



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A R A G O N ”

**MANUAL DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO DE  
MECANICA DE MATERIALES DE INGENIERIA CIVIL, DE LA  
E. N. E. P. ARAGON**

**TESIS PROFESIONAL**

Que para obtener el Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Presenta:

**MARCO ANTONIO RAMIREZ MEJIA**

**FALLA DE ORIGEN**

México, D. F. 1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## PROLOGO

El presente Manual para el Laboratorio de Mecánica de Materiales de Ingeniería Civil, tiene algunas limitaciones, siendo las causas principales las siguientes:

- La adecuación de la escasa información práctica (al parecer no existen manuales, sólo el conocimiento práctico transmitido) y que proviene de Normas de Laboratorios Norteamericanos, es decir ajustar, modificar esas normas y procedimientos a nuestro laboratorio -con todas sus eficiencias y deficiencias- y;
- La infinidad de combinaciones en los arreglos de cargas y esfuerzos a los que se pueden someter diversos materiales y que lógicamente incrementa tiempos y costos.

Desde el inicio tuve como meta el de contribuir con un trabajo que aportara conocimientos, experiencias, sugerencias y conclusiones en este caso sobre el ensaye de los materiales más usuales entre los Ingenieros Civiles y sobretodo que fuera -tengo fe en -- que así sea- un trabajo UTIL y CONSULTADO por alumnos y profesores del área, ya que por desgracia la mayoría de las tesis hechas por compañeros de todas las carreras han quedado en la Biblioteca de la Escuela, atadas con un "mecate", empolvadas e ignoradas, es decir, muchos trabajos de buena calidad habrán de quedar como muchas personas ancianas: arrinconadas y olvidadas.

Doy mis agradecimientos a los siguientes Ingenieros, sobresalientes como profesores y excelentes como personas:

Ing. José Paulo Mejorada M., Jefe de los Laboratorios de Ing. Civil de la E.N.E.P. Aragón por su asesoría en este trabajo y por su gran apoyo durante la prestación de mi Servicio Social y Titulación; al Ing. Gustavo A. Jiménez Villegas, Secretario Técnico de - Ing. Civil de la E.N.E.P. Aragón por su gran apoyo en mi desarrollo como profesionista y; a los Ing. David Govea Torres, Pascual - García Cuevas, José Luis Barrera y especialmente Felipe Méndez Samperio por sus ayudas y consejos.

Agradeceré de antemano las críticas, sugerencias y datos que los lectores me den, sobretodo las que contribuyan al enriquecimiento de este tipo de trabajo para la Mecánica de los Materiales de - Ing. Civil.

Marco Antonio Ramírez Mejía.

## CONTENIDO

	Pag.
A.- <u>GENERAL</u>	
Introducción . . . . .	5
1.- Prueba de Tensión en una probeta de acero . . . . .	14
2.- Diagrama Esfuerzo-Deformación unitaria de la probeta de acero sometida a la tensión (I) . . . . .	39
3.- Diagrama Esfuerzo-Deformación unitaria de la probeta de acero sometida a la tensión (II) . . . . .	54
4.- Prueba de Compresión en cilindros de concreto . . . . .	65
5.- Prueba de Flexión en vigas de concreto reforzado . . . . .	104
6.- Prueba de Corte en probetas metálicas . . . . .	141
7.- Prueba de Torsión en una probeta de acero . . . . .	161
8.- Prueba de Flexocompresión en cilindros de concreto . . . . .	181
9.- Prueba de Pandeo en columnas de madera . . . . .	212
Apéndice I.	
Tablas . . . . .	251
Apéndice II.	
Vocabulario . . . . .	268
Apéndice III.	
Acetato (Guía para localizar centros) . . . . .	272
Bibliografía . . . . .	273

# CONTENIDO

## B.- EN CADA PRUEBA

Claves de las Pruebas:

. Tn=Tensión . D (I)=Diagrama esfuerzo-deformación (I) . D (II)=Diagrama esfuerzo-deformación (II)  
 . Cn=Compresión . Fl=Flexión . Cr=Corte . Tr=Torsión . Fc=Flexocompresión  
 . P=Pandeo

NOTA: En cada cuadro se indica el número de página	Tn	D (I)	D (II)	Cn	Fl	Cr	Tr	Fc	P
I. OBJETIVO . . . . .	14	39	-	65	104	141	161	181	212
II. INTRODUCCION . . . . .	14	39	-	65	104	141	161	181	212
A. Probetas para la prueba									
1.- Probetas estandarizadas . . . . .	15	-	-	66	108	146	162	187	224
2.- Probetas no estandarizadas . . . . .	16	-	-	-	-	147	164	-	-
B. Máquina de Prueba . . . . .	20	-	-	67	108	147	164	187	224
C. Recomendaciones antes de la prueba									
1.- Preparación del equipo . . . . .	22	-	-	67	111	150	165	188	224
2.- Preparación del espécimen . . . . .	22	-	-	70	111	151	166	188	225
D. Velocidad de prueba . . . . .	23	-	-	85	118	151	166	189	225
III. EQUIPO . . . . .	25	-	-	86	123	152	167	192	226
IV. MATERIAL . . . . .	25	-	-	87	123	152	167	193	226
V. DESARROLLO . . . . .	27	-	56	88	124	153	168	193	228
VI. OBSERVACIONES DE LA PRUEBA . . . . .	33	-	-	91	132	-	171	203	244
- Bitácora de la prueba . . . . .	36	-	-	95	135	-	173	204	232
- Gráficas de la prueba . . . . .	-	-	-	96	-	-	176	205	233
VII. ANALISIS DE RESULTADOS . . . . .	35	-	61	101	137	157	178	208	246
VIII. CONCLUSIONES . . . . .	37	-	64	103	140	157	180	210	249

El objetivo de la presente tesis es el de servir como material bibliográfico de apoyo a profesores y alumnos, que imparten y reciben recíprocamente los principios teóricos de las materias de Mecánica de Materiales I y II de Ingeniería Civil. Este trabajo - está orientado hacia la experimentación de materiales como el concreto, el acero y la madera bajo diversas condiciones de carga y - esfuerzos.

El Manual de Prácticas para el Laboratorio de Mecánica de Ma-  
teriales de Ing. Civil, nace de la necesidad de un acervo didácti-  
co más completo a los existentes a la fecha -películas- que abarca  
ra los temas más importantes del Programa de estudios de la mate-  
ria de Mecánica de Materiales, en su primer y segundo cursos, pero  
sobretudo, enfocado al manejo y uso del equipo con que cuenta el -  
laboratorio de la E.N.E.P.<sup>1)</sup> Aragón.

Es vital para el descubrimiento, desarrollo y aplicación de  
un nuevo material o producto, la experimentación. El someter a --  
prueba o ensaye un material, para determinar sus propiedades y ca-  
racterísticas, es muy importante para la aplicación de una ciencia  
como lo es la Ingeniería Civil.

Diversidad de estructuras: edificios, puentes, presas, etc.,  
se deberán diseñar de tal forma que puedan soportar cargas, sin su-  
-frir una deformación excesiva ni llegar a fallar o fracturarse.

1) E.N.E.P. = Escuela Nacional de Estudios Profesionales.

Es aquí donde el ensaye de materiales será la base fundamental del diseño. De un ensaye obtendremos las características de -resistencia, rigidez, elasticidad y plasticidad, es decir las propiedades mecánicas de un material.

La preparación de especificaciones y normas están respaldadas en miles de ensayos. De ahí que un ensayo deberá involucrar - aspectos básicos como el tener una técnica de prueba, es decir conocer el equipo que se usará, conocer sus variantes, sus ventajas, y desventajas o su exactitud; razón fundamental es el de aplicar - los principios físicos y mecánicos, arrojados por la teoría, y el satisfacer hipótesis y condiciones supuestas, el intuir qué es lo más susceptible de fallar o darnos resultados erróneos y el ver como refinar el procedimiento de la prueba para obtener resultados - más exactos; otro aspecto es la medición, asegurar que exista una buena precisión; el aprender a manejar tiempos, velocidades de --- prueba, cargas e instrumentos de medición.

Un punto difícil en la experimentación, es el de calcular o estimar cuántos ensayos deberán ser necesarios para conocer el comportamiento mecánico de un material. Es difícil por dos causas: - La primera es el costo total del ensaye, pues no es lo mismo utilizar grandes cantidades de tabiques -hechos de adobe-, que el ensayar cientos de probetas de aluminio. La segunda causa es intuir - cuántas pruebas serán necesarias para obtener un promedio significativo, o pensar qué rango de resistencia puede esperarse de un material dado al usársele en condiciones reales de trabajo.

No quiero pasar al siguiente punto, sin antes aclarar otro -



aspecto esencial: la interpretación de los resultados. Hay que considerar que dichos resultados son base para el diseño de estructuras bajo diversos factores (cargas, condiciones ambientales, sobreesfuerzos)- los usuarios no comprenden de propiedades mecánicas de los materiales y sobrecargan edificios. Baste recordar el terremoto de 1985 en la Cd. de México-. Además el proceso constructivo real, dista de ser el recomendado por reglamentos; existe poco o nulo control de calidad, etc.

Aunado a todo lo anterior, cabe considerar que diariamente y debido al avance tecnológico mundial, surgen nuevos materiales. Desde el uso y resurgimiento del adobe, en forma de placas, hasta la fibra de vidrio combinada con silicones anti-inflamatorios, han pasado por ensayos en laboratorios. Las características más importantes que se buscan de un material son su resistencia, manejabilidad, menor costo, durabilidad y que abunde en su estado natural.

Para seleccionar un material es conveniente tener antecedentes de su comportamiento real -en la práctica- y de los resultados de los ensayos que sobre él se hicieron. No se debe olvidar que el Ingeniero Civil en ocasiones debe ajustarse al gusto del Arquitecto o del cliente.

Una vez seleccionado el material nace la especificación. Al respecto se debe aclarar que el comportamiento mecánico del material en el Laboratorio, estará influenciado por las características particulares del mismo (el ensayador, el equipo, el medio ambiente) y de ninguna forma será parámetro estricto para el diseño.

De ahí que periódicamente se reformen especificaciones y reglamentos.

¿Cuáles son los propósitos del ensaye de materiales?:

1º, aportar información acerca de un material; 2º, desarrollar nuevos materiales, y; 3º, obtener rangos, límites y medidas exactas de las principales propiedades mecánicas.

Dado que los datos obtenidos deben ser confiables, queda a cargo de los laboratorios la cooperación, en cuanto a su paciencia, su cuidado y su precisión en cada prueba. De hecho debe quedar en claro que los conceptos de las propiedades de los materiales -en muchas ocasiones- están idealizados y simplificados. En realidad, no determinamos las propiedades, es decir no describimos el comportamiento exacto y real de un material.

Sólo obtenemos medidas, indicaciones o manifestaciones de las propiedades descubiertas en las probetas y bajo ciertas circunstancias. Expongo lo anterior porque en cada una de las pruebas que realicé, obtuve resultados aproximados a los especificados y resultados distantes, considerados normales al utilizar los recursos -- con que cuenta el Laboratorio de mecánica de materiales de la Escuela; la calidad de los materiales y; la falta de información (en algunos casos) sobre una prueba.

Una probeta nunca será igual a otra, dado que no existe homogeneidad en los materiales. El orden molecular difiere; la solución parcial viene a ser el ensayar miles de especímenes y arrojar resultados con bases estadísticas. Considero que para diseñar una

prueba, deben estudiarse cuestiones como saber las limitaciones del ensayo, determinar que prueba debe efectuarse para obtener un resultado, relacionar éste con el desempeño real de la estructura, escoger el material adecuado para el ensayo, obtener confiabilidad de los resultados o bien especificar cuantas muestras serán necesarias.

En resumen una prueba ideal sería aquella que es confiable, significativa, precisa y que resulta económica.

Además deberá tener exactitud al definir propiedades mecánicas, se tendrán materiales puros, que las condiciones ambientales sean normales, que los métodos de experimentación sean teóricamente correctos, que las observaciones del ensayo se hagan con mucho cuidado y que el orden de exactitud de los resultados se conozca. Para lo anterior el laboratorista deberá contar con equipos de alta precisión, como los actuales electrónicos y auxiliados con computadoras, condiciones de ensayo excelentes y un equipo de colaboradores experimentados. De aquí nacerán normas, que conforme avance la ciencia deberán modificarse. De hecho actualmente existen normas obsoletas, debido a que hay materiales no conocidos del todo, en su comportamiento mecánico o sus propiedades.

Se debe tener cuidado con las normas pues pueden "amparar" materiales de calidad inferior, o al contrario no abarcar materiales que puedan tener una eficiencia igual o mayor, o peor aún que esté basada en criterios inapropiados, inadecuados respecto al tipo de servicio requerido.

Aparte de lo anterior, los laboratorios, asociaciones o compañías relacionadas al ensayo de materiales deberán unificar crite

rios para tener consecuentemente normas apropiadas y confiables.

En el presente trabajo se han aplicado normas de la A.S.T.M. (American Society for Testing of Materials), Sociedad Americana para el Ensayo de los Materiales, cuyas funciones son el normar los métodos de ensayo de los materiales y el mejoramiento de éstos en el campo de la Ingeniería. Estas normas aparecen cada 2 años y en ellas podemos encontrar el desarrollo de los métodos de ensayo para los materiales, definición de diversos conceptos y propiedades mecánicas y el formular procesos de utilización de materiales.

Una vez que a grandes rasgos he expuesto los requerimientos para el ensayo de los materiales y sus limitantes, describiré en forma resumida mi trabajo.

El manual contiene 8 temas, a saber: Tensión, Diagrama esfuerzo-deformación, Compresión, Flexión, Cortante, Torsión, Flexo-compresión y Pandeo. El orden de pruebas está de acuerdo a los cursos de Mecánica de Materiales I y II, de la Carrera de Ingeniería Civil, de la E.N.E.P. Aragón.

Cada tema inicia con el Objetivo de la práctica. Luego se continúa con la Introducción, dentro de la cual están los puntos siguientes: Tipo de Probeta. En la mayoría de las pruebas pueden utilizarse probetas normadas o estandarizadas por la A.S.T.M. y/o probetas no estandarizadas. Sea cual fuere el caso se dan las dimensiones apropiadas. El siguiente punto es el de especificar el tipo de máquina que se requiere para el ensayo, y en el caso de aditamentos se da una información breve de su funcionamiento. En la práctica # 6, es decir la prueba de corte, el laboratorio no --

contaba con la herramienta recomendada por la A.S.T.M. Por ello - mi padre el Sr. Raúl Ramírez Yépez diseñó una herramienta de corte, a la que se llamó Herramienta de Corte Yépez.

Una vez determinado el tipo de máquina y equipo a utilizar, se detallan 2 recomendaciones fundamentales para la prueba:

- a) La preparación del equipo, donde se describe la aproximación - en la medición de cargas, el tipo de equipo auxiliar que se ma nejará o consejos prácticos en el uso de instrumentos.
- b) La preparación del espécimen o probeta, es decir, la descrip- ción del procedimiento de elaboración de la muestra, como por ejemplo los cilindros de concreto para las prácticas de compre sión y flexocompresión, o las vigas de concreto simple y concre to reforzado para la prueba de flexión; las características que deberá tener una probeta de madera para la prueba de pan- deo, o una probeta de acero para las prácticas de tensión, cor te o torsión.

Reitero la importancia de estas recomendaciones -no olvidar las de la D.G.N.-<sup>2)</sup> su cumplimiento nos proporcionará datos más -- precisos, como por ejemplo en el caso de localizar el centroide de una de las dos caras de un cilindro de concreto -prácticas de compre sión y flexocompresión-, o el Núcleo de la sección, en forma rá- pida y eficaz.

Para ello diseñé una "guía para localizar centros", la cual

2) D.G.N. = Dirección General de Normas.

en forma de acetato facilita su función. Esta guía, con sus respectivas instrucciones de uso se encuentra al final de este Manual.

El siguiente punto, la velocidad de prueba, es también fundamental. Aunque en algunas normas se dan velocidades de prueba, éstas resultan demasiado lentas, y dado el equipo manejado -en el --- cual es difícil aplicar velocidades de carga en forma lenta- se aumentaron dichas velocidades, de tal forma que el equipo funcionara correctamente y el observador o laboratorista pudiera leer con precisión. Además se indica el rango de carga que deberá seleccionarse en cada prueba. Si llegase a utilizar probetas de mayor diámetro o tamaño a los especificados en cada práctica, es recomendable aumentar su rango de carga y su intervalo de lectura -ya sea de la carga, la deformación o el ángulo de torsión- para evitar posibles daños al equipo y disminuir el número de datos obtenidos. Antes de describir la realización de la práctica, están algunas observaciones de la prueba, específicamente los tipos de fallas o fracturas -de la probeta. Es aconsejable que confirme -al fallar su espécimen-, con las distintas formas de fractura descritas en dichas observaciones.

Posteriormente se enlista el equipo a utilizar (puede sustituirse por otro similar) y el material para la prueba. Durante todo el procedimiento del ensaye se complementa con una serie de fotografías.

En algunas pruebas como la de flexocompresión o la de pandeo fue necesario realizar cálculos previos, ya fuera para predecir la carga de ruptura u otra características, o bien para obtener el mó-

dulo de elasticidad del material, a partir del cual se pueden prevenir por ejemplo la carga de pandeo.

Para complementar los resultados de la prueba -en la mayoría de los ensayos-, se trazaron diagramas esfuerzo-deformación, con base a sus respectivas bitácoras. Finalmente se hace un análisis de resultados, con las consecuentes conclusiones. Al final del Manual se encuentran tablas que contienen los principales valores de las propiedades mecánicas de diversos materiales.

# PRUEBA DE TENSION EN UNA PROBETA DE ACERO

---

## I. OBJETIVO

Someter una probeta de acero de dimensiones estandarizadas, a una carga axial de tensión.

## II. INTRODUCCION

Una de las pruebas más utilizadas para determinar las propiedades mecánicas de los metales y aleaciones no ferrosas, fundidos, laminadas o forjados, es la de tensión axial.

En esta prueba, una probeta es sometida a una carga monoaxial gradualmente creciente, hasta que ocurre la falla. En sí la operación se realiza sujetando los extremos de la pieza, separándolos en una dirección paralela a la carga aplicada.

Para realizar esta prueba se utilizan probetas de acero, de forma cilíndrica o prismática, las cuales por servir de medios indicadores de la calidad y propiedades de los metales, han sido normadas por la A.S.T.M.<sup>1)</sup>

1) A. S. T. M. = Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales.



En el caso en que no cuente con dichas probetas, puede utilizar barras o varillas de refuerzo. El diámetro más usual es de -- 0.95 cm. (3/8", es decir varilla del N° 3, comercial).

Aún cuando fueren probetas o varillas, se detallarán para ambas, los requisitos y procedimientos de prueba necesarios para realizar la tensión en forma adecuada, y por consiguiente obtener resultados satisfactorios, acerca del comportamiento de un metal sujeto a la tensión.

El análisis de su comportamiento se hará por medio de un diagrama esfuerzo-deformación, el cual, debido al número de características o propiedades que determina, ha de ser estudiado en la -- 2a. y 3a. prácticas de este Manual.

#### A.- PROBETAS DE TENSION

##### 1.- Probetas Estandarizadas.

La A.S.T.M., en base a la experiencia de miles de pruebas ha determinado las dimensiones de las probetas a utilizar en esta -- prueba de tensión.

Dichas probetas se hacen en una variedad de formas; pueden ser de sección transversal rectangular, cuadrada o redonda, esta -- última es usada más frecuentemente para los metales. La porción -- central de la pieza, llamada tramo de calibración, deberá ser de -- menor sección que los extremos, para provocar que la falla ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por los --

dispositivos de sujeción de la máquina de prueba (mordazas).

Esta probeta cuyos extremos pueden ser cabeceados, roscados o simples, con sus distintas partes, se ve en la figura A.1.

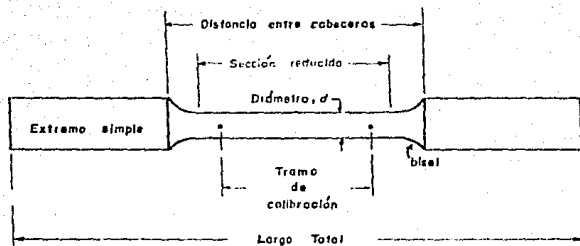
Las dimensiones recomendadas por la A.S.T.M. para probetas redondas de acero dúctil, son de 1.27 cm (1/2") de diámetro, para tener una área seccional exacta de 1.28 cm<sup>2</sup>. Pueden emplearse probetas de acero en sus distintos contenidos de carbono-, hierro fundido, cobre, bronce, latón, cinc o aluminio. Las dimensiones estándar en acero, dadas por la Asociación, se muestran en la fig. A.2.

Cuando se trate de piezas de hierro fundido, las dimensiones están esquematizadas en la fig. A.3. (Pueden aplicarse también a los restantes metales).

## 2.- Probetas No Estandarizadas

Cuando no se tengan probetas estandarizadas se pueden someter a la tensión, barras de hierro forjado, varillas, alambres u otras muestras metálicas, que deberán ajustarse o prepararse para su ensayo.

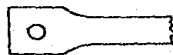
Así cuando resulte práctico el tramo de calibración tendrá cuatro veces el diámetro de la probeta, aunque para tamaños de 0.635 cm (1/4") y menores, se usa frecuentemente un tramo de calibración de 25.4 cm (10"). La prueba en el cable de alambre se realiza sobre tramos cortados de 40 cm de largo.



Extremo cabeceado



Extremo roscado



Extremo con perno

Fig. A.1

Partes que componen una probeta de acero, y sus tipos de extremos.

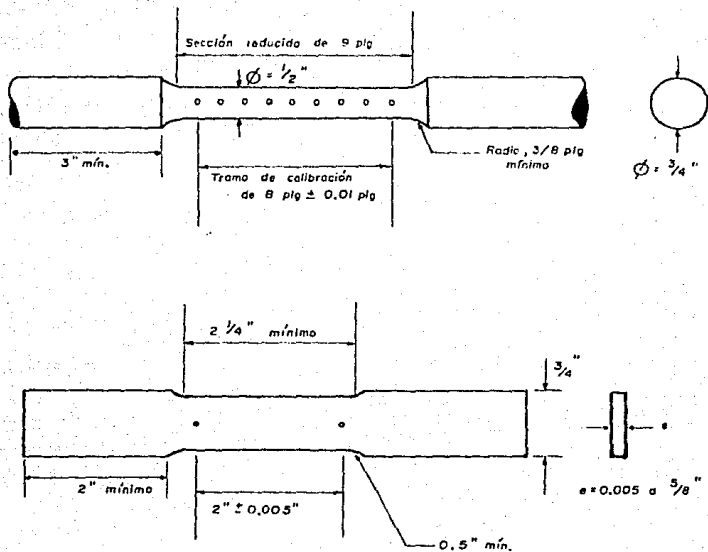
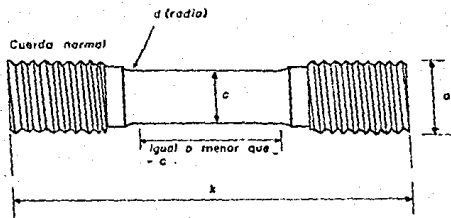


Fig. A.2

Dimensiones estándar dadas por la A.S.T.M.



Dimensiones de probetas en pulgadas.

Dimensión	Probeto A	Probeto B	Probeto C
a	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{7}{8}$
b	0.500	0.750	1.250
d, mín	1.0	1.0	2.0
k, mín	3.75	4.0	$6\frac{3}{8}$

Fig. A.3

Dimensiones para una probeta  
roscada.

La varilla no deberá tener deformaciones de su eje, fisuras, procesos de oxidación o contaminación de otros materiales, estar ranurada, estirada transversalmente o con agujeros, ya que de lo contrario las propiedades de la pieza -resistencia, ductibilidad, etc.- pueden ser alteradas. Las dimensiones de la varilla de muestra son: 50 cm de longitud (25 cm de tramo de calibración), y 0.95 cm de diámetro (N° 3, comercial).

#### B.- MAQUINA DE PRUEBA

La máquina de prueba debe ser al menos de 27,215.8 kg (60,000 lb) de capacidad de carga, con dispositivos de montaje que transmitan axialmente la carga a nuestra probeta, esto es, que las mordazas estén alineadas antes y durante la prueba, sin que exista un solo movimiento de flexión o torsión.

Para ello las mordazas -ilustradas en la fig. (B.1)-, deben tener una superficie áspera o estriada, que evite o reduzca el deslizamiento de la probeta. Además cuando se pruebe una muestra cilíndrica, las mordazas deberán apretar en forma de "V", observe la fig. (B.2).

El ajuste para este tipo de mordaza, se hace por medio de un alineador, de tal forma que el eje de la probeta coincida con el centro de los puentes de la máquina de prueba y las mordazas queden apropiadamente ubicadas en las cabeceras o extremos de la muestra. Finalmente es importante no sobrepasar la capacidad de la máquina; para ello he incluido en el Manual una tabla de dimensio-

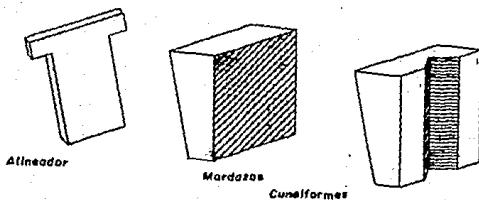


Fig. B.1

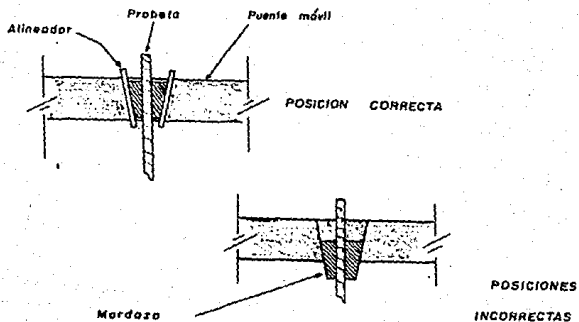
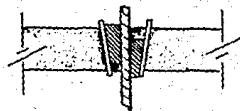


Fig. B.2  
Tipos y posiciones  
de las mordazas.



nes máximas del espécimen de acuerdo al tipo de máquina que se uti-  
lice. (Tabla 11).

### C.- RECOMENDACIONES ANTES DE LA PRUEBA

#### 1.- Preparación del equipo

Las mediciones de la deformación se realizan con un indicador de cuadrante, de una aproximación de 0.01 pulgadas, determinando el valor de cada división caratular y el factor de conversión para interpretar su lectura.

Al colocar las mordazas, los alineadores serán del mismo espesor para hacer un ajuste adecuado. Las mordazas agarrarán fuertemente cada extremo de la probeta, o en el caso de muestras no estandarizadas, el agarre es como mínimo de 10 cm. Finalmente no olvide ajustar en ceros, el indicador de cuadrante y la carátula de la máquina de prueba, al inicio del ensayo.

#### 2.- Preparación de la probeta

Si la probeta esta realizada con normas de la A.S.T.M., las dimensiones deberán checarsse con vernier, anotando diámetro del tramo de calibración, longitud total, el material del cual está hecha y número de serie.

Si es probeta no estandarizada, deberá revisarse de que no tenga defectos de terminado, que sus dimensiones sean aproximadamente a las indicadas anteriormente, midiéndolas con vernier.



En ambos casos, se definirá el tramo de calibración, marcando la probeta y de acuerdo al siguiente criterio:

- a) Sobre la probeta de metal dúctil se hacen marcas con un punzón de centros.
- b) Sobre láminas delgadas y materiales quebradizos se trazan rayas finas; asimismo se puede proceder con muestras de bronce, cinc, aluminio y cobre.

En ambos casos la marca es muy ligera para no dañar el metal, influyendo así en la ruptura.

Se recomienda si la probeta tiene un tramo de calibración de 20.32 cm (8"), hacer 9 marcas, cada una con 2.54 cm de separación; se pueden hacer otras marcas a 2.54 cm fuera del tramo, en cada extremo.

#### D.- VELOCIDAD DE PRUEBA

La velocidad de prueba no debe ser mayor que aquella a la cual las lecturas de carga y deformación puedan tomarse con buena exactitud.

Las velocidades de prueba deben ser bajas, ya que de hecho se necesita leer con precisión la deformación del espécimen, en el indicador de cuadrante instalado para ello. Existen 2 métodos de aplicación de la carga, en cuanto a su velocidad:

- a) La carga se aplica en incrementos, leyendo carga y deformación al final de cada intervalo, y,

- b) La carga se aplica a una velocidad lenta, leyendo simultáneamente deformación y carga.

Se recomienda este último método, para no interrumpir la continuidad en el mecanismo de la máquina Universal, al aplicar la carga en tensión. Cabe señalar que en este manual, se seguirá este método en las pruebas subsecuentes.

Finalmente, la velocidad de carga para esta prueba de tensión será de 125 kg/seg, en un rango de 30,000 kg.

- Esfuerzo y Deformación unitarias.

El esfuerzo unitario ( $e_u$  ó  $e$ ) se obtiene con la siguiente expresión:

$$e = \frac{P}{A}, \text{ donde } \begin{array}{l} P = \text{Carga aplicada, en Kg.} \\ A = \text{Area de la sección, en donde se aplica } P, \text{ en cm}^2. \end{array}$$

La deformación unitaria ( $d_u$  ó  $d$ ) se obtiene con la ecuación:

$$d = \frac{d_p}{l}, \text{ donde } \begin{array}{l} d_p = \text{Deformación parcial medida por el indicador de cuadrante, en cm.} \\ l = \text{Longitud del tramo de calibración, en cm.} \end{array}$$

La deformación parcial en la bitácora de esta prueba corresponde a la segunda columna, es decir a la lectura caratular del indicador de cuadrante.

### III. EQUIPO

- 1.- Máquina Universal de 60,000 kg de capacidad de carga con juego de manivelas.
- 2.- Juego de mordazas (4) y alineadores (4).
- 3.- Indicador de cuadrante de 0.0254 cm de aproximación y 2.5 cm de lectura total.
- 4.- Brazo magnético con extensión.
- 5.- Vernier.
- 6.- Nivel de mano.
- 7.- Segueta de diente fino
- 8.- Martillo (opcional).
- 9.- Punzón (opcional).
- 10.- Lámina de medición: Este dispositivo se hizo para fijar uno de los extremos a la marca inferior hecha en la probeta, y el otro extremo para atornillarlo a la cabeza del pivote que tiene el indicador de cuadrante.

Vea la fig. (1)

### IV. MATERIAL

- 1.- Probeta cilíndrica de acero dúctil con dimensiones normadas por la A. S. T. M. (Ver datos de bitácora).

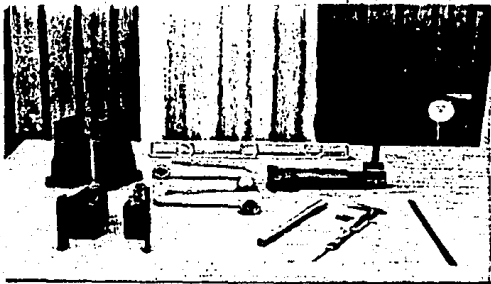


Fig. 1

Equipo para la prueba de tensión.

(La lámina de medición está sujeta al pivote del indicador de cuadrante).

## V. DESARROLLO

10. Determinar las propiedades de la probeta: el tipo de material del que está hecha, si es probeta estándar o no, longitud total, diámetro de los extremos, diámetro de la sección transversal en el tramo de calibración, radio del bisel y espesor (en el caso de probeta hueca), con un vernier. (Fig. 2).
20. Verificar que no tenga defectos la probeta y proceder a marcar el tramo de calibración, con la segueta de diente fino o en su caso punzonar levemente. (Fig. 3).
30. Colocar las mordazas y alineadores en el puente *inmóvil* de la máquina Universal, y fijar la parte superior o extremo de la probeta. Apretar ligeramente y asegurarse que las marcas hechas, queden a la vista del observador. (Fig. 4).
40. Nivelar perfectamente la probeta, de tal forma que los ejes de esta y el puente de la máquina coincidan. Ahora asegurar el extremo inferior del espécimen al puente *móvil* de la máquina, apretando fuertemente. (Fig. 5).
50. Colocar el brazo magnético con el indicador de cuadrante; ajustar la lámina de medición en la marca inferior de la probeta. (Fig. 6).
60. Ajustar en ceros el indicador de cuadrante y la máquina Universal. Seleccionar el rango de carga y aplicarla a una velocidad de 125 kg/seg. Leer simultáneamente carga y deformación, hasta hacer fallar al espécimen. (Fig. 7).

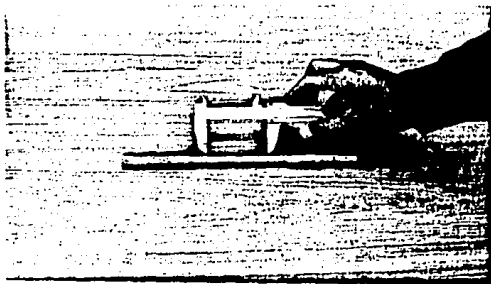


Fig. 2

Obtención de las dimensiones de la probeta.

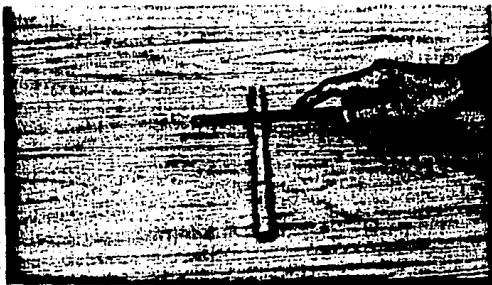


Fig. 3

Marcaje del tramo de calibración.

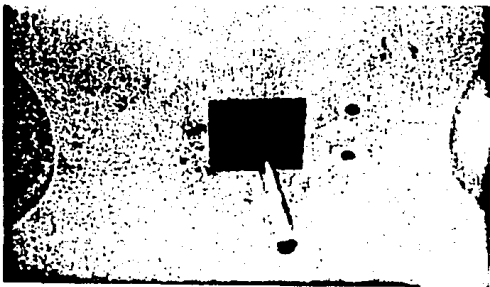


Fig. 4

Se fija la probeta en el puente superior de la máquina

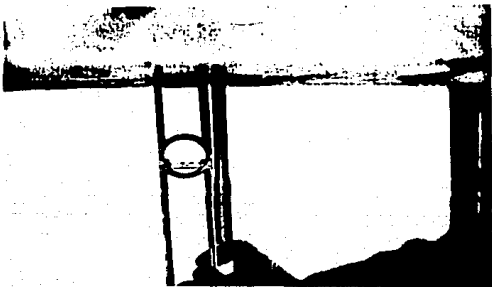


Fig. 5

Nivelar apoyándose perpendicularmente al puente superior, y en la probeta

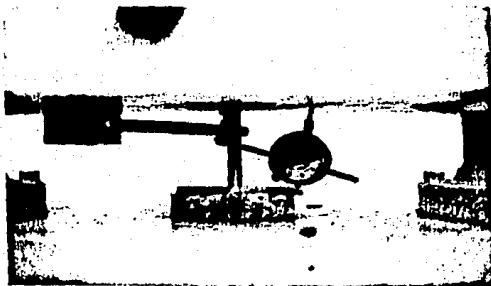


Fig. 6

La lámina de medición está ajustada a la cabeza del pivote del indicador

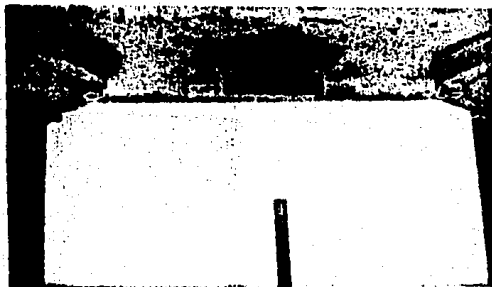


Fig. 7

Falla de una probeta a tensión.



7o. Una vez que la probeta ha fallado, retirar el espécimen y una las 2 partes en que se dividió. Nuevamente tomar dimensiones -hasta el milímetro de aproximación- con el vernier y anotar - en la bitácora. (Fig. 8).

8o. Observar además el tipo de fractura y describirla. (Fig. 9)

El anterior procedimiento es para probetas estándares. Para el caso de la varilla la secuencia es similar, tomando en cuenta - las siguientes recomendaciones:

- a) Agarrar la varilla -con las mordazas- entre sus caras estria-- das y no en el filo que tiene en su costado, para evitar se -- resbale al tensarla.
- b) Marcar en el filo de la varilla, para facilitar su observación.
- c) Apoyar el nivel en el filo de la varilla.

Tener precaución al retirar la probeta de los puentes, debido a que, por la tensión, el espécimen se aprieta en las mordazas y por lo tanto se dificulta el quitarla. Nunca debe golpear con - martillo al espécimen, o a las manivelas, porque las daña; con la ayuda de una madera golpear las mordazas superiores por su cara in ferior y las mordazas inferiores por su cara superior, sin tocar - la probeta.

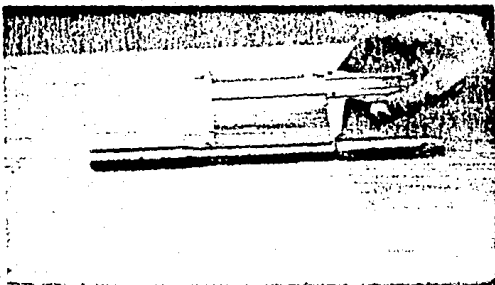


Fig. 8

Se vuelve a medir el tramo de calibración.

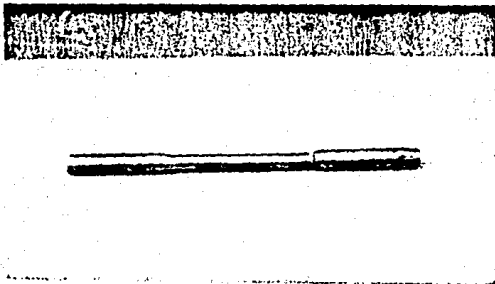


Fig. 9

La falla ocurrió cerca del bisel del espécimen

## VI. OBSERVACIONES DE LA PRUEBA

Una vez que se ha retirado la probeta de la máquina, debe -- anotarse el tipo de fractura y la presencia de algunos defectos.

