

72  
2016

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA  
DE  
MEXICO



ESTUDIO ESTADISTICO DE LAS  
PROPIEDADES MECANICAS DE BARRAS DE  
ACERO PARA CONCRETO REFORZADO CON  
PRESENCIA EN EL MERCADO NACIONAL

---

TESIS PROFESIONAL  
INGENIERIA CIVIL

RAFAEL  
LOPEZ  
LOPEZ

MOISES  
VAZQUES  
ISLAS

MEXICO  
1994

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Gracias al creador quien me ha permitido alcanzar esta meta y sobretodo la dicha de compartir el éxito con mis Padres, hermanos y amigos.

Por supuesto a mis Padres, a quienes debo un profundo agradecimiento por el cuidado, la comprensión y su incondicional generosidad manifestada en todas sus formas y quienes han sido el pilar de mi superación. Me uno a la celebración de un anhelo hecho realidad, donde la terminación del presente trabajo no se hubiera concretado sin su ayuda.

Los quiero.

A mis hermanos de quienes me siento orgulloso y de los que estoy seguro el éxito será su compañero.

A mi tío Carlos, el hombre que en mi adolescencia me ayudo a decidir por el buen camino y a quien le he aprendido muchas de sus virtudes.

A mi tío Jorge, a quien le agradezco su valiosa y oportuna ayuda a mi familia en una difícil etapa, y con la que el progreso se facilito notablemente.

Toño, tu ejemplo, tu alegría, tu generosidad siempre vivira en nuestros corazones porque a todos nos brindaste una gran lección.

Estoy convencido que celebras con nosotros la culminación de mi carrera y que indudablemente en algún lugar nos volveremos a ver.

A tu memoria

Al Ing. Héctor Javier Guzman Olgin.

Modelo de superación y bienestar, alque admiro su capacidad para vivir en un clima de tranquilidad y convivencia, un amigo que indiscutiblemente vale oro.

A los Señores. Enrique Soriano y  
Roberto Calderón.

Compañeros excepcionales y a quienes  
les guardo mi respeto y admiración por  
su gran calidad humana.

A todos mis amigos que me han  
acompañado en los malos y buenos  
momentos de mi vida, Antonio Ríos, Antonio  
Zarraga, etc, etc.

Gracias por estar aquí.

"Quien no participa en la jugada nunca  
podrá equivocarse, pero tampoco nunca ganará."

HRISTO  
STOICHKOV.

Atte. Rafael



A mis padres:

Que me ofrecieron la  
opción para formarme  
como profesional, mi  
permanente gratitud  
y amor incondicional.

Gracias.

A mi hijo:

A quien le ofrezco mis  
hombros, con la posibi-  
lidad de un horizonte  
más amplio.

A mis hermanos:

Por la valiosa informalidad  
y desenfadado con la que par-  
ticipan en los momentos im-  
portantes de mi vida.

**A mi tía Senorina:**

Por permitirme formar parte de la exclusividad de su espacio, y haberme compartido su cariño.

**A mi primo Antonio:**

Ejemplo de madurez cabal, por haber respaldado mi necesidad de comunicación y afecto.

**AL ING. HECTOR JAVIER GUZMAN OLGUIN:**

Por el apoyo moral intelectual en el desarrollo del presente-trabajo.

ATENTAMENTE MOISES VAZQUEZ ISLAS.

## CAPITULACION

INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1 ANTECEDENTES.....	5
CAPITULO 2 NORMATIVIDAD.....	27
CAPITULO 3 DESCRIPCION DE PRUEBAS.....	58
CAPITULO 4 ESFUERZO DE FLUENCIA.....	64
CAPITULO 5 ESFUERZO DE TENSION.....	120
CAPITULO 6 TENSION - FLUENCIA.....	158
CAPITULO 7 ESFUERZO CORTANTE.....	165
CAPITULO 8 DOBLADO.....	203
CAPITULO 9 INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	212
CAPITULO 10 CONCLUSIONES.....	232
BIBLIOGRAFIA.....	235

## INTRODUCCION

El uso extensivo de los estudios experimentales preliminares al diseño y construcción de nuevas estructuras y el uso de procedimientos de ensaye para control de procesos de manufactura y construcción, -- son hechos significantes y bien reconocidos de nuestro desarrollo -- técnico. Prácticamente todas las ramas de la ingeniería, especialmente aquellas que tratan con estructuras, conciernen íntimamente a los materiales, cuyas propiedades deben ser determinadas con ensayos. La producción y control de calidad de los productos manufacturados, lo que implica un sistema de muestreo y ensaye. La preparación de especificaciones adecuadas y la aceptación del material comprado de -- acuerdo con las especificaciones involucra la comprensión de los métodos de ensaye e inspección. El arreglo de las disputas relacionadas con las fallas y la calidad subnormal casi invariablemente demanda -- investigaciones que involucren ensayos físicos. La investigación de -- ingeniería y la función de desarrollo en gran escala con base experimental demandan ensayos bien estudiados y cuidadosamente planeados.

Para la inteligente estimación y el uso de los resultados de los ensayos, es importante para los ingenieros, aún para aquellos no ocupados en la labor de ensaye real, poseer una comprensión general de los métodos comunes de ensaye de las propiedades de los materiales, y de lo que constituye un ensaye válido. Aún más, al tratarse de las especificaciones y la aceptación de los materiales, la comprensión de las limitaciones impuestas por los métodos de ensaye e inspección es importante.

Los siguientes temas son básicos para el estudio del ensaye de -- materiales.

- 1 - Técnica de ensaye
- 2 - Principios físicos y mecánicos involucrados
- 3 - Teoría de las mediciones
- 4 - Variabilidad de los materiales
- 5 - Interpretación de los resultados

**Ensaye de materiales.** El ensaye de los materiales puede efectuarse con uno de tres objetivos como meta: (1) aportar información rutinaria acerca de la calidad de un producto-ensaye comercial o de control; (2) recabar información nueva o mejor acerca de materiales conocidos o desarrollar nuevos materiales-investigación de materiales y labor de desarrollo; o (3) obtener medidas exactas de las propiedades fundamentales o constantes físicas-medición científica. Estos objetivos deben discernirse claramente para empezar ya que ellos generalmente afectan al tipo de equipo de ensaye y medición a usar, la deseada precisión de la labor, el carácter del personal a emplear, y los costos involucrados.

El ensaye comercial se preocupa, principalmente, ya sea por la verificación de la aceptabilidad de los materiales bajo especificaciones de adquisición o por el control de la producción o fabricación. Generalmente, el tipo de ensayo ha sido especificado, aunque como una guía para la calidad de medición pueda resultar completamente arbitraria; - se utilizan los procedimientos normales y el objeto consiste simplemente en determinar si las propiedades de un material o de una parte de él quedan dentro de los límites requeridos. No se necesita un alto grado de refinamiento, aunque frecuentemente los límites de exactitud se especifican.

Los propósitos comunes de la investigación de materiales son (1) arribar a un nuevo entendimiento de los materiales conocidos, (2) descubrir las propiedades de materiales nuevos, y (3) elaborar normas de calidad o procedimientos de ensayo significativos. Además, puede existir el objetivo específico de elegir un material para un uso particular de determinar los principios para mejorar el diseño con un material dado, o estudiar el comportamiento de la parte o estructura después de haberla hecho. Aunque muchas investigaciones son de naturaleza más o menos rutinaria, también hay muchas que demandan una gran variedad de ensayos y mediciones, requieren la apreciación de todas las fases del problema general, y plantean exigencias extremas de la habilidad del ingenio, y los recursos del experimentador si el éxito ha de lograrse.

La meta de lo aquí llamado ensaye científico es la acumulación de un acervo de información ordenado y confiable acerca de las propiedades fundamentales y útiles de los materiales, con la mira final de - - aportar datos para el análisis exacto del comportamiento estructural y el diseño eficiente. La labor de este tipo de demanda, sobre todo, cuidado, paciencia y precisión. En un laboratorio estudiantil, los experimentos pueden servir para inculcar una mejor percepción de los principios desarrollados en los textos sobre la mecánica de los materiales.

Se puede distinguir entre experimento y ensayo, aunque su uso en relación con estas ideas frecuentemente es vago. La experimentación involucra la idea de que el desenlace puede ser incierto, que resultados hasta entonces desconocidos pueden surgir. El ensaye involucra la idea de un procedimiento más o menos establecido y de que los límites de --

Los resultados generalmente se definen. La experimentación, especialmente a una escala grande y planeada, ordinariamente implica muchos ensayos rutinarios. Muchos de los grandes laboratorios de ensaye de materia les sirven el doble propósito de fungir como cuerpos de investigación experimental y agencias de ensaye de control rutinario. Aunque el propósito, el punto de vista, y el método de ataque pueden diferir grandemente entre la investigación y el ensaye rutinario, muchos de los procedimientos detallados pueden ser exactamente iguales en ambas clases de ensaye. Por ejemplo, en la investigación del tratamiento térmico de las placas de acero, las probetas de tensión y el método de ensayo muy probablemente serían los mismos que los usados en todo el país para los ensayos de aceptación de la placa para calderas.

Por conveniencia, se puede diferenciar entre los ensayos de campo y los ensayos de laboratorio. Debido a las condiciones de trabajo difíciles o azarosas, la interferencia, las limitaciones de tiempo, y las condiciones climáticas variables, los ensayos realizados en el campo usualmente carecen de la precisión de ensayos similares efectuados en el laboratorio; sin embargo, el desempeño del trabajo laboratorial no garantiza necesariamente la precisión. Ciertos tipos de ensayos, como por ejemplo, el análisis de criba de la grava, pueden ser realizados con la misma exactitud por un inspector en la obra que por un técnico en el laboratorio. Por otra parte, algunos ensayos no pueden realizarse en el laboratorio, de modo que la cuestión del campo contra el laboratorio no es pertinente.

Con respecto al método general de ataque y a la interpretación de los resultados, es deseable distinguir entre.

1. Ensayos en estructuras, miembros, o partes de tamaño natural
2. Ensayos en modelos de estructuras, miembros o partes
3. Ensayos en probetas cortadas de las partes acabadas
4. Ensayos en muestras de materiales naturales o transformados

Debe advertirse de paso que el ensaye a base de modelos, el interés por el cual ha crecido marcadamente en años recientes, frecuentemente demanda la satisfacción de un número de exigentes requerimientos para lograr resultados válidos.

Con respecto a la utilizabilidad de un material o una parte después del ensaye, los ensayos pueden clasificarse como destructivos o no destructivos. Los ensayos para determinar la resistencia última naturalmente implican la destrucción de la muestra. Como no puede ensayarse así un lote completo, surgen los problemas para obtener una indicación confiable de la resistencia del lote mediante el uso de un número de muestras suficientes, así como de mantener dentro de límites razonables el costo del material para muestras. Para productos terminados resulta deseable utilizar ensayos no destructivos si es posible. Algunos ensayos de dureza son de este tipo, por ejemplo, los ensayos de escleroscopio pueden usarse para determinar la dureza superficial del material para tiros de-

## **CAPITULO 1 ANTECEDENTES.**

acero pulido termotratado. Los ensayos de comprobación aplicados a partes fabricadas o elementos estructurales, son del tipo no destructivo - por ejemplo, un ensayo de comprobación del gancho de una pluma involucra la aplicación de una carga un poco mayor que la carga de trabajo pero menor que una carga perjudicial, para garantizar que ningunos defectos nocivos, los cuales pudieran causar el colapso durante el servicio, estén presentes. Los ensayos no destructivos son de particular interés para el inspector en la obra. Los métodos radiográficos y magnéticos de exploración no destructiva de los metales se discuten.

**Inspección de los materiales.** Aunque sus funciones se empalman, es deseable distinguir entre el ensayo, como tal, y la inspección. Específicamente, el ensayo se relaciona con la realización física de las operaciones (ensayos) para determinar las medidas cuantitativas de ciertas propiedades. La inspección cubre la observación de los procesos y productos de fabricación o construcción con el propósito de garantizar la presencia de las cualidades deseadas. En muchos casos la inspección puede ser enteramente cualitativa e involucra solamente la observación visual de la corrección de las operaciones o dimensiones, la detección de defectos superficiales, o posiblemente la indicación de la presencia o ausencia de condiciones indeseables, tales como la humedad o la temperatura excesivas. Por otra parte, la inspección puede implicar la realización de ensayos complicados para averiguar si los requerimientos de las especificaciones han sido satisfechos. La inspección propugna el control de la calidad por medio de la aplicación de criterios establecidos e implica la idea de rechazar material subnormal. Al ensayar, la meta es determinar la calidad, es decir, averiguar los hechos irrespectivamente de las implicaciones de los resultados.

En algunas organizaciones, las fuerzas de inspección pueden ser -- consideradas un grupo administrativo, el cual realiza únicamente exámenes simples y envía muestras seleccionadas al departamento de ensayo. - En otras organizaciones, el ingeniero de ensayo es también el jefe de inspectores y tiene a su cargo el ensayo rutinario y la labor de investigación y desarrollo.

La investigación involucra tanto las relaciones humanas como las obligaciones técnicas. No todas las personas pueden ser buenos inspectores.

**Historia.** Durante la Edad Media y el Renacimiento el acero era producido en pequeñas cantidades por corporaciones de artesanos que guardaban en secreto el método de fabricación. El primer método industrial de fabricación del acero se debe al relojero británico B. Huntsman, quien en 1740 ideó el proceso llamado al *crisol*, porque consistía en aumentar el contenido en carbón del hierro con carbón vegetal, y fundir en un crisol el producto obtenido. H. Cort fue el inventor de un procedimiento de afinado en el que no se empleaba carbón vegetal, con lo que se solucionaba el problema que representaba la tala de bosques. Estos métodos fueron abandonados al introducirse los procedimientos modernos de producción en gran escala de Bessemer y Thomas.

Henry Bessemer, metalúrgico británico, intentó eliminar el exceso de carbono en el hierro fundido, para lo cual hacía pasar una corriente de aire a través del metal líquido; interrumpiendo la corriente en el momento preciso, se obtenía acero, de buena calidad. En 1856 se dio a conocer su alto horno, dando comienzo a la Edad del Acero, que debía desplazar a la madera y después al hierro fundido en la construcción y en múltiples obras de ingeniería civil y militar.

En 1877 el británico Sydney Gilchrist Thomas perfeccionó el sistema de Bessemer cambiando el revestimiento ácido del convertidor Bessemer por uno básico. El francés Pierre Martin y los alemanes Wilhelm y Friedrich Siemens dieron a conocer entre 1860 y 1865 un nuevo tipo de horno llamado Martin-Siemens, alimentado con gas.

En 1898 E. Stassano instaló un horno de arco eléctrico para fabricar acero directamente del mineral de hierro. Casi al mismo tiempo -- Héroult iniciaba en Estados Unidos sus ensayos para obtener acero en un horno muy similar al de Martin-Siemens, pero en el que se utilizaba también un arco eléctrico.

**Siderurgia.** El acero es básicamente una aleación de hierro con un contenido en carbono inferior al 1,9%, con excepción de ciertos aceros altos en cromo, cuyo contenido puede ser superior a dicho límite. Se caracteriza por una gran resistencia, contrariamente a lo que ocurre con el -- hierro sólo. Se produce a partir del arrabio líquido (producto de alto-horno), cuya composición depende de la procedencia del mineral de hierro, pero que contiene un elevado tanto por ciento de carbono y otras impurezas. La elaboración del acero consiste en una oxidación del exceso de carbono y de las impurezas. Existen otros procedimientos que permiten obtener directamente acero partiendo del mineral sin pasar por el arrabio.

**Procesos fundamentales de obtención del acero.** Aunque con distintas técnicas, los procesos de obtención pueden reducirse a tres: 1) Por **soplado**, en el que todo el calor procede del calor inicial de los materiales de carga en estado de fusión. 2) Con **horno de solera abierta**, en el que la mayor parte del calor procede de la quema del combustible empleado, generalmente gas o aceite pesado. 3) Proceso **eléctrico**, en el que el calor se obtiene eléctricamente. Estas técnicas pueden realizarse con procesos ácidos o básicos (según al refractario y la composición de la escoria utilizada).

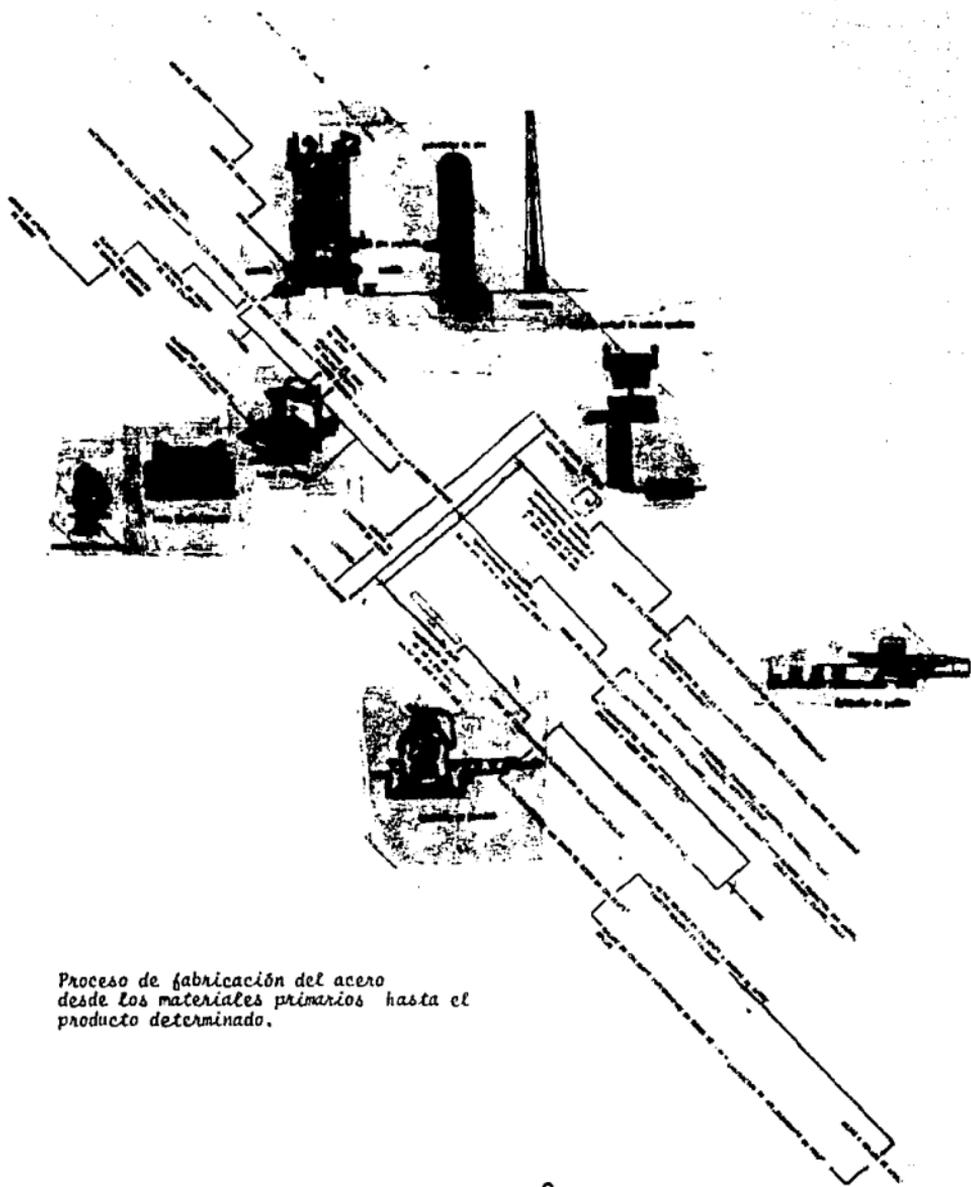
**Procesos por soplado:** Bessemer ácido y Thomas Básico. El proceso Bessemer se emplea para minerales de hierro con bajo contenido en fósforo, que son los menos abundantes, por lo que es el procedimiento por soplado que registra menor utilización. Se basa en el empleo del convertidor Bessemer, que es una cuba de acero revestida de refractario, con toberas en el fondo y abierta en su parte superior, montada sobre un apoyo con mecanismo basculante. El revestimiento del convertidor contiene sílice, que junto con el silicio del hierro líquido proporciona el exceso de sílice,  $\text{SiO}_2$ , necesario para formar la escoria. Por las toberas se inyecta una corriente de aire que oxida el carbono, manganeso y silicio, desprendiendo calor suficiente para aumentar la temperatura de la masa hasta el punto de fusión del hierro dulce. Una vez se ha conseguido el punto adecuado, se hace bascular el convertidor y se cuela el acero líquido en una cuchara de transporte; finalmente se efectúa la operación de verter el acero en moldes.

En el caso del convertidor básico, o método Thomas, el revestimiento del convertidor es de magnesita. Este método se emplea con los minerales de hierro ricos en fósforo, que son los más abundantes. Por la acción fuertemente oxidante del soplado, se elimina el carbono y también se oxida el fósforo, que actúa como importante elemento termógeno. Las escorias formadas son ricas en fósforo y cal, y se emplean como fertilizantes.

**Proceso de horno sobre solera, básico y ácido.** También llamado de Martin-Siemens, presenta la ventaja de poder fundir chatarra. Se puede trabajar en forma ácida o básica con refractarios adecuados, y en ambos casos son posibles amplias variaciones de las condiciones de trabajo. -

Los combustibles que se emplean son gas de hulla, gas natural o aceite pesado. Para conseguir en el horno una temperatura suficiente con un coste de combustible mínimo, se precalienta el aire destinado a la combustión en un sistema de recuperadores de calor reversibles. Los gases que salen del horno pasan por unos conductores de ladrillo a los que comunican calor, y por lo que se hace pasar posteriormente mezcla de gas combustible y aire, que se calienta y arde en forma enorme soplete sobre el hierro de solera. Modernamente se mejora la operación insuflando oxígeno por la superficie del baño.

**Proceso del horno eléctrico.** Se realiza en un horno de arco que calienta directamente el baño de acero por debajo de la escoria y consigue la alta temperatura de trabajo necesaria. Existen las dos variedades, básico y ácido, pero predomina el proceso básico debido a la dificultad de conseguir materias primas para el ácido. Normalmente se trabaja con carga sólida, aunque en algunas acerías se utiliza líquida, fundida previamente en un convertidor u horno de solera (proceso Duplex). Presenta la ventaja de poder sacar muestras del baño para su análisis y ajustar los elementos aleados hasta que se cumpla la especificación pedida, y también regular la temperatura del baño hasta que esté a punto para colar.



Proceso de fabricación del acero desde los materiales primarios hasta el producto determinado.

## Historia de la Siderurgia en México.

### ¿ COMO NACE ?

La moderna industria siderúrgica nace en nuestro país en 1903 con la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey. Esta incursión - se da en un contexto internacional en el cual ocurre un crecimiento dinámico, es decir, la producción mundial de acero duplica con creces al aumentar a una tasa anual media de 7.9%.

El impulso a esta industria contribuye también al desarrollo de la infraestructura del país. De tal forma que gracias a ella se construyen, a principios de siglo, rieles para el ferrocarril, varilla, -- perfiles comerciales y estructurales destinados a la construcción de casas, edificios y obras públicas de envergadura que le dieron fisonomía a las ciudades mexicanas. Asimismo la siderurgia contribuye al desarrollo de las industrias eléctrica y petrolera.

### De la gestación de la actividad siderúrgica antes del siglo XX.

Durante la Colonia, estuvo prohibida la producción de hierro, -- sin embargo, a finales del siglo XVIII se estudió la posibilidad de -- explotar las minas de Tecatitlán. El Tribunal de Minería invirtió bastante dinero pero la iniciativa no prosperó aunque se creía que el -- precio del hierro sería alto debido a que el producto escaseaba con -- la guerra.

Humboldt cuenta que a su llegada a la Nueva España en 1803 el -- precio del hierro había subido de 4 pesos el quintal a 48 pesos, y el precio del acero de 16 a 260 pesos.

Un segundo intento, con mejores resultados se realizó en el año de 1805 en el que el Tribunal de Minería comisionó a Andrés M. del -- Río para que estableciera una ferrería en Coalcomán, en el Estado de Michoacán. Esta inició sus trabajos pero fue destruida durante la Guerra de Independencia.

Sin embargo, con el triunfo de la guerra de independencia se establecieron talleres y ferrerías ubicadas junto a yacimientos minerales. Así durante el siglo XIX la producción de hierro y acero fue incesante aunque con muchos vaivenes y baja producción, utilizando capitales españoles y en menor medida ingleses y norteamericanos.

En 1825 se establecieron unas forjas que se abastecían del mineral del Palmar, las que funcionaron poco tiempo. En 1826 algunos españoles construyeron una fundición, cerca de los yacimientos de Tuxpan, Ver. que más tarde se abandonó al ser decretada la expulsión de los -- españoles. En 1828 se construyó una ferrería más y en 1831 se creó la fundición Piedras Azules. Sus dueños introdujeron forjas catalanas y tornos, y sustituyeron el carbón de leña por coque. Cabe recordar que

en Inglaterra Esto había sucedido hacía casi 60 años, advertían Salas y Noguéz.

Mientras tanto, en Europa ocurrían avances tecnológicos que revolucionaron la producción del hierro y el acero. Como ejemplo, el británico Henry Bessemer inicia la edad de acero ya que tras realizar -- múltiples experimentos logra producir acero a un bajo costo.

Por su parte, Karl Wilhem Siemens en 1868 desarrolló el horno de solera abierta, en el cual la función "bruta" era calentada junto con la mena de hierro, reduciendo al mismo tiempo el contenido de fósforo.

Debido a que los procedimientos en la producción de hierro y acero avanzaban en otros países, en México se introdujo maquinaria nueva alemana, como fue el caso de la Ferrería de Tula, Hgo. (creada en -- 1850) que produjo hierro estirado, doblado y solera además de engranes varios.

Apuntan Salas y Noguéz que las ferrerías creadas, desafortunadamente, una a una fueron fracasando por múltiples razones, pero principalmente por falta de combustible a precios económicos.

Mencionan asimismo que el Presidente Guadalupe Victoria, a finales de los años 20, malversó el producto del empréstito negociado con Londres, lo cual afectó a la economía global y a la incipiente industria.

En tanto en México se iniciaba la industria siderúrgica, en -- otras latitudes se estaban logrando avances tecnológicos que revolucionaron la calidad del acero con níquel, el acero con tungsteno y -- cromo y el acero al vanadio, para darle dureza al metal. Estos nuevos aceros fueron aplicados con éxito en armamentos, máquinas y herramientas.

En Inglaterra Harry Brearley en 1913 hizo una aleación de cromo y níquel al acero y con ello ingresa en escena al acero inoxidable.

Mientras tanto en México se hacían esfuerzos considerables por -- impulsar esta industria. En 1903 se realiza la primera colada de un -- alto horno. En ese momento era el único en Hispanoamérica, y lo fue -- durante más de 35 años. La Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey -- fue la única siderúrgica integrada del país durante más de 40 años.

## UNA SEGUNDA ETAPA

Según el economista Ismael Aguilar Barajas, en su ensayo "La Industrialización Regional y la Apertura Comercial en México: El caso de la Industria del Acero en Nuevo León", el año de 1942 marca el -- principio de una segunda etapa de desarrollo de la industria siderúrgica mexicana, ya que en ese año la Compañía Fundidora de Hierro y --

Acero de Monterrey construyó su segundo alto horno de 600 toneladas -- diarias de capacidad y realizó ampliaciones en su departamento de aceración. Al año siguiente (1943), por promoción oficial se organizó la empresa Altos Hornos de México (AHMSA) localizada en Monclova, Coah., - cuya finalidad era la producción de aceros planos. En 1946 se instaló en Monterrey, N.L., la empresa Hojalata y Lámina (HYLSA), con miras a la elaboración de productos laminados planos.

Este impulso respondió a ciertas condiciones económicas mundiales.

A partir de los años 40, a clara la industria siderúrgica se desarrolla considerablemente luego de recibir el impulso de las condiciones creadas por la Segunda Guerra Mundial que restringía las importaciones de acero y de las demás mercancías que antes suministraban los EU y los países europeos, a la vez que aumentaban las exportaciones de productos elaborados en México y en otros países de América Latina.

Como la producción interna de acero no alcanzaba a cubrir la demanda, era difícil importar lo que faltaba y los precios de los productos siderúrgicos aumentaban. Se daban las condiciones propicias para la construcción de las nuevas plantas.

En este contexto surgen diversas empresas productoras de acero, - en particular en el Distrito Federal, las cuales operaban con hornos eléctricos. De igual manera, aparece una infinidad de compañías relaminadoras destinadas fundamentalmente a producir varilla corrugada, alambón, productos de alambre, tubería y otros productos.

Todas esas empresas lograron triplicar la producción de acero en un lapso de 10 años, de 1941 a 1951. Así, para ir a la par del crecimiento industrial del país, se sentaron las bases para llevar a cabo importantes ampliaciones en las grandes acerías ya establecidas, y se organizaron nuevas empresas que en los siguientes 10 años permitieron triplicar nuevamente la producción nacional de acero.

AHMSA jugó un papel fundamental en el desarrollo de la industria en su conjunto. Fue la primera industria con capital mayoritario mexicano y su desarrollo fue exitoso durante varias décadas. Los equipos iniciales se compraron usados en EU y se reconstruyeron.

En 1944 AHMSA produjo 5 mil 880 toneladas de acero, equivalentes a 3.4% de la producción nacional; pero su producción se elevó rápidamente y para 1948 llegó a 100 mil toneladas, que representaron el 34% del total nacional.

La creación de AHMSA significó el inicio de la producción de placa, hojalata y lámina de acero en México, productos que anteriormente-

representaban la mayor proporción de las importaciones siderúrgicas, ya que antes de 1941 no se producían en el país productos planos. Al entrar en operación AHMSA se comprometió a vender a los EU su producción de placa de acero para la fabricación de barcos, cumpliendo con ello.

El éxito de AHMSA se debió a que creció en infraestructura y productividad constante. Instaló hornos de 100 toneladas en 1954, mil 300 en 1966, de mil 500 en 1971 y de 4 mil 500 toneladas en 1976. Desafortunadamente a mediados de los 70 empezó a decaer, debido a que se suspendió la operación del equipo Siemens-Martin por ser obsoleto y contaminante, disminuyendo su capacidad de producción. Más tarde fue adquirida por capital privado y en este momento se plantea su repunte industrial.

HVLSA fue creada como subsidiaria de la Cervecería Cuauhtémoc, con el propósito de surtirle lámina para la fabricación de corcholas. Se inició como empresa no integrada, obteniendo el acero a partir de la chatarra. Empero, en 1957, se transformó en empresa integrada al construir una planta para producir "fierro esponja", mediante un proceso de reducción directa desarrollado por la propia empresa, llamado HVL con una capacidad de 200 toneladas.

El proceso HVL fue experimentado y creado por técnicos mexicanos y patentado en 1957. Gracias a éste la industria contó con acero plano con menos residuos de cobre y níquel. HVLSA prosiguió desarrollando este proceso hasta obtener el HVL II y el HVL III. Con ello se convirtió en exportadora de uno de los procesos más utilizados en el mundo.

Este avance dio impulso a la empresa, pues con el equipo que -- producía 12 toneladas, podía producir 50. Este proceso generó una expansión asombrosa de HVLSA. En 1963 adquiere Aceros de México para producir varilla y alambros. Más tarde, surge la planta San Miguel Xotla en Puebla que produce aceros no planos, plantas que se sumaron a las ya existentes en Monterrey, N. L., Apodaca, Coah. y Puebla. --

En el año de 1982, HVLSA sufrió el impacto provocado por la crisis en la economía mexicana. La demanda interna de productos siderúrgicos, de la que dependía HVLSA, se desplomó y provocó una crisis en la empresa. Más tarde se fortaleció reactivando su capacidad productiva e incrementó sus niveles de venta que dependen, casi en su totalidad (más del 90% del mercado mexicano)

En la década de los 60 se crea la empresa Tubos de Acero de México (TAMSA) para producir tubos de acero sin costura. Es considerada la quinta siderúrgica integrada y utiliza el proceso de reducción directa HVL. Está ubicada en Veracruz a 23 km de la costa. Es una empresa privada aunque Nacional Financiera tiene un paquete de accio--

nes no mayoritario. Cuenta con el horno eléctrico más moderno en México con capacidad de 150 toneladas. En 1990 alcanzó una producción de acero líquido de 450 mil toneladas. Una parte de sus productos se destina a la exportación.

A finales de los años 70 se inicia la construcción de Sicartsa, hecho que se deriva de la intervención del Estado mexicano en el sector. Este proyecto, el más ambicioso del régimen de Echeverría, se llevó a cabo con la idea de transformar el Municipio de Lázaro Cárdenas en un importante polo de desarrollo. Entró en operación en 1976, con una planta integrada con capacidad instalada para producir 1.3 millones de toneladas anuales de acero. Su producción inicial se orientó a la elaboración de barras, alambros, varilla y perfiles estructurales.

En sicartsa están instalados los equipos tecnológicamente más avanzados y tiene integrados sistemas de automatización y de control de la eficiencia y calidad de los productos. Sin embargo, el desarrollo de la empresa se vio afectado por la recesión económica de 1976 - 1977 y la gravedad sin precedentes de la crisis de 1982 en adelante; así como por los cambios sexenales en la política económica.

Años antes, en el marco de la política gubernamental de impulsar a la industria siderúrgica, se creó la Comisión Coordinadora de la Industria Siderúrgica (CCIS) dependiente del Patrimonio Nacional. En 1973 esta Comisión autorizó planes de expansión de las empresas siderúrgicas.

Otra acción del Estado orientada a liberar la industria de la dependencia tecnológica del exterior, fue la creación, en 1975, del Instituto Mexicano de Investigaciones Siderúrgicas (IMIS) que hasta hace poco daba asesoría técnica y servicios de información a las empresas.

#### LA INDUSTRIA SIDERURGICA A PARTIR DE LOS 80

La crisis que vivió la economía mexicana tuvo efectos negativos en la industria y sus programas no pudieron cumplirse en su totalidad pero participó con buenos resultados en los mercados internacionales (exportó productos no planos como barbas de acero y tubos sin costura). Así, pese a los impactos negativos de la economía, la planta nacional no suspendió sus programas de inversión y producción. El año de 1986 marca el inicio de la reconversión o modernización con procesos interesantes en materia de renovación tecnológica, reestructuración organizacional interna y programas de estímulo a la productividad y calidad. También marca el cierre de Fundidora Monterrey, cuya capacidad era de 2 millones anuales. Las 87 empresas que mantenía Sidermex debieron cerrar, fusionarse o liquidarse para quedar en operación sólo 35. Es probable que en los próximos años la planta industrial seguirá generando una fuerte demanda de productos siderúrgicos. La industria nacional sólo se verá beneficiada en la medida en que modernice sus instalaciones y participe con mayor competitividad en el mercado interno.

La Siderúrgica Lázaro Cárdenas-Las Truchas, S. A. (SICARTSA) pro  
cesos de aceración, el largo proceso de aceración se in-  
cia en las minas de Las Truchas. Ahí se realiza la extracción del fie-  
rro a cielo abierto. Luego, en la planta de beneficio se le tritura y  
concentra para enviarlo mezclado con agua, a través de un ferroaducto  
de diez pulgadas de diámetro y 26 km de longitud, hacia SICARTSA.

En el complejo siderúrgico, el mineral se somete a un proceso de  
peletización. Este consiste en hacer esferas de fierro concentrado --  
(pelets) con características físicas y químicas muy precisas para ali-  
mentar el alto horno.

Pero lo primero que encontramos al iniciar el recorrido fué la -  
zona de procesos primarios, donde destacan las grandes pilas de carb-  
bón proveniente del extranjero y del estado de Coahuila; mineral que  
se procesa para elaborar coque, elemento energético en la fundición. -  
A pesar de que en nuestro país se explota carbón, resulta más conve-  
niente traerlo del exterior, ya que la unidad de carbón fijo (útil) en  
el nacional es más bajo que en el importado porque contiene mayor can-  
tidad de impurezas, además de que el flete de ferrocarril a lo largo -  
de mil km. desde Coahuila, es más caro que el marino. Para aprovechar-  
al máximo el energético se diseñó un modelo matemático por computadora  
que indica la mezcla ideal entre carbón nacional e importado.

Así mezclado el carbón entra al proceso de coquización, en donde  
se eliminan los elementos indeseables (sulfatos) por medio de una bate-  
ría de 60 hornos que lo calientan a una temperatura de 1 300°C; de es-  
modo se obtiene el coque siderúrgico.

Por otra parte funciona una planta procesadora de calizas. En pe-  
letización se usan partículas de estos compuestos como aglutinantes; -  
asimismo, el taller de aceración requiere del llamado calsidol (óxidos  
de calcio y magnesio mezclados con dolomita) en sus convertidores de -  
acero.

La siguiente escala la planta pelletizadora. Por medio de filtros-  
en forma de disco con paredes como panales, se deshidrata el lodo fie-  
roso procedente de la mina, pegándolo a las paredes y desprendiéndolo  
con aire a presión. Enseguida, en tres gigantescos discos boleadores, -  
el lodo, apenas húmedo, se concentra en esferas (pelets) mediante el -  
efecto de bola de nieve, debido a la constante rotación en ángulo de -  
aquéllos. Los pelets que toman un tamaño determinado saltan hacia una  
banda que los lleva a un horno de 80 metros de largo para las fases de  
secado, cocido y endurecido.

"Con esto se elabora un pelet con una ley muy superior al mineral  
bruto. Su forma y tamaño exactos dan permeabilidad al material en el  
alto horno, el cual no genera partículas que entorpezcan las operacio-  
nes y es más resistente que el trozo mineral, entre otras propiedades  
que favorecen los rendimientos".

Con todos estos ingredientes se alimenta al alto horno. El principio es fundir el pelet para reducir los óxidos. Por la parte superior del horno y sin pausa, se surte la carga. A diferencia de otros, el alto horno de SICARTSA está dotado de un sistema de canal giratorio que proporciona un amplio control de la distribución de la carga y, por medio de un sistema Paul Würth, no requiere de campanas para cerrarse.

Mediante grandes bandas, explicaron, se llevan los materiales -- (pelet, fundentes, ematitas, coques, etcétera) a carga. Mientras tanto, por otro lado, se calienta aire en estufas que elevan su temperatura a 1 100°C. El soplo producido sale a contracorriente por unos -- turbosopladores hacia el horno. En el interior, enciende el coque que funde el pelet, el cual cae lentamente al crisol, en forma de lluvia, sin algunas impurezas, se extraen de 200 a 300 ton de arrabio, que se deposita y transporta en carros termo de ferrocarril que mantienen la temperatura estable a 1 500°C, con destino a la planta de aceración.

Entre los adelantos tecnológicos del alto horno se encuentran un sistema de enfriamiento que ha permitido alargar, a casi el doble de lo normal, la vida en campaña del horno.

También se ha empezado a aprovechar la escoria con contenido metálico, producto de la aceración, y se ha añadido mineral en trozo al proceso, lo que ayuda a mantener una alimentación estable, buena permeabilidad al horno y una correcta distribución de la carga.

Los carros torpedo llevan el arrabio a la aceración. Cada uno de ellos es capaz de mover 120 toneladas de hierro líquido. Ya en la --- planta de aceración, vierten su contenido en grandes ollas que se -- transportan por medio de imponentes grúas hacia el convertidor de oxigeno, ollas hirviendo a una temperatura de 1 500°C.

Los convertidores, que son ollas aún más grandes (con capacidad para 200 ton y curiosamente parecidas a las de barro común), se llenan de chatarra, calsidol y arrabio para hacer el acero. Mediante el sistema BOF (Basic Oxygen Furnace) u hornos de oxígeno básico, se eliminan impurezas del arrabio como el carbono, el silicio, el azufre en tre otros.

Entre los desarrollos más importantes en el área de aceración, - se encuentran los aceros del grado SAE 1005 y 1006, de bajo contenido de carbono, que son productos de gran demanda a escala internacional, ya que sirven para fabricar cables delgados de 5.0 o 0.5 mm, sin re-- querir procesos de recocido para su estiramiento.

En la siguiente fase se realizan pruebas de laboratorio para ana-- lizar el contenido del acero recién creado y, en su caso, afinarlo.

En colada continua, el acero se vierte en tres máquinas de seis-moldes cada una, donde se elaboran las llamadas "palanquillas", de ca-  
ra cuadrada de 127 mm por lado y 7 metros de largo, se ha establecido  
un control automático de la dinámica de la línea de colado, por medio  
de un microprocesador que proporciona información instantánea del co-  
rrecto funcionamiento de la operación.

De aquí las palanquillas salen a laminación. En dicha planta se  
halla un laminador de alambón tipo Stellmore único en México. Consis-  
te en una cadena de enfriamiento a la salida de los molinos (acabado-  
res del alambón), que permite enfriar gradualmente, con aire, el ma-  
terial. Mediante tales prácticas se determinan características de re-  
sistencia, límite elástico, entre otras, adecuadas a las necesidades.

En el área de varillas se han desarrollado técnicas para fabri-  
car varillas de alta resistencia (60 kg/mm<sup>2</sup>), lo cual constituye un -  
gran avance para la industria de la construcción. Asimismo, se proce-  
sa varilla soldable que no demerita su resistencia ante los embates -  
del calor.

El siguiente paso en el proceso es la comercialización.

#### ACERACION EN HYLSA

Los esfuerzos por descubrir técnicas cada vez más modernas, que-  
cleven la producción y disminuyan sus costos, representan una lucha -  
constante en los laboratorios y en la experiencia misma del trabajo -  
laboral. Esta tarea contiene un reto permanente no sólo para los téc-  
nicos y científicos mexicanos, sino también para las empresas y el go-  
bierno de este país. Los enormes recursos de nuestro territorio debe-  
rían ser aprovechados racional e inteligentemente, dándoles un uso --  
adecuado, sin desperdiciar nada y sin afectar nuestro ecosistema. La  
creación de nuevos medios tecnológico, si bien generan mayores gana-  
ncias para quienes las aplican, también deberían servir para fortale-  
cer la economía del Estado y el pueblo de México .

En el campo de la industria siderúrgica, la compañía de Hojalata  
y Lámina, hoy conocida como HYLSA, S.A., ha obtenido triunfos que - -  
trascienden nuestras fronteras y adquieren forma en lugares tan aleja-  
dos de este continente, como es el caso de Indochina.

Dicha empresa, fundada en 1943, en la Ciudad de Monterrey, Nuevo  
León, logró desarrollar, a principios del decenio de 1950, una técni-  
ca económica para producir hierro de reducción directa (HRD), conoci-  
do comúnmente como fierro esponja. Este logro de su equipo de investi-  
gadores le mereció el reconocimiento, en especial de la Asociación --  
Americana de Metales (ASM), que consideró como lugar histórico a la -  
planta Hyl, la cual inició sus actividades el año de 1957.

Los avances y modificaciones al proceso de reducción directa son  
dirigidos por la división de investigación y desarrollo de HYLSA, cu-  
yo nombre es Hyl. Esta división, aunque pertenece a la misma empresa,  
posee vida independiente y autonomía administrativa, surgió el proce-

so HRD en momentos en que se dependía de la importación de chatarra - para la elaboración de metales. Debido a la guerra que Estados Unidos sostenía con Corea, los precios de la chatarra se elevaron considerablemente y este material escaseó por la gran demanda internacional. - HYLSA producía entonces aceros planos a partir de chatarra, cosa que ninguna empresa había logrado hasta ese momento, pero la calidad requerida estaba muy por encima de la alcanzada.

Los requerimientos de calidad exigía una materia prima libre de contaminantes, de elementos residuales como se denominan en la siderurgia. La única opción que se tenía eran los altos hornos, pero resultaba prohibitivo porque las inversiones necesarias para construir un alto horno son muy grandes; además se requería de una tecnología - capaz de producir un hierro esponja, es decir, un mineral de hierro - reducido al cual se le quitara el oxígeno. No existía un proceso capaz de realizar esta acción. Se mencionaba en la literatura y se demostraba en experimentos de laboratorio, pero sólo allí funcionaba, - pues a nivel industrial no había resultados efectivos. Con esta intención se inició un programa de investigación para desarrollar la tecnología de reducción directa. Fue un grupo de mexicanos, compañeros -- nuestros, quienes lograron éxito en sus objetivos. Al proceso que - - aportaron se le patentó como proceso Hyl. Así se hizo posible la producción industrial del hierro esponja.

El proceso de reducción directa inicial se efectuaba en lecho fijo, a diferencia del actual, que se realiza en lecho móvil. La primera planta de HRD se construyó en la ciudad regiomontana y se conoce como Planta 1 M, aún en funcionamiento, con una capacidad productiva de 75 mil toneladas de aceros planos por año. De esta manera se produjo lo que nadie creía poder hacer a partir de chatarra, elevar el nivel de calidad y disminuir los costos de aceros planos para lámina y hojalata. gracias al hierro esponja y al horno eléctrico, se substituyó el uso poco redituable del alto horno.

El proceso HRD emplea un horno reformador que contiene en su interior muchos tubos de acero inoxidable, la temperatura necesaria es de 850 grados. Estos tubos de reformación están llenos de un catalizador hecho a base de níquel; además, a través de su interior se inyecta una mezcla de gas natural, fundamentalmente metano, y vapor de - - agua. Dicha mezcla es reformada en su recorrido por los tubos calentados exteriormente y da lugar a un gas muy rico en hidrógeno monóxido de carbono. Ambos compuestos son reductores porque tienen afección por el oxígeno. Bajo estas circunstancias, al poner la mezcla mencionada con el mineral de hierro (óxido de hierro), que se encuentra en determinadas condiciones de temperatura, el oxígeno es captado por los reductores.

Al pasar los gases por el lecho del material, el hidrógeno se - combina con el oxígeno y forman vapor de agua; mientras el monóxido -

de carbono (CO) se combina con el oxígeno y forman bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Así, el mineral de hierro queda sin oxígeno, como fierro. Mien tras tanto, al gas que sale del horno reformador, después de quitarle el exceso de humedad, se lava y se enfría. Ya seco, limpio y frío, se lleva a los reactores de reducción, previo paso por un horno calentador o precalentador donde se elevó a una temperatura de 820 grados, para alimentar a los reactores en cuestión. El fierro esponja se enfría pasándole gas de bajas temperaturas; después, ya frío, se envía a los hornos eléctricos para fundirlo en combinación con chatarra. Si comparamos esta ruta de reducción con la del alto horno tenemos, en términos generales, un ahorro del 40 por ciento en costos de capital y del 30 por ciento en costos de operación, dependiendo de los costos relativos .

