima velocidad de carga de 7,037 Kg/cm² por minuto ha sido sugerida para determinaciones del punto de cedencia de los materiales metálicos.

Material probado	Referencia	Máxima velocidad del puente plg por min	Velocidad de carga, lb/plg' / seg	Tiempo para aplicar la segunda mitad de la carga, seg
Materiales metálicos	D 9 33 T*			
De 1 a 3 plg de largo . . . . .	.....	0 05		
De 3 plg o más . . . . .	.....	0 10		
Concreto	C 39	0 05	20 50	
Mortero	C 109			20 80†
Madera	D 143			
Paralelamente a la fibra . . . . .	.....	0 024		
Perpendicular a la fibra . . . . .	.....	0 012		
Ladrillo	C 67			60-120
Loseta de barro	C 112	0 05		
Plásticos	D 695	0.05 hasta el punto de cedencia entonces		
	D 953	0 20 a 0 25		
		0 05		

* Los requerimientos aquí consignados han sido retirados de las especificaciones actuales.

† Tiempo de carga total si la carga última es menor de 3 000 lb.

Tabla 2.2

CAPITULO III

CONDICIONES GENERALES.-

3.1 Selección del Sistema Aplicador de Carga.-

El sistema aplicador de carga depende principalmente de: (1) propósito del ensaye, (2) exactitud requerida, (3) conveniencia o disponibilidad y (4) economía.

Una manera exacta, rápida y económica para aplicar carga, es el sistema hidráulico, ya que es este, el que más comúnmente se usa y es el apropiado para el tipo de ensayos estáticos.

3.1a) Dispositivos Hidráulicos.-

Las presiones de los líquidos comúnmente se miden por medio de manómetros o Tubos Bourdon. Un manómetro es simplemente un tubo de vidrio, por lo general, colocado en forma vertical, en el cual el líquido (digamos el mercurio) puede elevarse hasta un nivel tal que puede equilibrar la presión aplicada; el nivel del líquido se lee en una escala graduada.

El tubo Bourdon es esencialmente un tubo metálico-curvado con un extremo cerrado que tiende a enderezarse cuando la presión se aumenta en el líquido del tubo. En el calibrador Bourdon usual, el movimiento del extremo del tubo es magnificado mecánicamente para hacer girar un indicador por una escala, como se indica esquemáticamente en la fig. 3.1.- La exactitud del calibrador Bourdon ordinario, puede ser considerablemente afectada, por los cambios de temperatura, la histéresis y la fricción de sus partes móviles.

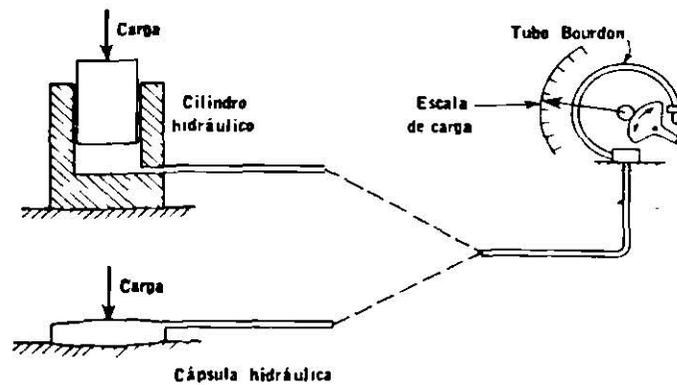


Fig. 3.1

La carga, a pesar, puede ser transmitida hidráulicamente mediante el uso ya sea de un cilindro y pistón hidráulicos o una cápsula flexible cerrada, los dos de los cuales se muestran esquemáticamente en la fig. 3.1.

El cilindro hidráulico posee dos marcadas desventajas al ser usado en sistema de pesaje de cargas: la fuga del líquido en pistones holgadamente ajustados y la variable fricción sobre el pistón cuando se usan empaques. La fricción puede reducirse mediante el uso de cilindros equipados con pistones cuidadosamente pulidos y empalmados, y puede reducirse aún más haciendo girar el pistón durante la operación de la unidad; sin embargo, estos dispositivos no eliminan cabalmente las dificultades, y si complican la fabricación del aparato.

3.1b) Máquinas de Ensaye.-

Dos partes esenciales de una máquina de ensaye son (1) un medio para aplicar carga a una probeta y (2) un medio para equilibrar y medir la carga aplicada. Dependiendo del diseño de la máquina, estas dos partes pueden estar completa

mente separadas o superpuestas.

Además de estos aspectos básicos, hay una variedad de partes o mecanismos accesorios, tales como dispositivos para agarrar o apoyar la pieza de prueba, la unidad de fuerza, los controles, los registros, los indicadores de velocidad y amortiguadores de retroceso o choque.

La carga puede aplicarse por medios mecánicos, mediante el uso de mecanismos de engrane y tornillo, caso en el cual las máquinas son llamadas de "engrane y Tornillo" o "mecánicas". Cuando la carga es aplicada por medio de un gato o prensa hidráulica, el dispositivo es llamado "máquina hidráulica". La fuerza puede proveerse manualmente o por medio de alguna máquina motriz (por lo general un motor eléctrico) a una bomba o a una cadena de engranes.

Algunas máquinas son diseñadas para un solo tipo de ensaye, y otras hechas únicamente para ensayos comprensivos. Sin embargo, si una máquina es diseñada para ensayar probetas en tensión, compresión y flexión es llamada "máquina de ensaye universal".

También hay máquinas especiales para torsión, dureza, impacto, resistencia, flexión en frío y otros ensayos.

3.1c) Máquinas Universal o Máquina de Ensaye Universal.-

La máquina universal es una máquina de gran versatilidad para la realización de pruebas destructivas o no destructivas sobre una gama de materiales que comprende metales, maderas, concreto, etc. En esta máquina se pueden realizar pruebas de tensión y compresión y con aditamentos ade-

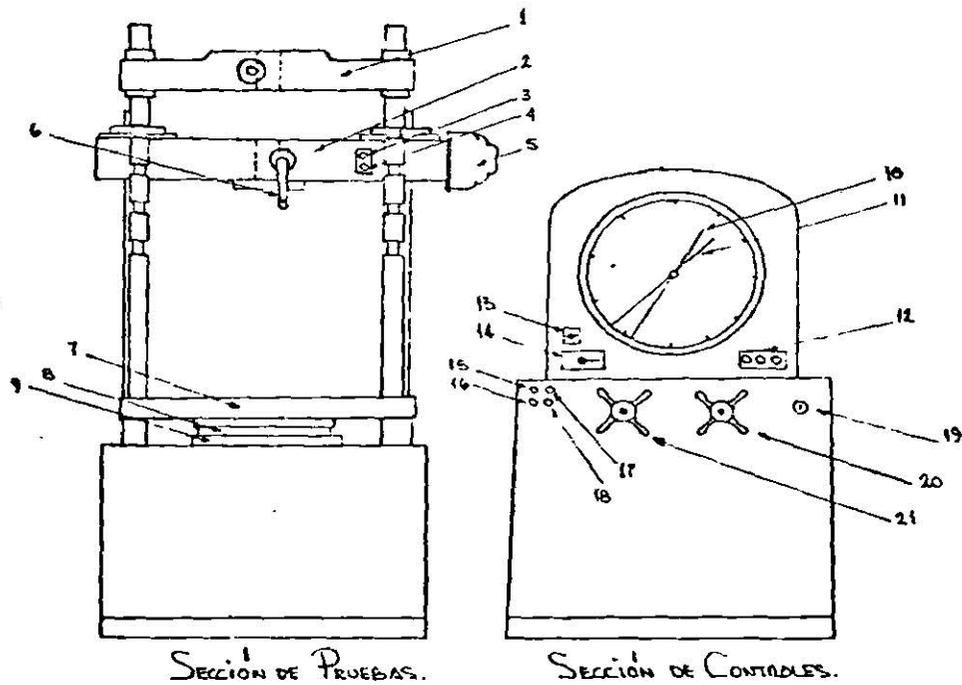
cuados pruebas de torsión, corte y flexión.

La máquina universal consta de dos partes principales a saber:

- 1.-) Sección de control de pruebas y medición
- 2.-) La sección de pruebas.

1.-) La sección de control de pruebas y medición como puede apreciarse en las fig. 3.2 consta de las siguientes partes:

- a).- Carátula indicadora de cargas, en la cual se aprecian tres graduaciones para tres diferentes rangos de la máquina, siendo estos de 60,000 Kgs., 15,000 Kgs. y 1,500 Kg. Teniendo además dos agujas, siendo una indicadora y la otra motora, la primera queda fija en el lugar donde se alcanzó la carga máxima y la motora regresa al -- lugar de origen cuando la prueba ha terminado o se ha retirado la carga por completo.



- 1.- CABEZAL MOVIL O SUPERIOR
 2.- CABEZAL FIJO O INFERIOR
 3.- SWITCH PARA ELEVAR EL CABEZAL FIJO O INFERIOR
 4.- SWITCH PARA BAJAR EL CABEZAL FIJO O INFERIOR
 5.- MOTOR UNIDO AL CABEZAL INFERIOR
 6.- MANIVELA DE SUJECION
 7.- MESA DE PRUEBAS
 8.- PISTON
 9.- CILINDRO
 10.- AGUJA MOTORA
 11.- AGUJA INDICADORA

- 12.- AJUSTE A CERO
 13.- SELECTOR DE RANGOS DE CARGA
 14.- SELECTOR DE RANGOS DE V.A.C.
 15.- SWITCH PARA SUBIR EL CABEZAL INFERIOR
 16.- SWITCH PARA BAJAR EL CABEZAL INFERIOR
 17.- ARRANQUE
 18.- STOP
 19.- LLAVE DE ENCENDIDO
 20.- VALVULA DE CARGA
 21.- VALVULA DE DESCARGA

Fig. 3.2

b).- Selector de Rangos.-

Por medio de este se varía la capacidad de la máquina desde 1,500 Kgs a 60,000 Kgs, cambiando también la graduación de la carátula de la máquina.

c).- Ajustes a Cero.-

Estos ajustes son tres; bajo, mediano y alto uno para cada rango de la máquina, sirven para cuando

después de cada prueba y que se ha retirado la carga, la aguja motora no regrese a cero.

Las partes anteriores de la máquina pueden apreciarse internamente en el croquis mostrado en la fig. 3.3.- Volviendo a la fig. 3.2, sección de controles, seguiremos con la explicación de las demás partes:

- d).- Botones para subir y bajar el cabezal inferior de la máquina
- e).- Botones para parar y arrancar el motor de la bomba.
- f).- Manivelas para accionar las válvulas de carga y descarga de aceite impulsado por la bomba y depositado en el cilindro.

2.-) Sección de Pruebas.-

Las partes de esta sección, volviendo a la fig. -

3.2 son:

- a).- Pistón que transmite el movimiento a la mesa de pruebas y esta al cabezal superior por medio de unas columnas de acero. El movimiento del pistón es proporcionado por la presión ejercida por el aceite de la bomba de la sección de control. La posición del pistón hacia arriba o abajo es controlada por dos microswitches localizados en un costado del pistón (ver croquis), los cuales evitan que el pistón suba más de lo debido o baje hasta pegarse en el cilindro causando dificultades.

des, los microswitchs paran la bomba a tiempo si el control de la máquina es desatendido.

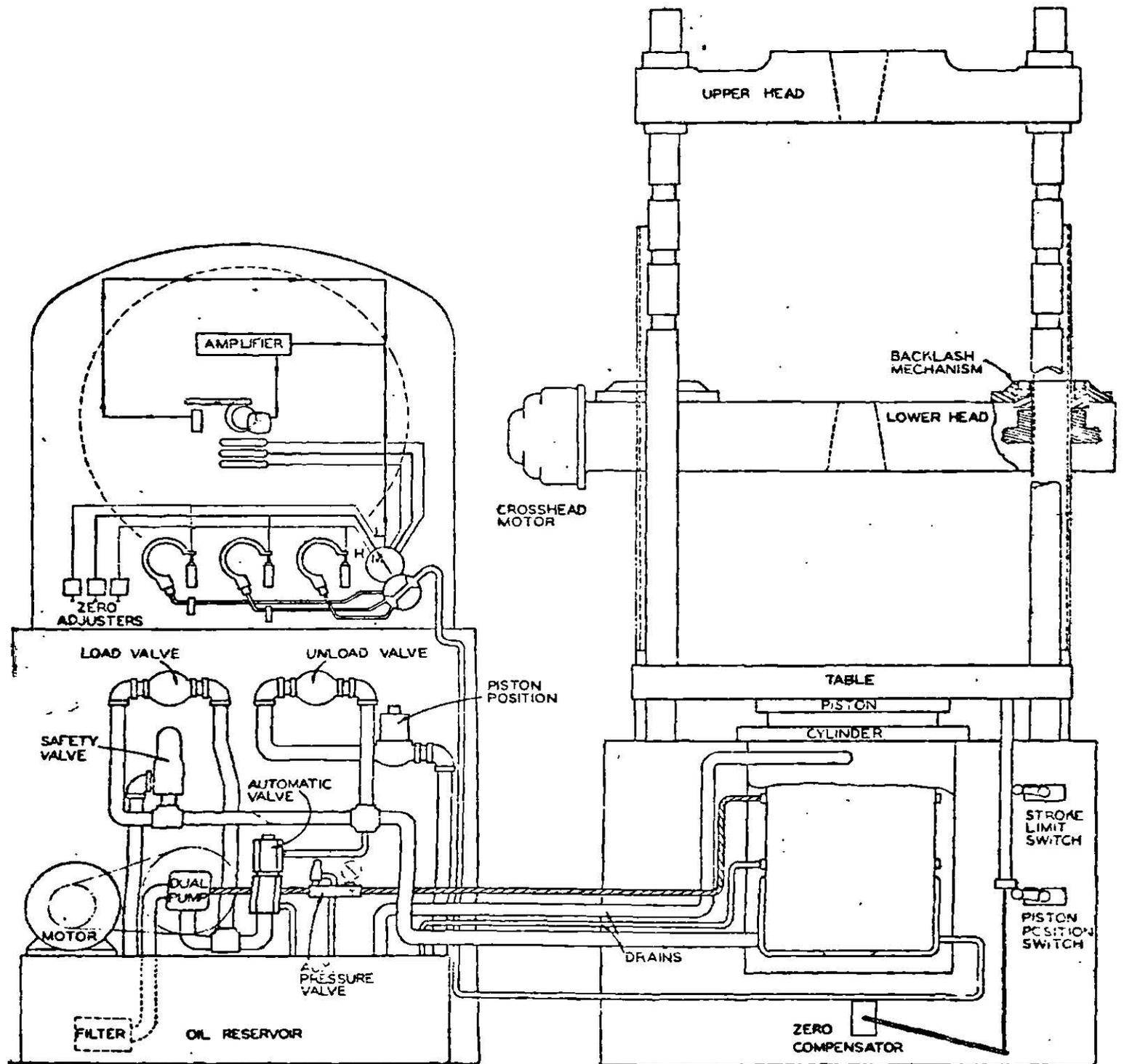


Fig. 3.3

b).- Mesa de pruebas

c).- Cabezal inferior o fijo

En el espacio comprendido entre estas dos partes, se realizan con sus aditamentos adecuados, pruebas de compresión, flexión y corte axial, así como de dureza Brinell y dureza en madera.

d).- Cabezal superior o móvil.

En el espacio entre el cabezal fijo y el móvil se realizan las pruebas de tensión, usando cabezales o mordazas.

e).- Manivela para accionar las mordazas que sujetan a las probetas en las pruebas de tensión.

f).- Motor para el desplazamiento del cabezal inferior o fijo durante la prueba.

Otra parte principal de la máquina es el graficador electrónico localizado a la derecha de la parte de controles, a la altura de la carátula indicadora de carga. Es de gran utilidad para la determinación del último esfuerzo y deformación durante una prueba, así como la determinación del módulo de elasticidad y de la histéresis de un material. Dependiendo del deformímetro usado pueden obtenerse registros con una razón de ampliación de 2.5: 1 y 2.00: 1, según el selector del graficador que se haya escogido.

A continuación en las figs. 3.4 y 3.5, se muestran dos tipos de máquinas universales que son relativamente diferentes a la descrita con anterioridad.

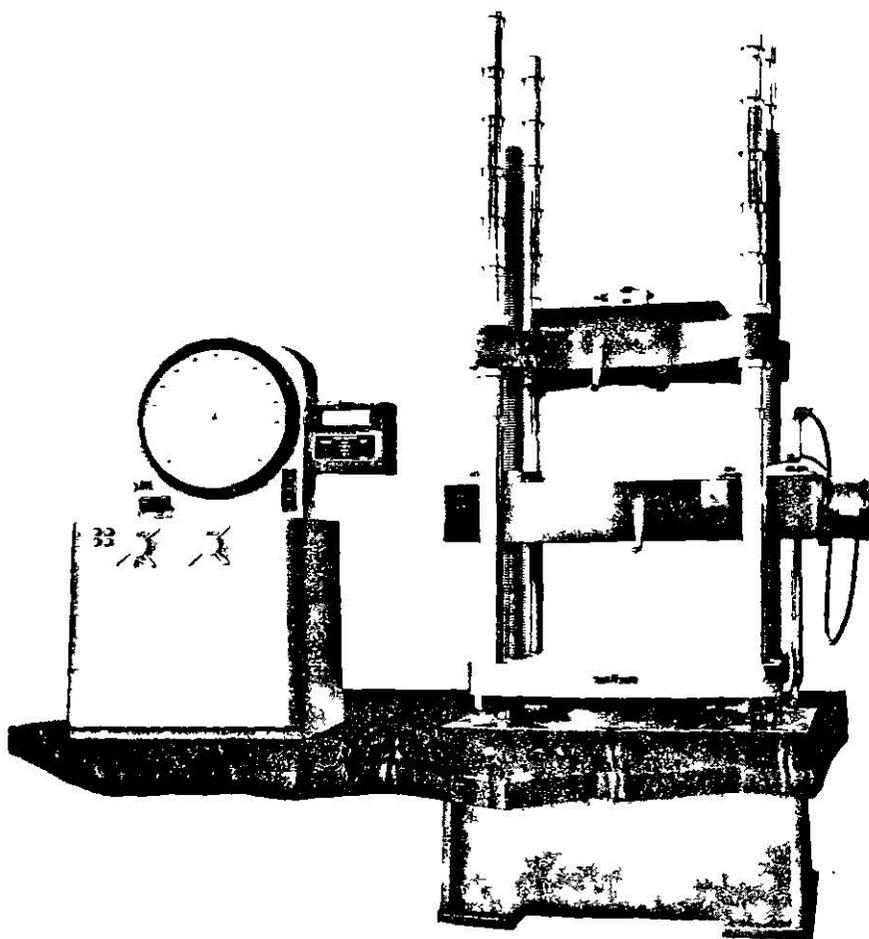


Fig. 3.4

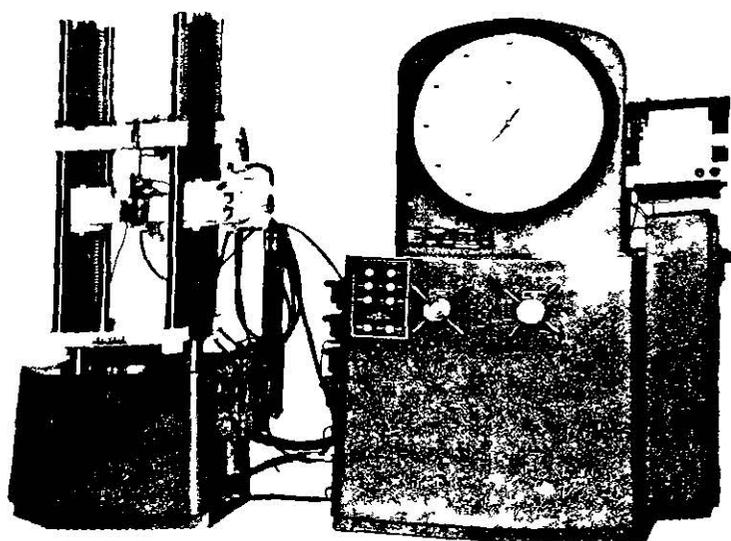
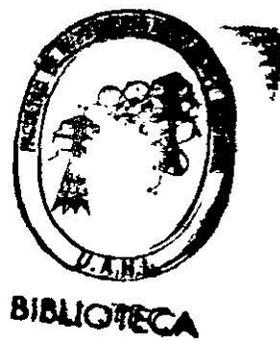


Fig. 3.5



3.2.- Selección del Sistema Medidor de Deformación.