Así, las fracturas pueden clasificarse en cuanto a su forma, textura y color:

- a) Por su forma la fractura puede ser en cono y cráter o bien plana e irregular.
- b) Por su textura puede ser sedosa, de grano fino, de grano grueso o granular, fibrosa o astillable, cristalizada, vidriosa o mate.

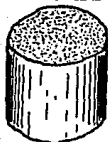
El material del que se elaboró la probeta, puede clasificarse por su fractura. El acero suave, en una probeta cilíndrica, -- presenta una fractura de cono y cráter de textura sedosa.

El hierro forjado presenta una fractura dentada y fibrosa. -- La del hierro fundido, es gris, plana y regular.

En la fig. (VI.1) se muestran dichos tipos de fracturas.

También es importante hacer mención a los 2 tipos fundamentales de fracturas por esfuerzos de tensión:

- a) Por deslizamiento (corte).-- Ocurre un alargamiento plástico -- con una reducción de área considerable antes de presentarse la fractura. Se dice entonces que el material es dúctil.
- b) Por separación (agrietamiento).-- Se observa poco alargamiento plástico, y es característico de un material quebradizo.

Hierro Fundido

Cortadura plana y rugosa.

Hierro Forjado

Irregular fibrosa.

Material trabajado en frío

"Fractura de estrella"

A c e r o S u a v e

Cono, cráter y sedosa  
en probeta cilíndrica.



Cono, cráter y sedosa  
en probeta plana.

Fig. VI.1

Tipos de fallas por tensión, en distintos metales.

## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

### A.- PROBETA

El espécimen fué torneado tomando las medidas establecidas -- por la A.S.T.M. excepto en su longitud -debido al costo tuve que - reducir su longitud-, con los requisitos y procedimientos de prueba establecidos al inicio de la prueba. El material inicialmente se diagnosticó como *acero*.

### B.- VELOCIDAD DE PRUEBA

La velocidad fué lenta para obtener un diagrama esfuerzo-deformación más preciso, dado que al suponer un acero rolado en caliente, dúctil la exactitud del trazado nos conduciría a obtener el área de fluidez.

### C.- FALLA

Efectivamente la falla fué la correspondiente a un acero rolado en caliente, dúctil, es decir la fractura fue de cráter, con la formación en la probeta del "cuello".

### D.- BITÁCORA

Leer simultáneamente carga y deformación -en el indicador de - cuadrante- a cada 125 kg de carga aplicada. Ello facilitará graficar correctamente el área de fluencia. Para evitar lo extenso de - los datos, se presenta en la bitácora el esfuerzo y la deformación unitaria correspondientes a cada 250 kg de carga a tensión.

**UNAM**

**TESIS INGENIERIA CIVIL**

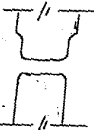
Manual de Prácticas para el Laboratorio de Mecánica de Materiales de Ingeniería Civil de la E.N.E.P. Aragón

MARCO ANTONIO RAMÍREZ MEJÍA

**ENEP**  
**ARAGON**

**BITACORA DE LA PRUEBA DE TENSION**

- A.- DATOS GENERALES** FECHA: 21-SEP-87. HOJA 1 DE 1
- a.- ESPECIMEN No.:** 1
- b.- MATERIAL PROBABLE:** ACERO
- c.- LONGITUD TOTAL, EN CM.:** 23
- d.- LONGITUD ENTRE CABECERAS, EN CM.:** 9
- e.- TRAMO DE CALIBRACION, EN CM.:** 5.08
- f.- DIAMETRO DE LOS EXTREMOS, EN CM.:** 1.90
- g.- DIAMETRO DEL TRAMO DE CALIBRACION, EN CM.:** 1.27
- h.- ALARGAMIENTO TOTAL EN EL TRAMO DE CALIBRACION, EN CM.:** 0.48

- B.- RESULTADOS**
- a.- LIMITE DE PROPORCIONALIDAD, EN KG/CM<sup>2</sup>:** 2460.0
- b.- CARGA DE RUPTURA, EN KG.:** 5,300
- C.- TIPO DE FALLA**
- 

Formación de "cuello", con falla en cráter.
- a.- MATERIAL RESULTANTE:** ACERO ROLADO EN CALIENTE

CARGA (kg)	LECTURA CALIBRACIONAL * (mm)	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACION d (cm/cm)
0	0	0	0
250	0.003	197	0.0006
500	0.005	394	0.0009
750	0.007	590	0.0013
1000	0.009	787	0.0017
1250	0.011	984	0.0020
1500	0.013	1181	0.0025
1750	0.014	1378	0.0027
2000	0.017	1575	0.0033
2250	0.019	1772	0.0037
2500	0.021	1968	0.0041
2750	0.024	2165	0.0047
3000	0.026	2362	0.0051
3125	0.028	2460.6	0.0056
3250	0.032	2559.0	0.0063
3375	0.033	2657.5	0.0065
(*) 3375	0.038	2657.5	0.0075
3500	0.048	2755	0.0094
3750	0.065	2952	0.0128
4000	0.081	3149	0.0160
4250	0.096	3346	0.0190
4500	0.11	3543	0.0216
4750	0.132	3740	0.0260
5000	0.150	3937	0.0295
5250	0.165	4133	0.032
5500	0.188	4330	0.037
5750	0.209	4527	0.041
6000	0.240	4724	0.047
6250	0.265	4921	0.052
6500	0.305	5118	0.060
(*) 6700	0.355	5275	0.070
(**) 6390	0.405	5000	0.080
(**) 5300	0.408	4173	0.094

NOTA: (\*)=F.C., es decir Factor de Conversión, el cual es igual a 0.001 (basado en el valor calibracional del indicador).

(\*\*) NOTA: CONSULTAR EL ANALISIS DE RESULTADOS

## VIII. CONCLUSIONES

El alargamiento total que presentó la probeta tensada, se debe al alargamiento plástico, el cual está más o menos uniformemente -- distribuido a lo largo del tramo de calibración, con el consiguiente "cuello" (Este angostamiento fué mínimo en la probeta ensayada).

La velocidad de carga estuvo apropiada; investigaciones recientes han demostrado que sobre el rango de velocidades usadas en las -- máquinas de ensaye ordinarios, los efectos de una variación de velocidad moderada sobre las propiedades tensionales de los metales son bastante ligeros y pueden permitirse tolerancias muy amplias sin introducir un error serio en los resultados de los ensayos para los -- metales dúctiles.

Por otra parte la falla ocurrió por el deslizamiento de los -- planos moleculares del acero tensado. Este deslizamiento o flujo -- se debe a la influencia de esfuerzos cortantes. Así el estado de -- esfuerzo en la porción central de la sección restringida (tramo de calibración) ya no es más de tensión simple; esfuerzos tanto radiales como axiales actúan sobre los átomos que componen el material. El máximo esfuerzo principal puede ser de varias veces el máximo -- esfuerzo cortante, en lugar de tener la relación de 2 a 1 que existía entre la tensión y el corte antes de iniciarse la estricción.

La probeta ensayada mostró en su fractura un deslizamiento a -- lo largo de los bordes, con una apariencia granular. Esto se atribuye a un mayor esfuerzo cortante cerca del centro que cerca de los bordes.

Ahora se analizará la puntuación referente a las notas que aparecen en la bitácora de la prueba de tensión.

- (+) Note que no hubo aumento de la carga pero sí de la deformación. De hecho la aguja de la carátula de la máquina universal no se movió en este instante, para luego reiniciar la medición de la carga como lo iba haciendo hasta ese momento en forma normal. Esto se debe a que el metal empezó a fluir (consulte el diagrama e - d correspondiente), es decir se formó el área de fluencia en el diagrama e - d.
- (\*) Esta fué la máxima carga (resistencia máxima de esta probeta - a la tensión), con 6,700 kg y un esfuerzo unitario de 5,275  $\text{kg/cm}^2$ .
- (\*\*) La aguja de la máquina empezó entonces a decaer, o sea que la deformación continuó en aumento, ya sin aplicar más carga. La carga de ruptura fué finalmente de 5,300 kg, con un esfuerzo - de 4,173  $\text{kg/cm}^2$  y una deformación total en el tramo de calibración de 0.408 cm.



# DIAGRAMA ESFUERZO ~ ~ DEFORMACION UNITARIA DE LA PROBETA DE ACERO SOMETIDA A LA TENSION (I)

---

## I. OBJETIVO

Aplicar distintos métodos gráficos en el diagrama esfuerzo-deformación unitaria del acero sometido a la tensión (práctica #1) y obtener sus principales características de resistencia.

## II. INTRODUCCION

Cuando se elige un material para un edificio o una máquina - se deben conocer sus propiedades así como su capacidad para soportar esfuerzos. Las pruebas de tensión o compresión proporcionan la información que es básica para saber de antemano el comportamiento mecánico de un material.

Dos parámetros importantes para conocer el comportamiento de un material son el esfuerzo y la deformación, graficados en un diagrama. Es por esto que en esta práctica y la siguiente se analizará el diagrama esfuerzo - deformación obtenido de la prueba anterior de tensión sobre el acero. La forma de un diagrama esfuerzo-deformación varía con la velocidad de carga y la temperatura. Así mismo estos diagramas esfuerzo - deformación (e-d) difieren mucho según distintos materiales. Como ejemplo compare el diagrama e-d -

de un acero laminado en caliente (Fig. II.1) y el de otros materiales (Fig. II.2). Note que el punto final de un diagrama e-d, corresponde a la falla completa (ruptura) de la muestra que fué probada.

Respecto a la tensión los metales presentan 2 tipos de propiedades mecánicas: de resistencia y de plasticidad. Las primeras definen las características de resistencia del material de la muestra a la deformación o ruptura. Las segundas definen el alargamiento y angostamiento relativos de la muestra; se obtendrán las propiedades de resistencia.

La mayor parte de las características de resistencia son calculadas en base a la posición de determinados puntos en el diagrama e-d, el cual en cuanto a su ruptura se clasifica en 3 tipos:

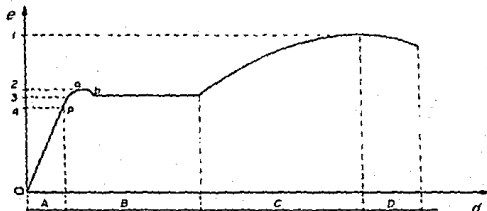
- a.- Cuando las probetas se destruyen frágilmente sin una notoria deformación plástica. Fig. (II.3.a)
- b.- Cuando la probeta se deforma uniformemente, casi hasta el límite de su destrucción. Fig. (II.3.b)
- c.- Cuando la probeta se destruye después de la formación de un cuello como consecuencia de una deformación concentrada. Fig. (II.3.c)

Notemos en las figuras II.3 (b) y (c), un "diente", que corresponde a la fluidez del material, el cual se analizará más adelante.

Para un estudio analítico del comportamiento de un material es conveniente idealizar los diagramas esfuerzo - deformación determina

Fig. II.1

Diagrama esfuerzo-deformación tipo de un acero laminado en caliente.



- 1.- Esfuerzo máximo
- 2.- Límite de fluencia superior
- 3.- Límite de fluencia inferior
- 4.- Límite de proporcionalidad (p)

- A.- Rango elástico
- B.- Flujo plástico
- C.- Endurecimiento por deformación
- D.- Estrangulamiento y fractura
- ob.- Punto de fluencia

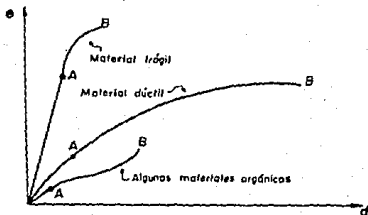


Fig. II.2

Diagrama e-d de distintos tipos de materiales.

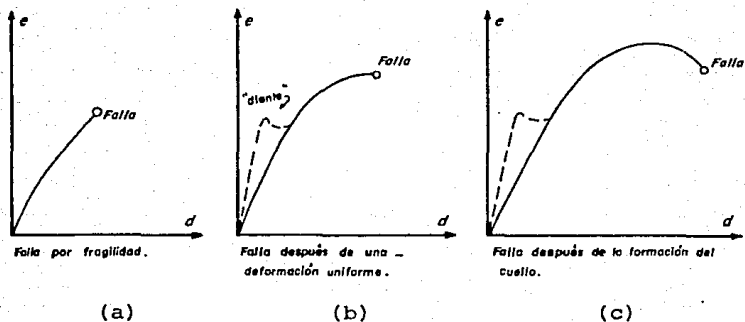


Fig. II.3

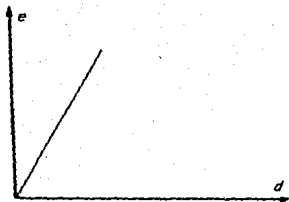
Diagramas e-d en cuanto a la ruptura de la probeta.

dos experimentalmente. Veamos la fig. (II.4.a), que representa el diagrama e-d correspondiente a un material linealmente elástico -- que es la base de la Ley de Hooke. No así en la fig. (II.4.b) que define un material elástico con una deformación ilimitada o fluencia a un esfuerzo constante, es decir un estado de plasticidad perfecta; en la siguiente fig. (II.4.c) se muestra el diagrama de un material rígido, perfectamente plástico, con poca elasticidad. Finalmente en la fig. (II.4.d) se definen los materiales que son -- elásticos y que presentan un endurecimiento por deformación o por esfuerzo.

#### A.- ENDURECIMIENTO POR DEFORMACION

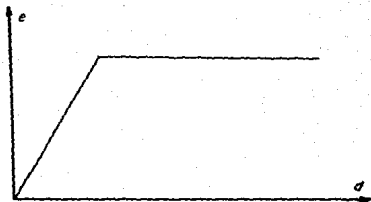
Desde el comienzo de la deformación hasta el momento de destrucción, se observa un aumento de la resistencia del material de la probeta, a medida que aumenta dicha deformación. Así para continuar deformando la muestra es necesario un aumento constante de los esfuerzos actuantes. Este fenómeno llamado endurecimiento por deformación está basado en el movimiento de las dislocaciones del material. Una dislocación se define como una alteración en la posición original de equilibrio de cada átomo y mientras más difícil sea el desplazamiento de estas dislocaciones mayor será el endurecimiento por deformación; a una mayor dislocación de cada átomo, - mayor será la elasticidad de la deformación de la muestra.

Luego entonces en ésta y la siguiente práctica se detallará - la obtención de los puntos característicos de resistencia de los - materiales en un diagrama esfuerzo - deformación. Observemos el -



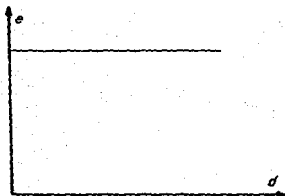
Material linealmente elástico.

(a)



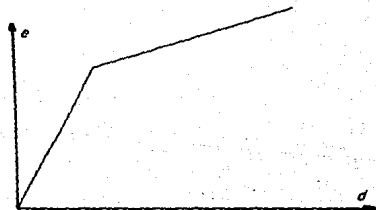
Material elástico y perfectamente plástico.

(b)



Material rígido y perfectamente plástico.

(c)



Material elástico y con endurecimiento lineal.

(d)

Fig. II.4

Diagramas e-d idealizados.

diagrama de la fig. (II.1). El punto  $p$  define el límite de proporcionalidad del material; la pendiente de la recta desde  $o$  hasta  $p$  es el módulo elástico  $E$ . El esfuerzo correspondiente a la meseta  $ab$  se denomina punto de fluencia.

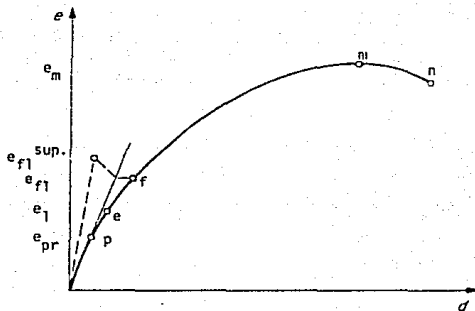
Este punto de fluencia es para el proyectista la propiedad -- más importante del acero, ya que los procedimientos para diseñar -- elásticamente están basados en dicho valor (con excepción de miembros esbeltos sujetos a compresión, donde el pandeo es un factor -- importante).

#### B.- LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD

El límite de proporcionalidad se define como el mayor esfuerzo que un material es capaz de desarrollar sin desviarse de la proporcionalidad rectilínea entre el esfuerzo y la deformación.

Observemos el diagrama e-d de la fig. (B.1). Su primer punto característico  $p$  corresponde al límite de proporcionalidad. El esfuerzo correspondiente, denotado por  $e_{pr}$  determina la magnitud del límite de proporcionalidad. El valor aproximado de  $e_{pr}$  se hace localizando el punto donde se inicia la divergencia entre la curva -- de tensión y la continuación del trazo rectilíneo.

Existen 2 métodos gráficos para determinar el valor del límite de proporcionalidad, para lo cual siga el procedimiento descrito observando su correspondiente figura.



$e_m$  = esfuerzo de resistencia máxima.

$e_{fI}^{sup}$  = esfuerzo de fluencia superior.

$e_{fI}$  = esfuerzo de fluencia

$e_l$  = esfuerzo elástico

$p$  = límite de proporcionalidad

$e$  = límite elástico

$f$  = límite de fluencia

$m$  = límite de resistencia

$n$  = talla o ruptura

Fig. B.1

Puntos importantes del diagrama esfuerzo-deformación unitaria.



## - 1er. METODO (Fig. (B.2))

- 1o. En primer lugar se define un nuevo origen de coordenadas para asegurarse de alguna alteración que pueda producirse en el trazo del diagrama, debido a una insuficiente rigidez de la máquina.
- 2o. En los límites del rango elástico se traza una perpendicular  $\overline{AB}$  al eje de las cargas.
- 3o. Se traza el segmento  $\overline{BC}$  (que es igual a  $\overline{AB}/2$ ) en continuación al segmento  $\overline{AB}$ .
- 4o. Se traza ahora una línea que una el nuevo origen con el punto C. Tenemos entonces que  $\text{Tan } \alpha' = \frac{\text{Tan } \alpha}{1.5}$
- 5o. Finalmente se traza una tangente a la curva de tensión que sea paralela a  $\overline{OC}$ . Entonces el punto de tangencia, indicado con la letra p, determinará la magnitud de la carga buscada  $e_{pr}$ .

## - 2o. METODO Fig. (B.3)

- 1o. Se localiza un nuevo origen como el descrito en el 1er. método.
- 2o. Desde un punto cualquiera del tramo rectilíneo del diagrama se baja una perpendicular  $MM'$ , al eje de las abscisas dividiéndola en 3 partes iguales.
- 3o. A través del punto A y del origen de coordenadas se traza una línea recta y paralelamente a ella, una tangente a la curva de tensión.

## Métodos para obtener el límite de proporcionalidad

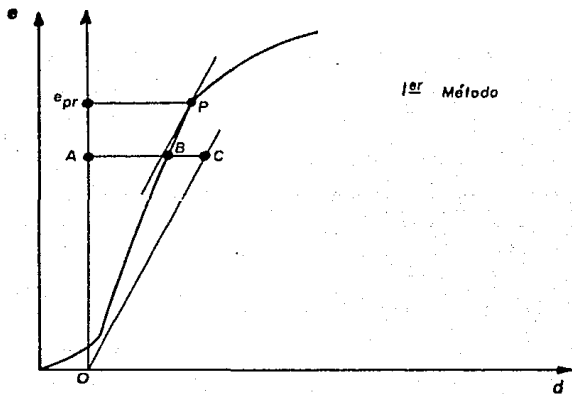


Fig. B.2

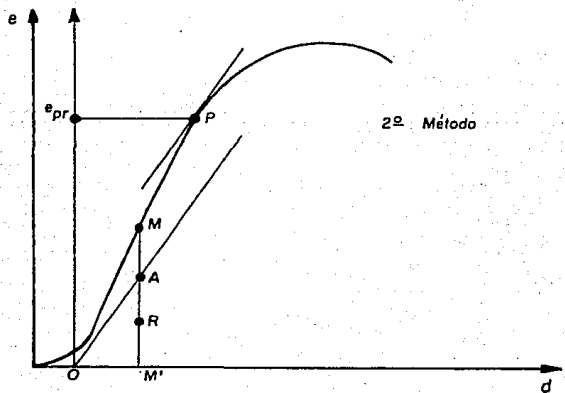


Fig. B.3

- 4o. El punto de tangencia  $p$  corresponde al esfuerzo  $e_p$   
 $(\tan \alpha' = \frac{\tan \alpha}{1.5})$ .

#### C.- LIMITE DE ELASTICIDAD

El límite elástico se define como el mayor esfuerzo que un material es capaz de desarrollar sin que ocurra la deformación permanente al retirar el esfuerzo. En la fig. (B.1) aparece como  $e_1$ ; a este punto corresponde una carga por la cual se calcula al límite de elasticidad convencional, es decir el esfuerzo con que el ---alargamiento o deformación alcanza un valor de 0.05%, siendo a veces menor. Puede afirmarse que el límite elástico caracteriza al esfuerzo con el cual surgen las primeras señales de la deformación plástica. Debido a que es difícil determinar el esfuerzo al 0.05% con exactitud, en la práctica se considera el límite de elasticidad igual al límite de proporcionalidad.

#### D.- LIMITE DE FLUENCIA

Cuando en nuestro diagrama e-d, no aparezca el "diente" y el área de fluidez, fig. (B.1), se calculará el límite de fluencia o fluidez, es decir, el esfuerzo con el que la deformación alcanza un valor de 0.2%, mediante un método gráfico.

El límite de fluidez caracteriza el esfuerzo con el cual se inicia la deformación plástica. Para determinar en forma gráfica este límite es necesario que el diagrama de tensión esté trazado en gran escala (no menor de 10:1, eje ordenadas : eje abscisas). A --

continuación la descripción de este método, al cual algunos autores llaman "Método del desplazamiento". (Fig. D.1)

1o. Sobre el eje de las deformaciones y a partir del origen, se --  
traza un segmento  $\overline{OK} = 0.2 \frac{l_0}{100}$ , donde

$l_0$  = longitud inicial sobre la que se deter-  
mina la deformación en cm.

2o. A través del punto K se traza una línea recta paralela al seg-  
mento rectilíneo del diagrama, hasta tocar la curva del mismo.

3o. La ordenada del punto al que llamaremos L corresponderá a la -  
magnitud de la carga  $P_{0.2}$ , que determina el límite de fluencia  
según la sig. ecuación:

$$e_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0}, \text{ donde}$$

$e_{0.2}$  = Límite de fluencia al 0.2%

$P_{0.2}$  = Carga al 0.2%

$F_0$  = Area inicial de la sección transver-  
sal de la probeta.

Este método se aplica a diagramas que no tienen un límite de  
fluencia definido como es el caso de materiales frágiles, como el  
hierro (fig. II.2).

En cambio el acero laminado en caliente presenta una zona de  
fluencia bien definida (fig. II.1), donde se distinguen un límite  
de fluencia superior -el vértice del "diente"- y un límite de fluen-  
cia inferior.

La fluencia es la característica más importante de la resisten-



cia de los metales y aleaciones, a la deformación plástica.

El cambio suave de la deformación elástica a la deformación plástica (sin la formación del "diente" y área de fluidez) se observa en la tensión de aquellos metales y aleaciones que tienen una cantidad suficiente de dislocaciones movibles, no fijas en el estado inicial.

El esfuerzo necesario para comenzar esa deformación plástica (que está valorado por el límite convencional de fluencia), se determina por los 3 siguientes parámetros:

- a) Las fuerzas de resistencia al movimiento de dislocaciones en el interior de los granos;
- b) Por la facilidad con que se transmite la deformación a través de sus límites y;
- c) Por el tamaño de los granos.

Estos factores determinan también el valor del límite físico de fluencia  $f$ , es decir el esfuerzo ( $e_{f1}$ ), con el que la muestra se deforma por la acción de la carga de tensión  $P_{f1}$ , que no cambia prácticamente.

El límite de fluencia superior se calcula con la carga correspondiente al vértice del "diente" de fluencia. (Fig. B.1).

Por lo tanto

$$e_{f1}^{sup} = \frac{P_{f1}^{sup}}{F_0} \quad \text{donde:}$$

$e_{f1}^{sup}$  = Límite de fluencia superior

$P_{f1}^{sup}$  = Carga correspondiente al límite de fluencia superior.

Fo = Area inicial de la sección ---  
transversal de la probeta.

Al proceso de formación del "diente" y del área de fluencia se le llama fluencia brusca. Se analiza brevemente este fenómeno:

La tensión elástica provoca una suave elevación de la resistencia a la deformación, hasta alcanzar el valor del límite de --- fluencia superior.

Posteriormente ocurre una caída relativamente brusca del esfuerzo hasta el límite de fluencia inferior y de ahí la siguiente deformación (de un 0.1 a 1%) se produce por acción del esfuerzo residual formando finalmente el área de fluencia.

# DIAGRAMA ESFUERZO ~ ~ DEFORMACION UNITARIA DE LA PROBETA DE ACERO SOMETIDA A LA TENSION (II)

## E.- LIMITE DE RESISTENCIA

Desde el punto *f* en el diagrama de tensión, se desarrolla en la probeta una intensa deformación plástica conservando una sección constante. En el punto *m* del diagrama se interrumpe la uniformidad de la deformación plástica. Entonces en la parte media de la probeta -punto llamado de concentración de esfuerzos- comienza una localización de la deformación a la que corresponde un angostamiento local de la sección transversal denominada "cuello".

Así entonces, el cuello empieza a formarse en el punto *m* hasta su ruptura en el punto *n*, de la curva e-d, y va acompañado de -- una disminución del esfuerzo aplicado a la muestra.

Para la carga máxima  $P_m$ , -vea la figura B.1- se calcula el límite de resistencia- que es temporal, según la siguiente ecuación:

$$e_m = \frac{P_m}{A_m} \quad \text{donde: } e_m = \text{Esfuerzo de resistencia a la deforma-} \\ \text{ción uniforme máxima en kg/cm}^2.$$

$P_m$  = Carga aplicada en kg (máxima)

$A_m$  = Area de la probeta en  $\text{cm}^2$  (del tramo de calibración).



## F.- MÓDULO DE ELASTICIDAD

Esta constante de proporcionalidad calculada por Thomas Young -- por él también se conoce como Módulo de Young--, relaciona el esfuerzo y la deformación, según la siguiente expresión:

$$E = \frac{e_u}{d_u} \quad \text{donde: } E = \text{Módulo de Elasticidad en kg/cm}^2$$

$$e_u = \text{Esfuerzo unitario en kg/cm}^2$$

$$d_u = \text{Deformación unitaria en cm/cm}$$

Matemáticamente el Módulo Elástico corresponde a las porciones rectas de las curvas esfuerzo-deformación, es decir a la pendiente de la curva -vea la Fig. II.1-.

El módulo de Elasticidad  $E$  puede definirse como el esfuerzo  $e_u$  que produce una deformación unitaria  $d_u$  igual a la unidad, es decir, que será un esfuerzo tal que duplique la longitud de la barra en el caso de tensión o la reduzca a cero en el caso de compresión, siempre que no se modifiquen ni las propiedades elásticas del material ni la sección recta de la barra. Esta definición es completamente irrealizable en la práctica.

En la mayoría de los materiales estructurales el módulo de Elasticidad  $E$  tiene el mismo valor en tensión que en compresión. -- Por ejemplo su valor varía poco según el tipo de acero y puede tomarse igual a  $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

## V. DESARROLLO

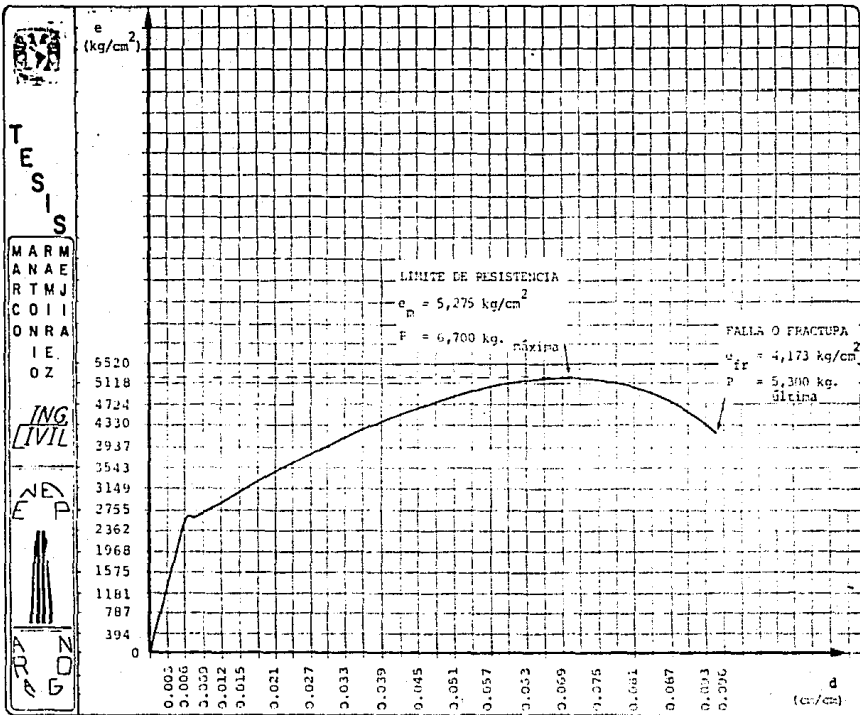
10. En base a los datos obtenidos en la práctica No. 1 (consulte la bitácora de la prueba), trazar el diagrama esfuerzo-deformación unitaria. (Fig. A)

Si la gráfica corresponde a un material frágil, es decir, si no tiene el área de fluencia bien definida proseguir el desarrollo de la práctica en forma normal; si por el contrario el diagrama correspondió a un material dúctil, desarrollar sólo los puntos 2, 3, 6 y 7.

20. Por alguno de los 2 métodos descritos en el inciso B de la anterior práctica, obtener el límite de proporcionalidad del metal (Fig. B).
30. Determinar el límite de elasticidad
40. Trazar el diagrama e-d, aumentando la escala. (Fig. C)
50. Por medio del Método de desplazamiento (inciso D, Práctica No. 2) obtener en forma aproximada el límite de fluencia, en el -- nuevo diagrama trazado (Fig. D).
60. En base al diagrama e-d inicial - Fig. A, determinar el límite de resistencia (consulte el inciso E de esta práctica).
70. Basándose en la fig. (A), determinar el Módulo de elasticidad de la probeta.
80. Comparar todos los resultados obtenidos con los de la Tabla No. 4, que se encuentra al final del Manual y concluir.

DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACION, DE UNA PROBETA DE ACERO EN TENSION

FIGURA A





T  
E  
S  
I  
S

M  
A  
R  
M  
A  
N  
A  
E  
R  
T  
M  
J  
C  
O  
I  
I  
O  
N  
R  
A  
I  
E  
O  
Z

ING  
CIVIL

EN  
P



A  
R  
G

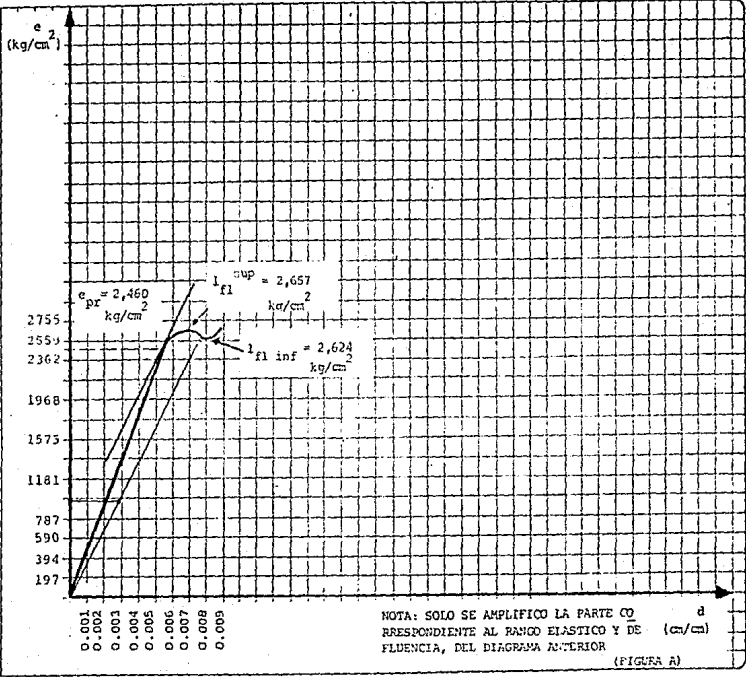
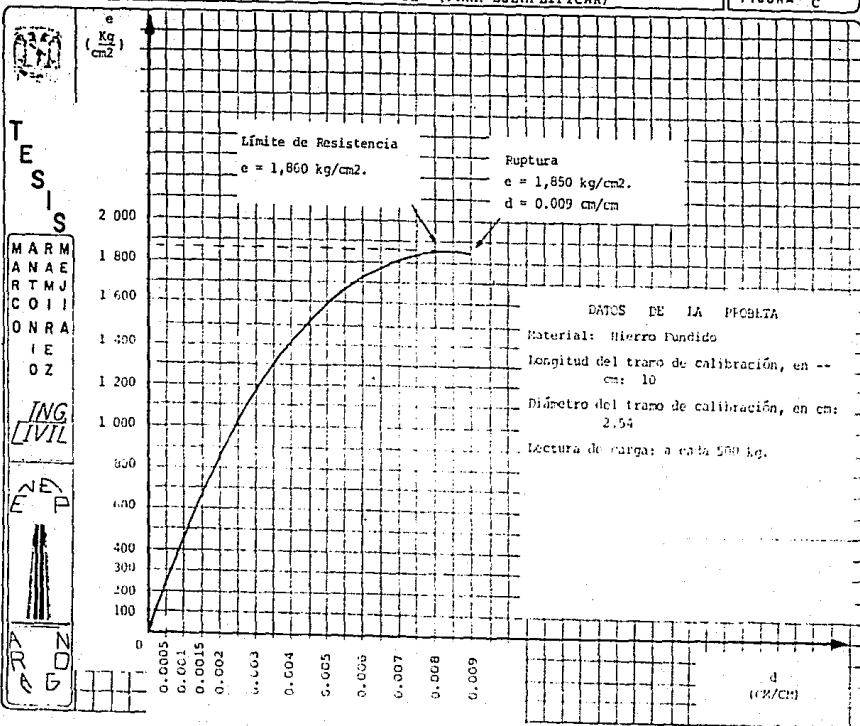


DIAGRAMA e - d DE UN MATERIAL FRAGIL (PARA EJEMPLIFICAR)

FIGURA C



METODO DEL DESPLAZAMIENTO APLICADO A LA FIGURA C (EJEMPLO)

FIGURA D



T  
E  
S  
I  
S

M A R M  
A N A E  
R T M J  
C O I I  
O N R A  
I E  
O Z

ING  
CIVIL

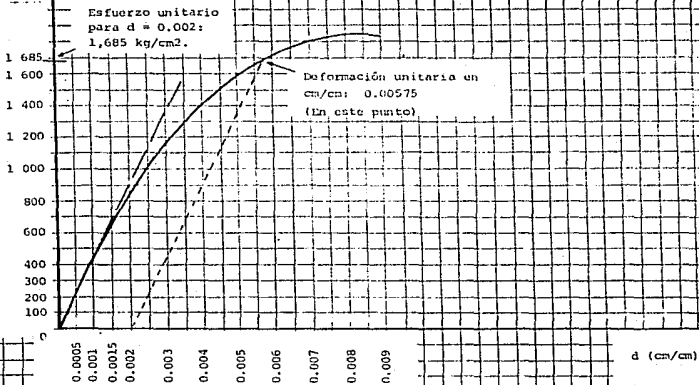
ENY  
P



UN  
D

$\sigma$   
(Kg/cm<sup>2</sup>)

Datos: Probeta de Hierro fundido  
 Longitud del tramo en calibración, en cm: 10  
 Diámetro del tramo de calibración, en cm: 2.54  
 Rango de Carga: 60,000 kg. Lectura de carga: a cada 500 kg.  
 Velocidad de carga: 250 kg/cm<sup>2</sup>/seg.



## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

### a.- Diagrama esfuerzo-deformación unitaria

Debido al tamaño de la cuadrícula, y para mejorar la visión general del diagrama y sus propiedades, la numeración tanto para el esfuerzo unitario como para la deformación unitaria se anotó en forma alternada. (Fig. A).

Asimismo se puede ver que la gráfica arrojó un diagrama e-d, - típico de los metales rolados en caliente; se encuentra el rango -- elástico, donde el origen está bien definido; un rango del flujo -- plástico con sus límites de fluencia; una curvatura prolongada y -- que corresponde al endurecimiento por deformación; se ve el punto - "pico" de la curvatura, correspondiendo al esfuerzo máximo desarrollado por el metal, posterior a ello la curva decae, indicando el - estrangulamiento de la probeta, es decir la formación de un "cuello", previo a su ruptura. Finalmente el punto de fractura.

### b.- Límite de proporcionalidad

Este límite se determinó en base al primer método descrito en la anterior práctica. La fig. (A) está trazada a menor escala, por lo que la aplicación del método sería difícilmente observada; fue necesario amplificar el rango elástico y plástico del diagrama.

Así entonces, en base a la bitácora el diagrama e-d mostrado en la fig. (B) se determinó el valor del límite de proporcionalidad - de la probeta tensada, esto es,  $l_p = 2,460.6 \text{ kg/cm}^2$ . La carga correspondiente fue de 3,125.0 kg. La deformación hasta entonces -- del tramo de calibración era de 0.029 cm.

- c. El límite elástico como se mencionó anteriormente, es prácticamente igual al límite de proporcionalidad.
- d. Para ejemplificar el Método del desplazamiento, se supuso un diagrama e-d de una probeta de hierro, sometida a tensión.
- e. El límite de resistencia de la probeta ensayada fué de 5,275 kg/cm<sup>2</sup>, y al cual corresponden 6,700 kg de carga a tensión.
- f. El módulo de elasticidad correspondiente a la porción recta del diagrama e-d de la figura A, es de 437,333.3 kg/cm<sup>2</sup> (para un  $d_u = 0.003$  y un  $e_u = 1,312$  kg/cm<sup>2</sup>).
- g. En la siguiente tabla se comparan los valores reales obtenidos en la probeta ensayada y los valores dados en la tabla No. 4 que se encuentra en el apéndice I de este trabajo, para un acero rolado en caliente con 0.20% de carbono.