El mineral de hierro se da en la naturaleza de diversas formas, pero las más comunes son la hematita (FeO<sub>3</sub>) y la magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>). El material que se usa en forma directa puede cargarse en cualquiera de las formas mencionadas. La mina de HYLISA, localizada en Colima, es fundamentalmente magnética. Esta compañía trabajó durante 13 años el material de hierro en trozo, pero con el paso del tiempo el mineral se hizo muy delesnable. La solución fue instalar una planta peletizadora, que concentra el mineral en pequeñas bolitas (pelets) suficientemente duras para no desmoronarse. Cabe anotar que en el mundo hay más hematita que magnetita. El pelet es en esencia hematítico, y al quemarse cada uno de éstos, la magnetita se convierte en hematita. En el proceso de reducción directa la hematita va perdiendo oxígeno hasta quedar como fierro (Fe).

El producto de este proceso de reducción se llama fierro esponja porque al mirarlo al microscopio pueden observarse los espacios libres que dejó el oxígeno al combinarse con los gases reductores. Además, si se pesa un trozo de fierro ya reducido, su peso será un 30 por ciento menor que cuando era óxido ferroso. La metalización de una partícula de fierro esponja es de un 90 por ciento, el resto queda como FeO. Por otro lado, parte de ese fierro metálico está combinado con carbono en forma cementítica como Fe<sub>3</sub>C. Así, el fierro esponja tiene más estabilidad y disminuye su tendencia a reoxidarse.

En el alto horno también hay un proceso de reducción interna. Allí se carga el mineral de hierro junto con coque (carbón) y caliza. En la parte superior del horno ese coque se descompone con el oxígeno del mineral de hierro y forma CO que, en otra parte del horno, será reducido. De este proceso se obtendrá el arrabio que, a diferencia del fierro esponja, tiene un altísimo porcentaje de carbono. El arrabio se lleva a un horno, si ya no es un Martin será, gracias a los avances tecnológicos, a uno convertidor de oxígeno, conocido como BOF. Será necesario en este caso inyectar oxígeno para que se combine con el carbono del arrabio. Después el arrabio se refina y se traslada a aceros. En el caso del fierro esponja no se emplea tanto carbón, sólo se deposita entre uno y medio y dos por ciento .

Los resultados del proceso de reducción directa Hyl han mejorado paulatinamente con las innovaciones introducidas a su tecnología en cada planta que se construye en diferentes partes de la República Mexicana y en el extranjero. Hoy el proceso de lecho fijo Hyl III es la versión más moderna de HRD y pone a la vanguardia a la empresa regiomontana en este campo de la tecnología. Son ya 16 unidades de reducción Hyl las que están funcionando, y la capacidad de las plantas más recientes les permite producir 500 mil toneladas de acero por año.

Una ciudad diferente, un ambiente caluroso y una producción enardecida.

Durante muchos años Monclova ha participado en la producción de grandes cantidades de acero que en su totalidad se exportan al extranjero, de lo cual los moncloveses están muy orgullosos.

Producir el acero es más que un modus vivendi: es la única razón para existir en esta pequeña ciudad. Dentro de la acería de Altos Hornos, cada uno de los hombres que ahí laboran, cual habitantes del horno de Hefesto, saben la importancia de su labor.

En sus instalaciones de Monclova, Coahuila, Altos Hornos de México, S.A. (AHMSA) cuenta con dos acerías de las conocidas como BOF y -- una del tipo Siemens Martin. La siderúrgica I cuenta con tres convertidores BOF y la siderúrgica II únicamente con dos, pero muy grandes, -- con capacidad de 125 toneladas por colada cada una.

#### Aceración al oxígeno

En el BOF, el acero se obtiene a través de la oxidación de la carga metálica compuesta por arrabio líquido y chatarra. La reacción se hace -- por medio de una lanza que penetra dos metros en la olla para poder -- inyectar oxígeno a altas velocidades.

El acero que se obtiene se vacía dentro de una olla donde pasa a una estación de homogeneizado neumático, lugar en el que se le inyecta argón y calcio silicio, y se ajusta la temperatura para enviarlo a las máquinas de colado continuo.

Cuando en 1952 se construyó en Austria la primera acería de este tipo, se revolucionó la producción de acero. Para 1984, el 56 por ciento de la producción mundial se realizaba bajo este método.

El taller de aceración BOF (aceración al oxígeno), de la siderúrgica II, inició operaciones en 1976 y fue diseñado para producir 75 mil toneladas anuales con un convertidor, cifra que se duplicó al ser instalado un segundo convertidor.

De 1976 a 1980, se produjeron 11 451 coladas; de 1981 a junio de 1985, se procesaron 15 702 coladas para una producción de un millón --

801 633 toneladas de acero.

Para conocer el proceso de aceración, en la siderúrgica 11 de las instalaciones de AHMSA en Monclova.

La refinación del arrabio se lleva a cabo en un recipiente que -- asemeja una pera; la materia prima que se recibe es mineral y chatarra que se generan ahí mismo. Adicionalmente, se cargan fundentes como cal siderúrgica y cal dolomítica para formar una escoria durante la refinación.

Por un lado de la nave de carga, recibimos arrabio y por el otro chatarra. En nuestro caso particular, existen dos plantas de recepción de materias primas; una tiene su estación primaria con dos puentes de pesaje, en donde se sienta la olla y se carga, y la otra con una. La ventaja de estas básculas radica en que los gases que se generan no se quedan en el taller, sino que, tras un proceso de lavado, son arrojados a la atmósfera sin contaminar.

Lo que buscamos mediante este proceso es hacer la refinación de todas las impurezas del arrabio y poder, así, fabricar acero de acuerdo con las especificaciones que se nos están pidiendo.

La siderúrgica cuenta además con una planta desulfuradora en la cual se logran eliminar cantidades importantes de azufre, hasta alcanzar proporciones de 0.05 por ciento.

Este proceso de desulfuración se realiza en los carros torpedos a través de una lanza que inyecta carburo de calcio o magnesio para eliminar el azufre.

Cuando el convertidor ha sido cargado, deben tomarse constantemente muestras para realizar análisis químicos y verificar si las concentraciones de oxígeno son correctas. En este caso, se trata de acero -- para exportación, con bajos contenidos de carbono muy flexible, dúctil y con posibilidades de reducirlo a espesores mínimos .

Mediante una lanza con un termoplo de platino rodín se verifica la temperatura con otra semejante, al carbono y la concentración de -- oxígeno.

La temperatura es cercana a los mil 630 grados centígrados y al -- ser volteada la olla el operador y los ahí presentes reciben una ola -- térmica de 300 a 400 grados centígrados.

En una cabina de control aislada y rodeada de computadoras, se encuentran el fundidor y un ayudante. El primero es quien lleva la responsabilidad de todo este proceso, desde aquí se controlan los gases, -- así como la velocidad a la cual se inyecta el oxígeno (2.2 veces la velocidad del sonido), lo que permite una remoción y una agitación total

del baño, con lo que además se hace un intercambio de impurezas a la escoria.

Cuando todo está listo, se efectúa el vaciado para el colado continuo, el fundidor da la orden y parte a agregar los aleantes necesarios; en este caso 50 kilogramos de carbón, aluminio y ferromanganeso.

Las 15 gentes que forman el equipo necesario para realizar colados durante 24 horas continuas, deben mantener una sincronía perfecta, pues si algún proceso se atrasa la producción se interrumpe. Así una vez que la mezcla está lista, se procede al colado continuo, en donde se le inyecta argón y se culmina el proceso de acero líquido para convertirlo en un planchón solidificado.

La razón de utilizar un gas raro como el argón se debe a que buscamos eliminar todas las posibles impurezas que se generan, sin contaminar ni perjudicar la pureza del acero.

Este convertidor BOF tiene una altura de 50 metros, donde están alojadas todas las partes del proceso. La ventaja de éste es que cuenta con una colada continua, pues en la planta I el convertidor vacía el lingote en forma manual y a éste hay que darle reposo para después mandarlo a una fosa de recalentamiento y luego a un desbastador para, finalmente, fabricar el planchón; aquí, en cambio, el planchón se hace directamente de la colada continua.

Una vez que se vació el acero, el convertidor se levanta y tira la escoria. De aquí se lleva a mantenimiento, en donde se reviste la olla, se le coloca cerámica nueva, material con el que se rellena y protege la olla; se pasa a un quemador vertical durante 48 horas; se le coloca una válvula deslizante y, finalmente, se le prueba en otro quemador a mil 100 o mil 200 grados centígrados.

Es necesario que la mezcla tenga una conformación química homogénea en toda la olla; que la temperatura sea igual en todo el recipiente, y que las impurezas floten en la superficie y se queden con la escoria.

Cuando la olla está vaciando, la plancha receptora oscila constantemente para evitar que el acero se pegue. Aparte de evitar esto, garantizamos el primer enfriamiento, la primera piel solidificada que va creciendo. Las cuatro caras de cobre se enfrían con agua, logrando así un enfriamiento del 'pellejo'. Para cuando el planchón esté totalmente formado, habrá solidificado.

En la olla hay una temperatura aproximada de mil 590 grados centígrados; en el enfriador, de mil 540; en el molde, de mil 200, y en el planchón cercana a los 900.

También es necesario que se agregue un polvo conformado con cal, sílice, fluorita y alcalis, esto tiene dos finalidades; por un lado, evitar la oxidación del acero, y por otro, una vez que se funde cumplir la función de lubricante entre el acero y la placa de cobre. De hecho, siempre debe existir una gruesa capa negra sobre el acero.

Por último se descarga, y por debajo sale el planchón solidificado que pasa a las máquinas de corte, donde se le dan las dimensiones que necesita el demandante de acero.

De esta manera y mientras se realizaba este proceso, otros dos se habían iniciado ya, para mantener una alta producción durante las 24 horas los 365 días del año.

#### Producción Siderúrgica Especializada

Aceros Nacionales se constituyó en 1945 como una empresa siderúrgica semi-integrada que se especializa en alambres y productos de alambre de alta calidad, los cuales se ubican en la gama de alto y bajo carbono. La producción de la compañía es básicamente para el consumo interno y cubre todas las necesidades del país, incluso de productos altamente especializados, de muy alta densidad económica, que si se tuvieran que importar representarían una grave fuga de divisas para el país.

ANSA está entre las tres compañías más grandes del mundo en materia de producción de alambre y sus derivados; es, asimismo, la más importante de la República Mexicana, pues posee la planta más moderna y con mayor volumen de producción del país. Buena parte de la maquinaria que utiliza es importada pero, debido al tiempo que tiene la empresa, los procesos utilizados son bien conocidos por los trabajadores y no requiere de asesoría extranjera; inclusive, tal maquinaria se instala y opera sin necesidad de recurrir a agentes externos.

La planta, ubicada en Tlalnepantla, Estado de México, está integrada por grandes instalaciones, entre las que se encuentran las áreas de aceración, control de calidad, colada continua, laminación, alambre, así como los diferentes productos que a partir de éste se elaboran.

El área de aceración cuenta con tres hornos cuya capacidad oscila entre 30 y 45 toneladas que funcionan a través de electrodos. La función de estos hornos es derretir chatarra, principal materia prima con que trabaja la planta, básicamente de origen nacional. Cabe mencionar que antes de ser fundida, la chatarra es previamente seleccionada por categorías, según la clase de acero que se requerirá, ya que se intenta que esté lo menos contaminada posible. La fundición en los hornos es continua y tardan aproximadamente una hora y media en derretir 45 toneladas de chatarra, alcanzando temperaturas superiores a los 1 650 grados centígrados.

Después de la fundición, se envían muestras del metal derretido - al Departamento de Control de Calidad. Este departamento dispone de un espectrómetro que tiene la función de analizar diez elementos químicos diferentes que pudiera contener la chatarra, en sólo 55 segundos; así mismo, por medio de un circuito cerrado entre los hornos y este departamento, el fundidor y el investigador pueden darse cuenta simultáneamente de, por ejemplo, la cantidad de carbono que tiene la muestra enviada. Ello permite al operador de los hornos eliminar impurezas, así como agregar aleaciones con precisión. Estas aleaciones, realizadas -- cuando el acero se encuentra en e sta líquido, le proporcionarán fuerza, ductibilidad, dureza y muchas otras propiedades necesarias para ca da una de sus múltiples aplicaciones.

Como ya se dijo, en esta empresa se fabrican aceros al carbono; - esto es, existen especificaciones de mayor o menor cantidad de carbono para los distintos productos. Por ejemplo, un alto carbono es un acero más resistente y duro en comparación con un bajo carbono, que es un -- acero más suave y flexible.

En la sección de colada continua el acero se solidifica. Esto se logra enfriando el metal líquido a base de agua, gracias a lo cual pue den obtenerse barras de sección cuadrada (billeets). Este nuevo sistema ha representado una gran ventaja para el trabajador y para la empresa; antiguamente este proceso comprendía muchos pasos extras, lo que impli caba que el trabajador laborara bajo temperaturas extremadamente elevā das y hubiera un mayor gasto de energía. Ahora, gracias a esta sección el material pasa directamente del horno a colada continua, logrando -- así un considerable ahorro de tiempo y energía.

La empresa cuenta con dos modernas máquinas de colada continua -- con cuatro líneas de salida cada una, ambas con la misma capacidad de rendimiento en cuanto cantidad y calidad. Una de ellas está provista - de un sistema de control computarizado, que localiza con gran facili- dad cualquier falla en los circuitos de las máquinas.

El taller de laminado cuenta con un molino que requiere de ocho - mil caballos de fuerza para su operación, el cual produce varilla de - alambre. Tiene capacidad para producir hasta 500 toneladas de alambre por día con características físicas muy buenas; gran resistencia, su- perficie lisa y ductibilidad, entre otras.

Junto al molino de alambre están todas las instalaciones auxilia- res requeridas; galvanizado, patentado, recocido, etcétera.

Este molino dentro de su género es el más grande y moderno del -- país. Se produce alambre para distintas aplicaciones, y cierta canti- dad es consumida por la propia sección de productos de alambre de la - planta, en forma de redes, clavos, pías, cadenas, electromalla y ca- bles. Sin embargo, una buena parte se distribuye a fabricantes de reso- tes, grapas pasadores etcétera.

ANSA orienta sus productos básicamente a tres segmentos del mercado: 1) El agropecuario, que absorbe 21 por ciento de sus ventas y demanda productos como alambre de púas, bobina para pacas, cadena, telaborreguera y gallinero; 2) el manufacturero, que representa 44 por ciento y adquiere todo tipo de alambres, caja de llanta, alambre alto carbono para resorte, alambroñ, entre otros productos, y 3) el de la construcción, que absorbe 35 por ciento de los embarques que hace la empresa y recibe productos especializados tales como electromalla, varilla, alambre recocido y clavo para construcción.

La capacidad de producción es de 195 mil toneladas por año, aunque en 1985 la planta instalada trabajó sólo el 80 por ciento de su capacidad.

La llamada "Casa de humos" inaugurada en 1975, fue y sigue siendo la de mayor tamaño instalada en el territorio nacional.

Todos los humos que generan los hornos de aceración son filtrados a través de 864 bolsas de dacrón de 10 metros de longitud por 36 centímetros de diámetro. De tal forma, el aire que se descarga a la atmósfera está libre de partículas contaminantes. Dicha "Casa de humos" es capaz de eliminar el 99 por ciento del polvo generado en los hornos. Los humos son extraídos del horno por medio de un ventilador capaz de mover siete mil metros cúbicos por minuto. Para tal efecto se emplea un motor de 900 caballos de fuerza que opera durante las 24 horas del día y los siete días de la semana.

#### CORROSION

Un problema viejo pero al que a veces no se da la debida atención antes de que provoque estragos que se traducen no sólo en pérdidas materiales y económicas sino humanas. Nos referimos a la corrosión del acero, material metálico de uso popular por lo barato que resulta y -- por la resistencia mecánica que ofrece.

Los países desarrollados han concedido prioridad a los estudios y opciones para retardar dicha corrosión, causante de daños irreversibles en obras civiles y en la industria en general

La historia de México es distinta. A pesar de que existen diversas experiencias al respecto, como el desplome de la techumbre del Auditorio Benito Juárez, en la Ciudad de Guadalajara en enero de 1980, o la caída del puente Papagayo en la carretera costera del Pacífico (Ira ma Acapulco-Pinotepa Nacional) en abril de 1951, por citar algunos.

El problema es tan serio que la OEA, a través del Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, menciona que los daños por corrosión equivalen en muchos países a entre 1.5 y 3.5 por ciento del Producto Nacional Bruto.

## LA PRIMERA SEMILLA

En nuestro país, el Departamento de Metalurgia de la División - de Estudios de Posgrado, de la Facultad de Química, UNAM, realiza esfuerzos por actualizar las técnicas sobre selección de materiales y diseños apropiados; así como para profundizar en las tecnologías anticorrosivas de protección más idóneas para cada caso.

### CORROSION ATMOSFERICA

Son muchos los tipos de corrosión que atacan al acero. Empezamos por la atmosférica. Como su nombre lo indica, es la degradación del acero cuando está en contacto con la atmósfera, cuyos dos elementos esenciales: el oxígeno y el agua, hacen imposible la conservación del metal.

El problema se ha agravado considerablemente en el siglo XX por la cantidad de contaminantes que hay en el aire.

Las lluvias ácidas, por ejemplo, que caen sobre el D.F., permiten que el ácido sulfúrico y el nítrico entren en contacto con dicho metal, y puesto que gran cantidad de acero estructurado se usa en las obras de ingeniería civil, uno de los estudios del Departamento es el averiguar la influencia de dichos contaminantes sobre el acero.

Hay lugares en México donde la corrosión es muy alta, como en Pajaritos, zona donde se asienta la industria petroquímica que contamina con SO<sub>2</sub> y además hay gran salinidad por efecto del mar, lo que permite elevadas concentraciones de cloruros. Mantener allí una estructura de acero a la intemperie es como dar de comer a los leones; el acero se oxida hasta convertirse en herrumbre. Diferente es la situación en una atmósfera rural, por ejemplo Guanajuato donde no existe tanta contaminación. Las atmósferas marinas y urbanas son muy propicias para la corrosión, la primera por la concentración de cloruros y la segunda por los contaminantes volátiles. Pero una atmósfera urbano-industrial, como la del norte de la ciudad, agrava la degradación del acero. Y la peor combinación es la atmósfera industrial-urbana-marina, que afortunadamente en México no existe.

### CORROSION LOCALIZADA

Antes de hablar de ella es bueno distinguirla de la corrosión-uniforme, forma más benigna de este fenómeno, que se manifiesta en la pérdida gradual del material; pero gracias a que ésta es observable se puede medir y controlar.

Los problemas graves surgen con la corrosión localizada. Esto es, cuando la degradación se presenta en partes específicas de la pieza metálica, en forma de picaduras, pequeños agujeros o grietas-imperceptibles; provoca fugas (si se trata de un gasoducto o de un reactor nuclear) o el estallamiento por presión (si es un contene-

dor de líquidos, por ejemplo).

Por lo que toca a la corrosión localizada, tema que recientemente interesa al Departamento de Metalurgia, destaca la de las varillas de refuerzo en estructuras de concreto. Esto debido a la gran demanda que han tenido en la industria de la construcción. "Las estructuras de concreto tienen dos elementos: el concreto y una varilla de refuerzo que va embebida dentro del bloque de concreto. Existe una relación simbiótica entre el concreto y las varillas de acero de bajo carbono. El concreto es un medio alcalino y la varilla debe estar en forma pasiva protegida por él ¿ Por qué se pone varilla dentro del concreto?, porque la varilla da la resistencia a la tensión de la estructura, mientras que el concreto da la resistencia a la compresión.

Un edificio está expuesto a esfuerzos de tensión, de torsión, de movimientos del suelo y la varilla es la que resiste todo eso. El peso de la construcción se recarga en el concreto. Los dos materiales son nobles y baratos. Por eso su uso es tan popular desde hace años.

A raíz de los sismos del año de 1985 se acrecentó la necesidad de estudiar las fallas por corrosión de varillas de acero, pues el desplome de algunas construcciones se debió a la falta de resistencia mecánica en las estructuras. No había varillas dentro del concreto, sólo quedaba la mancha de óxido.

Son cuatro los problemas que atacan al acero dentro de este material. Uno de ellos es la concentración de ciertos iones agresivos en el concreto. Cloruros que se integran en el agua de amasado o en los aditivos del material o iones cloro que ingresan del exterior, por ejemplo cuando las estructuras están en ambientes marinos o sumergidas en el mar, a través de los poros del concreto. Esto hace perder la pasividad al acero y la corrosión es localizada; poco a poco va perdiendo material la varilla hasta desaparecer. Otro factor son los cambios que sufre el concreto con la atmósfera, cuando el bióxido de carbono produce una reacción química en él y lo acidifica; sufre un proceso de carbonatación. De ahí viene la destrucción lenta pero inexorable de la varilla. Otro asunto es la proximidad del concreto que si fue preparado con mucha agua será mayor. Así es más fácil que ingresen los cloruros, el bióxido de carbono y el oxígeno. Este último es un reactivo que controla el proceso de corrosión, la reacción concreto-varilla es un medio conductor en el que se difunden elementos agresivos que primero aniquilan el acero.



**Especificación de materiales.** Una especificación es el intento de parte del consumidor para decirle al productor lo que desea, obviamente, la habilidad y exactitud con que algo puede especificarse depende del grado de conocimiento relacionado con ello y la precisión con sus cualidades puedan determinarse. A medida que el arte y la ciencia del ensayo avanzan, del mismo modo la base para la preparación de especificaciones adecuadas se mejora. Sin embargo, la efectividad con que una cosa es especificada depende también de la cooperación con que se ha expresado la especificación y de cuán susceptibles de poner en vigor son las provisiones. Este problema, aunque frecuentemente concierne al ingeniero de ensayos en particular, puede presentarse a cualquier ingeniero.

Hubo un tiempo en que se acostumbraba especificar meramente una marca dada, "o igual, el desempeño anterior y la integridad del productor eran la única garantía de la calidad potencial. Las primeras especificaciones con frecuencia eran necesariamente burdas porque el consumidor sabía muy poco acerca del material que trataba de especificar; muchas especificaciones actuales son igualmente burdas, y por la misma razón. Con la incrementada complejidad de nuestro sistema industrial, especificaciones más adecuadas se han tornado necesarias y, con el avance de nuestro conocimiento científico de los materiales, ellas se han tornado posibles.

Una especificación intenta ser una declaración de una norma de calidad. La especificación ideal definiría de manera única las cualidades de un material necesario para servir con la mayor eficiencia para un uso dado, y es posible acercarse a ella si pueden realizarse ensayos realmente significativos para determinar la presencia de las cualidades requeridas. Una especificación frecuentemente no llega a lo ideal por un número de razones, algunas de las cuales son las siguientes: (1) puede ser tan vaga que admita material de calidad inferiores, (2) puede ser demasiado restrictiva y así excluir un material de eficiencia igual o mayor, (3) puede estar basada en criterios inadecuados o inapropiados con respecto al tipo de servicio requerido, y (4) puede no estipular ninguna provisión o hacerlo con una inadecuada para ser puesta en vigor. Los defectos como éstos conducen no solamente a la obtención de materiales insatisfactorios sino frecuentemente a los costos desproporcionados y las disputas interminables. Es también importante advertir que una especificación puede resultar admisible y necesariamente imperfecta porque sería impráctico producir el material ideal. Considerando todos los ángulos, puede resultar tan ineficiente exigir una calidad demasiado alta, como aceptar una demasiado baja. Prácticamente, las especificaciones no se elaboran solamente para un material ideal, sino para uno que resulte posible obtener a un costo razonable según las condiciones de fabricación existentes.

Varias consideraciones fijan los límites dentro de los cuales - una propiedad especificada puede permitirse que varíe. El máximo y el mínimo a establecer pueden basarse en el experimento pero deben reconocer las limitaciones del proceso de fabricación. Estos límites corresponden con los límites dimensionales admitidos al fabricar partes de máquinas, donde se permite una variación tal del tamaño que cada parte que se traduzca en la economía de la fabricación - de las partes sin obstruir indebidamente la eficiencia de la máquina montada. Al fijar esos límites de tolerancia para materiales debe tenerse mucho cuidado de evitar rangos demasiado estrechos por una parte y variaciones demasiado amplias o baja calidad por otra. Con frecuencia estos límites involucran la seguridad y, por lo general, la durabilidad y eficiencia.

Las especificaciones para materiales de construcción pueden definir los requerimientos para la aceptabilidad del material de una o todas las siguientes maneras:

1. Especificando el método de fabricación
2. Especificando forma, dimensiones y acabado
3. Especificando las propiedades químicas, físicas o mecánicas deseadas

Otro tipo de requerimiento, aunque raramente usado en el campo de los materiales, es que un producto no exhiba defectos estipulados durante cierto período después de la compra. Las especificaciones de desempeño a menudo se usan para las máquinas. Los requerimientos relacionados con los métodos de muestreo, ensayo e inspección con frecuencia se incluyen en las especificaciones de materiales.

**Especificaciones normales.** Un notable desarrollo de las pasadas décadas, particularmente en lo concerniente a los materiales, ha sido la preparación y el uso de especificaciones "normales". Una especificación normal para un material es por lo general el resultado de un acuerdo entre los interesados en un campo particular e involucra la aceptación para su uso de las agencias participantes.

Eso no implica necesariamente, sin embargo, el grado de permanencia usualmente conferido a las normas dimensionales, porque el avance técnico en un campo dado usualmente demanda una revisión periódica de los requerimientos. Algunos de los diversos tipos de agencias normativas son compañías independientes, asociaciones comerciales, sociedades técnicas y profesionales y organismos y departamentos de los gobiernos municipales, estatales y nacionales. La amplitud de la aceptación depende hasta determinado grado de la esfera de influencia y la autoridad de la agencia normativa. Según el procedimiento normativo seguido por las agencias importantes de este país, un período de negociación, formulación y ensayo usualmente precede el uso de una especificación como norma, a modo de poseer la

certeza de que sea viable.

Una especificación normal implica métodos de ensayo normales y ocasionalmente también definiciones normativas. En algunos casos, los métodos de ensayo se incorporan a una especificación de materiales. Por otra parte, algunas agencias normativas establecen métodos de ensayo además de las especificaciones de materiales y hacen referencia obligatoria a los métodos de ensayo.

Las especificaciones normales apropiadamente redactadas y susceptibles de ponerse en vigor pueden tener un valor inmenso para la industria. Algunas de las ventajas que puedan citarse para las especificaciones de materiales normales son:

1. Usualmente representan el conocimiento combinado del productor y del consumidor y reducen la posibilidad de que surgan malentendidos a un mínimo.

2. Ofrecen al fabricante una norma de producción, tienden a arrojar un producto más uniforme y reducir el número de variedades requerido en existencia, bajando así el consiguiente desperdicio y, por lo tanto, el costo.

3. Reducen los costos unitarios al tornar posible la producción en masa de artículos normalizados.

4. Permiten al consumidor usar una especificación ya ensayada y que puede ponerse en vigor.

5. Permiten al diseñador elegir un material con la certeza razonable de adquirirlo.

6. Simplifican la preparación de especificaciones para uso especial porque las especificaciones normales publicadas pueden incorporarse por referencia.

7. Ayudan al agente de compras a conseguir cotizaciones verdaderamente competitivas y compararlas.

8. Establecen el procedimiento para normas de ensayo en el campo comercial y por ello permiten la comparación de los resultados de los ensayos obtenidos en diferentes laboratorios.

En el desarrollo inicial de un procedimiento de ensayo normal, frecuentemente las organizaciones cooperantes realizan una considerable investigación para desarrollar un procedimiento que arroje resultados de ensayo reproducibles y significativos.

La desventaja de las especificaciones normales es que tienden a estereotipar las prácticas que puedan estar solamente en etapa de desarrollar un procedimiento que arroje resultados de ensayo reproducibles y significativos.

La desventaja de las especificaciones normales es que tienden a estereotipar las prácticas que puedan estar solamente en etapa de desarrollo y así obstruyen el progreso donde más se le necesita. -- Por esta razón, las especificaciones normales deben quedar bajo la jurisdicción de una agencia bien informada y completamente imparcial.

Las especificaciones para materiales y métodos de ensaye deben someterse a una continúa revisión para determinar su adecuación en condiciones cambiantes. Asimismo, varios códigos basados en estas normas deben revisarse continuamente.

**Agencias estandarizadas.** Como la normalización tiene una influencia tan importante en los métodos de ensaye ordinarios, resulta deseable para el ingeniero poseer alguna familiaridad con la naturaleza y las publicaciones de las agencias que han promulgado algunas de las especificaciones de los materiales extensamente usados y los métodos de ensaye.

Las normas promulgadas por la American Society for Testing and Materials (Sociedad Norteamericana para el Ensayo y los Materiales) son de particular interés e importancia para quienes se ocupan del ensaye de materiales y de la inspección. Esta sociedad técnica nacional, formada en 1902, poseía en 1962 una membresía de aproximadamente 11 000 socios, quienes pueden burdamente clasificarse en tres grupos: consumidores, productores y un grupo de interés que incluye ingenieros, científicos, educadores, expertos en ensaye, etcétera.

La ASTM desempeña la doble función de la normalización de las especificaciones y los métodos de ensaye de los materiales, la cual es realizada por comités permanentes, cada uno de los cuales tiene bajo su jurisdicción los materiales de ingeniería en un campo específicamente prescrito o alguna fase también específica del ensaye de materiales; y el mejoramiento de los materiales de ingeniería el cual es logrado a través de investigaciones y rebusca por comités y miembros individuales, los resultados de las cuales se hacen públicos a través de las publicaciones de la sociedad. Las especificaciones se publican en una serie de volúmenes separada llamada ASTM-Standards (Normas de la ASTM) las cuales se lanzan en nueva edición cada tres años.

La labor de normalización incluye en general (1) el desarrollo de los métodos de ensayo para los materiales, (2) el establecimiento de definiciones normales, (3) la formulación de especificaciones de materiales y (4) la formulación de prácticas recomendables que influyen en varios procesos de utilización de materiales. Los comités encargados del desarrollo de las especificaciones estudian primeramente los materiales en sus campos respectivos y fomentan la necesaria investigación sobre la cual debe basarse la labor de norma-

lización. En los comités que estudian materiales que posean importancia comercial, la política generalmente consiste en mantener el equilibrio entre los representantes de los intereses del productor y el consumidor.

Después de la terminación de los estudios que involucran los métodos de ensaye, la nomenclatura, y los requerimientos, se desarrolla una norma propuesta y presenta en una junta del comité que tenga jurisdicción sobre los materiales del campo particular en cuestión. Si se consigue la aprobación en esta junta y también más tarde mediante la votación por carta de todo el comité, se publica la norma propuesta para información en un informe del comité en la segunda junta anual de la sociedad. Si es aceptada por los miembros de la sociedad en esta junta, se publica el método de especificación o ensayo en forma tentativa cuando menos durante un año para provocar la crítica. Después de la debida consideración de los comentarios recibidos, el comité puede recomendar que la especificación tentativa se adopte como norma. Cada norma, antes de su adopción, debe recibir la debida aprobación en voto por carta solicitado de todos los miembros de la sociedad. Las modificaciones de las normas pueden ser consideradas en cualquier momento por el comité permanente competente. Las modificaciones deben publicarse tentativamente antes de que puedan ser incorporadas a una norma. Las normas pueden ser retiradas en cualquier momento mediante la acción apropiada.

#### En el desarrollo de especificaciones.

debe tenerse plenamente en cuenta la influencia de los procesos de fabricación, la naturaleza de los esfuerzos y otras condiciones a los cuales el material será sometido en servicio, y las propiedades particulares del material que lo capacitan para rendir un servicio satisfactorio. La investigación y el estudio acuciosos de la experiencia durante años de servicio frecuentemente son requeridos antes de que una especificación adecuada pueda ser preparada. El comité debe arribar a un acuerdo sobre las propiedades del material a especificar, los métodos de ensayo, aquellos detalles de fabricación que sean necesarios, los métodos de inspección y marcado, etc. En todas estas cosas pugna por ceñirse a la mejor práctica comercial que haya sido desarrollada al surtir el material o artículo particulares al ramo comercial. Las especificaciones para aquellos materiales de cuya resistencia y confiabilidad la vida humana pueda depender deben redactarse con un cuidado especial y proveerse de salvaguardas adecuadas en el ensaye y la inspección. Algunas veces resulta necesario transar entre los puntos de vista un tanto extremos adoptados por el productor y el consumidor para arribar cuando menos a un acuerdo tentativo sobre ciertos detalles, aunque mientras más claramente se comprendan los problemas involucrados y más

completos sean los datos técnicos que puedan presentarse sobre el tema, más fácilmente se puede lograr un acuerdo lógico y razonable.

Para los detalles completos, pueden consultarse el Anuario de la ASTM y otras publicaciones de la sociedad, de los cuales se han extraído muchas de las anteriores declaraciones.

La Asociación Norteamericana de Normas fue organizada en 1918 por la ASCE, ASME, AIEE, AIMME, y ASTM para proveer un medio para la industria, las organizaciones técnicas y los departamentos gubernamentales para trabajar conjuntamente en el desarrollo de normas industriales nacionales aceptables para todos los grupos y otros mediante el cual las agencias normativas pudieran coordinar sus labores e impedir la duplicación del esfuerzo(2). Según un método, la ASA Standards (Normas de la ASA) se desarrollan y aprueban de una manera muy similar a la de la ASTM, excepto que el grupo guía es un comité seccional compuesto de representantes de todos los grupos interesados. Según otro método, la ASA puede aprobar normas "propietarias" existentes como Normas Norteamericanas; muchas de las normas de la ASTM han sido aceptadas por la ASA de esta manera.

Aunque muchos de los grandes organismos del gobierno federal -- han publicado sus propias especificaciones "normales" quizá las de mayor interés general sean las desarrolladas por el Departamento de Comercio actuando especialmente a través del National Bureau of Standards (Instituto Nacional de Normas); aquellas desarrolladas por el U.S. Bureau of Reclamation (Instituto Norteamericano de Reclamación) y el U.S. Engineer Department (Departamento de Ingeniería de los Estados Unidos); y las publicaciones de los Ordnance and Material Departments of the U.S. Army and Navy (Departamentos de Ordenanza y Material del Ejército y de la Armada de los Estados Unidos).

Para usos especializados, muchas especificaciones de alcance nacional han sido patrocinadas por sociedades técnicas particulares.

La Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotivos) ha desarrollado una serie inclusiva de especificaciones para aceros, incluyendo las aleaciones. El útil método de designación de los aceros de la SAE es ampliamente usado en la industria. El American Petroleum Institute (Instituto Norteamericano del Petróleo) ha desarrollado especificaciones generalmente aceptadas relacionadas con el cable metálico. El American Concrete Institute (Instituto Norteamericano del Concreto) ha desarrollado un útil grupo de especificaciones relacionadas con la construcción de concreto. El American Bureau of Shipping (Instituto Naval Norteamericano) ha adoptado "Rules for Building and Classing Steel Vessels" (Reglas para la construcción y Clasificación de Naves de Acero). La American Association of State Highway Officials (Asociación Norteamericana de Agencias Estatales de Caminos) publica "Standard Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing" (Especificaciones Normales para el Muestreo y ensaye de Materiales para Caminos). Un gran número de estas normas son idénticas con Normas ASTM correspondientes.

Aunque la American Society for Metals (Sociedad Norteamericana para los Metales) no es una agencia normativa, se le debe mencionar como una de las sociedades técnicas importantes interesadas en el desarrollo de los metales y la determinación de sus propiedades y características. El Metal Handbook (Manual de Metales), publicado por esta sociedad, constituye una utilísima compilación de información y cubre todas las fases del tema de los metales.

## TENDENCIAS INTERNACIONALES

La política mundial está presentando una fuerte tendencia a la formación de zonas, regiones y bloques comerciales, persiguiendo lo que se denomina la globalización de la economía.

Muchos de los cambios que se han generado, se están acelerando como una resultante de la revolución tecnológica y de la impresionante velocidad con que se difunde la información, provocando que se modifiquen los esquemas en que se desarrollan las actividades de cada país.

Cualquier nación que dentro de las nuevas tendencias pretenda mejorar su economía, tiene que sustentar sus posibilidades en el crecimiento de su mercado doméstico y en su capacidad para competir con los mercados externos, desarrollando economías de escala y de sector que le permitan integrarse en los de su ubicación geográfica.

Las empresas en este escenario, deberán demostrar CONFIABILIDAD además de su productividad y capacidad para satisfacer la demanda, para lo cual requerirán certificar la consistencia de la calidad que puedan lograr.

Esta condición proporciona una opción importante para los consumidores, adicional a la que puede representar el precio y que es significativa especialmente cuando las transacciones se hacen a distancia.

Por esto, al formarse los bloques comerciales, las ofertas que tendrán mayores posibilidades de éxito serán las que reciban el reconocimiento sobre su calidad.

El reconocimiento de la calidad entre los países, como entre cualquier consumidor y proveedor requiere de la armonización de los sistemas de medición, de normalización, de juicios de calidad, de procedimientos de prueba, certificación y hasta de legislaciones, para agilizar y propiciar el intercambio simplificando trámites y reforzando la cooperación entre los distintos agentes económicos y sociales. Lo anterior que en algunas regiones ya se está efectuando, tiene como propósito manifiesto conseguir la libre circulación de productos, procesos, servicios y personas.

Estos nuevos modelos de desarrollo económico, también están incluyendo conceptos relacionados con la ecología que entre sus requerimientos contemplan la garantía de conservación de los recursos y de no afectación al medio ambiente.

Las tendencias internacionales aquí señaladas hacen que al buscar el ingreso de nuestro país en grandes bloques comerciales se tengan que diseñar planes estratégicos para lograr los cambios necesarios -

en nuestra economía interna, que nos permitan participar activamente en este escenario mundial defendiendo la permanencia de empresas mexicanas en el mercado interno y evitar que sean desplazadas por empresas extranjeras.

Para desarrollar estos planes, los productores de bienes y servicios tendrán que considerar el cubrir cuando menos cinco etapas que deben comentarse:

- PRIMERA:** Definir claramente qué se entiende por calidad y aplicar - éste concepto como base de las actividades para suministrar bienes o servicios.
- SEGUNDA:** Producir bienes y servicios de calidad definida, para suministrarlos en condiciones competitivas.
- TERCERA:** Auxiliarse de las herramientas necesarias para obtener la calidad definida, y darle continuidad y permanencia.
- CUARTA:** Conseguida la permanencia lograr la confiabilidad.
- QUINTA:** Certificar la calidad demostrando a los consumidores la - confiabilidad conseguida.

Para analizar este esquema con más detalle, comentarlo y referirlo a lo que está sucediendo en el mercado que afecta a los servicios de ingeniería para la construcción, puede ser de gran utilidad tomar como modelo la parte del trabajo que presentó el Dr. en Ingeniería --- Daniel Resendiz Nuñez, en la Mesa Redonda sobre Historia y Logros de la Ingeniería Civil en México, dentro de las actividades para conmemorar el 200 Aniversario de la fundación del Real Seminario de Minería en noviembre de 1991, en la que señala COMO, DONDE y PORQUE nos afecta la falta de calidad en este sector:

#### LISTA DE CAUSAS DE CALIDAD NO SATISFACTORIA DE LAS OBRAS DE INGENIERIA

##### A. OSCILACION EXCESIVA DE LA DEMANDA

Obliga a las empresas a tener muy pequeños cuadros de ingenieros de planta, para satisfacer apenas poco más de la demanda mínima, y en consecuencia atender insuficientemente los proyectos en las épocas de mayor demanda.

##### B. ESCASEZ DE INGENIEROS EXPERIMENTADOS

Consecuencia de lo anterior

**C. SISTEMA INAPROPIADOS DE CONTRATACION DE LOS SERVICIOS DE INGENIERIA**

Tienden a ponderar más el precio que la calidad.

**D. ABUNDANCIA DE EMPRESAS POCO SERIAS**

Escudadas en el criterio anterior ofrecen servicios de pésima ca lidad a precios irrazonablemente bajos.

**E. REMUNERACION INSUFICIENTE DE LOS INGENIEROS**

Causa de los dos factores previos.

**F. FORMACION ESTRECHA Y CALIDAD POBRE DEL RECIEN EGRESADO MEDIO**

Quiere decir no tanto insuficiencia de conocimiento sino escasez de bases teóricas que le permitan desarrollar buen criterio y -- aprender de la experiencia en la práctica.

**G. ESCASA SISTEMATIZACION DEL TRABAJO EN LAS EMPRESAS**

Principalmente por falta de procedimientos escritos.

**H. FALTA DE METODO EN LA INTRODUCCION DE LOS JOVENES EN LA PRACTICA PROFESIONAL**

**I. REZAGO TECNOLOGICO DE LAS EMPRESAS**

Respecto al estado del arte internacional.

**J. FALTA DE INTEGRACION DE LOS SERVICIOS DE LA EMPRESAS**

Obliga al cliente a satisfacer las necesidades de un proyecto dando mediante la intervención de varias empresas que trabajan de forma - independiente .

**K. DEFICIENCIAS DE ESPECIFICACION, SUPERVISION Y SEGUIMIENTO DE LOS - PROYECTOS POR EL CLIENTE**

Parcialmente a causa del factor anterior

Aquí se observa que la falta de calidad se provoca por incumplimiento de uno o más de los cinco puntos mencionados anteriormente.

Para estas deficiencias el Ingeniero Resendiz propone lo siguiente:

**REMEDIOS POSIBLES**

- A. Concertación gobierno-cámaras de la industria para la programación sexenal y anual de la demanda de obra pública.
- B. Concertación de las mismas partes para el desarrollo de criterios- de contratación de servicios de ingeniería competitivos en calidad.

- C. Revisión de métodos de reclutamiento y desarrollo profesional para ingenieros de empresas.
- D. Revisión y sistematización de los procedimientos de trabajo en las empresas.
- E. Integración horizontal de las empresas que ofrecen servicios de ingeniería.
- F. Desarrollo de métodos más efectivos de comunicación e información entre las empresas y sus clientes.
- G. Certificación de la calidad de las empresas con participación colegiada de ellas mismas, sus cámaras y sus principales clientes.
- H. Certificación extra escolar de los ingenieros para la práctica profesional, como ocurre en la mayoría de los países avanzados con los que tendremos que competir.
- I. Certificación colegiada con participación internacional de las escuelas de ingeniería.

Como puede observarse en su exposición el Ingeniero Resendiz nos marcó claramente algunas formas para conseguir la calidad, que prácticamente coinciden con la tendencia a la certificación de productos, procesos, servicios y personas que mundialmente se está desarrollando y que de no asimilarse cuidadosamente puede causarnos una afectación -- considerable.

El modelo también nos impone la necesidad de analizar los requerimientos que nuestras empresas tendrán que cubrir para cumplir con cada una de las cinco etapas referidas y para que demostrando su confiabilidad puedan recibir la certificación que les permita participar con reconocimiento en el extranjero y reducir las desventajas que al carecer de él, tendrían en nuestro mercado interno al competir con similares extranjeras que al establecerse muestren como argumento de ventas su calidad certificada.

**PRIMERA:** Considerando que el término calidad como concepto aislado es subjetivo, cualquier producto, proceso o servicio puede ser juzgado por diferentes individuos o entidades de diferente manera; basados en lo que cada quien espera de ellos. Es decir, pueden considerarse buenos o malos, dependiendo de las necesidades particulares de quien los juzga.

**SEGUNDA:** Para obtener calidades definidas es indispensable considerar dos clases de requisitos:

1. Los que se refieren a aspectos básicos:

- Conocer las necesidades del cliente.
- Diseñar para satisfacer las necesidades detectadas.
- Producir o proporcionar servicios con un mínimo de rechazos.
- Comprar insumos, componentes o subconjuntos confiables.
- Subcontratar servicios confiables.
- Garantizar seguridad.
- Proporcionar instrucciones claras y adecuadas.
- Efectuar entregas dentro del plazo estipulado.
- Disponer de un servicio posterior a la venta eficaz y profesional.
- Retroalimentar al sistema de calidad para adaptarse a las necesidades cambiantes del cliente y para mejorar el producto o servicio.

2. Los que se refieren a aspectos complementarios para mantenerse competitivos.

- Tomar en cuenta innovaciones tecnológicas y si es necesario aplicarlas.
- Tomar en cuenta tendencias estéticas.
- Tomar en cuenta los precios del mercado.
- Invertir en investigación y desarrollo.
- Buscar el punto de equilibrio de los costos de calidad -- creando un sistema preventivo y no correctivo.

**TERCERA:**

Después de que se haya logrado obtener la calidad definida, será indispensable hacerla repetitiva y perdurable; es decir, que sea consistente y tenga continuidad en el tiempo.

Esto puede lograrse como sigue:

1. Propiciando un cambio de actitudes en el personal que facilite el desarrollo de hábitos y mecánicas de acción que permitan ser consistentes, por ejemplo:

- Trabajar con orden: Recoger, seleccionar.
- Trabajar con limpieza: Limpiar con frecuencia; solucionar pequeñas averías.
- Trabajar con motivación: Echarle ganas.

- Tener constancia: Crear hábitos de paciencia y tenacidad.
- Mantener disciplina: Respetar instrucciones y mejorar la seguridad y el ambiente laboral.

2. Utilizando las herramientas auxiliares disponibles que construyan y mantengan la calidad.

- **Metrología:**  
Utilizar las mediciones para comparar y corregir.
- **Especificaciones, normas, etc:**  
Utilizar criterios para interpretar correctamente características, tolerancias, procesos, métodos de prueba, etc.
- **Control:**  
Comprobar periódicamente con ayuda de la estadística, resultados de pruebas, etc. Retroalimentar con estos datos las operaciones y ajustar lo necesario.
- **Investigación y desarrollo:**  
Optimizar. Mejorar. Innovar.
- **Verificación:**  
Realizar inspecciones y asegurarse de que se ha obtenido la calidad definida.

**CUARTA:**

No bastará con alcanzar consistencia y constancia en la obtención de calidades definidas, además será necesario que los consumidores tengan confianza en nuestros productos y en lo que hacemos. Para esto, se deberán desarrollar los elementos que constituyen LOS SISTEMAS DE CALIDAD, aplicables a cada empresa, de modo que puedan ser fácilmente revisados interna y externamente, según lo requieran el tipo de transacciones o contratos que se establezcan.

Una secuencia para asegurar la calidad, que ha sido aplicada en muy diversos sectores y que ha tenido aceptación internacional, es la siguiente:

**1. FIJAR LA POLITICA DE CALIDAD**

En cada empresa, la Dirección General debe marcar claramente sus objetivos y hacer del conocimiento de todo el personal las directrices generales para alcanzarlos.