La selección del sistema medidor de deformación depende principalmente de las siguientes características:

- 1).- Sensitividad
- 2).- Lectura Mínima
- 3).- Ancho de Medición (capacidad)
- 4).- Condición de ambiente

Entre mayor sensitividad tenga un aparato de medición es mejor, debido a que hace las lecturas más exactas.

A continuación nombramos los tipos de aparatos que se usan para medir la deformación y las estudiaremos por separado para determinar cual de ellos nos conviene.

Tipos de Aparatos:

- 1).- Vernier o Pie de Rey
 - 2).- Micrómetro o Palmer
 - 3).- Extensómetro Mecánico o Micrómetro de Carátula
 - 4).- Deformímetros Eléctricos (Galgas Extensométricas)
- 1).- Vernier o Pie de Rey.-

es un instrumento de medición de gran utilidad para la medición de dimensiones exteriores, interiores y profundidades. Está constituido de dos partes principales, una fija llamada reglilla donde se encuentra la graduación principal y otra móvil que es el indicador de las mediciones que se tomen y que con su graduación auxiliar aproxima la medición a un valor más exacto. Estas aproximaciones pueden ser de 0.1 mm.

Las partes del Vernier, según la fig. 3.6 son:

- a).- Husillos para medir exteriores
- b).- Parte móvil donde va la graduación auxiliar de aproximación.
- c).- Freno
- d).- Regla fija o principal
- e).- Reglilla para medir profundidades
- f).- Salientes para medir interiores.

2).- Micrómetro o Palmer.-

Este aparato de más exactitud que el vernier, para la medición de exteriores e interiores arroja aproximaciones de $1/100$ mm. Sus partes son: (fig. 3.7).

- a).- Yunque o toped donde se sujeta la pieza a medir -- con ayuda del husillo, elcual después de hecha la medición es fijado por la tuerca de sujeción.

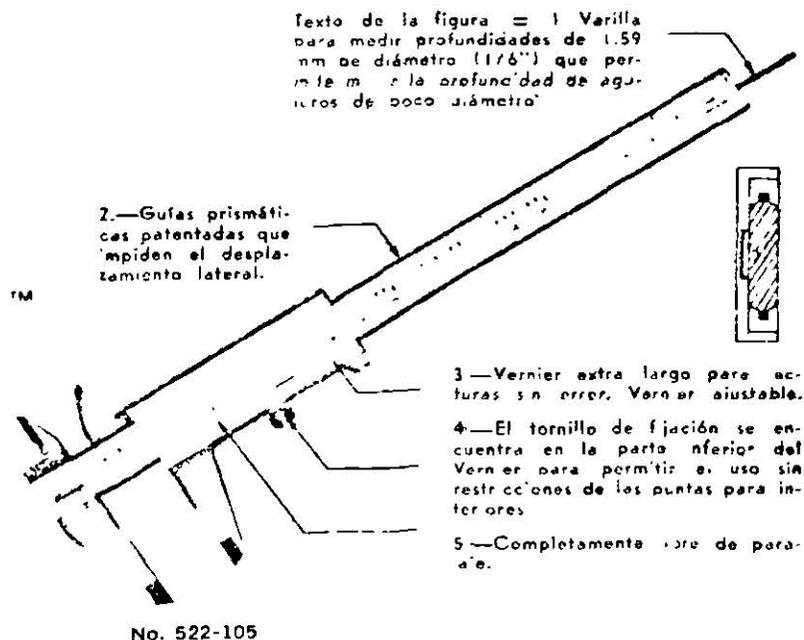


Fig. 3.6

- b).- Cañón donde se encuentra la graduación principal
- c).- Casquillo, parte móvil que produce el avance del husillo, y que con su graduación auxiliar en la periferia, nos proporciona la aproximación en la lectura.
- d).- Matraca, se usa cuando el husillo ha hecho contacto con la pieza, aplicando una suave presión para evitar aplicarla con el casquillo más de lo debido y que daña los hilos del tornillo sobre el que se desplaza el casquillo.
- e).- Bastidor o cuerpo del micrómetro.

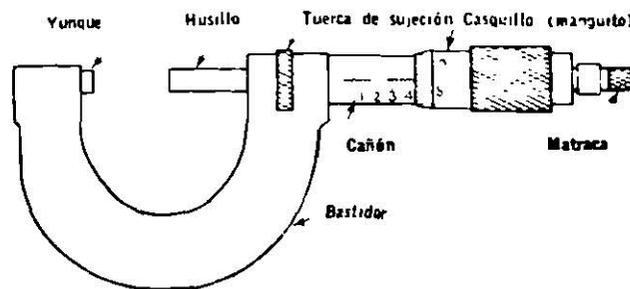


Fig. 3.7

3).- Extensómetro Mecánico o Micrómetro de Carátula.-

Un tipo de micrómetro extensamente usado en la actualidad es el de carátula o indicador de carátula. En estos instrumentos, el movimiento del husillo acciona una palanca o un engranaje, el cual acciona a su vez una manecilla en una carátula graduada.

El indicador de carátula posee la gran ventaja de ser autoindicativo.

El mecanismo interno de un indicador de carátula

res de este tipo son confiables.

Para el uso de los varios aparatos de medición, debido a que son instrumentos de precisión, han de ser manejados, por lo tanto, con sumo cuidado y evitarse los golpes.

Por consiguiente es provechoso observar algunas reglas para el manejo de estos instrumentos:

- a).- Antes de manejar un aparato de precisión que nos sea desconocido, tendremos que informarnos sobre su modo de funcionar, pues podemos dañarlo, debido a la ignorancia respecto al uso del aparato.
- b).- La exactitud del aparato debe guardar proporción con el objeto de la medición.
- c).- Los aparatos de precisión deben estar bien sujetos a sus soportes correspondientes.
- d).- Antes de ajustar a cero el calibrador de precisión, habrá que limpiar cuidadosamente la superficie de apoyo y la pieza patrón.
- e).- Cuando se trata de obtener mediciones bien exactas, hay que tener en cuenta la influencia de la temperatura, la pieza patrón y la pieza a verificar tienen la misma temperatura.

4).- Deformímetros Eléctricos.

Este método se escogió debido a que su principal ventaja es la de registrar deformaciones parciales y muy sensibles con lo cual dá por resultado un mayor acercamiento hacia el valor real de los diferentes valores de los ensayos estáticos, ya que los valores que registran son dí

rectos.

Estos medidores eléctricos utilizan el circuito potenciómetro o puente Wheatstone el cual su funcionamiento se menciona a continuación:

Montaje Del Puente Wheatstone

El Puente de Wheatstone se compone de dos secciones; una es la formada por dos strain-gages o medio puente y la otra es la de cuatro strain gages o puente completo.

El de medio puente se utiliza cuando se desconoce el coeficiente de dilatación del material a usar.

El arreglo de las terminales de medio puente se hace de la siguiente manera:

El alambre que sale de la resistencia medidora se conecta a la terminal negra del aparato, y la compensadora se conecta a la terminal verde y el punto común de ambas se conecta a la terminal blanca como se muestra en la fig. 3.9

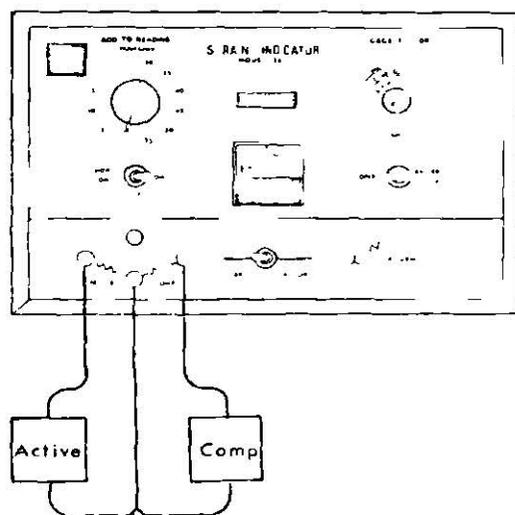


Figura 3.9

El arreglo de 4 strain-gages o puente completo es--
conectado en la forma del puente de Wheatstone, cualquiera de
ellos podrá ser la activa.

El que la usa deberá determinar el arreglo más prác-
tico considerando el problema que se va a tratar.

Esto es solamente necesario para reconocer que el -
puente es desbalanceado en proporción en la diferencia de las
deformaciones de los medidores activos localizados en los bra-
zos o terminales adyacentes y en proporción a la suma de los-
esfuerzos de los medidores activos localizados en las termina-
les opuestas.

Este arreglo se ha venido usando eficientemente don-
de los esfuerzos por medir son muy pequeños.

Conecte las dos entradas de voltaje a las termina-
les negra y verde y las terminales medidoras del puente conec-
tarse a las terminales roja y blanca como está indicado en la
fig. 3.10

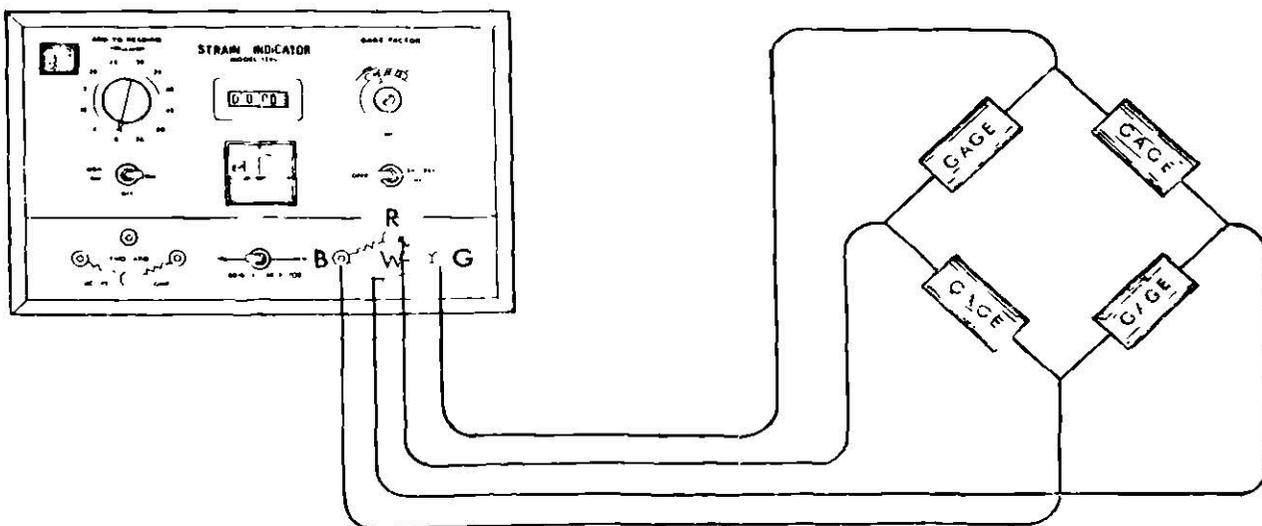


Figura 3.10

Descripción del Indicador Digital de Deformación.-

En la fig. 3.11 se muestran las partes principales del indicador y se mencionan por separado la función de cada una de ellas.

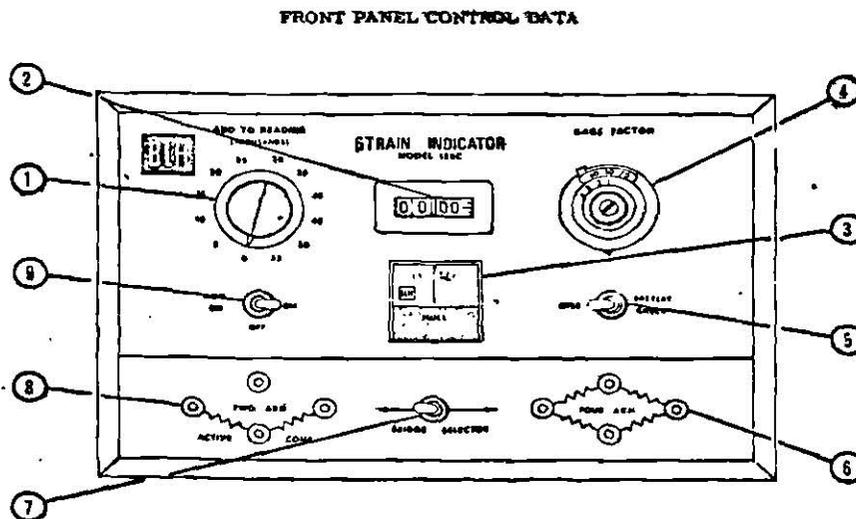


Figura 3.11

1).- Agregado a la Lectura.

Graduado de 0 a 55 y cada paso en 5,000 microcentímetros por centímetro, este switch cambia el puente de referencia del contador digital, incrementando el rango del instrumento.

El switch es colocado inicialmente en 30 (treinta mil microcentímetros por centímetro) que es el 0 del instrumento, para proveer un rango de operación de 30,000 microcentímetro por centímetro.

2).- Contador Digital.

Usado conjuntamente con el switch de agregado a la-

lectura para indicar la magnitud de la deformación. Cuando el indicador de nulos es balanceado, la lectura del contador se suma al valor del switch de agregado a la lectura. Las lecturas son en microcentímetros.

3).- Indicador de Nulos.

Indica un balance entre el voltaje de salida del puente de medidores de deformación y el voltaje de salida del circuito medidor.

Cuando el balance de control es girado y el indicador puesto en cero el voltaje de salida del puente de medidores de deformación igualada al voltaje del circuito medidor. El indicador tiene un rango aproximadamente de 50-0-50 en microcentímetro por centímetro.

4).- Factor de Celda.

El control del factor de celda está graduado de 1.77 a 2.20. Cuando se coloca en el valor correspondiente al de la celda en uso, aplica al voltaje apropiado al circuito medidor.

5).- Operación / Comprobación de batería.

Autocomprobación de la fuente de potencia. Cuando se coloca en la posición de comprobación de batería el indicador de nulos se desvía a la derecha hasta el área roja. Usado tanto para batería como para operación con corriente alterna. Para operación normal coloque el switch en operación.

6).- Postes Terminales de Cuatro brazos

Para la conexión de deformímetros en la forma de puente completo (cuatro brazos) o para el uso como transductor.

7).- Selector de Puentes

Posición a la derecha hacia el grupo de terminales de cuatro brazos para operación de puente completo o transductor; posición a la izquierda hacia el grupo de terminales de dos brazos para operación de medio puente.

8).- Postes Terminales de dos Brazos

Para la conexión de deformímetros con tres o cuatro conductores en la forma de medio puente. Con el selector del puente es colocado para la operación con dos brazos, son colocadas internamente dos resistencias de 500 ohms en el circuito, completando un puente de Wheatstone.

9).- Movimiento on/off on aplica potencia al indicador. Cuando se toman simples lecturas intermitentes con un instrumento operado con batería, coloque el switch en la posición MON.ON- para conservar la vida de la batería. Para operación normal y operación con corriente alterna coloque el switch en la posición de ON.

A continuación en la fig. 3.12 se muestra la parte lateral del indicador de deformación con sus partes principales y sus funciones correspondientes.

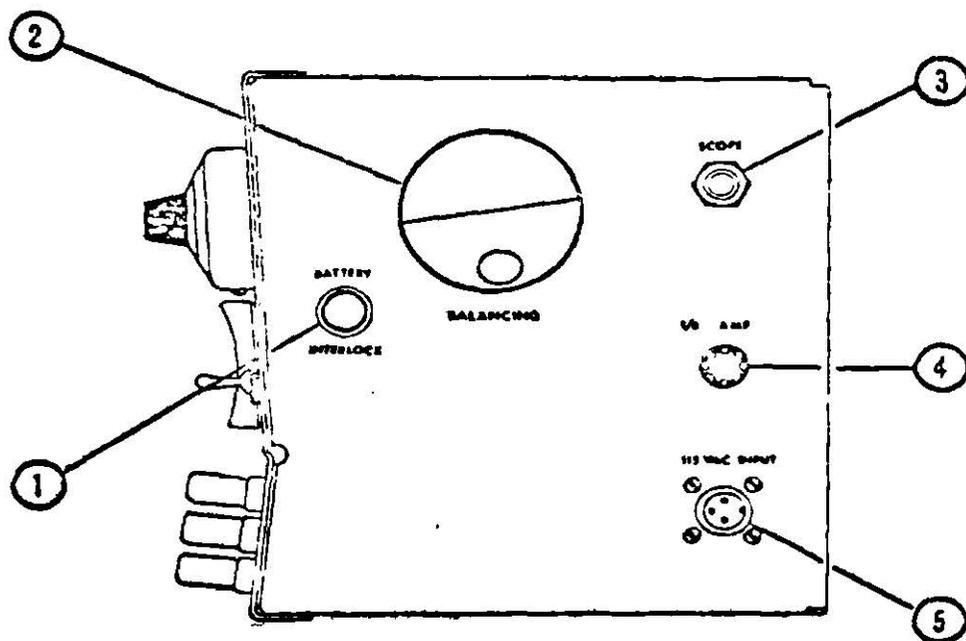


Figura 3.12

1).- Switch de Batería.

Desconectada la fuente del instrumento cuando se cierra la puerta lateral, para prevenir que se descargue la batería si el switch de potencia quedara en ON inadvertidamente.

2).- Perilla de Balanceo.

Engranada con el Contador. Cuando es girada cambia el balance del voltaje de salida del puente de deformímetros -- (o transductores) y el circuito medidor. Cuando el balanceo -- exacto ocurre, el indicador de nulos indicará cero.

3).- Salida para Osciloscopio.

Conexión para osciloscopio para la observación de -- deformaciones Dinámicas.

4).- 1/8 de Amper.

Fusible de la entrada principal de potencia.

5).- Entrada de 115 V.A.C.

Cuando el indicador está equipado con una fuente de potencia de corriente alterna, se conectará aún el cable de entrada de potencia. El abasto de potencia se protege por un fusible independiente de 1/8 amper localizado en el chasis de la fuente de potencia.