Propiedad	Probeta ensayada	Acero con 0.20% de c
- Límite de proporcionalidad (kg/cm <sup>2</sup> )	2,460.6	2,814
- Límite de resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	5,275	4,222
- Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	437,333.3	2'111,110



Se observa que los límites de proporcionalidad y resistencia son similares, no así para el Módulo de elasticidad.

Una causa podría ser que nuestra probeta sea de un menor -- contenido de carbono o al proceso de rolado en caliente del material, donde la temperatura y el enfriamiento son factores influyentes.

Otra causa es la posible mezcla con otros metales, con lo cual difieren las propiedades mecánicas del espécimen.

De hecho no se conocen las condiciones ambientales, de proceso y sobretodo de la experiencia de las personas que intervienen en la manufactura de los metales ensayados.

## VIII. CONCLUSIONES

Generalmente el tipo de acero se caracteriza por el límite o esfuerzo de fluencia. En los metales dúctiles -como el ensayado- se caracteriza por la formación de un "diente", definido por los límites superior e inferior de fluencia. En los metales frágiles y en los utilizados para presfuerzo donde no está definida la fluencia, se aplica el método gráfico anteriormente descrito. A veces se toma el esfuerzo máximo como el índice de resistencia de ese metal frágil.

Se confirmó en el diagrama la zona de estrangulamiento (formación del "cuello" en la probeta) particularmente notable en el acero dulce o dúctil. Este efecto llamado *estrangulamiento* se da cuando se aproxima la ruptura de la probeta.

Para la mayoría de los materiales, los diagramas esfuerzo-deformación que se obtienen con miembros cortos a compresión son razonablemente iguales a los que se obtienen a tensión. Sin embargo para algunos materiales, los diagramas difieren considerablemente, según el sentido de la fuerza que se aplique. Por ejemplo el hierro colado y el concreto son muy débiles a tensión pero no a compresión.

# PRUEBA DE COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO

---

## I. OBJETIVO

Obtener el límite de resistencia y el módulo de elasticidad en 3 cilindros de concreto. Comprobar el acortamiento relativo y trazar el correspondiente diagrama esfuerzo-deformación (a los 7, 14 y 28 días de edad) observando la influencia de la edad en la resistencia.

## II. INTRODUCCION

En la prueba de compresión, la pieza de material se somete a una carga en los extremos que produce una acción aplastante que acorta dicho espécimen.

Los materiales a utilizar en esta prueba son quebradizos, tales como el mortero, el cemento, el ladrillo y los productos de cerámica, aunque a veces también se utilizan materiales metálicos.

En esta prueba nos enfocaremos a obtener la resistencia a la compresión directa en un concreto, como un índice de su calidad tanto en los materiales que lo conforman, como en su correcta elaboración.

Existen 3 limitaciones para este tipo de prueba:

- a) La dificultad de aplicar una carga concéntrica o axial.
- b) Existe una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y
- c) El área del espécimen es grande para poder obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza, por lo cual la máquina de prueba deberá ser de gran capacidad o el espécimen será de pequeñas dimensiones y por ende tan cortas que resulta difícil obtener en ellas mediciones de deformación de precisión adecuada.

Se ha concluido que la magnitud óptima de la relación altura/diámetro inicial para un espécimen cilíndrico es de 1 a 3. Posteriormente se dan las relaciones óptimas para materiales metálicos y para concreto.

En esta prueba también se trazará el diagrama esfuerzo-deformación unitaria (a los 7, 14 y 28 días de edad del espécimen) para obtener el límite de resistencia del concreto con el cual se elaboraron los cilindros.

#### A.- PROBETA PARA COMPRESION

##### 1.- Probetas estandarizadas

Para tener un esfuerzo uniforme, se recomienda que el espécimen sea de sección circular. A medida que la longitud se incrementa, se presenta una tendencia hacia la flexión de la pieza con la consiguiente distribución -la cual no es uniforme-, del esfuerzo sobre una sección recta.

Para elementos de acero se sugiere una relación entre altura y diámetro,  $h/d = 2$  o más, teniendo como límite superior hasta 10.

En la fig. (1.1), se dan las dimensiones de los especímenes metálicos.

En elementos de concreto, se requiere que sus dimensiones -- guarden cierta relación con el tamaño de los agregados. Estas relaciones se resumen en la fig. (1.2).

La precisión para medir la sección transversal, y para centrar o alinear el espécimen en la máquina de prueba será hasta de 0.025 cm. Para obtener el peso, se puede aproximar hasta el gramo.

#### B.- MÁQUINA DE PRUEBA

Se recomienda no someter a compresión especímenes metálicos cortos, en máquinas de prueba con capacidad de carga menor a 70,000 kg. Para especímenes de concreto, de 30.48 cm. (12") de altura y 15.24 cm. (6") de diámetro -son las dimensiones más usuales- elaborados para alcanzar un  $f'c-300 \text{ kg/cm}^2$  a una edad de 28 días, se recomienda que la capacidad de carga de la máquina no sea menor a los 70,000 kg.

Estas sugerencias se hacen con el fin de evitar posibles daños al dispositivo de cremallera y piñón, en las máquinas hidráulicas o al mecanismo de engrane y tornillo, en las máquinas mecánicas.

#### C.- RECOMENDACIONES ANTES DE LA PRUEBA

##### a.- Preparación del equipo

En la prueba de compresión, se utiliza un compresómetro, dispositivo que mide la deformación de cilindros de concreto, cuando -

Dimensiones sugeridas para las probetas		
Tipo	Diámetro, $d$ en cm	Altura, $h$ en cm
Corta	2.85	2.54
	1.27	5.91
Mediana	2.02	6.06
	2.54	7.62
	2.85	8.87
Larga	2.02	16.20
	3.17	31.7

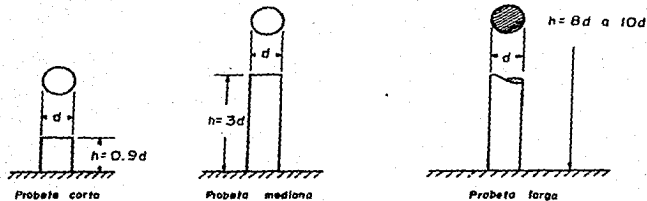


Fig. 1.1

Dimensiones estándar de las probetas de materiales -  
metálicos para la prueba de compresión



se le somete a carga axial. Puede haber dos tipos de compresómetros: mecánicos y electrónicos. Revisar en el mecánico que el dispositivo de medición -indicador de constante- cargue al menor movimiento de los brazos del compresómetro. Si se va a utilizar el - electrónico verificar su funcionamiento haciendo un registro previo con un cilindro de concreto sobrado.

#### b.- Preparación del espécimen:

Se deberá chequear que el espécimen tenga las dimensiones nominales por la A.S.T.M., con una aproximación de 0.002 cm. para los rectos y 0.025 cm. para cilindros de concreto. Si el espécimen va a ser de concreto se recomienda se siga el siguiente procedimiento de elaboración.

#### - Manufactura de un cilindro de concreto.

Cuando en la prueba de compresión se va a utilizar un cilindro de concreto, se recomienda que tenga 30.48 cm. de altura y 15.24 cm. de diámetro, con un agregado grueso de 1.905 cm. (3/4") de diámetro como máximo. A continuación se describe la elaboración de un cilindro de concreto de esas dimensiones.

#### 1.- Herramientas

- Molde cilíndrico de 30.48 cm. de altura x 15.24 cm. de diámetro.
- Varilla de 1.90 cm. de diámetro y 60 cm. de largo, con un casquete en su extremo de 1.6 cm. de diámetro.
- Charola
- Cucharón
- Cuchara de albañil



- f) Guantes
- g) Aceite para auto
- h) Brocha
- i) Estopa
- j) Báscula

Fig. (1)

## 2.- Materiales

- a) Grava bien graduada de 1.905 cm. de diámetro como máximo.
- b) Arena cernida, de 1.2 mm. de diámetro como máximo.
- c) Cemento Gris normal
- d) Agua limpia.

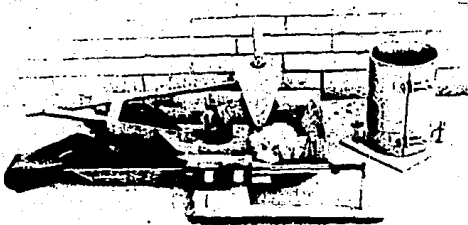


Fig. 1

Equipo para la manufactura de un cilindro de concreto.

### 3.- Procedimiento

- 1o. Se limpia el molde y se engrasa perfectamente, cuidando de no dejar residuos de estopa o de la brocha. (Fig. 2).
- 2o. Se hace una mezcla que proporcione un concreto de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  teniendo especial cuidado en la relación agua-cemento (Fig. 3).
- 3o. Vertir en la charola y uniformizar con el cucharón. (Fig. 4)
- 4o. Ya uniforme la mezcla se vierte en el cilindro en 3 capas, es decir la primera va a un tercio del cupo del molde, depositándola en distintas direcciones. (Fig. 5).
- 5o. Con la varilla "picar" el concreto 25 veces en forma consecutiva repartiéndolos perfectamente. (Fig. 6).
- 6o. Para la 1a. y 2a. capa, la varilla no deberá penetrar más de -- 2.5 cm. (fig. 7).
- 7o. Para enrasar vertir en la última capa una cantidad mayor de concreto, de la capacidad del molde. (Fig. 8). Luego "picar" el concreto sin penetrar más de 2.5 cm. medidos a partir del borde del molde.
- 8o. Enrasar con la cuchara perfectamente. (Fig. 9 y Fig. 10).
- 9o. El molde permanecerá inmóvil durante un día, para lo cual debe cubrirlo con un lienzo mojado y a la sombra. (Fig. 11)

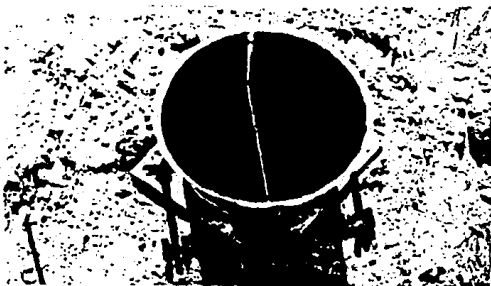


Fig. 2

Se hace limpieza del molde

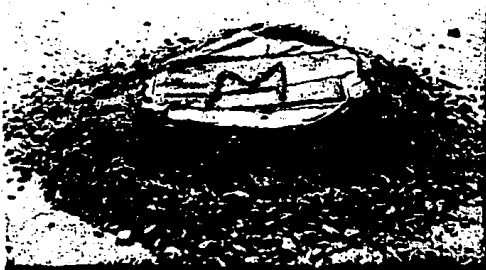


Fig. 3

Proporcione para un concreto de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$

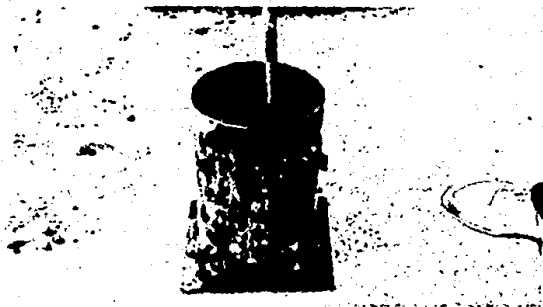


Fig. 6

Picado del concreto con la varilla

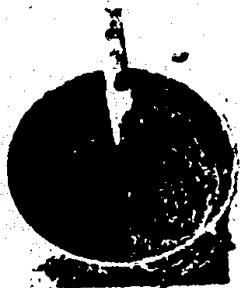


Fig. 7

Calcule no sobrepasar de 1" aproximadamente, la punta de la varilla en cada capa.

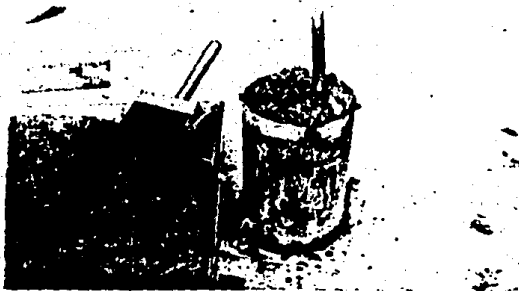


Fig. 8

Se vierte mayor cantidad de concreto para la última capa



Fig. 9

Enrasado con la cuchara del "albañil"



Fig. 10

## Enrasado del cilindro

Es conveniente que para afinar el enrasado se -  
moje la cuchara y luego se pase suavemente sobre  
la capa de concreto. Se deben evitar los huecos  
que en ocasiones quedan en los bordes del cilin  
dro.

- Curado del cilindro

Después de 24 horas de elaborado, el cilindro se saca del molde y se le asigna un número de serie y la fecha de elaboración. Posteriormente el espécimen se protege de la pérdida de humedad en el cuarto de curado a una temperatura entre 21 y 25°C ó inmerso en el agua hasta el día de su ruptura. (Fig. 12)

- Enrase de las bases del espécimen, para su ruptura

Una vez hecho el espécimen, se prepara para su ruptura. Considerando que la cara superior del espécimen nunca queda plana, se empareja con azufre derretido, transmitiendo así la carga, en forma uniforme. A continuación se describe la forma de enrasar la cara de un cilindro de concreto.

1.- Equipo

- a) Placa maquinada provista de guías normales a la base con depresión circular en el centro, para alojar la base del espécimen.
- b) Cuchara de albañil
- c) Recipiente metálico para fundir azufre
- d) Parrilla eléctrica
- e) Cíncel y martillo
- f) Cepillo de alambre
- g) Aceite para auto y brocha
- h) Azufre en polvo
- i) Parrilla eléctrica
- j) Estopa
- k) Báscula

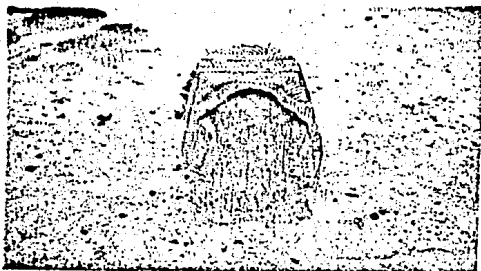


Fig. 11

Evitar que el lienzo toque la capa de concreto.

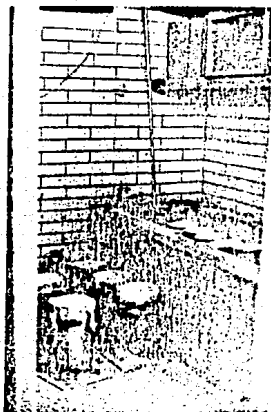


Fig. 12

Curado del cilindro



2.- Procedimiento de enrasado

- 1o. Se sacan los cilindros del cuarto de curado o de la pila con agua y se secan superficialmente. (Con un pedazo de estopa). Se pica con cincel y martillo la cara superior cuidando que no sea a más de 1.5 mm de profundidad, aproximadamente. - - (Fig. 13).
- 2o. Obtener un diámetro promedio -al menos con 3 mediciones espaciadas debidamente-. Medir su altura con una aproximación hasta el 0.01 cm y pesarlo. Proceder luego a cepillar fuertemente (para retirar las partículas sueltas), en cada cara del cilindro. (Fig. 14).
- 3o. Preparar la placa maquinada engrasando la depresión que tiene para asentar el cilindro (Fig. 15). Proceder a fundir el -- azufre. (Fig. 16).
- 4o. Se vierte el azufre fundido en la depresión, hasta aproximadamente 3/4 partes de su altura. (Fig. 17).
- 5o. Inmediatamente antes de que cristalice el azufre, se coloca el cilindro presionándolo contra la placa. Retirar el cilindro cuando el azufre se haya cristalizado. (Fig. 18).
- 6o. Retirar los excedentes de azufre de los bordes del cilindro. Cerciorarse de que no existan huecos, grumos o costras sobre la base enrasada. De ser así despegar la capa de azufre, volver a fundirla, e iniciar de nuevo el procedimiento hasta lograr el enrasado correcto. (Fig. 19)



Fig. 13

Se prepara la base para el enrasado con azufre.



Fig. 14

Cepillado de la  
base picada

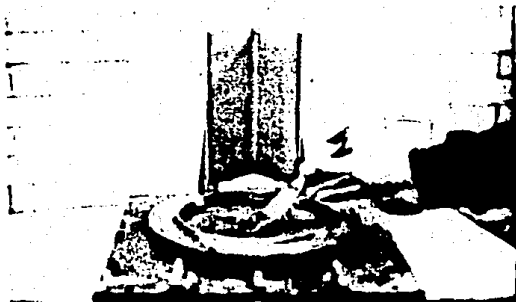


Fig. 15

Engrasado de la placa maquinada



Fig. 16

Fundición del  
azufre

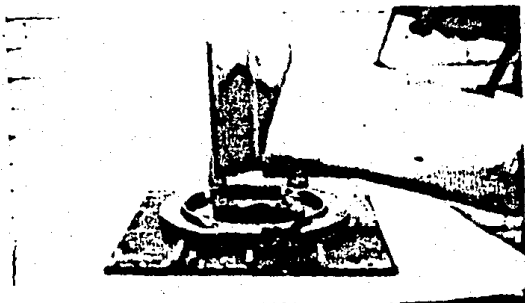


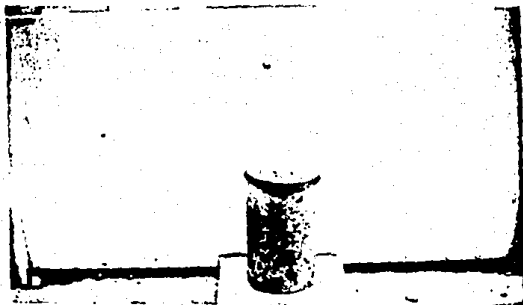
Fig. 17

El vertido debe ser rápido para evitar cris  
ta el azufre.



Fig. 18

Al cristalizar reti  
re el cilindro, gol-  
peando con un marti-  
llo la placa maquina  
da.



- Fig. 19

Revisado el cilindro, en cuanto a su correcto engrasado, se procede a someterla a la compresión.

D.- VELOCIDAD DE PRUEBA

Resultados de la prueba de compresión sobre el concreto, indican que la relación entre la resistencia y la velocidad de carga es aproximadamente logarítmica, ya que mientras más rápida es la velocidad, más alta es la resistencia indicada.

También el módulo de elasticidad parece aumentar con la velocidad de carga, aunque la mayoría de los observadores han atribuido este efecto a la reducción del creep<sup>1)</sup> durante la prueba.

A continuación se da una tabla con varias recomendaciones de la A.S.T.M. sobre la velocidad de prueba durante la compresión.

TABLA - VARIOS REQUERIMIENTOS DE LA ASTM SOBRE LA VELOCIDAD DE ENSAYE DE COMPRESION

Material probado	Referencia	Máxima velocidad del puente plg por min	Velocidad de carga, lb/plg <sup>2</sup> /seg	Tiempo para aplicar la segunda mitad de la carga, seg
Materiales metálicos . . . . .	E 9-33 T*	-		
De 1 a 3 plg de largo . . . . .		0.08		
De 3 plg o más . . . . .		0.10		
Concreto . . . . .	C 39	0.05	20-50	20-50†
Mortero . . . . .	C 109			
Madera . . . . .	D 143			
Paralelamente a la fibra . . . . .		0.024		
Perpendicular a la fibra . . . . .		0.012		
Ladrillo . . . . .	C 67	0.05		60-120
Loseta de barro . . . . .	C 112	0.05		
Plásticos . . . . .	D 695	0.05 hasta el punto de cedencia entonces 0.20 a 0.25		
	D 953	0.05		

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

† Tiempo de carga total si la carga última es menor de 3000 lb.

1) Creep.- Deformación de un material, al someterlo a una carga constante.

Como se ve, la velocidad es lenta para materiales metálicos - y maderas; no así para el concreto y los plásticos. Debido a que en este Manual se enuncia la prueba de compresión en un cilindro de -- concreto, al que se le medirá su deformación con un compresómetro - mecánico, se ha recomendado que la velocidad de prueba se haga más lenta a la establecida, es decir será de 250 kg/seg

### III. EQUIPO

- a) Máquina Universal Tinius Olsen de 60,000 kg de capacidad de -- carga.<sup>2)</sup>
- b) Compresómetro mecánico de 0.002 cm de aproximación.
- c) Indicador de cuadrante de 0.01 mm de aproximación.
- d) Soporte universal

<sup>2)</sup> NOTA: Como recordará, este Manual incluye sólo el equipo con -- que cuenta la E.N.E.P. Aragón.

## IV. MATERIAL

a) Tres cilindros de concreto de 30.48 cm de altura por 15.24 cm - de diámetro, enrasados. El primero de 7 días de edad; el segundo de 14 días de edad y el tercero de 28 días de edad. Cada uno se someterá a compresión a su respectiva edad mencionada. Cabe aclarar que en base a la capacidad de carga de la Máquina Universal, se determinó previamente elaborar un concreto con  $f'c \leq 300 \text{ kg/cm}^2$  como máximo, para una edad de 28 días.

## - Cálculo Teórico Previo.

1o. Calculamos el área del espécimen:.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ donde}$$

A = Área de la sección circular en  $\text{cm}^2$   
D = Diámetro del cilindro, en cm.

2o. En base a la proporción de la mezcla determinar en forma -- aproximada la carga de ruptura. Considerar el área calculada. La ecuación a utilizar es:

$$f'c = \frac{P}{A}, \text{ donde}$$

$f'c$  = Índice de resistencia a la compresión en  $\text{kg/cm}^2$

P = Carga aplicada, en kg

A = Área de la sección circular, en  $\text{cm}^2$

Despejando P, tenemos:

$$P = (A) f'c$$



## V. DESARROLLO

- 1o. Determinar nuevamente las dimensiones del cilindro: altura, -- diámetro y peso, anotando en la hoja de registro. (Fig. 21)
- 2o. Colocar el espécimen en la mesa de la máquina, centrándolo en los anillos de ésta.
- 3o. Una vez centrado colocar el compresómetro, cuidando que el indicador de deformación quede a la vista del observador para -- su posible lectura. También colocar el soporte universal a un lado del espécimen; situar a tope con el puente móvil, el pivote del indicador de cuadrante. (Fig. 22)
- 4o. Seleccionar el rango de carga. En este caso será de 60,000 -- kg. Anotar las constantes de lectura del compresómetro y del indicador de cuadrante, no olvidando ajustar en ceros. Iniciar la carga a la velocidad especificada y leer simultáneamente en máquina, compresómetro e indicador.
- 5o. Cuando el espécimen llegue a la ruptura, anotar las lecturas -- correspondientes a la carga, deformación y acortamiento. Retirar el compresómetro y hacer un dibujo de la falla. (Fig. 23)
- 6o. En base a los datos de la bitácora trazar el diagrama e-d, de cada cilindro.

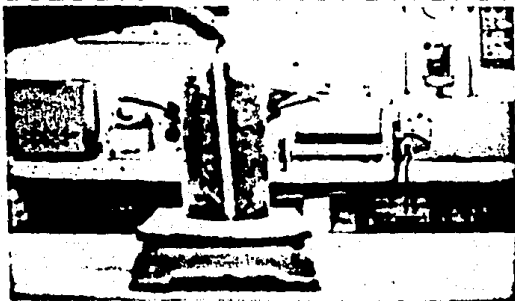


Fig. 21

Obtener las dimensiones del cilindro.

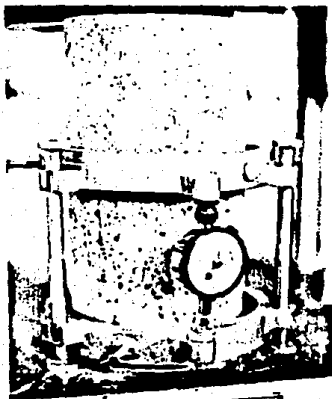


Fig. 2

Compresómetro mecánico.

Tinius & Olson



Fig. 23

Falla del Cilindro

## VI. OBSERVACIONES DE LA PRUEBA

La fractura de la probeta de acero es en forma diagonal; no así en los especímenes de concreto donde se distinguen 2 tipos de falla:

- a) Cónica, en el caso de muestras cilíndricas y,
- b) Piramidal o en forma de reloj de arena, en el caso de -- muestras cúbicas.

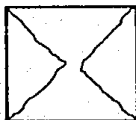
Estas fallas se ilustran en la fig. (VI.1) incisos (a) y (b), a diferencia de la prueba de tensión, durante la prueba de compresión no es fácil destruir cualquier material. La forma de la fractura de las muestras comprimidas depende de la magnitud de las -- fuerzas de fricción de contacto. Si son grandes se da una fractura por medio de corte (fig. VI.1) inciso (c). Por el contrario si son pequeñas la fractura se produce por separación longitudinal (fig. VI.1) inciso (d).

Como se aprecia en la fig. (VI.2), a medida que se produce -- la compresión, en las superficies laterales del espécimen surgen -- fuerzas de roce que son dirigidas por los radios, hacia su centro y que impiden la deformación en dirección horizontal.

Como lo demuestra la experiencia, cuanto menor es el coeficiente entre la altura de la muestra y su diámetro, mayor influencia produce el roce de contacto en los resultados de las pruebas.

Fig. VI.1

## Tipos de fracturas, por Compresión

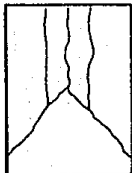


Cono en corte o reloj  
de arena.  
(mortero o piedra)  
(a)



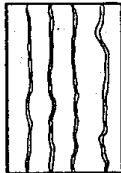
Plano en corte.  
(hierro fundido o concreto).

(c)



Cono en corte con  
agrietamiento  
(concreto)

(b)

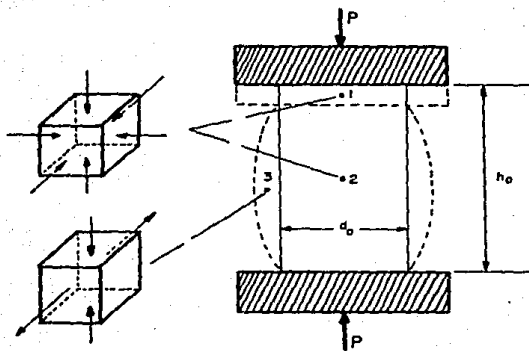


Separación longitudinal (concreto)

(d)

Fig. VI.2

Estado de esfuerzos durante la compresión



- Trazo de la gráfica e-d

En base a los datos de bitácora, trazar la gráfica e-d, de cada uno de los 3 cilindros.

En cada gráfica se calculará el límite de resistencia, gráficamente. Además del índice de resistencia, el acortamiento relativo y el módulo de elasticidad, por medio de ecuaciones. A continuación se describe la forma de obtener dichos valores:

a) Basándose en la ecuación,  $f'c = \frac{P}{A}$ , determinar el índice de resistencia a la compresión de los cilindros de prueba.

b) El acortamiento relativo se calculará con la siguiente ecuación:

$$e = \frac{h_o - h_f}{h_o} 100, \text{ donde: } e = \text{Acortamiento relativo del cilindro, en porcentaje}$$

$h_o$  = Altura inicial del cilindro, en cm.

$h_f$  = Altura final del cilindro, en cm.

c) Comparando con la gráfica (fig. VI:3) verificar que con la edad, la resistencia a la compresión aumenta.

d) Determinar el límite de resistencia en forma análoga a como se hizo en la práctica # 3 de este Manual.

e) Calcular el módulo de elasticidad del concreto con la siguiente ecuación:

$$E_c = 12,000 \sqrt{f'c}, \text{ donde: } E_c = \text{Módulo de elasticidad del concreto}$$

12,000 = Constante dada por el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M.

$f'c$  = Índice de resistencia a la compresión de los cilindros probados.

f) Anotar la lectura dada por el compresómetro.



# TESIS INGENIERIA CIVIL

"Manual de Prácticas para el Laboratorio de Mecánica de  
Materiales de Ingeniería Civil de la E.N.E.P. Aragón"

MARCO ANTONIO RAMIREZ MEJIA

ENEP



ARAGON

## BITACORA DE LA PRUEBA DE COMPRESION

A.- DATOS GENERALES                      FECHA: 25-SEP-87  
HOJA: 1/1

a.- ESPECIMEN No.: C-I

b.- FECHA DE COLADO: 18-SEP-87

c.- EDAD, EN DIAS: 7

d.- TIPO DE CONCRETO: NORMAL

e.- TAMAÑO DEL AGREGADO GRUESO (DIAMETRO), EN CM.: 1.80

f.- f'c PROYECTADO, EN KG/CM<sup>2</sup>: 200

g.- REVENIMIENTO, EN CM.: 9.5

h.- DIAMETRO DEL CILINDRO, EN CM: 15.22

i.- ALTURA DEL CILINDRO, EN CM.: 30.45

j.- PESO DEL CILINDRO, EN KG.: 10.700

k.- AREA DE LA SECCION CIRCULAR, EN CM2: 181.94

### B.- RESULTADOS

a.- CARGA DE RUPTURA, EN KG: 27,300

b.- f'c OBTENIDO, EN KG/CM<sup>2</sup>: 150.0

c.- LECTURA DE COMPRESOMETRO, CM.: 0.01

### C.- TIPO DE FALLA



FALLA EN CORTE

OBSERVACIONES: PARA OBTENER LA LECTURA DE LA DEFORMACION PARCIAL, MULTIPLICAR EL NUMERO DE LINEAS QUE LEA (EN LA CARATULA DEL INDICADOR DE CUADRANTE) POR 0.001 (FACTOR DE MULTIPLICACION).

CARGA P (en kg)	DEFORMACION PARCIAL (en cm)	ESFUERZO e (en kg/cm <sup>2</sup> )	DEFORMACION d (en cm/cm)
1000	0.002	5.5	0.00006
2000	0.005	11	0.00016
3000	0.009	16.4	0.0003
4000	0.012	22	0.0004
5000	0.016	27.4	0.0005
6000	0.021	32.9	0.0007
7000	0.025	38.4	0.0008
8000	0.030	43.9	0.0010
9000	0.035	49.4	0.0011
10000	0.039	54.9	0.0013
11000	0.045	60.4	0.0015
12000	0.054	65.9	0.0018
13000	0.061	71.4	0.0020
14000	0.070	76.9	0.0023
15000	0.076	82.4	0.0025
16000	0.082	87.9	0.0027
17000	0.086	93.4	0.0031
18000	0.106	98.9	0.0035
19000	0.116	104.4	0.0038
20000	0.127	109.9	0.0041
21000	0.145	115.4	0.0047
22000	0.16	120.9	0.0052
23000	0.175	126.4	0.0057
24000	0.192	131.9	0.0063
25000	0.215	137.4	0.0070
26000	0.240	142.9	0.0078
27000	0.275	148.4	0.0090
Pu=27300	0.300	150.0	0.00985

EN DONDE:  $e = \frac{P}{A}$     e = Esfuerzo Unitario  
A = Area de la sección circular.

Deformación Parcial = Está dada por el indicador de cuadrante que mide el acortamiento del cilindro.

Deformación d =  $\frac{\text{Deformación parcial}}{\text{Altura del espécimen}}$   
(unitaria)



DIAGRAMA e - d DE UN CILINDRO DE CONCRETO DE 7 DIAS DE EDAD, A COMPRESION

FIGURA A

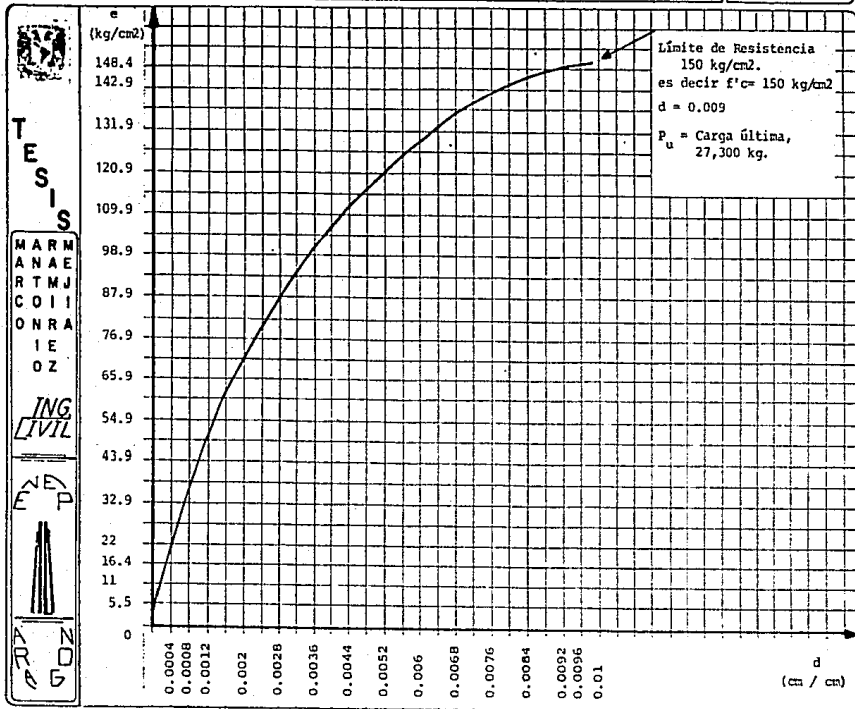




DIAGRAMA e - d, DE UN CILINDRO DE CONCRETO DE 14 DIAS DE EDAD, A COMPRESION

FIGURA B

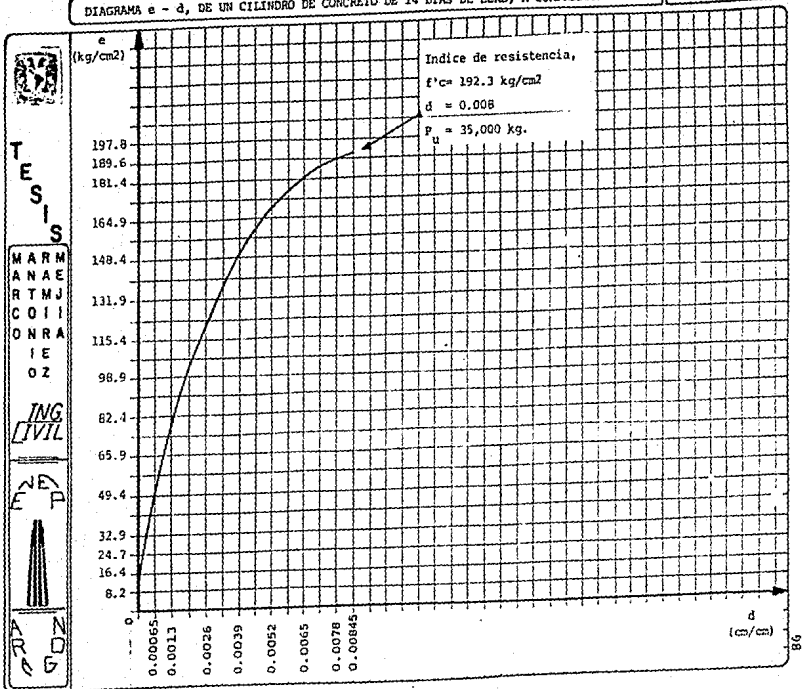
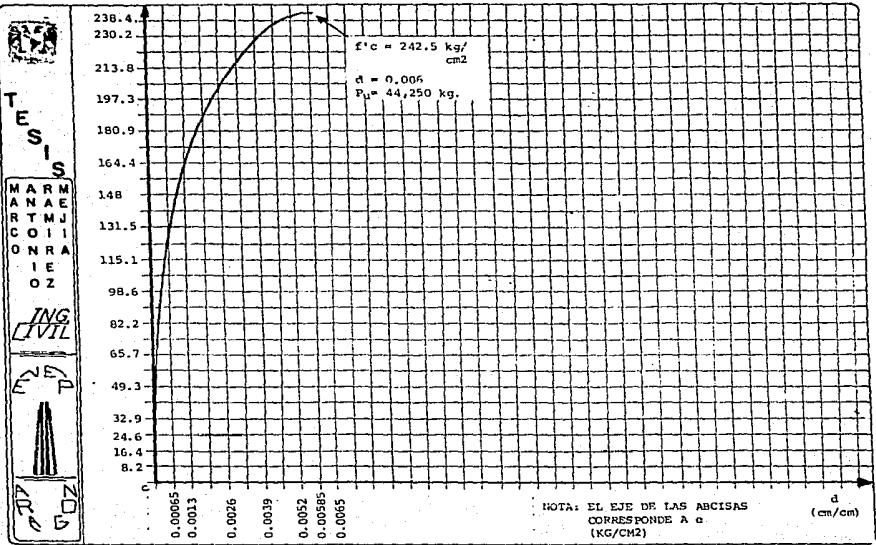




DIAGRAMA e - d, DE UN CILINDRO DE CONCRETO DE 28 DIAS DE EDAD, A COMPRESION

FIGURA C



TESIS

MAR  
ANA  
RTMJ  
COI  
ONRA  
IE  
OZ

ING  
CIVIL

UNEP



UNEP

## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

101

En la siguiente tabla se resumen las características mecánicas obtenidas de los 3 cilindros:

N° DE SERIE	EDAD (días)	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )		Acortamiento Relativo (%)	Límite de Resistencia -- (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Compresión -- (cm)	Deformación registrada con $1c^*$ (cm)
		Teórico	Real					
C-I	7	200	150	0.98	150	146,969.37	0.01	0.300
C-II	14	275	192.3	0.84	192.3	166,406.72	0.007	0.256
C-III	28	340	242.5	0.60	242.5	166,868.93	0.004	0.185

\*  $1c$  = Indicador de cuadrante (Vea la Tabla 12)

En base a las gráficas obtenidas de cada espécimen, se ve - que la resistencia máxima no corresponde a una deformación unitaria de entre 0.002 y 0.003.

En la tabla que resume los resultados se nota que los valores de  $f'c$  teóricos y reales distan entre sí. Las causas pueden ser:

- Falla en la relación agua-cemento.
- Proceso de fraguado (alterado por las condiciones ambientales).
- Proceso de curado.
- Posibles errores de marcaje de la Máquina Universal.
- Las condiciones en que se realizó la tabla VI.3.\*

De la tabla de resultados se tiene que:

- a) El acortamiento disminuye al aumentar la resistencia del espécimen.
- b) El módulo de elasticidad aumenta conforme se incrementa la resistencia y edad del cilindro.
- c) La deformación del espécimen disminuye al aumentar la resistencia a la compresión del concreto. Esto lo marcó el compresómetro mecánico.
- d) La deformación (en cuanto a la altura de la probeta) disminuye al aumentar  $f'c$ .