Esto le impone la necesidad de promover procesos educativos, para desarrollar en todos los niveles la conciencia de la calidad y señalar constantemente la importancia que para la empresa tienen los clientes.

De manera especial la Dirección de cada empresa, debe enterar a todo su personal, que los servicios o productos de mala calidad generan pérdidas económicas y de imagen.

En resumen, debe indicar la forma en que considera puede alcanzar la calidad deseada.

## 2. EJERCER LA GESTIÓN DE CALIDAD

La Directiva de las empresas debe también determinar las funciones de mando y de gestión para que en cada nivel se aplique la política de calidad definida.

## 3. DISEÑAR EL MODELO DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

Aunque existen modelos generales conocidos que marcan algunas secuencias de actividades y establecen responsabilidades, procesos, procedimientos, formas de asignación, de recursos, etc., que pueden aplicarse como modo de gestión para cumplir con la política de calidad que alguna empresa establezca, el sistema para asegurar debe hacerse por y para cada empresa. Es decir, debe hacerse para cubrir las actividades particulares y peculiares de cada empresa.

## 4. DOCUMENTAR EL SISTEMA DE CALIDAD

Una vez definido el sistema de calidad, se tienen que elaborar los documentos que describan la política de calidad, tipos de gestión, procedimientos, instrucciones de trabajo, formatos para informes y control, etc., para darle apoyo. Su alcance debe cubrir desde la alta dirección, hasta los operadores de nivel más bajo.

## QUINTA:

En esta etapa se emite un juicio de calidad. Cuando se puede confirmar y asegurar la existencia de la calidad en bienes y servicios o demostrar la confiabilidad de los sistemas de calidad o ambas cosas, se produce la CALIDAD CERTIFICADA.

La certificación puede presentarse en tres formas:

- La práctica de que el proveedor demuestre que lo que vende es bueno, se llama CERTIFICACIÓN DE PRIMERA PARTE
- Si un cliente comprueba que lo que compra es bueno, se llama CERTIFICACIÓN DE SEGUNDA PARTE

Cuando esta confirmación no puede hacerse por cada uno de los compradores sino que se hace por medio de un organismo de certificación, entonces se logra la CERTIFICACIÓN POR TERCERA PARTE

Esta última forma de juzgar la calidad que es efectuada por organismos de certificación que a su vez deben ser certificados, es la que está tomando preferencia en las transacciones comerciales internacionales; puede, operándola de manera adecuada, llegar a funcionar como un pasaporte o salvoconducto con el que los proveedores de bienes o servicios demuestran su confiabilidad ante consumidores de cualquier parte del mundo.

## POLITICAS NACIONALES E INTERNACIONALES DE CERTIFICACION

Aunque cada país debe definir la política de certificación que más se adapte a su modelo de desarrollo y buscar convenios de aceptación mutua de los sistemas nacionales de certificación con aquellos países que desee comercial; comúnmente tendrá que enfrentar dos clases de certificación; la certificación voluntaria y la certificación obligatoria.

La certificación obligatoria es exigencia normal de los Gobiernos, -- particularmente en aspectos que afectan la salud, la seguridad de personas y de instalaciones, así como para aspectos de contaminación ambiental.

La certificación voluntaria se utiliza en general para intercambios comerciales y cuando éstos lo exigen por contrato, se convierte a pesar de no ser obligatoria, en un requisito contractual que debe ser cumplido por el proveedor del producto o servicio.

Aquí es importante recordar que la normalización está estrechamente relacionada con la certificación, puesto que en las normas se definen los criterios que servirán de base para efectuar la certificación.

La normalización y certificación de SISTEMAS DE CALIDAD toma una gran relevancia a nivel mundial, a partir de que la Organización Internacional de Normalización (ISO), publicó en 1987 su serie de Normas ISO 9,000 y 10,000.

En la serie ISO 9,000 se describen criterios y lineamientos que han sido aceptados internacionalmente, para desarrollar sistemas de calidad a través de diferentes modelos de aseguramiento.

En la serie 10,000 se establecen los mecanismos para certificar por medio de realización de auditorías de los sistemas de calidad. También se incluye la manera de calificar y clasificar a los auditores. Esta serie contempla además otros aspectos para certificar. En la norma ISO 10,012 se establece por ejemplo, la confirmación de equipos de medida.

Por otra parte, para los organismos de Certificación y de Acreditamiento existen otros comités técnicos de ISO que han desarrollado normas y guías para certificar a los certificadores.

México, para estar acorde con estas tendencias y facilitar el acceso de empresas de nuestro país al comercio mundial realizó a través de la Dirección General de Normas la adaptación y las traducciones de estas normas ISO mencionadas y publicó dos paquetes de normas de calidad llamadas Normas-CC (Certificación de Calidad) los cuales describimos a continuación.

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, con fundamento en los artículos 10., 43 fracción I, 61 -- fracción VII y demás relativos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, 90. y 21 Fracciones I y XII del Reglamento Interior de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 40. Fracción X inciso a) del Acuerdo que Adscribe Unidades Administrativas y Delega Facultades en los Subsecretarios, Oficial Mayor, Directores Generales y -- otros Subalternos de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial -- publicados estos dos últimos en el Diario Oficial de la Federación el 20 de agosto y 12 de septiembre de 1985 respectivamente, se expide la siguiente

NORMA OFICIAL MEXICANA: NOM-B-6-1988  
"VARILLAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO  
PROCEDENTES DE LINGOTE O PALANQUILLA  
PARA REFUERZO DE CONCRETO"

## 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos que deben cumplir las varillas corrugadas y lisas de acero, de los grados 30 y 42, para refuerzo de concreto, procedentes de lingote o palanquilla -- de coladas identificadas.

1.2 Las varillas lisas con diámetro hasta 31.8 mm en tramos cortados o en rollos, cuando se especifiquen para juntas de traslape, espirales y estribos o apoyos, deben fabricarse bajo esta norma en los grados 30 y 42.

1.3 La soldabilidad del acero no forma parte de esta norma.

1.4 Se incluyen requisitos suplementarios, los cuales deben especificarse cuando se requieran propiedades mecánicas restringidas.

## 2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- NOM-B- 1 Métodos de análisis químico para determinar la composición de aceros y fundiciones.
- NOM-B-113 Prueba de doblado para productos de acero.
- NOM-B-172 Métodos de prueba mecánicos para productos de acero.
- NOM-B-434 Método de prueba para determinar el peso unitario y el área transversal de las varillas lisas y corrugadas para refuerzo de concreto.

### 3. DEFINICIONES

#### 3.1 Varilla Corrugada.

Varilla de acero que ha sido especialmente fabricada para usarse como refuerzo de concreto. La superficie de la varilla está provista de rebordes o salientes llamados "corrugaciones", los cuales inhiben el movimiento relativo longitudinal entre la varilla y el concreto que la rodea.

#### 3.2 Varilla lisa.

Varilla de acero desprovista de rebordes o salientes, o que teniéndolos, no cumple con las especificaciones de corrugación.

### 4. CLASIFICACION Y DESIGNACION

#### 4.1. Clasificación.

Las varillas objeto de esta norma, se clasifican conforme a su límite de fluencia mínimo, en dos grados.

<u>Grado</u>	<u>Límite de fluencia mínimo en N/mm<sup>2</sup> (kgf/mm<sup>2</sup>)</u>
30	294 (30)
42	412 (42)

#### 4.2 Designación.

En la designación de las varillas deben indicarse, como mínimo los siguientes datos para describirlas adecuadamente.

- Cantidad { en kilogramos o metros}.
- Número y nombre de esta norma.
- Número de designación (véase tabla a).
- Corrugadas o lisas.
- Grado.
- Rollo, recta o doblada.
- Requisitos suplementarios, si se requieren, por acuerdo previo en tre fabricante y comprador (véase b).

Un ejemplo para la designación es como sigue: 4. 000 kg de varillas corrugadas procedentes de lingote o palanquilla para refuerzo de concreto, número 8, 3 m de largo, en atados, grado 30, NOM-B-6.

## 5. ESPECIFICACIONES

### 5.1 Obtención del acero.

El acero para la fabricación de las varillas debe obtenerse por uno de los siguientes procesos: horno de hogar abierto, convertidor básico al oxígeno u horno de arco eléctrico.

#### 5.1.1 Material.

Las varillas deben laminarse a partir de lingotes o palanquillas procedentes de coladas identificadas.

### 5.2 Composición química.

#### 5.2.1 Análisis de colada.

5.2.1. En el análisis de colada, el contenido de fósforo en el acero no debe exceder de 0.05%.

#### 5.2.2 Análisis de producto.

5.2.2.1 En el análisis de producto, el contenido de fósforo en el acero no debe exceder de 0.0625 %.

### 5.3 Dimensiones y tolerancias.

En la tabla 1 se establece el diámetro, el área de la sección transversal, la masa y el perímetro correspondiente a cada uno de los números de designación de las varillas.

#### 5.3.1 Corrugaciones.

Las corrugaciones deben estar distribuidas uniformemente en la varilla. Las corrugaciones en el lado opuesto de la varilla deben ser similares en tamaño y forma.

Las corrugaciones deben estar colocadas de manera que formen un ángulo no menor de 45° con respecto al eje de la varilla.

Los requisitos de corrugación para varillas corrugadas no son aplicables a las lisas.

TABLA 1.- Números de designación, masas y dimensiones nominales y requisitos de corrugación para las varillas de refuerzo de concreto (a).

Número de designación (b)	Masa (c) nominal, en kg/m	Diámetro en mm	Área de la sección transversal, en mm <sup>2</sup>	Perímetro en mm	Espaciamiento máximo, promedio en mm	Altura mínima promedio, en mm	Distancia máxima entre centros de corrugaciones transversales (cuerdas) en mm
2	0.248	6.4	32	20.0	4.5	0.2	2.4
2.5	0.384	7.9	49	24.8	5.6	0.3	3.0
3	0.560	9.5	71	29.8	6.7	0.4	3.6
4	0.994	12.7	127	39.9	8.9	0.5	4.9
5	1.552	15.9	198	50.0	11.1	0.7	6.1
6	2.235	19.0	285	60.00	13.3	1.0	7.3
7	3.042	22.2	388	69.7	15.5	1.1	8.5
8	3.973	25.4	507	79.8	17.8	1.3	9.7
9	5.033	28.6	642	89.8	20.0	1.4	10.9
10	6.225	31.8	794	99.9	22.3	1.6	12.2
11	7.503	34.9	957	109.8	24.4	1.7	13.1
12	8.936	38.1	1140	119.7	26.7	1.9	14.6

- a) El diámetro nominal de una varilla corrugada es equivalente al diámetro de una varilla lisa que tenga la misma masa nominal que la varilla corrugada.
- b) El número de designación de las varillas corrugadas corresponde al número de octavos de pulgada de su diámetro nominal.
- c) El término masa en esta norma ha sustituido al término peso, usado erróneamente para representar la cantidad de materia que contienen los cuerpos (expresadas en kilogramos, gramos, toneladas, etc.).

### 5.3.2 Espaciamiento

El espaciamiento medio o la distancia entre corrugaciones sobre cada lado de la varilla, no debe exceder de siete décimos de su diámetro nominal.

La longitud total de las corrugaciones debe ser tal, que la separación entre los extremos de las mismas, sobre lados opuestos de la varilla, no sea mayor de 12.5% de su perímetro nominal. Cuando los extremos terminen en una costilla longitudinal, el ancho de la costilla debe considerarse como tal separación.

Cuando existan más de dos costillas longitudinales, el ancho total de todas no debe exceder del 25% del perímetro nominal de la varilla. Este perímetro debe ser 3.14 veces el diámetro nominal.

El espaciamiento, la altura y separación de las corrugaciones deben cumplir con los requisitos especificados en la tabla 1.

### 5.3.3 Tolerancias en masa.

Las tolerancias en masa de las varillas individuales en menos, no deben exceder al 6% de la masa nominal. En ningún caso debe ser causa de rechazo el exceso de masa de cualquier varilla.

NOTA. El término masa en esta norma ha sustituido al término peso, usa de erróneamente para representar cantidades de materia que contienen los cuerpos (expresadas en kilogramos, gramos, toneladas, etc.).

### 5.4 Requisitos mecánicos

#### 5.4.1 Propiedades a la tensión

La varilla debe cumplir con los requisitos de tensión especificados en la tabla 2. Los métodos de prueba se indican en el inciso 8.2.

TABLA 2.- Requisitos de tensión

	Grado 30	Grado 42
Resistencia a la tensión mínima, en $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ )	490 (50)	617 (63)
Límite de fluencia mínimo, en $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ ).	294 (30)	412 (42)
Alargamiento mínimo en 200 mm, en %		
Varilla número		
2, 2.5 y 3	11	9
4, 5 y 6	11	9
7	11	8
8	10	8
9	9	7
10	8	7
11 y 12	7	7

#### 5.4.2 Requisitos de doblado.

Las probetas deben doblarse alrededor de un mandril, sin agrietarse en la parte exterior de la zona doblada. La prueba debe realizarse a temperatura ambiente y en ningún caso a menos de 16°C. Los requisitos que deben cumplirse para el ángulo de doblado y el diámetro de mandril se especifican en la tabla 3.

TABLA 3.- Requisitos de doblado.

Número de designación	Diámetro del mandril para pruebas de doblado a 180°	
	Grado 30	Grado 42
2, 2.5, 3, 4 y 5	3 1/2 d	3 1/2 d
6; 7 y 8	5 d	5 d
9 y 10	5 d	7 d
11 y 12	5 d	8 d

NOTA.-

d = diámetro nominal de la probeta.

#### 5.4.3 Varillas lisas.

Para la prueba de doblado en varillas lisas, deben aplicarse los requisitos establecidos para el calibre menor, más cercano, de la varilla corrugada.

#### 5.5. Acabado.

5.5.1 Las varillas deben estar libres de imperfecciones que afecten su uso.

5.5.2 Escamas, irregularidades o corrosión superficiales, no deben ser causa de rechazo siempre y cuando desaparezcan mediante la limpieza manual con un cepillo de alambre y la probeta así cepillada, cumpla con los requisitos dimensionales y mecánicos especificados.

5.5.3 Imperfecciones superficiales diferentes a las especificadas en 5.5.2m deben considerarse perjudiciales, cuando las contiene la probeta, y esta no cumpla con los requisitos de tensión o de doblado.

#### 6. REQUISITOS SUPLEMENTARIOS

6.1 El siguiente requisito es opcional, y sólo debe aplicarse cuando se acuerde previamente entre fabricante y comprador, y se especifique en la orden de compra.

### 6.1.1 Requisitos de tensión.

Las varillas deben cumplir con los requisitos de tensión indicados en la tabla 4.

TABLA 4.- Requisitos de Tensión (A).

	Grado 30	Grado 42
Resistencia a la tensión, mínima, en $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ )	490 (50)	550 (56)
Límite de fluencia, mínimo, en $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ )	294 (30)	415 (42)
Límite de fluencia, máximo en $N/mm^2$ ( $kgf/mm^2$ )	422 (43)	540 (55)
Alargamiento en 200 mm, mínimo en %, varilla número:		
2, 2.5; 3	11	9
4; 5; 6	11	9
7	11	8
8	10	8
9	9	7
10	8	7
11 y 12	7	7

NOTA.- (A) La relación entre la resistencia a la tensión y el límite de fluencia real no debe ser menor de 1.25.

## 7 MUESTREO

7.1 El término lote se refiere a todas las varillas de la misma masa -- unitaria nominal que corresponden a una orden de embarque.

7.2 Análisis químico.

7.2.1 Análisis de colada.

Debe efectuarse un análisis de colada del acero en muestras tomadas, de preferencia, durante el vaciado

## 7.2.2 Análisis de producto.

Este análisis debe efectuarse en varillas que representen cada colada de acero.

## 7.3 Pruebas mecánicas.

7.3.1 Debe efectuarse una prueba de tensión y una de doblado por ca da tamaño de varilla proveniente de una colada.

### 7.3.2 Repetición de pruebas.

7.3.2.1 Debe permitirse repetir la prueba, si cualquier probeta utilizada en las pruebas de tensión presenta valores menores a los especificados y además, si una parte de la fractura se presenta fuera del tercio medio de la longitud calibrada, lo cual se indica por las marcas en la probeta, antes de la prueba.

7.3.2.2 Si los resultados de la prueba de tensión no cumplen con los requisitos mínimos especificados y no difieren en más de  $14 \text{ N/mm}^2$  ( $1.4 \text{ kgf/mm}^2$ ) de la resistencia a la tensión requerida, o no difiere en más de  $7 \text{ N/mm}^2$  ( $0.7 \text{ kgf/mm}^2$ ) del límite de fluencia requerido, o no difiere del alargamiento requerido en más de dos unidades porcentuales de los valores indicados en la tabla 2, se permite repetir la prueba en dos probetas tomadas al azar del lote que no haya cumplido. Si los resultados de esta repetición de pruebas cumplen con lo indicado, debe aceptarse el lote.

7.3.2.3 Si una prueba de doblado no cumple con los requisitos establecidos por razones que no sean causas mecánicas o defectos de la probeta, como se indica en 7.3.2.4, se permite repetir la prueba en dos probetas tomadas al azar del mismo lote. Debe aceptarse el lote si los resultados obtenidos en estas dos probetas cumplen con lo especificado.

Las repeticiones de prueba deben realizarse a temperatura ambiente, pe ro a no menos de  $16^\circ \text{ C}$ .

7.3.2.4 Si cualquier probeta no cumple con los requisitos especificados debido a fallas mecánicas, tales como problemas en el equipo de prueba, preparación inadecuada o presenta defectos, debe descartarse y sustituirse por otra del mismo tamaño y de la misma colada.

## 7.4 Dimensiones.

7.4.1 Para requisitos de corrugación.

Para que las determinaciones de las características dimensionales de las muestras sean representativas, las mediciones deben efectuarse en puntos seleccionados sobre una varilla por cada diez toneladas o fracción, contenidas en un lote.

## 8. METODOS DE PRUEBA

### 8.1 Composición química.

Los métodos que deben emplearse para determinar la composición química se indican en la NOM-B-1

### 8.2 Pruebas mecánicas.

#### 8.2.1 Probetas.

8.2.1.1 Las probetas para la prueba de tensión, deben ser de la sección completa del material, en su condición de laminado en caliente. Los resultados obtenidos deben compararse con los valores de la tabla 2 ó 4. La longitud calibrada de la probeta debe ser de 200 mm.

Las determinaciones de los esfuerzos unitarios de las probetas deben basarse en las áreas de las secciones transversales nominales de la varella, indicadas en la tabla 1.

8.2.1.2 Las probetas de doblado deben ser de sección completa en su condición de laminado en caliente.

#### 8.2.2 Pruebas de tensión.

##### 8.2.2.1 Límite de fluencia.

El límite de fluencia o resistencia de fluencia debe determinarse por uno de los siguientes métodos:

8.2.2.2 Método de la caída de la viga o detención de la aguja indicadora de la máquina de prueba.

8.2.2.3 Cuando el acero no tenga límite de fluencia definido, la fluencia convencional debe determinarse con base en el alargamiento bajo carga, usando un diagrama esfuerzo-deformación unitaria o un extensómetro. El alargamiento bajo carga debe ser 0.5%.

Esta prueba debe efectuarse conforme a lo indicado en la NOM-B-172. Sin embargo, el alargamiento bajo carga debe ser de 0.5% para ambos grados.

8.2.2.4 Podrá usarse cualquier velocidad de prueba que sea conveniente hasta la mitad del esfuerzo de fluencia especificado, después la velocidad de separación de los cabezales se ajusta de manera que no exceda de 13 mm/min. Se mantiene esta velocidad mientras la probeta fluya. Al determinar la resistencia a la tensión, la separación de los cabezales no debe exceder de 102 mm/min. En todos los casos la velocidad mínima de la prueba no debe ser menor de 1/10 de la máxima velocidad especificada para determinar la resistencia de fluencia y de tensión.

### 8.2.3 Prueba de doblado.

Esta prueba debe efectuarse conforme a lo indicado en la NOM-B-113 empleando probetas de suficiente longitud para asegurar un doblado libre; el dispositivo para la prueba debe cumplir con lo siguiente.

- a) Una aplicación continua y uniforme de la fuerza durante toda la operación de doblado.
- b) Movimiento sin restricción de la probeta en los puntos de contacto con el dispositivo de doblado, alrededor de un mandril -- con rotación libre.
- c) La probeta debe estar en contacto con el mandril durante toda la operación de doblado.

### 8.3 Determinación de las corrugaciones.

#### 8.3.1 Aparatos y equipo.

- a) Flexómetro, con aproximación de 1 mm.
- b) Vernier, con aproximación de 0.1 mm.

#### 8.3.2 Procedimiento.

##### 8.3.2.1 Espaciamiento.

El espaciamiento medio de las corrugaciones transversales debe determinarse dividiendo una longitud medida en la probeta entre el número de corrugaciones individuales y fracciones de corrugaciones en cualquier lado de la probeta.

La medición del espaciamiento debe efectuarse sobre una zona de las varillas que no contenga marcas, símbolos, letras o números.

La uniformidad de la separación entre las corrugaciones transversales de un lado de las varillas debe considerarse en corrugaciones de la misma dirección. En el caso de varillas con corrugaciones transversales en dos direcciones en el mismo lado de la varilla, el espaciamiento promedio o la distancia entre corrugaciones transversales debe calcularse dividiendo una longitud medida en la probeta entre el número de corrugaciones que existan en ese lado de la probeta y en esa longitud, independientemente de su dirección.

##### 8.3.2.2 Longitud medida en la probeta.

La longitud medida en la probeta debe considerarse como la distancia desde un punto sobre una corrugación a otro punto correspondiente a otra corrugación, en el mismo lado de la varilla.

### 6.3.2.3 Altura.

La altura media de las corrugaciones debe determinarse a partir de mediciones realizadas en no menos de dos corrugaciones típicas; las determinaciones deben basarse en tres mediciones por corrugación, una en el centro de la longitud total y las otras dos en puntos a la cuarta parte de la longitud total.

## 9 MARCADO Y EMBALAJE

### 9.1 Marcado.

9.1.1 El marcado de las varillas puede hacerse conforme a lo indicado en 9.1.2 ó 9.1.3, deben separarse adecuadamente y etiquetarse con el número de identificación de colada o de prueba.

9.1.2 Las varillas corrugadas suministradas conforme a esta norma deben identificarse con números, letras y/o símbolos realzados que indiquen los siguientes datos:

- a) Correspondencia con esta norma, con la letra "N". Cuando la varilla cumpla con el requisito suplementario indicado en 6, debe marcarse con la letra "L", que también implica la correspondencia con esta norma.
- b) Marca del fabricante (letra o símbolo).
- c) Número correspondiente a la designación de la varilla según tabla 1.
- d) Número que indique el grado de la varilla (30 ó 42).

NOTA: Las varillas lisas no requieren el marcado.

9.1.3 Como opción, las varillas pueden marcarse por medio de corrugas (véase figura 1) que signifiquen los datos indicados en el inciso 9.1.2; excepto que la marca del fabricante siempre debe marcarse con letra.

Las empresas que opten por este sistema de marcado deben registrar ante la Dirección General de Normas la letra que las identifique.

### 9.2 Embalaje.

El tipo de embalaje debe acordarse entre fabricante y comprador pudiendo emplearse para este caso, la especificación indicada en el apéndice A 1.

## 10 INSPECCION

El inspector que representa al comprador debe tener libre acceso, mientras se procesa el material objeto del contrato, a todas las partes de la fábrica relacionadas con la fabricación del material ordenado. El fabricante debe proporcionar al inspector, sin cargo alguno, todas las facilidades razonables para que se cerciore de que el material se suministra conforme a esta norma.

A menos que se especifique otra cosa, todas las pruebas e inspección - (excepto el análisis de producto), deben efectuarse en la fábrica antes del embarque y llevarse a cabo de manera tal que no interfieran -- con el trabajo de la planta.

## 11 CRITERIO DE ACEPTACION

A menos que se especifique de otra manera, cualquier rechazo basado en pruebas efectuadas conforme a lo indicado en 5.2.2, deben informarse - al fabricante dentro de los 60 días hábiles siguientes al recibo de - las muestras por el comprador.

El material que muestre defectos perjudiciales posteriores a su aceptación en la fábrica, debe rechazarse y notificarse al fabricante de dicho rechazo.

Las muestras analizadas conforme a lo indicado en 5.2.2, que representen material rechazado deben conservarse durante tres semanas a partir de la fecha en que se notifique al fabricante del rechazo. En caso de desacuerdo con los resultados de las pruebas, el fabricante puede apelar dentro de este lapso.

Para rechazar un lote por no cumplir con los requisitos en las corrugaciones tales como altura, longitud y espaciamento, debe demostrarse - claramente, por determinaciones en el lote, que no se cumple con los - requisitos mínimos especificados en el inciso 5.3.1.

No debe efectuarse ningún rechazo sobre la base de mediciones efectuadas en menos de diez corrugaciones adyacentes sobre cada cara de la varilla bajo prueba.

## APENDICE

A 1 Hasta que se elabore la Norma Oficial Mexicana correspondiente, - debe consultarse en forma supletoria la especificación siguiente:

A 1.1 ASTM-A-700 "Practices for Packaging, Marking, and Loading --- Methods for Steel Products for Domestic Shipment".

A 2 Este apéndice no forma parte de la norma, se indica solo con fines de información para el usuario.

Soldabilidad.

Para soldar este tipo de varilla se recomienda aplicar el código AWS. D.1.4. "Structural Welding Code Reinforcing, Steel"

## 12. BIBLIOGRAFIA

NOM-B-6-1983

Varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto.

ASTM-A-615-85

Deformed and plain billet-steel-bars for concrete reinforcement.

## 13 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONES.

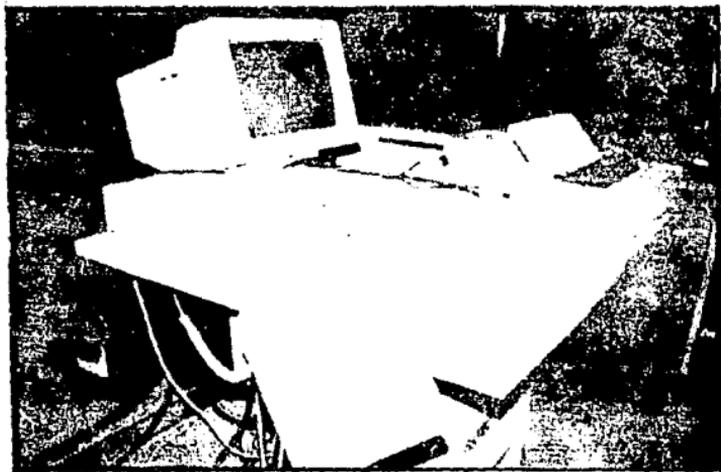
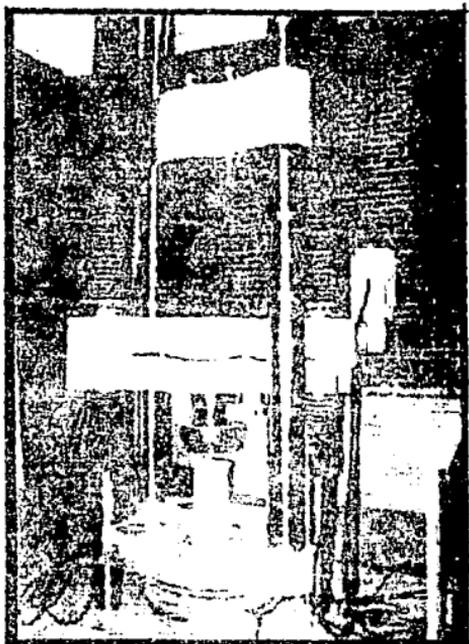
No puede establecerse concordancia por no existir referencia al momento de elaborar la presente.

## OBSERVANCIA OBLIGATORIA DE ESTA NORMA.

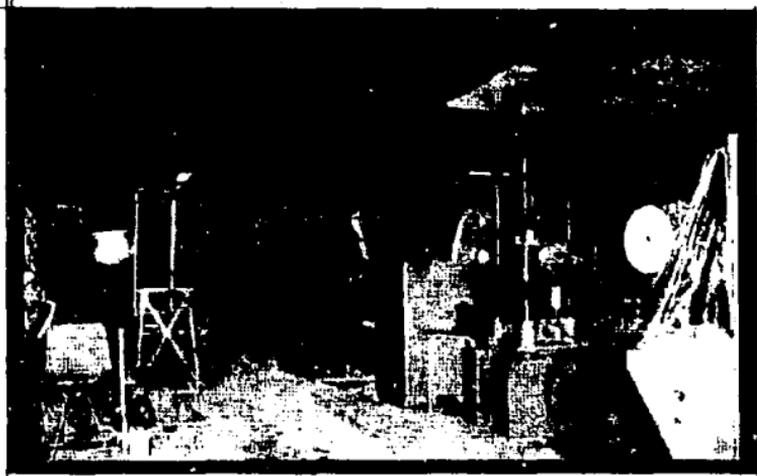
De conformidad con el artículo 61 fracción VII de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, la presente norma es de carácter obligatorio y empezará a regir a partir de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

**CAPITULO 3**  
**DESCRIPCION DE PRUEBAS**

Vista parcial de la Máquina Universal "Satec", localizada en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería, en dicho equipo se realizaron las pruebas descritas en este Libro.

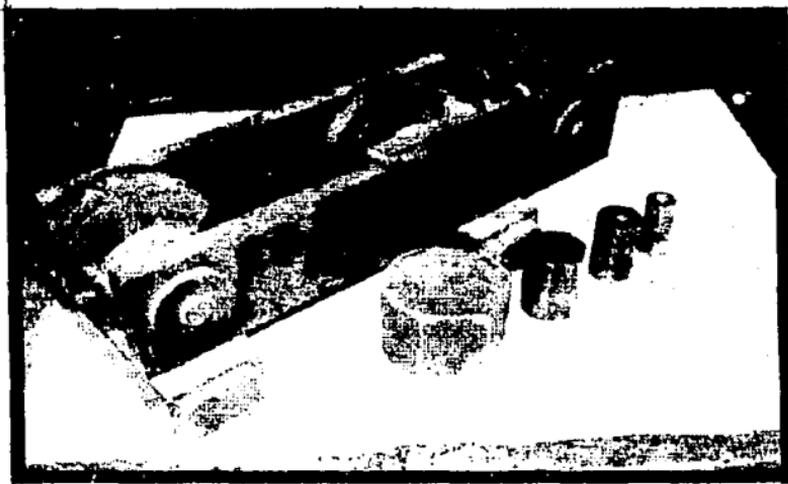


Consola de control "Satec", conformada por computadora, impresora, plotter e interruptores. - Tecnología realmente vanguardista.

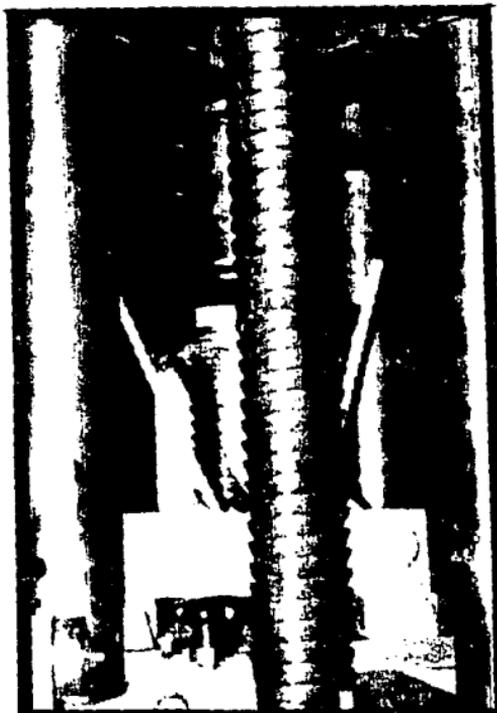


*Panorámica del Equipo Amsler, Laboratorio de Materiales, Facultad de Ingeniería UNAM.*

*En este equipo se realizan pruebas dinámicas y estáticas.*

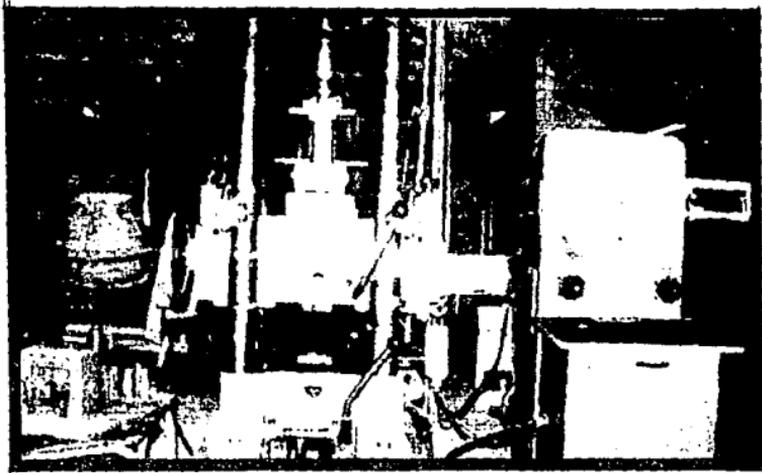


*Dispositivo empleado para realizar la prueba de doblado, las piezas sueltas ilustradas son los mandriles.*



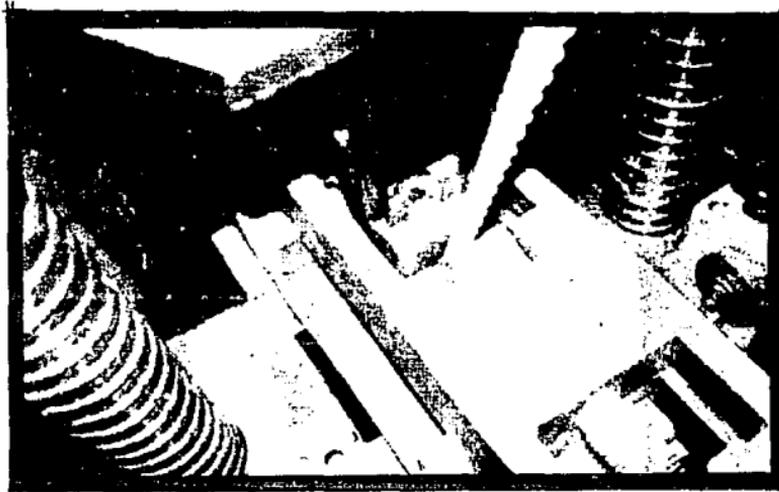
Izquierda.- Probeta sometida a la prueba de doblado, a punto de ser concluida.

Abajo: Colocación del dispositivo de doblado en la máquina amsler;- se observa la barra doblada casi en su totalidad, en la parte superior de la plataforma del equipo.





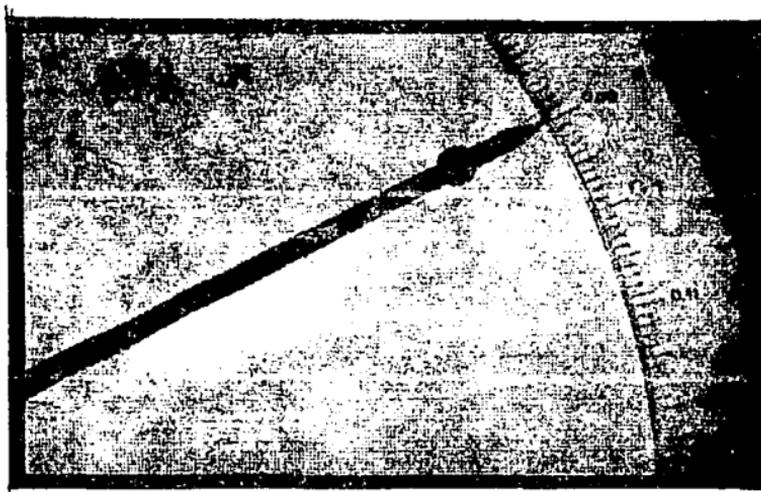
Perfecta colocación de un espécimen siguiendo las especificaciones NOM-8-6-1988, para practicarle la prueba de doblado, el mandril (vástago superior) bajará hasta doblar la probeta.



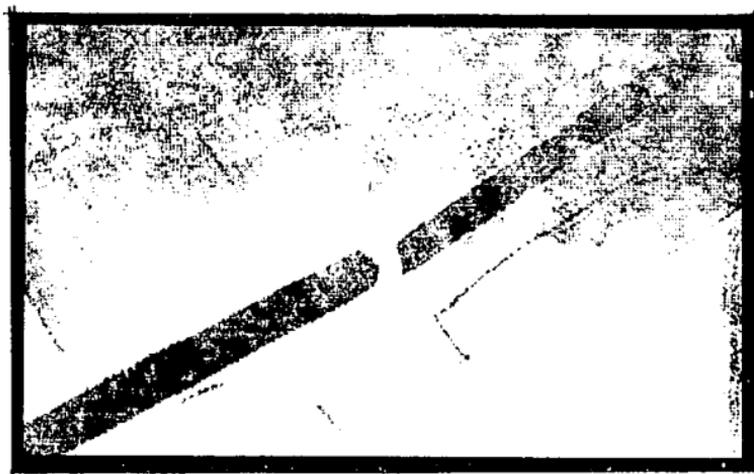
Probeta sometida al doblado en su totalidad.



*Especimen listo para ser sometido a la prueba de tensión, cumpliendo con los requerimientos de la Norma NOM-6-6-1988, en un Equipo Amster.*

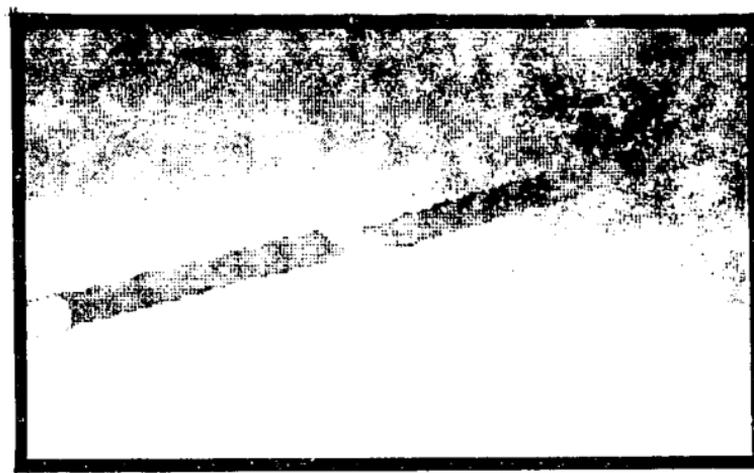


*Momento en que la probeta alcanzó su límite de fluencia, la carátula indica*

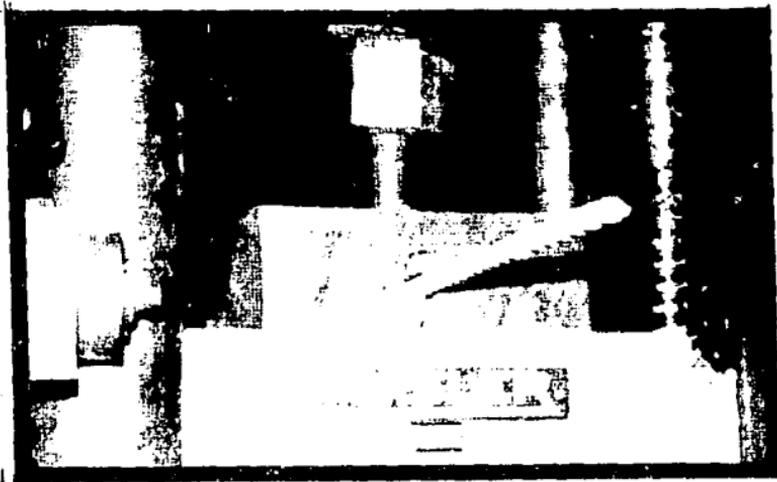


La gráfica que se aprecia fué realizada con el Equipo Amster durante la prueba de tensión, se reconoce el rango elástico, el límite de fluencia y el rango plástico.

Esta prueba apegase a la Norma NOM-B-6-1988.

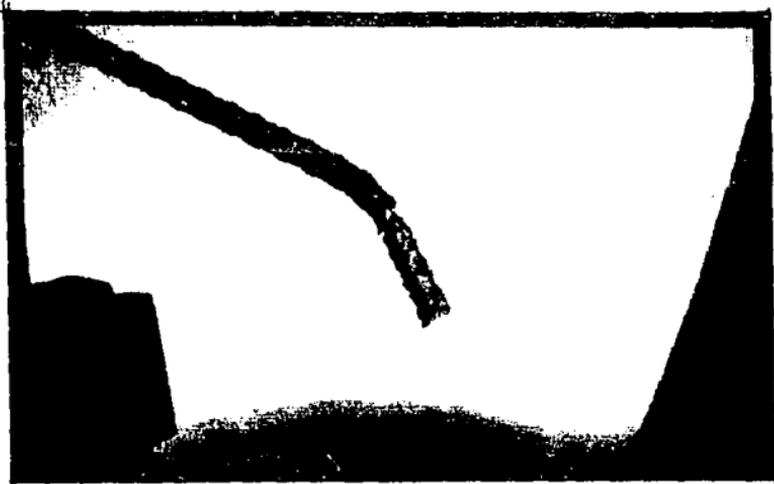


Falla característica ocasionada por un esfuerzo de tensión en una barra de acero de refuerzo.

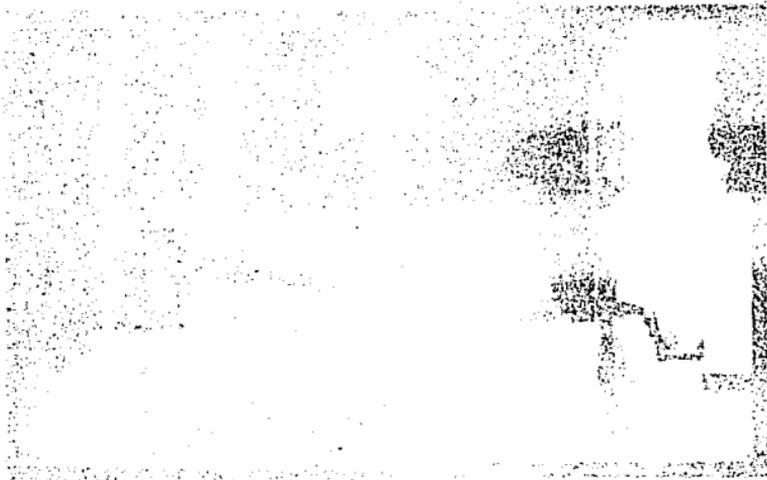


Las pruebas de cortante fueron realizadas siguiendo minuciosamente las - especificaciones que indica la Norma Oficial Mexicana NOM-B-6-1988, des-  
crita en el Capítulo 1.

En esta ilustración se aprecia el espécimen en condiciones de ser someti-  
do a un esfuerzo cortante puro através del vástago que se observa.



Espécimen que presenta una falla debida al esfuerzo cortante puro.



## **CAPITULO 4 ESFUERZO DE FLUENCIA.**



## DIAGRAMAS ESFUERZO-DEFORMACION

Las propiedades mecánicas de los materiales usuales en ingeniería se determinan mediante pruebas efectuadas sobre muestras pequeñas del material. Las pruebas se realizan en laboratorios de prueba de materia les dotados con equipo de prueba capaz de cargar los especímenes de di versas maneras, incluso carga estática y dinámica a tensión y compre sión. Uno de tales aparatos se muestra en la Fig. A . Ahí, un espécimen de prueba se coloca en medio del marco de carga y, a la izquierda, se encuentra la consola de control



Fig. A Equipo "Satec", Facultad de Ingeniería, UNAM.  
Tecnología de vanguardia en Laboratorios de Control de Calidad.

Con el fin de que los resultados de las pruebas se comparen fácilmente, el tamaño de las muestras y los métodos de aplicación de las cargas se tendrán que uniformar. Una de las principales organizaciones de estandarización es la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales -- (ASTM, por sus siglas en inglés: American Society for Testing and Materials), sociedad técnica que publica especificaciones y normas para materiales y pruebas. Otras organizaciones normativas son la Sociedad Americana de Normas (ASA, por sus siglas en inglés: American Standards Association) y el Departamento Nacional de Normas (NBS: National Bureau of Standards).

El ensayo de materiales más común es la prueba de tensión, mediante la cual se aplican cargas de tensión a una muestra cilíndrica como la mostrada en la Fig. B. Los extremos de la muestra, con mayor diámetro, se fijan en las mordazas del montaje, a fin de que la ruptura de la muestra se presente en la región central de diámetro uniforme, donde es sencillo calcular el esfuerzo, el lugar de ocurrir cerca de los

extremos, donde la distribución de esfuerzo es más complicada. La figura muestra un espécimen de acero fracturado por la acción de la carga. - El dispositivo de la izquierda, sujeto mediante dos brazos a la muestra, es un extensómetro que mide el alargamiento durante la prueba.

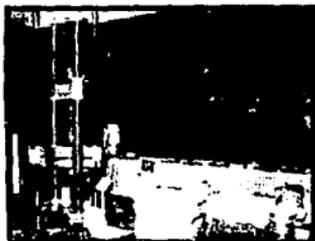


Fig. B-1 Equipo de prueba para ensayos generales

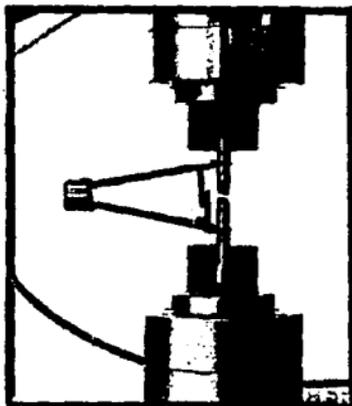


Fig. B-2 Especimen característico para pruebas de tensión con un extensómetro acoplado

La muestra estandarizada de la ASTM tiene un diámetro de 0.5 plg. y una longitud calibrada de 2.0 plg entre las marcas de calibración, -- que son los puntos donde los brazos del extensómetro se sujetan a la muestra, como se ve en la Fig. B2. Conforme se tensiona la muestra, se mide y registra la carga de tensión  $P$ , ya sea de manera automática o mediante lectura de un medidor. El alargamiento sobre la longitud calibrada se mide en forma simultánea con las lecturas de carga, por lo común, mediante calibradores mecánicos similares al mostrado en la Fig. B2, aun que también se utilizan calibradores eléctricos de resistencia variable (strain gages). En una prueba estática la carga se aplica lentamente; sin embargo, en una prueba dinámica la variación de carga puede ser muy elevada y también debe medirse ya que afecta las propiedades de los materiales.