OPERACION DEL INDICADOR .-

a) Autocomprobación del Instrumento

1).- Conecte el instrumento a una fuente de poder de 115 V.A.C. si es usado con 120 C.A.

2).- Coloque el switch OPER/BATTERY CHECK, en la posición de BATTERY CHECK.

3).- La aguja del indicador de nulos deberá de flexionarse la derecha, pasando el área roja.

4).- Si la aguja deja de moverse o para en área roja, comp---pruebe las conexiones del cable de potencia o batería, dependiendo del modo de uso del instrumento.

5).- Repita esta operación horariamente para instrumentos operados por baterías en continuo uso. Para conservar las baterias, siempre coloque el switch de potencia en OFF cuando no se toman lecturas.

b).- Operación Propiamente dicha

1).- Seleccione la configuración de dos brazos deseada y conecte las dos celdas al grupo de terminales correspondientes.

2).- Coloque el control de factor de celda en el valor exacto marcado en la envoltura de la celda.

3).- Coloque el switch selector de puentes en la posición de dos brazos.

4).- Coloque el switch de potencia del instrumento en ON.

c).- Medición de Deformación

Lectura Inicial

1).- Gire la perilla de balanceo hasta que la aguja del indicador de nulos marque cero. Si la aguja no puede ser llevada a cero, deje la perilla de balanceo en un extremo de la carrera (0 o 5,000) y gire la perilla de agregado a la lectura hasta que la aguja quede en el centro de la escala. Ahora lleve a cero el instrumento.

2).- Apunte los valores del agregado a la lectura y del contador digital.

Lectura Final

1).- Aplique deformaciones a las celdas

- 2).- Repita el paso C
- 3).- Apunte los valores finales del agregado a la lectura y -- del contador digital.
- 4).- La deformación será la lectura final menos la lectura i-- nicial.

3.3 Selección de Probetas

Las probetas deben seleccionarse y prepararse con el propósito de arrojar una indicación confiable de las propiedades de los materiales o las partes que representen.

Existen dos problemas involucrados en la selección de probetas: (1) el establecimiento de procedimientos físicos para obtener muestras y (2) la determinación del número de probetas o la frecuencia de los ensayos necesarios. En lo referente al primer problema, especificaciones normales para muestreo ha sido especialmente preparadas por la ASTM (American -- Society for Testing and Materials) para un número de materiales de Ingeniería, por ejemplo, el cemento, C 183; la cal, C50; etc. Además, muchas especificaciones para materiales particulares contienen requerimientos de muestreo. Algunas de las -- consideraciones involucradas en la selección de probetas se re-- sumen a continuación: En cuanto al segundo problema, la teo-- ría del muestreo prevee una guía, aunque en muchos casos el nú-- mero de probetas o ensayos a utilizar se basan en la costumbre o la experiencia. Aunque para el ensayo rutinario de la ins-- pección el procedimiento de muestreo es usualmente preescrito de manera definitiva, resulta, no obstante, deseable que el -- inspector posea suficientes conocimientos generales de la pro--

ducción de un material particular para que sepa que constituye una muestra realmente representativa. Sobre todo el sentido comun debe usarse tanto en la selección como en la preparación de probetas.

Al ensayar material proveniente de placas metálicas, debe considerarse debidamente la dirección del rolado; algunas veces se realizan ensayos en probetas cortadas tanto paralela como perpendicularmente a la dirección del rolado.

Los efectos direccionales son particularmente importantes en el hierro forjado, más no tanto en el acero; aparentemente existe un poco efecto direccional en el latón y en el cobre rolado. La resistencia y ductilidad del metal forjado de perfiles estructurales rolados parecen estar influenciados hasta cierto punto por el trabajo bajo los rollos; las partes más delgadas tienden a ser ligeramente más resistentes y menos dúctiles.

Las propiedades del metal cortado de fundición son influenciadas por la velocidad de enfriamiento y los esfuerzos contractivos en los cambios de sección; generalmente las probetas cercanas a la superficie de las fundiciones de hierro son más fuertes. Si las probetas se funden separadamente el tamaño de la fundición requiere consideración.

En el caso de algunos materiales (por ejemplo, bronce), la composición de la mixtura fundida puede cambiar durante el tiempo requerido para fundir el metal, de modo que una probeta tomada al inicio puede no corresponder a la composición promedial del producto final. La obtención de probetas-

representativas de partes forjadas o tratadas con calor puede plantear dificultades muy reales; cada caso debe tratarse sobre sus propios méritos.

En el caso de probetas moldeadas (mortero, concreto, hule, plástico, etc.), debe tenerse cuidado de que las condiciones de moldeo no causen defectos en la probeta; por ejemplo, la restricción contra el encogimiento de los moldes puede inducir grietas en los materiales quebradizos. La atención debe dirigirse al mantenimiento de condiciones de "curado" -- conocidas o normales (Humedad y/o Temperatura) si tienden a influir en los resultados de los ensayos.

3.4 Selección de Strain - Gages

a).- Relación de Cambio entre deformación y Resistencia.

Lord Kelvin descubrió que la resistencia eléctrica de un alambre dado es una función de la deformación a la cual se ha sometido, las deformaciones por tensión usualmente aumentan la resistencia y aquellas por compresión la disminuyen. Para la labor de calibración de la deformación es común expresar el cambio de deformación en función del cambio de resistencia, dando una razón denominada sensibilidad a la deformación o factor de calibración K.

Este factor de calibración $K = \Delta R/R \div \Delta L/L$, donde ΔR representa el cambio de resistencia en la resistencia de calibración total R, ΔL es el correspondiente cambio de longitud en el largo total del conductor. La deformación en milicentímetro/centímetro es:

$$\epsilon = \frac{\Delta R}{RK}$$

la sensibilidad a la deformación es marcadamente influenciada por el tipo de alambre de resistencia, como se muestra en la tabla 3.1

CARACTERÍSTICAS DE LOS ALAMBRES DE RESISTENCIA

Nombre comercial del alambre	Composición	Sensitividad a la deformación	Coefficiente de temperatura de resistencia
Cromoníquel	80% Ni; 20% Cr	2.0	Alto
Manganina	4% Ni; 12% Mn; 84% Cu	0.47	Muy bajo
Advance, Copel, o Constantana . .	45% Ni; 55% Cu	2.0	Despreciable
Isoelástico	36% Ni; 8% Cr; 0.5% Mo	3.5	Alto
Níquel	Ni	-12.1	Inestable

Tabla 3.1

Los diversos puntos a considerar en la selección de un alambre de resistencia, según el orden de importancia, son:

- 1).- El factor de calibración, mientras más alto mejor.
- 2).- La resistencia, mientras más alta mejor.
- 3).- El coeficiente de temperatura de Resistencia, mientras más baja mejor, de modo que el calibrador no sea demasiado sensitivo a la temperatura.
- 4).- El coeficiente de expansión lineal, mientras más baja -- mejor.
- 5).- El comportamiento termoeléctrico, o la tendencia a generar una fuerza electromotriz térmica en las conexiones, - mientras más baja mejor.
- 6).- Las propiedades físicas, el alambre blando fácil de con-

formar y soldar es preferible al duro y tenaz.

De las clases de alambre mostradas en la tabla 3.1- el alambre del tipo Advance es preferido para la mayoría de los calibradores pues posee un factor de calibración suficientemente buenos.

b).- Construcción de las Galgas extensométricas.

El calibrador usual y comercial de alambre de resistencia usado en los Estados Unidos es fabricado por la Baldwin-Lima-Hamilton Corp. y es conocido como calibrador SR-4. Algunos de los tipos comunes se encuentran en la fig. 3.13. - En muchos casos los elementos sensibles se componen de un tramo contínuo de alambre doblado para formar un serpentín de modo que todas las vueltas queden en el mismo plano. Luego este material es cementado a un material cortador de papel u otro tipo.

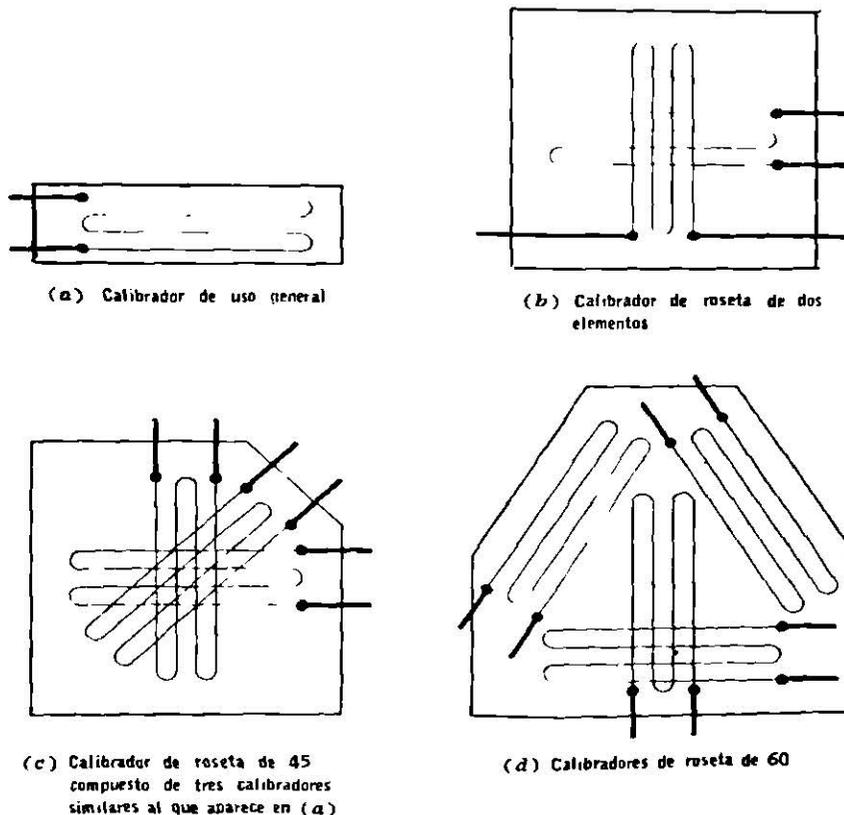


Figura 3.13

En otros casos los elementos sensitivos se hacen de un tramo continuo de alambre envuelto en un patrón helicoidal alrededor de un núcleo delgado y plano de papel. Este elemento sensitivo se coloca luego entre dos cubiertos de papel para protección. Actualmente las galgas extensométricas de alambre se fabrican con diámetros de 0.001 pulgadas (o menos) y la resistencia varía desde 50 ohms hasta varios cientos de ohms.---

Los filamentos, como ya se mencionó anteriormente, son montados en bases de diferentes materiales para seleccionar los en una aplicación particular.

La longitud de la galga puede ser bastante pequeña - para economizar espacio y puede llegar a medir dos o tres pulgadas o más para el caso de mediciones en materiales no homogéneos.

También se fabrican galgas de laminilla, como las -- mostradas en la figura 3.14, la operación y construcción es sí milar a las de alambre.

Se fabrican también a arreglos especiales con dos o más gages, llamados rosetas, como las mostradas en la figura -- 3.15.

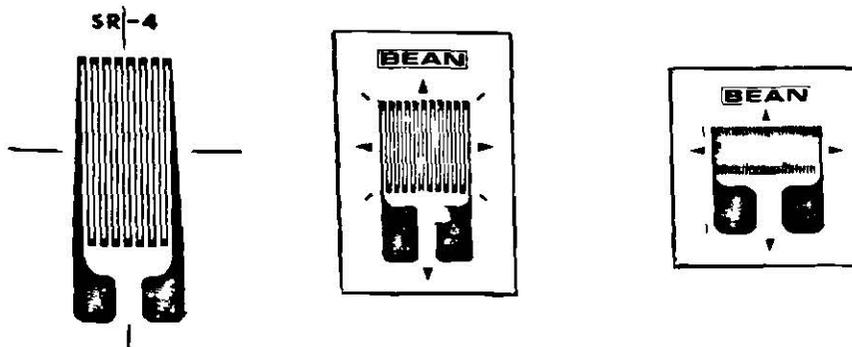


Figura 3.14

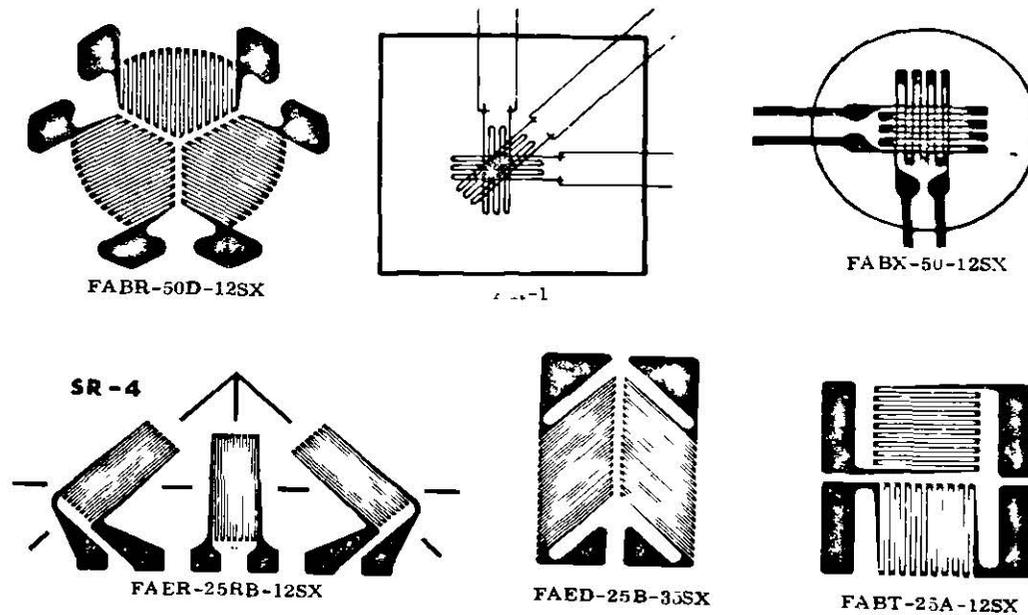


Figura 3.15

Las ventajas sobresalientes de los calibradores integrales de alambres de resistencia eléctrica, comparados con los calibradores mecánicos, son:

- 1).- Facilidad de instalación
- 2).- Exactitud relativamente alta
- 3).- Sensitividad ajustable (cambiando el incremento del amplificador usado)
- 4).- Indicador a distancia (tornando posible la observación de las deformaciones en puntos distantes e inaccesibles).
- 5).- Tramos de calibración muy cortos
- 6).- Medición de la deformación en la superficie del miembro de ensayo.
- 7).- Reacción a la deformación dinámica.

c).- Instrumentación

La instrumentación es la adherencia de la galga con el espécimen, debe de ser perfecta con el fin de que al ser es

forzado el espécimen, la galga siga su deformación. Observar la figura 3.16.

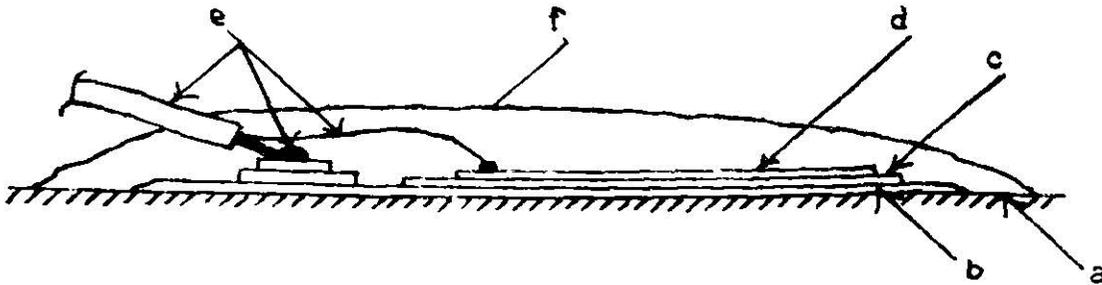


Figura 3.16

Como se puede observar en la fig.3.16 las partes de que está hecha la instrumentación son:

- a).- Especimen
- b).- Adhesivo
- c).- Base
- d).- Filamento Censor
- e).- Terminales, Estañado de terminales, conexiones
- f).- Recubrimiento Protector

Junto a la galga se adhiere un par de terminales, como la mostrada en la figura 3.17. Al hacer la adherencia, se debe tener cuidado de no empalmar la galga con las terminales. La conexión entre ambas (galgas y terminales) se hace por medio de un pequeño alambre y soldándolos con un caudín. Existe una variedad bastante grande de adhesivos, para seleccionar entre ellos el que más nos convenga para un trabajo específico; se selecciona de acuerdo al material del espécimen, condiciones ambientales de instalación, tipos de carga, condi

ciones ambientales del ensaye y limitaciones de la galga.

En la tabla 3.2 se presentan los diferentes tipos de adhesivos para galgas y sus características correspondientes.

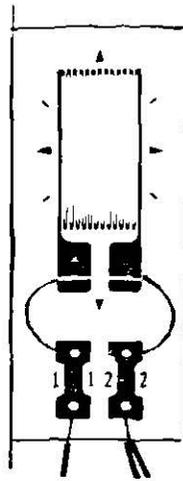


Figura 3.17

Type	Gage Carrier Compatibility	Minimum Cure Time °F	Safe Temp Range °F	Max. Temp °F	Handling Characteristics
Nitrocellulose BLH SR4	Thin Paper Base	10hr at RT 2hr at 120	-100 +180	-320 +200	Single Part Solvent Release
Nitrocellulose Duco R1	Std Paper	46hr at RT 12hr at 120	-100 +150	-320 +200	Single Part Solvent Release
Cyanoacrylate Eastman 910 ^{R2}	All	"	-100 +150	-320 +200	Use of Catalyst Suggested
Room Temp. Epoxy BLH EPY-150	All	2 to 16hrs at RT	-320 +150	-452 +300	Two Part System Must Be Mixed
Medium Temp. Epoxy BLH EPY-350	All Except Paper	2hr at 350	-452 +400	-452 +500	Single Part System
High Temp Epoxy-Filled BLH EPY-400 EPY-500 EPY-550	High Temp Glass Reinforced	6hr at 250 or 2hr at 350	-452 +400	-452 +650	Usual Two Part System
High Temp Epoxy-Unfilled BLH EPY-600	Cast Film and High Temp Glass	1hr at 225	-452 +600	-452 +650	Solvent Thinned Two or More Part Systems
High Temp Polyimide BLH PLD-700	High Temp Glass Re- inforced	2 1/2 hr at 500	-452 +750	-452 +500	Single Part System
Phenolic BLH Bakelite ^{R3}	High Temp Glass Re- inforced	6hr at 300	-320 +300	-452 +500	Single Part System
Ceramic BLH Allen PBX	Stripable or Re- movable	1-6hr at 600	-452 +1000	-452 +1250	Single or Two Part Systems
Aluminum Oxide BLH Rokide ^{R4} Rod	Removable Frame	0	-452 +1500	-452 +1600	Flame Spray

R-1 TM DuPont
R-2 TM Eastman

R-3 TM Union Carbide
R-4 TM Norton

Tabla 3.2

3.5 Preparación de Probetas.-

Al preparar probetas de metal, si una "muestra" áspera es afectada por corte, perforación, o corte por soplete, la probeta terminada no debe contener parte alguna de metal dañado. La superficie terminada de probetas cortadas debe quedar a cuando menos 0.635 cm. de distancia de la superficie cortada con soplete. Debe tenerse cuidado de no doblar la pieza, porque el trabajo del metal tiende a cambiar sus propiedades; en ensayos de probetas cortadas de secciones tubulares, el aplastamiento de las probetas están frecuentemente prohibido por esta razón.