\* Contendida en el Instructivo para concreto de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

## VIII. CONCLUSIONES

Observando los resultados de la prueba de compresión en cilindros de concreto, se concluye que el índice de resistencia ( $f'c$ ) aumentó conforme aumentaba la edad del espécimen. Esto se debe al -- proceso continuo de hidratación del cemento, lo cual influye en el incremento de capacidad de carga del concreto; también influye el -- tipo de cemento usado. Si la velocidad de carga se eleva, la resistencia a la compresión aumenta. Por ello se recomiendan velocidades lentas, a fin de tener valores más estables y confiables.

El cabeceo --con diversas sustancias-- de las caras irregulares del cilindro, afecta la resistencia, es decir mientras más alta sea la resistencia a la compresión del material de remate o cabeceo, mayor será  $f'c$ . Si la relación agua-cemento aumenta, la resistencia disminuye.

Los diagramas  $e - d$  obtenidos confirman la hipótesis de que el concreto no es un material elástico, ya que la parte inicial de las curvas no es exactamente recto.

El índice de resistencia obtenido en cada cilindro, no debe -- tomarse como representativo de la resistencia del material bajo -- cualquier condición de carga. El índice dará idea de las cualidades que pueden esperarse del material, bajo la carga de compresión.



# PRUEBA DE FLEXION EN VIGAS DE CONCRETO REFORZADO

---

## I. OBJETIVO

Someter a flexión una viga de concreto armado, observando la falla que ocurre al llevar el espécimen hasta su ruptura, medir la flecha máxima y calcular el módulo de ruptura a partir de los datos de bitácora.

## II. INTRODUCCION

Se dice que un elemento está a flexión cuando las fuerzas que actúan sobre éste producen en una parte de su sección transversal, esfuerzos de compresión y sobre la otra parte, esfuerzos de tensión.

El ejemplo típico de la flexión lo observamos en las vigas. - Esa flexión la pueden provocar cargas transversales o momentos producidos por cargas excéntricas paralelas al eje longitudinal de la pieza.

La flexión puede ir acompañada del esfuerzo directo, el corte transversal o el corte por torsión. Cuando únicamente actúan esfuerzos flexionantes se dice que existe una condición de "flexión pura". Normalmente la flexión va acompañada por el corte transversal.

Cuando una viga se está flexionando, las fibras que están en compresión se acortan y las fibras que están en tensión se estiran.

Vea la figura (II.1).

La deflexión de una viga, es el desplazamiento de un punto sobre la superficie neutra de ésta de su posición original, y que ocurre bajo la acción de una fuerza.

La deflexión es una medida de la rigidez general de una viga dada. Por otra parte las mediciones de las deflexiones constituyen un medio para determinar el módulo de elasticidad del material en flexión. Es importante hacer notar que si hay esfuerzos cortantes transversales, el módulo de elasticidad en flexión tiende a ser inferior al correspondiente al esfuerzo axial, ya que las deformaciones por corte tienden a aumentar la deflexión.

En la prueba de flexión se emplean dos esquemas de carga de la muestra, dispuesta en apoyos fijos:

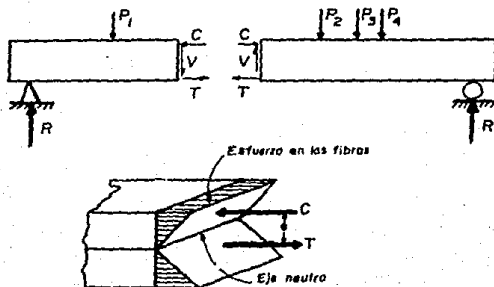
- 1.- La carga se aplica concentrada en el centro del claro de la viga, como lo muestra la figura (II.2), inciso (a).
- 2.- La carga se aplica en dos puntos que se encuentran a una misma distancia de los puntos de apoyo, como se ve en la figura (II.2), inciso (b).

En esta prueba aplicaremos el primer esquema de carga en 2 tipos de vigas: una de concreto simplemente armado y otra doblemente armada, también de concreto (con una edad de 14 días).

Las figuras (II.3) y (II.4), muestran el arreglo general para el caso de la viga con carga concentrada a la mitad del claro y para el caso de la viga con carga a un tercio de cada apoyo. Observe los dispositivos de carga y soportes en vigas de madera en la figu-

Fig. II.1

## Esfuerzos en una viga a flexión



donde:

 $P =$  Carga $C =$  Compresión $V =$  Cortante $T =$  Tensión $R =$  Reacción $e =$  Distancia

## Fig. II.2

## Esquemas de carga en la flexión

donde.

$L$  = Longitud de la viga       $M$  = Momento

$a$  = A la distancia entre el apoyo y el punto de aplicación de la carga.

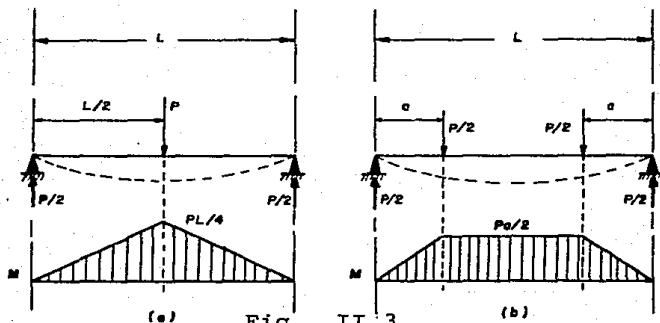
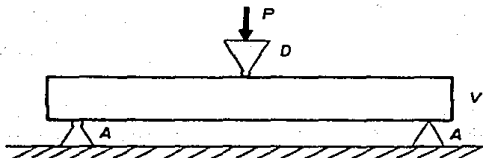


Fig. II.3  
Carga al centro



donde :

$P$  = Carga

$D$  = Dispositivo triangular de carga

$A$  = Apoyo

$V$  = Viga

ra (II.5)

A.- PROBETAS PARA FLEXION

a) Probetas estandarizadas

Para producir la falla por flexión, el espécimen no debe ser demasiado corto con respecto a su peralte. Así, se recomienda una viga rectangular de concreto con agregado grueso hasta 6.35 cm. -- (2 1/2") de diámetro máximo, de 10.16 cm (4") de ancho x 15.24 cm -- (6") de altura como mínimo, y de 20.32 cm x 20.32 cm como máximo. El claro de la viga es de 3 veces su altura.

En esta prueba se utilizan dos vigas de 10.16 cm de ancho x 15.24 cm de altura y un claro de 45.7 cm. La viga simplemente armada llevará 2 varillas de 0.79 cm (5/16") de diámetro y una longitud de 42 cm, fig. (A.1). La viga doblemente armada tendrá 4 varillas de 0.79 cm (5/16") de diámetro, con 3 estribos de 0.64 cm -- (1/4") de diámetro, separados a cada 12 cm. Vea la figura (A.2).

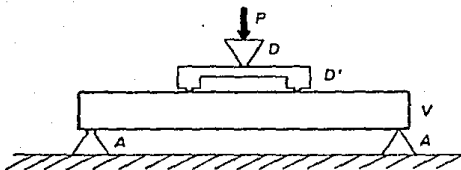
B.- MÁQUINA DE PRUEBA

Se utilizará la máquina Universal, y los siguientes accesorios: En vez del plato de carga, se ajustará un dispositivo triangular simulando una carga concentrada al centro del claro de la viga; los 2 soportes o apoyos serán de tipo articulado, colocados sobre un carril.

Finalmente se medirá la deflexión con un deflectómetro mecánico; este instrumento está provisto con 2 rangos de medición: 12.5 mm y 75 mm. Se empleará este último rango para medir las deflexiones -

Fig. II.4

Carga a 2 tercios del claro en la viga



donde:

P = Carga                      D = Dispositivo triangular de carga

D' = Dispositivo auxiliar de carga a los dos tercios  
de la viga

V = Viga                      A = Apoyo

D'' = Dispositivo semicircular de carga

S = Soporte auxiliar

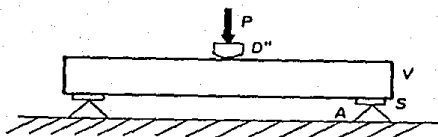
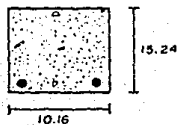


Fig. II.5

Carga al centro de una viga de madera

Fig. A.1

Viga simplemente armada



● 2 varillas del No. 2.5

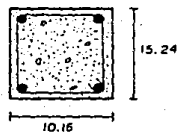
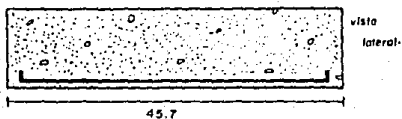
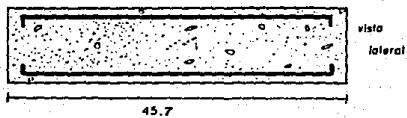
● 2 varillas del No. 2.5  
estribos del No. 2

Fig. A.2

Viga doblemente armada

en ambas vigas, recordando que al inicio de la prueba, el indicador de cuadrante estará ajustado en cero.

C.- RECOMENDACIONES ANTES DE LA PRUEBA

a.- Preparación del equipo

El carril debe estar engrasado, para mejorar el asentamiento de los apoyos en este. Atornillar fuerte para evitar cualquier posible desplazamiento. El dispositivo triangular de carga debe estar bien atornillado al puente móvil de la máquina y ser perpendicular a la superficie de apoyo en la viga.

En cuanto al deflectómetro, cuando se haga una medición en un rango de 12.5 mm, deberán ser retiradas las pijas superior e inferior próximas al indicador de carátula. Cada línea de éste será -- igual a 0.005 mm, es decir una vuelta completa vale 0.5 mm. Si por el contrario se mide en un rango de medición de 75 mm, retirar las pijas superior e inferior distantes del indicador caratular, dejando así el brazo o palanca de medición apoyado en las dos restantes pijas. Ahora cada línea tendrá un valor de 0.05 mm, por lo que una revolución completa equivaldrá a 5 mm. En ningún caso se sacan todas las pijas, pues el dispositivo de palanca será afectado.

b.- Preparación del Especimen

Se utilizan dos vigas de concreto de 10.16 x 15.24 x 45.7 cm, con un armado simple la primera y con un armado doble la segunda. - Su elaboración es descrita a continuación.



- Manufactura de una viga de concreto

1.- Equipo

- a) Molde o en este caso, cajón hecho de cimbra aparenta -triplay-, bien reforzado. El molde será de 10.16 x 15.24 x 45.7 cm, medidos a paños interiores.
- b) Cuchara de albañil
- c) Varilla de 1.59 cm  $\phi$ , con un extremo redondeado, y 50 cm de longitud.
- d) Cucharón
- e) Regla metálica para enrasar
- f) Charola grande
- g) Aceite para motor
- h) Estopa

(Fig. 1).

2.- Materiales

- a) Grava bien graduada, de 1.90 cm de diámetro, como máximo tamaño
- b) Arena cernida, de tamaño máximo de 1.19 mm
- c) Cemento gris normal
- d) Acero de refuerzo grado estructural 42; 2 varillas de 0.79 cm de diámetro y 4 varillas de 0.79 cm de diámetro. Las 6 varillas serán de 42 cm de longitud
- e) Alambrón de 0.64 cm de diámetro.

3.- Procedimiento

- 1o. Revisar que el cajón no tenga residuos de concreto, astillas u otros objetos pues afectan el acabado de la viga. El molde o cajón debe estar sellado para evitar pérdidas de agua o mortero.

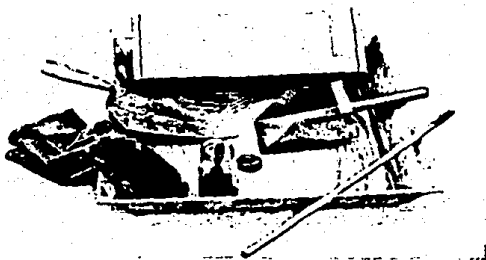


Fig. 1

Equipo para la manufactura de una viga de --  
concreto.

De lo contrario se pueden sellar las juntas, con mastique, grasa para chasis o plastilina. Se procede a aceitar toda la superficie interna, sin dejar grumos o residuos de estopa. Colocar el acero de refuerzo. (Fig. 2 y Fig. 3).

- 2o. Elaborar la mezcla cuidando la relación agua cemento. Luego -- vertir en la charola y uniformizar con el cucharón. (Fig. 4)
- 3o. Dependiendo del peralte del molde, llenarlo en 2 capas (para un peralte de 15 a 20 cm) o en 3 capas (peralte mayor a 20 cm). Al formar cada capa, procurar depositar el concreto en forma uniforme a lo largo de todo el molde, evitando la segregación del agregado grueso llenando las esquinas y aristas con la ayuda de una cuchara de albañil. (Fig. 5)
- 4o. Utilizar la varilla de  $5/8"$   $\phi$  para compactar y redistribuir el concreto, de la siguiente forma:  
La primera capa se compacta aplicando una penetración de la varilla por cada  $10\text{ cm}^2$  de superficie del molde, es decir, en --- nuestra viga de  $10.17 \times 45.7\text{ cm}$  ( $4 \times 18$  pulgadas) deben hacerse por lo menos 46 penetraciones distribuidas uniformemente en toda la superficie, atravesando completamente la capa, teniendo cuidado de no mover el acero. (Fig. 6)
- 5o. Antes de colocar la siguiente capa cerciorarse que no existan - vacíos u oquedades en la superficie del concreto, sobretodo en las orillas y esquinas; de lo contrario, golpee suavemente con la varilla, en los costados del molde. (Fig. 7)
- 6o. Introducir la cuchara de albañil entre las paredes del molde y el concreto, hasta tocar el fondo. Recorrerla a lo largo de las

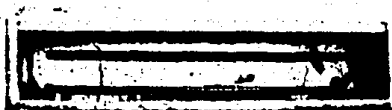


Fig. 2

Colocación del acero de refuerzo

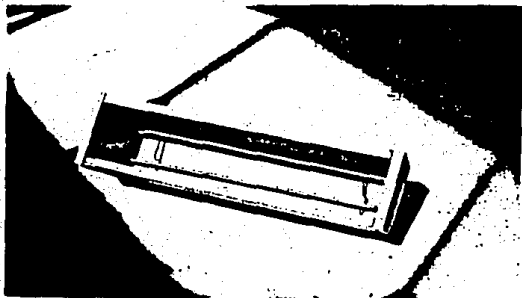


Fig. 3

Se debe engrasar el molde de la viga.

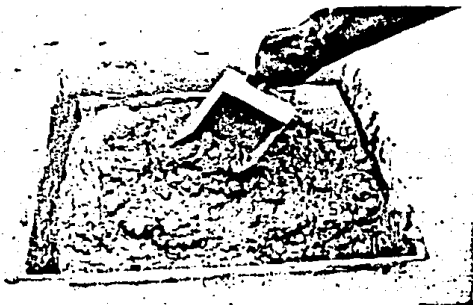


Fig. 4

Elaboración de la mezcla

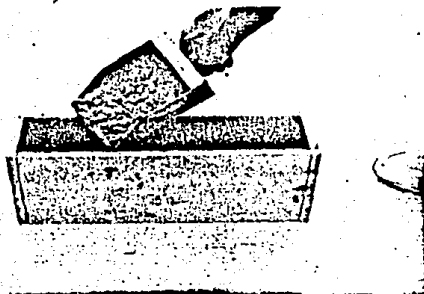


Fig. 5

Al vertir la mezcla, hacerlo con precaución -  
para no mover mucho el acero

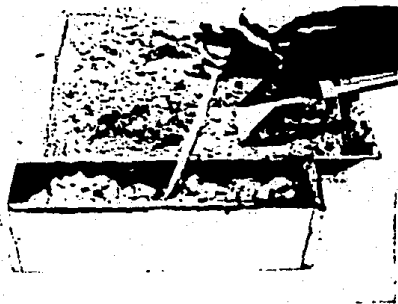


Fig. 6

Picado del concreto, con la varilla.

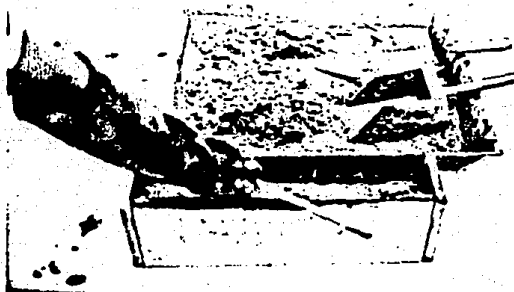


Fig. 7

Evitar los vacíos en el concreto

- paredes laterales, evitando así, las burbujas de aire. Nuevamente golpear en forma ligera. (Fig. 8)
- 7o. Llenar en una segunda capa, sobrepasando el peralte de la viga, en forma uniforme. (Fig. 9).
- 8o. Compactar con igual número de penetraciones como en la 1er. capa pero cuidando de no atravesar ésta, más allá de 1 cm aproximadamente. (Fig. 10)
- 9o. Hecho lo anterior se procede a enrasar con la cuchara con movimiento de vaivén, sobre los bordes superiores del molde, el menor número de veces posible, para obtener una superficie plana y uniforme. Cuidar que no existan depresiones o promontorios - de más de 2 mm.
- De lo contrario afinar con la cuchara y pasar la regla nuevamente. (Fig. 11)
- 10o. Cubrir el molde con una jerga húmeda o plástico y dejar reposar durante 48 horas. (Fig. 12 )
- 11o. Descimbrar el espécimen cuidando de no romper los bordes o aristas de la viga. Con un plumín marcar el número de serie y la fecha de colado. (Fig. 13 ).
- 12o. Almacenar el espécimen en el cuarto de curado a una temperatura entre 21 y 25°C, y una humedad relativa de 95 al 100% hasta su ruptura. Si no se cuenta con cuarto de curado, sumergir el espécimen en una pileta con agua. (Fig. 14 ).

#### D.- VELOCIDAD DE PRUEBA

Aplicar la carga en forma continua a una velocidad de aproximadamente 250 kg por minuto.

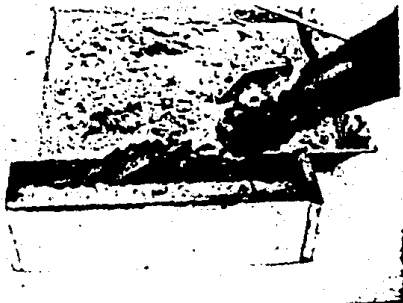


Fig. 8

El recorrido con la cuchara se hace sin profundizarla mucho.

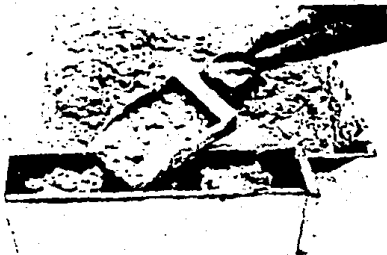


Fig. 9

Llenar en una segunda capa rebasando el peralte del molde.



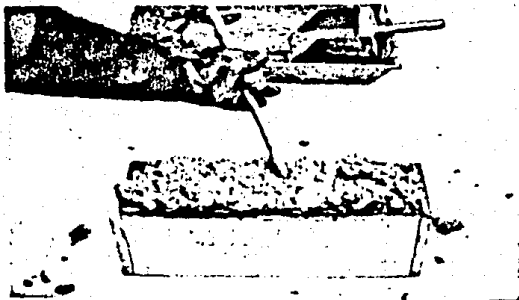


Fig. 10

Picado de la 2a. capa de concreto



Fig. 11

Enrasado y afinado con la cuchara.

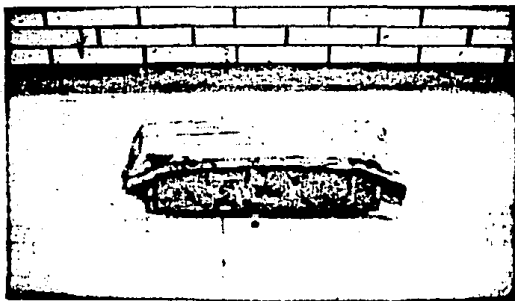


Fig. 12

Cubrir el molde con un lienzo húmedo (mantenerlo húmedo hasta el fraguado del espécimen).

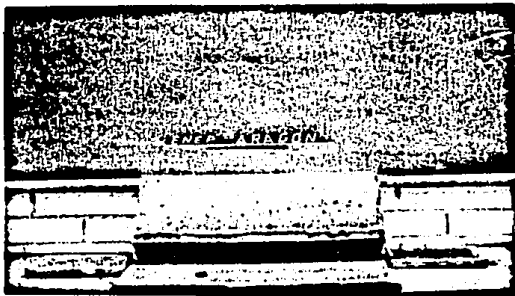


Fig. 13

Descimbrado y marcaje del espécimen.

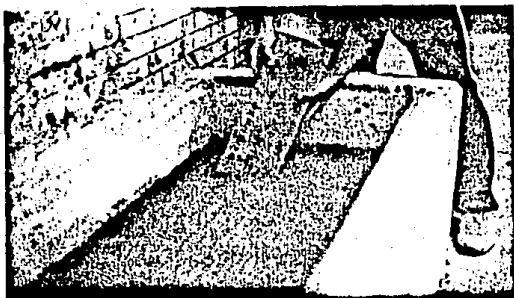


Fig. 14

Curado del espécimen, sumergiéndolo en una --  
pileta.

## III. EQUIPO

- a) Máquina universal
- b) Deflectómetro para flexión
- c) Regla
- d) Flexómetro
- e) Carril y apoyos articulados
- f) Báscula

(Fig. 15 )

## IV. MATERIAL

Viga de concreto armado de 10.16 x 15.24 x 45.7 cm (armado simple y doble).

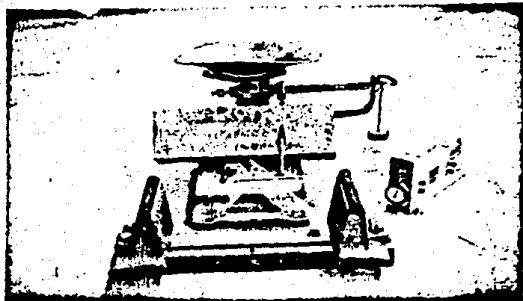


Fig. 15

Equipo para realizar la prueba de flexión.

## V. DESARROLLO

- 1o. Determinar todos los datos relacionados a la elaboración de la viga. Pesar la viga y medir su longitud, su ancho -a la mitad del claro- el peralte total y el peralte efectivo. (Fig. 16 ).
- 2o. Utilizando escuadra y lápiz de color, marcar el centro del claro, los puntos de apoyo, el eje neutro y en la cara inferior -en el centroide de la viga- el punto de contacto con el deflector. (Fig. 17)
- 3o. Colocar el carril sobre la base de la máquina universal, con -- los respectivo apoyos. (Fig. 18 ).
- 4o. Cada apoyo deberá estar fuertemente atornillado al carril. (Fig. 19).
- 5o. Colocar la viga sobre los apoyos; entre el eje del apoyo y el paño exterior del espécimen deberá existir una distancia de 6 cm. Asimismo centre la viga -en el sentido transversal respecto del carril- en cada apoyo. (Fig. 20)
- 6o. Una vez ubicada la viga, colocar el deflector. La punta -- del brazo de éste, deberá tocar el punto -centroide del espécimen- previamente marcado en la cara inferior. Posteriormente - atornillar debajo del puente móvil, el dispositivo triangular de carga. (Fig. 21).
- 7o. El eje del dispositivo de carga coincidirá con el eje -línea -- central- del espécimen. La línea auxiliar que se encuentra en el lado derecho (vea la figura) corresponde a un plano paralelo a la carga. (Fig. 22)

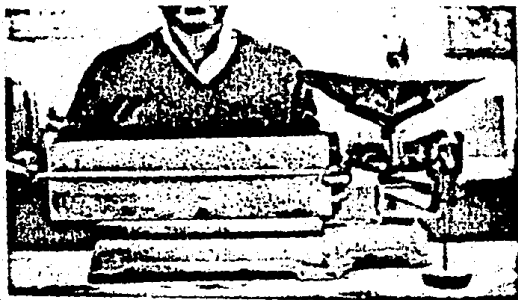


Fig. 16

Anotar las dimensiones en la bitácora

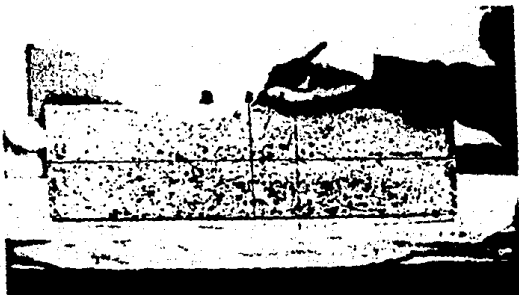


Fig. 17

Marque también una línea auxiliar, paralela a la línea central. (Línea punteada).



Fig. 18

El carril se coloca diagonalmente pues sobrepasa el ancho de la base de la máquina

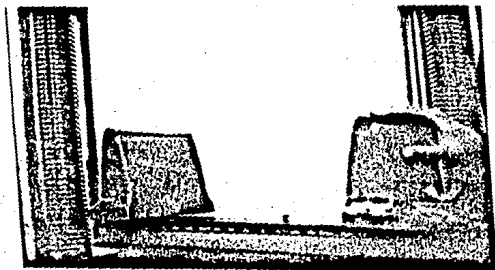


Fig. 19

Apoyos atornillados al carril

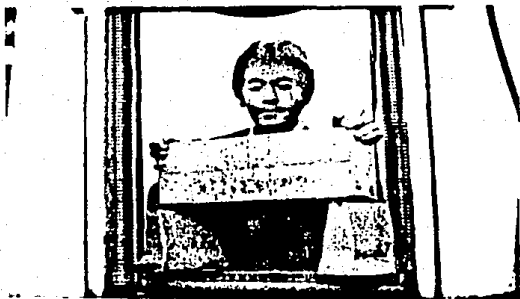


Fig. 20

Colocar la viga centrándola exactamente.

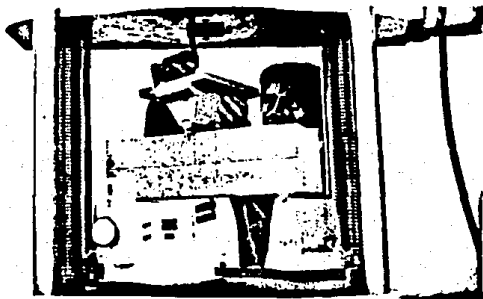


Fig. 21

Dispositivo de carga y deflectómetro



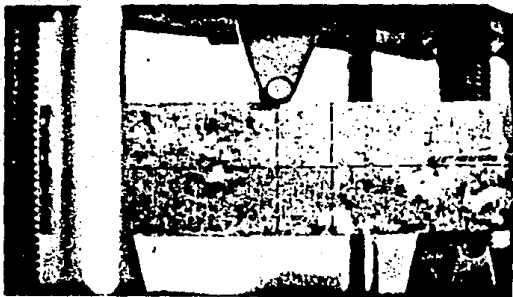


Fig. 22

Los ejes del dispositivo de carga y el espécimen deben coincidir.

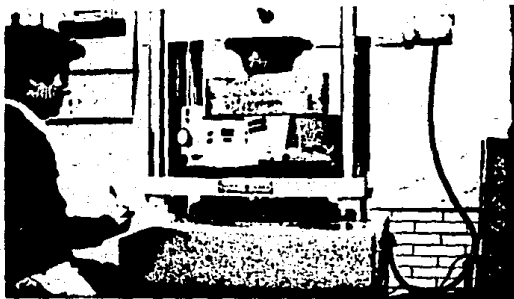


Fig. 23

No olvidarse de ajustar en ceros el deflectómetro y la máquina universal

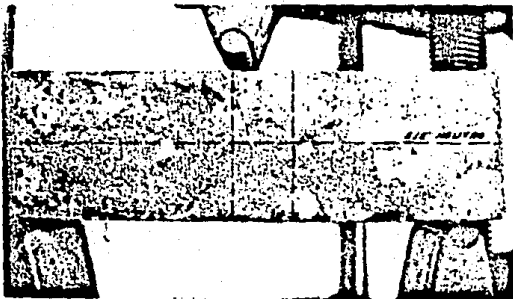


Fig. 24

Al ocurrir el primer agrietamiento observa las líneas paralelas y anote algún cambio notable de su posición

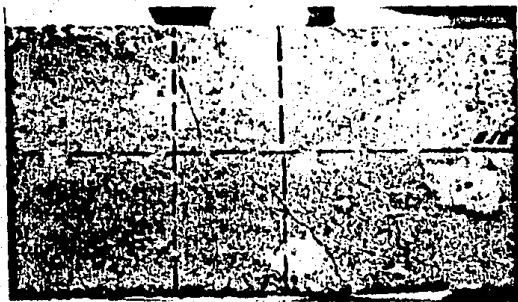


Fig. 25

Dibujar la falla de la viga en la bitácora.

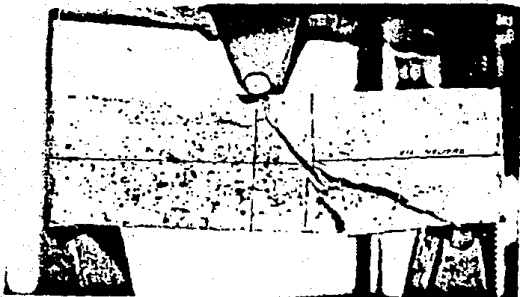


Fig. 26

Volver a cargar el espécimen para llevarlo a una  
fractura total

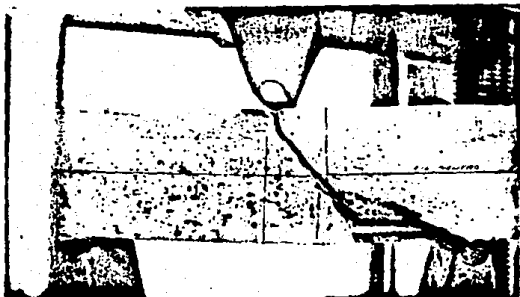


Fig. 27

Anotar algún cambio en el acero de refuerzo

## VI. OBSERVACIONES DE LA PRUEBA

Se analizan ahora los distintos tipos de falla en especímenes de acero, de concreto simple y de concreto armado.

### 1.- En vigas de acero dúctil

#### a) Falla por cedencia de las fibras extremas

Cuando las fibras extremas alcanzan el punto de cedencia, la deflexión de la viga aumenta más rápidamente con respecto a un incremento de carga. Si la viga es de sección gruesa y fuerte de tal forma que no puede torcerse, la falla se verifica con un pandeo gradual hasta el colapso.

#### b) Falla por pandeo

En una viga de claro largo, las fibras que están en compresión, actúan de manera similar a las de una columna, pudiendo ser la falla por pandeo. El colapso se debe a que la estabilidad lateral de la viga está disminuida, porque sus fibras extremas son esforzadas hasta el punto de cedencia.

#### c) Falla en el alma

Las viguetas I -miembro de alma delgada- pueden fallar debido a esfuerzos cortantes excesivos en el alma o por pandeo de ésta, debido a esfuerzos compresivos diagonales.

### 2.- En vigas de concreto simple

En el concreto simple -material quebradizo- ocurre la falla -- por ruptura súbita. Esta falla inicia en las fibras tensivas ya que como es sabido, el concreto tiene poca resistencia a la tensión.

### 3.- En vigas de concreto armado

- a) Cuando el acero falla debido a los esfuerzos sobre el punto de cedencia, aparecen grietas verticales sobre el lado tensado de la viga.
- b) Cuando el concreto falla por compresión, en las fibras en compresión más alejadas.
- c) Cuando el concreto falla por la tensión diagonal, debida a esfuerzos cortantes excesivos y que dá como resultado grietas que descienden diagonalmente hacia los apoyos, tornándose horizontales justamente arriba del armado principal.

### 4.- En vigas de madera

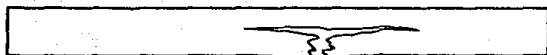
Las diversas fallas que ocurren en vigas de madera están esquizmatizadas en la fig. (VI.1).

#### - Bitácora de la prueba

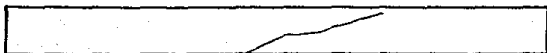
Analizaremos las 2 bitácoras obtenidas de las 2 vigas, en cuanto a la carga de ruptura y la deflexión que tuvieron ambos especímenes.

Fig. VI.1

## Tipos de fallas en vigas de madera



Tensión simple (v.l.)



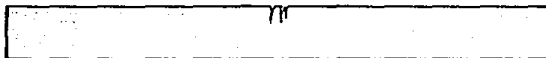
Tensión pura (c.t.)



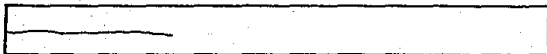
Corte transversal a la fibra (v.l.)



Compresión (v.l.)



Tensión astillante (c.t.)



Corte horizontal (v.l.)

donde:

v.l. = vista lateral

c.t. = cara en tensión







## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

### a. Falla

La viga simplemente armada presentó una menor deflexión que la viga doblemente armada. Estudiando la bitácora de la primera viga se observa que a partir de los 3,250 kg. de carga, la deflexión aumentó considerablemente sin aplicar mayor carga. Esto es debido a que el concreto no soporta los esfuerzos de tensión, los cuales son tomados por el acero de refuerzo. Para la 2a. viga, - esta situación se presentó a los 3,500 kg. de carga.

Hasta antes de los valores de carga mencionados, el espécimen se comporta elásticamente. Toda la sección contribuye a resistir el momento exterior.

A medida que se incrementa la carga aparecen las primeras - grietas en la zona de la pieza sujeta a tensión. Ambas vigas se agrietaron de la siguiente forma:

Las grietas iniciales -inclinadas- unieron uno de los apoyos de la viga con el punto de aplicación de la carga. El concreto falló a compresión simultáneamente con el deslizamiento por -- cortante de la zona no cargada de la viga. Luego entonces la falla es de compresión por cortante.

Dos observaciones importantes: El espécimen está ligeramente sobrerreforzado; esto se comprobó al ocurrir el aplastamiento del concreto en una zona alrededor del punto de aplicación de la carga.

La otra observación es que el agrietamiento se redujo por la colocación de estribos.

## b - Flecha

La flecha aumentó en la viga doblemente reforzada.

## c - Módulo de Ruptura

Se calcula con la siguiente expresión:

$$f_r = \frac{Mc}{I}, \text{ donde } fr = \text{Módulo de ruptura, en kg/cm}^2$$

M = Momento flexionante correspondiente a la carga máxima aplicada, en kg-cm.

c = Medio peralte, en cm.

I = Momento de inercia de la sección transversal del espécimen, en  $\text{cm}^4$ .

$$I = \frac{bh^3}{12}, \text{ donde } b = \text{base de la viga, en cm.}$$

h = altura o peralte de la viga, - en cm.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de ambos especímenes:

## ANALISIS DE RESULTADOS

139

Specimen	Edad en días	Concreto f'c. (kg/cm <sup>2</sup> )	Carga de Ruptura (kg)	Deflexión (mm)	Momento máximo (kg-cm)	Módulo de ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
- Simplemente armada	14	200	5,250	0.9	44,257.5	112.82
- Doblemente armada	14	200	7,050	1.55	59,431.5	151.51

## VIII. CONCLUSIONES

La viga simplemente armada mostró una menor flexión al mismo tipo de carga que se aplicó a la viga doblemente armada. Ello se comprueba en la deflexión o flecha. La viga doblemente armada presentó una mayor deflexión central.

La deflexión es una medida de la rigidez general de una viga dada y está en función del material y proporciones de la pieza.

Respecto a las secciones planas marcadas en la viga ensayada, se observó que una sección plana se conserva plana aún después de la flexión del espécimen es decir un plano que pase a través de una sección transversal antes de la flexión, no se alabeará después de cargar a la viga.

El acero empleado en la zona a compresión (lecho superior en la viga doblemente reforzada) aumentó la resistencia del espécimen, reduciendo las deformaciones debidas a la carga concéntrica, además de proporcionar confinamiento lateral al concreto.

# PRUEBA DE CORTE EN PROBETAS METALICAS

---

## I. OBJETIVO

Determinar la resistencia al corte de distintos especímenes metálicos.

## II. INTRODUCCION

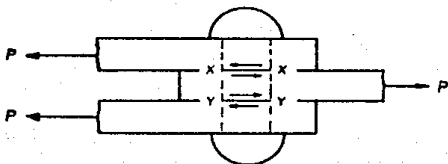
Un esfuerzo de corte es aquel que actúa paralelamente a un plano, distinguiéndose de los esfuerzos de tensión o compresión, porque éstos actúan perpendicularmente. Así por ejemplo, los esfuerzos cortantes verticales se relacionan con los esfuerzos cortantes horizontales en las vigas, hecho que es importante para el diseño de éstas.

Veamos los tipos de cargas que producen el esfuerzo de corte:

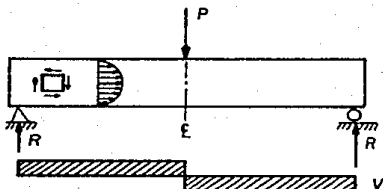
a) Fuerzas paralelas pero opuestas que actúan a través de los centroides de secciones que están separadas entre sí por una distancia infinitesimal. Así, los esfuerzos de corte producidos son iguales, existiendo entonces un estado de corte directo puro. En la práctica es difícil obtenerlo, sin embargo el caso que más se acerca es el de un remache sometido al esfuerzo de corte, tal y como se muestra en la fig. (II.1) inciso (a).

Fig. II.1

Tipos de cargas que producen -  
esfuerzo de corte.



(a) Corte doble en un remache.

(b) Corte en una viga homogénea de  
sección rectangular.

donde:

$P =$  Carga

$R =$  Reacción

$V =$  Cortante

$E =$  Línea central



(c)

b) Fuerzas opuestas paralelas que actúan normalmente al eje longitudinal del cuerpo pero separados a distancias finitas entre sí. Luego entonces además de los esfuerzos cortantes verticales y horizontales producidos, se observan esfuerzos de flexión. Aquí -- los esfuerzos cortantes sobre cualquier sección transversal varían desde cero en las fibras extremas, hasta un máximo en el eje neutro Fig. (II.1) inciso (b).