El esfuerzo axial  $\sigma$  en el espécimen de pruebas se calcula dividiendo la carga  $P$  entre el área de la sección transversal  $A$  (véase Ec. 4). Cuando en este cálculo se emplea el área inicial de la barra, el esfuerzo resultante se denomina **esfuerzo nominal** (también conocido como **esfuerzo convencional** o **esfuerzo de ingeniería**). Se puede calcular un valor más exacto del esfuerzo axial, conocido como **esfuerzo real** mediante el área instantánea de la barra, que puede volverse mucho menor que el área inicial (como se muestra en la Fig. B2) en algunos materiales. El esfuerzo real se trata posteriormente en esta sección.

La deformación unitaria axial media se determina a partir del alargamiento medido  $\delta$  entre las marcas de calibración, al dividir  $\delta$  entre la longitud calibrada  $L$  (véase Ec. 5). Si se emplea la longitud cali-

brada inicial (por ejemplo, 2.0 plg), entonces se obtiene la **deformación (unitaria) nominal**. Por supuesto, la distancia entre las marcas aumenta según se aplica la carga de tensión. Si se emplea la longitud-instantánea para el cálculo de la deformación, se obtiene la **deformación real o deformación natural**.

Las pruebas de compresión de metales se acostumbra realizarlas sobre especímenes en forma de cubos o cilindros circulares. Los cubos suelen medir 2.0 plg por lado y los cilindros en general tienen diámetros de alrededor de 1 plg, con longitudes de 1 a 12 plg. Deben medirse tanto la carga aplicada por la máquina como el acortamiento del espécimen. El acortamiento debe medirse en una longitud calibrada menor que la longitud total de la muestra, a fin de eliminar los efectos de los extremos. El concreto se prueba mediante compresión en cada proyecto de construcción importante para verificar que se logran las resistencias requeridas. La norma ASTM establece un espécimen para concreto de 6 plg de diámetro, 12 plg de longitud y 28 días de edad. La edad del concreto es importante ya que éste adquiere resistencia según se "cura".

Después de realizar una prueba de tensión o de compresión y de establecer el esfuerzo y la deformación para varias magnitudes de la carga, se puede trazar un diagrama de esfuerzos contra deformación. Tal **diagrama esfuerzo-deformación** es característico del material y proporciona información importante acerca de las propiedades mecánicas y el comportamiento típico del material. El primer material que se analizará es el **acero estructural**, también conocido como acero dulce o acero de bajo carbono. El acero estructural es uno de los metales de más amplio uso, siendo el que más se utiliza en edificios, puentes, torres y muchos otros tipos de construcciones. Un diagrama esfuerzo-deformación representativo del acero estructural a tensión se muestra en la Fig. 1 (fuera de escala). La deformación se representa en el eje horizontal y el esfuerzo en el eje vertical. El diagrama empieza con una línea recta desde O hasta A. En esta región, el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales, y se dice que el comportamiento del material es **lineal**. Después del punto A ya no existe una relación-lineal entre el esfuerzo y la deformación, por lo que el esfuerzo en el punto A se denomina **límite de proporcionalidad**. Para aceros de bajo carbono este límite se encuentra en el intervalo de 30 a 40 ksi, pero los aceros de alta resistencia (con mayor contenido de carbono y otros elementos de aleación) pueden tener límites de proporcionalidad de 80 ksi o más.

Al acrecentar la carga más allá del límite de proporcionalidad, la deformación empieza a aumentar más rápidamente para cada incremento en esfuerzo. La curva de esfuerzo-deformación asume luego una pendiente cada vez más pequeña, hasta que en el punto B la curva se vuelve horizontal. A partir de este punto se presenta un alargamiento considerable, con un incremento prácticamente inapreciable en la fuerza de tensión (desde B hasta C en el diagrama). Este fenómeno se conoce como **cedencia o fluencia** del material, y el esfuerzo en el punto B se denomina **esfuerzo de cedencia o punto de cedencia** (o bien, esfuerzo de

fluencia o punto de fluencia]. En la región desde B hasta C, el material se vuelve perfectamente plástico, lo que significa que puede deformarse sin un incremento en la carga aplicada. El alargamiento de un

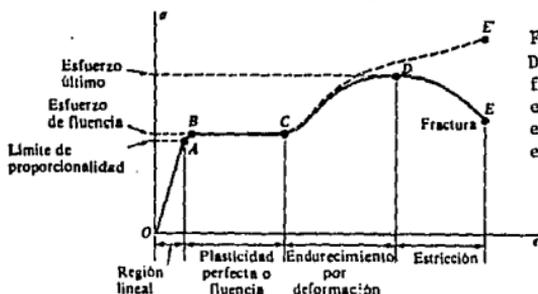


Fig. 1  
Diagrama esfuerzo-deformación del acero estructural típico - en tensión (fuera de escala)

especimen de acero dulce en la región perfectamente plástica es en forma típica 10 a 15 veces mayor que el alargamiento que ocurre entre el inicio de la prueba y el límite de proporcionalidad.

Después de sufrir grandes deformaciones que se presentan durante la fluencia en la región BC, el acero empieza a mostrar un **endurecimiento por deformación**. Durante el proceso, el material sufre cambios en sus estructuras cristalina y atómica, lo que origina un incremento en la resistencia del material a futuras deformaciones. Por tanto, un alargamiento requiere de un incremento en la carga de tensión, y el diagrama esfuerzo-deformación toma una pendiente positiva desde C hasta D. Finalmente, la carga alcanza su valor máximo y el esfuerzo correspondiente (en el punto D) se denomina **esfuerzo último**. De hecho, el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga y finalmente se presenta la **fractura** en un punto E, tal como se indica en el diagrama.

Se presenta una **contracción lateral** de la muestra cuando se alarga, lo que origina una reducción en el área de la sección transversal, como se mencionó previamente. La reducción en el área es muy pequeña - como para tener un efecto apreciable en el valor de los esfuerzos calculados antes del punto C, pero más allá de este punto la reducción comienza a modificar el perfil del diagrama. Desde luego, el esfuerzo real es mayor que el esfuerzo nominal debido a que se calcula con un área menor. En la cercanía del esfuerzo último, la disminución del área se aprecia claramente y ocurre un estrechamiento pronunciado de la barra, conocido como **estricción** (véase Fig. 2). Si para el cálculo del esfuerzo se emplea el área de la sección transversal en la parte estrecha del cuello ocasionado por la estricción, la curva real esfuerzo de deformación seguirá la línea punteada CE' en la Fig. 1. La carga total que puede resistir la barra se ve efectivamente disminuida después de que se alcanza el esfuerzo último (curva DE), pero esta disminución se debe al decremento en área de la barra y no a una pérdida de la resistencia misma del material. En realidad, el material soporta un aumento de esfuerzo hasta el punto de falla (punto E'). Sin embargo,



Fig. 2 Estricción de una barra en tensión.

con fines prácticos la curva esfuerzo-deformación convencional OABCDE, basada en el área transversal original de la muestra y que, por lo tanto, se calcula fácilmente, suministra información satisfactoria para emplearla en el diseño.

El diagrama de la Fig. 1 muestra las características generales de la curva esfuerzo-deformación para el acero dulce, pero sus proporciones no son realistas, ya que como se mencionó, la deformación que ocurre desde B hasta C puede ser 15 veces mayor que la deformación que ocurre desde O hasta A. Además, las deformaciones desde C hasta E son mucho mayores que las correspondientes al intervalo entre B y C. La Fig. 3 muestra un diagrama esfuerzo-deformación trazado a escala para acero dulce. En esta figura, las deformaciones desde O hasta A son tan pequeñas comparadas con las deformaciones desde A hasta E, que no se aprecian, y la parte lineal del diagrama aparenta ser una línea vertical.

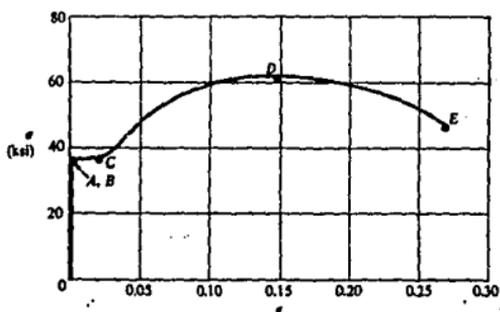


Fig. 3 Diagrama esfuerzo-deformación característico del acero estructural en tensión (dibujado a escala)

La presencia de un pronunciado punto de fluencia seguido de grandes deformaciones plásticas constituye una característica importante del acero dulce, que en ocasiones se utiliza en el diseño práctico --

Los materiales que soportan grandes deformaciones plásticas antes de su falla se clasifican como dúctiles. Una ventaja de la ductilidad es que pueden presentarse distorsiones visibles si las cargas se vuelven muy grandes, lo que permite tomar una acción correctiva antes de que ocurra la fractura. Asimismo, los materiales dúctiles son capaces de absorber grandes cantidades de energía antes de que acontezca la fractura. Los materiales dúctiles incluyen al acero dulce, aluminio y algunas de sus aleaciones, cobre, magnesio, plomo, molibdeno, níquel, latón, bronce, metal monel, nilón, teflón y muchos otros.

El acero estructural contiene alrededor de 0.2% de carbono en su aleación y se clasifica como acero de bajo carbono. Conforme se incrementa el contenido de dicho elemento, el acero se vuelve menos dúctil, pero aumentan su esfuerzo de fluencia y su esfuerzo último. Las propie

dades físicas del acero también se ven afectadas por tratamientos térmicos, la presencia de otros elementos de aleación, así como por procesos de fabricación como el rolado o laminado.

Muchas aleaciones de aluminio poseen considerable ductilidad, -- aunque carecen de un punto de fluencia claramente definido. En su lugar, muestran una transición gradual entre las regiones lineal y no lineal, como se indica en el diagrama esfuerzo-deformación de la Fig. 4. Las aleaciones de aluminio adecuadas para propósitos estructurales están disponibles con límites de proporcionalidad en el intervalo de 10 a 60 ksi y esfuerzos últimos en el intervalo de 20 a 80 ksi.

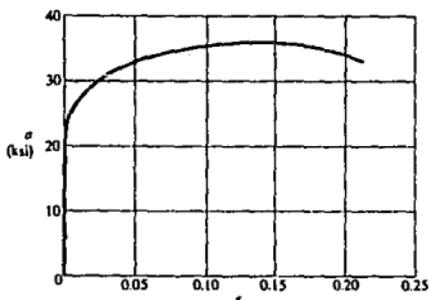


Fig. 4 Diagrama esfuerzo-deformación característico de una aleación de -- aluminio.

Cuando un material como el aluminio no tiene un punto de fluencia definido y a pesar de ello soporta grandes deformaciones después de rebasarse el límite de proporcionalidad, puede determinarse un esfuerzo de fluencia arbitrario mediante el método de corrimiento. Se traza una recta paralela a la porción inicial rectilínea de la curva (véase Fig. 5 pero se corre o desplaza en un cierto valor normalizado de deforma-

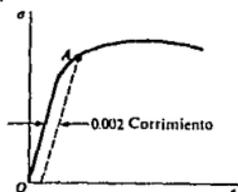


Fig. 5 Esfuerzo de fluencia arbitrario, determinado por el método del - corrimiento.

ción, como 0.002 [o 0.2%]. La intersección de la línea de corrimiento y la curva esfuerzo-deformación (punto A en la figura) define el esfuerzo de fluencia. Dado que este esfuerzo se determina mediante una regla arbitraria y no constituye una propiedad física inherente del material, se le conoce como **esfuerzo de fluencia aparente**. Para un material como el aluminio, este esfuerzo de fluencia es ligeramente superior al límite de proporcionalidad. En el caso del acero estructural, con su transición repentina desde la región lineal hasta la región de alargamiento plástico, el esfuerzo de fluencia anterior es esencialmente igual al esfuerzo de fluencia real y al límite de proporcionalidad.

El caucho (o hule) mantiene una relación lineal entre esfuerzo y deformación hasta deformaciones (unitarias) entre 0.1 o 0.2. Su comportamiento después de rebasar el límite de proporcionalidad depende del tipo de material (véase Fig. 6). Algunas clases de caucho suave soportan grandes deformaciones sin fallar. Finalmente, el material -- presenta un incremento en resistencia a la carga y la curva esfuerzo-deformación se vuelve marcadamente ascendente antes de la falla. Se puede apreciar fácilmente este comportamiento característico cuando se estira una liga de goma.

La ductilidad de un material a tensión puede caracterizarse por su alargamiento total y por la disminución de área en la sección transversal donde ocurre la fractura.

La elongación (porcentual) se define como sigue:

$$\text{Elongación} = \frac{L_f - L_0}{L_0} (100)$$

donde  $L_0$  es la longitud calibrada original y  $L$  es la distancia entre las marcas de calibración al ocurrir la fractura. Debido a que el -- alargamiento no es uniforme a lo largo del espécimen sino que se concentra en la región donde se presenta la estricción, la elongación -- (porcentual) después de la longitud calibrada. Por ello, cuando se establece la elongación, también debe indicarse la longitud de calibración. Para una longitud calibrada de 2 plg el acero puede tener una elongación del orden de 10% a 40%, lo que depende de su composición; para acero estructural son comunes valores de 25% a 30%. En el caso de aleaciones de aluminio, la elongación varía desde 1% hasta 45%, dependiendo de su composición y tratamiento.

La reducción (porcentual) de área mide el valor de la estricción que se presenta y se define como sigue:

$$\text{Reducción de área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} (100)$$

donde  $A_0$  es el área original de la sección transversal y  $A_f$  es el -- área final en la sección de la fractura. Para aceros dúctiles la reducción es alrededor del 50%.

Los materiales que fallan en tensión a valores relativamente bajos de deformación unitaria se clasifican como materiales frágiles. -- Algunos ejemplos son: concreto, piedra, hierro fundido, vidrio, materiales cerámicos y muchas aleaciones metálicas comunes. Estos materiales fallan con sólo pequeñas elongaciones después del límite de proporcionalidad (punto A en la Fig. 7) y el esfuerzo de fractura (punto B) es el mismo que el esfuerzo último. Los aceros de alto carbono se comportan en forma frágil; pueden presentar esfuerzos de fluencia elevados (más de 100 ksi en algunos casos), pero la fractura se presenta

con una elongación de bajo valor porcentual.

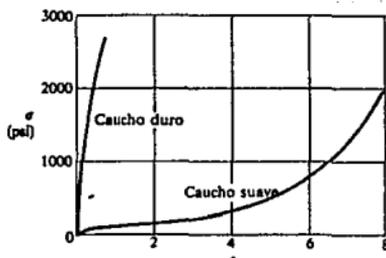


Fig. 6. Diagramas esfuerzo-deformación para dos clases de caucho (hule) en tensión

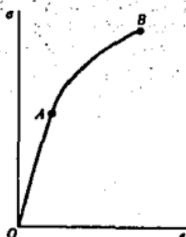


Fig. 7 Diagrama esfuerzo-deformación característico de un material frágil.

El vidrio común es una idealización muy cercana a un material -- frágil, dado que no presenta ductilidad. El diagrama esfuerzo-deformación para vidrio sujeto a tensión es esencialmente una línea recta, y la falla ocurre antes de que se presente fluencia. El esfuerzo último es alrededor de 10,000 psi para ciertas clases de vidrio laminado, -- aunque existe gran variación, lo que depende del tipo de vidrio, el tamaño del espécimen y la presencia de defectos microscópicos. Las fibras de vidrio pueden desarrollar enormes resistencias y se han alcanzado esfuerzos últimos superiores a 1,000,000 psi.

Los diagramas esfuerzo-deformación para compresión tienen formas diferentes a los de tensión. Los metales dúctiles como el acero, el aluminio y el cobre poseen límites de proporcionalidad en compresión muy cercanos a los que tienen en tensión, por lo cual las regiones -- iniciales de sus diagramas esfuerzo-deformación a compresión son muy similares a los diagramas a tensión. Sin embargo, cuando se inicia la fluencia, los diagramas son completamente diferentes. En una prueba a tensión, cuando el espécimen se alarga, puede ocurrir una estricción y finalmente se presenta la fractura. Cuando se comprime un pequeño espécimen de material dúctil, sus lados empiezan a abultarse y adopta la forma de un barril. Al incrementar la carga, el espécimen se aplasta, ofreciendo una resistencia adicional al acortamiento adicional -- (lo que significa que la curva esfuerzo-deformación se vuelve ascendente). Estas características se ejemplifican en la Fig. 8, que muestra un diagrama esfuerzo-deformación para cobre.

De modo característico, los materiales frágiles en compresión -- tienen una región lineal inicial, seguida de una región en la cual se incrementa el acortamiento a un ritmo mayor que el de la carga. En tonces, el diagrama esfuerzo-deformación a compresión tiene un perfil similar al del diagrama a tensión. Sin embargo, los materiales frágiles suelen alcanzar esfuerzos últimos más elevados a compresión que a tensión. También, a diferencia de los materiales dúctiles en compresión (véase Fig. 8), los materiales frágiles se fracturan o rompen bajo la carga máxima. Los diagramas esfuerzo-deformación para un tipo particular de hierro fundido se presentan en la Fig. 9. Las curvas para otros materiales frágiles, como el concreto o la piedra, -- tienen forma similar pero valores numéricos diferentes.

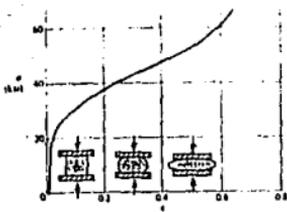


Fig. 8 Diagrama esfuerzo-deformación a compresión del cobre.

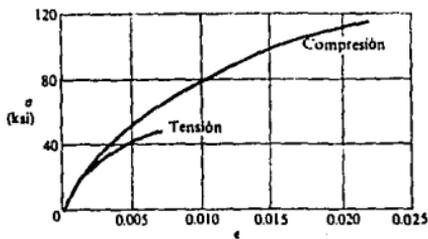


Fig. 9 Diagramas esfuerzo-deformación de hierro fundido sujeto a tensión y compresión.

Una tabla de propiedades mecánicas importantes para varios materiales se incluye en el Apéndice H. No obstante, las propiedades y -- curvas esfuerzo-deformación varían mucho, aun para el mismo material, debido a procesos de fabricación diferentes, composición química, defectos internos, temperatura y muchos otros factores. Por lo que, --- cualquier información obtenida de tablas generales debe considerarse representativa, más no necesariamente apropiada para una aplicación -- específica.

### ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD

Los diagramas esfuerzo-deformación descritos en la sección anterior ilustran el comportamiento de diversos materiales cuando se cargan estáticamente a tensión o a compresión. Consideremos ahora qué sucede cuando la carga se retira lentamente y el material se descarga. -- Suponga, por ejemplo, que se aplica una carga a una espécimen a tensión de tal modo que el esfuerzo y la deformación varían desde 0 hasta A en la curva esfuerzo-deformación de la Fig. 10a. Supóngase también -- que cuando la carga se retira, el material sigue exactamente la misma curva al regresar a 0. Esta propiedad de un material mediante la cual recupera sus dimensiones originales al descargarse, se llama elasticidad, y el material se dice que es elástico. Nótese que la curva esfuerzo-deformación desde 0 hasta A no requiere ser lineal para que el material sea elástico.

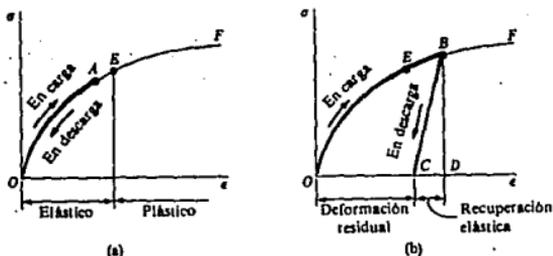


Fig. 10 (a) Comportamiento elástico. (b) Comportamiento parcialmente elástico.

Suponga ahora que se carga este mismo material a un nivel mucho mayor, de forma tal que se alcanza el punto B del diagrama esfuerzo-deformación (Fig. 10b). En este caso, cuando ocurre la descarga, el material sigue la línea BC del diagrama. Esta línea de descarga característica es paralela a la porción inicial de la curva de carga; esto --

es, la línea BC es paralela a una tangente al diagrama esfuerzo-deformación en el punto O. Cuando se alcanza el punto C, la carga se ha retirado totalmente, pero persiste en el material una **deformación residual** o **deformación permanente** OC. El alargamiento residual correspondiente de la barra se denomina **alargamiento permanente**. De la deformación (unitaria) total OD ocasionada durante la carga del material desde O hasta B, la deformación CD se recuperó elásticamente y la deformación OC persiste como deformación permanente. Así, durante la descarga la barra recupera parcialmente su forma original; en consecuencia, se dice que el material es **parcialmente elástico**.

Cuando se prueba una barra, la carga se incrementa desde cero -- hasta algún valor pequeño seleccionado y luego se retira. Si no existe alargamiento permanente (esto es, si esta alteración de la barra-regresa a cero) entonces el material es elástico hasta el esfuerzo -- representado por el valor seleccionado de la carga. Este proceso de carga y descarga puede repetirse para valores cada vez mayores de la carga. Finalmente, se alcanzará un esfuerzo tal que no se recobra toda la deformación durante la descarga. Mediante este procedimiento es posible determinar el esfuerzo en el límite superior de la región -- elástica; por ejemplo, podría ser el del punto E de las Figs (10a, 10b). Este esfuerzo se conoce como **límite elástico** del material.

Muchos materiales, incluyendo la mayoría de los metales, tienen regiones lineales al principio de sus diagramas esfuerzo-deformación (véase Fig. 143). Según se explicó en la Sección , el límite superior de esta región lineal se define como el límite de proporcionalidad. -- El límite elástico suele ser ligeramente superior o muy cercano al límite de proporcionalidad. Por lo que para muchos materiales se asigna el mismo valor numérico a ambos límites. En el caso del acero dulce, -- el esfuerzo de fluencia también está muy próximo al límite proporcional, de modo que para fines prácticos el esfuerzo de fluencia, el límite elástico y el límite de proporcionalidad se consideran iguales. -- Es evidente que esta situación no se cumple para todos los materiales. El caucho representa un ejemplo notorio de un material que es elástico más allá del límite de proporcionalidad.

La característica de un material que le permite soportar deformaciones inelásticas superiores al límite elástico se conoce como **plasticidad**. Es así que sobre la curva esfuerzo-deformación de la Fig. 10a, se presenta una región elástica seguida de una región plástica. Cuando ocurren grandes deformaciones en un material dúctil cargado en la región plástica, se dice que el material experimenta un **flujo plástico**.

Si el material permanece dentro del margen elástico puede ser cargado, descargado y cargado nuevamente sin un cambio apreciable en su comportamiento. Sin embargo, cuando se carga en el margen plástico, la estructura interna del material se modifica y sus propiedades cambian. Por ejemplo, ya se ha observado que existe una deformación permanente en el espécimen después de descargarse en la región plástica (Fig. 10b).

Supongamos ahora que el material se carga nuevamente después de la descarga (Fig. 11). El nuevo ciclo de carga empieza en el punto C del diagrama y continúa en ascenso hasta B, punto donde principió la descarga durante el ciclo de carga inicial. El material sigue entonces el diagrama esfuerzo-deformación original hacia el punto F. Durante el segundo ciclo de carga, el material se comporta en forma lineal desde C hasta B, por lo que el material presenta un límite de proporcionalidad y un esfuerzo de fluencia mayores que antes. Luego, al estirar un material se puede aumentar el punto de fluencia, aunque la ductilidad se reduzca debido a que la intensidad de fluencia desde B hasta F es menor que desde E hasta F.

**Escurrecimiento o flujo plástico.** Los diagramas esfuerzo-deformación antes descritos se obtienen de pruebas a tensión que involucran únicamente ciclos estáticos de carga de los especímenes; por tanto, en el

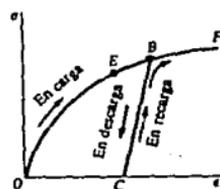


Fig. 11 Recarga de un material y ascenso del esfuerzo de fluencia.

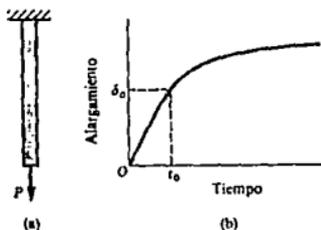


Fig. 12 Flujo plástico en una barra bajo carga constante.

análisis no se consideró el tiempo. Sin embargo, en algunos materiales se presentan deformaciones adicionales durante largos periodos y se dice que **fluyen o escurren plásticamente**. Este fenómeno (en inglés, *creep*) puede manifestarse en diversas formas. Por ejemplo, supongamos que una barra vertical (Fig. 12a) está cargada con una fuerza constante  $P$ . Cuando la carga se aplica inicialmente la barra se alarga una cantidad . Supongamos que esta carga y su alargamiento correspondiente se llevan a cabo durante un intervalo de tiempo de duración (Fig. 12b). Subsecuentemente al tiempo  $t_0$ , la carga permanece constante. Sin embargo, debido al flujo plástico, la barra puede aumentar gradualmente su longitud como se muestra en la Fig. 12b, aunque la carga no cambie. Este comportamiento se presenta en muchos materiales aunque algunas veces el cambio es muy pequeño para ser tomado en cuenta.

Como un segundo ejemplo de flujo plástico considere un alambre que se estira entre dos apoyos fijos, de tal forma que tiene un esfuerzo inicial a tensión  $\sigma_0$  (Fig. 13a). Nuevamente denotaremos el tiempo durante el cual el alambre se carga inicialmente como  $t_0$  (Fig. 13b). Con el transcurso del tiempo el esfuerzo en el alambre disminuye gradualmente y finalmente alcanza un valor constante aunque los apoyos en los extremos del alambre no se desplacen. Este proceso, que es una manifestación de flujo plástico, se denomina **relajación material**.

El flujo plástico es en general más importante a altas temperaturas que a temperaturas comunes; por tanto, debe considerarse en el diseño de motores, hornos y otras estructuras que operarán a elevadas temperaturas durante largos periodos. Sin embargo, materiales como el

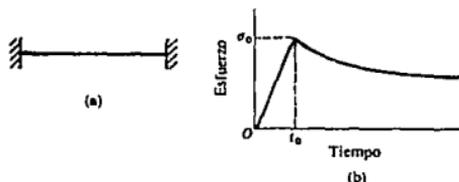


Fig. 13 Relajación de esfuerzo en un alambre bajo deformación constante.

acero, el concreto y la madera fluyen ligeramente aun a temperaturas atmosféricas. Por lo tanto, en ocasiones es necesario compensar efectos de flujo plástico en estructuras comunes. Por ejemplo, el flujo de concreto puede crear "olas" u ondulaciones en las calzadas de puentes debido al colgamiento entre los apoyos. Una solución es construir la cubierta con una curvatura hacia arriba (contraflecha) que constituye una deflexión inicial sobre la horizontal, de tal forma que cuando el flujo plástico ocurra, los claros o tramos desciendan a su posición de nivel.

#### ELASTICIDAD LINEAL Y LEY DE HOOKE

La mayoría de materiales estructurales tiene una región inicial sobre el diagrama esfuerzo-deformación en la que el material se comporta tanto en forma elástica como lineal. Un ejemplo es la región desde el origen 0 hasta el límite de proporcionalidad en el punto A sobre la curva esfuerzo-deformación para acero estructural (véase Fig. 1). Otros ejemplos son las regiones bajo los límites de proporcionalidad y los límites elásticos en los diagramas de las Figs. 4a9. Cuando un material se comporta elásticamente y también presenta una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, se dice que es **linealmente elástico**. Este tipo de comportamiento es sumamente importante en ingeniería ya que muchas estructuras y máquinas se diseñan para funcionar a bajos niveles de esfuerzo, a fin de evitar deformaciones permanentes debidas a fluencia o a flujo plástico. La elasticidad lineal es una propiedad de muchos materiales sólidos, incluso metales, madera, concreto, plástico y cerámicas.

La relación lineal entre el esfuerzo y la deformación para una barra sometida a tensión o compresión simple puede expresarse mediante la ecuación

$$\sigma = E \epsilon \dots 1$$

donde E es una constante de proporcionalidad conocida como el **módulo de elasticidad** del material. El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación en la región linealmente elástica y su valor depende del material particular que se utilice. Las unidades de E son las mismas que las unidades de esfuerzo, ya que la deformación es -

adimensional. Por tanto, las unidades de  $E$  son psi o ksi en Sistema Inglés y pascals (o sus múltiplos) en Sistema Internacional.

La ecuación  $\sigma = E\epsilon$  se conoce comúnmente como *Ley de Hooke*, designada así en honor al célebre científico inglés Robert Hooke (1635-1703). Hooke fue el primero que investigó las propiedades elásticas de los materiales y realizó pruebas de materiales tan diversos como metales, madera, piedra, huesos y tendones. Determinó el alargamiento de alambres de longitud apreciable que soportaban pesos, y observó que estos cambios de longitud "siempre mantienen las mismas proporciones uno a otro, al igual que los pesos que los ocasionan". Así, Hooke estableció la relación lineal entre la carga aplicada y el alargamiento resultante.

La ecuación (1) se aplica únicamente a tensión y compresión simples; para estados de esfuerzo más complicados, se requiere una generalización de la ley de Hooke. Para fines de cálculo, los esfuerzos y deformaciones a tensión se consideran como positivos, y los esfuerzos y deformaciones a compresión como negativos.

El módulo de elasticidad  $E$  tiene valores relativamente grandes para materiales que son muy rígidos, tales como los metales estructurales. El acero tiene un módulo de aproximadamente 30,000 ksi o sea 200 GPa; para el aluminio,  $E$  es aproximadamente igual a 10,600 ksi, o sea 70 GPa. Los materiales más flexibles tienen módulos menores; un valor característico de la madera es 1,600 ksi, o sea 11 GPa. Algunos valores representativos de  $E$  se indican en la Tabla H2, Apéndice H. Para muchos materiales el valor de  $E$  en compresión es el mismo que en tensión.

El módulo de elasticidad suele denominarse también *módulo de Young* en honor al científico inglés Thomas Young (1773-1829). En relación con un estudio sobre tensión y compresión de barras prismáticas, Young introdujo la idea de un "módulo o medida de la elasticidad". Sin embargo, su módulo no era el mismo que se utiliza actualmente, ya que implicaba propiedades de la barra así como del material.

**Relación de Poisson.** Cuando una barra prismática se carga a tensión, el alargamiento axial va acompañado de una *contracción lateral* (perpendicular a la dirección de la carga aplicada). Esta variación en la forma se muestra en la Fig. 14, en la cual las líneas punteadas representan la forma de la barra antes de la carga y la línea continua indica la forma después de aplicar la carga. La contracción lateral se aprecia fácilmente en una banda o liga de goma estirada, pero en los metales las variaciones en las dimensiones laterales suelen ser muy pequeñas para apreciarse. No obstante, se pueden detectar fácilmente con aparatos de medición.

La *deformación (unitaria) lateral* es proporcional a la deformación axial en el margen elástico lineal, siempre y cuando el material sea homogéneo e isotrópico. Un material es homogéneo si tiene la misma composición en todos los puntos del cuerpo; por lo que las propiedades elásticas son las mismas en cualquier punto del cuerpo. Sin embargo, nótese que las propiedades no necesariamente son las mismas en todas direcciones para que el material sea homogéneo. Por ejemplo, el módulo de elasti

cidad podría ser diferente en las direcciones axial y transversal. Los materiales isotropos tienen las mismas propiedades elásticas en todas las direcciones. En consecuencia, el material debe ser homogéneo e isotropo para que las deformaciones laterales de una barra a tensión (Fig. 14) sean las mismas en cualquier punto. Muchos materiales estructurales cumplen con estos requerimientos.

El cociente de la deformación en dirección lateral entre la deformación en dirección axial se conoce como relación de Poisson y se denota por la letra griega  $\nu$  (nu); entonces:

$$\nu = - \frac{\text{deformación lateral}}{\text{deformación axial}} \dots 2$$

Para una barra a tensión, la deformación lateral representa una reducción en la anchura (deformación negativa) y la deformación axial representa un aumento en la longitud (deformación axial negativa) y se ensancha (deformación lateral positiva). Por lo tanto, la relación de Poisson (o módulo de Poisson) tiene un valor positivo para muchos materiales.

La relación de Poisson recibe ese nombre por el célebre matemático francés Siméon Denis Poisson (1781-1842), quien trató de calcular esta relación mediante una teoría molecular de los materiales.

Para materiales isotropos, Poisson determinó  $\nu = 1/4$ . Sin embargo, cálculos más recientes basados en un modelo de estructura atómica dan  $\nu = 1/3$ . Ambos valores son cercanos a los valores reales obtenidos, los cuales se encuentran en el margen de 0.25 a 0.35 para muchos metales y otros materiales. Entre los materiales con valores extremadamente bajos del módulo de Poisson se encuentra el corcho, para el cual es prácticamente cero y el concreto, para el cual oscila entre 0.1 y 0.2. Un límite superior teórico para la relación de Poisson es 0.5, como se explica en la subsección siguiente sobre cambios de volumen. El caucho se aproxima a este valor límite. Una tabla de valores del módulo de Poisson para diferentes materiales en el margen elástico se proporciona en el Apéndice H (véase Tabla H2). Para muchos fines prácticos, el valor de  $\nu$  puede considerarse el mismo, tanto para tensión como para compresión.

La contracción lateral de una barra en tensión, o la expansión de una barra en compresión, constituye un ejemplo de deformación sin el esfuerzo correspondiente. Aunque no existe esfuerzo normal en dirección transversal para una barra cargada axialmente, si ocurre deformación debido al efecto de Poisson. Otro ejemplo común de deformación sin esfuerzo es la deformación térmica, la cual es producida por una variación de temperatura.

**Cambio de volumen.** ya que las dimensiones de una barra a tensión o a compresión varían cuando se aplica la carga (véase Fig. 14), el volumen de la barra también cambia. El cambio de volumen se calcula a

partir de las deformaciones axial y lateral. Consideramos un pequeño elemento de material extraído de una barra isotropa sometida a tensión (Fig. 15). La forma original del elemento se indica mediante el paralelepípedo rectangular abcdefg0, con los lados que miden  $a_1, b_1, y c_1$ , en las direcciones  $x, y$  y  $z$ , respectivamente. El eje  $x$  se considera en la dirección longitudinal de la barra, que también se indica en la figura al representar la dirección de los esfuerzos normales o producidos por las fuerzas axiales. La forma final del elemento se muestra con líneas continuas. El alargamiento del elemento en la dirección de la carga es  $a_1 e$ , donde  $e$  es la deformación axial. Puesto que las deformaciones laterales son  $-v e$  (véase Ec. 2), las dimensiones laterales disminuyen en  $b_1 v e$  y  $c_1 v e$  en las direcciones  $y$  y  $z$ , respectivamente. En consecuencia, las dimensiones finales del elemento son  $a_1(1 + e)$ ,  $b_1(1 - v e)$  y  $c_1(1 - v e)$ , y el volumen final es

$$V_f = a_1 b_1 c_1 (1 + e)(1 - v e)(1 - v e)$$

Al desarrollar la expresión anterior se obtienen términos que contienen elevada al cuadrado y al cubo. Como es muy pequeña comparada con la unidad, su cuadrado y su cubo son despreciables comparados con la misma, por lo que pueden eliminarse de la ecuación. Por lo tanto, el volumen del elemento es

$$V = a_1 b_1 c_1 (1 + e - 2v e)$$

y el cambio en volumen es

$$\Delta V = V_f - V_0 = a_1 b_1 c_1 e (1 - 2v)$$

en donde  $V_0$  es el volumen original  $a_1 b_1 c_1$ . El cambio unitario de volumen  $e$  se define como el cambio en volumen dividido entre el volumen original, o sea

$$e = \frac{\Delta V}{V_0} = e(1 - 2v) = \frac{\sigma}{E}(1 - 2v) \dots 3$$

La magnitud  $e$  se desconoce como **deformación volumétrica**. La Ec. (3) puede utilizarse para calcular el incremento en volumen de una barra en tensión, bajo el supuesto de que se conocen la deformación unitaria axial  $\epsilon$  o el esfuerzo  $\sigma$  y el módulo de Poisson  $\nu$ . Esta ecuación también puede emplearse para compresión, en cuyo caso es una deformación negativa y disminuye el volumen de la barra.

De la Ec. (3) se aprecia que el máximo valor posible de  $\nu$  para materiales comunes es de 0.5, ya que cualquier valor mayor significa que el volumen disminuye cuando el material es tensado, lo que parece físicamente imposible. Como ya se indicó para muchos materiales  $\nu$  es alrededor de 1/4 o un 1/3 en la región elástica lineal, lo que significa que el cambio unitario de volumen está en el margen de 0.3e a 0.5e. En la región de comportamiento plástico no ocurre cambio de volumen, por lo que la relación de Poisson puede considerarse como 0.5.

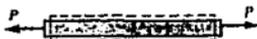


Fig. 14 Alargamiento axial y contracción lateral de una barra en tensión.

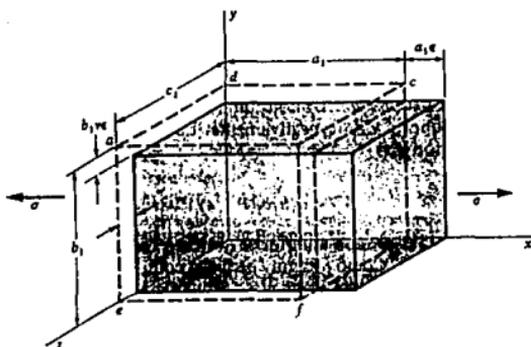


Fig. 15 Cambio de forma de un elemento en tensión.

### Ejemplo

Una barra prismática de sección transversal circular se carga con fuerzas a tensión  $P = 85 \text{ kN}$  (véase Fig. 14). La barra tiene una longitud  $L = 3.0 \text{ m}$  y un diámetro  $d = 30 \text{ mm}$ . Está hecha de aluminio con un módulo de elasticidad  $E = 70 \text{ GPa}$  y un módulo de Poisson  $\nu = 1/3$ .

Calcular el alargamiento  $\delta$ , la disminución de diámetro  $\Delta d$  y el incremento en volumen  $\Delta V$  de la barra

El esfuerzo longitudinal  $\sigma$  en la barra puede obtenerse de la ecuación

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{85 \text{ kN}}{\pi(30 \text{ mm})^2/4} = 120 \text{ MPa}$$

Este esfuerzo probablemente es menor que el límite de proporcionalidad (véase Tabla H3), por lo que supondremos que el material se comporta en forma lineal y elástica.

La deformación axial se determina mediante la Ley de Hooke:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{120 \text{ MPa}}{70 \text{ GPa}} = 0.00171$$

El alargamiento total es

$$\delta = \epsilon L = (0.00171)(3.0 \text{ m}) = 5.14 \text{ mm}$$

La deformación lateral se obtiene de la relación de Poisson:

$$\epsilon_{\text{lateral}} = -\nu \epsilon = -\frac{1}{3} (0.00171) = -0.000570$$

La reducción de diámetro es numéricamente igual al producto de la deformación lateral y el diámetro original:

$$\Delta d_{\text{lateral}} = d \epsilon_{\text{lateral}} = (30 \text{ mm})(-0.000570) = -0.0171 \text{ mm}$$

Finalmente, el cambio en volumen se calcula con la Ec. (13).

$$\Delta V = V_0 \epsilon (1 - \frac{2}{3}) = (30 \text{ mm})^2 (3.0 \text{ m})(0.00171) (1 - \frac{2}{3}) = 1210 \text{ mm}^3$$

Puesto que la barra está sujeta a tensión,  $\Delta V$  representa un incremento de volumen.