El corte terminado en probetas metálicas maquinadas debe hacerse torneado, cepillado, o laminado, y debe arojar una superficie suficientemente fina para no influir en la falla. Si los extremos de una probeta deben encorvarse, cuerdas normales norteamericanas, o cuerdas ligeramente redondeadas, más bien que cuerdas en "V" agudas, deben cortarse, particularmente si la probeta requiere tratamiento con calor.

El tamaño de la probeta terminada está, en general, gobernada por el de la pieza o del producto del cuál se le toma y por la capacidad de la máquina de ensaye, disponible para ensayarla.

En muchos materiales el grado de homogeneidad o uniformidad estructural del material puede dictar el tamaño de la probeta que puede usarse. Por ejemplo, el diámetro de las probetas de concreto debe ser tres o cuatro veces --

mayor que el de las mayores partículas del agregado.

Las dimensiones y tolerancias para probetas estándar debe advertirse para ceñirse a ellas; estas se discuten en conexión con tipos particulares de ensayos.

Finalmente, debe concederse atención al marcaje y la identificación de las probetas, así como el método para relacionar las muestras de ensayo con el lote o los lotes del material que representa.

Instrumentación de las Probetas

Antes de hacer la preparación de la superficie de cada probeta, debe llevarse el torno para que se le haga su rayado correspondiente.

Este rayado consiste en hacer pasar un eje transversal y otro longitudinal por el centro de la probeta, para que en el cruce de dichos ejes (el centro), se coloque su strain-gages correspondientes.

La preparación de las probetas para el pegado del strain-gages para materiales tales como; aceros, hierro, aluminio, níquel, zinc, cadmio, vidrio, piedra y concreto es de la siguiente manera:

- 1).- Remueva de la superficie, todas las materias extrañas (pintura; óxidos, escamas, etc), utilizando un esmeril, chorro de arena o lija, hasta dejar una superficie tersa,
- 2).- Límpiense las manos
- 3).- Limpie la superficie utilizando una gasa saturada con algún solvente de grasas como; tricloroetileno, acetona, metiletilcetona, tolueno o alcohol.

- 4).- Asegúrese que la superficie quede seca calentando mediante un foco infrarrojo de 150 watts a una distancia de 40-cm. de la superficie durante tres o cuatro minutos.
- 5).- Introduzca en el frasco que contiene el acondicionador -- (ácido fosfórico el 5%) una tira de lija # 680 (silicón)- y talle con ésta la superficie, removiendo el residuo --- (sarro negro) con un pañuelo desechable limpio (Kleenex)
- 6).- Repita la operación número 5 y haga los trazos para la localización del strain-gages, utilizando un rayador de punta fina o un lápiz de graduación 5H.
- 7).- Aplique el acondicionador de metal con un isopo de algodón (Royal Tip) y remueve el residuo con un pañuelo desechable limpio.
- 8).- Lávese las manos (o aplíquese en los dedos neutralizador con un algodón saturado).
- 9).- Aplique sobre la superficie neutralizadora (amoníaco, utilizando un isopo de algodón, limpiando inmediatamente después con un pañuelo desechable.

Una vez terminado de limpiar la superficie, se procede a colocar el strain-gages sobre la probeta de la siguiente manera:

- 1).- Se saca el strain-gages y las terminales de sus estuches correspondientes, estos se ponen en una superficie plana, (pedazo de vidrio), con el fin de colocar una cinta de -- celofán para que queden alineados.
- 2).- Se pega en la probeta pero con el cuidado de que queden a lineados sobre los ejes marcados (en el centro).
- 3).- Una vez alineados, se despega un extremo de la cinta de celofán (adhesiva) con el fin de colocarle primeramente -

el catalizador al strain-gages y terminales, y después, -
el pegamento Eastman - 910.

- 4).- Una vez untado el catalizador y el strain-gages se procede a bajar la cinta adhesiva y dejarlo fraguar un minuto.
- 5).- Después de haber secado perfectamente se le quita la cinta adhesiva (transparente).

¡ Ya que se encuentra el strain-gages y las terminales completamente adheridas a la probeta se procede al soldado:

- 1).- Estañar el filamento y pegarlo al strain-gages por medio de un cautín. El soldado debe ser muy fino.
- 2).- Se procede a hacer un puente entre el strain-gages y las terminales para checar si está bien soldado.
- 3).- Se soldan las puntas del filamento en las terminales. El soldado no necesariamente suele ser muy fino.
- 4).- Una vez soldadas ambas partes, se checa la continuidad.--
- 5).- Se soldan los cables a las terminales y después se vuelve a checar la continuidad.
- 6).- Se procede a colocar el recubrimiento protector y se deja fraguar.

3.6 Condición de ambiente

Además de las condiciones de carga, es necesario tomar en cuenta las condiciones del material en el momento del ensayo y las condiciones si ellas afectan los resultados del ensaye.

Las condiciones son las siguientes:

- 1).- Condición del aire.- El control simultáneo de todo, o -- por lo menos los primeros tres de esos factores afectando en-

tre ambos las condiciones físicas y químicas de la atmósfera-- con cualquier estructura. Estos factores incluyen temperatu-- ra, humedad, movimiento, distribución, polvo, , bacterias, o-- lor y gases tóxicos.

- 2).- Aire seco.- Aire que no contiene vapor de agua.
- 3).- Aire saturado.- Una mezcla de aire seco y vapor de agua - en que la más reciente es la máxima concentración para prevalecer temperatura y presión.
- 4).- Presión atmosférica.- La presión debido al peso de la at mósfera. Es la presión indicada por un barómetro. La -- presión de 76 centímetros de mercurio, teniendo una densidad de 13.5951 gr/cm, bajo la gravedad estandard de ----- 980.665 cm/seg. por segundo.
- 5).- Atmósfera Estándard.- Es el aire mantenido a una temperatura especificada, humedad relativa y presión atmosférica estandard.
- 6).- Condición Estandard.- La condición alcanzada por una probeta cuando esta está en temperatura y equilibrio húmedo con una atmósfera estandard.
- 7).- Condición.- La exposición de un material a la influenciade una atmósfera preescrita por un período estipulado de tiempo o hasta una relación estipulada es alcanzada entre el material y la atmósfera.
- 8).- Húmedad.- Se incrementa, por cualquier proceso, la cantidad de vapor de agua con un espacio dado.
- 9).- Humidistato.- Un aparato regulador, activado por los cam bios en la humedad, usado para el control automático de - la humedad relativa.

- 10).- *Humedad.*- La condición de la atmósfera con respecto al vapor de agua.
- 11).- *Humedad Relativa.*- La relación de la presión actual de existencia de vapor de agua a la presión máxima posible de vapor de agua en la atmósfera a la misma temperatura, expresada como un porcentaje.
- 12).- *Higrómetro.*- Un instrumento que indica directamente o indirectamente la humedad relativa del aire.
- 13).- *Contenido Húmedo.*- La humedad que se presenta en una materia, es determinado por métodos preescritos definidos expresados como un porcentaje de el peso de la prueba - o cualquiera de las dos de las siguientes bases:
 - a) *Peso original*
 - b) *Peso de Humedad independiente*
- 14).- *Precondición.*- Cualquier exposición preliminar de un material a la influencia de las condiciones atmosféricas especificadas para el propósito del aprovechamiento --- favorable del equilibrio con una atmósfera preescrita.
- 15).- *Temperatura del Cuarto.*- Una temperatura dentro del -- rango de 20 a 30°C.
- 16).- *Atmósfera Estandar en el Laboratorio.*- Una atmósfera - la temperatura y humedad relativa de que es especificado con tolerancias cada uno.
- 17).- *Temperatura.*- El estado térmico de la materia es medido con una escala definida.
- 18).- *Control de Vibraciones.*- Desde la prueba de relación - de esfuerzo son completamente sensitivas al choque y a-

*la vibración, la localización de los aparatos de prueba-
deben ser seleccionados para un mínimo disturbio.*



BIBLIOTECA

CAPITULO IV

MODULO DE ELASTICIDAD EN METALES A TENSION

4.1 Estadística de Prueba.-

a).- Material: Acero Rolado en Frío (Cold Rolled)

Diámetro Inicial : 1.28 cm

Longitud Inicial: 5.08 cm.

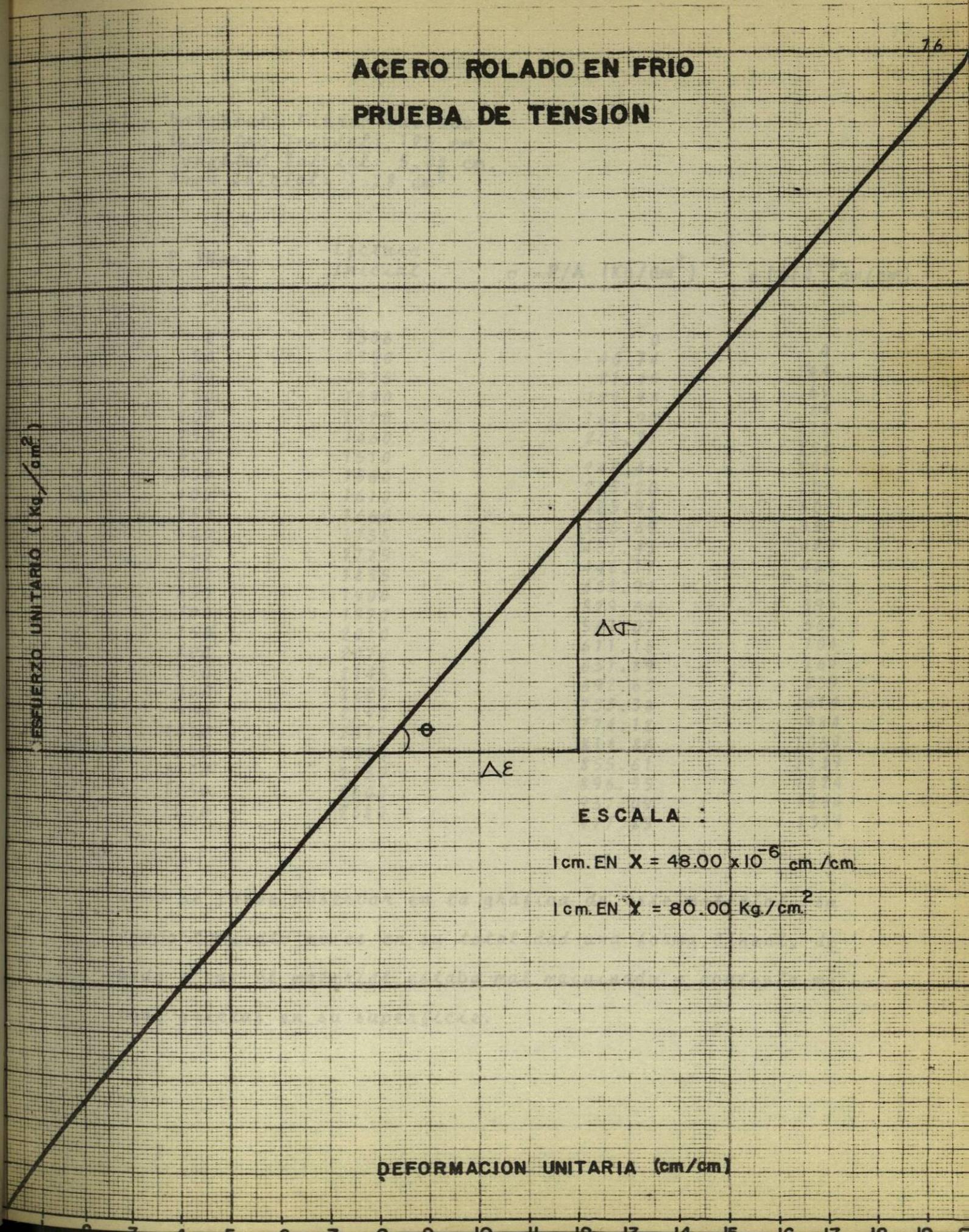
Area Inicial : $\frac{\pi D^2}{4} = 1.286 \text{ cm}^2$

P (Kgs)	Lectura Inicial	ϵ ($\times 10^{-6}$ cm/cm)	$\sigma = P/A$ (Kg/cm ²)
0	4146	0	0
50	4171	25	38.88
100	4182	36	77.76
150	4190	44	116.64
200	4215	69	155.52
250	4235	89	194.40
300	4250	104	233.28
350	4265	119	272.16
400	4290	144	311.00
450	4305	159	349.92
500	4325	179	388.80
550	4340	194	427.68
600	4360	214	466.56
650	4379	233	505.44
700	4400	254	544.32
750	4420	274	583.20
800	4440	294	622.00
850	4460	314	660.96
900	4480	334	700.00
950	4500	354	738.72
1000	4515	369	777.60
1050	4530	384	816.50
1100	4550	404	855.36
1150	4570	424	894.25
1200	4600	454	933.12
1250	4610	464	972.00
1300	4620	474	1010.90
1350	4640	494	1049.76
1400	4660	514	1088.64
1450	4690	544	1127.52
1500	4700	544	1166.40
1550	4725	579	1205.30
1600	4740	594	1244.16
1650	4760	614	1283.00
1700	4780	634	1321.92
1750	4800	654	1360.80
1800	4820	674	1399.60
1850	4840	694	1438.60
1900	4855	709	1477.40
1950	4880	734	1516.32
2000	4900	754	1555.20
2050	4910	764	1594.10

P (Kgs)	Lectura Inicial	ϵ ($\times 10^{-6}$ cm/cm)	$\sigma = P/A$ (Kg/cm ²)
2100	4930	784	1632.97
2150	4945	799	1671.85
2200	4965	819	1710.73
2250	4990	844	1749.67
2300	5000	854	1788.50
2350	5020	874	1827.37
2400	5050	904	1866.25
2450	5060	914	1905.13
2500	5090	944	1944.00

ACERO ROLADO EN FRIO PRUEBA DE TENSION

ESFUERZO UNITARIO (Kg/cm²)



ESCALA :

1 cm. EN X = 48.00×10^{-6} cm./cm.

1 cm. EN Y = 80.00 Kg./cm.²

DEFORMACION UNITARIA (cm/cm)

- b).- Material: Fierro Vaciado
 Diámetro Inicial: 125 cm.
 Longitud Inicial: 5.08 cm.
 Area Inicial: 1.28 cm²

P (Kgs)	Lectura Inicial	$\sigma = P/A$ (Kg/cm ²)	ϵ (X10 ⁻⁶ cm/cm)
0	1308	0	0
50	1350	40.74	44
100	1375	81.49	69
150	1390	122.23	84
200	1420	162.97	114
250	1460	203.71	154
300	1510	244.46	204
350	1560	285.20	254
400	1610	325.94	304
450	1660	366.69	354
500	1735	407.43	429
550	1775	448.17	469
600	1835	488.92	529
650	1900	529.66	594
700	1970	541.07	664
750	2010	611.15	704
800	2070	651.89	764
850	2145	692.63	839
900	2220	733.38	914
950	2290	774.12	984
1000	2375	814.86	1069
1050	2445	855.61	1139
1100	2530	896.35	1224
1150	2600	937.09	1294
1200	2680	977.83	1374

Como se puede observar en la gráfica de este material, su comportamiento no es en su totalidad una forma lineal, debido a que el material estaba mal maquinado y contenía muchas grietas en su superficie.

FIERRO VACIADO PRUEBA DE TENSION

ESFUERZO UNITARIO (Kg/cm²)

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

DEFORMACION UNITARIA (cm./cm.)

ESCALA:

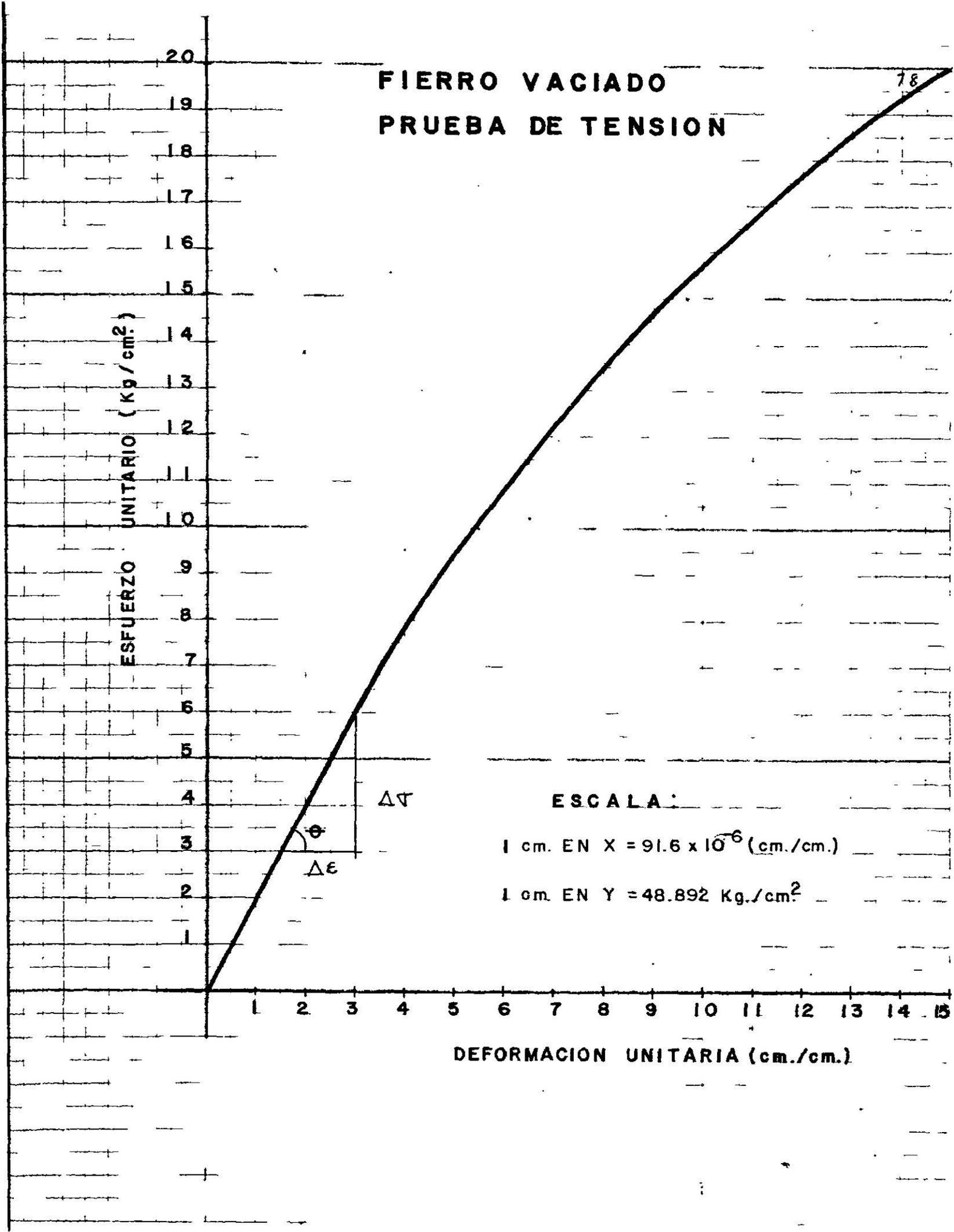
1 cm. EN X = 91.6×10^{-6} (cm./cm.)