Como se dijo una viga sufre además del esfuerzo cortante vertical, un esfuerzo horizontal. Un ejemplo de ello se muestra en la viga de la fig. (II.2) inciso (a) compuesta de placas delgadas colocadas una sobre otra, pero sin estar unidas.

Al aplicarse una carga vertical y ocurrir la deformación, las placas tienden a deslizarse unas sobre otras, fig. (II.2) inciso (b).

Si las placas estuvieran unidas por medio de pernos, por ejemplo, se impediría su movimiento (fig. II.2.c) y por ende dichos pernos "sufrirán" la fuerza horizontal.

Aunque en realidad en una viga compuesta en un solo elemento dichos deslizamientos no ocurren (excepto en el caso de falla por esfuerzo cortante horizontal) pues la resistencia de la viga al esfuerzo cortante horizontal impide dicho deslizamiento, sí es importante recordar que una viga que recibe una carga perpendicular tiene esfuerzos por corte. (fig. II.2.d). La condición de corte puro se ilustra en la fig. (II.3.a).

Representa un cubo, en el cual, los esfuerzos están uniformemente distribuidos. La deformación que acompaña al corte proviene

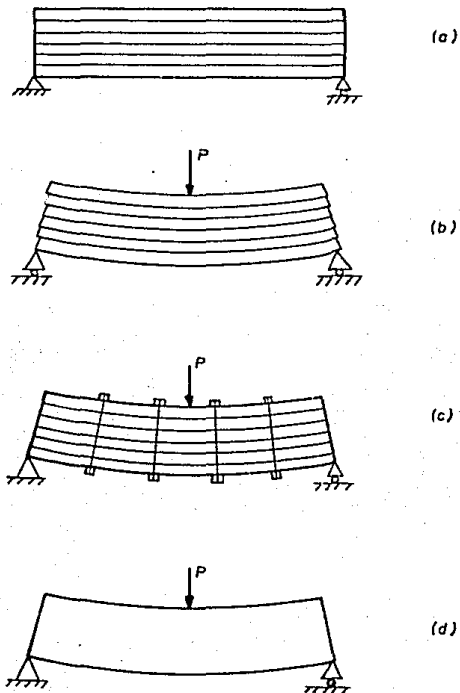
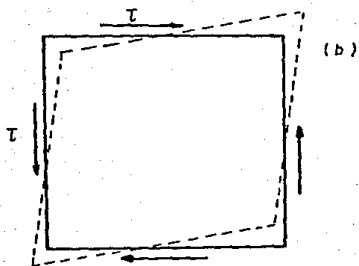
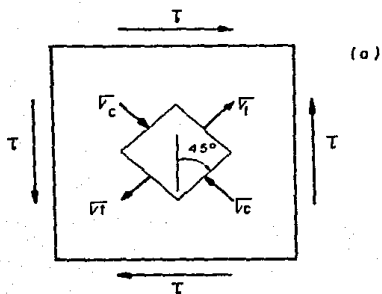


Fig. II.2

Viga compuesta de placas donde puede -  
observarse el esfuerzo cortante vertical  
y el esfuerzo horizontal.



Fig. II.3  
Condición de Corte Puro



donde:

- $\tau$  = esfuerzo de corte
- $\sigma_c$  = esfuerzo de compresión
- $\sigma_t$  = esfuerzo de tensión

de ese deslizamiento, fenómeno conocido como detrusión y es una función del cambio del ángulo entre los lados adyacentes de un bloque elemental al distorsionarse bajo esfuerzos cortantes como se ilustra en la fig. (II.3.b).

c) Fuerzas opuestas paralelas que no actúan en un plano que contenga el eje longitudinal del cuerpo; aquí se establece un par que produce una torsión. Caso estudiado en este Manual más adelante, en la prueba de Torsión (Fig. II.1.c).

En la prueba de corte directo también conocida como prueba de corte transversal deberá sujetarse o apoyarse la probeta de tal forma que los esfuerzos flexionantes se minimicen a través del plano a lo largo del cual la carga cortante se aplique.

Cabe señalar que la prueba tiene la limitante de no determinar la resistencia elástica o del módulo de rigidez debido a la imposibilidad de medir las deformaciones; por lo tanto en esta prueba, el único valor que puede observarse es la carga máxima  $P$ . Si  $A$  es el área sometida a la fuerza, entonces la resistencia promedio al corte es tomada simplemente como  $P/A$ .

#### A.- PROBETAS DE CORTE

##### 1.- Probetas estandarizadas

La muestra, sea del metal que se pruebe, deberá estar exenta de curvaturas, fisuras, oxidaciones o acabados especiales como el cromado. Se recomienda usar una barra de sección circular de aproximadamente 1.27 cm de diámetro (1/2") y 45 cm (18" aprox.) de lon-

gitud como máximo. Como mínimo la longitud será de 32 cm.

Puede usarse acero dúctil o hierro forjado, aunque la capacidad de la herramienta de corte -acero templado para herramienta- -- permite la utilización de otros metales, tales como el bronce, aluminio o cobre.

## 2.- Probetas no estandarizadas

Procurando sea de sección circular, la probeta deberá estar libre de desperfectos. Usualmente se utiliza acero de refuerzo de 1.27 cm (1/2") de diámetro para hacer corte sencillo o doble.

Para nuestra prueba utilizaremos una varilla de acero de refuerzo de  $f'y=4\ 200\text{ kg/cm}^2$ , 0.95 cm (3/8") de diámetro y 45 cm. de longitud total. Pueden probarse también varillas de 1.27 cm., -- 1.58 cm. y/ó 1.90 cm de diámetro (1/2", 5/8", 3/4" respectivamente).

## B.- HERRAMIENTA DE PRUEBA

La herramienta que se usa para la prueba de corte, es la del tipo "Johnson".

Debido a que esta herramienta no existe en el Laboratorio de Mecánica de Materiales de la E.N.E.P. Aragón, decidí fabricar una herramienta similar a la requerida para esta prueba diseñada en colaboración con mi padre, el Sr. Raúl Ramírez Yápez, a la que se denominó "Herramienta de corte Yápez".

Se describe a continuación cada una de sus componentes:

- Componentes

De la fig. (II.4) de la Herramienta de corte Yépez, se tiene:

- (1) Placa Base.- Es una placa de 11.8 x 29.7 cm., hecha de acero.- Debido a que es el soporte de toda la herramienta, tiene un espesor mayor al de los demás componentes, con un valor de 2.2 cm.
- (2) Plataforma.- Es una placa de 10.2 x 25 x 1.1 cm. también de -- acero. Tiene 4 pasos para los tornillos (junto con 2 placas pequeñas o sujetadores) para inmovilizar el espécimen. Además -- otros 2 pasos para los tornillos que fijan el portacuchilla -- (contenida en la cuchilla inferior) a uno de los marcos de soporte.
- (2') Marcos de soporte.- Son 2 placas de 10.7 cm. de ancho x 6.2 cm. de altura x 2.4 cm. de espesor hechas en acero. Todo en conjunto forma la plataforma, sobre la cual se fija la probeta.
- (3) Portacuchilla.- Hecho con un acero más duro que las placas descritas anteriormente, contiene a la cuchilla inferior. Sus dimensiones son de 10.7 cm. de ancho x 6 cm. de altura x 2.5 cm. de espesor.
- (4) Cartabón inferior. Son 2 piezas de acero de 19.2 cm. de altura, 5.2 cm. en su base inferior, 2.1 cm. en su base superior y 1.3 cm. de espesor. Sostiene la pieza que contiene (y por la cual baja) la cuchilla superior.
- (5) Cuchilla inferior.- Elaborada en acero templado, tiene las siguientes dimensiones: 5.2 cm. de ancho x 3.5 cm. de altura x 2.4 cm. de espesor.
- (6) Cartabón superior.- Son 2 piezas de acero de 17 cm. de altura,

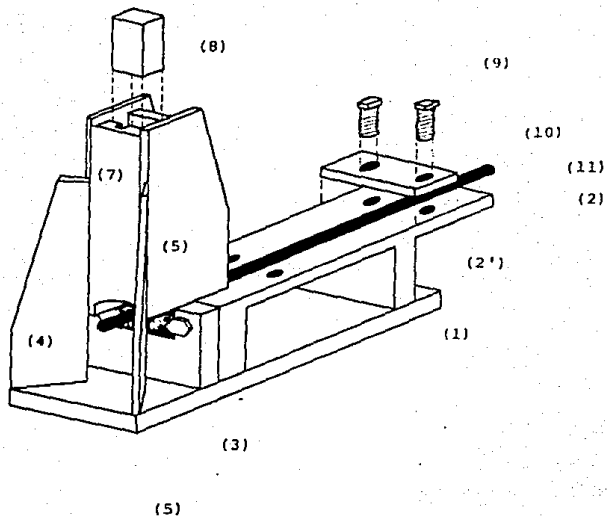


Fig. II.4  
"Herramienta de Corte Υέρος"

- 8.2 cm. en su base inferior, 5.9 cm. en su base superior y 1 - cm. de espesor. Contiene al carril.
- (7) Carril.- Compuesto por 2 placas de 3.7 cm. de ancho, 14.4 cm. de altura y 1.25 cm. de espesor. Contiene a la cuchilla superior, y permite su deslizamiento para bajar y cortar al espécimen.
- (8) Cuchilla Superior.- Elaborada en acero templado, tiene 3.6 cm. de ancho, 8.5 cm. de altura y 2.4 cm. de espesor. Por encima de la pieza se coloca un empujador (no ilustrado) que transmite el empuje de la placa circular de la Máquina Universal, al aplicar carga.
- (9) Tornillos sujetadores.- Son 4 tornillos de alta resistencia, de 1.905 cm. de diámetro, 5.08 cm. de largo y sus respectivas tuercas.
- (10) Placa de sujeción.- Son 2 placas de 3 cm. de ancho, 9.6 cm. de largo y 1.4 cm. de espesor. Sujetan con firmeza al espécimen.
- (11) Probeta.- Centrarla correctamente y cuidar no se mueva al atornillar las placas de sujeción.
- (12) Tornillos fijadores.- Son 2 tornillos de alta resistencia de - 1.905 cm. de diámetro, 2.5 cm. de largo.

#### C.- RECOMENDACIONES ANTES DE LA PRUEBA

##### 1.- Preparación del equipo

La probeta queda perfectamente asentada en la placa superior y alineada con las guías localizadas entre los tornillos de sujeción.

ción. Al respecto, apretar fuertemente cada uno de los tornillos, para inmovilizar la probeta. *No tendrá ningún movimiento*; verificar que las cuchillas "guillotinen", coincidiendo los filos de ambas. Finalmente es recomendable tener un buen centrado de la herramienta de corte Yépez bajo el plato superior de carga de la máquina universal.

## 2.- Preparación de la Probeta

Checar únicamente que sean -para un corte sencillo- 10 cm. - de varilla, los que estén en cantiliver. Para un corte doble serán como mínimo 20 cm. (procure tener arco y segueta para obtener las dimensiones especificadas).

## D.- VELOCIDAD DE PRUEBA

La velocidad de prueba será de 50 kg/seg.

### III. EQUIPO

- 1.- Herramienta de corte Yépez, con 4 tornillos de alta resistencia de 1.905 cm. de diámetro.
- 2.- Flexómetro
- 3.- Vernier
- 4.- Llave "Allen" de 1.905 cm. de diámetro o herramienta si milar.

### IV. MATERIAL

- 1.- Varilla de refuerzo de 0.95 cm. de diámetro y 45 cm. de longitud.
- 2.- Otros especímenes metálicos del mismo diámetro y longitud.



## V. DESARROLLO

10. Asegurar de que el espécimen esté en buenas condiciones y cumpla los requisitos señalados en el inciso A.1.  
Anotar su longitud y su diámetro. (Fig. 1)
20. Guiándose con la marca de la placa superior de la herramienta Yépez, colocar el espécimen al centro de ésta, dejando 10 cm. en cantiliver, para hacer un corte sencillo. Colocar la placa de sujección y atornillar suave y alternadamente (Fig. 2)
30. Colocar la segunda placa de sujección y atornillar alternadamente los 4 tornillos. Una vez sujeta la varilla, dé un último apretado a cada tornillo. (Fig. 3)
40. Colocar la herramienta Yépez aproximadamente al centro del -- plato superior de carga de la máquina universal; bajar el plato, hasta aproximadamente 10 cm. del tope con la herramienta de corte, introduzca el perno de carga en ésta y vuelva a centrar. (Fig. 4).
50. Seleccionar el rango de carga, en este caso de 30,000 kg. Ajustar en ceros e iniciar la carga a una velocidad de 50 kg/cm. - (Fig. 5)
60. Llevar el espécimen hasta la falla. Retirar las 2 porciones - probadas y observar el tipo de falla. (Fig. 6).

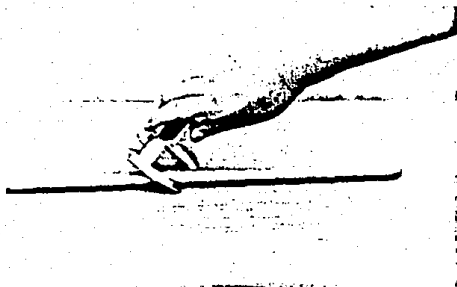


Fig. 1

Obtener las dimensiones del espécimen

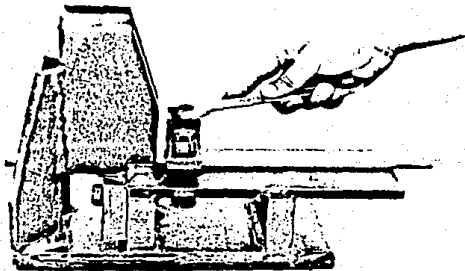


Fig. 2

Cuidar que no se mueva la probeta



Fig. 3  
Probeta atornillada  
a la Herramienta de  
Corte "Yépez".

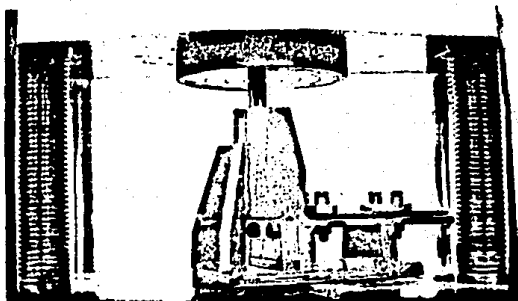


Fig. 4

La Herramienta de Corte deberá estar bien centrada, bajo el plato de carga.

Fig. 5  
Ajuste de la máquina  
universal en ceros.

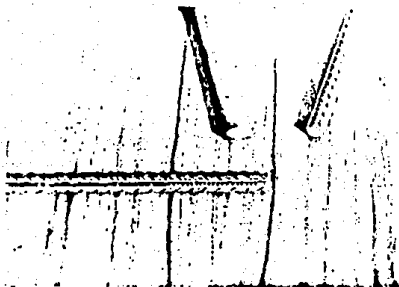
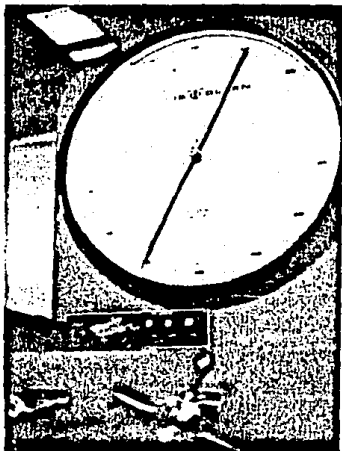


Fig. 6

Falla al corte de una probeta de acero

## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación se dan las resistencias obtenidas en distintos especímenes.

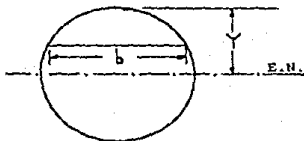
<u>M a t e r i a l</u>	<u>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</u>
1.- Varilla de refuerzo de 0.95 cm. de - diámetro de 45 cm. de longitud . . .	4, 761
2.- Barra de acero de 0.95 cm. de diáme- tro de 40 cm. de longitud (acero ro- lado en caliente) . . . . .	6, 900
3.- Barra de Hierro colado de 0.95 cm. - de diámetro de 45 cm. de longitud ..	3, 500

## VIII. CONCLUSIONES

Como se ve el acero rolado en caliente tiene mayor resistencia al corte que el hierro colado o una varilla de refuerzo. Sin embargo existen aceros con mayor resistencia, como el acero templado o el acero combinado con Níquel y Carbono.

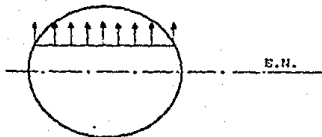
Ahora se hará un breve estudio de los esfuerzos que se presentan durante el corte de una probeta metálica de sección circular.

El esfuerzo cortante en secciones circulares difiere de la rectangular principalmente porque el ancho  $b$  de la sección no se mantiene constante y depende de la distancia  $Y$ . Observe la siguiente figura.



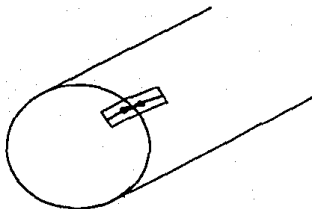
E.N. = Eje Neutro.

Ahora analicemos como se encuentran los esfuerzos en las caras vertical frontal y posterior, en esta figura:



Esto se hizo suponiendo una distribución de esfuerzos similar a como ocurre en una sección rectangular. Nótese que en la frontera o borde de la sección existe un esfuerzo vertical, el cual al resolverse en sus componentes normal y tangencial, nos lleva a la siguiente incongruencia:

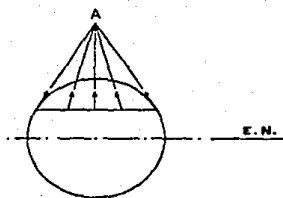
No puede existir un componente de esfuerzo cortante normal a la frontera de la sección transversal debido a que a ese esfuerzo debe estar asociado otro en la superficie libre envolvente, la cual es evidente, no está solicitada por esfuerzo alguno.



La componente tangencial a la frontera no representa incongruencia puesto que ésta no requiere de esfuerzo alguno en la superficie libre del elemento para equilibrarse.

Luego entonces en secciones circulares no puede haber esfuerzos normales a la superficie libre en la frontera y sólo pueden existir esfuerzos cortantes tangenciales en la frontera de la sección.

Se concluye así que el esfuerzo cortante en la periferia es tangencial, teniendo la probeta circular la siguiente distribución de esfuerzos:



El punto A es la intersección de la tangente a la superficie -  
estudiada y el eje vertical de la probeta.



# PRUEBA DE TORSION EN UNA PROBETA DE ACERO

---

## I. OBJETIVO

Someter una probeta de acero estándar, al esfuerzo cortante - de torsión, para obtener en su correspondiente diagrama momento torsionante - Angulo de Torsión, el límite de proporcionalidad y el módulo de ruptura.

## II. INTRODUCCION

Para tener una representación más precisa de las propiedades del corte se realiza la prueba de torsión, empleando probetas ya sean sólidas o huecas de sección circular.

La torsión se realiza por medio de 2 momentos de torsión iguales y opuestos, los cuales son aplicados a los extremos de la probeta en los planos perpendiculares a su eje longitudinal.

Es importante hacer mención de que en contraste con las pruebas de flexión y compresión, la de torsión permite la destrucción de cualquier material.

Una característica importante de la prueba es que la sección transversal y la longitud de trabajo de la muestra, permanecen constantes durante la prueba. Además los esfuerzos cortantes de torsión

sobre secciones circulares varían desde cero en el eje de torsión - hasta un máximo en las fibras extremas; esto lo podemos notar en la figura (1).

En la muestra cilíndrica en torsión, las fibras interiores están menos esforzadas que las extremas. Por consiguiente cuando estas alcanzan el límite proporcional o punto de cedencia, están en cierto sentido apoyadas por las fibras interiores.

Así entonces la torsión aplicada está en equilibrio con la torsión interna producida por los esfuerzos cortantes. En esta prueba de torsión utilizaremos una probeta circular maciza de acero dúctil; se graficará el momento torsionante ( $M_t$ ) y el ángulo de torsión ( $\theta_t$ ).

#### A.- PROBETA DE TORSION

##### 1.- Probetas estandarizadas

Los criterios principales para la selección de la probeta de torsión son 2:

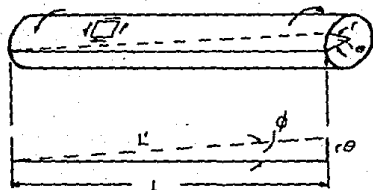
- 1o. Las probetas deben ser de tal tamaño y diámetro, que no sobrepasen la capacidad torsionante de la máquina de prueba y;
- 2o. Que el material o acabado en la superficie de la probeta, no resbale en las mordazas que aplican el momento torsionante.

Cuando se desee determinar la resistencia al corte hasta el límite proporcional de las fibras extremas de la probeta, deberá utilizarse una probeta tubular de pared delgada y sección corta reducida.

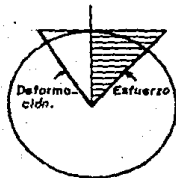
La A.S.T.M. recomienda que la razón entre el largo de la sec-

Fig. 1

Relaciones de deformación y esfuerzo en torsión



(a) Relación de la deformación en un cilindro torcido.



(b) Variación entre el esfuerzo y la deformación dentro del límite proporcional.

ción reducida y el diámetro ( $L/D$ ) sea de 0.5, es decir  $L = 0.5 D$ ; - además una razón entre el diámetro y el espesor ( $D/t$ ) de 10 a 12 es decir  $D = 10t$  ó  $D = 12t$ .

Para determinar la resistencia a la cedencia cortante y el módulo de rigidez, se recomienda una probeta hueca de  $L = 10 D$  como mínimo y un diámetro  $D = 8 t$  ó  $D = 10 t$ . Para valores mayores entre el diámetro y el grueso, existe una tendencia a la falla por pandeo, debido a los esfuerzos compresivos inclinados, es decir aquellos esfuerzos que actúan a  $45^\circ$  de los planos de corte máximo.

## 2.- Probetas no estandarizadas

Precurar que la probeta no tenga alguna deformación o curvatura, fisuras u otro defecto de fabricación o torneado. La probeta no debe sobrepasar la capacidad de la máquina de torsión, por lo cual debe ajustarse a los límites señalados en el inciso siguiente. Es recomendable el uso de varillas -acero de refuerzo- de 0.95 cm. y 1.27 cm. de diámetro ( $3/8"$  y  $1/2"$ , respectivamente), además de utilizar varillas "limpias", es decir, que no estén oxidadas, pues el desgaste de éstas afectará el resultado de la prueba.

## B.- MÁQUINA DE PRUEBA

La prueba se realiza en una máquina diseñada especialmente para la torsión. El Laboratorio de Mecánica de Materiales de la E.N.E.P. Aragón cuenta con una máquina de torsión Tinius-Olsen, de una capacidad torsionante de 5,000 kg.-cm, en dos direcciones: una a favor y otra en contra de las manecillas del reloj.

Para evitar sobrepasar la capacidad de la máquina y la consecuente descompostura se recomiendan las siguientes limitantes para las probetas -sean estandarizadas o no-:

- a) El diámetro mínimo = 0.79 cm (alambre comercial)  
El diámetro máximo = 2.54 cm (1")
- b) Longitud mínima de la probeta (incluye extremos): 18 cm.  
Longitud máxima de la probeta (incluye extremos): 47 cm.

Esta máquina cuenta además con indicador digital del momento torsionante y graficador electrónico. (incompleto)

Si se cuenta con otro tipo de máquina de torsión, no olvidar lo siguiente:

- 10. La máquina de torsión debe garantizar un adecuado centrado de la probeta, la "suavidad" del proceso de carga, la ausencia de fuerzas de flexión y; la posibilidad de medir con exactitud la magnitud del momento de torsión.
- 20. Si se desea someter a torsión alambre, una máquina con capacidad torsionante menor a los 2,000 kg-cm, será suficiente. Para diámetros mayores a una pulgada, deben utilizarse máquinas de 10 000 kg-cm de  $M_{tor}$  como mínimo.
- 30. La máquina debe contar con dispositivos que midan la deformación o el ángulo de torsión en la probeta.

#### C.- RECOMENDACIONES ANTES DE LA PRUEBA

##### 1.- Preparación del equipo.

Centrar y alinear la probeta en los cabezales de la máquina -

apretando en igual magnitud y en forma alternada cada uno de los - tornillos de sujección; cerciorarse además que los indicadores del ángulo de torsión marquen  $0^\circ$ , de lo contrario retirar la probeta - de los cabezales y ajustar. No olvidar seleccionar un rango adecu do del momento de torsión de acuerdo al diámetro de la probeta.

## 2.- Preparación de la probeta

Si la probeta es estándar verificar sus dimensiones de acuerdo a lo mencionado en el inciso B.b, de no ser así, volver a torneear - la pieza. Si se va a torsionar varilla respetar los límites estable cidos en el inciso B.a, a fin de no dañar la máquina.

Si la probeta que se somete a prueba es tubular, se tendrá cu dado de tapar los extremos, para que la presión de las tenazas o mor dazas de la máquina no induzcan el colapso del tubo. Estos tapones - deben ser cortos -para que no se extiendan hasta la sección de prue ba-, pudiendo ser de corcho o plástico.

Finalmente se recomienda que la probeta no tenga algún acabado especial, por ejemplo que sea cromada.

## D.- VELOCIDAD DE LA PRUEBA

Dentro del límite proporcional del material, la velocidad del cabezal de torsión, no debe sobrepasar de  $5^\circ/\text{minuto}$ .

Una vez que aproximadamente se ha alcanzado el punto de ceden cia del material (consultar en la sección de Tablas, pag. 258 de es te Manual), se puede aumentar la velocidad a  $60^\circ/\text{minuto}$ , mantenién dola hasta la falla.

### III. EQUIPO

- a).- Máquina de torsión de 5,000 kg-cm de capacidad torsionante -- con un juego de llaves "Allen".
- b).- Vernier
- c).- Flexómetro
- d).- Escuadra pequeña y plumín de punto fino. (Fig. 1)

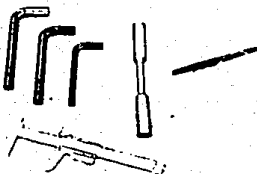


Fig. 1  
Equipo para la prueba de torsión

### IV. MATERIAL

- a).- Probeta de acero. Ver sus dimensiones en la bitácora correspondiente.

## V. DESARROLLO

- 1o. Anotar las dimensiones de la probeta en bitácora para obtener el diámetro medio del tramo de calibración; se hacen 2 lecturas.
- 2o. Auxiliándose de la escuadra, cuadricular cuidadosamente el tramo de calibración y el bisel. Cada cuadro puede medir - - 0.5 cm x 0.5 cm. Hacerlo lo mejor posible (Fig. 2)
- 3o. Con las llaves "Allen" se aflojarán las mordazas. Luego se coloca la probeta y se centra perfectamente. Esto se hace -- apretando en igual magnitud y alternadamente, cada tornillo. Se puede guiar el laboratorista con los anillos concéntricos que están marcados en el cabezal. (Fig. 3)
- 4o. Seleccionar el rango de carga. Para las dimensiones de la probeta dada, se puede emplear un rango de 2,000 kg-cm de momento torsionante. Para diámetros mayores (es decir mayores de - - 0.97 cm -3/8"- que tiene la probeta en esta prueba) se recomienda un rango de 5,000 kg-cm. Asimismo seleccionar la velocidad de prueba. (Fig. 4).
- 5o. Leer simultáneamente el momento torsionante y el ángulo de torsión. Al mismo tiempo es conveniente observar el efecto de la torsión en la probeta, en la cuadrícula anteriormente marcada. Se lleva el espécimen hasta la falla; se retira del cabezal y uniendo los 2 tramos, se verifica si hubo algún aumento en la longitud del tramo de calibración. (Fig. 5).



Fig. 2

Cuadrículado de la probeta --  
para observar su comporta---  
miento durante la torsión.

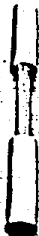
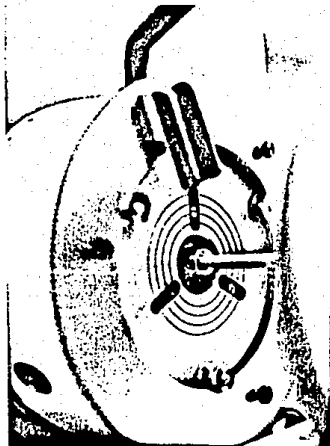


Fig. 3

Probeta centrada correctamente  
en los cabezales de la máquina  
de torsión.



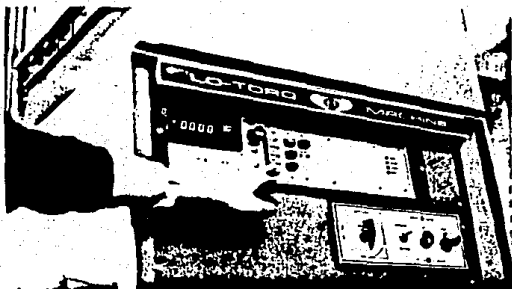


Fig. 4

Ajustar la máquina de torsión en ceros.

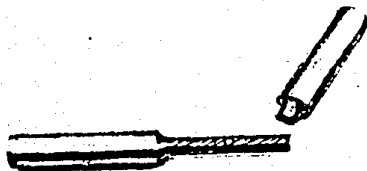


Fig. 5

Falla de la probeta. Observar la cuadrícula y concluir.

---

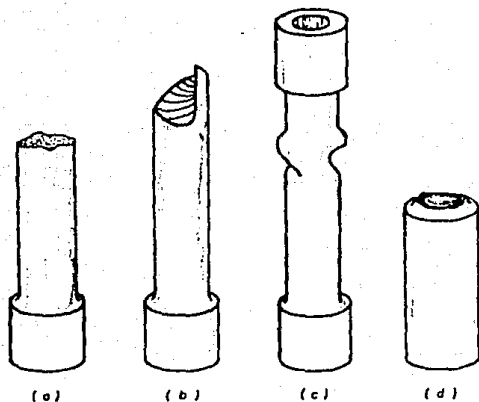
## VI. OBSERVACIONES DE LA PRUEBA

La fractura por corte torsional es diferente a la de compresión o tensión, ya que no hay una reducción localizada del área o un alargamiento.

Así, para los aceros dúctiles, es de una textura sedosa; para el hierro fundido o el concreto, la torsión provoca una fractura helicoidal -esta fractura está dada por la separación en tensión-

Observe la fig. (VI.1). Cada falla se describe a continuación:

- (a) La fractura en la varilla es plana y normal al eje de la pieza.
- (b) La forma de la fractura por torsión es de una revolución completa en la probeta, quedando unidos los extremos de la hélice por una línea aproximadamente recta.
- (c) Las probetas tubulares de pared delgada de material dúctil que tenga una sección reducida de mayor longitud que el diámetro, fallan por pandeo.
- (d) En cambio las de sección reducida corta fallan en una sección recta.



- a)- Barra sólida de material dúctil. Fractura recta, plana.  
b)- Barra sólida de material quebradizo. Fractura helicoidal.  
c)- Barra tubular de material dúctil. Falla por pandeo.  
d)- Barra tubular de material dúctil. Sección corta reducida. Fractura recta, plana.

Fig. VI.1  
Tipos de falla por torsión



- Trazo de la gráfica  $M_{tor} - \theta_{tor}$  <sup>1)</sup>

Una vez terminada la prueba y analizado el tipo de falla, se procede a trazar la gráfica  $M_{tor} - \theta_{tor}$ , basándose en los datos de la bitácora. En esta gráfica se calculará el límite de proporcionalidad y el módulo cortante de ruptura.

a) Cálculo del límite de proporcionalidad

Al igual que en el diagrama e-d del acero en la prueba de tensión, utilice alguno de los 2 métodos descritos en esa práctica -- (pág. 47), para determinar el momento torsionante correspondiente al punto donde la línea comienza a curvarse. Hasta este punto es posible aplicar aún la fórmula de torsión.

$$m_{\text{áx}} = \frac{T_c}{J}, \text{ donde: } m_{\text{áx}} = \text{Esfuerzo cortante máximo, en kg/cm}^2.$$

T = Momento de torsión, en kg-cm.

c = Radio de la sección circular sometida a torsión, en cm.

J = Momento polar de inercia de la sección circular sometida a torsión, en  $\text{cm}^4$  y:

$$J = \frac{\pi D^4}{32}, \text{ donde: } D = \text{Diámetro de la sección circular, en cm.}$$

Calcular en base al momento obtenido en el diagrama, el esfuerzo cortante máximo.

1)  $M_{tor} - \theta_{tor}$  = Momento torsionante - Angulo de torsión.

## b) Módulo cortante de ruptura

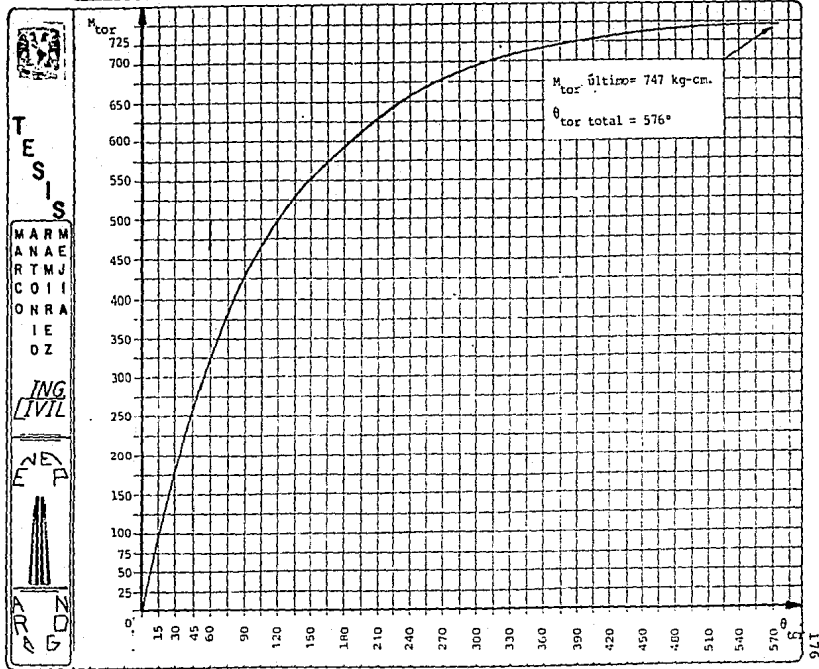
Aunque no es lineal la distribución de esfuerzos cortantes después del límite de proporcionalidad y no se aplica la fórmula de la torsión, algunas veces se utiliza para calcular un esfuerzo ficticio correspondiente al momento torsionante último. Este esfuerzo se llama Módulo cortante de ruptura. Este módulo sirve como un índice aproximado de la resistencia última de un material en torsión.

Nuevamente calcule este módulo en base al Momento torsionante último del diagrama obtenido en la prueba.

A continuación se observará la gráfica  $M_{tor} - \theta_{tor}$  correspondiente a la prueba, y la obtención gráfica de los valores anteriormente dichos.

DIAGRAMA  $M_{tor} - \theta_{tor}$  DE UNA PROBETA DE ACERO SOMETIDA A TORSION

FIGURA A



T  
E  
S  
I  
S

M  
A  
R  
T  
I  
N  
O  
N  
R  
A  
I  
E  
O  
Z

I  
N  
G  
E  
N  
I  
E  
R  
I  
A

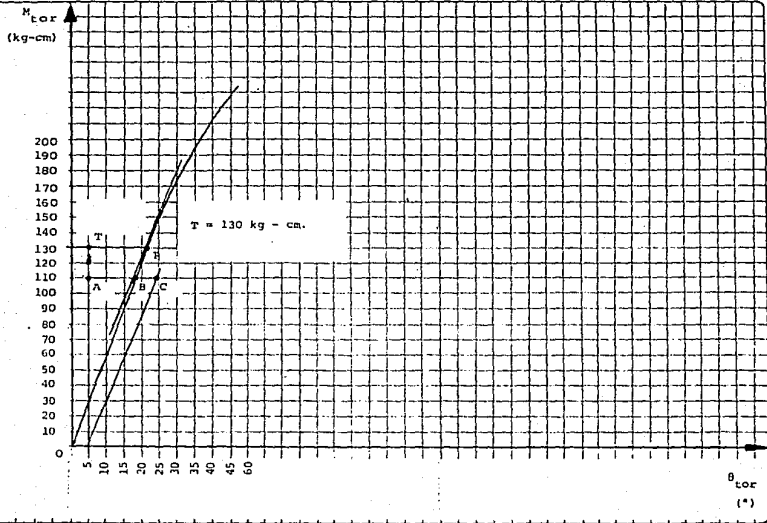


A  
R  
G  
O



DIAGRAMA  $M_{tor} - \theta_{tor}$  DE UNA PROBETA DE ACERO SOMETIDA A TORSION

FIGURA B



T  
E  
S  
I  
S

M A R M  
A N A E  
R T M J  
C O I I  
O N R A  
I E  
O Z

ING  
CIVIL



A  
B  
C  
D

$\theta_{tor}$   
(°)

## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

## a.- Probeta.

Observe la cuadrícula inicialmente trazada, y en base a la teoría respecto de los planos paralelos perpendiculares al eje -- del espécimen, concluir.

## b.- Velocidad.

Como se ve en los datos de bitácora y la correspondiente gráfica  $M_{tor} - \theta_{tor}$ , la ley de proporcionalidad es mínima. Es recomendable entonces mantener una velocidad de 5°/minuto (como máximo hasta los 100°), y luego incrementar a 60°/minuto es decir un grado por segundo; hasta llevar el espécimen a la falla.

## c.- Falla.

La fractura de la probeta, en este caso fué plana y recta, características de un acero dúctil.

## d.- Bitácora y gráfica

Al medir el tramo de calibración se deduce que no existe alargamiento alguno, es decir se mantuvo constante. Se puede notar que antes de la falla, la gráfica muestra una porción casi horizontal, es decir a un menor momento mayor torsión, característico de un material en cedencia.

Al leer simultáneamente  $M_{tor}$  y  $\theta_{tor}$ , es recomendable hacerlo a cada 15° (antes del límite proporcional a cada 5°), con el fin de disminuir la cantidad de datos que se obtendrían por ejemplo al leer a cada grado.