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
SICARTSA	2.5	8840	X=8500
SICARTSA	2.5	8160	S=340
			C=0.04
HYLSA	2.5	8370	X=8370
			S=0
			CV=0
N.Y.	2.5	6910	X=7203.3
N.Y.	2.5	7280	S=2151
N.Y.	2.5	7420	CV=0.029
BRASILEÑA	3	7041	X=7041
			S=0
			CV=0
DEDINI BRASIL	3	6388	X=6304
DEDINI BRASIL	3	6216	S=70.2
DEDINI BRASIL	3	6909	CV=0.011

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
POLACA	3	6541	X=6594
POLACA	3	6595	S=43
POLACA	3	6646	CV=.006
R.G.C. CANADA	3	7147	X=7000
R.G.C. CANADA	3	6853	S=147
			CV=0.021
SICARTSA	4	6174	X=5373
SICARTSA	4	4373	S=661
SICARTSA	4	5658	CV=0.12
SICARTSA	4	5296	
HYLSA	4	5989	X=6624
HYLSA	4	4991	S=661
HYLSA	4	8209	CV=0.19
HYLSA	4	7306	
N.Y.	4	5672	X=5636

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
N.Y.	4	5621	S=24
N.Y.	4	5618	CV=4.23
DEDINI BRASIL	4	5395	X=5494
DEDINI BRASIL	4	5425	S=120
DEDINI BRASIL	4	5664	CV=0.022
C.M. TURCA	4	5050	X=5250
C.M. TURCA	4	5594	S=244
C.M. TURCA	4	5106	CV=0.046
R.G.C. CANADA	4	5603	X=5603
			S=0
			CV=0
N.Y.	5	5563	X=6386
N.Y.	5	7149	S=746
N.Y.	5	7192	CV=0.117
N.Y.	5	7048	
N.Y.	5	5613	

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
N.Y.	5	5756	
HYLSA	5	5907	X=5963
HYLSA	5	6002	S=40.60
HYLSA	5	5980	CV=0.0068
BRASILEÑA	5	7279	X=7279 S=0 CV=0
DEDINI-BRASIL	5	4889	X=4848
DEDINI-BRASIL	5	4843	S=31.25
DEDINI-BRASIL	5	4813	CV=0.0064
R.G.C. CANADA	5	5636	X=5636 S=0 CV=0
VENEZOLANA	6	4597	X=4820

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
VENEZOLANA	6	4903	S=159.68
VENEZOLANA	6	4961	CV=0.03312
HYLSA	6	8844	X=6642
HYLSA	6	5534	S=1560
HYLSA	6	5545	CV=0.2348
HYLSA	6		
SICARTSA	6	5419	X=4487
SICARTSA	6	3555	S=1282
			CV=0.2764
BRASILEÑA	6	5594	X=5637
BRASILEÑA	6	5689	S=39.16
BRASILEÑA	6	5630	CV=0.0069
N.Y.	6	6973	X=5950
N.Y.	6	6970	S=835.0
N.Y.	6	5341	CV=0.14
N.Y.	6	5354	

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
N.Y.	6	5212	
DEDINI-BRASIL	6	6009	X=5607
DEDINI-BRASIL	6	5437	S=284.84
DEDINI-BRASIL	6	5377	CV=0.0507
R.G.C. CANADA	6	5623	X=5616
R.G.C. CANADA	6	5610	S=6.5
			CV=0.0011
BRASILEÑA	8	6144	X=6144
			S=0
			CV=0
R.G.C. CANADA	8	6843	X=6661
R.G.C. CANADA	8	6479	S=182
			CV=0.0273
N.Y.	8	8548	X=6209

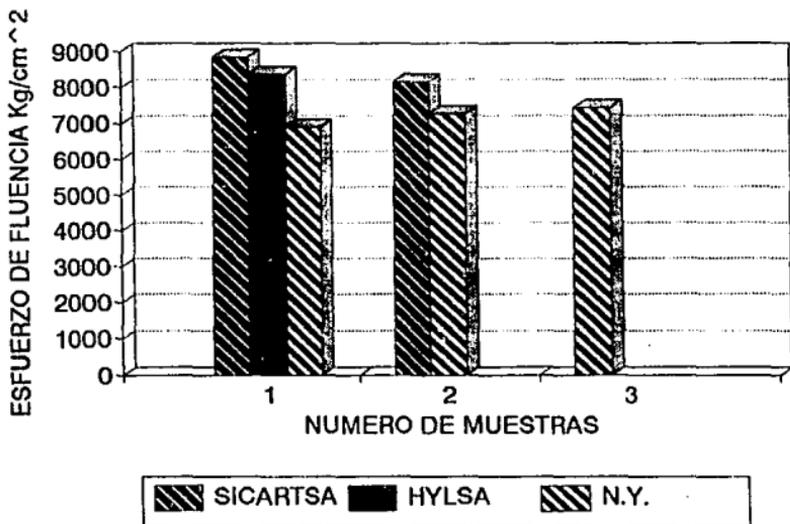
MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
N. Y.	8	5201	S=1658
N. Y.	8	4880	CV=0.2671
HYLSA	8	5063	X=5097
HYLSA	8	5133	S=28.58
HYLSA	8	5097	CV=0.0056
SICARTSA	8	6565	X=6047
SICARTSA	8	5529	S=518.0
			CV=0.0856
VENEZOLANA	8	4732	X=4776
VENEZOLANA	8	4820	S=35.92
VENEZOLANA	8	4776	CV=0.0075

X=Media

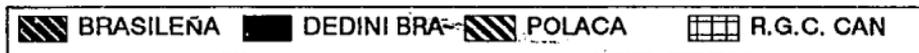
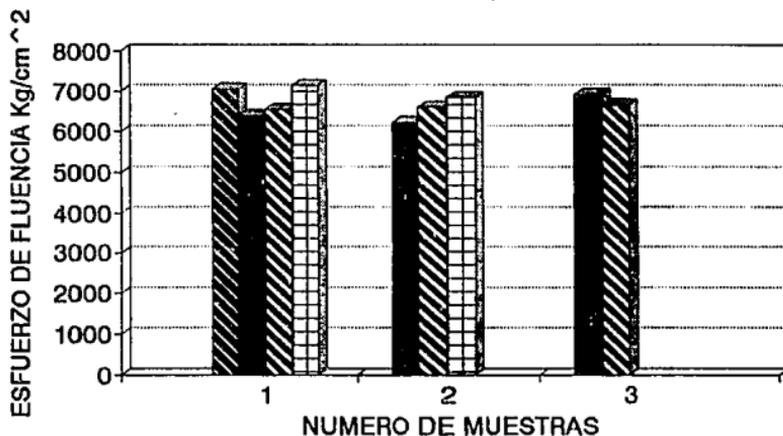
S=Desviacion estandar

CV=Coficiente de variacion

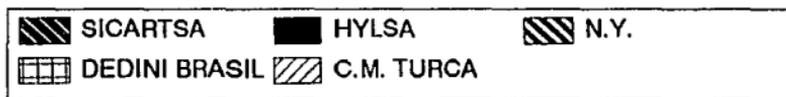
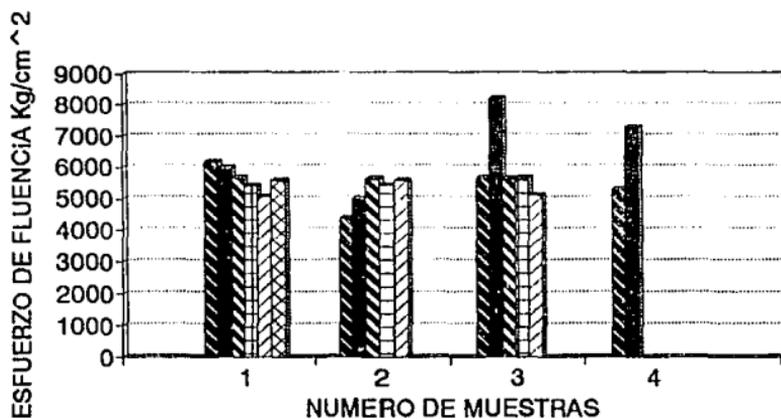
# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup> DIAMETRO NOMINAL 2.5



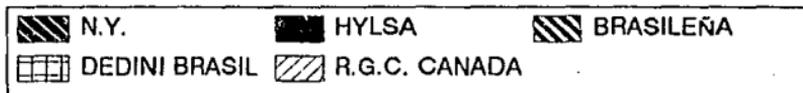
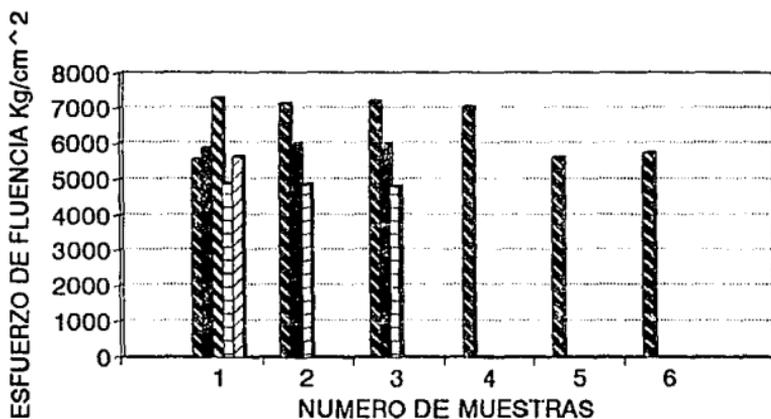
# ESFUERZO DE FLUENCIA $\text{Kg/cm}^2$ DIAMETRO NOMINAL 3



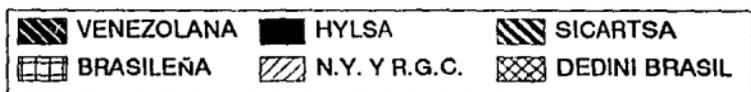
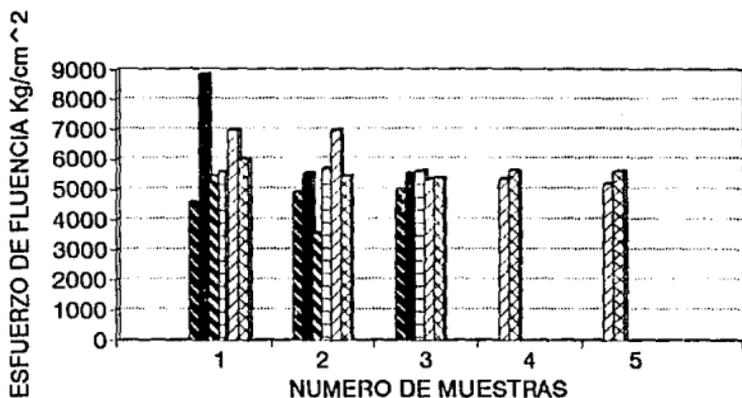
# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup> DIAMETRO NOMINAL 4



# ESFUERZO DE FLUENCIA $\text{Kg/cm}^2$ DIAMETRO NOMINAL 5

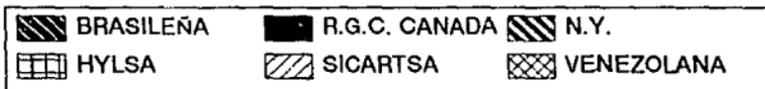
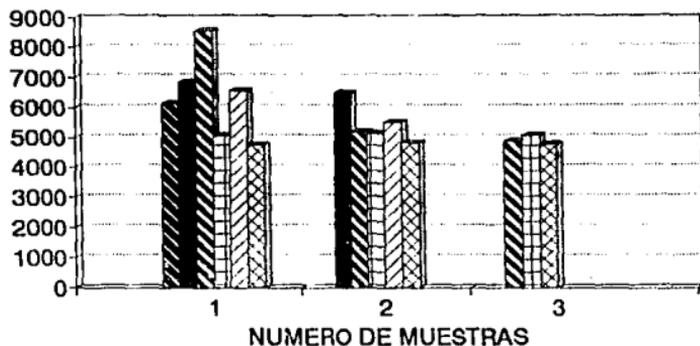


# ESFUERZO DE FLUENCIA $\text{Kg/cm}^2$ DIAMETRO NOMINAL 6



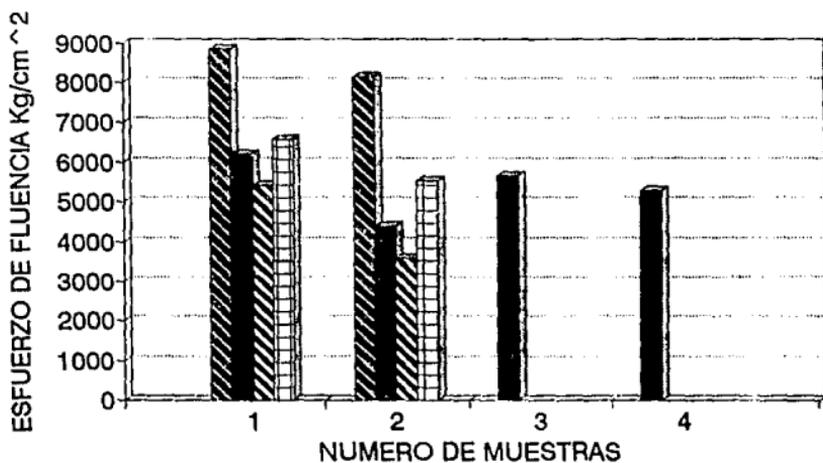
# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup> DIAMETRO NOMINAL 8

ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>



# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>

MARCA SICARTSA

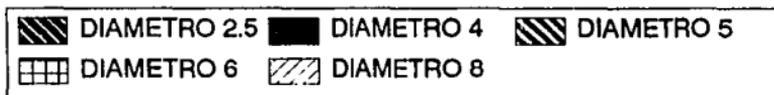
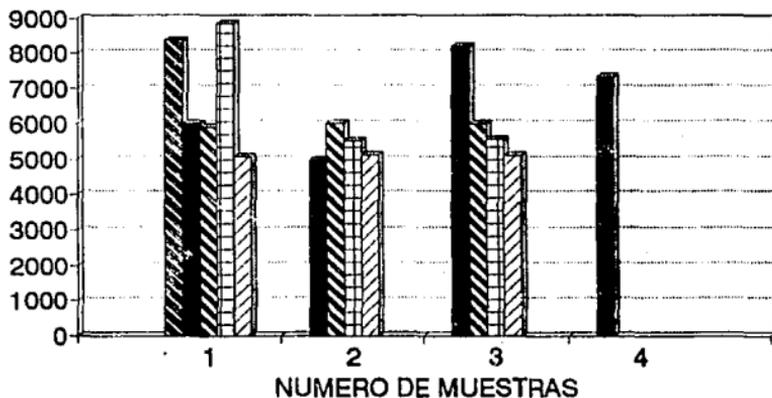


DIAMETRO 2. DIAMETRO 3. DIAMETRO 4. DIAMETRO 5

# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>

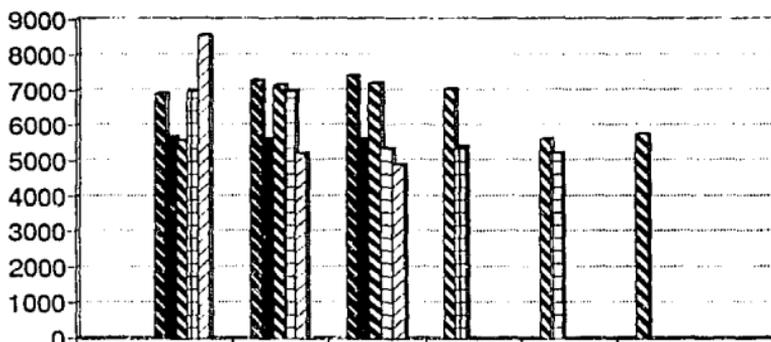
MARCA HYLSA

ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>

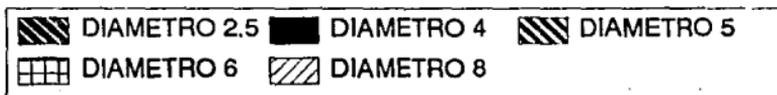


# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup> MARCA N.Y.

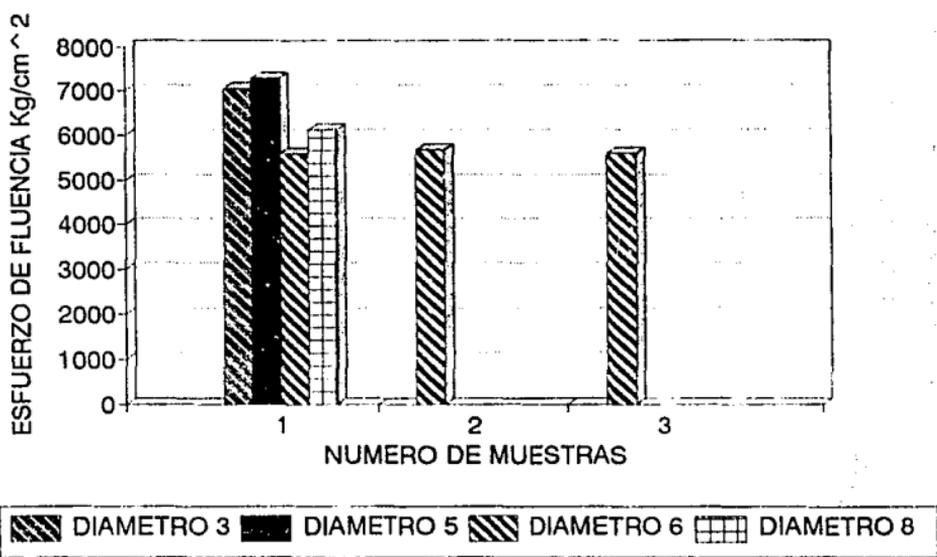
ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>



NUMERO DE MUESTRAS

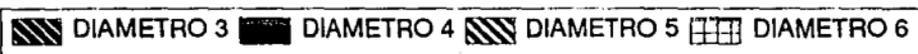
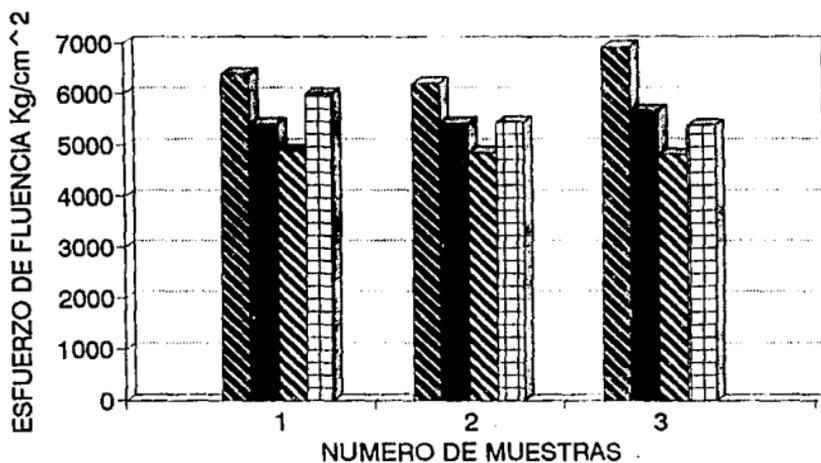


# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup> MARCA BRASILEÑA

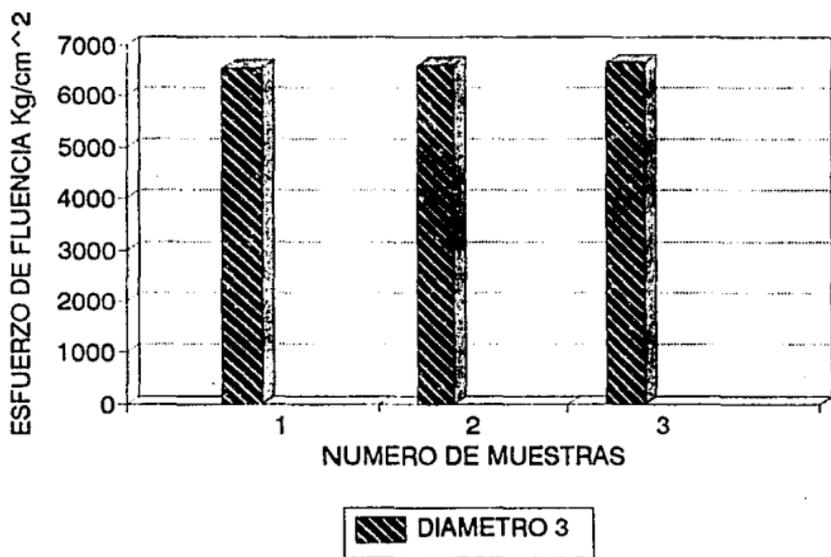


# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>

MARCA DEDINI BRASIL

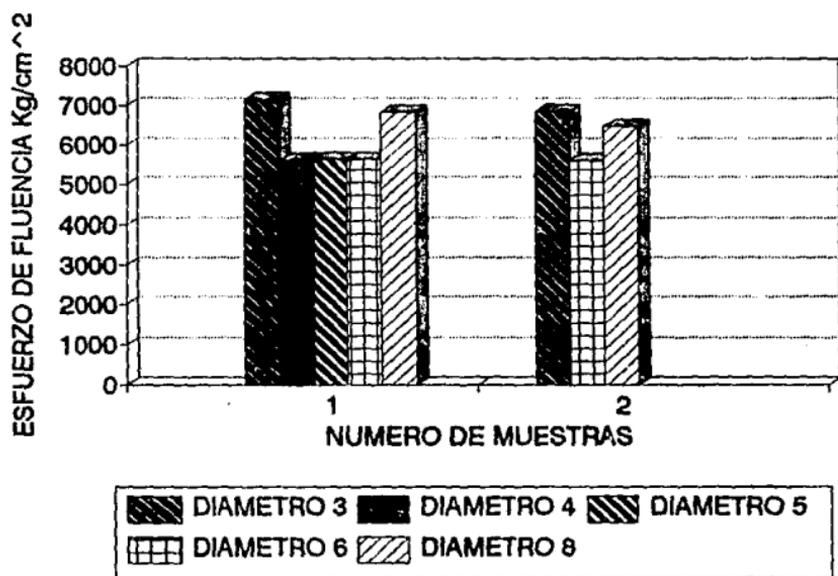


# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup> MARCA POLACA



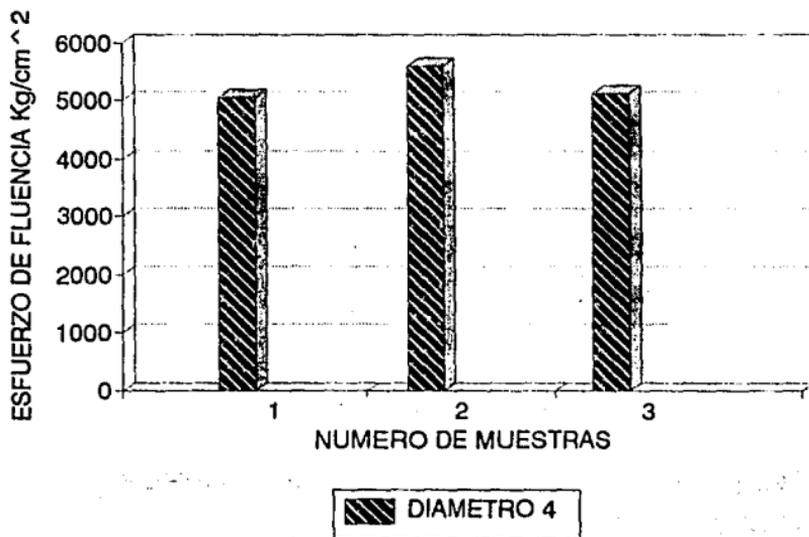
# ESFUERZO DE FLUENCIA $\text{Kg/cm}^2$

MARCA R.G.C. CANADA

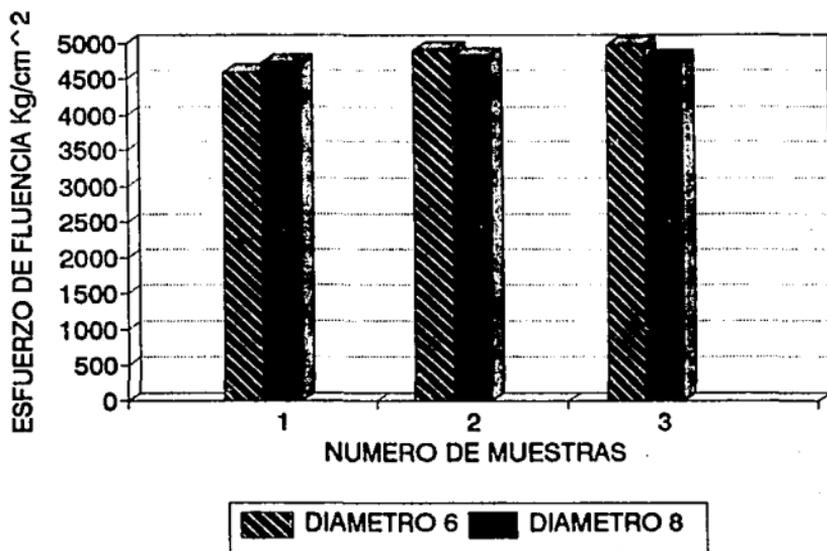


# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>

MARCA C.M. TURCA



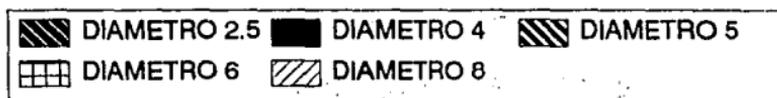
# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup> MARCA VENEZOLANA



# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>

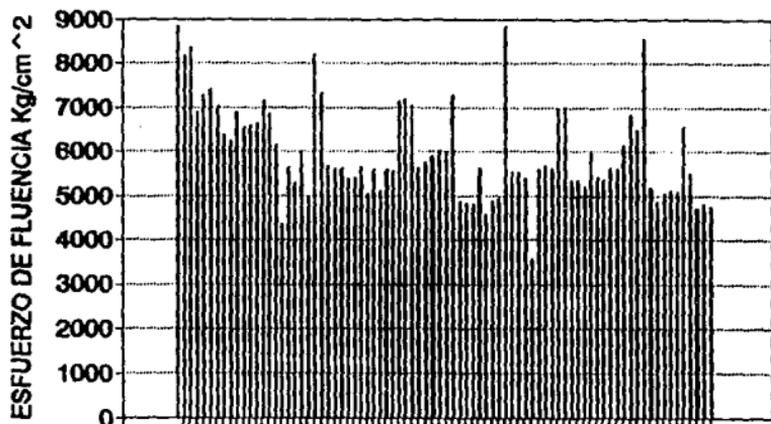
## MARCA SICARTSA

ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>  
(Thousands)



# ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm<sup>2</sup>

DIAMETRO NOMINAL 2,5,3,4,5,6 Y 8



GRAFICA CON TODAS LAS MUESTRAS

MARCA	Nº. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUIDEZ Kg/cm <sup>2</sup>	ESFUERZO MAXIMO DE TRACCION Kg/cm <sup>2</sup>
SICARTSA	2,5		10400
SICARTSA	2,5	8465	10750
SICARTSA	2,5	8160	10320
NYLON	2,5		10420
NYLON	2,5		10780
NYLON	2,5	8370	10610
N.Y.	2,5	9310	9370
N.Y.	2,5	7280	10160
N.Y.	2,5	7620	10360
BRASILEIRA	2	7061	8045
BRASILEIRA	3		8575
BRASILEIRA	3		8775
N.Y.	3		8090
N.Y.	3		8267
N.Y.	3		8650
DEDINI BRASI	3	4260	9190
DEDINI BRASI	3	4216	9160
DEDINI BRASI	3	4909	9294
POLACA	3	6541	8792
POLACA	3	6395	9090
POLACA	3	6444	8997
R.G.C. CANAD	3	7147	10240
R.G.C. CANAD	3	6893	10070
BRASILEIRA	4		10050
BRASILEIRA	4		9745
BRASILEIRA	4		9594
SICARTSA	4	4374	9223
SICARTSA	4	4373	9169
SICARTSA	4	5450	8697
SICARTSA	4	5394	8520
SICARTSA	4		10400
NYLON	4	5980	8724
NYLON	4	6991	7873
NYLON	4	6209	10160
NYLON	4	7304	9385
NYLON	4		10000
N.Y.	4	5672	8242
N.Y.	4	5621	8387
N.Y.	4	5610	
DEDINI BRASI	4	5395	9400
DEDINI BRASI	4	5429	9124
DEDINI BRASI	4	5644	8424
C.H. TURCA	4	5050	7704
C.H. TURCA	4	5394	8564
C.H. TURCA	4	5104	7762
R.G.C. CANAD	4	5403	7764
R.G.C. CANAD	4		8564
R.G.C. CANAD	4		7782
SICARTSA	5		9200
SICARTSA	5		9164
SICARTSA	5		9275
N.Y.	5	5563	8580
N.Y.	5	7149	8444
N.Y.	5	7392	8726
N.Y.	5	7068	8440
N.Y.	5	5413	8570
N.Y.	5	5796	8710
NYLON	5	5987	8980
NYLON	5	6002	9055
NYLON	5	5980	8515
BRASILEIRA	5		9054
BRASILEIRA	5	7279	10180
BRASILEIRA	5		10070
DEDINI BRASI	5	4889	7923
DEDINI BRASI	5	4843	7871
DEDINI BRASI	5	4813	7826
R.G.C. CANAD	5		8901
R.G.C. CANAD	5	5626	8817
VENEZOLANA	6	4997	7304
VENEZOLANA	6	4903	7421
VENEZOLANA	6	4961	7427
NYLON	6	8044	8711
NYLON	6	5824	9007
NYLON	6	5845	8831
NYLON	6		8295
SICARTSA	6	5019	8451
SICARTSA	6	3555	8326
BRASILEIRA	6	5594	9145
BRASILEIRA	6	5689	9169
BRASILEIRA	6	5610	9100
N.Y.	6	4973	8440
N.Y.	6	4970	8502

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO DE FLUENCIA Kg/cm <sup>2</sup>	ESFUERZO MAXIMO DE TENSIÓN Kg/cm <sup>2</sup>
M.Y.	6	5341	8204
M.Y.	6	5354	8223
M.Y.	6	5312	8222
DEDINI-BRASI	6	6009	8113
DEDINI-BRASI	6	5437	8609
DEDINI-BRASI	6	5377	8587
R.O.C. CANAD	6	5623	8828
R.O.C. CANAD	6	5610	8809
BRASILEIRA	8	6144	9118
BRASILEIRA	8		9147
BRASILEIRA	8		9231
R.O.C. CANAD	8	6843	9312
R.O.C. CANAD	8	6479	8815
M.Y.	8	8568	8586
M.Y.	8	5201	8612
M.Y.	8	4880	7616
HYLSA	8	5063	8187
HYLSA	8	5132	8397
HYLSA	8	5097	8398
HYLSA	8		8397
SICARTSA	8	4565	8251
SICARTSA	8		8541
SICARTSA	8	5529	8755
VENEZOLANA	8	4732	7410
VENEZOLANA	8	4820	7439
VENEZOLANA	8	4776	7439

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA

~~X=8800~~ 5329  
S=1118  
CV=0.127

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO MAXIMO DE TENSION

X=8783  
S=1104  
CV=0.1257

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO CORTANTE

X=6049  
S=1016  
CV=0.1680

X=Media  
S=Desviación estandar  
CV=Coefficiente de variación

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=7830  
S=675  
CV=0.086

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6704  
S=289  
CV=0.043

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5708  
S=836  
CV=0.146

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5676  
S=845  
CV=0.149

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5670  
S=1037  
CV=0.182

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=10304  
S=384  
CV=0.037

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=9099  
S=582  
CV=0.064

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8573  
S=1776  
CV=0.207

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8918  
S=633  
CV=0.071

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8463  
S=546  
CV=0.065

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO CORTANTE

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6616  
S=743  
CV=0.112

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6479  
S=1577  
CV=0.243

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5543  
S=687  
CV=0.124

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6297  
S=894  
CV=0.142

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5795  
S=654  
CV=0.113

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA

PARA LAS BARRAS DEL No. 8  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5700  
S=1055  
CV=0.185

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA LAS BARRAS DEL No. 8  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8376  
S=578  
CV=0.069

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO CORTANTE

PARA LAS BARRAS DEL No. 8  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5893  
S=510  
CV=0.183

X=Media  
S=Desviación estandar  
CV=Coefficiente de variación

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
DE FLUENCIA

PARA SICARTSA SE TIENE

X=5837  
S=1481  
CV=0.2537

PARA NYLSA SE TIENE

X=6284  
S=1283  
CV=0.2043

PARA W.Y. SE TIENE

X=9213  
S=983  
CV=0.1582

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=6230  
S=686  
CV=0.1101

PARA DEDINI BRASIL

X=5559  
  
S=628  
CV=0.1129

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA SICARTSA SE TIENE

X=8742  
S=2127  
CV=0.2433

PARA NYLSA SE TIENE

X=9122  
S=804  
CV=0.0881

PARA W.Y. SE TIENE

X=8699  
S=633  
CV=0.0727

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=9336  
S=591  
CV=0.0633

PARA DEDINI BRASIL  
SE TIENE

X=8495  
S=492  
CV=0.0579

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
CONSTANTE

PARA SICARTSA SE TIENE

X=6216  
S=782  
CV=0.126

PARA NYLSA SE TIENE

X=6015  
S=748  
CV=0.124

PARA W.Y. SE TIENE

X=6051  
S=729  
CV=0.12

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=6382  
S=457  
CV=0.072

PARA DEDINI BRASIL  
SE TIENE

X=6302  
S=814  
CV=0.129

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
DE FLUENCIA

PARA POLACA SE TIENE

X=6594  
S=53  
CV=0.008

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=6224  
S=629  
CV=0.1011

PARA C.H. TURCA SE TIENE

X=5250  
S=244  
CV=0.0465

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=4798  
S=118  
CV=0.0246

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA POLACA SE TIENE

X=8854  
S=50  
CV=0.005

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=8903  
S=747  
CV=0.084

PARA C.H. TURCA SE TIENE

X=8033  
S=375  
CV=0.046

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=7373  
S=120  
CV=0.0162

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
CORTANTE

PARA POLACA SE TIENE

X=74716  
S=29  
CV=0.004

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=4844  
S=886  
CV=0.1834

PARA C.H. TURCA SE TIENE

X=7426  
S=2965  
CV=0.399

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=5387  
S=263  
CV=0.049

X=Media

S=Desviación estandar

CV=Coefficiente de variación

PROYECT	PROCEDENCIA	MARCA	DIAM. TUB. (mm)	TEST IDEN. (mm)	CANAL MAX. (Kg)	LOWER (Kg/mm <sup>2</sup> )	U.E. (Kg/mm <sup>2</sup> )	A.P.E.A. (mm <sup>2</sup> )	ESFUERZO TENSION (Kg/mm <sup>2</sup> )	GRADO ACEPO (Kg/mm <sup>2</sup> )	GRAGE LENG. (mm)	M.O.C. ELASTICO (Kg/mm <sup>2</sup> )	OFFSET YIELD 1% (Kg/mm <sup>2</sup> )	RED AIR (%)	HALT OF LD YIELD (Kg/mm <sup>2</sup> )	UPPER YIELD (Kg/mm <sup>2</sup> )	ELONGACION TOTAL (%)		
INDO	NACIONAL	BICAPRA	2.5	188	8,210	72	80	48	48	106	40	20,200	71	30			8.80		
INDO	NACIONAL	BICAPRA	2.5	187	8,260	86	74	50	48	107	50	22,840	71	20	42.32	107.80	107.80		
INDO	NACIONAL	BICAPRA	2.5	188	8,200	81	80	48	48	103	30	22,460	86	00	59.84	84.20	84.20		
INDO	NACIONAL	HYLRA	2.5	189	8,200		78	50	48	105	40	21,730	78	00	51.53		78.90		
INDO	NACIONAL	HYLRA	2.5	180	8,020		71	80	48	102	50	24,440	87	80	44.32		9.00		
INDO	NACIONAL	HYLRA	2.5	181	8,100	83	70	48	48	104	10	21,820	72	50	48.73	86.10	86.10		
INDO	NACIONAL	HYLRA	2.5	182	8,180	89	10	70	48	87	30	24,730	80	30	47.84	70.30	70.30		
INDO	NACIONAL	HYLRA	2.5	183	8,080	72	80	48	48	101	40	22,300	72	30	84.98	72.80	72.80		
INDO	NACIONAL	N.Y.	2.5	184	8,010	74	70	50	48	103	40	23,180	75	30	56.32	70.30	70.30		
INDO	NACIONAL	N.Y.	3	184	7,910	73	82	80	71	28	86	20	21,170	58	48	35.25	*4.73	*4.73	
INDO	NACIONAL	N.Y.	3	188	8,270	70	41	80	71	28	86	20	21,360	60	47	37.87		84.14	
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	3	180	8,070		79	80	71	28	87	20	18,830	57	30	55.44		14.00	
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	3	181	8,210	73	83	81	71	28	87	20	17,860	60	52	57.71	6.91	18.85	
INDO	NACIONAL	N.Y.	3	182	8,040		47	72	71	28	82	47	20,110	43	40	30.88		8.02	
INDO	NACIONAL	N.Y.	3	180	8,060	76	58	48	48	71	28	22,180	44	71	42.56		6.82		
INDO	EXTRANJERA	EN HONOR BRASILEÑA	3	330	6,510	83	88	85	71	28	83	47	22,880	85	21	54.81	84.82	84.82	
INDO	EXTRANJERA	EN HONOR BRASILEÑA	3	340	6,440	82	81	83	71	28	81	47	21,370	83	87	60.82	82.48	82.48	
INDO	EXTRANJERA	DE HONOR BRASILEÑA	3	341	6,580	83	80	84	83	71	28	22,840	84	47	54.81	84.08	84.08		
INDO	EXTRANJERA	POLACA	3	364	6,220	82	81	80	24	26	81	43	22,193	88	38	53.18	82.85	85.81	
INDO	EXTRANJERA	POLACA	3	305	6,310	85	85	83	71	28	86	43	24,880	86	83	47.41	86.31	86.31	
INDO	EXTRANJERA	POLACA	3	358	6,300	86	88	87	20	28	86	47	21,010	87	33	58.77	86.87	88.87	
INDO	EXTRANJERA	P.O.C. CANADA	3	368	7,380	71	47	74	71	28	102	80	22,480	74	44	51.73	71.85	71.85	
INDO	EXTRANJERA	P.O.C. CANADA	3	364	6,220	82	81	80	24	26	81	43	22,193	88	38	53.18	82.85	85.81	
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	4	186	12,120		80	80	126	80	50	20	28,830	64	75	40.46		13.80	
INDO	NACIONAL	BICAPRA	4	180	11,700	81	74	82	88	126	80	23	27,240	62	78	37.28	82.14	82.14	
INDO	NACIONAL	HYLRA	4	183	11,320	89	88	80	88	126	80	24	20,900	80	98	17.20	80.48	80.48	
INDO	NACIONAL	BICAPRA	4	182	11,320	83	83	78	88	126	80	23	24,820	71	18	41.52	84.63	84.63	
INDO	NACIONAL	BICAPRA	4	137	11,000	86	86	83	126	80	87	20	20,240	84	47	52.28	86.71	87.80	
INDO	NACIONAL	BICAPRA	4	136	10,430	82	88	83	126	80	87	20	26,780	82	80	56.20	53.14	53.14	
INDO	NACIONAL	HYLRA	4	184	8,870	88	81	80	25	126	80	23	21,870	80	18	41.52	80.15	80.15	
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	4	187	18,300		82	71	186	80	47	20	21,820	82	40	38.88		18.00	
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	4	186	12,800		84	81	126	80	47	20	22,830	83	53	51.88		11.80	
INDO	NACIONAL	N.Y.	4	188	10,440	86	72	78	186	80	47	20	20,860	84	84	86.31	87.00	87.00	
INDO	NACIONAL	N.Y.	4	170	10,820	84	81	71	126	80	47	20	22,100	87	48	54.11	86.84	86.84	
INDO	NACIONAL	N.Y.	4	171	10,420	86	18	126	80	82	37	20	23,380		51	86.48	86.48	13.80	
INDO	NACIONAL	BICAPRA	4	172	7,530	106	80		108	80	47	20	23	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	4	175	7,370		80	48	126	80	47	20	24	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	4	170	8,120	83	88	88	109	80	47	20	24	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	4	177	8,730	73	88	82	126	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	4	178	7,180	84	73	72	126	80	47	20	24	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	DE HONOR BRASILEÑA	4	342	10,640	83	88	88	126	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	DE HONOR BRASILEÑA	4	303	8,860	81	88	87	126	80	47	20	24	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	DE HONOR BRASILEÑA	4	344	10,880	86	84	126	80	47	20	24	810	85	23	50.29		13.00	
INDO	EXTRANJERA	C.M. TURCA	4	361	8,880	80	81	84	126	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	C.M. TURCA	4	362	10,880	85	84	126	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00	
INDO	EXTRANJERA	C.M. TURCA	4	363	8,860	81	88	87	126	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	P.O.C. CANADA	4	367	10,980	86	83	86	126	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	P.O.C. CANADA	4	368	10,870		84	74	126	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	BICAPRA	5	145	18,240		80	71	182	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	5	142	17,040	83	83	86	182	80	47	20	23	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	BICAPRA	5	146	18,370		81	85	182	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	BICAPRA	5	147	18,180	81	82	80	182	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	5	148	17,820	80	87	81	182	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	5	148	17,750	80	82	80	182	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	5	150	17,880	80	80	87	182	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	5	181	18,320		81	85	182	80	47	20	23	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	5	186	18,860	72	78	84	31	182	80	47	23	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	5	153	18,740		83	86	182	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	5	154	18,800	71	82	84	182	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	5	155	17,110	71	82	80	182	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	5	156	18,840	70	84	81	182	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	5	293	17,020	84	83	81	182	80	47	20	23	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	5	294	17,280	87	88	87	182	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	DE HONOR BRASILEÑA	5	345	18,780	88	88	81	182	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	DE HONOR BRASILEÑA	5	346	18,820	88	87	81	182	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	DE HONOR BRASILEÑA	5	347	18,840	88	83	81	182	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	P.O.C. CANADA	5	368	17,870		86	84	182	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	P.O.C. CANADA	5	369	17,810		86	84	182	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	VELEZOLANA	5	301	20,380	88	87	88	202	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	6	130	20,380	88	88		202	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	6	131	20,840	88	84	85	202	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	6	136	20,040	87	80	88	202	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	HYLRA	6	135	20,370	85	85	85	202	80	47	20	20	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	BICAPRA	6	134	20,380	84	84	81	202	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	BICAPRA	6	133	20,340	86	86	87	202	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	6	137	20,020	88	88	81	202	80	47	20	22	810	85	23	50.29		13.00
INDO	EXTRANJERA	BRASILEÑA	6	138	20,820	86	86	85	202	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	6	139	20,980	88	73	88	202	80	47	20	21	810	85	23	50.29		13.00
INDO	NACIONAL	N.Y.	6																

PROYECT	PROCEDENCIA	MARCA	DEB DISE NUM	TEST TREN	CARGA MAX Kg	LOWER YIELD Kg/mm <sup>2</sup>	L.E.U. Rm <sup>2</sup>	AREA	ESFUER TENDICH Kg/mm <sup>2</sup>	GRADO ACEVO	GADE LENG mm	MOD. ELASTICO Kg/mm <sup>2</sup>	OP/BET YIELD Kg/mm <sup>2</sup>	PCD AR %	HALT OF LD YIELD Kg/mm <sup>2</sup>	UPPER YIELD Kg/mm <sup>2</sup>	ELONGACION TOTAL %
INCO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	8	298	81,280	48.40	48.81	265.02	74.87	42	200	81,800	48.86	47.80	48.80	48.80	22.00
INCO	EXTRANJERA	DENOM BRASIL	8	348	83,820	80.09	83.19	280.02	83.12	42	200	85,170	83.08	82.84	82.96	82.96	18.80
INCO	EXTRANJERA	DENOM BRASIL	8	348	84,870	84.37	84.03	286.08	86.09	42	200	87,880	84.87	87.17	84.83	84.83	17.00
INCO	EXTRANJERA	DENOM BRASIL	8	350	74,800	53.77	53.80	280.02	85.87	42	200	72,900	53.80	53.98	53.86	53.86	17.00
INCO	EXTRANJERA	R.G.C CANADA	8	371	25,200	56.23	58.20	280.02	86.26	42	200	114,000	86.63	86.32	86.32	86.32	19.00
INCO	EXTRANJERA	R.G.C CANADA	8	372	23,240	56.10	56.16	280.02	86.08	42	200	22,740	56.16	56.14	56.16	86.16	14.00
INCO	EXTRANJERA	BRASILENA	8	* 1	46,200	81.44	80.48	308.71	81.18	42	80	31,400	80.20	18.00	80.83	80.83	4.00
INCO	EXTRANJERA	R.G.C CANADA	8	* 2	47,180	86.43	86.45	308.71	83.12	42	200	31,800	86.43	86.88	86.88	86.88	18.00
INCO	NACIONAL	N.Y.	8	* 118	43,200	86.46		308.71	80.96	42	90	34,800	82.48	86.85	86.80	86.80	8.00
INCO	NACIONAL	HYLBA	8	* 126	41,480	80.83	80.73	308.71	81.87	42	200	81,870	80.83	86.12	81.28	81.28	16.00
INCO	EXTRANJERA	BRASILENA	8	114	43,880			308.71	80.70	42	200						16.80
INCO	EXTRANJERA	BRASILENA	8	118	46,770			308.71	82.31	42	200				47.88		18.80
INCO	NACIONAL	SCARIBA	8	118	41,810	80.85		308.71	82.81	42	80	36,070	80.38	41.09	80.38	80.38	870.00
INCO	NACIONAL	HYLBA	8	117	42,070	81.23	81.86	308.71	83.03	42	80	32,880	81.25	80.86	82.68	82.68	888.00
INCO	NACIONAL	SCARIBA	8	180	43,880			308.71	86.41	42	200				44.83		16.80
INCO	NACIONAL	SCARIBA	8	121	44,290	80.29		308.71	87.00	42	200				43.48	80.48	17.20
INCO	NACIONAL	HYLBA	8	187	42,840	80.87	81.13	308.71	83.80	42	200				86.80	81.81	16.80
INCO	NACIONAL	HYLBA	8	186	43,500			308.71	85.87	42	200	23,330	81.81	86.82			16.00
INCO	NACIONAL	N.Y.	8	188	43,640	82.01	82.12	308.71	86.12	42	200	23,280	82.02	86.13	86.40	82.40	16.00
INCO	NACIONAL	N.Y.	8	188	36,880	46.80	46.88	308.71	79.16	42	200	30,820	46.88	86.88	46.38	46.38	23.80
INCO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	8	308	37,840	47.22	47.84	308.71	74.10	42	200	38,780	47.87	37.34	47.71	47.71	18.00
INCO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	8	308	37,880	48.00	48.20	308.71	74.36	42	200	38,820	48.06	38.22	48.18	48.18	17.00
INCO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	8	304	37,880	47.78	48.12	308.71	74.28	42	200	38,810	48.01	43.48	48.20	48.20	23.80
INCO	EXTRANJERA	R.G.C CANADA	8	376	44,878	84.78	85.23	308.71	86.19	42	200	32,940	85.80	84.88	85.88	85.88	16.00

## APENDICE H

### PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES

*Nota: Las propiedades de los materiales varían enormemente dependiendo de los procesos de manufactura, composición química, defectos internos, temperatura, dimensiones de las probetas de prueba y muchos otros factores. Luego, los datos tabulados son representativos del material pero no necesariamente adecuados para una aplicación específica. En algunos casos, en la tabla se proporciona un intervalo de valores con el fin de mostrar algunas de las posibles variaciones en propiedades. Salvo que se indique otra cosa, las propiedades mecánicas y los módulos de elasticidad son para materiales en tensión.*

Tabla H-1 PESOS ESPECIFICOS Y DENSIDADES DE MASA

Material	Peso específico y		Densidad de masa	
	lb/pte <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	stugs/pte <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>
Aluminio (puro)	169	26.6	5.26	2710
Aleaciones de aluminio	160-180	26-28	5.2-5.4	2600-2800
2014-T6	175	28	5.4	2800
6061-T6	170	26	5.2	2700
7075-T6	175	28	5.4	2800
Latón	520-540	82-85	16-17	8400-8600
Latón rojo (80% Cu, 20% Zn)	540	85	17	8600
Latón naval	525	82	16	8400
Ladrillo	110-140	17-22	3.4-4.4	1800-2200
Bronce	510-550	80-86	16-17	8200-8800
Bronce al manganeso	520	82	16	8300
Hierro fundido	435-460	68-72	13-14	7000-7400
Concreto				
Simple	145	23	4.5	2300
Reforzado	150	24	4.7	2400
Ligero	70-115	11-18	22-3.6	1100-1800
Cobre	556	87	17	8900
Vidrio	150-180	24-28	4.7-5.4	2400-2800
Magnesio (puro)	109	17	3.4	1750
Aleaciones	110-114	17-18	3.4-3.5	1760-1830
Monel (67% Ni, 30% Cu)	550	87	17	8800
Níquel	550	87	17	8800
Nylon	70	11	2.2	1100
Hule	60-80	9-13	1.9-2.5	960-1300
Acero	490	77.0	15.2	7850
Piedra				
Granito	165	26	5.1	2600
Piedra caliza	125-180	20-28	3.9-5.6	2000-2900
Mármol	165-180	26-28	5.1-5.6	2600-2900
Cuarzo	165	26	5.1	2600
Titanio	280	44	8.7	4500
Tungsteno	1200	190	3.7	1900
Madera (secada al aire)				
Fresno	35-40	5.5-6.3	1.1-1.2	560-640
Abeto rojo	30-35	4.7-5.5	0.9-1.1	480-560
Roble	40-45	6.3-7.1	1.2-1.4	640-720
Pino del sur	35-40	5.5-6.3	1.1-1.2	560-640
Hierro forjado	460-490	72-77	14-15	7400-7800

Tabla II-2 MODULOS DE ELASTICIDAD Y MODULOS DE POISSON

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de elasticidad a cortante G		Módulo de Poisson $\nu$
	ksi	CPa	ksi	CPa	
Aluminio (puro)	10,000	70	3,800	26	0.33
Aleaciones de aluminio	10,000-11,400	70-79	3,800-4,300	26-30	0.33
2014-T6	10,800	73	4,000	28	0.33
6061-T6	10,000	70	3,800	26	0.33
7075-T6	10,400	72	3,900	27	0.33
Latón	14,000-16,000	96-110	5,200-6,000	36-41	0.34
Latón rojo (80% Cu, 20% Zn)	15,000	100	5,600	39	0.34
Latón naval	15,000	100	5,600	39	0.34
Ladrillo (compresión)	1,500-3,500	10-24			
Bronce	14,000-17,000	96-120	5,200-6,300	36-44	0.34
Bronce al manganeso	15,000	100	5,600	39	0.34
Hierro fundido	12,000-25,000	83-170	4,600-10,000	32-69	0.2-0.3
Hierro gris	14,000	97	5,600	39	0.25
Concreto (compresión)					0.1-0.2
Baja resistencia	2,600	18			
Resistencia media	3,600	25			
Alta resistencia	4,400	30			
Cobre (puro)	16,000-18,000	110-120	5,800-6,800	40-47	0.33-0.36
Cobre berilio (duro)	18,000	120	6,800	47	0.33
Vidrio	7,000-12,000	48-83	2,800-5,000	19-34	0.20-0.27
Magnesio (puro)	6,000	41	2,200	15	0.35
Aleaciones	6,500	45	2,400	17	0.35
Monel (67% Ni, 30% Cu)	25,000	170	9,500	66	0.32
Níquel	30,000	210	11,400	80	0.31
Nylon	300-400	2.1-2.8			0.4
Hule	0.1-0.6	0.0007-0.004	0.03-0.2	0.0002-0.001	0.45-0.50
Acero	28,000-30,000	190-210	10,800-11,800	75-80	0.27-0.30
Piedra (compresión)					
Granito	6,000-10,000	40-70			0.2-0.3
Piedra caliza	3,000-10,000	20-70			0.2-0.3
Mármol	7,000-14,000	50-100			0.2-0.3
Titanio (puro)	15,500	110	5,800	40	0.33
Aleaciones	15,000-17,000	100-120	5,600-6,400	39-44	0.33
Tungsteno	50,000-55,000	340-380	21,000-23,000	140-160	0.2
Madera (flexión)					
Hueso	1,500-1,600	10-11			
Abeto rojo	1,600-1,900	11-13			
Roble	1,600-1,800	11-12			
Pino del sur	1,600-2,000	11-14			
Hierro forjado	28,000	190	10,800	75	0.3

Tabla H-3 PROPIEDADES MECANICAS

Material	Esfuerzo de fluencia $\sigma_y$		Esfuerzo último $\sigma_u$		Elongación porcentual (longitud calibrada 2 plg)
	ksi	MPa	ksi	MPa	
Aluminio (puro)	3	20	10	70	60
Aleación de aluminio	5-70	35-500	15-80	100-550	1-45
2014-T6	60	410	70	480	13
6061-T6	40	270	45	310	17
7075-T6	70	480	80	550	11
Latón	10-80	70-550	30-90	200-620	4-60
Latón rojo (80% Cu, 20% Zn); suave	70	470	85	590	4
Latón rojo (80% Cu, 20% Zn), suave	13	90	43	300	50
Latón naval; duro	60	410	85	590	15
Latón naval; suave	25	170	59	410	50
Ladrillo (compresión)			1-10	7-70	
Bronce	12-100	82-690	30-120	200-830	5-60
Bronce al manganeso; duro	65	450	90	620	10
Bronce al manganeso; suave	25	170	65	450	35
Hierro fundido (tensión)	17-42	120-290	10-70	69-480	0-1
Hierro gris	17	120	20-60	140-410	0-1
Hierro fundido (compresión)			50-200	340-1,400	
Concreto (compresión)			1.5-10	10-70	
Baja resistencia			2	14	
Resistencia media			4	28	
Alta resistencia			6	41	
Cobre					
Estirado en frío	48	330	55	380	10
Suave (no aleado)	8	55	33	230	50
Cobre berilio (duro)	110	760	120	830	4
Vidrio			5-150	30-1,000	
Placa de vidrio			10	70	
Fibra de vidrio			1,000-3,000	7,000-20,000	
Magnesio (puro)	3-10	20-70	15-25	100-170	5-15
Aleaciones	12-40	80-280	20-50	140-340	2-20
Monel (67% Ni, 30% Cu)	25-160	170-1,100	65-170	450-1,200	2-50
Níquel	20-90	140-620	45-110	310-760	2-50
Nylon			6-10	40-70	50

Tabla H-3 (continuación)

Material	Esfuerzo de fluencia $\sigma_y$		Esfuerzo último $\sigma_u$		Elongación porcentual (longitud calibrada ? plg)
	kai	MPa	kai	MPa	
Hule	0.2-1.0	1-7	1-3	7-20	100-800
Acero					
Alta resistencia	50-150	340-1,000	80-180	550-1,200	5-25
Máquina	50-700	340-700	80-125	550-860	5-25
Resorte	60-240	400-1,600	100-270	700-1,900	3-15
Inoxidable	40-100	280-700	60-150	400-1,000	5-40
Herramientas	75	520	130	900	8
Acero estructural	50-700	200-70	50-120	340-830	10-40
ASTM-A36	36	250	60	400	30
ASTM-A572	50	340	70	500	20
ASTM-A514	100	700	120	830	15
Alambre de acero	40-750	280-1,000	80-200	550-1,400	5-40
Piedra (compresión)					
Granito			10-40	70-280	
Piedra caliza			3-30	20-200	
Mármol			8-25	50-180	
Titanio (puro)	60	400	70	500	25
Aleaciones	110-130	760-900	130-140	900-970	10
Tungsteno			200-600	1,400-4,000	0-4
Madera (flexión)					
Fresno	6-10	40-70	8-14	50-100	
Abeto rojo	5-8	30-50	8-12	50-80	
Roble	6-9	40-60	8-14	50-100	
Pino del sur	6-9	40-60	8-14	50-100	
Madera (compresión) paralela a la veta)					
Fresno	4-6	30-40	5-8	30-50	
Abeto rojo	4-8	30-50	6-10	40-70	
Roble	4-6	30-40	5-8	30-50	
Pino del sur	4-8	30-50	6-10	40-70	
Hierro forjado	50	210	50	340	35

Tabla H-4 COEFICIENTES DE DILATACION TERMICA

Material	Coeficientes de dilatación térmica	
Aluminio y sus aleaciones	13	23
Latón	10.6-11.8	19.1-21.2
Latón rojo	10.6	19.1
Latón naval	11.7	21.1
Ladrillo	3-4	5-7
Bronce	9.9-11.6	18-21
Bronce al manganeso	11	20
Hierro fundido	5.5-6.6	9.9-12.0
Hierro gris	5.6	10.0
Concreto	4-8	7-14
Resistencia media	6	11
Cobre	9.2-9.8	16.6-17.6
Cobre berilio	9.4	17.0
Vidrio	3-6	5-11
Magnesio (puro)	14.0	25.2
Aleaciones	14.5-160	26.1-28.8
Monel (67% Ni, 30% Cu)	7-7	14
Níquel	7-2	13
Nylon	40-60	75-100
Hule	70-110	130-200
Acero	5.5-9.9	10-18
Alta resistencia	8.0	14
Resistencia media (Inoxidable)	9.6	17
Baja resistencia (estructural)	6.5	12
Piedra	3-5	5-9
Titanio (aleaciones)	4.5-5.5	8-10
Tungsteno	2.4	4.3
Hierro fundido	6.5	12

## **CAPITULO 5 ESFUERZO DE TENSION.**

## ESFUERZO NORMAL Y DEFORMACION

Los conceptos fundamentales de esfuerzo y deformación pueden ejemplificarse si se considera una barra prismática cargada con fuerzas axiales  $P$  en los extremos, como se muestra en la fig. 16. Una barra prismática es un miembro estructural recto con sección transversal constante en toda su longitud. En este ejemplo, las fuerzas axiales producen un alargamiento uniforme de la barra, por lo que se dice que se encuentra en *tensión*.