1 cm. EN Y = 48.892 Kg./cm²

$\Delta \sigma$

$\Delta \epsilon$

78



c).- Material: Aluminio
 Diámetro inicial: 1.28 cm
 Longitud Inicial: 5.08 cm
 Area inicial: $\frac{\pi D^2}{4} = 1.286 \text{ cm}^2$

P (Kgs)	Lectura Inicial	ϵ ($\times 10^{-6}$ cm/cm)	$\sigma = P/A$ (Kg/cm ²)
0	696	0	0
50	757	61	38.88
100	805	109	77.76
150	842	146	116.64
200	934	238	155.52
250	945	249	194.40
300	1010	314	233.28
350	1065	369	272.16
400	1132	436	311.04
450	1182	486	349.92
500	1234	534	388.80
550	1304	608	427.68
600	1352	656	466.56
650	1406	710	505.44
700	1464	768	544.32
750	1514	814	578.70
800	1582	886	622.08

ALUMINIO

PRUEBA DE TENSION

ESFUERZO UNITARIO (Kg/cm²)

DEFORMACION UNITARIA (cm./cm.)

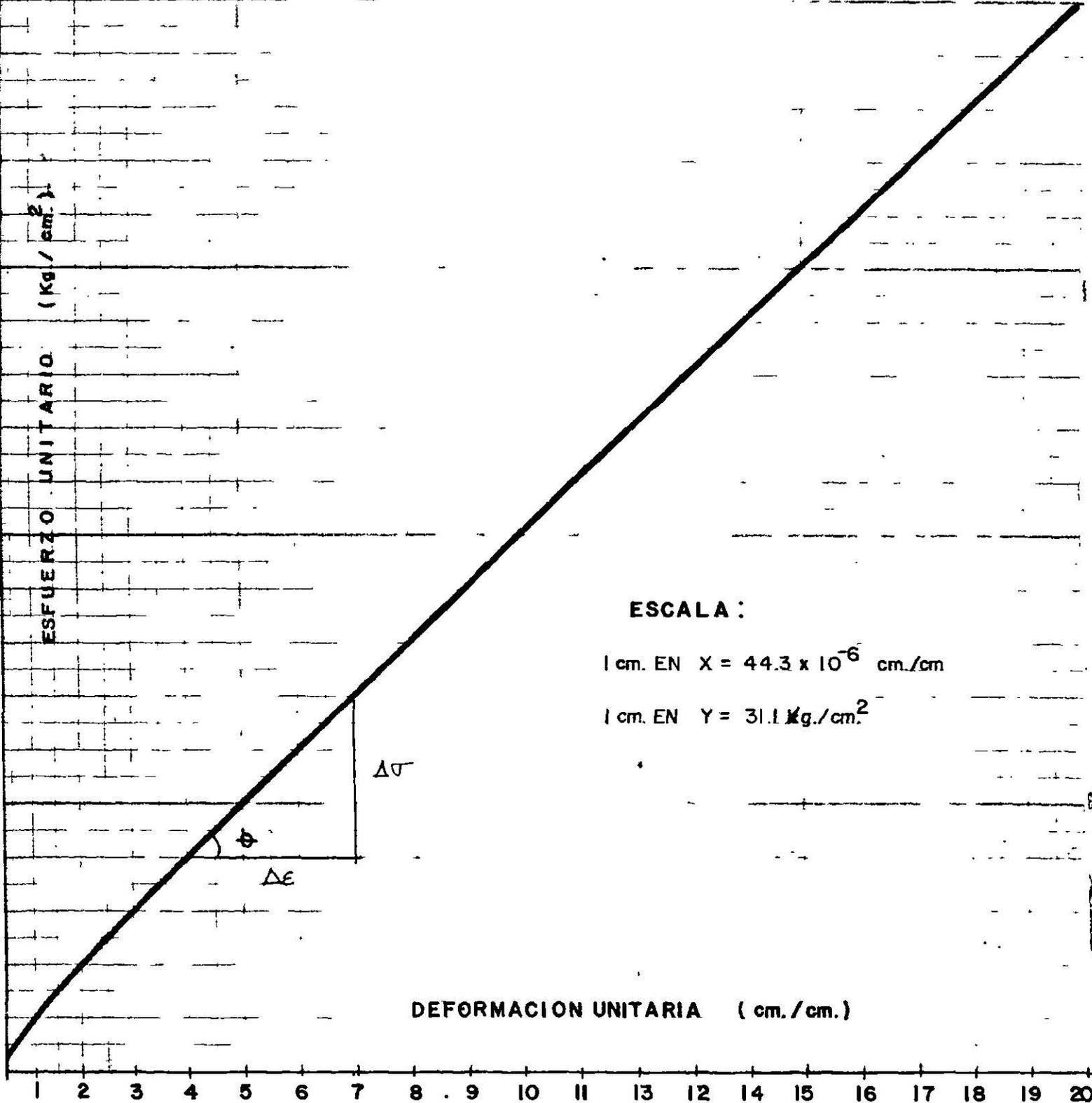
ESCALA :

1 cm. EN X = 44.3×10^{-6} cm./cm

1 cm. EN Y = 31.1 Kg./cm.^2

$\Delta\sigma$

$\Delta\epsilon$



d).- Material: Acero Estructural
 Diámetro Inicial : 1.29 cm
 Longitud Inicial: 5.08 cm.
 Area inicial = $\frac{\pi D^2}{4} = 1.307 \text{ cm}^2$

P (Kgs)	Lectura Inicial	ϵ ($\times 10^{-6}$ cm/cm)	$\sigma = P/A$ (Kg/cm ²)
0	3040	0	0
50	3075	35	38.25
100	3120	80	76.51
150	3160	120	114.77
200	3195	155	153.02
250	3215	175	191.28
300	3280	240	229.53
350	3420	380	267.79
400	3590	550	306.04
450	3675	635	344.30
500	3720	680	382.56
550	3770	730	420.81
600	3860	820	459.07
650	3900	860	497.32
700	3925	885	535.58
750	3950	910	573.83

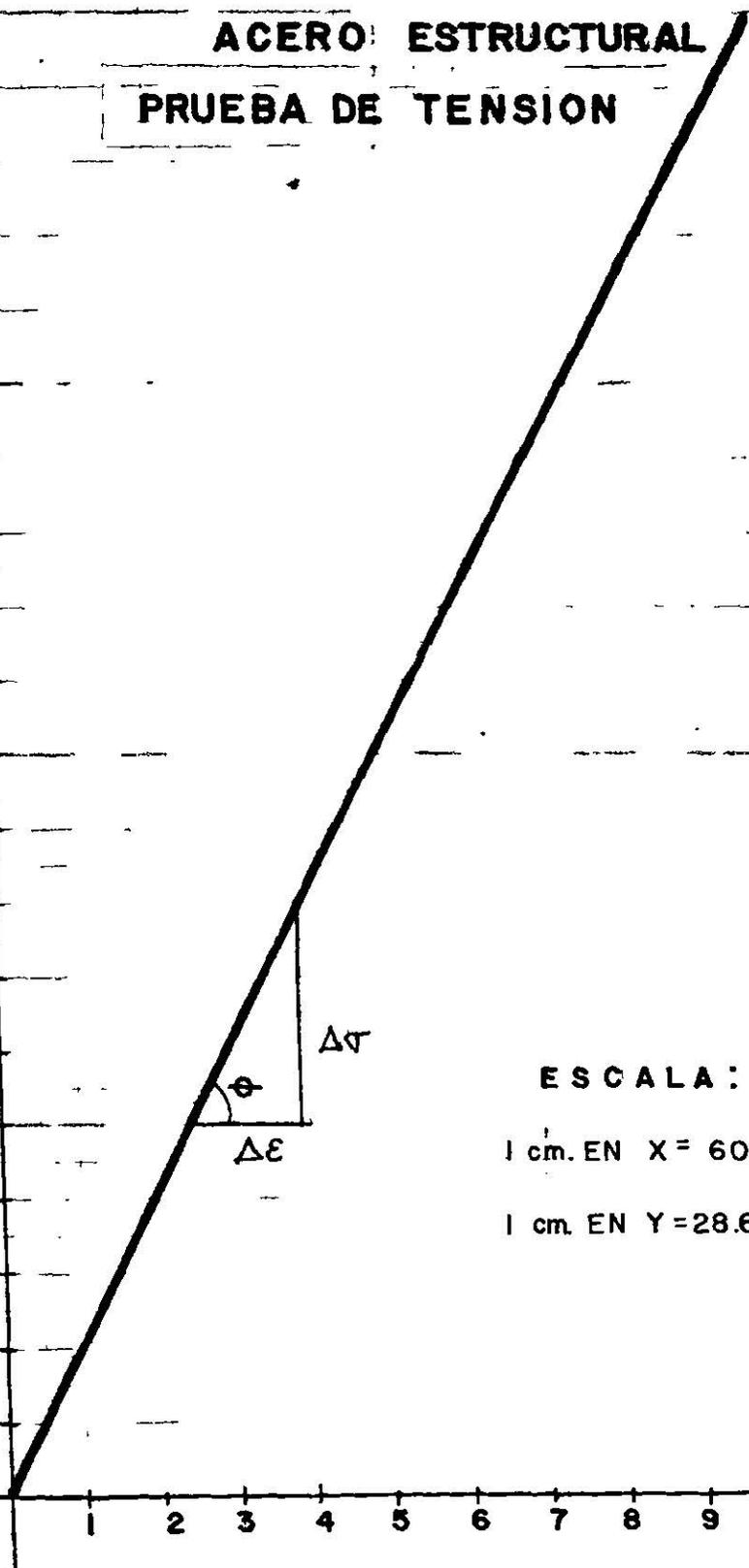
ACERO ESTRUCTURAL PRUEBA DE TENSION

ESFUERZO UNITARIO (Kg./cm.²)

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 E

DEFORMACION UNITARIA (cm./cm.)



ESCALA:

1 cm. EN X = 60.66×10^{-6} cm./cm.

1 cm. EN Y = 28.692 Kg./cm.²

4.2 Cálculo del Módulo de Elasticidad.-

a).- Material.- Acero Rolado en Frío (Cold Rolled)

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 1200 - 800 = 400$$

$$\Delta\sigma = 400 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (576 - 384) \times 10^{-6} = 192 \times 10^{-6}$$

$$\Delta\varepsilon = 192 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}$$

$$E = \text{tg} \theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{400 \text{ Kg/cm}^2}{192 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}}$$

$$E = \underline{2,083,000 \text{ Kg/cm}^2}$$

b).- Material : Hierro Vaciado

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 293.352 - 146.676$$

$$\Delta\sigma = 146.676 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (274.8 - 137.4) \times 10^{-6}$$

$$\Delta\varepsilon = 137.4 \times 10^{-6} \text{ cm/cm.}$$

$$E = \text{tg} \theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{146.676 \text{ Kg/cm}^2}{137.4 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}}$$

$$E = \underline{1,067,500 \text{ Kg/cm}^2}$$

c).- Material .- Aluminio

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 217.7 - 124.4$$

$$\Delta\sigma = 93.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (310.1 - 177.2) \times 10^{-6}$$

$$\Delta\varepsilon = 132.9 \times 10^{-6}$$

$$E = \operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{93.3 \text{ Kg/cm}^2}{132.9 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}}$$

$$E = \underline{702,031 \text{ Kg/cm}^2}$$

d).- Material .- Acero Estructural

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 229.533 - 143.458$$

$$\Delta\sigma = 86.0749 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (236.60 - 148.68) \times 10^{-6}$$

$$\Delta\varepsilon = 87.966 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}$$

$$E = \operatorname{tg} \theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{86.0749 \text{ Kg/cm}^2}{87.966 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}}$$

$$E = \underline{978,495 \text{ Kg/cm}^2}$$

4.3 Conclusiones.

Dentro del estudio de la resistencia de los materiales, la función principal es conocer que tanto esfuerzo puede soportar un cuerpo o pieza metálica, para esto se efectúa una serie de pruebas con el fin de obtener que grado de rigidez posee este material.

La palabra rigidez significa, en términos de la materia, MODULO DE ELASTICIDAD DEL MATERIAL.

A continuación en la tabla 4-1 se muestran los valores del módulo de elasticidad de algunos metales y aleaciones sometidos a esfuerzos de tensión y compresión.

MATERIAL	MODULO DE ELASTICIDAD. ($\times 10^6$ Kg/cm ²)
ACERO ESTRUCTURAL (aprox., 30% carbono) Laminado en caliente.....	2.11
ACERO (aprox., .60% carbono) Laminado en caliente.....	2.11
ACERO ESTRUCTURAL AL NIQUEL (3.5% niquel) Laminado en Caliente.....	2.11
ACERO AL CROMO-NIQUEL (SAE 3245) Tratado termicamente (carbono 0.40 a 0.50%, Ni 1.5 a 2%, Cr 0.90 a 1.25%).....	2.11
ACERO BAJO EN CARBONO.....	2.1
ACERO DE CARBONO MEDIO.....	2.1
ACERO ALTO EN CARBONO.....	2.1
ACERO DE ALEACION ESPECIAL (tratado termicamente).....	2.1
ALEACION DE ALUMINIO, LAMINADA REVENIDA (Aluminio 96%, Cobre 4%).....	0.703
ALEACION DE MAGNESIO, ALTA RESISTENCIA, EXTRU IDO (Magnesio 93%, Aluminio 6%, Zinc - 0.7%).....	0.457
ALEACION DE ALUMINIO, 7075-T6.....	0.721
ALEACION DE MAGNESIO, 0-1HTA.....	0.455
ALUMINIO: LAMINADO DURO, 1100-H18.....	0.703
ALUMINIO: VACIADO EN ARENA, 1100-F.....	0.6327
BRONCE LAMINADO (Cobre 95%, Estaño 5%).....	0.984
BRONCE LAMINADO.....	0.98
FUNDICION GRIS.....	1.05
FUNDICION CON ALEACION.....	1.41
FUNDICION MALEABLE.....	1.61
LATON LAMINADO (Cobre 60%, Zinc 40%).....	0.844
METAL MONEL, LAMINADO EN CALIENTE (Niquel 1.67%, Cobre 28%).....	1.76

Tabla 4-1

Estos valores son estandares establecidos por los autores de diferentes libros y comparándolos con los obtenidos en este escrito, se puede observar cierta diferencia entre ambos, debido a las causas que en seguida se enumeran:

- 1).- Propiedades del Material.
- 2).- Aleaciones Diferentes.
- 3).- Holgura de la Máquina.
- 4).- Cuestión de Apreciación en los Aparatos de Medición

Los módulos de Elasticidad obtenidos en las pruebas, son los siguientes:

Material:	Módulo de Elasticidad a Tensión:
Acero Rolado en Frío	2,083,334 Kg/cm ²
Aluminio	702,031 Kg/cm ²
Acero Estructural	978,495 Kg/cm ²
Fierro Vaciado	1;067,500 Kg/cm ²

CAPITULO V

. MODULO DE ELASTICIDAD EN METALES A COMPRESION

5.1 Estadística de Prueba.-

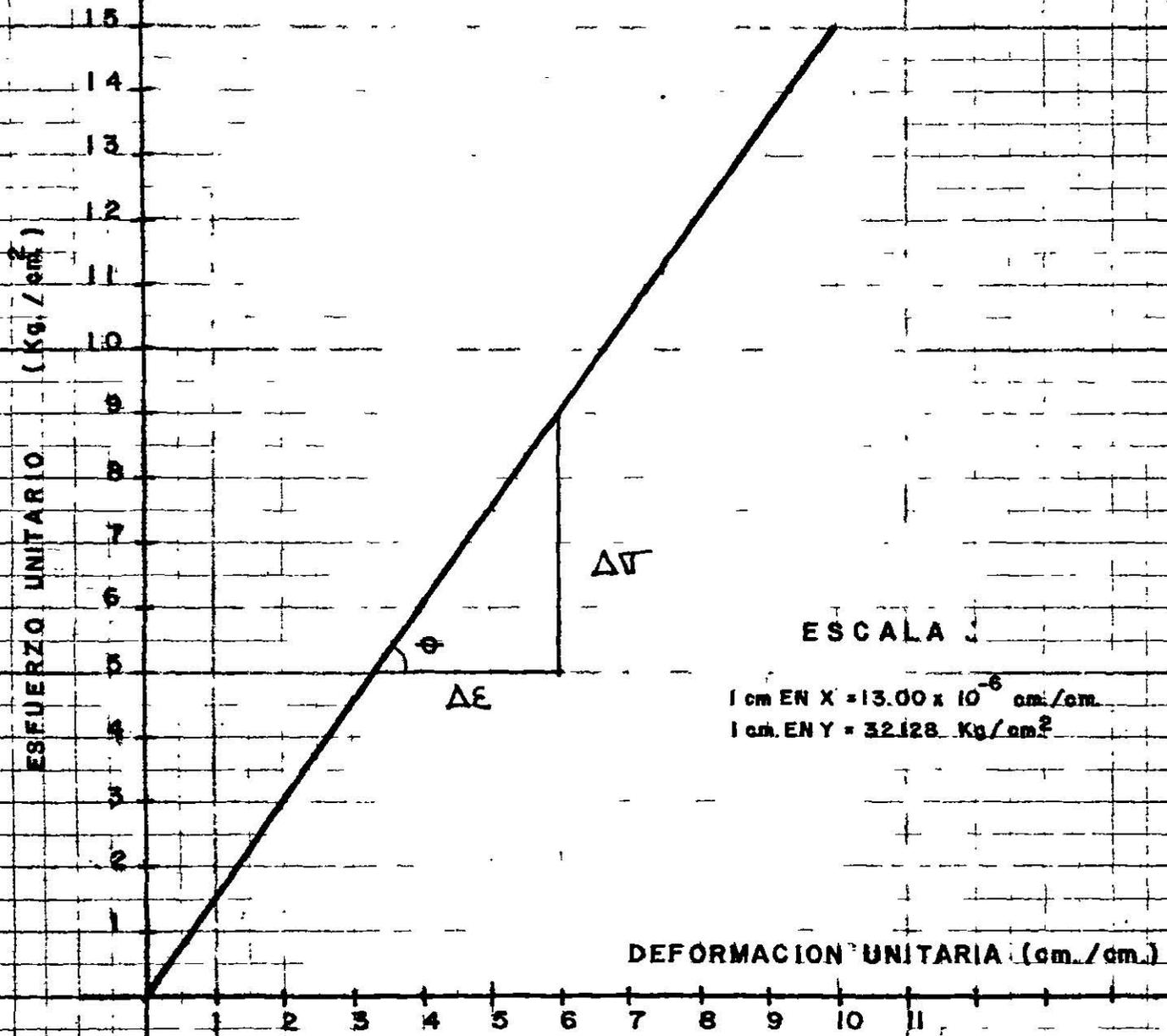
a).- Material: Acero Rolado en Frío (Cold Rolled)