Estos fueron los resultados de la prueba:

Especimen	T (kg-cm)	$\theta_{\text{tor}}$ total (grados)	$\tau_{\text{máx}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	M <sub>tor</sub> último (kg-cm)	Módulo de Ruptura (kg/cm <sup>2</sup> )
Acero Dúctil	130	576	772.22	747	4437.30

Donde: T = Momento torsionante correspondiente al límite de proporcionalidad del diagrama  $M_{\text{tor}} - \theta_{\text{tor}}$  de la figura B.

$\tau_{\text{máx}}$  = Esfuerzo cortante máximo, en Kg/cm<sup>2</sup>.

## VIII. CONCLUSIONES

- 1.- Después de la aplicación de un momento de torsión, no hay alabeo o distorsión en los planos paralelos perpendiculares al eje de la probeta.
- 2.- En el espécimen, la deformación angular varió linealmente desde su eje longitudinal, es decir sus radios permanecieron rectos.
- 3.- Se deduce entonces que el esfuerzo cortante es directamente proporcional a la deformación angular.
- 4.- Una probeta circular hueca presentará un esfuerzo cortante puro, ya que en su pared delgada se obtiene un esfuerzo cortante uniforme. Sin embargo se debe cuidar que el espesor de la pared no sea excesivamente delgado para evitar pandeo local.  
La A.S.T.M. recomienda una pared de espesor mínimo de 2 mm.

# PRUEBA DE FLEXOCOMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO

---

## I. OBJETIVO

Comprobar que aún en laboratorio, existen errores en el centro de especímenes sujetos a compresión. Observar el comportamiento de un espécimen sujeto a compresión, fuera de su Núcleo Central y; analizar la influencia de la altura del cilindro en la resistencia a compresión del mismo.

## II. INTRODUCCION

Los miembros que sufren esfuerzos combinados de flexión y compresión, son comunes. Por ejemplo las columnas, las cuales toman casi siempre momentos flexionantes por continuidad, además de su carga de compresión. En la práctica y aún en el laboratorio es casi imposible montar y centrar perfectamente las cargas axiales sobre las columnas; factores como el viento u otras cargas laterales ocasionan flexión en los lados de la columna.

Debe considerarse que los momentos flexionantes en los miembros sujetos a tensión no son tan peligrosos como si afectan a miembros sujetos a compresión, porque la tensión tiende a reducir las deflexiones laterales en tanto que la compresión las incrementa. A su vez el incremento de deflexión lateral se traduce en incremento de

momento, como el resultado de mayores deflexiones laterales, y mayores momentos, etc., haciéndose así una reacción en cadena. Así entonces para disminuir estas deflexiones se debe rigidizar el elemento.

Es difícil obtener con exactitud los esfuerzos en miembros sujetos a una combinación de carga axial y flexión, por lo cual el siguiente análisis es aproximado:

El esfuerzo por flexocompresión se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$f = \pm \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}, \text{ donde: } f = \text{Esfuerzo combinado de flexión y compresión, en kg/cm}^2.$$

P = Carga aplicada, en kg.

A = Área de la sección, en  $\text{cm}^2$ .

M = Momento flexionante, en kg-cm.

c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada (sobre el eje Y), en cm.

I = Momento de Inercia, en  $\text{cm}^4$ .

Esta ecuación es válida solamente bajo las siguientes condiciones:

- La flexión tiene lugar con respecto a un eje principal
- Una sección plana antes de la deformación permanece plana después de ella.
- Los esfuerzos están dentro del límite elástico.

La flexión ocurre frecuentemente con respecto a un eje que no -

es el  $x - x'$  o el  $y - y'$ ; esto es, que ocurre con respecto a ambos ejes de modo simultáneo. Un ejemplo típico se encuentra en las columnas de las esquinas de los edificios. Los esfuerzos para miembros sujetos a flexocompresión con respecto a ambos ejes, se determinan normalmente con la siguiente expresión:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M_{xy}}{I_x} \pm \frac{M_{yx}}{I_y}, \text{ donde:}$$

$f$  = Esfuerzo combinado de flexión y compresión, en  $\text{kg/cm}^2$ .

$P$  = Carga aplicada, en  $\text{kg}$ .

$A$  = Area del especimen, en  $\text{cm}^2$

$M_x$  = Momento respecto al eje  $x$ , en  $\text{--kg-cm}$ .

$y$  = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada sobre el eje  $Y$ , en  $\text{cm}$ .

$M_y$  = Momento respecto al eje  $y$ , en  $\text{--kg-cm}$ .

$x$  = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada sobre el eje  $x$ , en  $\text{cm}$ .

$I_x$  = Momento de inercia respecto al eje  $x$ , en  $\text{cm}^4$ .

$I_y$  = Momento de inercia respecto al eje  $y$ , en  $\text{cm}^4$ .

Esta ecuación es aplicable a miembros de cualquier forma de sección transversal. Para miembros en tensión o en compresión (estos con una relación de esbeltez pequeña), se acepta el despreciar los momentos secundarios resultantes de la deflexión, no así en los miembros

bros a compresión más esbeltos. Ver la fig. II.1.

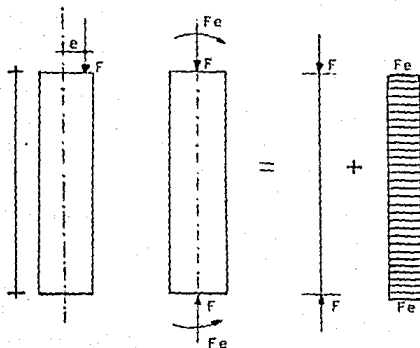


Fig. II.1

donde:

$F$  = Fuerza aplicada

$e$  = Excentricidad respecto al eje neutro.

Esta columna cargada excéntricamente tiene aumentadas la deflexión final y los esfuerzos combinados de flexión y compresión. En algunos miembros cargados excéntricamente es posible localizar el eje de esfuerzo nulo dentro del área transversal. Este eje es semejante al eje neutro que se tiene en un estado de flexión pura, sin embargo la diferencia es que ese eje de esfuerzo nulo no pasa por el centroide de la sección.

En el caso de cargas axiales grandes y momentos pequeños, di-



cho eje está fuera del área transversal. Esto es aplicable para miembros a compresión siempre que su longitud sea pequeña en relación con sus dimensiones transversales. Para miembros más esbeltos, tenemos su deducción en la práctica No. 9 de este Manual referente al pandeo en columnas.

En resumen, si una carga compresiva actuando sobre un miembro sólido no lo hace por el centroide de la sección recta, sino con una excentricidad, aparece un eje neutro que podrá estar fuera de la sección, ser tangente al perímetro o estar dentro de la sección, dependiendo esto de la magnitud de la excentricidad.

Así entonces llamaremos Núcleo de la Sección, al área interior dentro de la cual puede moverse el punto de aplicación de una carga compresiva normal, de tal forma que el eje neutro se conserve tangente al perímetro sin llegar a producir, por lo tanto, esfuerzo de tensión en algún punto de la sección recta.

Las ecuaciones que definen el núcleo de una sección regular -- son las siguientes:

$$x = -\frac{k_y^2}{e_y}. \text{ Despejando } e_y, e_y = -\frac{k_y^2}{x} \dots (1)$$

$$y = -\frac{k_x^2}{e_x}. \text{ Despejando } e_x, e_x = -\frac{k_x^2}{y} \dots (2)$$

donde:  $e_y$  = Excentricidad respecto al eje  $y$

$e_x$  = Excentricidad respecto al eje  $x$ .

$k_y$  = Radio de giro respecto al --  
eje  $y$ .

$k_x$  = Radio de giro respecto al --  
eje  $x$ .

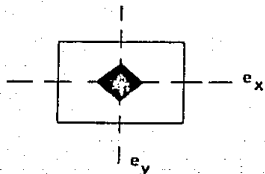
$x$  = Coordenada sobre el eje de --  
las abscisas.

$y$  = Coordenada sobre el eje de --  
las ordenadas.

El signo negativo en las ecuaciones (1) y (2) significa que si la excentricidad es hacia un lado determinado del centroide, el eje neutro aparecerá por el lado contrario.

A continuación se dan las ecuaciones para obtener el núcleo -- central, en las 2 secciones más comunes.

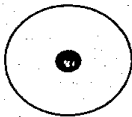
a) Sección Rectangular.



$$e_x = -\frac{h}{6}; e_y = -\frac{b}{6}$$

El núcleo es un rombo con --  
diagonales,  $\frac{b}{3}$  y  $\frac{h}{3}$

b) Sección Circular.



$$e_x = e_y = \frac{R}{4}$$

El núcleo es un círculo con  
radio  $\frac{R}{4}$

## A.- PROBETAS PARA FLEXOCOMPRESION

## a).- Probetas estandarizadas.

La prueba de flexocompresión se realiza en especímenes de concreto (cilindros) sin acero de refuerzo. Los cilindros son de -- 15.24 cm (6") de diámetro, con distintas alturas: el primer espécimen tendrá 30.48 cm (12") de altura; el segundo será de 20.32 cm -- (8") y el último de 10.16 cm (4") de altura.

El diámetro máximo del agregado grueso es de 1.90 cm (3/4") para elaborar un concreto de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$  (resistencia alcanzada a los 14 días de curado). En caso de usar probetas de acero, se recomiendan las dimensiones dadas en la fig. (1.1) de la prueba de -- compresión (Prueba #4) con una tolerancia de  $\pm 0.02 \text{ cm}$  (tanto para metales como para el concreto).

## B.- MÁQUINA DE PRUEBA

Para registrar posibles deflexiones en el espécimen perfectamente centrado, se le deberá colocar un compresómetro mecánico. Puede hacerse también con 2 indicadores de cuadrante colocados a mitad de la altura total del espécimen, uno frente a otro. Para el 4o. - espécimen lo anterior no es necesario. Debido a que el espécimen es muy corto (y por ende su resistencia a la compresión es grande), deberá utilizarse una Máquina de compresión -manual- de 70,000 kg. de capacidad de carga como mínimo. En el caso de probetas de acero la máquina de prueba deberá ser de 120,000 kg. de capacidad de carga como mínimo.

## C.- RECOMENDACIONES ANTES DE LA PRUEBA

a).- Reparación de equipo

Antes de iniciar la prueba los anillos marcados en el plato superior de carga deberán coincidir exactamente con los correspondientes anillos marcados en la mesa de la máquina Universal, a fin de centrar perfectamente el espécimen de prueba.

Cuando se someta a prueba el espécimen # 2, al cual se le marcará el Núcleo central, asegurarse que el borde del plato superior de carga, asiente exactamente en la orilla del núcleo.

b).- Preparación de la probeta

Al elaborar cada cilindro vibrar perfectamente el concreto para evitar vacíos y sobretodo mejorar el acabado de la cara inferior del espécimen. Si no se cuenta con moldes de 1/3 y 2/3 de la altura estándar -30.48 cm-, marcar con un vernier dichas alturas (tolerancia  $\pm 0.02$  cm).

Se debe enrasar la cara superior de cada cilindro de acuerdo al procedimiento descrito en la práctica de Compresión -página 80 de este Manual-, y centrar la cara inferior -SIN ENRASARLA-<sup>2)</sup> de acuerdo al siguiente procedimiento:

2) NOTA: El Reglamento de la Dirección General de Normas especifica que el enrasado se haga por ambas caras. Se me autorizó por parte del Ing. Mejorada y del Ing. Govca (ambos son jefes de Laboratorio), asesor de Tesis y sinodal respectivamente, una excepción para enrasar sólo la cara superior de cada cilindro y centrar sobre la otra cara, sin enrasarla.

- Especimen # 1 (De 15.22 cm de diámetro y 30.45 cm de altura).
- 1o. Con la guía para centros que se encuentra al final de este Manual, localizar el centroide del cilindro. (Fig. 1)
  - 2o. Con un compás punzonar en el centroide del acetato. (Fig. 2)
  - 3o. Guiar el cilindro marcado con el centro del plato superior de carga.
- Especimen # 2 (15.24 x 30.47 cm diámetro y altura respectivamente)
- 1o. Nuevamente hallar el centro del especimen con el acetato. Punzonar con el compás.
  - 2o. Retirar el acetato; con el compás medir el radio del núcleo central impreso y trazarlo sobre el cilindro -sin profundizar la punta en el caso de que sea un compás metálico-. (Fig. 3)
  - 3o. Iluminar el círculo trazado. (Fig. 4)
- Especimen # 3 y 4. (15.23 x 20.31 cm y 15.22 x 10.15 cm, diám. y altura)
- Sólo guiarse con los anillos de plato de carga y la mesa de la máquina.

#### D.- VELOCIDAD DE PRUEBA

Utilizando para los 3 primeros especímenes un rango de carga - de 60,000 kg, aplicar la misma a una velocidad de 125 kg/seg. Para el especimen corto -4° cilindro- no usar una velocidad determinada solamente llevarlo a la falla por compresión.

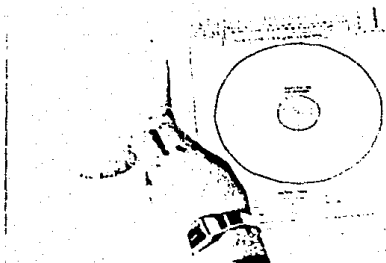


Fig. 1

Gufa para localizar el centroide de un cilindro de concreto de 6" (15.24 cm.) de diámetro.

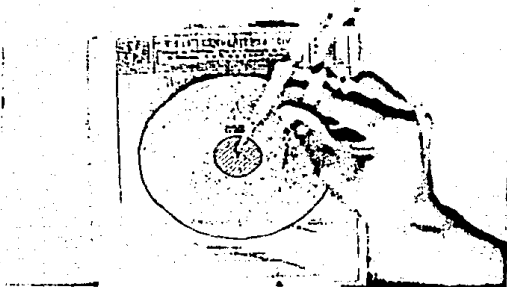


Fig. 2

Punzar el centroide de la sección con un compás metálico

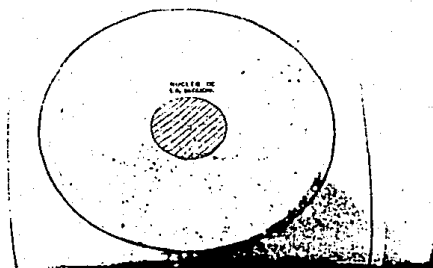


Fig. 3

Trazar el Núcleo Central o de la Sección.



Fig. 4

Iluminar el Núcleo de la Sección.

## III. EQUIPO

(Se enlista el equipo que se usará para los 4 especímenes).

- 1.- Máquina Universal de 60,000 kg de capacidad de carga.
- 2.- Máquina manual para compresión de 120,000 kg de capacidad de carga. (No aparecen en la fotografía).
- 3.- Compresómetro mecánico con indicador de cuadrante de 0.000254 cm. de aproximación.
- 4.- Brazo magnético con indicadores de cuadrante, cada uno de - - 0.01 cm. de aproximación.
- 5.- Báscula
- 6.- Flexómetro
- 7.- Vernier
- 8.- Compás metálico
- 9.- Escuadras y plumin.
- 10.- Acetato para centrar (incluido en este Manual)

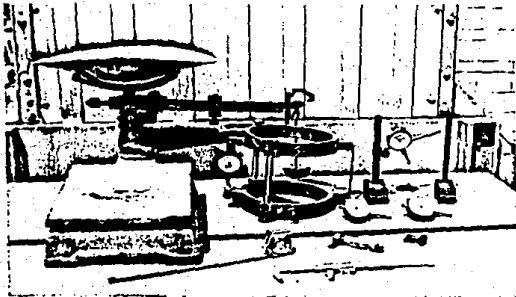


Fig. 5.  
Equipo para la  
prueba de flexo  
compresión.



#### IV. MATERIAL (Se describen los 4 especímenes).

- Especimen # 1 - Cilindro de concreto de 15.22 cm. de diámetro y ---  
30.45 cm. de altura.
- Especimen # 2 - Cilindro de concreto de 15.24 cm. de diámetro y --  
30.47 cm. de altura.
- Especimen # 3 - Cilindro de concreto de 15.23 cm. de diámetro y --  
20.31 cm. de altura.
- Especimen # 4 - Cilindro de concreto de 15.22 cm. de diámetro y --  
10.15 cm. de altura. (Fig. 6 y 7)

El concreto se proporcionó para alcanzar una resistencia a la -  
compresión,  $f'c = 200 \frac{\text{Kg.}}{\text{cm}^2}$  para una edad de 14 días. Su revenimien-  
to es de 10 cm.

#### V. DESARROLLO

- Para el especimen # 1.

- 1o. En la hoja de registro anotar el diámetro y altura promedio, además del peso; la aproximación de las dimensiones será de - 0.01 y 0.001 kg. respectivamente.. (Fig. 8 ).
- 2o. Colocar el especimen sobre la mesa de la máquina. Orientándose con los anillos concéntricos de ésta, centrar lo mejor posi- ble el cilindro, y marcar el centroide de acuerdo al procedi- miento señalado anteriormente. (Fig. 9 )
- 3o. Una vez marcado el centroide, proceder a ubicar el plato supe- rior de carga de la máquina hasta una posición a 10 cm por --

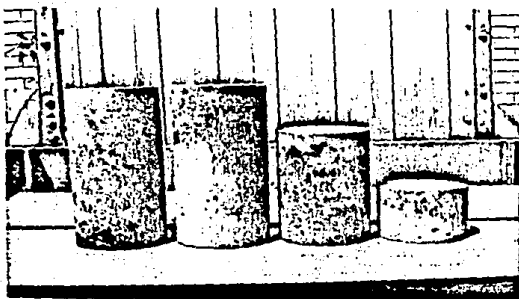


Fig. 6

Especímenes para la prueba de flexocompresión.

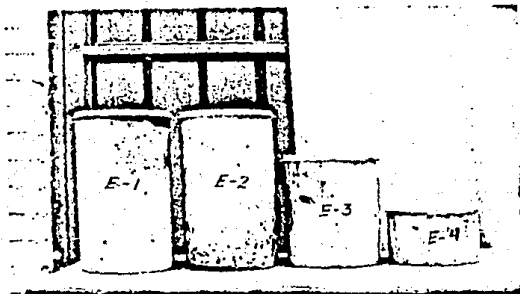


Fig. 7

Cilindros ya cabeceados (por una sola cara), con Azufre

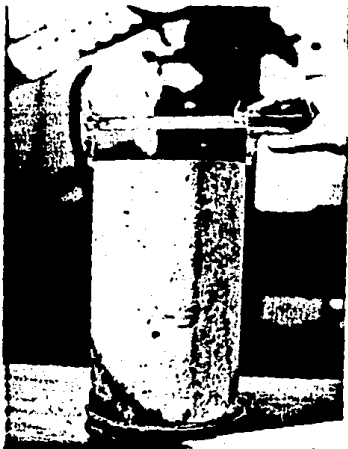


Fig. 8  
Obtener las dimensiones del  
especimen.

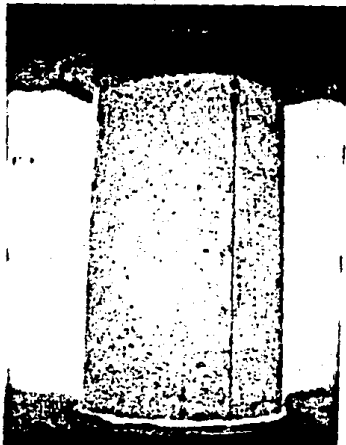


Fig. 9  
Anotar algun error de cen--  
trado del cilindro en la --  
máquina de prueba.

arriba de la cara superior del cilindro.

40. Con una escuadra pequeña, apoyada en el cilindro, verificar si coinciden los centroides tanto del espécimen, como del plato superior de carga. Anotar en bitácora si existe alguna excentricidad (aproximación hasta el milímetro) con ayuda del vernier. -- Ajustar en caso necesario. (Fig. 10).
50. Posteriormente colocar el compresómetro mecánico y el brazo magnético con un indicador de cuadrante. (Fig. 11).
60. Ajustar en ceros los instrumentos y proceder a dar carga al espécimen; llevar el cilindro hasta la falla, observando ésta y anotando su correspondiente carga. (Fig. 12).

- Para el Especimen # 2

10. Anotar en bitácora los datos del cilindro; altura, peso, diámetro. Luego bajar el plato superior de carga, hasta casi tocar el espécimen. Ahora puede removerse éste de tal forma que el plato se sitúe en la orilla del Núcleo Central. (Fig. 13).
20. Subir el puente móvil de la máquina universal para colocar el compresómetro al cilindro. (Fig. 14)
30. Ajustar en ceros los instrumentos tomando lecturas a cada 250 - kg. Llevar el espécimen hasta la falla. (Fig. 15).

- Para el Especimen # 3

10. Anotar las dimensiones básicas. (En la figura aparecen el 30. y 40. cilindros). (Fig. 16).
20. Centrar el espécimen con los anillos de la mesa de la máquina universal. Colocar el indicador de cuadrante (para medir su acor

Fig. 10

¿Existe excentricidad?

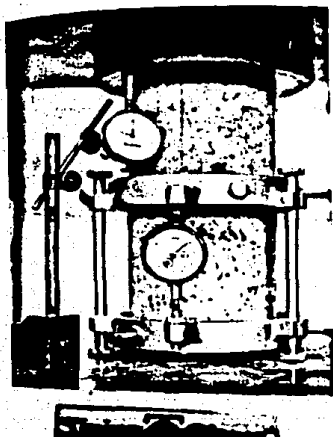
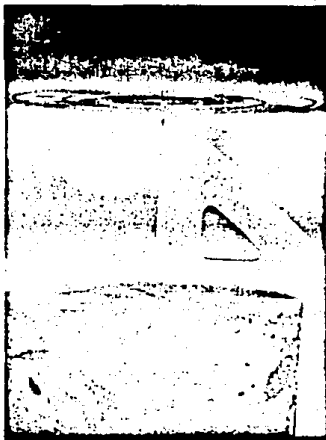


Fig. 11

Compresómetro mecánico e indicador se colocan en el espécimen.



Fig. 12  
Falla del espécimen centrado  
correctamente

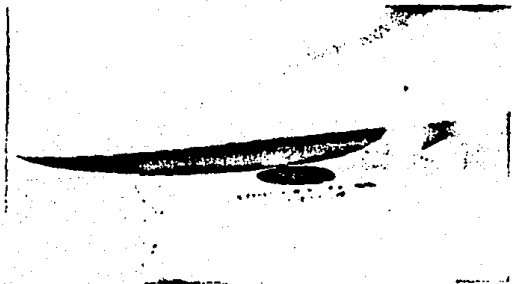


Fig. 13  
El plato no toca el núcleo central marcado pre-  
viamente

Fig. 14  
No olvidar ajustar en ceros  
el indicador del compresóme-  
tro.

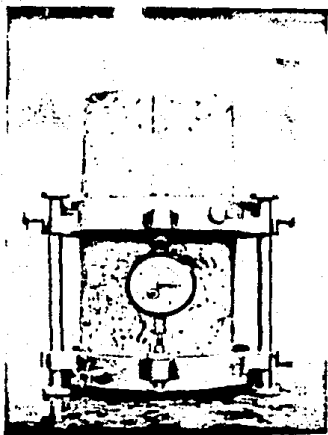


Fig. 15  
Falla por flexocompresión de un cilindro de  
concreto.

tamiento). Observar la falla y anotar la carga de ruptura. - (Fig. 17 y 18).

- Para el Especimen # 4

- 1o. Colocar el cilindro en la máquina. Por ser demasiado corto (no alcanza a tocarlo el plato superior de carga), es recomendable colocar una base -o placas si cuenta con ellas) de acero, para levantar el cilindro y poderlo comprimir correctamente. (Fig. 19).
- 2o. Sin alguna velocidad específica, proceder a cargar el cilindro hasta llevarlo a la falla. (Fig. 20).

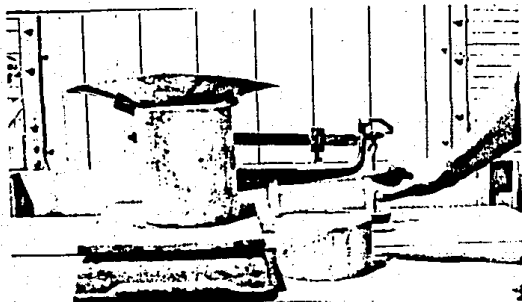


Fig. 16.

Obtener dimensiones de cada espécimen.



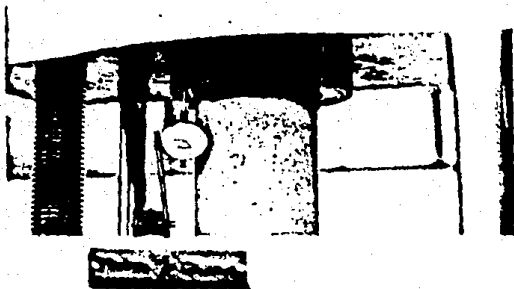


Fig. 17  
Especimen listo para ser comprimido



Fig. 18  
Falla por aplastamiento

Fig. 19

Procurar centrar bien las placas y el cilindro corto de concreto.

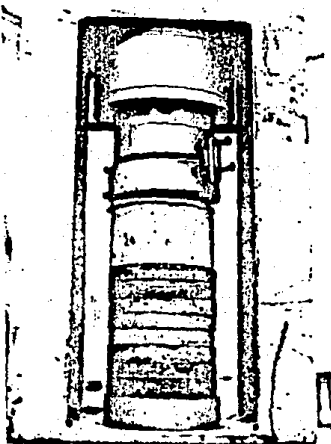
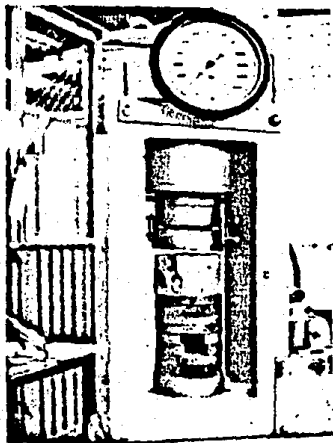


Fig. 20

Falla por aplastamiento

## VI. OBSERVACIONES DE LA PRUEBA

### - Falla

La fractura para los especímenes de concreto fué ya descrita en la práctica # 4 (Compresión).

Para especímenes cortos de 10.16 cm (4") la falla es por --  
aplastamiento del concreto, con separación longitudinal. --  
(Fig. VI.1 inciso d, Prueba de Compresión).

### - Trazo de la gráfica e - d

Para el espécimen # 1 y el # 2, se trazará el diagrama e-d, -  
en base a los datos de bitácora. En cada gráfica se obtendrán  
los siguientes parámetros: límite de resistencia y módulo de -  
elasticidad. La forma de calcularlos está dada en las prácti-  
cas números 3 y 4 de este trabajo.

Para el cilindro # 3, sólo será necesario obtener su acorta-  
miento relativo y su carga de ruptura.

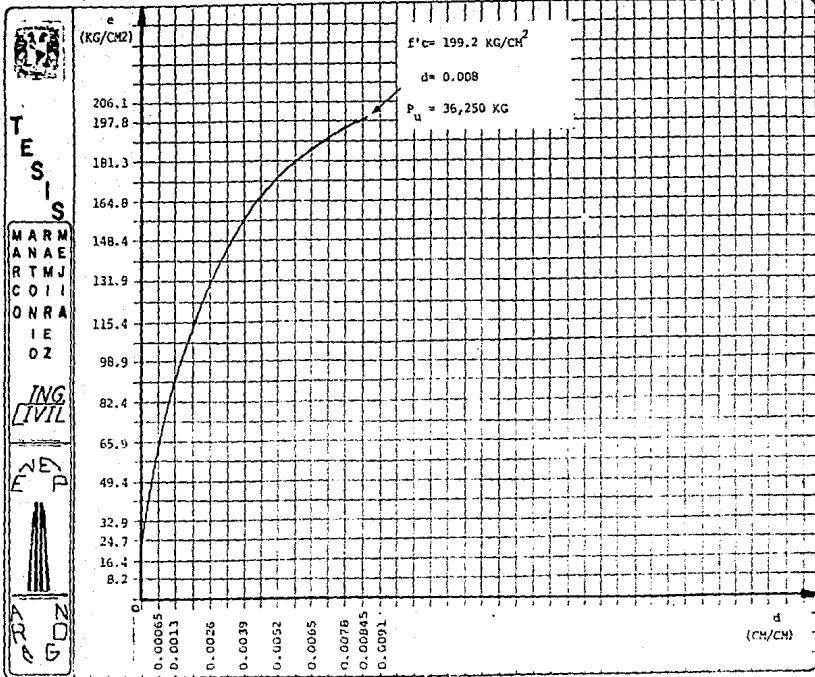
Finalmente del 4o. espécimen se anotará la carga de ruptura y  
el tipo de falla.

Cabe recordar que las lecturas para los 2 primeros cilindros,  
del indicador de cuadrante (el cual mide el acortamiento), se  
hará a cada 500 kg. En la gráfica, a fin de disminuir la can-  
tidad de datos, se trazará con esfuerzos calculados a cada --  
1500 kg de carga (Especimen # 1) y a cada 500 kg de carga --  
(Especimen # 2).



DIAGRAMA e - d DE UN CILINDRO DE CONCRETO (PRUEBA DE FLEXOCOMPRESION)

FIGURA A



T  
E  
S  
I  
S

M  
A  
R  
T  
I  
N  
C  
O  
N  
R  
A  
I  
E  
O  
Z

ING  
CIVIL

UNIVERSIDAD

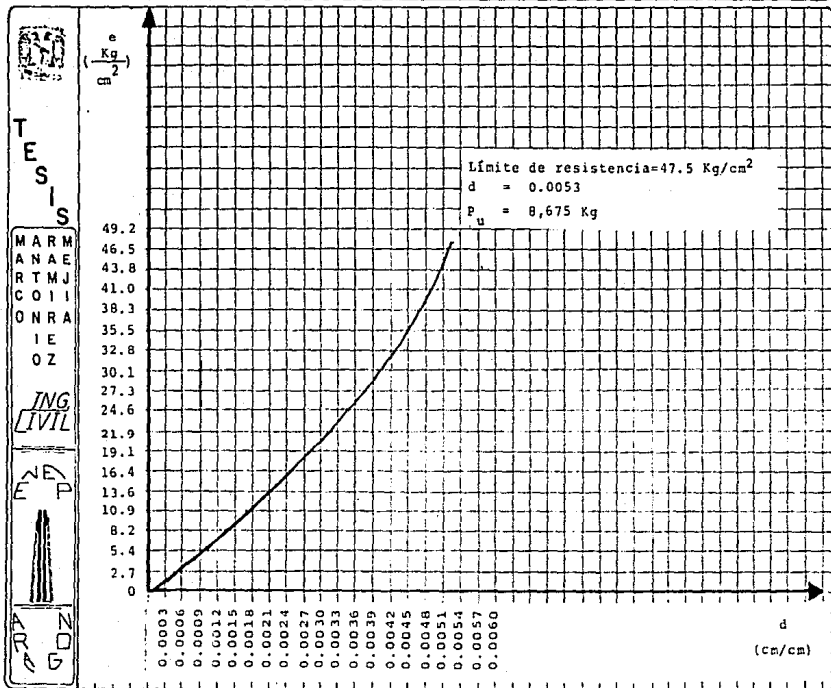


UNIVERSIDAD



DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACION UNITARIAS, DEL ESPECIMEN 2 (NUCLEO CENTRAL)

FIGURA B



## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

208

A continuación se resumen las características mecánicas obtenidas de los 3 especímenes:

No. de Serie	Edad (días)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Ec (kg/cm <sup>2</sup> )	Acortamiento relativo (%)	Carga de Ruptura (kg)	F a l l a
1	14	199.24	169,382.86	0.85	36,250	Corte
2	14	-	-	-	8,675	-
3	14	220.11	178,033.24	0.36	40,100	Aplastamiento
4	14	302.30	208,641.31	-	55,000	Aplastamiento



El segundo cilindro no tiene  $f'c$ ,  $E_c$  (Módulo de elasticidad), ni acortamiento relativo bien definidos dado que no se le sometió a un esfuerzo compresivo, sino a una combinación de flexión y compresión.

Nótese que al disminuir la altura del espécimen aumentó la - resistencia a la compresión, con una falla por aplastamiento.

Para el primer espécimen, se tuvo una excentricidad mínima - de 0.5 mm.

## VIII. CONCLUSIONES

Aún en ensayos en Laboratorio sobre la aplicación uniaxial de carga en un espécimen -en este caso en cilindros de concreto-, se confirma que existen excentricidades accidentales al tratar de centrar correctamente la probeta en la máquina de prueba.

La relación de esbeltez influye en la resistencia a la compresión. A mayor esbeltez, menor resistencia y a menor esbeltez mayor resistencia.

Cuando la carga de compresión actúa fuera del Núcleo Central, se producen esfuerzos de tensión y compresión combinados.

Cuando actúa dentro del Núcleo, produce compresión sobre toda la sección transversal.

Al aplicar una fuerza de compresión sobre la sección circular del espécimen (fuera del Núcleo Central) se origina una distribución de presiones en forma triangular. Vea la siguiente figura:

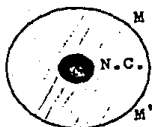


donde:

$P$  = Carga, en Kg.

$e$  = Excentricidad, en cm.

Vista superior



donde:

N.C. = Núcleo Central, en  $\text{cm}^2$

M-M' = Región de tensión

Cuando  $\underline{e}$  disminuye, aumenta la intensidad de presión en el semicírculo M-M'; dado que el concreto es un material que no resiste esfuerzos de tensión, el primer agrietamiento ocurre sobre la cara del cilindro limitada por las letras M-M'. Si  $\underline{e}$  se hace cero, el espécimen se hace inestable.

# PRUEBA DE PANDEO EN COLUMNAS DE MADERA

---

## I. OBJETIVO

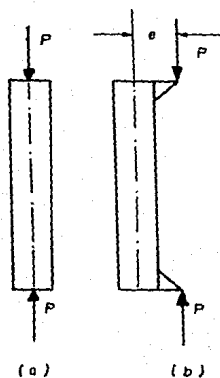
Obtener del primer espécimen su módulo de Elasticidad y su resistencia al aplastamiento, sirviendo estos datos como base del cálculo de la carga crítica de los 2 siguientes especímenes. Se comparará la resistencia al aplastamiento de una muestra seca, con una muestra húmeda.

## II. INTRODUCCION

Una columna es un miembro que soporta cargas de compresión. Esta carga puede ser concéntrica, aplicada a lo largo del eje centroidal -Fig. (II.1) inciso (a)- o excéntrica, aplicada paralelamente al eje del miembro centroidal, pero a cierta distancia del mismo, fig. (II.1) inciso (b).

Si la columna se alargara y se le aplicara una carga de compresión fallaría pues se está sometiendo a una gran deflexión lateral. Esta deflexión lateral llamada pandeo, es producida por la inestabilidad de la columna a una cierta carga.

Si por el contrario la columna es corta, fallaría por fluencia general (aplastamiento). Las columnas intermedias fallan por una combinación de pandeo y aplastamiento.



donde:

$P$  = Carga

$e$  = Excentricidad respecto  
al eje central

Fig. II.1  
Carga concéntrica y excéntrica  
aplicadas a una columna.

Las columnas cortas pueden analizarse y diseñarse según la fórmula elemental  $e = \frac{P}{A}$ , donde:  $e$  = Esfuerzo unitario, en  $\text{kg}/\text{cm}^2$

$P$  = Carga aplicada, en Kg.

$A$  = Area cargada, en  $\text{cm}^2$ .

Sin embargo para las columnas largas Leonardo Euler, matemático suizo, diseñó una fórmula para calcular la carga crítica de pandeo, es decir, la carga que ocurre en el instante del pandeo.

Esta fórmula es la siguiente: (Columna con extremos articulados).

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}, \text{ donde: } P_{cr} = \text{Carga crítica de pandeo, en Kg.}$$

$E$  = Módulo de Elasticidad del material en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ .

$I$  = Momento de Inercia de la sección transversal de la columna con respecto al eje de pandeo en  $\text{cm}^4$ .

$L$  = Longitud de la columna, en cm.

Para tener en cuenta la posible diferencia entre la longitud efectiva y la longitud verdadera frecuentemente se incluye un factor de longitud efectiva en la ecuación básica de Euler, quedando entonces la siguiente expresión:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \dots (1), \text{ donde } K = \text{Factor de longitud efectiva.}$$

Para otras condiciones en los extremos, consultar la figura (II.2)

La posibilidad de pandeo existe en cualquier pieza comprimida; puede tomar la forma de pandeo de toda la estructura o en algún miembro

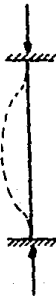
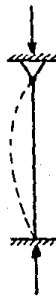

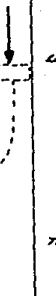
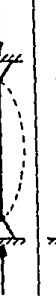
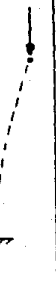




<p>La línea punteada indica el pandeo de la columna.</p>						
<p>Valor teórico de <math>K</math>.</p>	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
<p>Valor de diseño de <math>K</math>, para condiciones aproximadas a las ideales.</p>	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
<p>Nomenclatura para las condiciones de los extremos.</p>	   	<p>Rotación fija y translación fija.</p> <p>Rotación libre y translación fija.</p> <p>Rotación fija y translación libre.</p> <p>Rotación libre y translación libre.</p>				

Fig. II.2

Valores de  $K$  para otras condiciones de los extremos

bro. Así, la carga para la cual se produce el pandeo depende de la rigidez de la estructura o parte de la misma, más que de la resistencia del material de que se trata.

Fundamentalmente el análisis del comportamiento al pandeo consiste en averiguar si la configuración de equilibrio de un sistema es estable o no. Si al desplazar ligeramente un sistema de su posición de equilibrio regresa a él, se tiene un sistema estable; si se desplaza más, es inestable.

Se considera que para una sección asimétrica, el momento de inercia  $I$ , debe tomarse con respecto al eje alrededor de cual ocurre el pandeo. La fórmula de Euler sólo es válida para columnas largas, y para ilustrar la definición de una columna larga veamos el siguiente

#### EJEMPLO

Determinar la carga crítica de pandeo y el esfuerzo crítico, para una columna maciza de acero de sección circular, de 2.54 cm. (1") de diámetro y 76.2 cm (30") de longitud, con ambos extremos articulados.