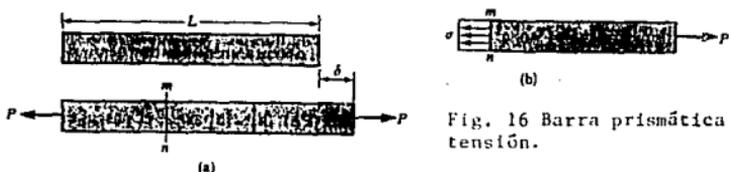


Fig. 16 Barra prismática sujeta a tensión.

Para analizar los esfuerzos internos de la barra originados por las fuerzas axiales, se requiere efectuar un corte imaginario en la sección  $m-m$  Fig. 16a. Esta sección se toma perpendicularmente al eje longitudinal de la barra, por lo que se conoce como *sección transversal*. Enseguida se separa la porción de la barra a la derecha del corte como un cuerpo libre Fig. 16b. La carga de tensión  $P$  actúa sobre el extremo derecho del cuerpo libre; en el otro extremo ocurren fuerzas que representan la acción de la parte izquierda de la barra sobre la parte aislada restante. Tales fuerzas se distribuyen de modo continuo sobre la sección transversal, en forma análoga a la distribución continua de la presión hidrostática sobre una superficie horizontal sumergida. La intensidad de la fuerza (esto es, la fuerza por unidad de área) se denomina *esfuerzo* y se denota comúnmente por la letra griega  $\sigma$  (sigma). Si se supone que el esfuerzo tiene una distribución uniforme sobre la sección transversal Fig. 16b, podemos apreciar fácilmente que su resultante es igual a la intensidad o multiplicada por el área de sección transversal  $A$  de la barra. Más aún, a partir del cuerpo en equilibrio mostrado en la fig. 16b es también evidente que esta resultante debe ser de igual magnitud y de dirección opuesta a la carga aplicada  $P$ . De donde se obtiene

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots 4$$

como la ecuación para el esfuerzo uniforme en una barra prismática de sección transversal de forma cualquiera, cargada axialmente. Cuando la barra se tensa por las fuerzas  $P$ , como lo muestra la figura, los esfuerzos resultantes se denominan *esfuerzos de tensión*; si el sentido de las fuerzas se invierte, lo que ocasiona que la barra se comprima, se originan *esfuerzos de compresión*. Dado que el esfuerzo  $\sigma$  actúa en dirección perpendicular a la superficie del corte, se le conoce como *esfuerzo normal*. Por tanto, los esfuerzos normales pueden ser esfuerzos de tensión-

o de compresión. Posteriormente, encontraremos otro tipo de esfuerzo, llamado **esfuerzo cortante**, que actúa paralelo a la superficie.

Cuando se requieren **signos convencionales** para esfuerzos normales, se acostumbra definir como positivos los esfuerzos de tensión y como negativos los esfuerzos de compresión.

Dado que el esfuerzo normal  $\sigma$  se determina al dividir la fuerza axial entre el área de la sección transversal, detenta **unidades de:** fuerza por unidad de área. Cuando se emplean unidades del SI, la fuerza se expresa en newtons (N) y el área en metros cuadrados ( $m^2$ ). Por tanto, el esfuerzo detenta unidades de newtons por metro cuadrado ( $N/m^2$ ), o pascals (Pa). Sin embargo, el pascal es una unidad de esfuerzo tan pequeña que es necesario operar con múltiplos mayores. Para ejemplificar esto, se debe hacer notar que se requieren casi 7000 Pa para obtener 1 psi. Por ejemplo, un esfuerzo de tensión representativo en una barra de acero pudiera tener una magnitud de 140 megapascals (140 MPa), que son  $140 \times 10^6$  Pa. Aunque no se recomienda en SI, en ocasiones se expresa el esfuerzo en newtons por milímetro cuadrado ( $N/mm^2$ ) que constituye una unidad idéntica al megapascal (MPa).

Cuando se utilizan unidades del Sistema Inglés, se acostumbra expresar los esfuerzos en libras por pulgada cuadrada ( $lb/plg^2 = psi$ ) o en kips por pulgada cuadrada (ksi). Por ejemplo, un esfuerzo típico en una barra podría ser 20,000 psi o 20 ksi.

A fin de que la ecuación  $\sigma = P/A$  sea válida, el esfuerzo  $\sigma$  debe estar uniformemente distribuido sobre la sección transversal de la barra. Esta condición se cumple si la fuerza axial  $P$  actúa en el centroíde de del área de la sección transversal, como se demuestra en el Ejemplo 1. Cuando la carga  $P$  no actúa en el centroíde se origina flexión en la barra y se requiere un análisis más complicado. De cualquier manera, se supone que todas las fuerzas axiales se aplican en el centroíde de la sección transversal, a menos que se especifique lo contrario.

La condición de esfuerzo uniforme ilustrada en la Fig. 16a se presenta a lo largo del elemento, excepto cerca de los extremos. La distribución de esfuerzos en los extremos de la barra depende del detalle de aplicación real de la carga axial  $P$ . Si la carga misma se distribuye uniformemente sobre el extremo, entonces el patrón de esfuerzo será el mismo que en otras partes. Sin embargo, en general la carga se concentra sobre un área pequeña, lo que origina esfuerzos locales elevados y distribuciones de esfuerzo no uniformes en la vecindad de la carga. Conforme se aleja de los extremos, la distribución de esfuerzo se aproxima gradualmente a la distribución uniforme mostrada en la Fig. 16b. Por lo común es válido suponer que la fórmula  $\sigma = P/A$  puede emplearse con bastante exactitud en cualquier punto que esté al menos a una distancia  $d$  de los extremos, donde  $d$  es la dimensión transversal mayor de la barra. Desde luego, cuando el esfuerzo no es uniforme, la ecuación  $\sigma = P/A$  determina el **esfuerzo normal medio**.

Una barra axialmente cargada sufre una variación en longitud: se alarga si está a tensión y se acorta si está a compresión. La variación total en longitud se denota por la letra griega  $\delta$  (delta), y se muestra

en la Fig. 16a para una barra sujeta a tensión. Este alargamiento constituye el resultado acumulativo del estiramiento del material sobre la longitud  $l$  de la barra. Supongamos que el material es el mismo en cualquier lugar de la barra. Entonces, si se considera la mitad de la misma, esta última sufrirá un alargamiento igual a  $\delta/2$ ; asimismo, si se considera una longitud unitaria de la barra, sufrirá un alargamiento igual a  $1/l$  veces el alargamiento total  $\delta$ . De esta forma, hemos llegado al concepto de alargamiento por unidad de longitud, o deformación unitaria, denotada por la letra griega  $\epsilon$  (epsilon) y determinada por la ecuación

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \dots \delta$$

Si la barra está sujeta a tensión la deformación unitaria se denomina *deformación unitaria a tensión*, y representa un alargamiento relativo del material. Si la barra está sujeta a compresión, la deformación corresponde a una *deformación unitaria a compresión* y la barra se acorta. La deformación unitaria a tensión se toma como positiva y la deformación unitaria a compresión como negativa. La deformación unitaria se denomina *deformación unitaria normal* porque se refiere a esfuerzos normales.

Debido a que la deformación unitaria normal es el cociente de dos longitudes, constituye una *cantidad adimensional*; esto es, no posee unidades. Por ello, la deformación unitaria se expresa como número absoluto, independiente de cualquier sistema de unidades. Los valores numéricos de la deformación unitaria suelen ser muy pequeños, especialmente para materiales estructurales, los cuales por lo general sólo sufren cambios pequeños en sus dimensiones. Como ejemplo, considérese una barra de acero con una longitud  $L$  de 2.0 m. Cuando se carga a tensión, la barra se alarga una cantidad  $\delta$  igual a 1.4 mm. La deformación unitaria correspondiente es

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{1.4 \times 10^{-3} \text{ m}}{2.0 \text{ m}} = 0.0007 = 700 \times 10^{-6}$$

En la práctica, las unidades originales de  $\delta$  y  $L$  suelen vincularse a la deformación unitaria misma y entonces la deformación unitaria se denota en forma tales como mm/m,  $\mu\text{m}/\text{m}$  y plg/plg. Por ejemplo, la deformación unitaria en el caso anterior pudo denotarse como 700  $\mu\text{m}/\text{m}$  o  $700 \times 10^{-6}$  plg/plg.

Las definiciones de los esfuerzos normales y deformaciones unitarias se basan únicamente en consideraciones estáticas y geométricas, -- por lo que las Ecs. [4] y [5] pueden utilizarse para cargas de cualquier magnitud y para cualquier material. El requerimiento principal es que la deformación de la barra sea uniforme, lo cual a su vez requiere que la barra sea prismática, que las cargas actúen en los centroides de las secciones transversales y que el material sea homogéneo (esto es, -

el mismo en todas las partes de la barra). El estado resultante de esfuerzos y deformaciones unitarias se denomina **esfuerzo y deformación unitaria uniaxiales**. Posteriormente se explicará el esfuerzo uniaxial, así como esfuerzos y deformaciones con direcciones diferentes a la dirección longitudinal de la barra.

**Ejemplo:**

Una barra prismática con sección transversal rectangular (20 x 40 mm) y longitud  $L = 2.8$  m está sometida a una fuerza de tensión axial de 70 kN (Fig. ). El alargamiento medido de la barra es  $\delta = 1.2$  mm. Calcular los esfuerzos de tensión y la deformación unitaria en la barra.



Se supone que las fuerzas axiales actúan en los centroides de las secciones transversales de los extremos, y es posible emplear la Ec. ( ) para calcular el esfuerzo:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{70 \text{ kN}}{(20 \text{ mm})(40 \text{ mm})} = 87.5 \text{ MPa}$$

Asimismo, la deformación unitaria (de la Ec. ) es

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{1.2 \text{ mm}}{2.8 \text{ m}} = 429 \times 10^{-6}$$

Las magnitudes  $\sigma$  y  $\epsilon$  representan el esfuerzo a tensión y la deformación unitaria, respectivamente, en la dirección longitudinal de la barra.

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
SICARTSA	2.5	10640	X=10570
SICARTSA	2.5	10750	S=1820
		10320	CV=0.017
HYLSA	2.5	10620	X=10426
HYLSA	2.5	10250	S=1510
HYLSA	2.5	10410	CV=0.014
N.Y.	2.5	9370	X=99160
N.Y.	2.5	10140	S=3880
N.Y.	2.5	10240	CV=0.039
BRASILEÑA	3	8845	X=8730
BRASILEÑA	3	8572	S=115
BRASILEÑA	3	8773	CV=0.013
N.Y.	3	9898	X=8874
N.Y.	3	8267	S=728
N.Y.	3	8458	CV=0.082

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
DEDINI BRASIL	3	9190	X=9113
DEDINI BRASIL	3	9166	S=50.9
DEDINI BRASIL	3	9284	CV=0.005
POLACA	3	8793	X=8864
POLACA	3	8903	S=50.4
POLACA	3	8897	CV=0.0056
R.G.C. CANADA	3	10280	X=10175
R.G.C. CANADA	3	10070	S=105
			CV=0.0103
BRASILEÑA	4	10050	X=9928
BRASILEÑA	4	9747	S=130
BRASILEÑA	4	9986	CV=0.013
SICARTSA	4	9233	X=9608

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
SICARTSA	4	1149	S=1188
SICARTSA	4	8687	CV=0.123
SICARTSA	4	8230	
SICARTSA	4	10400	
HYLSA	4	8934	X=9312
HYLSA	4	7873	S=846
HYLSA	4	10160	CV=0.09
HYLSA	4	9505	
HYLSA	4	10090	
N.Y.	4	8242	X=8289
N.Y.	4	8387	S=70
			CV=0.008
DEDINI BRASIL	4	8400	X=8386
DEDINI BRASIL	4	8136	S=199
DEDINI BRASIL	4	8624	CV=0.02

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
C.M. TURCA	4	7754	X=8033
C.M. TURCA	4	8564	S=375
C.M. TURCA	4	7782	CV=0.046
R.G.C. CANADA	4	7754	X=8033
R.G.C. CANADA	4	8564	S=50
R.G.C. CANADA	4	7782	CV=0.005
SICARTSA	5	9303	X=9316
SICARTSA	5	9368	S=39.38
	5	9273	CV=0.00422
N.Y.	5	8580	X=8650
N.Y.	5	8666	S=57.26
N.Y.	5	8726	CV=.00662
N.Y.	5	8640	
N.Y.	5	8579	
N.Y.	5	8710	

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
HYLSA	5	8988	X=9019
HYLSA	5	9055	S=27.52
HYLSA	5	9015	CV=0.0030
BRASILEÑA	5	9856	X=10035
BRASILEÑA	5	10180	S=134.52
BRASILEÑA	5	10070	CV=0.0134
DEDINI-BRASIL	5	7933	X=7877
DEDINI-BRASIL	5	7871	S=43.09
DEDINI-BRASIL	5	7828	CV=0.0054
R.G.C. CANADA	5	8901	X=8859
R.G.C. CANADA	5	8817	S=42
			CV=0.005
VENEZOLANA	6	7104	X=7317
VENEZOLANA	6	7421	S=150.86
VENEZOLANA	6	7427	CV=0.0206

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
HYLSA	6	8911	X=8738
HYLSA	6	9007	S=314.25
HYLSA	6	8831	CV=0.0359
SICARTSA	6	8451	X=8493
SICARTSA	6	8536	S=42.5
			CV=0.005
BRASILEÑA	6	9165	X=9144
BRASILEÑA	6	9169	S=3162
BRASILEÑA	6	9100	CV=0.0034
N.Y.	6	8449	X=8340
N.Y.	6	8502	S=115.78
N.Y.	6	8304	CV=.0138
N.Y.	6	8223	
N.Y.	6	8222	

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
DEDINI-BRASIL	6	8313	X=8503
DEDINI-BRASIL	6	8609	S=134.65
DEDINI-BRASIL	6	8587	CV=0.0158
R.G.C.	8	8838	X=8823
R.G.C.	8	8809	S=14.5
			CV=0.0016
BRASIL	8	9118	X=8845
BRASIL	8	8187	S=467
BRASILEÑA	8	9231	CV=.05288
R.G.C. CANADA	8	9312	X=9063
R.G.C. CANADA	8	8815	S=248.5
			CV=0.0274
N.Y.	8	8556	X=8261
N.Y.	8	8612	S=456

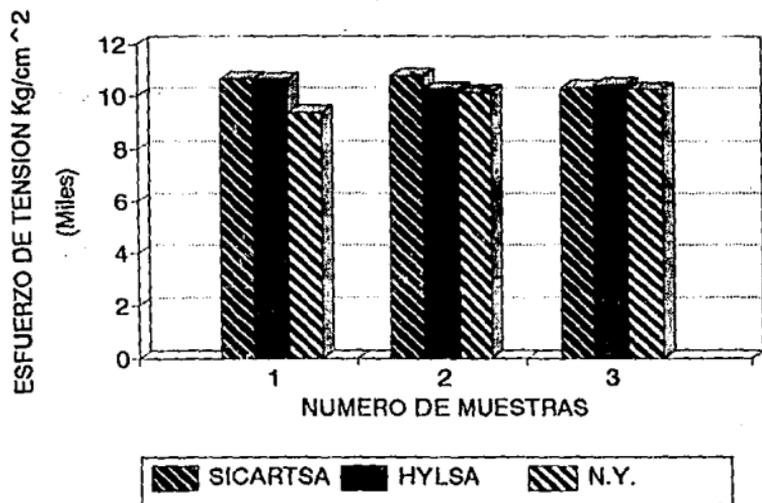
MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Kg/cm2	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
N.Y.	8	7616	CV=0.0553
HYLSA	8	8187	X=8370
HYLSA	8	8302	S=150.2
HYLSA	8	8395	CV=0.01794
HYLSA	8	8597	
SICARTSA	8	8251	X=8515
SICARTSA	8	8541	S=206.5
SICARTSA	8	8755	CV=0.02425
VENEZOLANA	8	7410	X=7429
VENEZOLANA	8	7439	S=13.67
VENEZOLANA	8	7439	CV=0.0018

X=Media

S=Desviación estandar

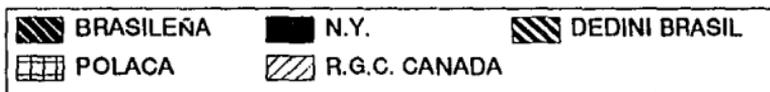
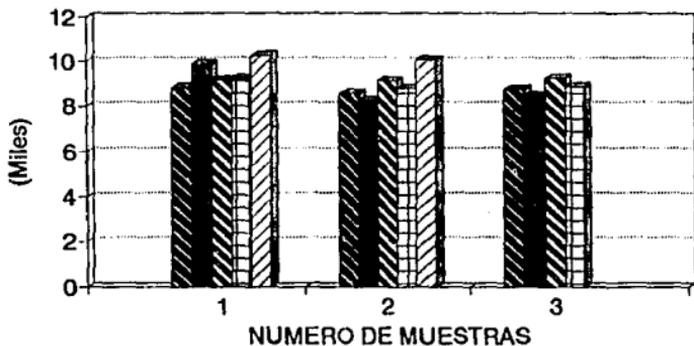
CV=Coeficiente de variación

# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> DIAMETRO NOMINAL 2.5



# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> DIAMETRO NOMINAL 3

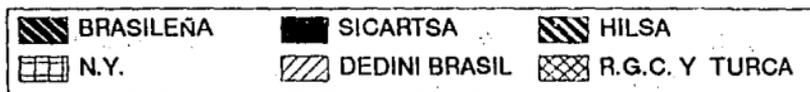
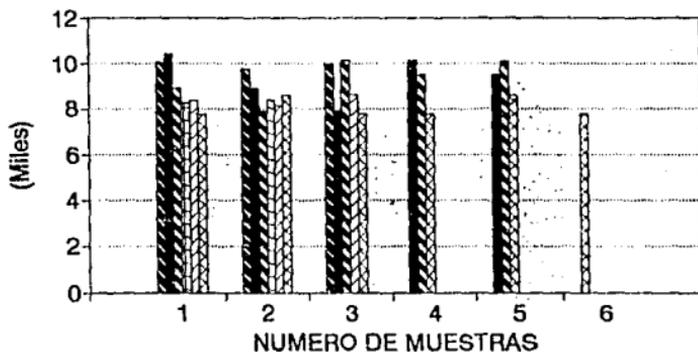
ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>  
(Miles)



# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>

## DIAMETRO NOMINAL 4

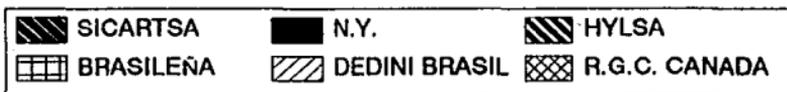
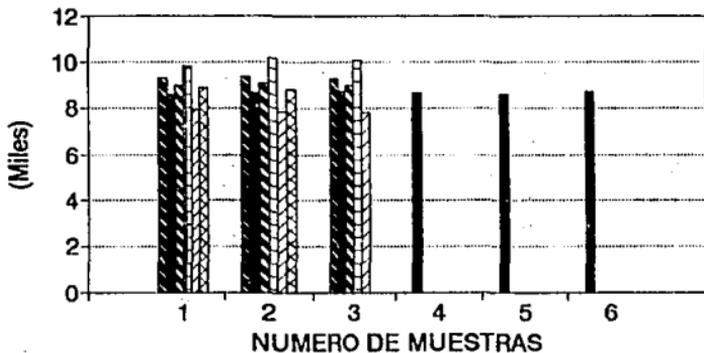
ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>



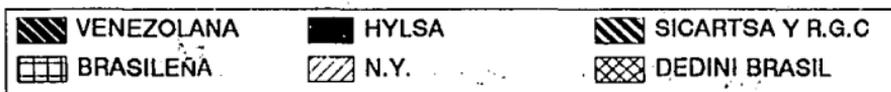
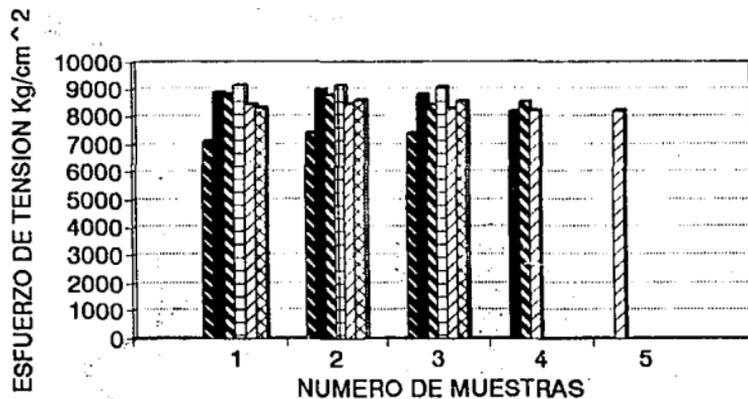
# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>

## DIAMETRO NOMINAL 5

ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>



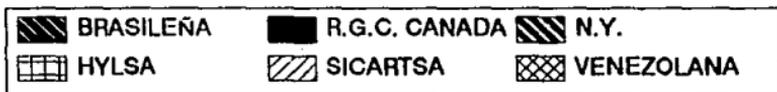
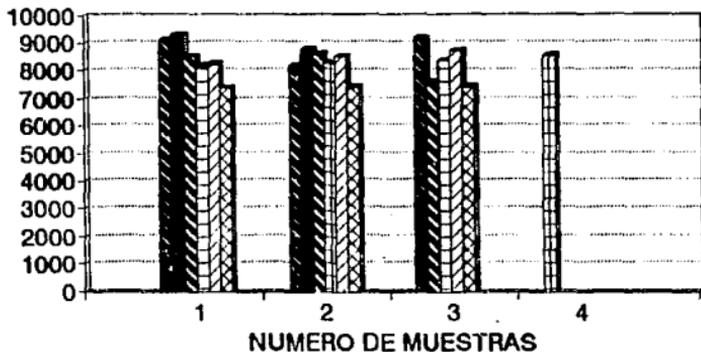
# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> DIAMETRO NOMINAL 6



# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>

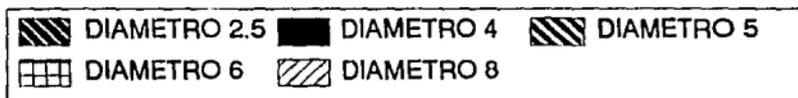
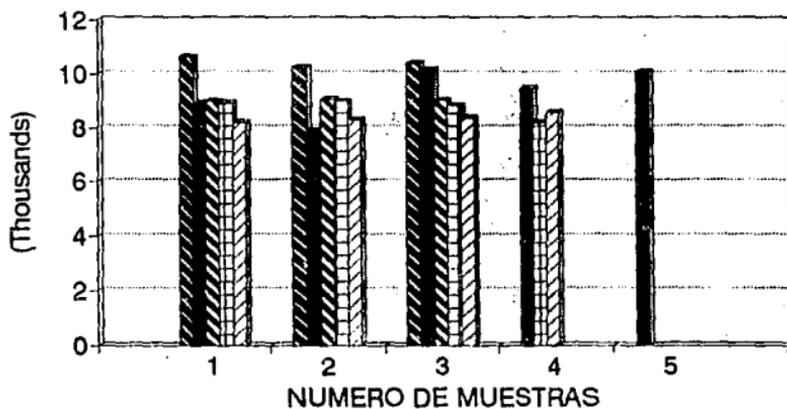
## DIAMETRO NOMINAL 8

ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>



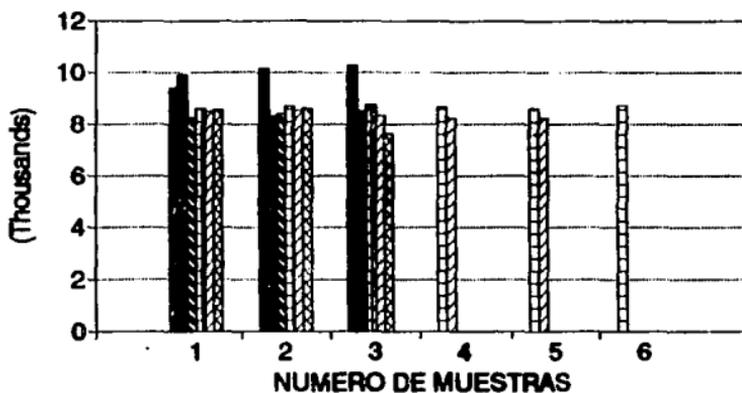
# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> MARCA HYLSA

ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>  
(Thousands)

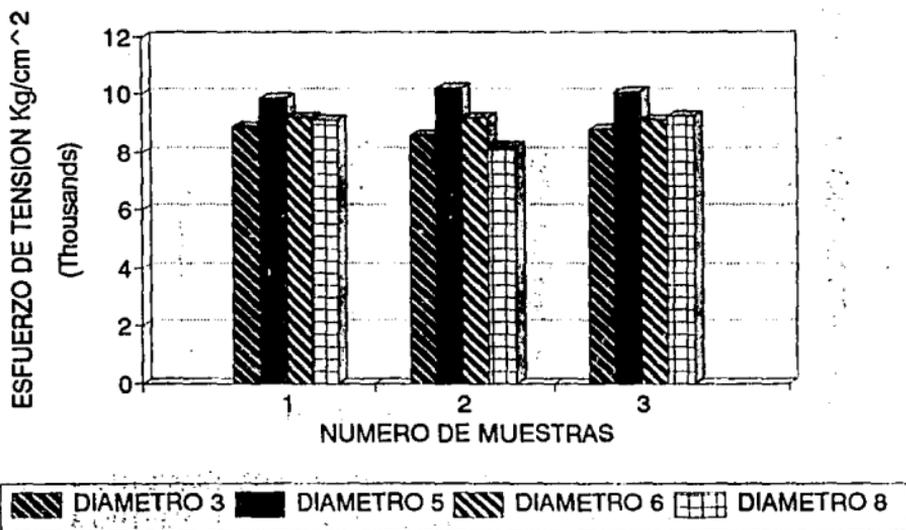


# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> MARCA N.Y.

ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>  
(Thousands)

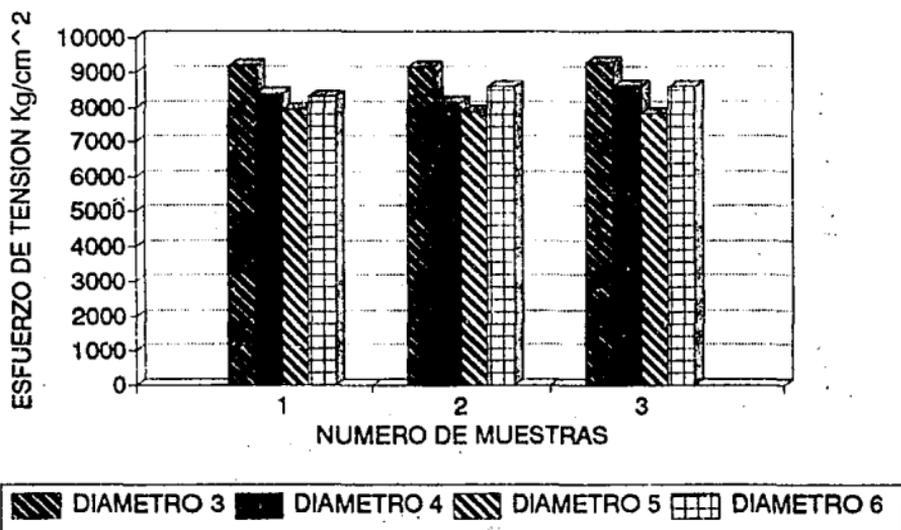


# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> MARCA BRASILEÑA

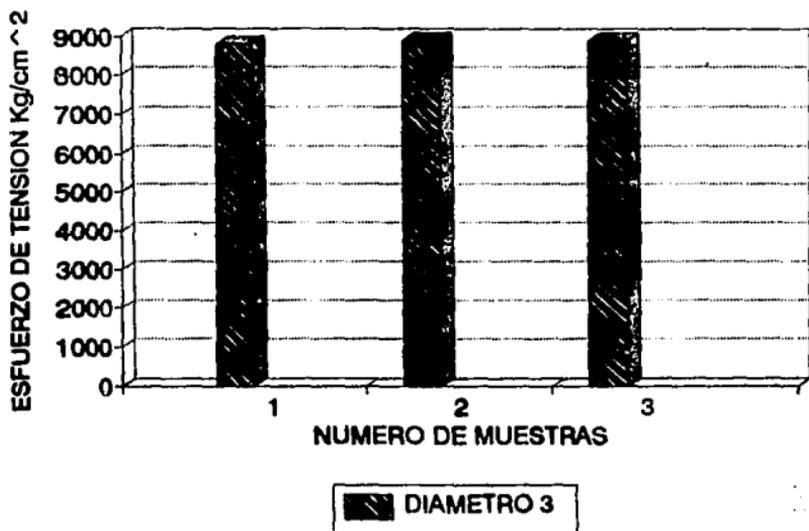


# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>

MARCA DEDINI BRASIL



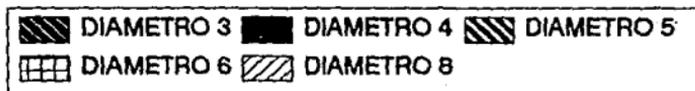
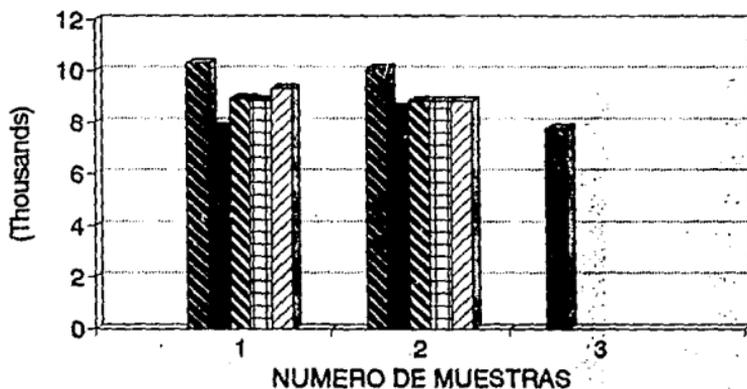
# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> MARCA POLACA



# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>

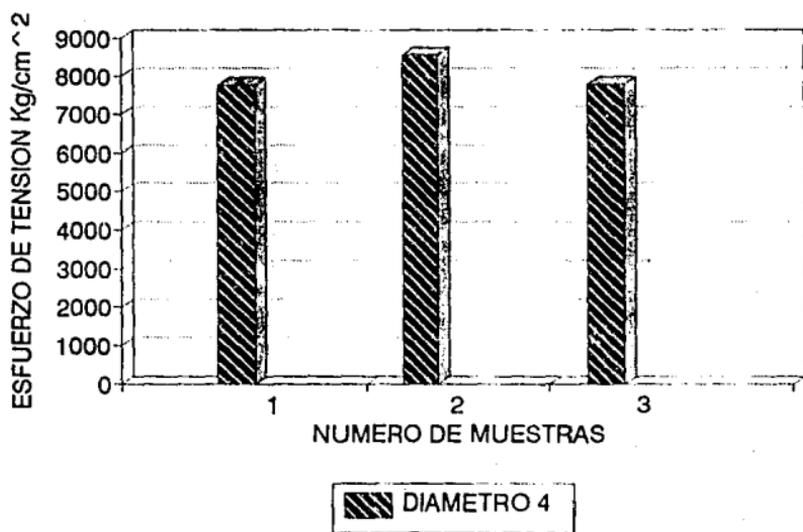
MARCA R.G.C. CANADA

ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>  
(Thousands)

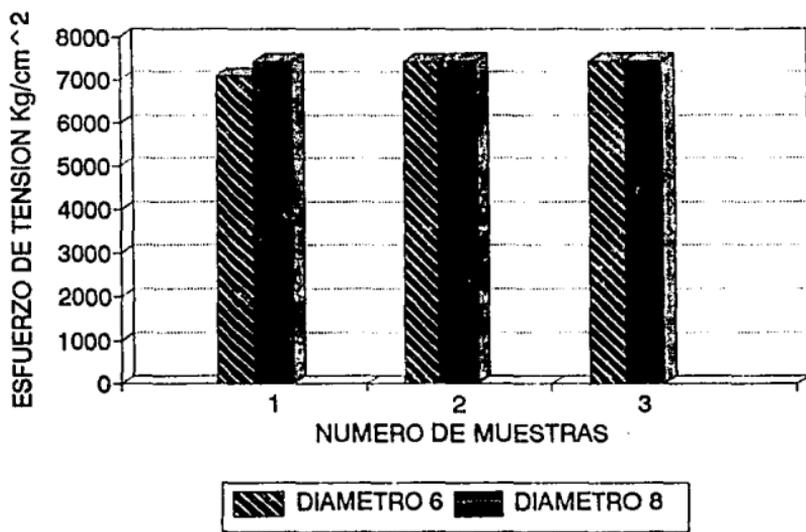


# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup>

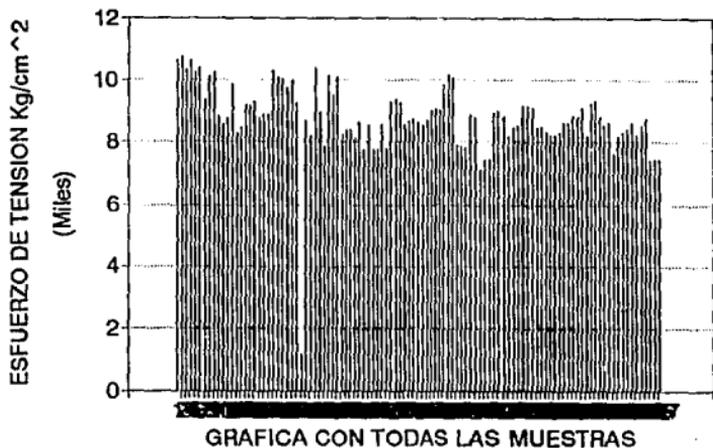
MARCA C.M. TURCA



# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> MARCA VENEZOLANA



# ESFUERZO DE TENSION Kg/cm<sup>2</sup> DIAMETRO NOMINAL 2.5,3,4,5,6 Y 8



BASE	GRAIN	DESIGNATION	TEST ID	WAGE	LENGTH	FLAP	LOAD	OFFSET	FIELD	VEHICLE	SYSTEM	TOTAL	ELONG	EL/IN
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000112	57	46200		3899		9119		4	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000115	200	46770		9231		9231		4	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000116	50	41810		8151		8151		370	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000117	50	40700		5137		8202		310	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000118	50	45150		5164		9556		360	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000120	200	43200		8421		8421		10	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000121	200	43400		8421		8421		17	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000122	200	43400		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000123	200	43500		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000124	200	43500		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000125	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000126	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000127	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000128	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000129	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000130	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000131	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000132	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000133	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000134	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000135	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000136	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000137	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000138	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000139	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000140	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000141	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000142	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000143	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000144	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000145	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000146	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000147	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000148	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000149	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000150	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000151	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000152	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000153	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000154	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000155	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000156	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000157	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000158	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000159	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000160	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000161	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000162	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000163	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000164	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
BRASILEIA	42	Mo. 8	0000165	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000166	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000167	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000168	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000169	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000170	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000171	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 8	0000172	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000173	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 8	0000174	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000175	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000176	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000177	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000178	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 8	0000179	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
BRASIL	42	Mo. 3	0000180	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
BRASIL	42	Mo. 3	0000181	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
BRASIL	42	Mo. 3	0000182	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000183	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000184	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000185	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000186	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000187	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 3	0000188	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
SICARTSA	42	Mo. 3	0000189	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 3	0000190	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NFLA	42	Mo. 3	0000191	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NFLA	42	Mo. 3	0000192	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000193	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000194	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000195	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000196	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000197	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000198	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000199	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
NY	42	Mo. 3	0000200	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000201	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000202	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000203	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000204	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000205	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000206	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000207	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000208	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000209	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000210	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000211	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000212	200	43600		8421		8421		16	1.84659		
VENESOLAMA	42	Mo. 6	0000213	200	43600		8421		8421		16.5	1.84659		

BUNCA	GRADO	DESIGNACION	TEST ID	GAGE LENGTH	PEAS LOAD	OFFSET FIELD	YEMALIN SPEED	TOVAL ELONG	FC/2Y
DEDINJ	42	Mo. 6	00000344	200	10930	0	8624	17.5	KBA
DEDINJ	42	Mo. 8	00000345	200	10750	5043	7923	16.5	1.57207
DEDINJ	42	Mo. 8	00000346	200	15620	6990	7071	17	1.57725
DEDINJ	42	Mo. 5	00000347	200	15540	6947	7020	17	1.58173
DEDINJ	42	Mo. 4	00000348	200	21100	5211	6213	10.5	1.60074
DEDINJ	42	Mo. 6	00000349	200	24400	5392	6507	17	1.57210
DEDINJ	42	Mo. 4	00000351	200	9820	5353	7754	10.5	1.50478
YUMCA	42	Mo. 4	00000352	200	10050	5701	6564	16	1.50319
YUMCA	42	Mo. 4	00000353	200	8850	5100	7703	19	1.52300
YUMCA	42	Mo. 3	00000354	200	6250	6426	6793	10	1.32765
POLACA	42	Mo. 3	00000355	200	6310	6700	6963	10.5	1.32729
POLACA	42	Mo. 3	00000356	200	6300	6721	6887	10.5	1.32179
POLACA	42	Mo. 3	00000358	200	7100	7247	10200	15	1.41057
R.G.C.	42	Mo. 3	00000359	200	7150	7833	10070	23	1.42102
R.G.C.	0	Mo. 4	00000367	200	10590	5621	6477	16	1.40002
R.G.C.	42	Mo. 4	00000369	200	10070	5676	6570	16	1.52120
R.G.C.	42	Mo. 5	00000369	200	17670	6797	6901	16.5	1.53545
R.G.C.	42	Mo. 5	00000370	200	17510	6651	6837	16.5	1.5379
R.G.C.	42	Mo. 6	00000371	200	20320	5614	6020	15	1.50354
R.G.C.	42	Mo. 6	00000372	200	20200	5616	6000	16	1.50600
R.G.C.	42	Mo. 8	00000374	200	47100	6404	6313	19	1.50021
R.G.C.	42	Mo. 8	00000375	200	44670	6522	6315	10	1.50137

**MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA**

**X=8800  
S=1116  
CV=0.127**

**MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO MAXIMO DE TENSION**

**X=8783  
S=1104  
CV=0.1257**

**MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO CORTANTE**

**X=6049  
S=1016  
CV=0.1680**

**X=Media  
S=Desviación estandar  
CV=Coefficiente de variación**

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=7830  
S=675  
CV=0.086

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=10304  
S=384  
CV=0.037

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO CORTANTE

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6616  
S=743  
CV=0.112

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6704  
S=289  
CV=0.043

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=9099  
S=502  
CV=0.064

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6479  
S=1577  
CV=0.243

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5708  
S=836  
CV=0.146

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8573  
S=1776  
CV=0.207

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5543  
S=687  
CV=0.124

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5676  
S=845  
CV=0.149

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8918  
S=633  
CV=0.071

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6297  
S=894  
CV=0.142

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5670  
S=1032  
CV=0.182

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8463  
S=546  
CV=0.065

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5795  
S=654  
CV=0.113

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
DE FLUENCIA

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
CORTANTE

PARA POLACA SE TIENE

X=6594  
S=53  
CV=0.008

PARA POLACA SE TIENE

X=8864  
S=50  
CV=0.005

PARA POLACA SE TIENE

X=74716  
S=29  
CV=0.004

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=6224  
S=629  
CV=0.1011

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=8903  
S=747  
CV=0.084

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=4844  
S=886  
CV=0.1834

PARA C.M. TURCA SE TIENE

X=5250  
S=244  
CV=0.0465

PARA C.M. TURCA SE TIENE

X=8033  
S=375  
CV=0.046

PARA C.M. TURCA SE TIENE

X=7426  
S=2955  
CV=0.399

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=4798  
S=118  
CV=0.0246

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=7373  
S=120  
CV=0.0162

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=5387  
S=263  
CV=0.049

X=Media  
S=Desviación estandar  
CV=Coefficiente de variación



## CAPITULO 6 TENSION - FLUENCIA.

PROYECTO	PROCEDEMO	MARCA	DIAM mm	18.87 DEH	CANAL MMS	LOWER YIELD kg/mm <sup>2</sup>	LEU kg/mm <sup>2</sup>	ANIL mm <sup>2</sup>	EMPLER TENSION kg/mm <sup>2</sup>	SHACK ACERO kg/mm <sup>2</sup>	GAJE LENG mm	MED. ELASTIC kg/mm <sup>2</sup>	OFF SET YIELD %	RED AIR %	HAUT OF LETILED kg/mm <sup>2</sup>	UPPER YIELD kg/mm <sup>2</sup>	ELONGACION TOTAL %	
INDO	EXTRAFLEXA	VENEZOLANA	8	294	21.280	48.42	48.81	280.02	74.27	42	200	21.800	48.56	47.83	48.83	48.43	22.00	
INDO	EXTRAFLEXA	DENOMIA-BRASA	8	348	23.820	40.08	53.18	283.02	83.13	42	200	25.170	53.08	52.88	82.26	82.26	18.30	
INDO	EXTRAFLEXA	DENOMIA-BRASA	8	348	24.870	54.37	54.32	288.02	88.08	42	200	27.840	54.70	57.17	58.83	58.83	17.00	
INDO	EXTRAFLEXA	DENOMIA-BRASA	8	200	24.880	53.77	53.80	285.02	85.87	42	200	27.300	53.80	53.80	53.80	53.80	11.00	
INDO	EXTRAFLEXA	RIO C. CANADA	8	371	25.320	58.23	58.20	285.02	88.36	42	200	114.630	58.52	58.52	58.52	58.52	13.31	
INDO	EXTRAFLEXA	RIO C. CANADA	8	372	25.240	58.10	58.18	285.02	88.08	42	200	22.140	58.18	58.14	58.16	58.16	14.00	
INDO	EXTRAFLEXA	BRASILENA	8	1	48.260	81.44	88.48	308.71	81.16	42	200	31.880	78.50	18.00	80.81	80.83	4.00	
INDO	EXTRAFLEXA	RIO C. CANADA	8	1	3	47.180	88.42	88.43	308.71	83.12	42	200	31.810	88.43	88.88	88.54	88.56	18.00
INDO	NACIONAL	H T Y	8	1	114	43.320	83.48	308.71	83.58	42	200	34.820	82.48	28.25	85.50	85.50	288.00	
INDO	NACIONAL	HYLSA	8	128	41.480	50.63	50.73	308.71	81.87	42	200	21.870	50.63	50.13	81.28	81.28	18.00	
INDO	EXTRAFLEXA	BRASILENA	8	114	45.880		308.71	80.70	80.70	42	200		48.88	53			15.00	
INDO	EXTRAFLEXA	BRASILENA	8	118	48.770		308.71	80.31	80.31	42	200		47.52				15.70	
INDO	NACIONAL	SCARLETA	8	118	41.810	88.85	308.71	82.81	82.81	42	300	25.070	53.30	41.08	88.25	88.25	370.00	
INDO	NACIONAL	HYLSA	8	117	42.070	51.33	51.58	308.71	83.02	42	300	22.580	51.30	50.88	82.88	82.88	288.00	
INDO	NACIONAL	SCARLETA	8	120	42.280		308.71	83.41	83.41	42	200		44.82				18.50	
INDO	NACIONAL	SCARLETA	8	121	44.280	50.28	308.71	81.51	81.51	42	200		43.48	50.43	53.43	17.00		
INDO	NACIONAL	HYLSA	8	127	42.540	50.87	51.12	308.71	83.95	42	200	21.780	51.21	50.20	51.81	51.81	18.30	
INDO	NACIONAL	HYLSA	8	128	43.580		308.71	83.87	83.87	42	200	22.330	51.21	28.82			13.00	
INDO	NACIONAL	H T Y	8	128	43.640	52.01	52.12	308.71	88.12	42	200	22.240	52.02	50.13	52.40	52.40	18.00	
INDO	NACIONAL	H T Y	8	185	38.580	48.80	48.88	308.71	78.18	42	200	20.530	48.88	58.82	48.38	48.38	23.00	
INDO	EXTRAFLEXA	VENEZOLANA	8	302	27.860	47.32	47.84	308.71	74.10	42	200	27.130	47.57	37.38	47.71	47.71	18.00	
INDO	EXTRAFLEXA	VENEZOLANA	8	303	27.880	48.00	48.20	308.71	74.38	42	200	24.520	48.08	38.23	48.18	48.18	17.00	
INDO	EXTRAFLEXA	VENEZOLANA	8	304	27.880	47.78	48.12	308.71	74.38	42	200	28.210	48.01	43.43	48.20	48.20	23.50	
INDO	EXTRAFLEXA	RIO C. CANADA	8	375	48.870	84.78	85.23	308.71	88.18	42	200	27.380	85.20	54.88	85.28	85.28	18.00	