Díámetro Inicial : 2.3 cm

$$\text{Area Inicial} = \frac{\pi D^2}{4} = 4.15 \text{ cm}^2$$

P (Kgs)	Lectura Inicial	$\epsilon (X10^{-6} \text{ cm/cm})$	$\sigma = P/A \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$
0	360	0	0
500	328	32	120.48
1000	294	66	240.90
1500	262	98	361.40
2000	230	130	481.93

ACERO ROLADO EN FRIO PRUEBA DE COMPRESION



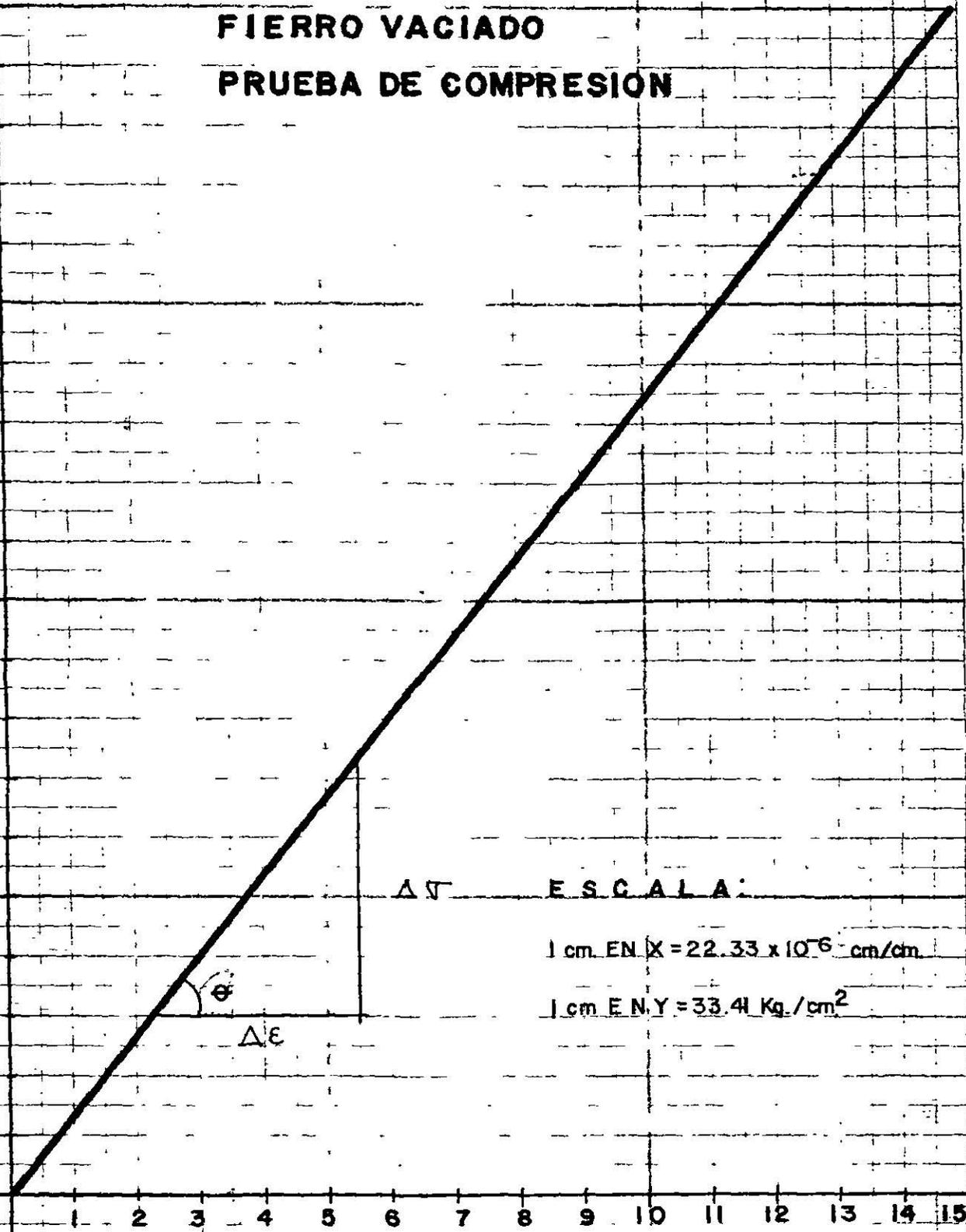
- b) Material : Fierro Vaciado
 Diámetro Inicial : 2.31 cm.
 Longitud Inicial : 17.82 cm
 Area Inicial = $\frac{\pi D^2}{4} = 4.19 \text{ cm}^2$

P (Kgs)	Lectura Inicial	ϵ ($\times 10^{-6}$ cm/cm)	$\sigma = P/A$ (Kg/cm ²)
0	3865	0	0
100	3852	13	23.87
200	3840	25	47.73
300	3830	35	71.60
400	3820	45	95.46
500	3810	55	111.33
600	3800	65	143.20
700	3790	75	167.06
800	3778	87	190.93
900	3765	100	214.80
1000	3745	120	238.66
1100	3740	125	262.53
1200	3730	135	286.40
1300	3715	150	310.26
1400	3700	165	334.13
1500	3690	175	358.00
1600	3680	185	381.86
1700	3670	195	405.73
1800	3655	210	429.59
1900	3640	225	453.46
2000	3630	235	477.33
2100	3620	245	501.19
2200	3610	255	525.06
2300	3595	270	548.93
2400	3580	285	572.79
2500	3570	295	596.65
2600	3555	310	620.52
2700	3540	325	644.39
2800	3530	335	668.25

FIERRO VACIADO PRUEBA DE COMPRESION

ESFUERZO UNITARIO (Kg./cm.²)

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1



DEFORMACION UNITARIA (cm./cm.)

Δσ

E S C A L A :

1 cm. EN X = 22.33×10^{-6} cm/cm

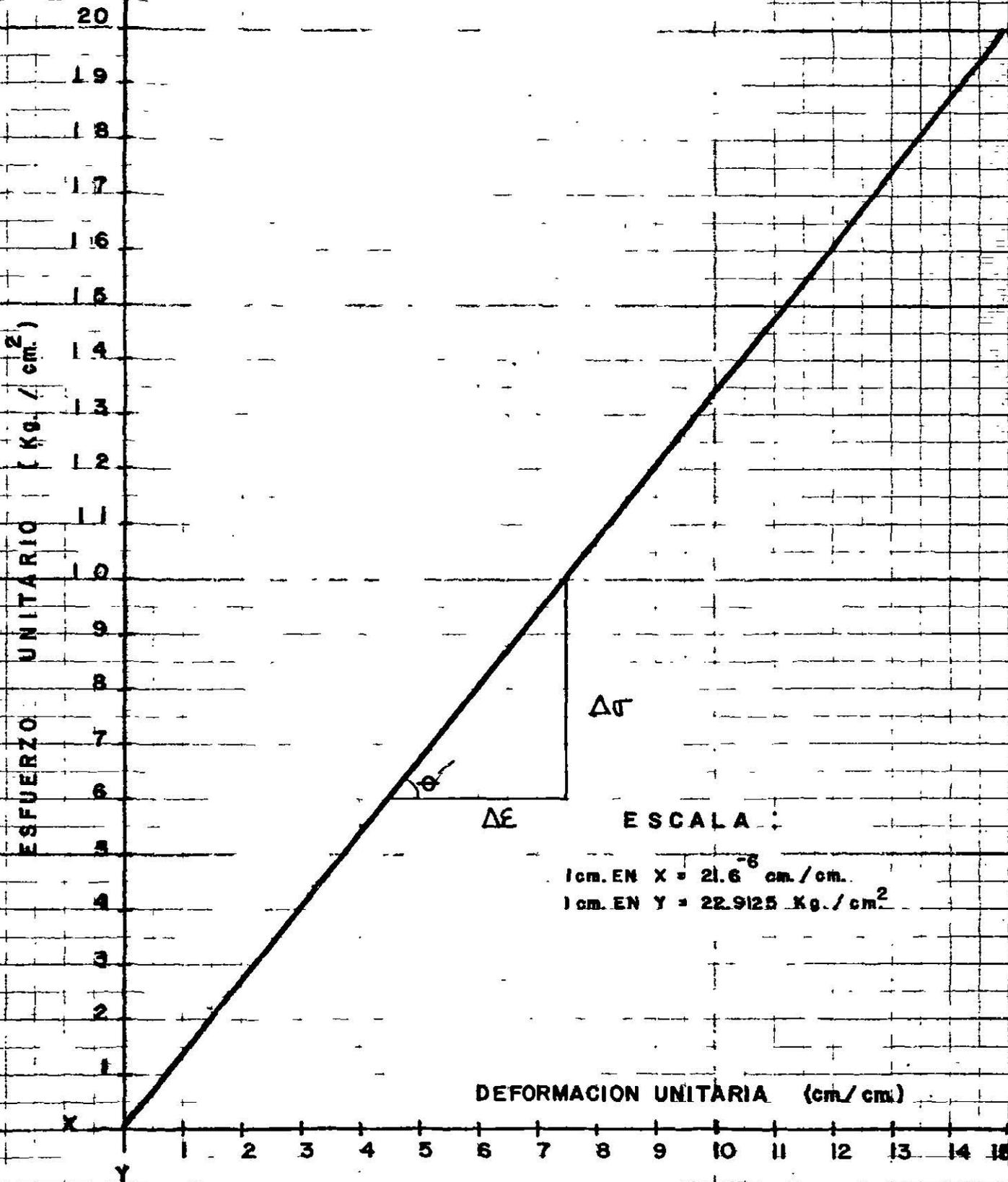
1 cm. EN Y = 33.41 Kg./cm²

c) Material : Aluminio
 Diámetro Inicial : 2.5 cm
 Area Inicial = $\frac{\pi D^2}{4} = 4.91 \text{ cm}^2$

P (Kg)	Lectura Inicial	ϵ ($\times 10^{-6}$ cm/cm)	$\sigma = P/A$ (Kg/cm ²)
0	2980	0	0
125	2964	16	25.96
250	2948	32	50.92
375	2928	52	76.77
500	2910	70	101.33
625	2892	88	127.27
750	2875	105	153.75
875	2860	120	178.21
1000	2840	140	203.67
1125	2822	158	229.12
1250	2805	175	254.58
1375	2784	196	280.04
1500	2786	214	305.50
1625	2745	235	230.96
1750	2728	252	356.41
1875	2714	266	381.87
2000	2695	285	407.33
2125	2675	305	432.79
2250	2656	324	458.25

ALUMINIO

PRUEBA DE COMPRESION



5.2.- Cálculo del Módulo de Elasticidad

a).- Material: - Acero Rolado en Frío

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 289.152 - 160.64$$

$$\Delta\sigma = 128.512 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (78.00 - 35.75) \times 10^{-6}$$

$$\Delta\varepsilon = 42.25 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}$$

$$E = \operatorname{tg}\theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{128.512 \text{ Kg/cm}^2}{42.25 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}} = 3.04$$

$$E = 3,040,000 \text{ Kg/cm}^2$$

b).- Material: - Hierro Vaciado

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 247.234 - 100.73$$

$$\Delta\sigma = 147.004 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (127.815 - 49.126) \times 10^{-6}$$

$$\Delta\varepsilon = 73.689 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}$$

$$E = \operatorname{tg}\theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{147.004 \text{ Kg/cm}^2}{73.689 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}}$$

$$E = 1,995,000 \text{ Kg/cm}^2$$

c) Material : - Aluminio

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 229.125 - 137.475$$

$$\Delta\sigma = 91.65 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = (162 - 97.2) \times 10^{-6}$$

$$\Delta\varepsilon = 64.8 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}$$

$$E = \text{tg}\theta = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{91.65 \text{ Kg/cm}^2}{64.8 \times 10^{-6} \text{ cm/cm}} = 1.41 \times 10^6$$

$$E = \underline{1,414,000 \text{ Kg/cm}^2}$$

5.3.- Conclusiones.-

La identificación, las dimensiones, las cargas críticas, las lecturas compresométricas (en caso de que se hayan sido tomadas), el tipo de falla, incluyendo los croquis, etc., se registran en una forma apropiada al tipo de ensayo y a la extensión de los datos a tomar.

En este escrito el fin principal es determinar los Módulos de Elasticidad, a tensión compresión y torsión, de varios materiales, ya que es este, el que determina que tanta carga puede soportar antes de fracturarse, así como su rigidez.

El módulo de Elasticidad a Compresión no varía en gran cantidad al de Tensión, como puede verse en la tabla 1.1 (b).

Los resultados que se obtuvieron en este escrito para el ensayo de compresión son las siguientes:

Material:	Módulo de Elasticidad:
Acero Rolado F	3,040,000 Kg/cm ²
Aluminio	1,414,000 Kg/cm ²
Fierro Vaciado	1,995,000 Kg/cm ²

CAPITULO VI

MODULO DE ELASTICIDAD EN METALES A CORTE.

6.1.- Clasificación de Estados de Carga.-

Un esfuerzo de corte es aquel que actúa paralelamente a un plano, para distinguirlo de los esfuerzos tensivos y compresivos que actúan normalmente a un plano. Las cargas que producen las condiciones de corte de interés principal en el ensayo de materiales son las siguientes:

- 1.- Las resultantes de fuerzas paralelas pero opuestas, actúan a través de los centroides de sección espaciadas a distancias "infinitesimales" entre sí. Es concebible en tales casos que los esfuerzos de corte sobre las secciones sean uniformes y exista un estado de corte directo puro. Es posible acercarse a esta condición, pero nunca alcanzarla prácticamente. Una aproximación de esta condición, es el caso de un remache bajo esfuerzo de corte como se muestra en la fig. 6.1 (a); aquí para propósitos prácticos, el corte directo puede considerarse que existe dentro del remache sobre los planos XX y YY
- 2.- Las fuerzas opuestas aplicadas son paralelas, actúan normalmente a un eje longitudinal del cuerpo, pero están espaciadas a distancias finitas entre sí. Entonces, además de los esfuerzos cortantes producidos, se establecen esfuerzos -- flexionantes. En el caso de una viga rectangular sometida a cargas transversales (fig. 6.1 (b)), los esfuerzos cortantes sobre cualquier sección transversal varían en intensidad desde cero en las superficies superiores e inferiores de la viga hasta un máximo en el eje neutro.

3.- Las fuerzas aplicadas son paralelas y opuestas, pero no yacen en un plano que contenga el eje longitudinal del cuerpo; aquí se establece un par que produce una torsión alrededor de un eje longitudinal. Esta acción torcente de una sección de un cuerpo con respecto a una sección contigua es denominada torsión. La fig. 6.1 (c), representa una pieza de eje sometida a un torque. Los esfuerzos cortantes de torsión sobre secciones transversales circulares varían desde cero en el eje de torsión hasta un máximo en las fibras extremas.

Si no se presenta flexión alguna, existe "esfuerzo de corte puro". En cualquier punto de un cuerpo esforzado los esfuerzos de corte τ en cualquiera de dos direcciones mutuamente perpendiculares son iguales en magnitud. Si sobre algún par de planos en un punto, solamente esfuerzos de corte actúan, el material en ese punto se dice que está en "corte puro".

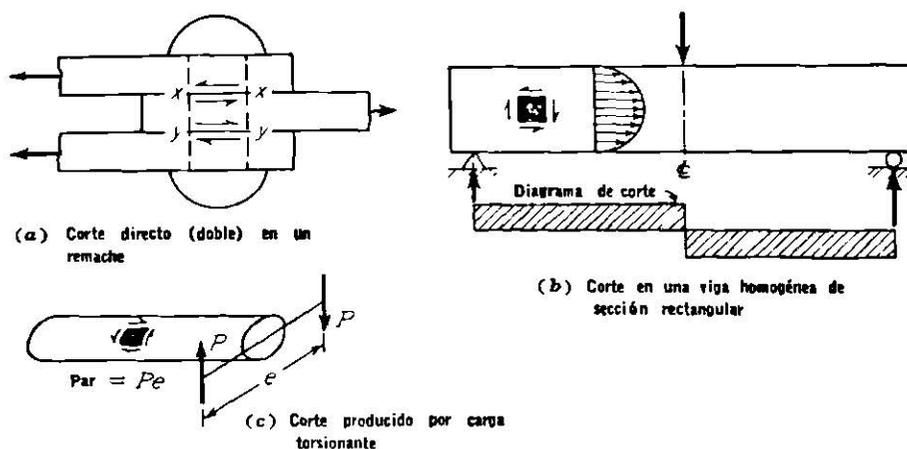


Figura 6.1

6.2.- Relación de Esfuerzo-Deformación Unitaria.-

a).- Esfuerzo de corte en Barra Cilíndrica.

Como se indica en la fig. 6.2, supongamos que una barra recta de sección circular constante está sometida a momentos de torsión (pares) T en sus extremos, y admitase que la barra se comporta elásticamente. Se desea hallar la fórmula entre el momento de torsión, el esfuerzo cortante τ , en un punto del árbol situado en una sección perpendicular a su eje y las dimensiones del área de dicha sección. Supóngase que se corta el árbol por el plano "BC" y que se separa su porción a la derecha del plano. Si la porción que queda (izquierda) (fig. 6.2) se ha de mantener en equilibrio (como lo estaba cuando era una parte del árbol) deberá aplicársele un momento igual y opuesto a T . Dicho momento (indicado por T_r , fig. 6.2 b) lo ejerce sobre la porción de la izquierda la que está a la derecha de la sección DE cortada por el plano y se debe a las fuerzas de cortadura (τdA) desarrolladas en la sección se le llama el momento resistente. Así, la condición de equilibrio da:

Momento de las fuerzas externas = Momento de las fuerzas internas esto es,

Momento de torsión = Momento resistente, o sea $T = T_r$

Antes de que el momento resistente, T_r , pueda expresarse en función del esfuerzo cortante en un punto del área y las dimensiones de ésta, debe conocerse la forma en como varía el esfuerzo sobre el área. Se supone que si el material no trabaja a mayor esfuerzo que su límite de pro

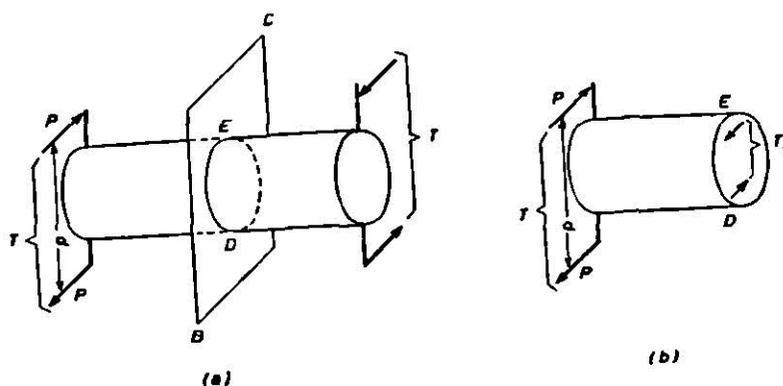


Figura 6.2

porcionalidad a cortadura, el esfuerzo cortante es cero - en el centro y aumenta en los puntos situados a lo largo de un radio, c , directamente en proporción a la distancia ρ , al centro, como se muestra en la figura 6.3. Esta su posición se puede mostrar matemáticamente como sigue:

$$\frac{\tau_{\rho}}{\tau_c} = \frac{\rho}{c}, \text{ o sea, } \frac{\tau_{\rho}}{c} = \frac{\tau_c}{c} = \text{constante}$$

en la cual, τ_{ρ} y τ_c son los esfuerzos de cortadura elásticos en puntos cuyas distancias al centro de la sección son ρ y c , respectivamente. El momento resistente puede hallarse ahora como sigue (fig. 6.3).