Sol.

#### Datos

$$P_{cr} = ?$$

$$\phi = 2.54 \text{ cm}$$

$$L = 76.2 \text{ cm}$$

$$K = 1.0 \text{ (De la Fig. II.2)}$$

además,

$$E = 2,111,104 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = \frac{\pi \phi^4}{64} = 2.043 \text{ cm}^4$$



Sustituyendo valores en la ecuación (1):

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (2,111,104 \text{ kg/cm}^2) (2.043 \text{ cm}^4)}{(1.0) (76.2 \text{ cm})^2} \quad P_{cr} = 7,331.08 \text{ Kg}$$

Calculando el esfuerzo crítico, con la ecuación  $e_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$ ,

donde:

$e_{cr}$  = Esfuerzo crítico de pandeo, en Kg/cm<sup>2</sup>

$P_{cr}$  = Carga crítica de pandeo en Kg.

$A$  = Area de carga en cm<sup>2</sup>, tenemos que:

$$e_{cr_1} = \frac{P_{cr}}{\pi \delta^2} = \frac{7,331.08 \text{ kg}}{\pi (2.54 \text{ cm})^2} \quad e_{cr_1} = 1,446.8 \text{ kg/cm}^2$$

Ahora suponiendo la longitud de la columna igual a 53.34 cm -- (21") en vez de 76.2 cm, calcular  $P_{cr}$  y  $e_{cr}$ :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 (2,111,104 \text{ kg/cm}^2) (2.043 \text{ cm}^4)}{(1.0) (53.34 \text{ cm})^2} \quad P_{cr_2} = 14,961.3 \text{ kg}$$

$$e_{cr_2} = \frac{14,961.3 \text{ kg}}{\pi (2.54 \text{ cm})^2} \quad e_{cr_2} = 2,952.6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Ahora considerar los anteriores esfuerzos en relación con el diagrama esfuerzo-deformación unitaria para el acero a compresión, mostrado en la figura (II.3).

Supondremos que el límite de proporcionalidad para este acero es de 2,533.3 kg/cm<sup>2</sup>. El esfuerzo  $e_{cr_1}$ , es inferior al límite de proporcionalidad del material; este se conserva aún en el intervalo elástico del diagrama. Sin embargo el esfuerzo  $e_{cr_2}$  queda arriba

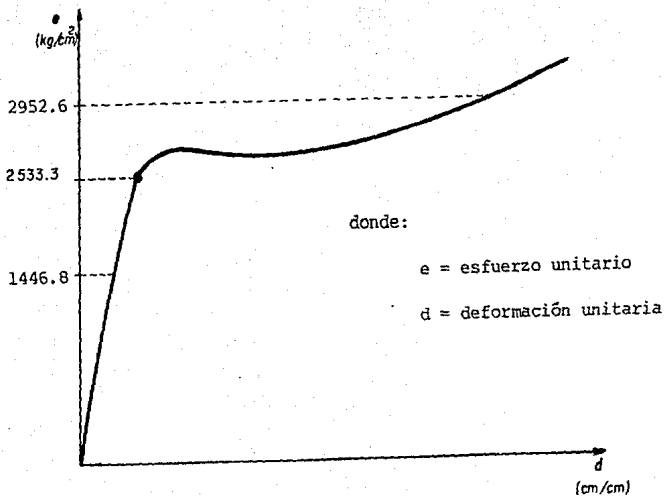


Fig. II.3  
Diagrama esfuerzo-deformación unitarias para el acero a compresión (del ejemplo propuesto)

del límite de proporcionalidad, es decir donde el material ya no se comporta elásticamente.

Al deducir la ecuación de Euler, se supuso que el material se comportaba elásticamente, pero como este no es el caso de la columna del ejemplo ya resuelto, la fórmula de Euler no es válida y por consiguiente la carga calculada  $\underline{P_{cr}}$ , es incorrecta.

Luego entonces una columna larga se define como aquella en la cual los esfuerzos correspondientes a la carga crítica de pandeo son menores que el esfuerzo en el límite de proporcionalidad del material.

Ahora bien, es mejor expresar la ecuación de Euler en términos de esfuerzo, en lugar de términos de carga. Sustituyendo  $I = A_r^2$ , donde  $r$  = radio de giro de la sección transversal:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}, \quad e_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E A_r^2}{A (KL)^2} = \text{de donde}$$

$$e_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \dots (2)$$

Como se dijo anteriormente, las columnas intermedias fallan -- por una combinación de aplastamiento y pandeo, y la obtención de una fórmula apropiada ha sido un problema difícil de resolver. A través de muchas pruebas de laboratorio se llegó a una ecuación normada por el AISC<sup>1)</sup>, y que es utilizada para el diseño de columnas.

Esta ecuación está fundada en la relación de esbeltez  $K \left(\frac{L}{r}\right)$  -

1) AISC = American Institute of Steel Construction.

y el término  $C_c$  (Coeficiente de columna); este es el valor particular de la relación de esbeltez, que separa las columnas largas de las intermedias.

- a) Si  $C_c$  es mayor a  $\frac{KL}{r}$ , calcular con la siguiente ecuación:

$$e_a = \frac{\sqrt{1 - (KL/r)^2 / 2 C_c^2}}{C_c} e_y \quad \dots (3) \text{ donde:}$$

$$\frac{5}{3} + \frac{3 (KL/r)}{8 C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8 C_c^3}$$

$e_a$  = Esf. Permisible en  $\text{kg/cm}^2$

$e_y$  = Esf. al límite de fluencia en  $\text{Kg/cm}^2$ .

$$y, C_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{e_y}}$$

Esta ecuación (3) se utiliza para el diseño de columnas cortas e intermedias.

- b) Si  $C_c$  es menor a  $\frac{KL}{r}$ , emplear la ecuación:

$$e_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

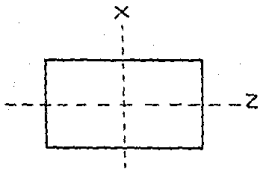
Esta ecuación se utiliza para el diseño de columnas largas.

Todas las ecuaciones anteriores se aplican a elementos metálicos. Como en esta práctica, se utilizan columnas de *madera*, se describen a continuación las ecuaciones básicas para obtener el es fuerza crítico en probetas de madera.

Todas las especificaciones están basadas en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

## - Pandeo en columnas de madera (Ecuaciones básicas)

Sea una columna de sección rectangular maciza, sujeta a una carga axial paralela a las fibras. Se supone que por las condiciones de apoyo la longitud efectiva de dicha columna es  $KL$ .



Los lados de la pieza se considerarán así

en dirección del eje X:  $b_n$

en dirección del eje Z:  $d_n$

Para obtener el esfuerzo admisible de diseño en compresión paralela a las fibras ( $e_{cd}$ ), se parte de la ecuación de esfuerzo crítico de Euler. Al suponer que el pandeo ocurre en un plano XY (flexión debida al pandeo alrededor del eje Z), y al sustituir en la ecuación de Euler:

$$e_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12 \left(\frac{KL}{b_n}\right)^2} \dots (I)$$

Introduciendo un factor de seguridad, (FS) el esfuerzo admisible  $e_{cd}$  será:  $e_{cd} = \frac{e_{cr}}{FS} \dots (II)$  Si  $FS = 2.75$ , y sustituyen- do la ecuación I:

$$e_{cd} = \frac{0.3 E}{\left(\frac{KL}{b_n}\right)^2} \dots (III)$$

Este esfuerzo no debe exceder el valor del esfuerzo permisible de compresión dado para columnas cortas, denominado como  $e_{cp}$  es -- decir;

$$e_{cd} \leq e_{cp}$$

El coeficiente de columna  $C_c$ , correspondiente al valor de  $\frac{KL}{b_n}$  (es el límite de aplicación de la fórmula de Euler), es:

$$C_c = \sqrt{\frac{0.3 E}{e_{cp}}} \dots (IV)$$

Resumiendo, el esfuerzo de compresión uniforme,  $e_{comp}$ , en toda sección transversal recta de la columna, será:

$$e_{comp} = \frac{P}{A_n} \leq e_{cd}, \text{ donde: } P = \text{Carga actuante, en Kg.}$$

$$A_n = \text{Area neta cargada, en cm}^2.$$

Si

$C_c > \frac{KL}{b_n}$  o  $\frac{KL}{d_n}$  (escoger el valor más alto), entonces se trata de una columna corta o intermedia, en la que:

$$e_{cd} = e_{cp} \dots (V)$$

Si

$C_c \leq \frac{KL}{b_n}$  o  $\frac{KL}{d_n}$  (escoger el valor más alto), entonces se trata de una columna larga, en la que:

$$e_{cd} = \frac{0.3 E}{\left(\frac{KL}{b}\right)^2_{\text{mayor}}} \dots (VI)$$

No debe olvidarse que:  $E$  = Módulo de Elasticidad de la madera.

Finalmente se dan los valores de  $K$  y de  $e_{cp}$ .

## VALORES DE K

Condiciones de apoyo en los extremos del elemento	K
a) Los dos fijos, sin desplazamiento lateral	0.65
b) Uno fijo y un articulado, sin desplazamiento lateral	0.80
c) Los dos fijos, con desplazamiento lateral	1.20
d) Los dos articulados, sin desplazamiento lateral	1.00
e) Uno fijo y otro libre	2.00

ESFUERZOS PERMISIBLES, en  $\text{kg/cm}^2$ 

Solicitación	Selecta	Primera	Segunda	Tercera
Flexión y tensión	80	60	30	20
Compresión paralela a la fibra ( $e_{cp}$ )	70	50	25	17
Compresión perpendicular a la fibra	14	14	9	7
Cortante paralelo a la fibra	14	14	7	5
Módulos de elasticidad				
( $\times 10^3$ ) medio	70	70	70	70
mínimo	40	40	40	40

## A.- PROBETAS PARA PANDEO

### a) Probetas Estandarizadas

En la prueba de compresión paralela al grano, se emplea una pequeña probeta de madera de 5 cm x 5 cm x 20 cm. Estas dimensiones simulan una columna corta; para el caso de columna esbelta se puede utilizar un espécimen de 3 x 5 x 70 cm (lado x lado x altura). El tipo de madera más común para este tipo de prueba, es el pino, en sus diferentes variedades, aunque se pueden utilizar otras maderas.

## B.- MÁQUINA DE PRUEBA

La prueba se realizará simulando extremos articulados. Para ello el extremo superior corresponderá al plato de carga utilizado en la prueba normal de compresión y el extremo inferior será la mesa de apoyo de la máquina Universal. Para la prueba de la columna corta se usa un compresómetro mecánico para madera paralela al grano, el cual mide las deflexiones hasta 0.0002 cm de precisión. Este instrumento sólo se ajusta a especímenes de 5 x 5 x 20 cm. La madera paralela al grano es aquella que presenta sus vetas paralelas al plano de acción de la carga.

## C.- RECOMENDACIONES ANTES DE LA PRUEBA

### a) Preparación del equipo

El compresómetro tiene gran movilidad sobre su eje, por ello al colocarlo sobre el espécimen, cerciorarse del correcto asentamiento de ambos sobre la mesa de la máquina Universal. La colum-



na debe ajustarse al brazo del compresómetro antes de atornillarlo. El espécimen se inmoviliza apretando ligeramente cada uno de los - cuadro tornillos. (No hacerlo fuerte pues se pueden inducir grietas, las cuales modifican el comportamiento del espécimen).

b) Preparación de las probetas

La madera a utilizar debe estar limpia y libre de nudos, - astillamientos, putrefacciones, grietas, desprendimiento de las aristas, bordos en sus caras, distorsionada o curvada, con acabados en su superficie, o bolsas de resina. La madera debe estar seca.

Es importante que las piezas sean cortadas con sierra circular o maquinaria similar para evitar cortes curvos o inexactos; también de preferencia dar un buen acabado de cada cara utilizando un canteador para madera. Los especímenes deben tener los extremos totalmente planos para poder asentarse en forma exacta en la máquina Universal. Si no se da esta condición la carga no podrá repartirse en la superficie de contacto de la probeta, en forma correcta.

D.- VELOCIDAD DE PRUEBA

La velocidad será de 50 kg/seg en forma constante, para la - columna intermedia y la columna esbelta. Para la columna corta se puede aumentar la velocidad a 100 kg/seg.

### III. EQUIPO. (Se enlista el equipo que se usará para las 3 muestras)

- 1.- Máquina Universal de 60,000 kg de capacidad de carga.
- 2.- Compresómetro para madera.
- 3.- Brazo magnético con indicador de cuadrante de 0.0254 cm de - - aproximación.
- 4.- Soporte universal con indicador de cuadrante de 0.0254 cm de - - aproximación.
- 5.- Vernier.
- 6.- Flexómetro.
- 7.- Báscula.
- 8.- Nivel.
- 9.- Plumín y Regla (Fig. 1)

### IV. MATERIAL

- Especimen # 1 - Columna de madera (pino) de 3 x 5 x 70 cm (lado x lado x altura).
  - Especimen # 2 - Columna de madera (pino) de 3.5 x 5 x 55 cm, se ca.
  - Especimen # 3 - Columna corta de madera (pino) de 5 x 5 x 20 cm, seca.
  - Especimen # 4 - Columna corta de madera (pino) de 5 x 5 x 20 cm, (húmeda) (no aparece en la foto).
- (Fig. 2)

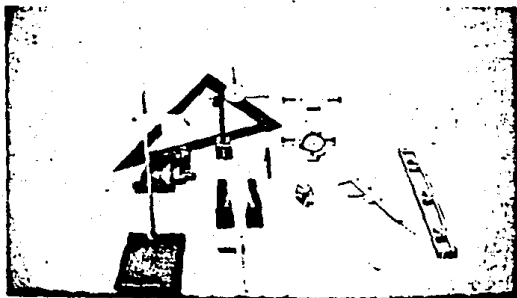


Fig. 1  
Equipo para la prueba de pandeo

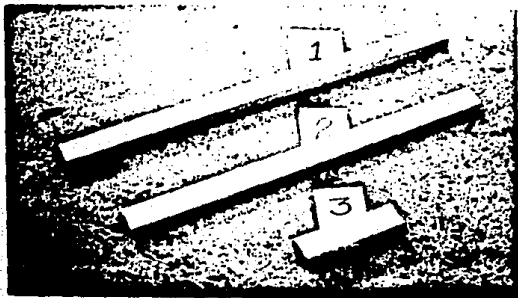


Fig. 2  
Columnas de madera de pino.

## V. DESARROLLO

### - Para el Especimen # 3

- 1o. Anotar peso y dimensiones (aproximación de 0.001 kg y 0.01 cm)  
(Fig. 3)
- 2o. Colocar la muestra al centro de la base de la máquina de prueba -guiarse con los anillos concéntricos- verificando que asienta correctamente. Sostener firme la columna y colocarle el compresómetro siguiendo las instrucciones ya descritas. Asimismo fijar el indicador de cuadrante, en el cual el pivote toca el plato de carga. (Fig. 4)
- 3o. Ajustar ambos instrumentos en ceros.  
Seleccionar en la máquina Universal un rango de carga de 30,000 kg y aplicar ésta a una velocidad de 100 kg/seg. Medir simultáneamente compresión y deflexión. (A cada 250 kg de carga).  
(Fig. 5)
- 4o. Llevar la columna hasta la falla. Luego descargar la máquina y observar el tipo de falla. Anotar la carga de aplastamiento.  
(Fig. 6 y Fig. 7)

Terminada la prueba, se procede a construir la gráfica esfuerzo-deformación de esta columna, en base a los datos anotados en la bitácora. Dado que son demasiados datos, las lecturas en bitácora aparecen a cada 500 kg. de carga, asimismo en la gráfica e - d, correspondiente.

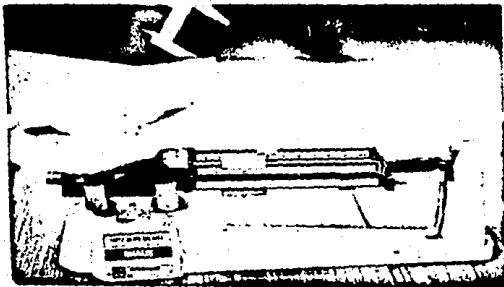


Fig. 3

Se anotan sus dimensiones en la bitácora de --  
prueba

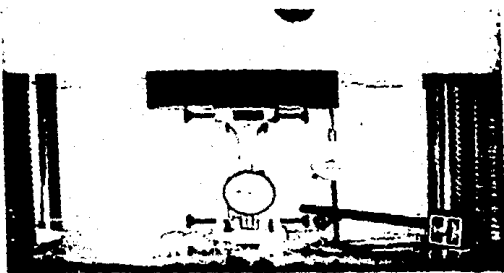


Fig. 4

Centrada la columna corta se le colocan los dis-  
positivos de medición; compresómetro e indica-  
dor de cuadrante.

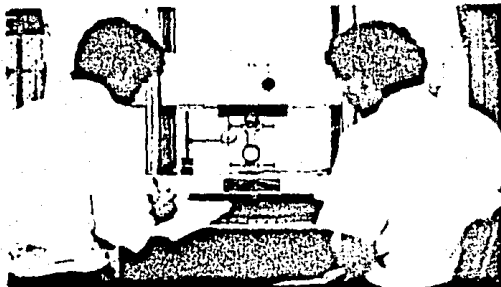


Fig. 5

Una persona mide la deflexión y otra el acortamiento del espécimen.

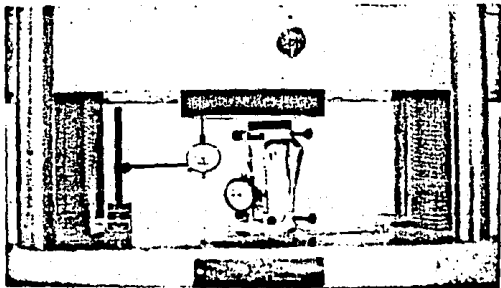


Fig. 6

Al fallar la columna se anotan las lecturas -  
finales

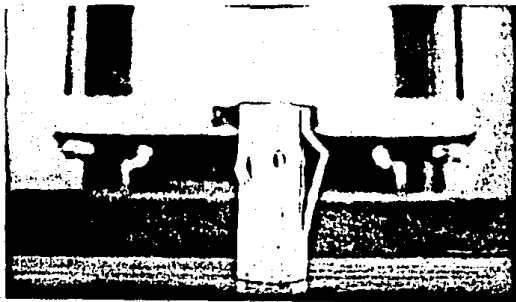


Fig. 7

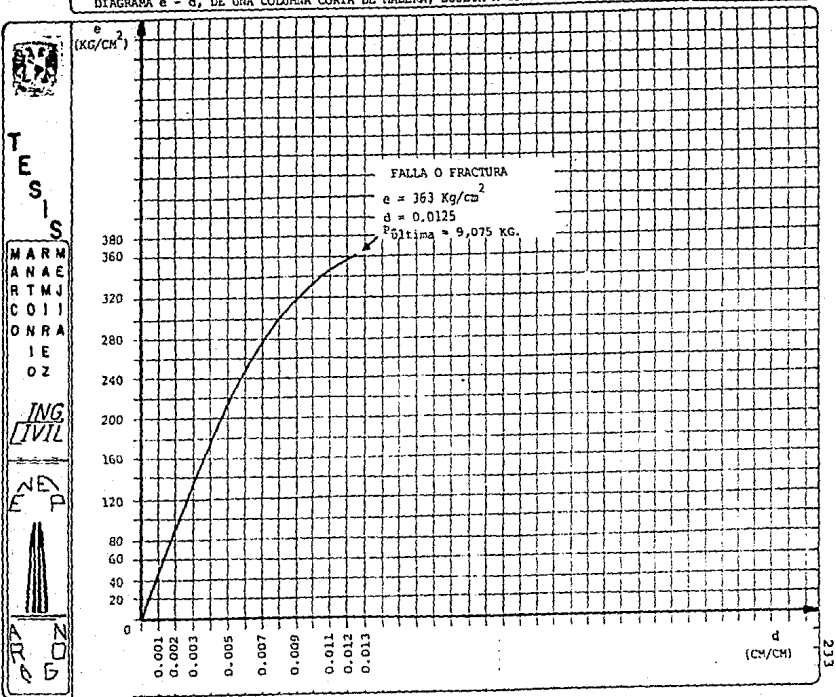
Falla por aplastamiento





DIAGRAMA e - d, DE UNA COLUMNA CORTA DE MADERA, SUJETA A COMPRESION

FIGURA A



T  
E  
S  
I  
S

M  
A  
R  
T  
I  
N  
O  
C  
O  
L  
L  
O  
N  
R  
A  
I  
E  
D  
Z

I  
N  
G  
E  
N  
I  
E  
R  
I  
A

E  
N  
E  
R  
G  
I  
A



A  
R  
G

## - CALCULOS EN BASE A LA GRAFICA e - d DEL 3er. ESPECIMEN.

De acuerdo a la gráfica e - d de la columna corta, se calcula el módulo de elasticidad de la madera que se está ensayando. Este dato servirá de base para cálculos posteriores en el 2o. y 1er. especímenes.

## a) - Cálculo del Módulo de Elasticidad.

Recordando que la elasticidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{e_u}{d_u} \dots (4). \text{ Se determina en base a los datos del diagrama e - d, el módulo de Elasticidad.}$$

ma e - d, el módulo de Elasticidad.

El punto donde se inicia la curvatura corresponde a un  $e_u = 218 \text{ kg/cm}^2$  y una deformación,  $d_u = 0.005$ . Sustituyendo estos valores en la ec. (4)

$$E = \frac{218 \text{ kg/cm}^2}{0.005} = 43,600 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \dots (5)$$

b) - Cálculo de la Resistencia al aplastamiento. (Teórica)

Se puede calcular con la ecuación:

$$e_f = \frac{P_f}{A}, \text{ donde: } P_f = \text{Carga final de falla -aplastamiento-, en Kg.}$$

$$e_f = \text{Esfuerzo final o último, en Kg/cm}^2$$

$$A = \text{Area de la columna, en cm}^2.$$

despejando  $P_f$ , tenemos:

$$P_f = (e_f) (A) \dots (6)$$

El valor de  $e_f$ , se toma de la tabla 9 de este Manual:

$$e_f = 5270 \frac{1b}{plg^2} \times 0.07037 = 370.85 \frac{kg}{cm^2} \text{ . Sustituyendo en la -}$$

ecuación (6), tenemos:

$$P_f = (370.85 \text{ kg/cm}^2) [5 \times 5 \text{ (cm-cm)}] = P_f = 9,271.25 \text{ kg.. (7)}$$

teórica

c) - Ahora comparemos con la carga final obtenida real. Del diagrama trazado tenemos:

$$P_f = 9,075 \text{ kg... (8)}$$

real

- Para el Especimen # 4.

1o. Centrar la columna en la mesa de la máquina universal. Luego -- proceder a cargar al espécimen a la misma velocidad de 100 kg/seg.

2o. Llevar la probeta a la falla y compararla con la columna seca. Anotar la carga máxima aplicada y obtener su resistencia.

- Para el Especimen # 1

- Cálculos previos al desarrollo de la prueba en este espécimen.

En base a los datos obtenidos en el espécimen # 3, es decir a el Módulo de elasticidad de la madera utilizada, se calcula la carga crítica de pandeo.

Medidas:  $b_n = 3 \text{ cm}$

$d_n = 5 \text{ cm}$

Nota: (f.c.)<sup>\*</sup> = Factor de Conversión, dado por

$$= 0.454 \frac{kg}{lb} \times \frac{1 \text{ plg}^2}{6.4516 \text{ cm}^2}$$

$$= 0.07037 \frac{kg}{lb} \frac{\text{plg}^2}{\text{cm}^2}$$

Datos del espécimen # 3:  $E = 43,600 \text{ kg/cm}^2$  (Ecuación 5)

$$e_{cp} = 50 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{De Tablas})$$

Datos del espécimen # 1

$$K = 1.0$$

Sustituyendo en la ec. (IV):

$$L = 70 \text{ cm}$$

$$C_c = 16$$

$$C_c = \sqrt{\frac{0.3 (43,600)}{50}}$$

Ahora se calcula  $\frac{KL}{b_n}$  y  $\frac{KL}{d_n}$

$$\frac{KL}{b_n} = \frac{(1)(70)}{3} = 23.34$$

Se escoge el mayor, es decir -

$$\frac{KL}{d_n} = \frac{(1)(70)}{5} = 14$$

$$\frac{KL}{b_n} = 23.34$$

Comparando:

$$C_c ? \frac{KL}{b_n}, \text{ o sea } 16 < 23.34, \text{ por ende se trata de una } \underline{\text{columna larga.}}$$

Se utiliza entonces la ec. (VI).

$$e_{cd} = \frac{0.3 E}{\left(\frac{KL}{b}\right)^2}, \text{ sustituyendo valores:}$$

mayor

$$e_{cd} = \frac{0.3 (43,600)}{(23.34)^2} = 24 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Sust. en la ec. (II):

$$e_{cd} = \frac{e_{cr}}{FS}, \text{ sustituyendo valores:}$$

$$24 = \frac{e_{cr}}{2.75}, \text{ así entonces}$$

$$e_{cr} = 66 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Sabiendo que  $e_{cr} = \frac{P_{crítica}}{Area}$ , se despeja  $P_{cr}$

$P_{cr} = (e_{cr}) (Area)$  sustituyendo valores

$$P_{cr} = 66 (15) = 990 \text{ Kg.}$$

$$P_{cr} = 990 \text{ Kg.}$$

- Desarrollo

10. Anotar en la bitácora todos los datos respectivos a la columna: longitud, ancho y peralte promedios, además del peso. Una vez hecho esto se procede a trazar el eje neutro de la columna en uno de sus costados -sobre el eje longitudinal de la misma), -- con un plumín y una regla. (Fig. 8 y Fig. 9)
20. Guiándose con los anillos concéntricos de la base de la máquina, colocar la columna exactamente al centro, luego sostenerla mientras es nivelada. Hecho esto bajar el plato superior de carga lentamente hasta que toque la cara superior de la columna. La línea punteada debe quedar a la vista del observador, para luego colocar el pivote del indicador de cuadrante en el centro de la longitud de la columna ( $h/2$ ). Así podrá medirse la flecha máxima. (Fig. 10).
30. Ajustar en ceros todas las carátulas y proceder a iniciar la -- carga en un rango de 30,000 kg. a una velocidad de 126 kg/seg. Llevar la carga hasta aproximadamente 2,000 kg; detener la carga y observar el pandeo de la columna, en la línea punteada. -- Descargar y verificar la Ley de Hooke, observando la recuperación del material y el regreso a ceros de los indicadores de -- cuadrante. Se vuelve a repetir la prueba, desde el 20. paso de esta secuencia y se puede llevar a la falla al espécimen (Fig. 11)

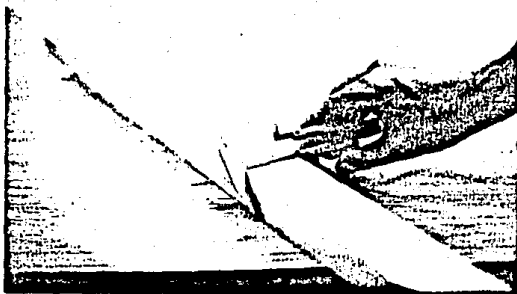


Fig. 8

Obtener las dimensiones de la probeta

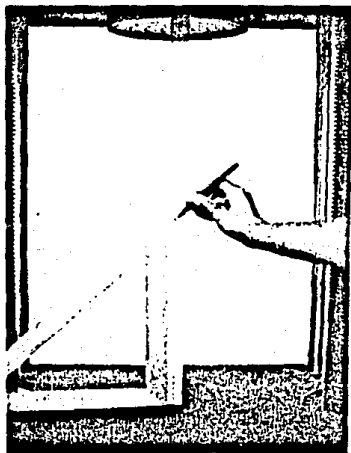


Fig. 9

Se marca el eje longitudinal y el centro de la altura total de la columna ( $h/2$ ).

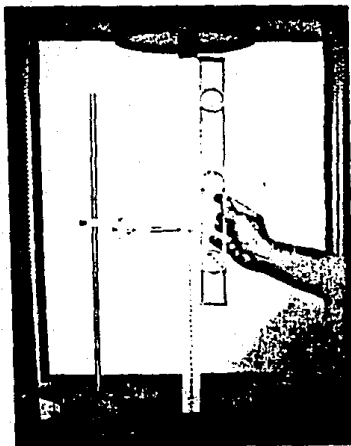


Fig. 10  
Nivelación de la columna y colocación del indicador de cuadrante.

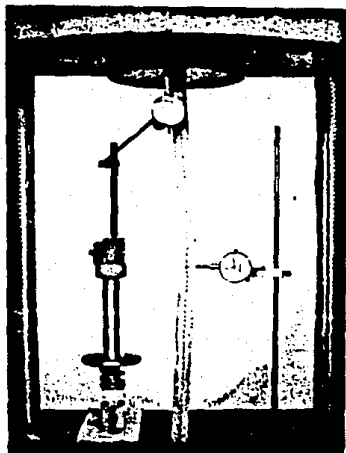


Fig. 11

Obsérvese el pandeo de la columna. Se colocó otro indicador de cuadrante para comparar el mayor pandeo (para una carga parámetro, por ejemplo 1000 kg.), que tiene la columna esbelta respecto de la intermedia.

4o. Anotar la carga a la cual ocurre la fractura de la columna, observando y dibujando en la bitácora correspondiente la forma de la falla. (Fig. 12)

- Para el Especimen # 2

- Cálculos previos al desarrollo de la prueba en este espécimen: Análogo al cálculo hecho para la muestra anterior, se obtendrá la carga de crítica de pandeo, para este segundo espécimen.

$$\begin{aligned} \text{Medidas} \quad b_n &= 3.5 \text{ cm} \\ d_n &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Datos

$$\begin{aligned} E &= 43,600 \text{ kg/cm}^2 & e_{cp} &= 50 \text{ kg/cm}^2 \\ K &= 1.0 & L &= 55 \text{ cm} & C_c &= 16 \end{aligned}$$

$$\frac{KL}{b_n} = \frac{(1)(55)}{3.5} = 15.71$$

, Comparando:

$$\frac{KL}{d_n} = \frac{(1)(55)}{5} = 11 \quad 16 > 15.71 \therefore \text{se trata de una colum}$$

na intermedia. Luego entonces:

$$e_{cd} = e_{cp} \quad \text{es decir} \quad e_{cd} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Si } e_{cd} = \frac{e_{cr}}{\text{F.S.}}, \quad e_{cr} = 50 (2.75) \quad e_{cr} = 137.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P_{cr} = (e_{cr}) (\text{Area})$$

$$P_{cr} = (137.5) (17.5) \quad P_{cr} = 2406.25 \text{ Kg.}$$

- Desarrollo:

Toda la secuencia es similar a la que se aplicó en el espécimen # 1.





Fig. 12  
Falla por pandeo.



UNAM

# T E S T S    I N G E N I E R I A    C I V I L

"Manual de Prácticas para el Laboratorio de Mecánica de  
Materiales de Ingeniería Civil de la E.N.E.P. Aragón"  
MARCO ANTONIO RAMÍREZ MEJÍA

ENEP



RGOV

## BITACORA DE LA PRUEBA DE PANDEO

A - DATOS GENERALES      FECHA: 1-OCT-87  
HOJA: 1/1

- a.- ESPECIMEN NO.: 1  
b.- TIPO DE MADERA: PINO  
c.- HUMEDAD: MINIMA  
d.- ANCHO DE LA COLUMNA, EN CM: 3  
e.- PERALTE DE LA COLUMNA, EN CM: 5  
f.- ALTURA DE LA COLUMNA, EN CM: 70  
g.- PESO DE LA COLUMNA, EN KG: 0.450  
h.- ÁREA DE LA SECCION RECTANGULAR,  
EN CM<sup>2</sup>: 15  
i.- TIPO DE COLUMNA: ESBELTA  
j.- TIPO DE APOYO: ARTICULACION

CARGA P (EN KG)	LECTURA DE DEFLECTOMETRO (I)	FACTOR DE CONVERSION (Fc)	DEFLEXION (1 x Fc) /EN MM/
250	0	0.01	0
500	0	0.01	0
750	0	0.01	0
1 000	0	0.01	0
$P_{cr} = 1 100$	1	0.01	0.01
1 250	8	0.01	0.08
1 500	15	0.01	0.15
1 750	27	0.01	0.27
2 000	38	0.01	0.38
2 250	71	0.01	0.71
2 500	112	0.01	1.12
2 750	155	0.01	1.55
3 000	218	0.01	2.18
3 250	283	0.01	2.83
3 500	387	0.01	3.87
$P_u = 3 600$	500	0.01	5

## B - RESULTADOS

- a.- CARGA CRITICA, EN KG: 1,100  
b.- DEFLEXION MAXIMA, EN MM: 5  
c.- CARGA DE RUPTURA, EN KG: 3,600  
C - TIPO DE FALLA



FALLA POR PANDEO

OBSERVACIONES: LA MUESTRA SE PRESENTA SECA, PERO AUN CONTIENE HUMEDAD, POR ELLO SE CONSIDERA DE HUMEDAD MINIMA.



## VI. OBSERVACIONES DE LA PRUEBA

La madera exhibe un comportamiento peculiar propio al someterse a la compresión. Dado que no es un material isotrópico, pues cada espécimen tiene una conformación interna distinta. La madera está formada por células, resultado de crecimientos orgánicos, que se alinean para originar una serie de tubos en la dirección de las fibras. Como resultado de esta conformación, el límite elástico es bajo, no existe un punto de falla o cedencia definido, verificándose una deformación permanente considerable antes de la falla.

Estas propiedades varían según la orientación de la carga con respecto a la dirección de las fibras. Así para cargas perpendiculares al grano de la madera, la falla por aplastamiento es la esperada. En este tipo de falla se da un colapso lateral de los tubos o fibras.

Para cargas paralelas al grano o fibras (vetas), no solamente es importante la resistencia elástica sino también la resistencia de ruptura. Distintos tipos de falla de la madera, cargada paralelamente a sus fibras, se describen en la fig. (VI.1).

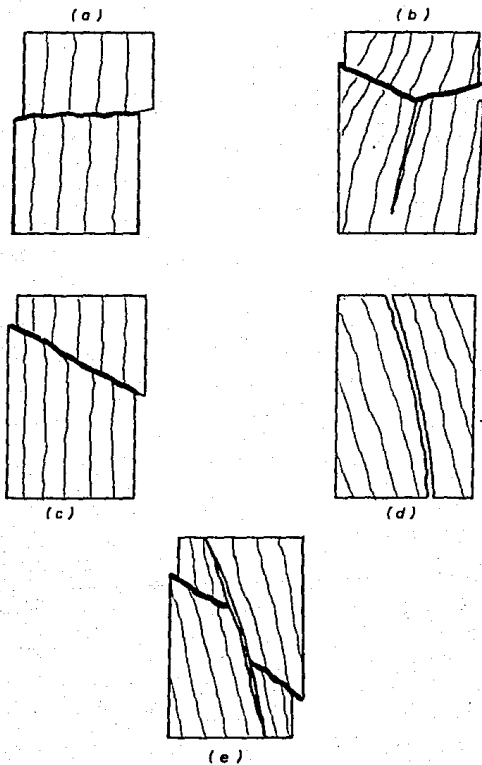


Fig. VI.1

Tipos de fallas en la madera  
bajo compresión a la fibra.

## VII. ANALISIS DE RESULTADOS

246

En la siguiente tabla se resumen las características mecánicas obtenidas de los 4 especímenes:

No. de Serie	Módulo de Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )		Resistencia al Aplastamiento (kg/cm <sup>2</sup> )		Carga Máxima Aplicada (Kg)
	*Teórica	Real	Teórica	Real	
1	40,000	43,600	-	-	3,600
2	40,000	43,600	-	-	4,815
3	40,000	43,600	370.85	363	9,075
4	40,000	-	-	252	6,300

Carga Crítica de Pandeo (Kg)		Tipo de Columna	Tipo de Falla
Teórica	Real		
990	1,100	Esbelta	Por Pandeo
2,406.25	2,250	Intermedia	Por Pandeo
-	-	Corta	Aplastamiento
-	-	Corta	Aplastamiento

\* Valor mínimo dado en la Tabla de Esfuerzos Permisibles de esta práctica. (Pag. 223)

#### a.- Módulo de Elasticidad

En base al diagrama e-d del 3er. espécimen (muestra seca o de humedad mínima) se obtuvo el módulo de elasticidad de la madera con la cual se manufacturaron los especímenes 1 y 2. Comparando el valor dado por las Normas de Estructuras de Madera del Reglamento del D. D. F. con el obtenido, se ve que ambos son equivalentes. (Aunque el valor de tablas es el mínimo. El valor medio es de 70,000 kg/cm<sup>2</sup>).

#### b.- Resistencia al Aplastamiento

Para la muestra seca, tanto el valor teórico como el real -- son similares. Al comparar el valor real de la muestra húmeda -- (252 kg/cm<sup>2</sup>) con el de la seca (363 kg/cm<sup>2</sup>) se deduce la influencia del contenido de agua en la resistencia de la madera.

Fisicamente la columna húmeda al ser cargada tuvo un deslizamiento de sus fibras en un plano diagonal, no así para la columna seca donde el aplastamiento se produjo sin desplazamientos laterales grandes (obsérvese la figura VI.1.(a) y compárela con la figura 7, página 231).

#### c.- Bitácora y gráfica.

A partir de los datos del espécimen corto seco se determinaron las cargas críticas de pandeo del primero y segundo especímenes, en forma teórica. Se nota que la carga crítica de pandeo, -- fué menor para la columna esbelta que para la intermedia, es decir la columna # 1 es menos rígida que la segunda.

Esto se nota en la tabla de análisis de resultados, donde la columna intermedia soportó mayor carga, ayudada por su relación - de esbeltez.

Finalmente se observó que las cargas críticas de pandeo teóricas y reales son aproximadas entre sí, confirmando la veracidad de la prueba.



## VIII. CONCLUSIONES

A medida que aumenta la longitud de la columna, se reduce su capacidad de soportar carga. Así una columna larga al ser comprimida falla porque se presenta repentinamente una gran deflexión lateral. Esta deflexión llamada pandeo es producida por la inestabilidad del espécimen a una cierta carga.