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA CADA MARCA  
, TODAS LAS BARRAS  
PARA ft/fy

PARA SICARTSA SE TIENE

X=1.5133  
S=0.070  
CV=0.0463

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA CADA MARCA  
, TODAS LAS BARRAS  
PARA ft/fy

PARA SICARTSA SE TIENE

X=1.5133  
S=0.070  
CV=0.0463

PARA HYLSA SE TIENE

X=1.539  
S=0.089  
CV=0.059

PARA HYLSA SE TIENE

X=1.539  
S=0.089  
CV=0.059

PARA N.Y. DE TIENE

X=1.454  
S=0.148  
CV=0.1018

PARA N.Y. DE TIENE

X=1.454  
S=0.148  
CV=0.1018

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=1.488  
S=0.152  
CV=0.1022

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=1.488  
S=0.152  
CV=0.1022

PARA BRASIL SE TIENE

X=1.53  
S=0.1668  
CV=0.109

PARA BRASIL SE TIENE

X=1.53  
S=0.1668  
CV=0.109

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA CADA MARCA  
, TODAS LAS BARRAS  
PARA ft/fy

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=1.5177  
S=0.04737  
CV=0.031

PARA DEDINI BRASIL  
SE TIENE

X=1.53  
S=0.057  
CV=0.037

PARA C.M. TURCA SE TIENE

X=1.45  
S=0.089  
CV=0.613

PARA POLACA SE TIENE

X=1.36  
S=0.044  
CV=0.032

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=1.49  
S=0.082  
CV=0.055

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA CADA MARCA  
, TODAS LAS BARRAS  
PARA ft/fy

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=1.5177  
S=0.04737  
CV=0.031

PARA DEDINI BRASIL  
SE TIENE

X=1.53  
S=0.057  
CV=0.037

PARA C.M. TURCA SE TIENE

X=1.45  
S=0.089  
CV=0.613

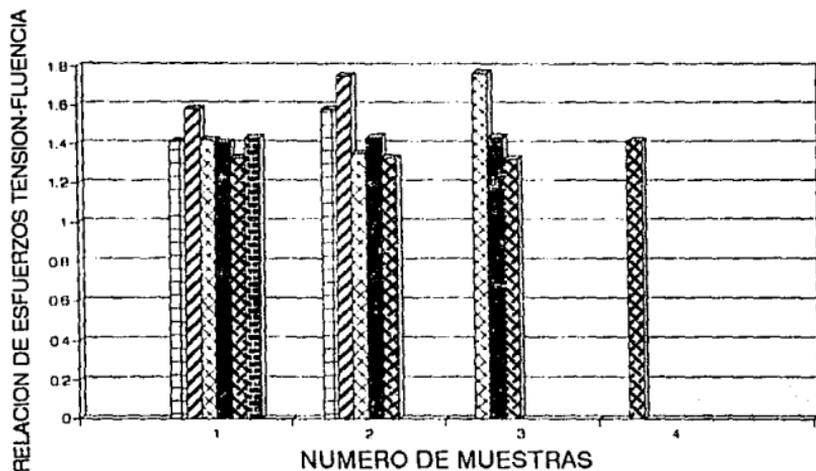
PARA POLACA SE TIENE

X=1.36  
S=0.044  
CV=0.032

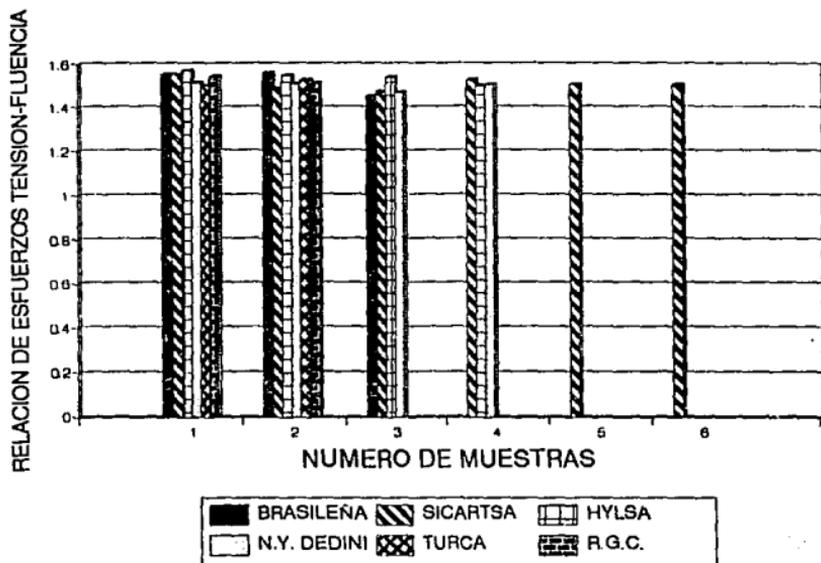
PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=1.49  
S=0.082  
CV=0.055

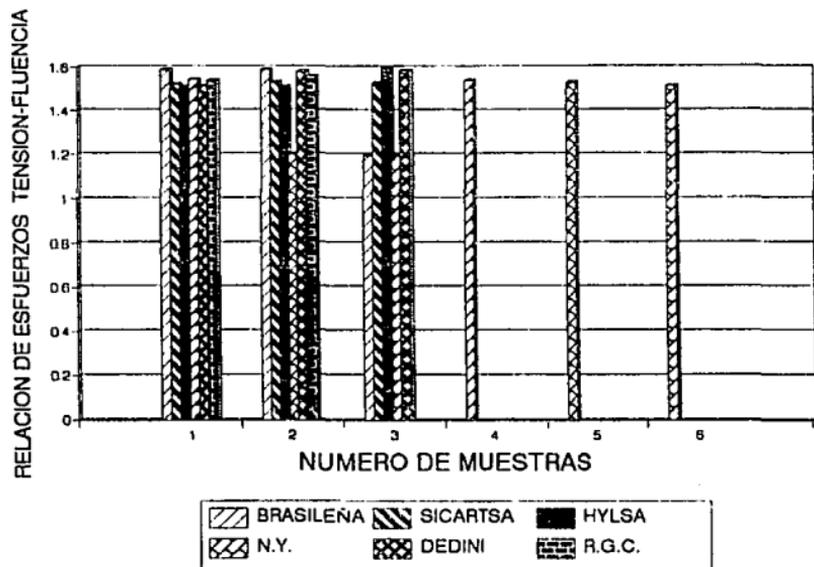
## RELACION DE ESFUERZOS TENSION-FLUENCIA DIAMETRO NOMINAL 3



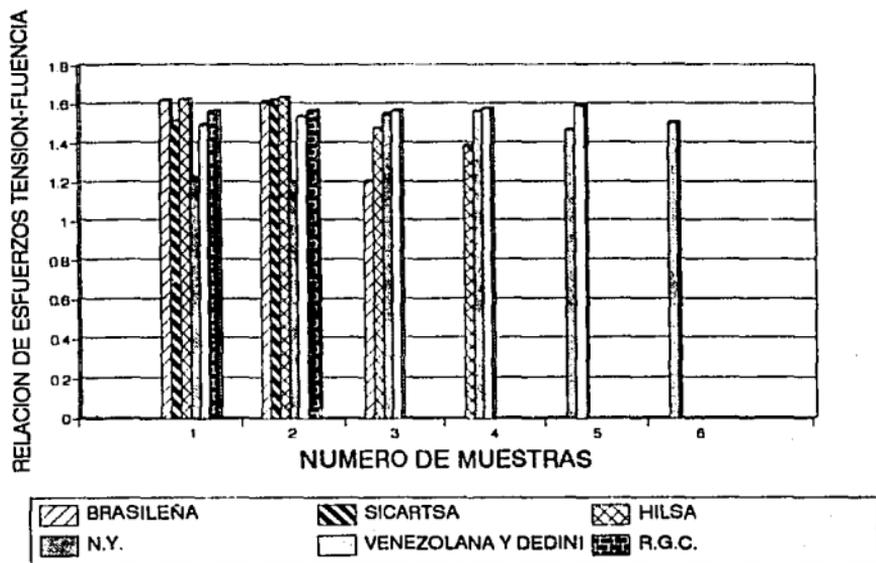
## RELACION DE ESFUERZOS TENSION-FLUENCIA DIAMETRO NOMINAL 4



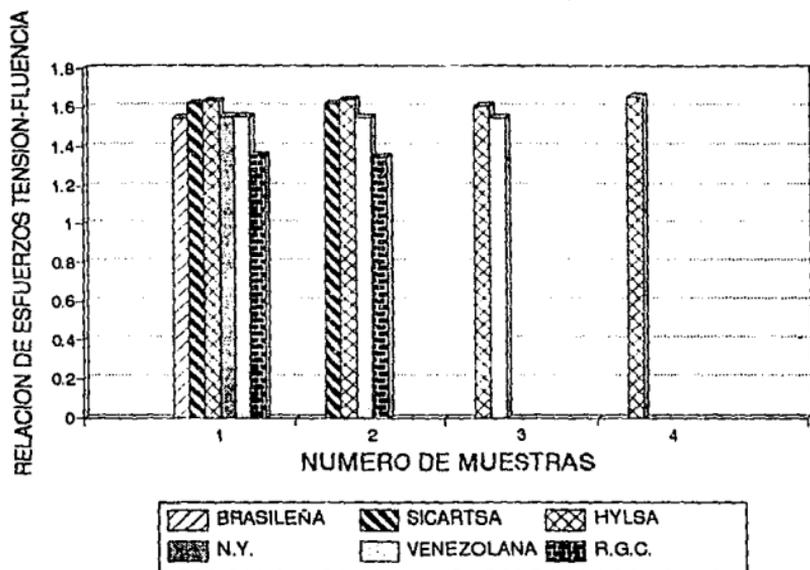
## RELACION DE ESFUERZOS TENSION-FLUENCIA DIAMETRO NOMINAL 5



# RELACION DE ESFUERZOS TENSION-FLUENCIA DIAMETRO NOMINAL 6



## RELACION DE ESFUERZOS TENSION-FLUENCIA DIAMETRO NOMINAL 8



## CAPITULO 7 ESFUERZO CORTANTE

## ESFUERZO CORTANTE Y DEFORMACION ANGULAR

En las secciones anteriores se trató fundamentalmente con los efectos de esfuerzo normales producidos por fuerzas axiales. Ahora se considerará un tipo diferente de esfuerzo, conocido como **esfuerzo cortante**, que actúa **paralelo** o **tangencial** a la superficie.

Como ejemplo de una situación práctica en la que se presentan esfuerzos cortantes, considere la junta atornillada que se muestra en la Fig. 10a. Esta junta consiste en una barra plana A, una horquilla C y un tornillo B que pasa a través de barrenos en la barra y en la horquilla. Bajo la acción de las cargas de tensión P, la barra y la horquilla presionan al tornillo y generan **esfuerzos de contacto**, los cuales a su vez son resistidos por el tornillo. Un diagrama de cuerpo libre del tornillo (Fig. 10b), muestra tales esfuerzos de contacto. La distribución real de estos esfuerzos sobre el perno es difícil de determinar, así que por la sencillez los esfuerzos se muestran como si su distribución fuese -- uniforme. Basados en la suposición de una distribución uniforme, podemos calcular un esfuerzo de contacto medio, al dividir la fuerza total entre el área de contacto. Esta área se considera como el área proyectada de la superficie curva de apoyo, que en este caso es un rectángulo.

El diagrama de cuerpo libre de la Fig. 10b, muestra que existe una tendencia a que el perno experimente un corte según las secciones transversales mm y pq. A partir de un diagrama de cuerpo libre de la porción mnpq del tornillo (véase Fig. 10c), se aprecia que actúan **fuerzas cortantes V** sobre las superficies cortadas del tornillo. En este ejemplo particular, cada fuerza cortante V es igual a P/2. Estas fuerzas de corte son las resultantes de los esfuerzos cortantes distribuidos sobre las secciones transversales del tornillo. Los esfuerzos cortantes sobre la sección transversal mm se muestran mediante pequeñas flechas en la Fig. 10d. Se desconoce la distribución exacta de estos esfuerzos, pero son más elevados cerca del centro y se vuelven nulos en ciertos lugares de los extremos. Se acostumbra representar los esfuerzos cortantes por la letra griega  $\tau$  (tau).

El esfuerzo cortante medio en la sección transversal del tornillo se determina dividiendo la fuerza cortante total V entre el área A sobre la que actúa:

$$\tau_{\text{med}} = \frac{V}{A} \dots 6$$

En el ejemplo mostrado en la Fig. 10, la fuerza cortante es P/2 y el área A es el área de la sección transversal del tornillo. De la Ec. 6 se aprecia que los esfuerzos cortantes, al igual que los esfuerzos normales, representan intensidad de fuerza, o sea fuerza por unidad de -- área. Por lo que, las unidades de esfuerzo cortante son las mismas que para esfuerzo normal, a saber, psi o ksi en unidades del Sistema Inglés y pascals en unidades del Sistema Internacional.

El arreglo de carga mostrado en la Fig. 19a es un ejemplo de cortante directo o cortante simple, en el cual los esfuerzos cortantes son generados por una acción directa de las fuerzas que tienden a cortar el material. El cortante directo se presenta en el diseño de tornillos pernos, remaches, cuñas, soldaduras y juntas pegadas. Los esfuerzos -- cortantes también aparecen de manera indirecta en miembros sujetos a -- tensión, torsión y flexión,

Para obtener una idea cabal de la acción de los esfuerzos cortantes, consideremos un pequeño elemento de material en forma de un paralelepípedo rectangular que tiene lados con longitudes  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  y  $\Delta z$  (Fig. 19a). Las caras frontal y posterior del elemento se consideran libres -- de cualquier esfuerzo. Ahora supongamos que un esfuerzo cortante está distribuido uniformemente sobre la cara superior del elemento. Entonces, para que esté en equilibrio en la dirección  $x$ , debe actuar un esfuerzo cortante de igual magnitud y sentido contrario en la cara inferior del elemento. Adviértase que la fuerza cortante total en la cara superior es  $\Delta x \Delta z$ , y que esta fuerza está equilibrada por la fuerza de igual magnitud y sentido contrario de la cara inferior. Estas dos fuerzas forman un par que tiene un momento respecto al eje  $z$  de magnitud  $\Delta x \Delta y \Delta z$  en el sentido de las manecillas del reloj en la figura. El -- equilibrio del elemento requiere que este momento se equilibre con -- otro momento igual y opuesto, resultante de esfuerzos cortantes que actúan en las caras laterales del elemento. Si se designan los esfuerzos en las caras laterales por  $\tau$ , se aprecia que las fuerzas cortantes -- verticales son  $\tau \Delta y \Delta z$  y que forman un par en sentido contrario al de -- las manecillas de magnitud  $\tau \Delta x \Delta y \Delta z$ . El equilibrio de momentos muestra que  $\tau = \tau$ , y en consecuencia son iguales las magnitudes de los esfuerzos cortantes en las cuatro caras del elemento, como se muestra en la Fig. 19a. Por lo que se establecen las siguientes conclusiones:

1. Los esfuerzos cortantes en caras opuestas de un elemento son de -- igual magnitud y sentido contrario.
2. Los esfuerzos cortantes en caras perpendiculares de un elemento son iguales en magnitud y tienen sentidos tales que ambos esfuerzos -- apuntan hacia la línea de intersección de las caras sobre las que -- actúan, o en sentido opuesto.

Estas conclusiones referentes a esfuerzo cortante son válidas aun cuando actúen también esfuerzos normales sobre las caras del elemento.

Un elemento sometido únicamente a esfuerzos cortantes, como se -- ilustra en la Fig. 19a, se dice que está sujeto a cortante puro. Bajo la acción de estos esfuerzos cortantes el material se deforma, lo que -- origina deformaciones angulares o deformaciones por cortante. A fin de -- visualizar dichas deformaciones, se advierte en primer lugar que los -- esfuerzos cortantes no tienden a alargar o acortar el elemento en las -- direcciones  $x$ ,  $y$  y  $z$ ; en otras palabras, las longitudes de los lados -- del elemento no varían. En vez de ello, los esfuerzos cortantes provocan un cambio de forma del elemento, como se muestra en la Fig. 19b. El -- elemento original adquiere la forma de un paralelepípedo oblicuo y -- la cara frontal abcd del elemento se convierte en un romboide. Los an

gulos entre caras en los puntos b y d, que eran rectos (iguales a  $\pi/2$ ) antes de la deformación, se reducen en un pequeño ángulo  $\gamma$  a  $\pi/2 - \gamma$  véase Fig. 19b. Al mismo tiempo, los ángulos en a y c se incrementan a  $\pi/2 + \gamma$ . El ángulo es una medida de la distorsión, o cambio de forma, del elemento y se denomina **deformación angular (unitaria)**. Las unidades de la deformación angular son radianes.

Los esfuerzos y deformaciones por cortante se suponen positivos si tienen las direcciones mostradas en la Fig. 19. Para aclarar estos signos convencionales, nos referiremos a las caras orientadas hacia las direcciones positivas de los ejes como las caras positivas del elemento. En otras palabras, una cara es positiva si su normal se dirige en la dirección positiva de un eje coordenado. Las caras opuestas son caras negativas. Por lo que en la Fig. 19a, las caras derecha, superior y frontal son caras positivas según x, y y z, respectivamente, y las caras opuestas son caras negativas según x, y y z. Al utilizar esta terminología podemos establecer los signos convencionales para esfuerzos cortantes como sigue: un esfuerzo cortante que actúa sobre una cara positiva de un elemento, es positivo si actúa en la dirección positiva de uno de los ejes coordenados y es negativo si actúa en la dirección negativa del eje. Un esfuerzo cortante que actúa sobre una cara negativa del elemento, es positivo si actúa en la dirección negativa de uno de los ejes coordenados y negativo si actúa en la dirección positiva. Por tanto, todos los esfuerzos cortantes mostrados en la Fig. 19a son positivos.

Los signos convencionales para deformaciones angulares se relacionan con los de los esfuerzos. La deformación angular de un elemento es positiva cuando se reduce el ángulo entre dos caras positivas (o entre dos caras negativas). La deformación angular es negativa cuando el ángulo entre dos caras positivas (o dos caras negativas) se incrementa. Por lo que las deformaciones mostradas en la Fig. 19b son positivas, y se aprecia que los esfuerzos cortantes positivos producen deformaciones angulares positivas.

Las propiedades de un material en cortante se determinan experimentalmente por pruebas de cortante directo o pruebas de torsión. Las pruebas de torsión se realizan torciendo tubos huecos de sección circular, con el fin de producir un estado de esfuerzo cortante puro,

De los resultados de dichas pruebas pueden trazarse **diagramas esfuerzo-deformación en cortante**. Estos diagramas de  $\tau$  contra  $\gamma$  tienen forma similar a los diagramas para pruebas a tensión ( $\sigma$  contra  $\epsilon$ ) para los mismos materiales. De los diagramas de cortante se pueden obtener propiedades en cortante tales como el límite de proporcionalidad, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último. Estas propiedades en cortante suelen ser del orden de la mitad que las correspondientes en tensión. Por ejemplo, el esfuerzo de fluencia a cortante para acero estructural es 0.5 a 0.6 veces el esfuerzo de fluencia a tensión. Para esta región elástica lineal, el esfuerzo cortante y la deformación angular son directamente proporcionales y se cuenta con la siguiente ecuación para la **Ley de Hooke en cortante**:

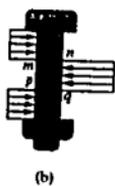
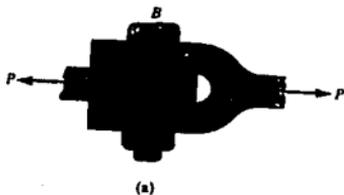


Fig. 18 Tornillo sometido a cortante directo.

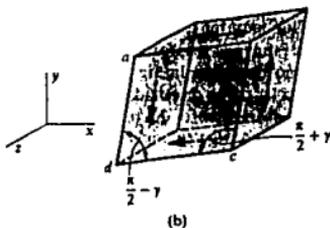
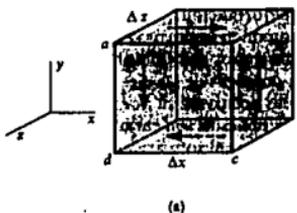
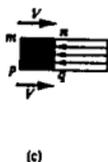


Fig. 19 Esfuerzo cortante y deformación angular.

$$\tau = G\gamma \dots \dots \gamma$$

donde  $G$  es el módulo de elasticidad a cortante (también llamado módulo de rigidez). El módulo a cortante  $G$  presenta las mismas unidades que el módulo a tensión  $E$ , a saber, psi o ksi en unidades del Sistema Inglés y pascals en unidades del Sistema Internacional. Para acero dulce el valor característico de  $G$  es 1,000 ksi, o sea 75 GPa; para aluminio, el valor característico es 4,000 ksi o 28 GPa. Otros valores adicionales se indican en la Tabla A2 del apéndice 4.

Los módulos de elasticidad a tensión y cortante ( $E$  y  $G$ ) se relacionan mediante la siguiente ecuación:

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

donde  $\nu$  es el módulo de Poisson. Esta relación, muestra que  $E$ ,  $G$  y  $\nu$  no constituyen propiedades elásticas independientes del material. Va que el valor del módulo de Poisson para materiales comunes se encuentra entre cero y un medio ( $0 < \nu < 1/2$ ), se aprecia de la Ec. (B) que  $G$  debe estar entre un tercio y un medio de  $E$  ( $E/3 < G < E/2$ ).

#### Ejemplo

Un punzón con un diámetro de 0.75 plg se usa para troquelar un agujero en una placa de acero de 1/4 plg (Fig. 20). Para ello, se requiere una fuerza  $P = 26,000$  lb. ¿Cuál es el esfuerzo cortante medio en la placa y cuál es el esfuerzo de compresión medio en el punzón?

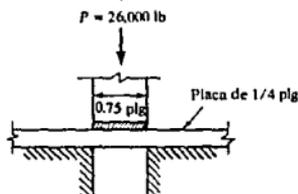


Fig. 20 Ejemplo

El esfuerzo cortante medio se determina al dividir la fuerza  $P$  en la área que corta el punzón. Esta área es igual al producto de la circunferencia del agujero y espesor de la placa.

$$A_s = \pi(0.75 \text{ plg})(0.25 \text{ plg}) = 0.589 \text{ plg}^2$$

Por tanto, el esfuerzo cortante medio es

$$\tau_{\text{med}} = \frac{P}{A_s} = \frac{26,000 \text{ lb}}{0.589 \text{ plg}^2} = 44,100 \text{ psi}$$

También, el esfuerzo de compresión medio en el punzón es

$$\bar{\sigma}_o = \frac{P}{A_p} = \frac{26.000 \text{ lb}}{[0.75 \text{ plg}]^2/4} = 58,900 \text{ psi}$$

en donde,  $A_p$ , es el área de la sección transversal del punzón.

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
SICARTSA	No. 2.5	6210	X=6033
SICARTSA	No. 2.5	6670	S=605
SICARTSA	No. 2.5	5220	CV=0.100
HYLSA	No. 2.5	6900	X=7160
HYLSA	No. 2.5	7440	S=221
HYLSA	No. 2.5	7140	CV=0.031
N.Y.	No. 2.5	7750	X=6653
N.Y.	No. 2.5	6180	S=778
N.Y.	No. 2.5	6030	CV=0.117
SICARTSA	No. 3	5735	X=5638
SICARTSA	No. 3	5067	S=432
SICARTSA	No. 3	6112	CV=0.077
HYLSA	No. 3	6524	X=5725
HYLSA	No. 3	5339	S=565
HYLSA	No. 3	5311	CV=0.099

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
N.Y.	No. 3	6837	X=6472
N.Y.	No. 3	7013	S=645
N.Y.	No. 3	5565	CV=0.100
BRASILEÑA	No. 3	5391	X=5921
BRASILEÑA	No. 3	6693	S=558
BRASILEÑA	No. 3	5679	CV=0.94
DEDINI	No. 3	7195	X=7458
DEDINI	No. 3	7694	S=205
DEDINI	No. 3	7484	CV=0.027
TURCA	No. 3	11600	X=11600 S=0 CV=0
POLACA	No. 3	7456	X=7416
POLACA	No. 3	7386	S=29
POLACA	No. 3	7407	CV=0.004

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
R.G.C.	No. 3	4062	X=3884
R.G.C.	No. 3	3706	S=178 CV=0.046
SICARTSA	No. 4	6079	X=5804
SICARTSA	No. 4	5529	S=275 CV=0.050
HYLSA	No. 4	5091	X=5509
HYLSA	No. 4	5527	S=334
HYLSA	No. 4	5908	CV=0.061
N.Y.	No. 4	5239	X=5175
N.Y.	No. 4	4865	S=232
N.Y.	No. 4	5422	CV=0.045
BRASILEÑA	No. 4	6178	X=6528
BRASILEÑA	No. 4	7025	S=3691
BRASILEÑA	No. 4	6381	CV=0.55

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
DEDINI	No. 4	5774	X=5728
DEDINI	No. 4	5696	S=33
DEDINI	No. 4	5715	CV=0.006
TURCA	No. 4	4987	X=5340
TURCA	No. 4	5692	S=352
			CV=0.066
R.G.C.	No. 4	3766	X=4333
R.G.C.	No. 4	4900	S=567
			CV=0.131
SICARTSA	No. 5	7084	X=6743
SICARTSA	No. 5	6228	S=370
SICARTSA	No. 5	6917	CV=0.055
HYLSA	No. 5	7353	X=6664
HYLSA	No. 5	5975	S=689
			CV=0.103

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
N.Y.	No. 5	7234	X=6334
N.Y.	No. 5	6960	S=732
N.Y.	No. 5	6987	CV=0.116
N.Y.	No. 5	5609	
N.Y.	No. 5	5604	
N.Y.	No. 5	5608	
BRASILEÑA	No. 5	6838	X=6811
BRASILEÑA	No. 5	7057	S=213
BRASILEÑA	No. 5	6538	CV=0.031
DEDINI	No. 5	7294	X=6235
DEDINI	No. 5	6050	S=800
DEDINI	No. 5	5362	CV=0.128
R.G.C.	No. 5	4832	X=4475
R.G.C.	No. 5	4118	S=357
			CV=0.080
SICARTSA	No. 6	8586	X=6920
SICARTSA	No. 6	5677	S=1224

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
SICARTSA	No. 6	6498	CV=0.177
HYLSA	No. 6	5444	X=5782
HYLSA	No. 6	6015	S=210
HYLSA	No. 6	5797	CV=0.036
HYLSA	No. 6	5870	
N. Y.	No. 6	5660	X=5637
N. Y.	No. 6	5366	S=147
N. Y.	No. 6	5802	CV=0.026
N. Y.	No. 6	5639	
N. Y.	No. 6	5718	
BRASILEÑA	No. 6	6023	X=6085
BRASILEÑA	No. 6	6176	S=66
BRASILEÑA	No. 6	6055	CV=0.011
AHMSA	No. 6	5102	X=5102
			S=0
			CV=0

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
VENEZOLANA	No. 6	5380	X=5378
VENEZOLANA	No. 6	5906	S=308
VENEZOLANA	No. 6	4939	CV=0.057
VENEZOLANA	No. 6	5333	
VENEZOLANA	No. 6	5333	
DEDINI	No. 6	5597	X=5788
DEDINI	No. 6	5726	S=186
DEDINI	No. 6	6040	CV=0.032
R.G.C.	No. 6	5647	X=5497
R.G.C.	No. 6	5347	S=150
			CV=0.027
SICARTSA	No. 8	6326	X=5756
SICARTSA	No. 8	5486	S=403
SICARTSA	No. 8	5455	CV=0.070
HYLSA	No. 8	5429	X=5336
HYLSA	No. 8	5243	S=93

MARCA	No. DE DESIGNACION	ESFUERZO CORTANTE Kg/cm <sup>2</sup>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL
			CV=0.017
N.Y.	No. 8	5587	X=6078
N.Y.	No. 8	5981	S=381
N.Y.	No. 8	6517	CV=0.063
BRASILEÑA	No. 8	6407	X=6567
BRASILEÑA	No. 8	6601	S=119
BRASILEÑA	No. 8	6692	CV=0.018
VENEZOLANA	No. 8	5462	X=5411
VENEZOLANA	No. 8	5359	S=52
			CV=0.009
R.G.C.	No. 8	6351	X=5929
R.G.C.	No. 8	5506	S=423
			CV=0.071

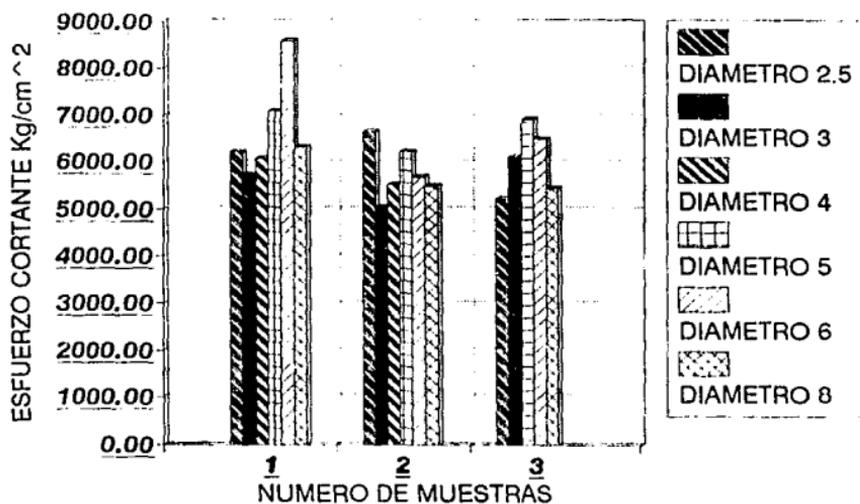
X=Media

S=Desviacion estandar

CV=Coficiente de variacion

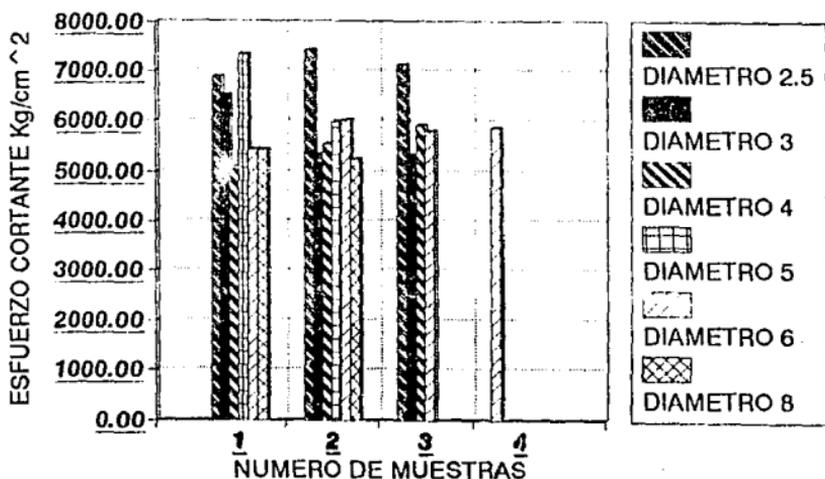
# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

## MARCA SICARTSA

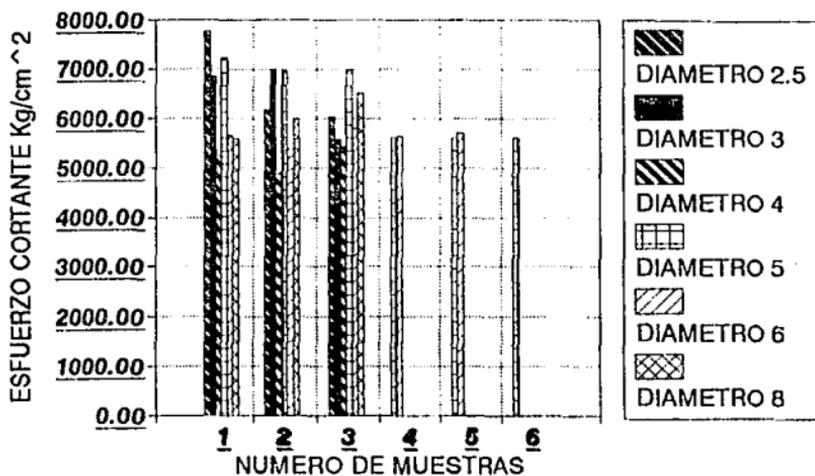


# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

## MARCA HYLSA

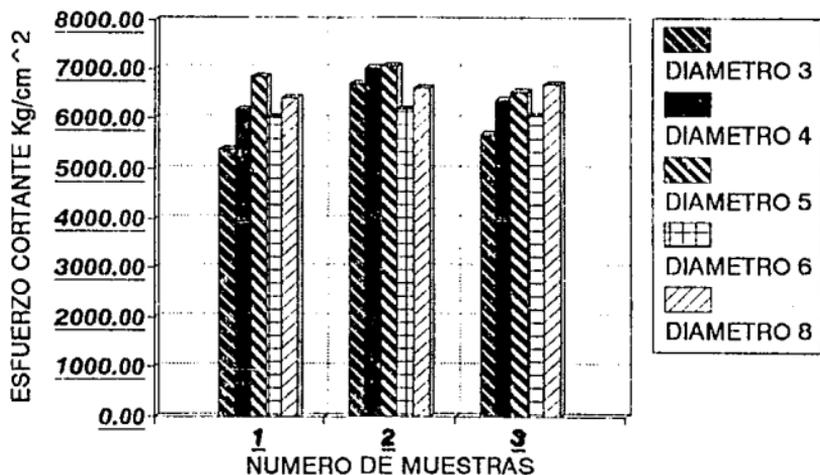


# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup> MARCA N.Y.



# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

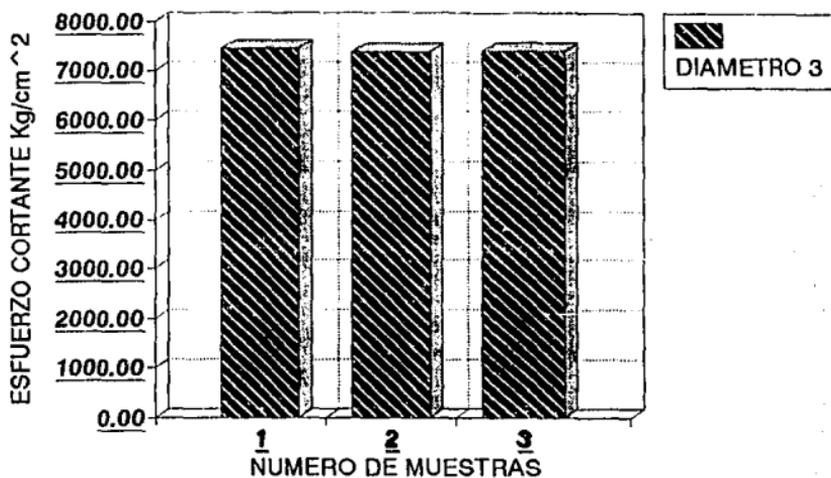
## MARCA BRASILEÑA



# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup> MARCA CM TURCA

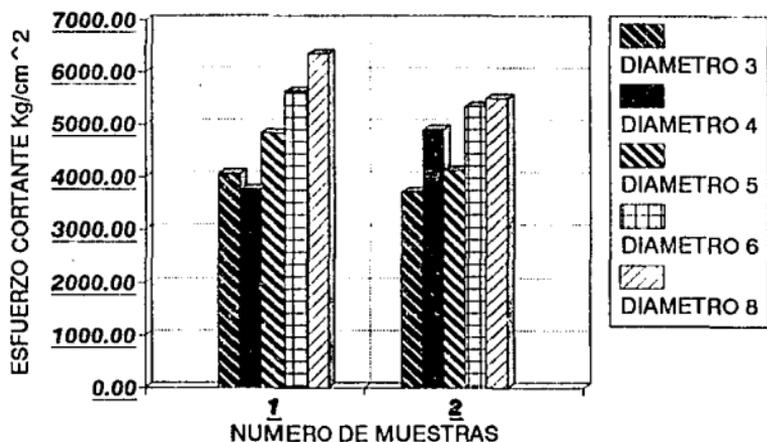


# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup> MARCA POLACA

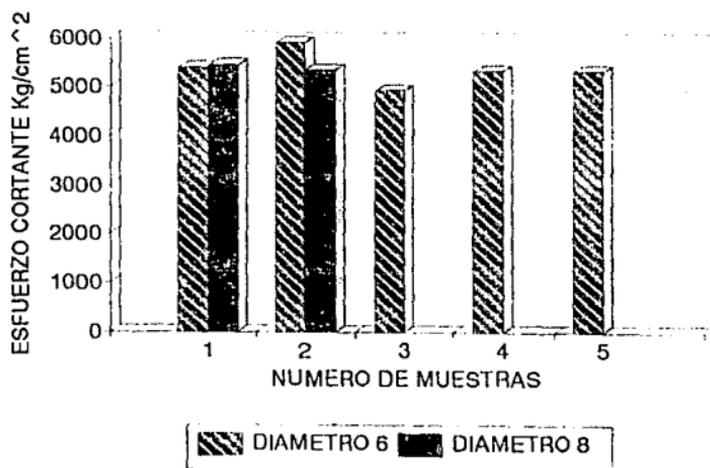


# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

MARCA R.G.C. CANADA

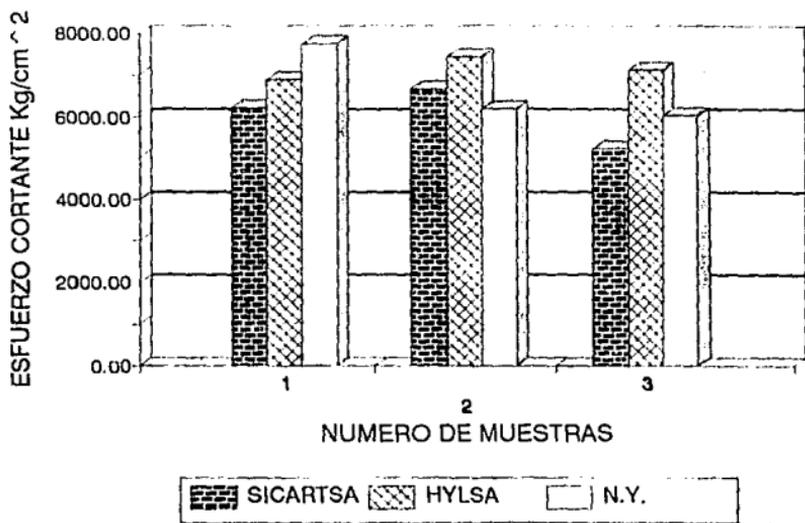


# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup> MARCA VENEZOLANA



# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

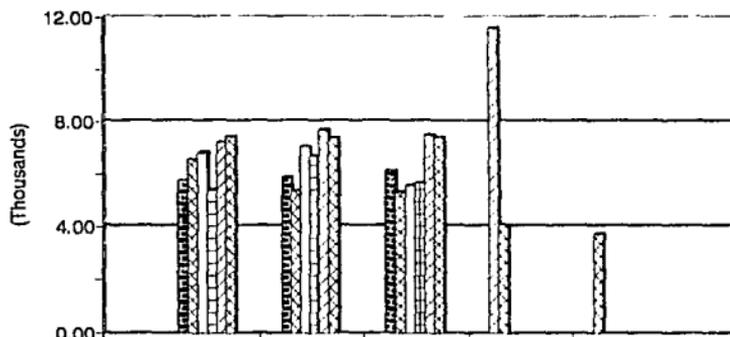
DIAMETRO NOMINAL 2.5



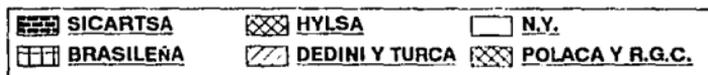
# ESFUERZO CORTANTE Kg/CM <sup>2</sup>

## DIAMETRO NOMINAL 3

ESFUERZO CORTANTE Kg/CM <sup>2</sup>  
(Thousands)

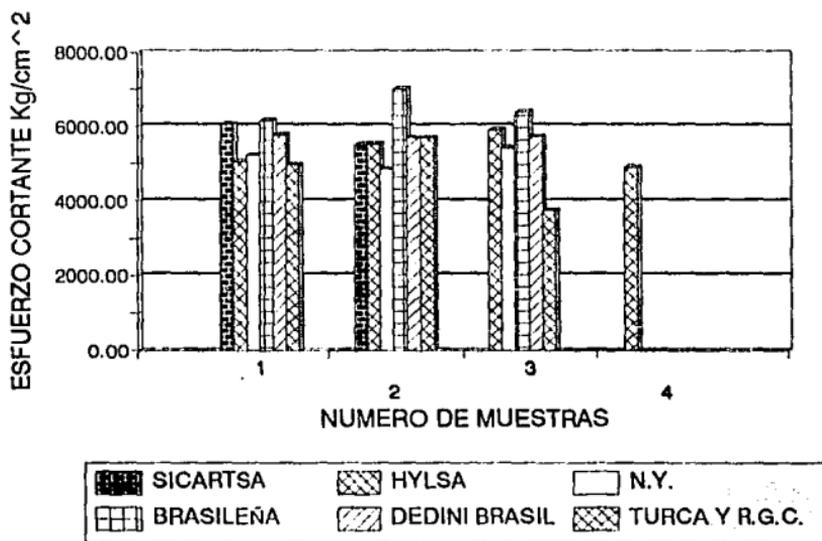


NUMERO DE MUESTRAS



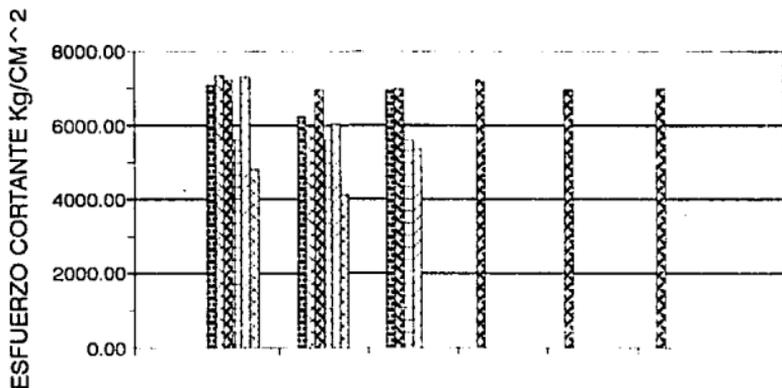
# ESFUERZO DE CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