La fuerza cortante en un elemento de área, dA , a la distancia al centro del árbol es igual a $\tau_{\rho}dA$.

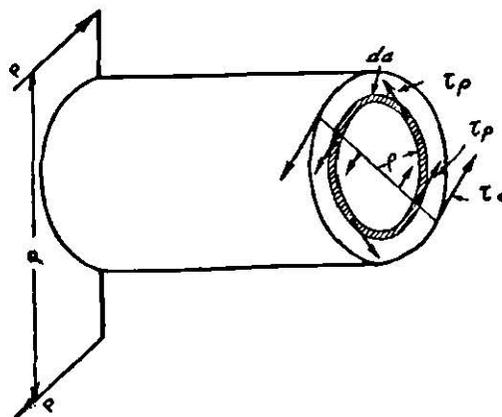


Figura 6.3.

El momento de esta fuerza respecto al centro (o eje) del árbol es igual a $\tau \rho \, dA \, \tau$.

La suma de los momentos de las fuerzas de todos los elementos de área es igual al momento resistente = $T_r = \dots \int \tau \rho^2 \, dA$. esto puede escribirse:

$$T_r = \int \frac{\tau \rho}{\rho} \rho^2 \, dA$$

pero $T = T_r$ y $\frac{\tau \rho}{\rho} = \frac{\tau_c}{c} = \text{constante}$,

en consecuencia,

$$T = \frac{\tau_c}{\rho} \int \rho^2 \, dA$$

en donde $\int \rho^2 \, dA$ es el momento polar de inercia del área - respecto al eje central del árbol. Se indica por el símbolo J y es abajo a $\pi d^4/32$

Si ahora, por simplificar se hace que τ , en vez de τ pin dique esfuerzo cortante en el área dA a una distancia ρ - del centro, donde ρ puede tener cualquier valor desde ce- no hasta el radio del árbol, esto es:

$$T = \frac{\tau J}{\rho}, \text{ o sea, } \tau = \frac{\tau_c \rho}{J}$$

pero, puesto que es el valor máximo de τ el que aparece, - por lo general, en la fórmula de diseño, esta se escribe como:

$$\tau \text{ máx.} = \frac{\tau_c}{J}$$

b).- Deformación por esfuerzo Cortante.-

Supóngase que la figura 6.4 a representa un cubo elemen tal del material en un punto en que existen esfuerzos cor tantes en el miembro. El esfuerzo cortante, en cada . -- cara, es τ , y el elemento de material se deformará va -- riando su forma original, que se muestra en la figura :-

6.4. a y por las líneas de puntos de la fig. 6.4 c hasta la indicada por las líneas llenas de las figuras b y c.

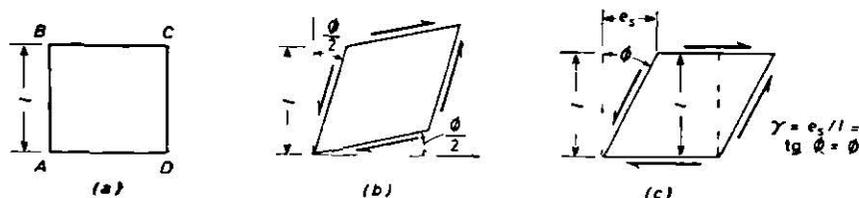


Figura 6.4

La deformación total por esfuerzo cortante ó cortadura - en la longitud l es e_s como se indica en la fig. 6.4c, y, - consecuentemente, la unitaria, indicada por γ y que, en - general, se llama simplemente deformación por cortadura, esta dada por la expresión $\gamma = e_s/l = \text{tg} \phi$. Puesto que generalmente las deformaciones por cortadura están limitadas a valores pequeños, $\text{tg} \phi$ puede considerarse igual a ϕ (medido en radianes). En consecuencia, para valores - pequeños, de la deformación por cortadura.

$$\gamma = \frac{e_s}{l} = \text{tg} \phi = \phi$$

En consecuencia, la deformación unitaria por cortadura, - γ , a una distancia c del centro a la fibra más alejada de un árbol cilíndrico a torsión es igual a $\gamma c = \text{tg} \phi$. Pero $\text{tg} \phi$ (fig. 6.5) es igual al arco BB' dividido por la longitud l del árbol, y BB' al radio c , multiplicado por el ángulo de torsión, θ (radianes), y por tanto,

$$\gamma c = \text{tg} \phi = \frac{BB'}{l} = \frac{c\theta}{l}$$

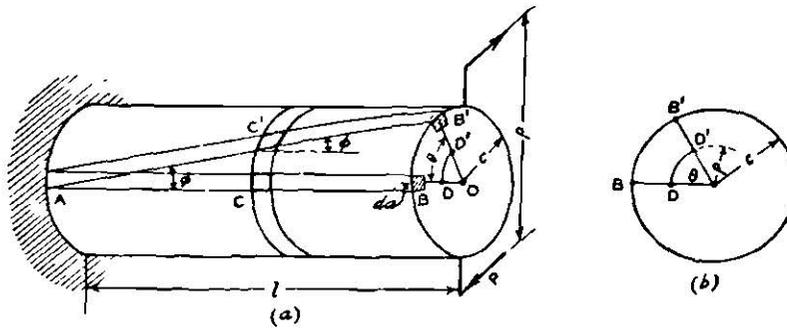


Figura 6.5

c).- Relación entre esfuerzo-deformación unitaria a corte.-

Va han sido discutidas dos de las definiciones más importantes y básicas las que corresponden al esfuerzo cortante y la deformación unitaria por corte. De igual importancia es la relación entre estos términos.

Una relación lineal semejante a la del esfuerzo normal - ($\sigma = E \epsilon$) se verifica para el esfuerzo cortante y la deformación por cortadura; o sea

$$\tau/\gamma = \text{constante}$$

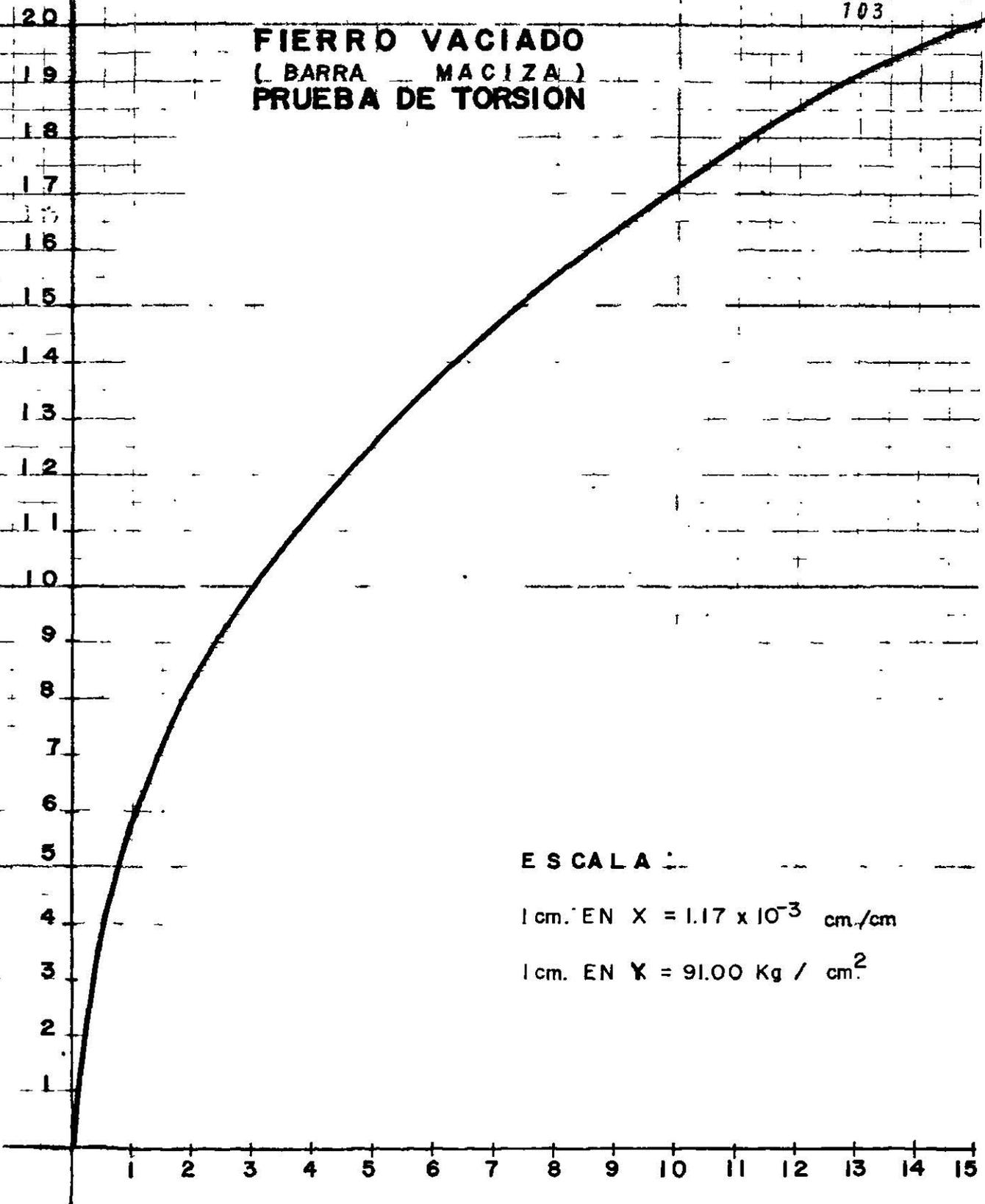
La constante se llama Módulo de Elasticidad de Cortadura del material y se indica por el símbolo "G". Entonces - para deformaciones pequeñas (elásticas) por cortadura;

$$\frac{\tau}{\gamma} = G \quad \text{ó} \quad \tau = \gamma G$$

Otra manera de relacionar el esfuerzo cortante y la deformación por cortadura, es por medio de un Diagrama Esfuerzo-Deformación. Para construir el diagrama, trazamos el esfuerzo cortante como los ordenados ($\tau = Tc/J$) - y los valores correspondientes de las deformaciones por cortadura como las abscisas ($\gamma = c\theta/l$). El resultado -- es una gráfica similar a la de la fig. 6.6.

FIERRO VACIADO (BARRA MACIZA) PRUEBA DE TORSION

ESFUERZO CORTANTE (Kg./cm.²)



E S C A L A :

1 cm. EN X = 1.17×10^{-3} cm./cm

1 cm. EN Y = 91.00 Kg / cm.²

DEFORMACION UNITARIA POR CORTE (cm./cm.)

Figura 6.6

6.3.- Relación de Poisson para varios Materiales.-

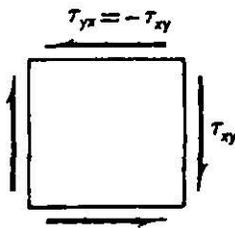
La relación entre E , G y μ , puede ser obtenida a partir de un caso de corte puro como indica la fig. 6.7 (a). El correspondiente círculo de Mohr para este caso se muestra en la fig. 6.7 (b). Del círculo observamos que $|\sigma_1| = -|\sigma_2| = |\tau_{yx}| = |\tau_{xy}|$; también, $\sigma_1 = +\tau_{yx}$ y $\sigma_2 = -\tau_{yx}$.

Ahora de la ecuación $\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_y}{E}$, las deformaciones unitarias principales pueden ser expresadas en términos del esfuerzo cortante τ_{yx} ; esto es, de,

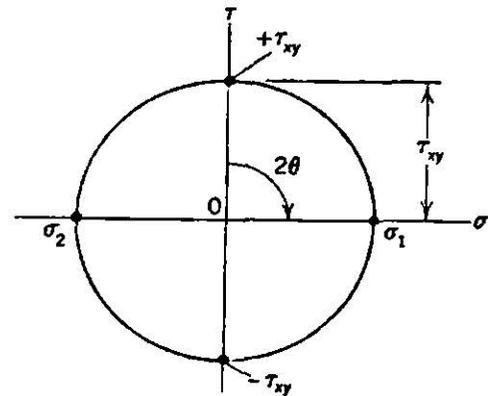
$$\epsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \mu\sigma_2) \quad \text{y} \quad \epsilon_2 = \frac{1}{E} (\sigma_2 - \mu\sigma_1)$$

tenemos:

$$\epsilon_1 = \frac{\tau_{yx}}{E} (1 + \mu) \quad \text{y} \quad \epsilon_2 = -\frac{\tau_{xy}}{E} (1 + \mu) \quad (a)$$



(a)



(b)

Figura 6.7

Dibujando a escala el círculo de Mohr para las deformaciones unitarias principales, ϵ_1 y ϵ_2 como se indica en la fig. 6.8, notamos que

$$\frac{\gamma_{xy}}{2} = \epsilon_1 = \frac{\tau_{xy}}{E} (1 + \mu)$$

o bien,

$$\gamma_{xy} = \frac{2\tau_{xy}}{E} (1 + \mu) \quad (b)$$

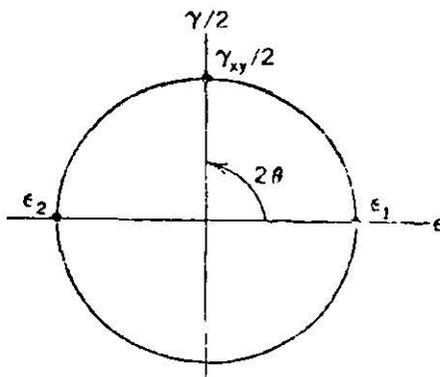


Figura 6.8

No obstante de la ecuación $G = \tau / \gamma$, tenemos

$$\tau_{xy} = \gamma_{xy} G$$

lo cual, cuando se substituye en (b), da

$$\gamma_{xy} = \frac{2\tau_{xy} G}{E} (1 + \mu)$$

o bien,

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



BIBLIOTECA

A continuación se muestra una tabla en la cual se indican varios materiales con sus respectivas Relaciones de Poisson

Material	E (lb/plg ²)	μ
Acero	29.5×10^6	0.29
Latón, Bronce	15.9×10^6	0.33
Aluminio	10.0×10^6	0.33
CR - 39 (comercial)	0.35×10^6	0.44

6.4.- Deducción del Módulo de Corte.-

a).- Material : Acero Rolado en Frío

Diámetro Inicial : 1.28 cm

Longitud Inicial : 5.08 cm

Módulo de Elasticidad a Tensión: 2,083,000 Kg/cm²

Relación de Poisson : 0.29

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{2,083,000}{2(1.29)}$$

$$G = \underline{807,364.34 \text{ Kg/cm}^2}$$

b).- Material : Fierro Vaciado

Diámetro Inicial : 1.25 cm

Longitud Inicial : 5.08 cm

Módulo de Elasticidad a Tensión : 1,067,500 Kg/cm²

Relación de Poisson : 0.33

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{1,067,500}{2(1+0.33)} = \frac{1,067,500}{2(1.33)}$$

$$G = \underline{401,315.80 \text{ Kg/cm}^2}$$

c).- Material : Aluminio

Diámetro Inicial : 1.28 cm

Longitud Inicial : 5.08 cm

Módulo de Elasticidad a Tensión : 702,031 Kg/cm²

Relación de Poisson : 0.33

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{702,031}{2(1+0.33)} = \frac{702,031}{2(1.33)}$$

$$G = \underline{263,921 \text{ Kg/cm}^2}$$

d).- Material : Acero Estructural

Diámetro Inicial : 1.29 cm

Longitud Inicial : 5.08 cm.

Módulo de Elasticidad a Tensión : 978,495 Kg/cm²

Relación de Poisson : 0.44

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} = \frac{978,495}{2(1+0.44)} = \frac{978,495}{2(1.44)}$$

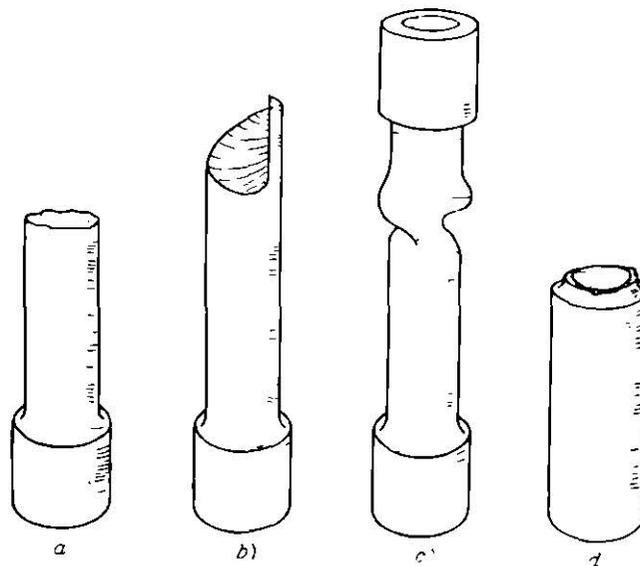
$$G = \underline{339,755.21 \text{ Kg/cm}^2}$$

6.5 Conclusiones.-

Los tipos generales de observaciones y registros de ensayos en corte directo y torsión, son similares a los de los ensayos de tensión y compresión.

La fractura por corte es muy diferente de la de tensión o compresión; no hay reducción localizada del área o alargamiento.

Para los materiales que se rompen en el ensayo de corte o torsión, la ruptura en varilla sólida es plana y normal al eje de la pieza, como se muestra en la fig. 6.9 (a). Para los aceros dúctiles, la fractura es usualmente de textura sedosa, y el eje alrededor del cual el torcido final se verificó puede usualmente observarse. Como las superficies de la ruptura pueden no ser lisas, las porciones exteriores, al rebasarse mutuamente, actúan como levas, rompiendo la pieza en la dirección de su longitud.



- (a) Barra sólida de material dúctil. Fractura recta, plana, transversal.
 (b) Barra sólida de material quebradizo. Fractura helicoidal.
 (c) Probeta tubular de material dúctil. Falla por flambéo.
 (d) Probeta tubular de material dúctil; sección corta reducida. Falla recta, plana, transversal.

FIG. 6.9

La ruptura de un material para el cual la resistencia a la tensión sea menor que la resistencia al corte - ocurre por separación en tensión a lo largo de una superficie helicoidal. Este tipo de ruptura ocurre cuando el hierro fundido es sometido a la torsión. La silueta de fractura hace una revolución completa en la barra, quedando unidos los extremos de la hélice por una línea aproximadamente recta como se ilustra en la figura 6.9 (b). El tipo de fractura helicoidal puede fácilmente obtenerse quebrando una pieza de gis en torsión con los dedos.

Las probetas tubulares de pared delgada de material dúctil que posean una sección reducida de mayor longitud que el diámetro falla por flambéo como se muestra en la fig. 6.9 (c) , pero las que poseen una sección reducida corta fallan en torsión en una sección recta, como se muestra en la fig. 6.9 (d).

En la tabla 6.1 se muestran los valores del módulo de elasticidad de algunos metales sometidos a esfuerzos de torsión o corte.