Gracias al diagrama  $e - d$  de una columna corta -en este caso - de madera de pino- puede establecerse el módulo de elasticidad del material y aplicarse a 2 especímenes más -también del mismo material- para hallar su carga crítica de pandeo.

La posibilidad de pandeo existe en cualquier pieza comprimida, la carga para la cual se produce la deflexión depende de la rigidez de la estructura, o parte de la misma, más que de la resistencia -- del material ensayado.

La falla en especímenes cortos se debe a que no se desarrolla un plano normal de falla, dentro de la longitud de la probeta, entonces la resistencia es apreciablemente incrementada, además de - una expansión lateral irrestricta en los extremos.

Una columna está en *equilibrio estable*, cuando al aplicársele una carga axial,  $P$  (menor a la carga crítica o de pandeo) y flexionarse, vuelve a su condición recta después de cesar esa carga.

Si  $P$  se iguala a la carga crítica, la columna presenta una *fl*cha que no desaparece, entonces se dice que la columna está en *equilibrio indiferente*.

---

Si  $P$  sobrepasa a  $P_{Cr}$  (carga crítica) la columna se fractura, -  
pues se contaba con un *desequilibrio o inestabilidad*.

APENDICE I  
**TABLAS**

- 
- TABLA 1 EQUIVALENCIAS DE UNIDADES INGLESAS EN METRICAS
- TABLA 2 CONVERSION PULGADAS - MILIMETROS
- TABLA 3 PROPIEDADES DE SECCIONES GEOMETRICAS
- TABLA 4 PROPIEDADES MECANICAS DEL HIERRO Y EL ACERO
- TABLA 5 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS METALES NO FERROSOS
- TABLA 6 PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES PESADAS NO  
FERROSAS
- TABLA 7 PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES LIGERAS NO  
FERROSAS
- TABLA 8 PROPIEDADES DE LOS TAMAROS ESTANDAR PARA MADERA
- TABLA 9 RESISTENCIA DE LA MADERA SECADA A LA INTEMPERIE
- TABLA 10 REVENIMIENTO Y FLUJO DEL CONCRETO (SEGUN SU CONSIS  
TENCIA )
- TABLA 11 CAPACIDADES DE LAS MAQUINAS DE PRUEBA Y DIMENSIO--  
NES MAXIMAS DEL ESPECIMEN
- TABLA 12 INDICADORES DE CUADRANTE

TABLA 1

EQUIVALENCIAS DE UNIDADES INGLASAS  
EN METRICAS

1 plg	=	2.5400 cm
1 plg <sup>2</sup>	=	6.4516 cm <sup>2</sup>
1 plg <sup>3</sup>	=	16.3872 cm <sup>3</sup>
1 plg <sup>4</sup>	=	41.6231 cm <sup>4</sup>
1 pie	=	0.3048 m
1 pie <sup>2</sup>	=	0.0929 m <sup>2</sup>
1 pie <sup>3</sup>	=	0.0283 m <sup>3</sup>
1 lb	=	0.4536 kg
1 plg lb	=	1.1521 cm kg
1 pie lb	=	0.1382 m kg
1 lb plg	=	0.1786 kg cm
1 lb pie	=	1.4881 kg m
1 lb plg <sup>2</sup>	=	0.0703 kg/cm <sup>2</sup>
1 lb pie <sup>2</sup>	=	16.0153 kg/m <sup>2</sup>
1 kip (1 000 lb)	=	0.4536 Ton (métrica)
1 plg kip	=	1.1521 cm Ton
1 pie kip	=	0.1382 m Ton
1 kip plg	=	0.1786 Ton/cm
1 kip pie	=	1.4881 Ton/m
1 kip plg <sup>2</sup>	=	0.0703 Ton/cm <sup>2</sup>
1 ton (2 000 lb)	=	907.18 kg = 0.90718 Ton
(°F) <sup>-1</sup>	=	1.8 (°C) <sup>-1</sup>

Fórmulas para conversión de temperaturas:

$$t_c = 5/9 (t_f - 32)$$

$$t_f = 9/5 (t_c) + 32$$

TABLA 2 CONVERSION PULGADAS  
MILIMETROS

FRACCION DE PULGADA	DECIMALES DE PULGADA	CONVERSION A MILIMETROS
1/64	0.016	0.40
1/32	0.031	0.77
3/64	0.047	1.19
1/16	0.063	1.59
5/64	0.078	1.98
3/32	0.094	2.38
7/64	0.109	2.78
1/8	0.125	3.18
5/32	0.156	3.97
5/32	0.156	3.97
11/64	0.172	4.37
3/16	0.188	4.76
13/64	0.203	5.15
7/32	0.219	5.55
15/64	0.234	5.95
1/4	0.250	6.35
17/64	0.266	6.75
9/32	0.281	7.14
19/64	0.297	7.54
5/16	0.313	7.94
21/64	0.328	8.33
11/32	0.344	8.73
23/64	0.359	9.13
3/8	0.375	9.53
25/64	0.391	9.92
13/32	0.406	10.32
27/64	0.422	10.72
7/16	0.438	11.11
23/64	0.453	11.51
15/32	0.469	11.91
31/64	0.484	12.30
1/2	0.500	12.70

TABLA 2 (continuación).

FRACCION DE PULGADA	DECIMALES DE PULGADA	CONVERSION A MILIMETROS
33/64	0.516	13.10
17/32	0.531	13.49
35/64	0.547	13.89
9/16	0.563	14.29
37/64	0.578	14.68
15/32	0.594	15.08
35/64	0.609	15.48
5/8	0.625	15.88
41/64	0.641	16.27
21/32	0.656	16.67
43/64	0.672	17.07
11/16	0.688	17.46
45/64	0.703	17.86
23/32	0.719	18.26
47/64	0.734	18.65
3/4	0.750	19.05
49/64	0.766	19.45
25/32	0.781	19.84
51/64	0.797	20.24
13/16	0.813	20.64
53/64	0.828	21.03
27/32	0.844	21.43
55/64	0.859	21.83
7/8	0.875	22.23
57/64	0.891	22.62
29/32	0.906	23.02
59/64	0.922	23.42
15/16	0.938	23.81
61/64	0.953	24.21
31/32	0.969	24.61
63/64	0.984	25.01
1	1.000	25.40

## Propiedades de Secciones Geométricas

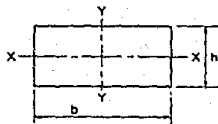
Todas las propiedades de las secciones siguientes, están tomadas con relación a los ejes centroidales.

### Rectángulo

$$A = bh,$$

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3,$$

$$r_x = \sqrt{I_x/A} = 0.288h.$$



Rectángulo

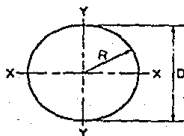
### Círculo

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2 = \pi R^2,$$

$$I_x = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi R^4}{4},$$

$$r_x = \sqrt{I_x/A} = \frac{D}{4} = \frac{R}{2},$$

$$J = I_x + I_y = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{\pi R^4}{2}.$$



Círculo

### Semicírculo

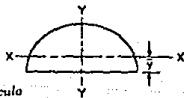
$$A = \frac{1}{2}\pi D^2 = \frac{1}{2}\pi R^2,$$

$$\bar{y} = \frac{4r}{3\pi},$$

$$I_x = 0.00682D^4 = 0.11R^4,$$

$$I_y = \frac{\pi D^4}{128} = \frac{\pi R^4}{8},$$

$$r_x = 0.264R.$$



Semicírculo



TABLA 3 (continuación).

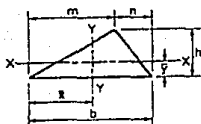
Triángulo:

$$A = \frac{1}{2}bh,$$

$$\bar{y} = \frac{h}{3},$$

$$\bar{x} = \frac{L+m}{3},$$

$$I_x = \frac{1}{36}bh^3.$$



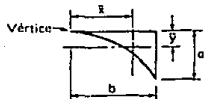
Triángulo

Sector parabólico

$$A = \frac{2}{3}ab,$$

$$\bar{x} = \frac{2}{3}b,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{3}a.$$



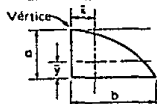
Timpano parabólico

Parábola

$$A = \frac{2}{3}ab,$$

$$\bar{x} = \frac{2}{3}b,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{3}a.$$

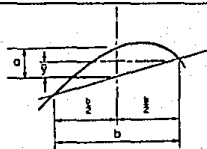


Sector parabólico

Segmento limitado por una parábola y una secante

$$A = \frac{2}{3}ab,$$

$$\bar{y} = \frac{1}{3}a.$$



Área Limitada por una Parábola y una secante

TABLA 4. PROPIEDADES MECANICAS DEL HIERRO Y EL ACERO \*

Material	Resistencia a la tracción, lbs./plg. <sup>2</sup>		Resistencia a la cedencia por compresión, lbs./plg. <sup>2</sup>		Resistencia al corte por tensión, lbs./plg. <sup>2</sup>		Módulo de elasticidad, 10 <sup>6</sup> lbs./plg. <sup>2</sup>		Porcentaje de elongación en 2 plg.		Número de ciclos de prueba	Módulo de tenacidad, lb./plg. <sup>2</sup>	Límite de duración, % sobre longitud inicial, plg./plg.
	Resist. a la tracción	Util. máx.	Resist. a la cedencia	Util. máx.	Tensión	Corte	Tensión	Corte	%	%			
Fundición gris .....	30	35	37	23	8	1	130	80	11				
Fundición blanca .....	100	100	60	40	20	8	150						
Fundición al níquel, 1.5% de níquel .....	48	60	20	8	1	200							
Hierro martelado .....	33	50	31	19	48	21	10	14	120			20	
Hierro en lingotes, secado, 0.02% de carbono .....	21	42	21	15	40	30	12	15	70			20	
Hierro forjado, 0.10% de carbono .....	30	50	30	18	25	27	10	30	100	14 000		25	
Acero, 0.20% de carbono:													
Rolado en caliente .....	60	60	40	24	45	30	12	35	130	16 000		31	
Rolado en frío .....	60	60	40	30	40	30	12	35	140	12 000		32	
Fundiciones secadas .....	35	50	33	21	45	40	12	25	140				
Acero, 0.40% de carbono:													
Rolado en caliente .....	42	70	42	25	55	40	12	21	141				
Tratamiento térmico para grano fino .....	50	60	40	26	25	40	10	25	150				
Fundiciones secadas .....	35	55	35	21	51	30	12	15	140				
Acero, 0.60% de carbono:													
Rolado en caliente .....	63	100	63	37	60	30	12	15	240	12 000		50	
Con tratamiento térmico para grano fino .....	78	120	78	47	100	50	12	15	245	15 000		55	
Acero, 0.80% de carbono:													
Rolado en caliente .....	76	120	71	44	105	40	12	10	240				
Apagado en aceite, no laminado .....	125	140	125	75	140	50	12	2	340				
Acero, 1.00% de carbono:													
Rolado en caliente .....	83	110	82	50	115	30	12	10	240	11 000		60	
Apagado en aceite, no laminado .....	110	210	110	84	185	30	12	1	440	2 000		100	
Acero al níquel, 3.5% de níquel, 0.40% de carbono, máxima dureza para maquinabilidad .....	150	170	150	90	110	30	12	120	11 000			76	
Acero al cromo-níquel, 1.55% de cromo, 0.20% de níquel, templado para resaca .....	150	174	150	78	135	10	12	1	60	25 000			

Nota: La mayoría de los datos dependen tanto del tratamiento térmico como de su composición para dar ciertas propiedades mecánicas particulares.

\* Basado en F. B. Kelly, *Resistance of Materials (Resistencia de Materiales)*, Wiley, New York, 1917, and *Metals Handbook (Manual de Metales)*, 1948, American Society for Metals (Soc. Norteamericana para los Metales), Cleveland, Ohio, 1948.

† A 0.2% de desviación.

TABLA 5 PROPIEDADES MECANICAS DE LOS METALES  
NO FERROSOS \*

Metal	Resistencia a la tracción por sección lb/plg <sup>2</sup> **	Resistencia a la tracción lb/plg <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad en tonidas. 10 <sup>6</sup> lb/plg <sup>2</sup>	Elongación en 2 plg. porcentaje	No. de dureza de Bridell	Pro. lb/plg <sup>2</sup>
Cobre, 0.25 plg grueso:						
Resistencia tipo de 0.01 pul an	10 000	22 000	16	45	47	0.320
Duro	45 000	60 000	16	12	105	0.320
Niquel:						
Niquel en caliente	25 000	75 000	30	45	110	0.319
8-lbs duro	120 000	145 000	30	2	...	0.319
Cuar:						
Tratado	...	8 000	11	1	...	0.240
Líquido resaca duro	5 000	74 000	12	35	...	0.240
Aluminio:						
Tratado en agua, 1100 F.	6 000	11 000	9	22	...	0.097
Líquido resaca, 1100 F.	5 000	17 000	10	25	23	0.097
Líquido duro, 1100 F. H18	21 000	21 000	10	5	44	0.097
Magnesio:						
Tratado	600	13 000	6	6	30	0.063
Resaca	1 200	28 000	6	8	25	0.063
Resaca	3 000	25 000	6	4	40	0.063

\* Basado en el Metal Handbook (Manual de Metales), 1961 [143].  
 † Resistencia al relajamiento con gradado de, aproximadamente, 0.2%.

TABLA 6. PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES PESADAS NO FERROSAS\*

Aleación	Composición aproximada, porcentajes	Resistencia a la cedencia por tensión, 1 lb/plg <sup>2</sup>	Resistencia a la tensión lb/plg <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad por tensión, 10 <sup>6</sup> lb/plg <sup>2</sup>	Porcentaje de elongación en 2 plg	Resistencia al corte, lb/plg <sup>2</sup>	Número de dureza Rockwell	Peso, lb/plg <sup>3</sup>
Latón para corse libre:								
Recocido	Cobre 61.5, zinc 35.5, plomo 3	18 000	49 000	12	53	30 000	F68	0.30
1/4 duro 15% de reducción		45 000	56 000	12	20	31 000	H62	0.30
Medio duro, 25% de reducción		52 000	68 000	14	18	35 000	H50	0.30
Latón con alto contenido de plomo (0.04 plg de grueso):								
Recocido, grano de 0.050 mm	Cobre 65, zinc 31, plomo 2	15 000	47 000	12	55	31 000	F66	0.30
Enfriado		62 000	85 000	15	5	15 000	F67	0.30
Latón rojo (0.01 plg de grueso):								
Recocido, grano de 0.070 mm de grueso extra duro	Cobre 85, zinc 15	10 000	39 000	12	38	31 000	F66	0.31
Enfriado		61 000	78 000	15	4	14 000	H84	0.31
Bronce al aluminio:								
Vaciado en arena	Cobre 89, aluminio 8, hierro 3	28 000	75 000	...	40	...	...	0.30
Enfriado		47 000	82 000	18	25	...	...	0.30
Cobre al berilio:								
A (solución recocida)	Cobre 97.9, berilio 1.9, níquel 0.2	...	70 000	18	35	...	H63	0.32
H.T. endurecido		150 000	200 000	18	2	...	C62	0.32
Bronce al manganeso (A):								
Recocido, suave, duro 15% de reducción	Cobre 58.5, zinc 39, hierro 1.4, estaño 1, manganeso 0.1	30 000	65 000	13	35	42 000	H65	0.30
Enfriado		60 000	82 000	15	25	47 000	H90	0.30
Bronce al fósforo, 5% (A):								
Recocido, grano de 0.035 mm	Cobre 95, estaño 5	22 000	49 000	11	57	...	H11	0.32
Enfriado, grano de 0.015 mm		52 000	94 000	17	5	...	H14	0.32
Cuproníquel, 30%:								
Recocido a 1400°F. laminado en frío, 50% de reducción	Cobre 70, níquel 30	50 000	55 000	22	45	...	H17	0.32
		78 000	85 000	22	15	...	H81	0.32

\* Basado en el Metals Handbook, 1963 [142].

TABLA 7 PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES LIGERAS NO FERROSAS\*

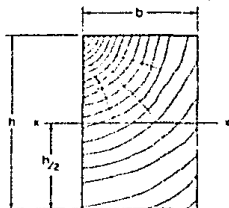
Aleación	Composición aproximada, porcentaje	Resistencia a la cedencia por tensión,† lb/plg²	Resistencia a la tensión, lb/plg²	Módulo de elasticidad en tensión, 10⁶ lb/plg²	Porcentaje de elongación en 2 plg	Resistencia al corte, lb/plg²	Número de dureza de Rockwell	Límite de fatiga para fricción, lb/plg²	Peso, lb/plg³
Aleación de aluminio 2024. Temple 0 Temple T36	Aluminio 93, cobre 4.5, magnesio 1.5, manganeso 0.6	11 000	27 000	10.4	20	19 000	H90	11 000	0.100
		27 000	72 000	10.6	13	41 000	E80	18 000	0.100
Aleación de aluminio 7014 Temple 0 Temple T6	Aluminio 93, cobre 4.4, silicio 0.8, manganeso 0.8, magnesio 0.4	14 000	37 000	10.0	18	15 000	H92	13 000	0.102
		40 000	70 000	10.6	13	42 000	E81	18 000	0.102
Aleación de aluminio 5052. Temple 0 Temple H38	Aluminio 97, magnesio 2.5, cobre 0.25	11 000	28 000	10.0	30	15 000	H91	16 000	0.096
		37 000	43 000	10.0	8	24 000	E85	20 000	0.096
Aleación de aluminio 5456. Temple 0 Temple H121	Aluminio 94, magnesio 3.0, manganeso 0.7, cobre 0.15, cobre 0.15	21 000	45 000	....	21	28 000	....	....	0.092
		37 000	31 000	....	16	30 000	....	....	0.092
Aleación de aluminio 7075. Temple 0 Temple T6	Aluminio 90, cinc 5.5, cobre 1.5, magnesio 2.5, cobre 0.3	15 000	33 000	....	17	22 000	E65	....	....
		23 000	83 000	....	11	48 000	H90	23 000	....
Aleación de magnesio AM100A. Fundición, condición F Fundición, condición T61	Magnesio 90, aluminio 10, manganeso 0.1	12 000	23 000	6.3	3	18 000	E64	10 000	0.064
		22 000	40 000	6.3	4	21 000	E60	10 000	0.064
Aleación de magnesio AZ63A. Fundición, condición F Fundición, condición T6	Magnesio 91, aluminio 8, cinc 3, manganeso 0.2	12 000	29 000	6.3	6	18 000	E59	11 000	0.064
		19 000	10 000	6.3	5	20 000	E61	11 000	0.064

\* Basado en el Metals Handbook, 1961, [143].

† Resistencia a la cedencia con 0.2% de derivación.

TABLA 8

## Propiedades de los Tamaños Estándar para Madera



El momento de inercia y el módulo de sección se dan con respecto al eje z-z de acuerdo con las dimensiones b y h mostradas en el esquema. Esta tabla se reproduce con permiso de la Asociación Nacional de Productos Forestales.

Tamaño nominal b A	Tamaño labrado Estándar S4S b A	Área de la sección $A = bh$	Momento de inercia $I = bh^3/12$	Módulo de sección $S = bh^2/6$	Pies tablon por pie lineal de la pieza
2 x 4	1 1/2 x 3 1/2	5.89	6.15	3.56	3
2 x 6	1 1/2 x 5 1/2	8.93	22.53	8.19	1
2 x 8	1 1/2 x 7 1/2	12.19	57.13	15.23	1 1/2
2 x 10	1 1/2 x 9 1/2	15.44	116.10	24.44	1 3/4
2 x 12	1 1/2 x 11 1/2	18.69	205.95	35.82	2
3 x 4	2 1/2 x 3 1/2	9.52	10.12	5.75	1
3 x 6	2 1/2 x 5 1/2	14.43	36.40	13.21	1 1/2
3 x 8	2 1/2 x 7 1/2	19.69	92.29	21.61	2
3 x 10	2 1/2 x 9 1/2	24.91	187.55	39.48	2 1/2
3 x 12	2 1/2 x 11 1/2	30.19	332.69	57.86	3
4 x 6	3 1/2 x 5 1/2	19.95	50.25	18.28	2
4 x 8	3 1/2 x 7 1/2	27.19	127.44	34.98	2 1/2
4 x 10	3 1/2 x 9 1/2	34.41	259.00	54.33	3
4 x 12	3 1/2 x 11 1/2	41.69	479.17	79.99	4
4 x 14	3 1/2 x 13 1/2	48.91	744.21	110.11	4 1/2
4 x 16	3 1/2 x 15 1/2	56.19	1,124.92	145.35	5 1/2
6 x 6	5 1/2 x 5 1/2	30.25	76.26	27.73	3
6 x 8	5 1/2 x 7 1/2	41.25	194.36	51.56	4
6 x 10	5 1/2 x 9 1/2	52.25	392.96	82.73	5
6 x 12	5 1/2 x 11 1/2	63.25	697.07	121.23	6
6 x 14	5 1/2 x 13 1/2	74.25	1,127.67	167.09	7
6 x 16	5 1/2 x 15 1/2	85.25	1,706.78	220.23	8
6 x 18	5 1/2 x 17 1/2	96.25	2,456.38	280.73	9

TABLA 8 (continuación)

Tamaño nominal		Tamaño labrado estándar S18		Área de sección	Momento de inercia	Modulo de sección	Pes tablon por pie lineal de la pieza
b	h	b	h	A = bh	$I = bh^3/12$	$S = bh^2/6$	
8 × 8	7 1/2 × 7 1/2	7 1/2	7 1/2	56.25	263.67	70.31	5 1/2
8 × 10	7 1/2 × 9 1/2	7 1/2	9 1/2	71.25	535.86	112.51	6 1/2
8 × 12	7 1/2 × 11 1/2	7 1/2	11 1/2	86.25	920.15	165.41	8
8 × 14	7 1/2 × 13 1/2	7 1/2	13 1/2	101.25	1,337.74	227.61	9 1/2
8 × 16	7 1/2 × 15 1/2	7 1/2	15 1/2	116.25	2,327.12	309.31	10 1/2
8 × 18	7 1/2 × 17 1/2	7 1/2	17 1/2	131.25	3,319.61	402.61	12
8 × 20	7 1/2 × 19 1/2	7 1/2	19 1/2	146.25	4,625.00	475.60	13 1/2
10 × 10	9 1/2 × 9 1/2	9 1/2	9 1/2	90.25	673.56	112.50	8 1/2
10 × 12	9 1/2 × 11 1/2	9 1/2	11 1/2	109.25	1,204.01	209.10	10
10 × 14	9 1/2 × 13 1/2	9 1/2	13 1/2	128.25	1,917.80	288.56	11 1/2
10 × 16	9 1/2 × 15 1/2	9 1/2	15 1/2	147.25	2,933.07	389.10	13 1/2
10 × 18	9 1/2 × 17 1/2	9 1/2	17 1/2	166.25	4,212.84	484.90	15
10 × 20	9 1/2 × 19 1/2	9 1/2	19 1/2	185.25	5,870.11	602.06	16 1/2
12 × 12	11 1/2 × 11 1/2	11 1/2	11 1/2	132.25	1,357.51	253.00	12
12 × 14	11 1/2 × 13 1/2	11 1/2	13 1/2	155.25	2,357.86	349.21	14
12 × 16	11 1/2 × 15 1/2	11 1/2	15 1/2	178.25	3,568.71	469.18	16
12 × 18	11 1/2 × 17 1/2	11 1/2	17 1/2	201.25	5,106.07	599.63	18
12 × 20	11 1/2 × 19 1/2	11 1/2	19 1/2	224.25	7,105.92	728.81	20
12 × 22	11 1/2 × 21 1/2	11 1/2	21 1/2	247.25	9,530.00	887.10	22
12 × 24	11 1/2 × 23 1/2	11 1/2	23 1/2	270.25	12,435.00	1,057.50	24

Tablero basado en el cálculo en una taja de un pie de ancho y espesores indicados

1'0 × 2'	12 × 12	19.50	1.29	5.23	2
1'0 × 3'	12 × 24	31.50	18.00	14.50	3
1'0 × 4'	12 × 36	42.00	42.00	24.50	4

TABLA 9 RESISTENCIA DE LA MADERA SECADA A LA INTemperIE\*\*

Nombre comercial	Peso específico	Proc. H por	Flexión estática*			Flexión por impacto, altura de caída que causa la falla, golpe de 50 lb. por plg.	Compresión paralela al grano*		Compresión axial perpendicular del grano, esfuerzo en el límite proporcional, lb. por plg. <sup>2</sup>	Corte paralelo al grano, resistencia máxima, lb. por plg. <sup>2</sup>
			Esfuerzo en las fibras en el límite proporcional, lb. por plg. <sup>2</sup>	Módulo de			Esfuerzo en el límite proporcional lb. por plg. <sup>2</sup>	Resistencia máxima, lb. por plg. <sup>2</sup>		
				Ruptura, lb. por plg. <sup>2</sup>	Elasto estád.	10 <sup>6</sup> por plg. <sup>2</sup>				
Hueso de Oregon.....	0.55	24	7,100	12,700	1,360	34	4,100	6,000	1,500	1,700
Cedar, tipo occidental.....	0.44	21	5,300	7,700	1,120	47	4,300	5,020	600	800
Douglas fir (de la costa).....	0.48	30	8,100	11,700	1,920	30	6,450	7,420	900	1,100
Hemlock, occidental.....	0.42	26	6,500	10,100	1,400	26	5,340	6,210	650	1,170
Jetón, verdoliva.....	0.74	16	10,500	19,700	2,480	23	8,970	2,310	2,310	2,400
Leusit, negro.....	0.69	15	12,800	19,400	2,650	27	6,800	10,100	2,260	2,400
Soaple, rojo.....	0.54	18	8,700	13,000	1,640	32	4,650	6,500	1,200	1,800
Roble, blanco.....	0.67	42	7,900	14,000	1,620	39	4,350	7,000	1,400	1,800
Pino de ponderosa.....	0.40	25	6,300	9,200	1,260	17	4,000	5,270	740	1,160
Pino de hoja larga.....	0.58	26	9,300	14,700	1,990	34	6,150	8,400	1,300	1,500
Madera roja (virgen).....	0.40	25	6,900	10,000	1,400	19	4,600	6,150	800	900
Aliso de Suka.....	0.40	25	6,700	10,200	1,570	25	4,700	5,640	740	1,150

\* West Hardwood Manual de la Madera, Forest Products Laboratory (Laboratorio de Productos Forestales), U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1955.

\*\* Todas las pruebas son de madera limpia de grano recto con un contenido de humedad de 12%.

\* Prueba de 2 x 2 x 30 plg. sobre estado de 25 plg.

\* Prueba de 2 x 2 x 6 plg. 6 plg. longitud.

\* Prueba de 2 x 2 x 6 plg. 6 plg. bajo carga.

\* 6 plg. bajo carga. Resistencia al corte transversal al grano, aproximadamente 3 veces el equivalente de la paralela al grano.



TABLA 10 RANGO APROXIMADO DE REVENIMIENTO Y FLUJO DEL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE CONSISTENCIA

Consistencia	Revenimiento* plg	Flujo %	Observaciones
Seca . . . .	0-1	0-20	Se desmorona y separa bajo manejo ordinario, puede compactarse hasta convertirse en una masa rígida mediante picado vigoroso, alta presión, o vibración, pero a menos que se tenga cuidado exhibirá huecos y apalamiento.
Rígida . .	¼-2¼	15-60	Tiende a mantenerse como pilón; se mantiene unida bastante bien, pero se desmorona en el tobozón. Con cuidado y esfuerzo puede compactarse en una masa sólida y densa; satisfactoria para compactación vibratoria.
Mediana . .	2-5¼	50-100	Términos alternos: plástica, atoluda, vibrátil. Fácilmente moldeable, aunque requiere algún cuidado, logrará la completa compactación.
Húmeda . .	5-8	90-120	El pilón se aplasta fácilmente al vaciarlo; puede colarse en el lugar definitivo.
Delgada . .	7-10	110-150	La lechada o el mortero tiende a salirse del pilón, abandonando al material más grueso.

\* La penetración del balón es aproximadamente la mitad del revenimiento.

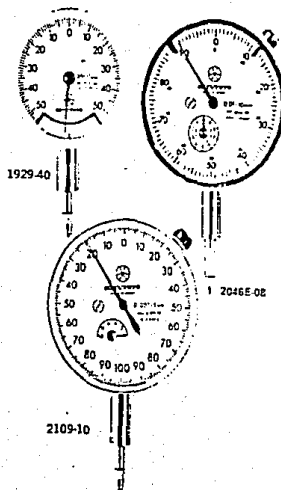
TABLE 11. CAPACIDADES DE LAS MAQUINAS DE PRUEBA Y DIMENSIONES MAXIMAS DEL ESPECIMEN.

Model	Range Capacities and Load Division Values (No. 1)	Nominal Machine Size Specimen						Stroke	Clearance Between Screens	Testing Speeds in. per min.	Adjustable Capacity of Spread in. per min.	Dimensions			Weight, lbs. (Approx.)		
		Tension			Compression							Length	Depth	Height** + Stroke	Net	Gross	
		Weight + Stroke Back & Load Piston	Width	Dia.	Thick.	Height	Back & Load Piston										Cap
30	30,000-25; 12,000-10; 3,000-2.5; 600-5	74"	—	2"	1 1/4"	1"	22"	—	6"	14"	0.3"	70"	6"	12"	6"	2,300	2,500
50	50,000-50; 24,000-20; 6,000-5; 1,200-1	74"	—	2"	1 1/4"	1"	22"	—	6"	14"	0.3"	20"	6"	12"	6"	2,300	2,600
120	170,000-150; 69,000-50; 12,000-10; 2,400-2	32"	—	2 1/2"	2 1/4"	1 1/4"	24"	—	6"	20"	0.3"	12"	7 1/2"	2 1/2"	6 1/4"	4,500	5,400
20011	270,000-250; 1,000,000-150; 20,000-20; 5,000-5	34"	30"	3"	2 1/4"	2 1/4"	25"	30"	9"	22"	0.3"	12"	7 3/4"	2 5/8"	7 5/8"	6,000	6,700
30011	300,000-250; 1,000,000-150; 20,000-20; 5,000-5	38"	32"	3 1/2"	2 3/4"	2 3/4"	31"	36"	9"	24"	0.3"	12"	7 3/4"	2 5/8"	8 1/2"	7,500	8,500
40011	400,000-500; 1,500,000-250; 40,000-50; 8,000-10	38"	32"	3 1/2"	2 3/4"	2 3/4"	31"	36"	9"	24"	0.3"	12"	7 3/4"	2 5/8"	8 1/2"	8,200	9,500

J. B. I. S.

TABLA 12

Indicadores de Cuadrante



	No.	ANSI	Graduation	CAPAC	Lectura	Range por Rev.	Cont. Rev.	Antitecho	Bake Engrasado	NID Engrasado	Impermeable
SERIE 1	1011-11	---	0.02mm	0.5mm	0.100	0.2mm					
	1044-110	1044-01	0.01mm	5mm	0.100	1mm	X	X			
	1045E	1045-01	0.01mm	5mm	0.500	1"					
	1156	---	.001"	.130"	0.100	1"					
	1159	---	0.02mm	2.5mm	0.1300	2.6mm					
SERIE 2	2046E08	2016-01	0.01mm	10mm	0.100	1mm	X	X	X		
	---	2046-11	0.01mm	10mm	0.100	1mm	X	X	X		
	2047F08	2017-01	0.01mm	10mm	0.500	1mm					
	2109E10	---	0.02mm	1mm	0.100	0.2mm	X	X	X	X	
SERIE 3	2048E10	---	0.01mm	10mm	0.100	1mm	X	X	X		
	2416	---	.001"	1.000"	0.100"	1"	X	X	X		
	2416-10	---	.001"	1.000"	0.100"	1"	X	X	X		
	2417	---	.001"	1.000"	0.500"	1"	X	X	X		
	2424	---	.001"	2.000"	0.100"	1"	X	X	X		
2470-50	---	.0025"	.050"	0.25"	.025"						
SERIE 4	3785	---	.001"	.125"	0.50	.05"					
	3781	---	.001"	.125"	0.250	.05"					
	3802	3802-10	.0021"	.025"	0.10	.01"	X	X	X		
	3805	3823-10	.0021"	.025"	0.50	.01"	X	X	X		
SERIE 5	---	3010-11	0.02mm	0.5mm	0.20	0.2mm	X	X	X		
	---	3011-11	0.02mm	0.5mm	0.100	0.2mm	X	X	X		
	3022	3032-01	0.01mm	10mm	0.100	1mm	X	X	X		
	---	3052-11	0.01mm	10mm	0.100	1mm	X	X	X		
	3256	3018-01	0.01mm	10mm	0.100	1mm	X	X	X		
	---	3058-11	0.01mm	10mm	0.100	1mm	X	X	X		
	3220	3210-01	0.01mm	2.5mm	0.100	1mm					
3231	3231-01	0.01mm	2.5mm	0.500	1mm						
SERIE 6	4230	4230-01	0.01mm	2.5mm	0.100	1mm					
	4231	4231-01	0.01mm	2.5mm	0.500	1mm					
	4410	---	.001"	.750"	0.100	1"					
	4411	---	.001"	.250"	0.500	1"					
	4570	---	.0025"	.075"	0.32	.03"					

ANSI: CARATULA AMARILLA VASTAGO 952

**APENDICE II**  
**VOCABULARIO**

Definiciones de términos relacionados a las pruebas mecánicas de materiales.

A.- TERMINOS GENERALES

a.- Propiedades Mecánicas.- Algunos autores las llaman "propiedades físicas", y son todas las propiedades de un material que están asociadas con la respuesta elástica e inelástica de éste, después de haber sido aplicada una fuerza.

b.- Deformación.- Es el cambio de unidad debido a una fuerza, de la forma o tamaño originales de un cuerpo. La deformación está expresada en cm/cm o pulgada/pulgada.

- Nota 1.- La deformación en un punto está definida por 6 componentes de deformación: 3 componentes lineales y 3 componentes referidas a un sistema de ejes.

- Nota 2.- En las Normas de la A.S.T.M., originalmente se refiere a las dimensiones o forma de la sección del espécimen, que está siendo esforzado durante la prueba.

- Nota 3.- En las pruebas de tensión, compresión o torsión, se acostumbra mencionar solamente una componente de deformación. Esta es la componente axial.

b.1 - Deformación lineal. (Tensiva o compresiva). Es el cambio por unidad de longitud debido a una fuerza, de la dimensión lineal original. Por lo general un incremento en la longitud es considerado como positivo.

- b.2 - Deformación axial.- Es la deformación lineal en un plano - paralelo al eje longitudinal del espécimen.
- b.3 - Deformación transversal.- Es la deformación lineal en un - plano perpendicular al eje longitudinal del espécimen.
- b.4 - Deformación por corte.- Es la tangente del cambio angular, debido a una fuerza, entre 2 líneas originalmente perpendicu- culares a través de un punto en un cuerpo.
- c.- Esfuerzo.- Es la intensidad en un punto de las fuerzas interio- res o componentes de la fuerza que actúan sobre un plano dado. - El esfuerzo está dado en fuerza por unidad de área, es decir, kí- logramos por centímetro cuadrado o libras por pulgada cuadrada.
- c.1 - Esfuerzo Normal.- Es la componente del esfuerzo, perpendi- cular al plano sobre el cual actúa la fuerza. Este esfuer- zo normal puede dividirse en:
- Esfuerzo Tensivo.- Es el esfuerzo normal debido a fuerzas dirigidas lejos del plano sobre el cual actúan. Este es- fuerzo es positivo.
  - Esfuerzo Compresivo.- Es el esfuerzo normal debido a fuer- zas dirigidas alrededor del plano sobre el cual actúan. Es- te esfuerzo es negativo.
- c.2 - Esfuerzo por Corte.- Es la componente del esfuerzo, tangen- cial al plano sobre el cual actúa la fuerza.
- c.3 - Esfuerzo por torsión.- Es el esfuerzo por corte sobre una sección transversal, y es resultado de la acción de giro - que sufre el espécimen.
- c.4 - Esfuerzo verdadero.- Es el esfuerzo axial en una prueba --

de tensión o de compresión.

c.5 - Esfuerzo principal.- Es el máximo o mínimo valor del esfuerzo normal en un punto.

Existen 3 esfuerzos principales sobre 3 planos mutuamente perpendiculares. El estado de esfuerzos en un punto puede ser:

- (1).- Uniaxial - Es un estado de esfuerzos en el cual dos de los tres esfuerzos principales vale cero.
- (2).- Biaxial - Es un estado de esfuerzos en el cual sólo uno de los tres esfuerzos principales vale cero.
- (3).- Triaxial - Es un estado de esfuerzos en el cual ninguno de los tres esfuerzos principales vale cero.

d.- Diagrama Esfuerzo-Deformación.- Es un diagrama en el cual los valores correspondientes del esfuerzo y de la deformación son graficados. Los valores del esfuerzo se grafica en las ordenadas (eje vertical) y los valores de la deformación en las abscisas (eje horizontal).

e.- Fuerza Compresiva.- Es el máximo esfuerzo compresivo que un material sea capaz de sostener. Se calcula a partir de la máxima carga durante la prueba de compresión.

f.- Ductilidad.- Es la capacidad de un material a deformarse plásticamente antes de su fractura.

NOTA 1 - La ductilidad es usualmente evaluada por:

- Comparar valores de elongación o reducción de área durante la prueba de tensión.

---

**APENDICE III**  
***ACETATO***



- 8.- "DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS" (2a. Ed.)  
Autor: Jack C. Mc. Cormac  
Editorial: Representaciones y servicios de Ingeniería,  
S. A., 789 pags.
- 9.- "DISEÑO DE CONCRETO ARMADO" (1a. Ed.)  
Autores: Noel J. Everard  
John L. Tanner  
Editorial: Mc Graw Hill.  
- Serie de Compendios Schaum-, 349 pags.
- 10.- NORMAS DE LA A.S.T.M.  
Normas: E6-76, E558-75, B565-76, E128, E139-79,  
E132-61, A370 y E8-70a.
- 11.- BOLETINES NUMEROS 95, 95A y 98 DE LA COMPAÑIA TINNIUS OLSEN.
- 12.- FILMES NUMEROS 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 DE LA FILADECA DE LOS LA-  
BORATORIOS DE INGENIERIA CIVIL DE LA E.N.E.P. ARAGON.