MATERIAL	MODULO DE ELASTICIDAD ($\times 10^6$ Kg/cm ²)
ACERO, .20% carbono:	
Rolado en Caliente.....	.8436
Rolado en Frio.....	.8436
Fundiciones Recocidas.....	.8436
ACERO, .40% carbono:	
Rolado en Caliente.....	.8436
Tratamiento Térmico para Grano Fino.....	.8436
Fundiciones Recocidas.....	.8436
ACERO, .60% carbono:	
Rolado en Caliente.....	.8436
Tratamiento Térmico para Grano Fino.....	.8436
ACERO, .80% carbono:	
Rolado en Caliente.....	.8436
Apagado en Aceite, no Laminado.....	.8436
ACERO, 1.00% carbono:	
Rolado en Caliente.....	.8436
Apagado en Aceite, no Laminado.....	.8436
ACERO AL NIQUEL, 3.5% Niquel, .40% carbono, Máxima Dureza para Maquinabilidad.....	.8436
ACERO AL SILICOMAGNESIO, 1.95% Silicio, .70% Magnesio, Templado para Resortes...	.8436
FUNDICION GRIS.....	.4218
FUNDICION BLANCA.....	.5624
FUNDICION AL NIQUEL, 1.5% Niquel.....	.5624
HIERRO MALEABLE.....	.7030
HIERRO EN LINGOTES, RECOCIDO, .02% carbono...	.8436
HIERRO FORJADO, .10% carbono.....	.7030

Tabla 6.1

CAPITULO VII
INSTRUCTIVO PROPUESTO PARA PRACTICA

7.1.- Objetivo.-

Este instructivo lleva la finalidad de mostrar al estudiante todo lo relacionado con los ensayos de tensión, - compresión, y torsión; conocer los diferentes tipos de probetas, tipos de sujeción de la probeta, especificaciones -- sobre las pruebas general, como son:

1.- Ensayos a Tensión y Compresión.-

- a) Límite Proporcional
- b) Punto de Cedencia .
- c) Resistencia a la Tensión
- d) Ductilidad
- e) Módulo de Elasticidad

2.- Ensayo a Torsión

- a) Límite Proporcional
- b) Resistencia a la Cedencia
- c) Módulo Cortante de Ruptura
- d) Módulo de Elasticidad

Determinar el comportamiento, resistencia, rigi--
dez y algunas otras variables importantes.

7.2 Instructivo.-

Ensayo a Tensión.-

El término "Ensayo a Tensión" se usa para referirse a ensayos en los cuales una probeta preparada es sometida a una carga axial gradualmente creciente, hasta que ocurre la falla.

En un ensayo a tensión simple, la operación se realiza sujetando los extremos opuestos de la pieza del material y separándolos. En este ensayo, la probeta se alarga en una dirección paralela a la dirección de la carga aplicada; con excepción de algunas piezas, en el ensayo de tensión se usan probetas cilíndricas en su forma y de sección transversal constante a lo largo del tramo del cual las mediciones se tomarán.

Las probetas para ensayos de tensión se hacen en una variedad de formas. Para los metales, si una pieza es de suficiente grueso puede obtenerse de tal manera que pueda ser fácilmente maquinada, se usa comúnmente una probeta cilíndrica; para láminas y placas, se usan probetas de flexión cuadrada o rectangular. La porción central de la probeta, es usualmente de menor sección que la de los extremos, para provocar la falla en dicha región y evitar que los aditamentos de sujeción pueden influir en los resultados.

La probeta típica de tensión se muestra en la fig. 7.1, la cual, pueden verse los tipos de extremos en que pueden maquinarse las probetas.

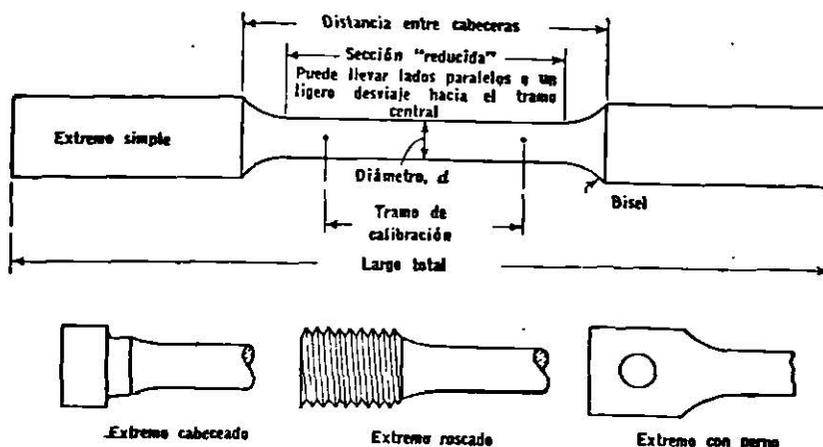


Fig. 7.1

La función del dispositivo de montaje es transmitir la carga desde los cabezales de la máquina universal hasta la probeta.

La condición especial de estos dispositivos de montaje, es la de transmitir axialmente la carga a la probeta. Esto quiere decir que los centros de acción de las mordazas esten alineados al principio y durante el transcurso de la prueba. Las mordazas en la fig. 7.2 son un tipo común de dispositivos de montaje.

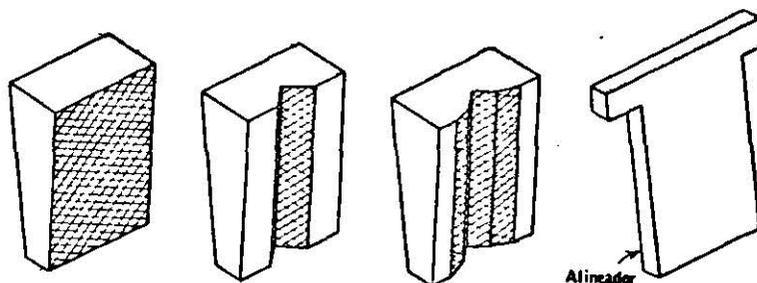


Fig. 7.2

Las caras de las mordazas que tocan la probeta se hacen ásperas o estriadas para reducir el deslizamiento; para las probetas planas, las caras de las mordazas son también planas y para las probetas cilíndricas, las mordazas llevan una ranura en "V" de tamaño adecuado, los alineadores se emplean para ajustar las mordazas al tamaño de la probeta.

PROCEDIMIENTO.-

- 1.- Determínese las dimensiones promedio de la sección transversal de la probeta con un calibrador micrométrico. Trácese una línea a lo largo de la barra y con un punzón de centrar márquese ligeramente un tramo de calibración simétricamente con lo largo de la barra.
- 2.- Asegúrese firmemente los extremos de la probeta en el área de tensión.
- 3.- Mídase el tramo de calibración y determínese el valor de las divisiones del indicador caratular del extensómetro. Sujétese firmemente el extensómetro a la probeta de modo que su eje coincida con el de la probeta y retírese la barra espaciadora. Ajustense la máquina de ensaye y el extensómetro para que indiquen cero, poniendo el segundo de tal modo que casi todo su rango esté disponible.
- 4.- Elíjanse incrementos de deformación adecuados para obtener cuando menos quince lecturas debajo del lí

mite proporcional probable. Aplíquese la carga a baja velocidad, y hágase observaciones simultáneas de la carga y la deformación sin detener la máquina. Continúese la carga hasta rebasar el punto cedente. Párese la máquina (pero mantengase la carga) para quitar el extensómetro.

- 5.- Aplíquese de nuevo la carga continuamente y observese. Para esta parte de l e n s a y e la velocidad de la máquina puede aumentar. Regístrense las cargas máximas y de ruptura.
 - 6.- Retírese la probeta rota de la máquina. Si la probeta se atora en las mordazas, usese un martillo para golpear los costados de la probeta. No se golpeen las mordazas o sus manivelas.
 - 7.- Obsérvense la ubicación y el carácter de la fractura y médanse las dimensiones de la sección más pequeña. Ajústense las partes quebradas y médanse el tramo de calibración y los intervalos entre las marcas de punzón intermedias.
 - 8.- Trácese un diagrama de esfuerzo y deformación unitaria, para el ensayo de acuerdo con las instrucciones generales. Calcúlese el módulo de elasticidad de esta gráfica en el tramo recto y de acuerdo a la fórmula $E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$.
- Ciertos materiales se identifican efectivamente por sus fracturas. El acero suave en forma de una probeta cilíndrica normal usualmente presenta-

un tipo de fractura de cono y carácter de textura sedosa. El hierro forjado presenta una fractura dentada y fibrosa, mientras que la fractura típica del hierro fundido es gris, plana y granular. Un examen de la fractura puede arrojar una pista posible de los valores bajos de la resistencia o la ductilidad de la probeta.

Una descripción de la fractura, debe incluirse en cada informe de ensayo, aún cuando su valor sea incidental para las fracturas normales.

En la fig. 7.3 se ilustran algunos tipos de fracturas.

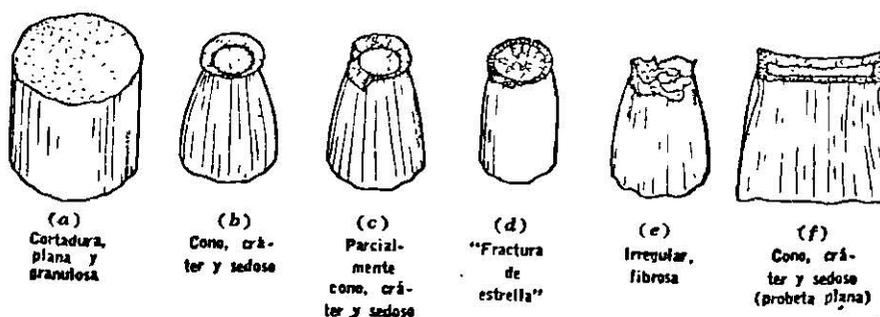


Fig. 7,3

Ensayo a Compresión.-

Cuando menos en teoría el ensayo de compresión es meramente lo contrario del de tensión con respecto a la dirección o el sentido del esfuerzo aplicado.

Existen varias limitaciones del ensayo de compresión:

- 1).- La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.
- 2).- La fricción entre los puentes de la máquina o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta, fricción que ocasiona esfuerzos flexionantes en la probeta y tienden a pandearla.

Es importante que nuestra probeta trabaje puramente a compresión y no a la acción de los miembros estructurales como columnas, de modo que la acción se limita aquí al bloque de compresión corto.

La selección de la relación entre la longitud y diámetro de la probeta de compresión es importante. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no uníforme del esfuerzo sobre una sección recta. Se sugiere una relación entre altura y diámetro de 10, límite superior práctico. A medida que la longitud de la probeta disminuye, el efecto de fricción entre los apoyos y la máquina se torna importante.

La relación entre la altura y sección de una probeta, se conoce como "Esbeltez" y está dado por el cociente en

tre la longitud y el radio de giro de la probeta; es decir

$$\text{Relación de Esbeltez} = \frac{L}{R_g}$$

En donde el radio de giro se conoce como la raíz cuadrada del momento de inercia I entre el área de la probeta, esto es:

$$R_g = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Para poder considerar una probeta como bloque a compresión, es necesario que la "Relación de Esbeltez" sea menor o igual que 60.

$$\text{Bloque a Compresión} : \frac{L}{R_g} \leq 60$$

Para una probeta cilíndrica el radio de giro es la cuarta parte del diámetro.

Los extremos de las probetas de compresión deben ser planos para no causar concentraciones de esfuerzo y deben ser perpendiculares al eje de la pieza para no causar flexión debida a la carga excéntrica.

Para transmitir la carga desde los cabezales de la máquina hasta los asientos o directamente a la probeta se usan placas sencillas de apoyo cuyas superficies deben ser maquinadas, planas y paralelas. El material de la placa de apoyo deberá ser fuerte y duro en relación con el de la probeta.

Condiciones de la Máquina.

- 1). Que esté correctamente calibrada .
- 2). Que se encuentre libre de perturbaciones externas o internas.

- 3).- Capacidad de trabajo.
- 4).- Usar los dados debidos
- 5).- Los aparatos de medición externa deben estar en -
buenas condiciones.

PROCEDIMIENTO.-

Primeramente antes de colocar la probeta en la máquina universal se medirán con un vernier o escala sus dimensiones iniciales, (longitud y diámetro). En seguida y después de cerciorarse que las superficies de los extremos de la probeta así como también las caras de las placas de apoyo - que esten completamente libres de grasa, aceite, o cualquier otra clase de partículas que pudieran influir en la restricción friccional en la superficie de los extremos, se coloca la probeta en la máquina, debe tenerse mucho cuidado para - lograr el centrado y la alineación de la probeta y la de las placas de apoyo en la máquina, se baja el cabezal de la máquina hasta hacer contacto con las placas de apoyo, se da una carga de ajuste y en seguida como se harán lecturas de carga contra deformación se coloca el extensómetro sobre la mesa de pruebas y se procede a aplicar la carga con una velocidad conveniente al material de que se trata.

Para los materiales quebradizos ocurre una fractura, pero hay algunos materiales en los cuales no ocurre este fenómeno, para este caso la carga última que se aplique a la probeta se hará a criterio de la persona que realiza el ensayo.

Se quita la carga, se baja la mesa de pruebas y-

se procede a medir las dimensiones finales de la probeta -- (longitud y diámetro), con los datos obtenidos de cargas y deformaciones, así como las dimensiones originales y finales de la probeta.

Por último se procede a elaborar un diagrama de esfuerzo y deformación con los datos obtenidos en la prueba, en base a esto se calcula el módulo de elasticidad del material en la parte recta y con la fórmula:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Ensayo a Torsión.-

Cuando fuerzas paralelas y opuestas se aplican a una pieza y no yacen en un plano que contenga el eje longitudinal del cuerpo, aquí se establece un par que producen una torsión alrededor de un eje longitudinal. Esta acción-torsente de una sección de un cuerpo con respecto a una sección contigua es denominada Torsión (fig. 7.4)

Los esfuerzos cortantes de torsión varían desde cero en el eje de torsión hasta un máximo en las fibras extremas. Si no se presenta flexión existe un "esfuerzo de corte puro".

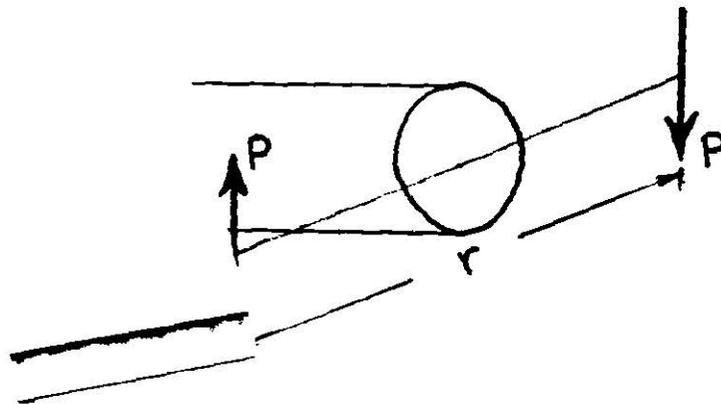


Fig. 7.4

Las fuerzas que hacen que una barra se refuerce alrededor de su eje central se llaman cargas torsionales. La resultante de las cargas torsionales que actúan sobre un árbol o flecha es un par de torsión. El momento resultante (o momento del par resultante) que produce la torsión es la suma algebraica de los momentos de las cargas torsionales con respecto aleje de la barra o flecha.

Para la selección de las probetas de torsión deben llenarse dos requisitos:

- a).- Las probetas deben ser de tal tamaño que permitan que las mediciones de deformación deseadas se logren con exactitud adecuada.
- b).- De tales proporciones que eliminen aquella porción de probeta sobre la cual se tomen las mediciones del efecto de los esfuerzos debido a la sujeción de los extremos. Los extremos deben ser tales que puedan sujetarse y asegurarse sin desarrollar esfuerzos suficientemente localizados para causar la falla en las mordazas.

Ordinariamente las mordazas de los mandriles de la máquina adoptan la forma de bloques de transmisiones, algunos tipos de los cuales aprietan según el par es aplicado. Debe tenerse cuidado al introducir la probeta para no producir flexión. Usualmente se proveen puntos de centrado en los mandriles, para la inserción en pequeños orificios de las probetas y así lograr el centrado en la máquina.

Es sabido que es prácticamente imposible determinar la resistencia al corte hasta el límite proporcional de las fibras extremas de una probeta de torsión sólida. Una probeta tubular delgada es preferible para la determinación de esta propiedad. Las probetas tubulares para la determinación de la última resistencia al corte deben tener secciones cortas reducidas con una razón entre el largo de la sección reducida y el diámetro alrededor de 0.5 y una ra-

zón entre el diámetro y el espesor de aproximadamente 10 a 12.

El ensayo de torsión no se efectúa con máquina especial, sino que se utiliza la máquina universal y un aditamento especial para la torsión. Este aditamento es un tren de engrane y su papel es de reductor de velocidad.

Para acoplar el aditamento a la máquina se hará en dos partes, una de ellas (la motora) se colocará sobre el cabezal móvil de la máquina y la otra (la de pruebas) se colocará en la parte inferior del cabezal fijo.

PROCEDIMIENTO.-

- 1).- Con un calibrador micrométrico determínese el diámetro medio de la probeta cerca de la longitud media. Compútense incrementos de carga que arrojen, cuando menos, diez observaciones antes del límite proporcional y, cuando menos, diez más allá del límite proporcional.
- 2).- Nótense el tramo de calibración y la lectura mínima del troptómetro. Sujétese firmemente el instrumento a la probeta, cerciorándose de que los ejes del troptómetro y de la pieza de ensaye coincidan y el troptómetro esté en posición adecuada para leerse fácilmente.
- 3).- Ajústese la máquina a cero y luego insértese la probeta en los dos cabezales. Asegúrese de que cada extremo quede centrado dentro de cada cabezal. Ajústense gradualmente los mandriles de los cabe-

zales hasta lograr un contacto firme y uniforme, -
 teniendo cuidado de no desplazar la probeta. Si-
 al apretar los mandriles, estos producen algún -
 torque, opérese la máquina en normal y reversa -
 a modo de reducirlo a cero.

- 4).- Retírese la barra separadora del troptómetro y a-
 jústese el instrumento para leer cero.
- 5).- Aplíquese la carga a baja velocidad. Tómense lec-
 turas del torque y de la torsión simultáneamente-
 sin parar la máquina. Después de que la probeta-
 muestre signos de cedencia, aplíquese la carga a-
 velocidad más alta hasta que ocurra la falla. Ad-
 viértase el carácter de la fractura.
- 6).- Trácese un diagrama de esfuerzo cortante contra -
 deformación angular, de acuerdo a las fórmulas si-
 guientes:

$$\tau = \frac{Tc}{J} \quad \gamma = \frac{c\theta}{l}$$

θ = medida directa por medio del
 extensómetro.

B I B L I O G R A F I A

American Society for-Testing and Materials.

Tomo - 30

Tomo - 31

Ensaye e Inspección de los Materiales en Ingeniería

Harmer E. Davis

George Earl Troxell

Clement W. Wiskocil

Resistencia de los Materiales

Robert W. Fitzgerald

Resistencia de los Materiales

Ferdinand Singer

Resistencia de los Materiales

Fred B. Seely

Resistencia de los Materiales

Shanley

Catálogos de la Timius Olsen Co.