## DIAMETRO NOMINAL 4

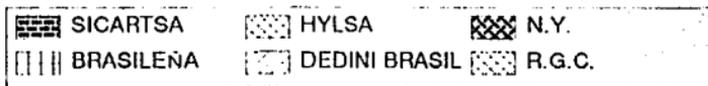


# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

DIAMETRO NOMINAL 5

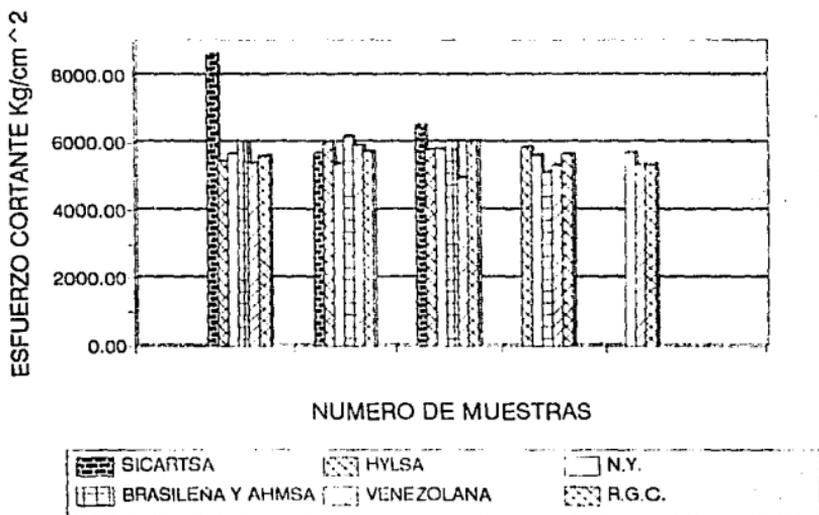


NUMERO DE MUESTRAS



# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

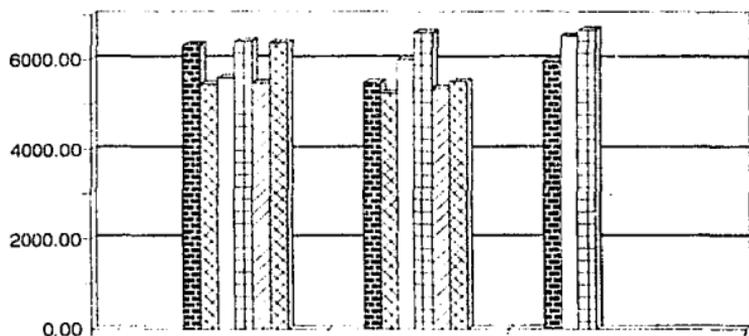
## DIAMETRO NOMINAL 6



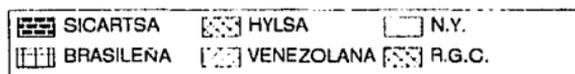
# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

## DIAMETRO NOMINAL 8

ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>



NUMERO DE MUESTRAS

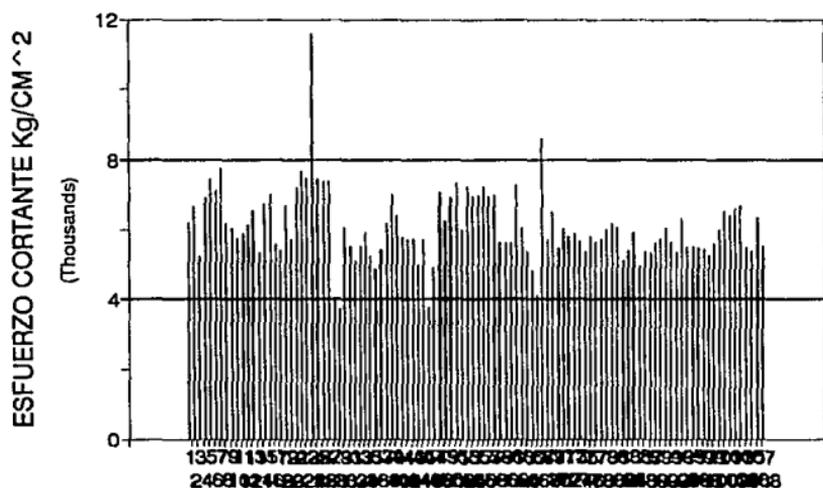


PROCEDECIA	MARCA	DESIGNACION	SPECIMEN AREA cm <sup>2</sup>	FEAR LOAD Kg	CONSTANTE STEEM Kg/cm <sup>2</sup>	BREAKING LOAD Kg
NACIONAL	BICARTSA	No. 4	1.267	7700	6079	4270
NACIONAL	BICARTSA	No. 4	1.267	7000	5529	2410
NACIONAL	BICARTSA	No. 1	0.7009	4900	5135	2170
NACIONAL	BICARTSA	No. 2	0.7009	4100	3967	0
NACIONAL	BICARTSA	No. 3	0.7009	4300	4320	4320
NACIONAL	BICARTSA	No. 3.5	0.4902	3040	4310	-70
NACIONAL	BICARTSA	No. 2.5	0.4902	3370	4470	-90
NACIONAL	BICARTSA	No. 2.5	0.4902	2950	5320	-298
NACIONAL	BICARTSA	No. 5	1.415	12040	7900	6780
NACIONAL	BICARTSA	No. 5	1.415	11500	7320	6720
NACIONAL	BICARTSA	No. 5	1.415	12550	4917	2760
NACIONAL	BICARTSA	No. 6	2.436	24360	6560	12100
NACIONAL	BICARTSA	No. 6	2.436	16100	5877	6910
NACIONAL	BICARTSA	No. 6	2.436	16420	6450	16410
NACIONAL	BICARTSA	No. 8	5.060	27000	4326	20260
NACIONAL	BICARTSA	No. 8	5.060	27000	5400	13260
NACIONAL	BICARTSA	No. 8	5.060	27440	5455	16050
NACIONAL	WYLSA	No. 2.5	0.4902	3300	4900	240
NACIONAL	WYLSA	No. 2.5	0.4902	3440	7440	170
NACIONAL	WYLSA	No. 2.5	0.4902	2900	7100	1210
NACIONAL	WYLSA	No. 3	0.7009	4420	6526	1700
NACIONAL	WYLSA	No. 3	0.7009	3700	5320	-20
NACIONAL	WYLSA	No. 3	0.7009	3700	5311	3010
NACIONAL	WYLSA	No. 4	1.267	6400	5095	2360
NACIONAL	WYLSA	No. 4	1.267	7000	5527	1740
NACIONAL	WYLSA	No. 4	1.267	7400	5900	2550
NACIONAL	WYLSA	No. 5	1.415	13240	7332	9590
NACIONAL	WYLSA	No. 5	1.415	10800	5975	6240
NACIONAL	WYLSA	No. 6	2.436	27560	5444	10200
NACIONAL	WYLSA	No. 6	2.436	17000	4910	7440
NACIONAL	WYLSA	No. 6	2.436	16440	5707	6170
NACIONAL	WYLSA	No. 6	2.436	16440	5870	7300
NACIONAL	WYLSA	No. 8	5.060	27510	5423	15500
NACIONAL	WYLSA	No. 8	5.060	26370	5240	10240
NACIONAL	WT	No. 2.5	0.4902	4800	7700	1970
NACIONAL	WT	No. 2.5	0.4902	2020	4100	1100
NACIONAL	WT	No. 2.5	0.4902	2950	6050	840
NACIONAL	WT	No. 2	0.7009	4440	6037	2420
NACIONAL	WT	No. 2	0.7009	4970	7012	170
NACIONAL	WT	No. 2	0.7009	5940	5865	260
NACIONAL	WT	No. 4	1.267	4630	4330	1020
NACIONAL	WT	No. 4	1.267	4140	4845	2690
NACIONAL	WT	No. 4	1.267	6870	5422	1700
NACIONAL	WT	No. 5	1.415	10100	5609	6500
NACIONAL	WT	No. 5	1.415	10370	5400	2360
NACIONAL	WT	No. 5	1.415	10100	5400	4650
NACIONAL	WT	No. 5	1.415	12130	7224	50
NACIONAL	WT	No. 5	1.415	52000	6760	-110
NACIONAL	WT	No. 5	1.415	12400	4907	240
NACIONAL	WT	No. 6	2.436	14950	5460	4440
NACIONAL	WT	No. 6	2.436	15210	5344	3580
NACIONAL	WT	No. 6	2.436	15450	5402	4780
NACIONAL	WT	No. 6	2.436	15990	5430	5760
NACIONAL	WT	No. 6	2.436	16210	5710	7690
NACIONAL	WT	No. 8	5.060	24330	5507	10200
NACIONAL	WT	No. 8	5.060	20210	5081	14720
NACIONAL	WT	No. 8	5.060	23020	6517	24200
ESTRANJERA	BRASILER	No. 2	0.7009	3920	5391	1720
ESTRANJERA	BRASILER	No. 2	0.7009	4740	6693	2840
ESTRANJERA	BRASILER	No. 2	0.7009	4020	5670	2100
ESTRANJERA	BRASILER	No. 4	1.267	7020	6170	2040
ESTRANJERA	BRASILER	No. 4	1.267	6000	7025	2040
ESTRANJERA	BRASILER	No. 4	1.267	6000	6261	2010
ESTRANJERA	BRASILER	No. 5	1.415	12010	6030	5910
ESTRANJERA	BRASILER	No. 5	1.415	11010	7057	5090
ESTRANJERA	BRASILER	No. 5	1.415	11400	6531	3010
ESTRANJERA	BRASILER	No. 6	2.436	12004	6023	7160
ESTRANJERA	BRASILER	No. 6	2.436	17810	6174	7090
ESTRANJERA	BRASILER	No. 6	2.436	17370	6055	7370
ESTRANJERA	BRASILER	No. 8	5.060	20400	4697	12700
ESTRANJERA	BRASILER	No. 8	5.060	21450	4810	14100
ESTRANJERA	BRASILER	No. 8	5.060	23000	6093	23740
NACIONAL	AMMA	No. 8	2.444	14440	5102	1510
ESTRANJERA	VEPESOLA	No. 6	2.466	37240	5300	13100
ESTRANJERA	VEPESOLA	No. 6	2.466	34920	5004	6340
ESTRANJERA	VEPESOLA	No. 6	2.466	31500	4933	4910
ESTRANJERA	VEPESOLA	No. 6	2.466	35200	5333	2950
ESTRANJERA	VEPESOLA	No. 8	5.040	27470	5462	13740
ESTRANJERA	VEPESOLA	No. 8	5.040	27030	5559	10440
ESTRANJERA	DEDINI	No. 2	0.7009	5100	7195	0
ESTRANJERA	DEDINI	No. 2	0.7009	5450	7451	-20
ESTRANJERA	DEDINI	No. 3	0.7009	5300	7641	-90
ESTRANJERA	DEDINI	No. 4	1.267	7310	5774	-820
ESTRANJERA	DEDINI	No. 4	1.267	7210	5695	-600

FRECUENCIA	MAPA	DESIGNACION	SPECIMEN AREA cm <sup>2</sup>	PEAK LOAD kg	CONSTANTE STREN kg/cm <sup>2</sup>	BREAKING LOAD kg
EXTRAMJERA	DEDIMI	Mo.4	1,267	7240	5715	-1140
EXTRAMJERA	DEDIMI	Mo.5	1,615	13210	7294	-640
EXTRAMJERA	DEDIMI	Mo.5	1,615	10780	6050	-840
EXTRAMJERA	DEDIMI	Mo.5	1,615	9730	5762	-600
EXTRAMJERA	DEDIMI	Mo.4	2,866	16040	5597	6120
EXTRAMJERA	DEDIMI	Mo.4	2,866	16430	5726	9260
EXTRAMJERA	DEDIMI	Mo.4	2,866	17100	6000	1650
EXTRAMJERA	TURCA	Mo.3	0,7089	6220	11400	-120
EXTRAMJERA	TURCA	Mo.4	1,267	6310	6187	-220
EXTRAMJERA	TURCA	Mo.4	1,267	7210	6692	-590
EXTRAMJERA	POLACA	Mo.3	0,7089	5280	7456	-90
EXTRAMJERA	POLACA	Mo.3	0,7089	5630	7266	1020
EXTRAMJERA	POLACA	Mo.3	0,7089	3470	7407	-80
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.3	0,7089	2880	4062	-1070
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.3	0,7089	2610	3706	-1050
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.4	1,267	6200	6300	-1550
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.4	1,267	6770	3766	-2590
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.5	1,984	9980	4872	-2200
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.5	1,984	8170	4118	-3520
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.6	2,866	16180	5647	5840
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.6	2,866	15320	5347	4200
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.8	5,066	27500	5506	10580
EXTR. CANADA	R.G.C.	Mo.9	5,066	32180	6351	11790

# ESFUERZO CORTANTE Kg/cm<sup>2</sup>

DIAMETRO NOMINAL 2.5,3,4,5,6 Y 8



GRAFICA CON TODAS LAS MUESTRAS

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
DE FLUENCIA

PARA SICARTSA SE TIENE

X=5837  
S=1481  
CV=0.2537

PARA HYLSA SE TIENE

X=6284  
S=1283  
CV=0.2043

PARA N.Y. SE TIENE

X=6213  
S=983  
CV=0.1582

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=6230  
S=686  
CV=0.1101

PARA DEDINI BRASIL

X=5559  
  
S=628  
CV=0.1129

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA SICARTSA SE TIENE

X=8742  
S=2127  
CV=0.2433

PARA HYLSA SE TIENE

X=9122  
S=804  
CV=0.0881

PARA N.Y. SE TIENE

X=8699  
S=633  
CV=0.0727

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=9336  
S=591  
CV=0.0633

PARA DEDINI BRASIL  
SE TIENE

X=8495  
S=492  
CV=0.0579

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
CORTANTE

PARA SICARTSA SE TIENE

X=6216  
S=782  
CV=0.126

PARA HYLSA SE TIENE

X=6015  
S=748  
CV=0.124

PARA N.Y. SE TIENE

X=6051  
S=729  
CV=0.12

PARA BRASILEÑA SE TIENE

X=6382  
S=457  
CV=0.072

PARA DEDINI BRASIL  
SE TIENE

X=6302  
S=814  
CV=0.129

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
POR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
DE FLUENCIA

PARA POLACA SE TIENE

X=6594  
S=53  
CV=0.008

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
FOR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA POLACA SE TIENE

X=8864  
S=50  
CV=0.005

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
FOR MARCA, PARA TODOS SUS  
DIAMETROS, PARA ESFUERZO  
CORTANTE

PARA POLACA SE TIENE

X=74716  
S=29  
CV=0.004

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=6224  
S=629  
CV=0.1011

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=8903  
S=747  
CV=0.084

PARA R.G.C. CANADA  
SE TIENE

X=4844  
S=686  
CV=0.1834

PARA C.H. TURCA SE TIENE

X=5250  
S=244  
CV=0.0465

PARA C.H. TURCA SE TIENE

X=8033  
S=375  
CV=0.046

PARA C.H. TURCA SE TIENE

X=7426  
S=2965  
CV=0.399

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=4798  
S=118  
CV=0.0246

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=7373  
S=120  
CV=0.0162

PARA VENEZOLANA SE TIENE

X=5387  
S=263  
CV=0.049

X=Media  
S=Desviación estandar  
CV=Coefficiente de variación

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA

X=8800  
S=1118  
CV=0.127

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO MAXIMO DE TENSION

X=8783  
S=1104  
CV=0.1257

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODOS LOS DIAMETROS  
DE TODAS LAS MARCAS  
PARA ESFUERZO CORTANTE

X=6049  
S=1016  
CV=0.1680

X=Media  
S=Desviación estandar  
CV=Coefficiente de variación

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=7830  
S=675  
CV=0.086

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=10304  
S=384  
CV=0.037

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO CORTANTE

PARA LAS BARRAS DEL No. 2.5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6616  
S=743  
CV=0.112

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6704  
S=289  
CV=0.043

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=9099  
S=582  
CV=0.064

PARA LAS BARRAS DEL No. 3  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6479  
S=1577  
CV=0.243

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5708  
S=836  
CV=0.146

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8573  
S=1776  
CV=0.207

PARA LAS BARRAS DEL No. 4  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5543  
S=687  
CV=0.124

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5676  
S=845  
CV=0.149

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8918  
S=633  
CV=0.071

PARA LAS BARRAS DEL No. 5  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=6297  
S=894  
CV=0.142

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5670  
S=1032  
CV=0.182

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8463  
S=546  
CV=0.065

PARA LAS BARRAS DEL No. 6  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5795  
S=654  
CV=0.113

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO DE FLUENCIA

PARA LAS BARRAS DEL No. 8  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5700  
S=1055  
CV=0.185

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO MAXIMO  
DE TENSION

PARA LAS BARRAS DEL No. 8  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=8376  
S=378  
CV=0.069

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL  
PARA TODAS LAS MARCAS  
POR NUMERO DE DESIGNACION  
PARA ESFUERZO CORTANTE

PARA LAS BARRAS DEL No. 8  
SE TIENE LO SIGUIENTE

X=5893  
S=510  
CV=0.183

X=Media  
S=Desviación estandar  
CV=Coefficiente de variación



PROYECT	PROCEDENCIA	MARCA	DESB DRAIN	TEBT DEN	CARDA MARR	LOWER YIELD	LEU Kg/m <sup>2</sup>	AREA m <sup>2</sup>	EMULOR Kg/m <sup>2</sup>	OPAZO Kg/m <sup>2</sup>	DAGE mm	MOD ELASTICO	CFRAT YIELD %	HEI AR	HALT OF LEI YIELD	UPPER YIELD	ESTIMACION TOTAL %	
INDO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	0	288	21 290	48 40	48 81	285 00	71 27		42	200	21 800	46 34	47 80	48 00	48 00	22 01
INDO	EXTRANJERA	DENDON BRABAI	0	348	23 870	50 08	53 15	280 00	63 15		42	200	25 170	53 38	52 86	62 28	62 26	18 50
INDO	EXTRANJERA	DENDON BRABAI	0	346	24 870	54 31	56 50	280 00	66 26		42	200	21 800	54 57	51 17	54 83	54 83	17 00
INDO	EXTRANJERA	DENDON BRABAI	0	350	24 870	52 77	53 90	280 00	65 87		42	200	22 280	53 80	53 84	53 88	53 88	17 00
INDO	EXTRANJERA	R D C CANADA	0	371	25 320	56 23	56 20	280 00	58 36		42	200	114 000	58 52	58 32	58 32	58 32	15 00
INDO	EXTRANJERA	R D C CANADA	0	272	25 240	58 10	58 18	280 00	64 08		42	200	22 740	58 18	58 18	58 18	58 18	14 00
INDO	EXTRANJERA	BRABALEA	0	3	48 200	81 44	84 48	508 71	81 18		42	50	71 480	86 30	18 00	80 63	80 63	4 00
INDO	EXTRANJERA	R D C CANADA	0	3	47 180	88 43	88 48	508 71	81 12		42	200	21 800	86 43	86 38	84 54	84 54	18 00
INDO	NACIONAL	N Y	0	118	43 300	80 48	84 18	518 71	81 36		42	50	34 800	82 48	79 20	80 30	80 30	288 00
INDO	NACIONAL	HYLBA	0	128	41 480	80 83	80 71	508 71	81 87		42	200	21 870	80 81	80 15	81 28	81 28	18 00
INDO	EXTRANJERA	BRABALEA	0	114	43 480	84 11	84 11	507 00	80 70		42	200		80 83				18 00
INDO	EXTRANJERA	BRABALEA	0	118	48 770		84 11	508 71	80 21		42	200		81 27				15 50
INDO	NACIONAL	ICARIBA	0	118	41 810	80 81	80 81	508 71	80 21		42	50	25 070	80 38	81 08	80 25	80 25	370 00
INDO	NACIONAL	HYLBA	0	112	42 070	81 32	81 34	508 71	82 02		42	50	32 580	81 25	80 88	82 88	82 88	288 00
INDO	NACIONAL	ICARIBA	0	120	43 280		80 81	508 71	80 41		42	200		84 83				18 50
INDO	NACIONAL	ICARIBA	0	121	44 380	80 28	80 28	508 71	81 58		42	200		84 25	83 45	80 45	80 45	17 00
INDO	NACIONAL	HYLBA	0	137	43 540	80 87	81 12	508 71	82 89		42	200	21 280	81 21	80 50	81 81	81 81	18 50
INDO	NACIONAL	HYLBA	0	138	43 580	81 87	80 87	508 71	83 87		42	200	22 330	81 21	80 82			13 00
INDO	NACIONAL	N Y	0	128	43 840	82 01	82 18	508 71	88 12		42	200	82 280	82 08	80 13	82 40	82 40	18 00
INDO	NACIONAL	N Y	0	180	38 360	84 80	84 88	508 71	78 18		42	200	20 530	84 88	84 82	86 38	86 38	22 50
INDO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	0	302	37 540	47 32	47 64	508 71	74 10		42	200	29 730	47 57	37 38	47 71	47 71	18 00
INDO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	0	303	37 860	48 30	48 30	508 71	74 38		42	200	24 570	48 05	38 23	48 18	48 18	17 00
INDO	EXTRANJERA	VENEZOLANA	0	304	37 860	47 78	48 18	508 71	74 38		42	200	28 210	48 01	43 45	48 20	48 20	22 50
INDO	EXTRANJERA	R D C CANADA	0	378	44 875	64 78	65 23	508 71	88 18		42	200	22 380	67 70	64 88	65 28	65 28	18 00

## CAPITULO 8 DOBLADO

La prueba de doblado fué realizada cumpliendo con las especificaciones solicitadas en la norma oficial mexicana NOM 8-6 1993 para varillas corrugadas y lisas de acero, procedentes de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto, en el inciso 5.4.2 de la misma se establece que las probetas se doblarán alrededor de un mandril ( ver capítulo 4 " descripción de pruebas" ).

Las barras no deberán presentar grietas en la parte exterior de la zona doblada.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros requisitados por la NOM 8-6 1993

DESIGNACION	DIAMETRO DEL MANDRIL
	DOBLEZ A 1800
	GRADO 42
2,2.5,3,4 y 5	$D = 4T$
6	$D = 5T$
7 y 8	$D = 6T$
9,10,11 y 12	$D = 8T$

$D$  = Diámetro del mandril.

$T$  = Diámetro de la probeta.

El resultado de estas pruebas fué exitoso, ninguna de las probetas presentó grietas.

RELACION DE ENSAVES  
DE DOBLADO

MUESTRA	MARCA	PROCEDENCIA	DIAMETRO MANDRIL	PAQUETE	DIAMETRO No.	OBSERVACIONES
1B	SICARSA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° 0.K
2B	SICARSA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° 0.K
3-B	SICARSA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° 0.K
1-B	SICARSA	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° 0.K
2-B	SICARSA	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° 0.K
3-B	SICARSA	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° 0.K
1-B	SICARSA	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° 0.K
2-B	SICARSA	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° 0.K
3-B	SICARSA	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° 0.K
1-B	SICARSA	NACIONAL	2.50"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° 0.K
2-B	SICARSA	NACIONAL	2.50"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° 0.K
3-B	SICARSA	NACIONAL	2.50"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° 0.K
1-B	SICARSA	NACIONAL	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° 0.K
2-B	SICARSA	NACIONAL	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° 0.K
3-B	SICARSA	NACIONAL	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° 0.K
1-B	SICARSA	NACIONAL	4"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° 0.K
2-B	SICARSA	NACIONAL	4"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° 0.K
3-B	SICARSA	NACIONAL	4"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° 0.K

MUESTRA	MARCA	PROCEDENCIA	DIAMETRO MANDRIL	PAQUETE	DIAMETRO No.	OBSERVACIONES
1-B	HVLSA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° O.K
2-B	HVLSA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° O.K
3-B	HVLSA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° O.K
1-B	HVLSA	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
2-B	HVLSA	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
3-B	HVLSA	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
1-B	HVLSA	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
2-B	HVLSA	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
3-B	HVLSA	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
1-B	HVLSA	NACIONAL	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
2-B	HVLSA	NACIONAL	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
3-B	HVLSA	NACIONAL	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
1-B	HVLSA	NACIONAL	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
2-B	HVLSA	NACIONAL	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
3-B	HVLSA	NACIONAL	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
1-B	HVLSA	NACIONAL	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K
2-B	HVLSA	NACIONAL	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K
3-B	HVLSA	NACIONAL	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K

MUESTRA	MARCA	PROCEDENCIA	DIAMETRO MANDRIL	PAQUETE	DIAMETRO No.	OBSERVACIONES
1-B	LASA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° O.K
2-B	LASA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° O.K
3-B	LASA	NACIONAL	1.24"	COMP. DEFLEC.	0.79	DOBLADO 180° O.K
1-B	NY	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
2-B	NY	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
3-B	NY	NACIONAL	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
1-B	NY	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
2-B	NY	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
3-B	NY	NACIONAL	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
1-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
2-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
3-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
1-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
2-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
3-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
1-B	NY	NACIONAL	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K
2-B	NY	NACIONAL	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K
3-B	NY	NACIONAL	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K

MUESTRA	MARCA	PROCEDENCIA	DIAMETRO MANDRIL	PAQUETE	DIAMETRO No.	OBSERVACIONES
1-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
2-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
3-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	1.5	COMP. DEFLEC.	0.95	DOBLADO 180° O.K
1-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
2-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
3-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.0"	COMP. DEFLEC.	1.27	DOBLADO 180° O.K
1-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
2-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.5"	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
3-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	2.5	COMP. DEFLEC.	1.59	DOBLADO 180° O.K
1-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
2-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
3-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	3.01"	COMP. DEFLEC.	1.91	DOBLADO 180° O.K
1-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K
2-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K
3-B	BRASILEÑA	EXTRANJERA	4.0"	COMP. DEFLEC.	2.54	DOBLADO 180° O.K





MUESTRA	MARCA	PROCEDECIA	DIAMETRO MANDRIL	PAQUETE	DIAMETRO (CM)	OBSERVACIONES
1 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	1.5"	COMP. DEFLEC.	0.95	O.K 180°
2 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	1.5"	"	0.95	O.K 180°
3 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	1.5"	"	0.95	O.K 180°
1 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	2.0"	"	1.27	O.K 180°
2 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	2.0"	"	1.27	O.K 180°
3 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	2.0"	"	1.27	O.K 180°
1 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	2.50"	"	1.59	O.K 180°
2 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	2.50"	"	1.59	O.K 180°
3 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	2.50"	"	1.59	O.K 180°
1 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	3.01"	"	1.91	O.K 180°
2 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	3.01"	"	1.91	O.K 180°
3 - 8	DEDINI	EXTRANJERA	3.01"	"	1.91	O.K 180°
1 - 8	TURCA	EXTRANJERA	2.0"	"	1.27	O.K 180°
2 - 8	TURCA	EXTRANJERA	2.0"	"	1.27	O.K 180°
3 - 8	TURCA	EXTRANJERA	2.0"	"	1.27	O.K 180°
1 - 8	POLACA	EXTRANJERA	1.5"	"	0.95	O.K 180°
2 - 8	POLACA	EXTRANJERA	1.5"	"	0.95	O.K 180°
3 - 8	POLACA	EXTRANJERA	1.5"	"	0.95	O.K 180°



## ALGUNOS CONCEPTOS DE TEORÍA DE PROBABILIDADES.

Sólo recordaremos algunos conceptos muy elementales. Para el estudio más a fondo de los principios de probabilidades aplicadas a -- problemas de ingeniería se recomienda por ejemplo, la referencia. -- Una variable aleatoria es aquella cuyo valor no puede ser fijado con precisión en el momento de tomar una decisión. Las probabilidades de que una variable tome diferentes valores están descritas por una función de distribución de probabilidades o función de densidad de probabilidades,  $f_X(x)$ , como la de la figura 2.4. Si la variable es continua, la función es tal que la probabilidad de que la variable se encuentre en un intervalo diferencial alrededor de cierto valor  $x_0$  vale

$$P\left[x_0 - \frac{dx}{2} < x < x_0 + \frac{dx}{2}\right] = f_X(x_0)dx$$

y por tanto la probabilidad de que  $x$  tome un valor menor e igual que cierta cantidad  $x_m$  resulta

$$P[X < x_m] = \int_{-\infty}^{x_m} f_X(x)dx = F_X(x_m)$$

A la función  $F_X(x)$  se le llama función de distribución acumulada de probabilidades de la variable y equivale al área sombreada e-identificada con  $a_1$  en la figura 2.4. Por lo mismo, la probabilidad de que  $x$  resulte mayor o igual que cierto valor  $x_m$  vale.

$$P[X > x_m] = \int_{x_m}^{\infty} f_X(x)dx = 1 - F_X(x_m)$$

que corresponde al área sombreada  $a_2$  de la figura 2.4. Las características más importantes de la función de distribución de probabilidades están definidas por la posición del centroide y por el momento de inercia del área bajo la curva descrita por dicha función.

La media, o esperanza matemática, de la variable se define como

$$m_x = \int_{-\infty}^{\infty} x f_X(x)dx$$

y representa la posición del centroide del área bajo la curva. (Si la variable no es continua sino discreta, la integral se sustituye por una sumatoria).

La variancia, o segundo momento del área bajo la curva, es

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 f_X(x)dx$$

Se llama desviación estándar a la raíz cuadrada de la variancia y -- coeficiente de variación a la relación

$$C_x = \frac{\sigma_x}{m_x}$$

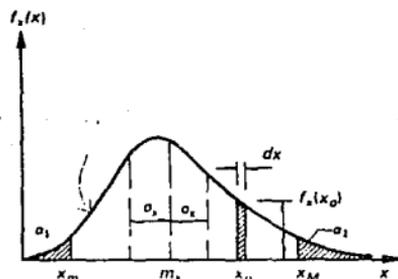


Fig. 21 Descripción probabilista de una variable.

- a) Distribución normal
- b) Distribución lognormal
- c) Distribución extrema I de valores mínimos
- d) Distribución extrema I de valores máximos

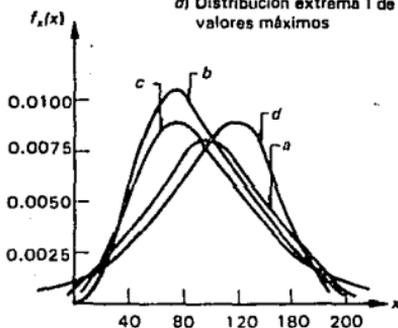


Fig. 22 Algunas funciones de distribución de probabilidades comunes de problemas de seguridad estructural (trazadas para una variable con media  $m_x = 100$  y desviación estándar  $v_x = 50$ )

La variancia, desviación estándar y coeficiente de variación miden de distinta manera el grado de incertidumbre que se tiene acerca de la variable. Si la desviación estándar es pequeña, la probabilidad de que la variable tome un valor muy alejado de su media tiende rápidamente a valores despreciables. Por el contrario, cuando la desviación estándar es alta existen probabilidades significativas de que la variable adquiera valores mucho menores y muchos mayores que la media. A los valores  $\bar{x}$  que tienen una probabilidad prefijada de no ser alcanzados se les denomina percentiles de la variable. En la figura 21  $x_p$  representa el percentil 100  $\alpha_1$  de  $x$ , mientras que  $x_{1-\alpha_2}$  representa el percentil 100  $(1 - \alpha_2)$  de la misma variable.

La probabilidad de que cierto valor de la variable sea excedido o no sea alcanzado, en un evento particular, puede expresarse en general en función del número de desviaciones estándar que dicho valor dista de la media; sin embargo, este número varía de una a otra función de densidad de probabilidades. Existen diversas funciones teóricas de distribuciones de probabilidades que son representativas de fenómenos que tienen distintas características. La función que se emplea con más frecuencia para representar el comportamiento de una variable aleatoria es la llamada distribución normal; sin embargo, un gran número de variables relacionadas con el problema de seguridad estructural tienen peculiaridades que no pueden ser representadas por una distribución normal.

Las variables que no pueden tomar valores negativos, como las que se relacionan con la resistencia, dan lugar, cuando su dispersión es grande, a distribuciones fuertemente asimétricas que se alejan de la normal y que pueden representarse generalmente por una distribución logarítmico-normal (que es tal que el logaritmo de la variable tiene distribución normal). Variables que representan el máximo (o el mínimo) en un grupo de resultados, como muchas de las que se relacionan con las cargas, tienen distribuciones que se apegan con frecuencias a las de la familia de las llamadas extremas.

La figura 22 muestra distintas funciones de distribución de probabilidades de una variable que tiene media 100 (unidades cualesquiera) y desviación estándar 50 (expresada en las mismas unidades que la media). Se aprecian diferencias sustanciales en las ordenadas de las diversas funciones, lo que se refleja en probabilidades muy distintas especialmente para valores de la variable muy alejados de la media. Por ejemplo el percentil 99 (el valor de la variable que tiene 99% de probabilidades de no ser excedido o 1% de ser rebasado) vale 216 si la distribución es normal, 267 si es log-normal y 257 si es extrema (de valores máximos).

Conviene ilustrar la forma en que los conceptos anteriores se aplican al estudio de alguna variable relacionada con el diseño estructural. Para verificar la calidad del acero de refuerzo para concreto de una marca y grado determinados, se ensayó una muestra de 86 barras # 4, (diámetro 1.27 cm) y grado 30 (con esfuerzo de fluencia mínimo garantizado de 3000 kg/cm<sup>2</sup>). Mediante una prueba estándar de tensión se determinó el esfuerzo de fluencia de las 86 barras y con los resultados se construyó el histograma de la figura

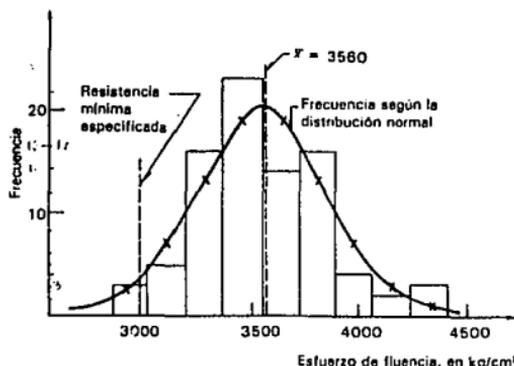


Fig. 23 Histograma de esfuerzos de fluencia de aceros de grado-30 producidos en México.

Un histograma es una representación gráfica de las frecuencias con que la variable en estudio toma valores dentro de determinados intervalos. Para la construcción del histograma se divide el intervalo total de valores que se tienen para la variable, en un número conveniente de intervalos parciales de amplitud constante (conviene emplear cerca de una decena de intervalos, pero pueden ser más o menos según si el número de datos es muy grande o muy pequeño). Se cuenta el número de resultados que caen dentro de cada intervalo parcial y se construye una gráfica con barras cuyo ancho es el del intervalo y cuya altura es proporcional a la frecuencia de resultados que caen en el intervalo. La forma del histograma proporciona una idea de la función de distribución de probabilidades que puede servir para describir la variable. Por otra parte, las estadísticas de los resultados de la muestra permiten hacer estimaciones de los parámetros necesarios para describir totalmente la distribución de probabilidades de la población de la cual dicha muestra es representativa.

El histograma de la figura 23 es ligeramente asimétrico, sesgado hacia valores grandes; sin embargo, su forma no es radicalmente distinta de la acampanada, que constituye la característica de la distribución normal, por lo que conviene intentar representarlo con dicha función. La media de la muestra,  $\bar{x}$ , se obtiene como la suma de los resultados,  $\sum x_i$ , dividida entre el tamaño de la muestra,  $n$ , o sea

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Para los resultados en estudio se obtiene  $\bar{x} = 3560$  kg/cm<sup>2</sup>. La variancia de la muestra,  $S^2$ , se determina como

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

La desviación estándar, calculada como la raíz cuadrada del valor dado por la expresión anterior, resulta  $S = 295$  kg/cm<sup>2</sup>, de la cual se obtiene un coeficiente de variación

$$C = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{295}{3560} = 0.083 = 8.3\%$$

Un coeficiente de variación de esta magnitud implica una dispersión relativamente pequeña para la variable en cuestión, lo cual sumado a la simetría del histograma, hace esperar en una buena aproximación de la distribución normal.

Los parámetros de la distribución normal pueden obtenerse por distintos métodos de ajuste; el más sencillo consiste en igualar media y desviación estándar de la función con las obtenidas de la muestra, o sea

$$m_x = \bar{X}$$

$$\sigma_x = S$$

La función obtenida con este criterio se representa en la misma figura 23 de la que se aprecia que el ajuste, sin ser excelente, es aceptable. Para el estudio de la forma de manejar la distribución normal, de la forma de ajustar una distribución teórica a datos experimentales y de la de medir cuantitativamente la bondad del ajuste, se remite a cualquier texto de probabilidades y estadística (por ejemplo la referencia ). Manejando la distribución de probabilidades así ajustada, puede calcularse por ejemplo la probabilidad de que una barra cualquiera extraída de la población representada por la muestra, tenga un esfuerzo de fluencia menor que el mínimo especificado para el acero en cuestión o sea

$$P [x < x_0]; \quad x_0 = 3000 \text{ kg/cm}^2$$

Para ello hay que calcular el valor correspondiente de la variable estandarizada con distribución normal

$$u = \frac{x_0 - M_x}{\sigma_x}$$

$$u = \frac{3000 - 3560}{295} = -1.90$$

De las tablas para la función normal estandarizada (tabla al final del capítulo) se obtiene

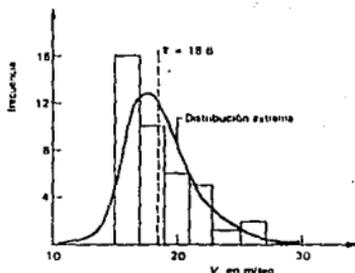
$$P [x < 3000] = P [u < -1.90] = F_0 (-1.90) =$$

$$0.029 = 2.9\%$$

o sea que aproximadamente 3 de cada 100 barras de esa producción no cumplen con la resistencia mínima especificada.

En un ejemplo de otro tipo, la figura 24 muestra un histograma de las velocidades de viento máximas anuales medidas en un observatorio meteorológico de la Ciudad de México.

Fig. 24 Histograma de las velocidades máximas instantáneas de viento, registradas en el Observatorio de Tacubaya en los años de 1941 a 1981. No se tiene registro de 1960. (Datos proporcionados por el Ing. N. Rodríguez C.)



El observatorio cuenta con un sistema de registro continuo de la velocidad instantánea de viento, del cual se derivan datos de velocidad máxima diaria y de ellas en este caso se tomaron en cuenta exclusivamente los máximos de cada uno de los 40 años en que se tenía el registro. El histograma construido para seis intervalos muestra una forma radicalmente distinta de la del caso anterior, ya que las frecuencias disminuyen en forma que parece ser de tipo exponencial, a partir del valor máximo que corresponde al primer intervalo. Por el tipo de fenómeno -- que la variable representa, la función de distribución apropiada debería ser de la familia de las extremas, o sea de las que describen la variabilidad del máximo entre un grupo de valores. Para la velocidad máxima de viento se ha usado en diversos estudios una distribución extrema tipo II; sin embargo para este caso se tiene un ajuste igualmente satisfactorio con una distribución extrema tipo I de valores máximos que es más sencilla de utilizar que la tipo II. Para el manejo de esta distribución véase la referencia.

De los datos resumidos en la figura 24 se tiene una media

$$\bar{x} = 18.6 \text{ m/seg (67 km/hora)}$$

y una desviación estándar

$$S = 2.84 \text{ m/seg}$$

de la que resulta un coeficiente de variación

$$C = \frac{2.84}{18.6} = 0.153 = 15.3\%$$

Si se emplea el procedimiento ya usado en el caso anterior para ajustar a los datos la distribución de probabilidades seleccionada, deben igualarse la media y desviación estándar de la muestra a las de la población. La función de distribución de probabilidades se expresa en términos de la variable estandarizada

En este capítulo se describen los procedimientos estadísticos que se utilizaron para interpretar los resultados de las investigaciones. Se describen los procedimientos estadísticos que se utilizaron para interpretar los resultados de las investigaciones. Se describen los procedimientos estadísticos que se utilizaron para interpretar los resultados de las investigaciones.

## **CAPITULO 9 INTERPRETACION DE RESULTADOS**

$$w = (x - u) \alpha \dots \dots 9$$

en que  $x$  es el valor de la variable original, velocidad de viento, y

$$\alpha = \frac{1.282}{\sigma_x} = \frac{1.282}{2.84} = 0.45$$

en que  $\sigma_x$  es la desviación estándar de la variable que se toma igual a la de la muestra. Además

$$u = m_x - \frac{0.577}{0} = 18.6 - \frac{0.577}{0.45} = 17.32$$

Por tanto, la variable estandarizada  $w$  se calcula para cada valor de  $x$  como

$$w = (x - 17.32) 0.45$$

La función de distribución y la función acumulada para la variable estandarizada Extrema I se encuentran en la tabla 1 al final del capítulo. La función de distribución obtenida de dicha tabla para la variable en cuestión se representa gráficamente en la figura 24 de la que puede apreciarse un ajuste muy aceptable.

Puede interesar calcular, por ejemplo, la probabilidad de que, en un año cualquiera, la velocidad máxima instantánea de viento exceda de 80 km/hora (22.2 m/seg). Para ello se determina el valor correspondiente de la variable estandarizada.

$$w_0 = (22.2 - 17.32) 0.45 = 2.20$$

Para el cual se obtiene de la tabla

$$F_w(2.20) = 0.8951$$

$$P(X > 22.22) = P[w > 2.20] = 1 - 0.8951 = 0.1049$$

o sea que hay probabilidad de aproximadamente 10 por ciento de que en un año dado se presente una velocidad de viento superior a 80 km/hora, o lo que es lo mismo, en promedio dicha velocidad se excederá cada

$$T = \frac{1}{0.1029} = 9.5 \text{ años}$$

En este tipo de problemas suelen interesar valores que tienen una probabilidad muy pequeña de ser excedidos; por ejemplo ¿qué velocidad de viento se excede en promedio cada 100 años, o sea tiene una probabilidad de ser rebasada en un año dado de  $1/100 = 0.01$ ? Una vez ajustada una función de distribución de probabilidades el cálculo se hace a partir de las tablas para la variable estandarizada. En este caso hay -

que buscar el valor de  $w_0$  tal que

$$P(w > w_0) = 0.01$$

o sea tal que

$$P(w < w_0) = F(x_0) = 0.99$$

De la tabla 1 se encuentra

$$w = 4.6$$

por tanto despejando de la ecuación 9

$$x_0 = \frac{w_0}{0.45} + 17.32 = \frac{4.6}{0.45} + 17.32 = 27.5 \text{ m/seg.}$$

o sea que la velocidad que se excede en promedio cada 100 años vale - 27.5 m/seg (99.1 km/hora). Este valor se encuentra muy arriba en la cola superior de la distribución de probabilidades y muy afuera del intervalo en que se encontraban los datos que sirvieron de base para la determinación de dicha función. En estos casos, como se ha dicho el resultado que se obtiene suele variar significativamente según cuál sea la función que se ajuste y es, en general, poco confiable. Desgraciadamente, en los problemas de seguridad estructural casi siempre se interesan valores que se encuentran muy alejados de la media en las colas superior o inferior de la distribución de probabilidades, por lo cual los resultados se ven muy influidos por las hipótesis que se hagan acerca de la función de probabilidades que describe el fenómeno.

En las variables que intervienen en el diseño existen incertidumbres que provienen tanto de su variabilidad intrínseca por factores que están fuera del control del proyectista, como del desconocimiento que se tiene de alguna característica del fenómeno que genera la variable; provienen además de la falta de precisión de los métodos de cálculo empleados.

Debido al gran número de variables que intervienen en el diseño y a las incertidumbres significativas de estas y debido a que las estructuras reales son sistemas complejos, cuya posibilidad de falla depende del comportamiento de un gran número de elementos ante diferentes combinaciones de acciones, el problema de determinar la probabilidad de falla de una estructura es muy complejo y no se presta a generalizaciones. Para los propósitos que se persiguen en este capítulo, bastará hacer un planteamiento muy simplista, según el cual la seguridad de una estructura depende de los valores relativos de solamente dos variables, una que representa la resistencia del sistema,  $R$ , y otra que es una medida del efecto de las acciones externas,  $S$ . Ambas variables -

se expresan en las mismas unidades y pueden referirse, por ejemplo, al momento flexionante actuante y al resistente en la sección crítica de una viga de acero como la mostrada en la figura 25. Ambas variables son aleatorias y su distribución de probabilidades depende de la de todas las variables que intervienen en la determinación de cada una de ellas. Se presentará la falla si la resistencia resulta menor que el efecto de la acción.

En el diseño se pretende limitar, la probabilidad de falla a un valor suficientemente pequeño,  $P_f$ , que representa la probabilidad de que ocurra el evento

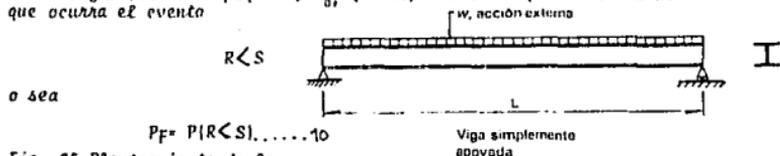
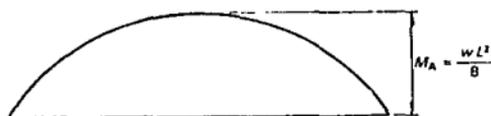


Fig. 25 Planteamiento de la probabilidad de falla de una viga de acero simplemente apoyada bajo carga uniformemente distribuida.



- $M_A$  = fuerza interna actuante en la sección crítica =  $\frac{wL^2}{8}$
- $M_R$  = Momento resistente de la sección =  $S \cdot f_y$
- $S$  = Módulo de sección
- $f_y$  = Esfuerzo de fluencia del acero
- $P_f$  = Probabilidad de falla
- $P_f = P(M_A < M_R)$

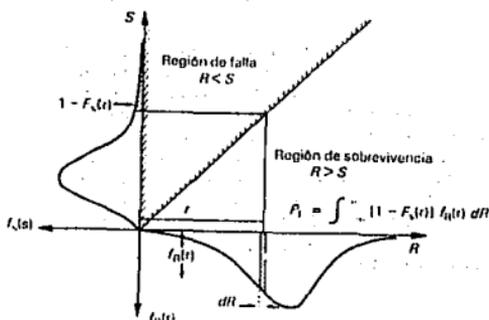


Fig. 26 Representación de la región de falla y determinación de la probabilidad de falla.

En el ejemplo anterior la falla ocurre si el momento resistente en la sección crítica es menor que el momento flexionante que actúa en dicha sección (el centro del claro) debido a la carga aplicada  $W$ .

El problema se ilustra en la figura 26 donde en el eje de las ordenadas se representa el valor que puede adquirir  $S$  y en las abscisas el de  $R$ . La probabilidad de ocurrencia de un valor particular de cada variable está descrita por sus respectivas distribuciones de probabilidades, también mostradas en la misma figura. Una situación particular de una estructura ante un estado de acciones dado está representada por una pareja de valores  $(R, S)$ . Si esta pareja es tal que  $R < S$ , la situación corresponderá a una falla; en caso contrario a una condición de sobrevivencia. Ambas situaciones están representadas en la figura por dos regiones separadas por una recta a  $45^\circ$  que sale del origen.

Para un valor particular de la resistencia,  $R = r$ , la probabilidad de falla es igual a la probabilidad de que la variable  $S$  exceda al valor  $S = r$ , la cual queda definida por la zona sombreada de la distribución de probabilidades de  $S$  y, más precisamente, vale  $1 - F_S(r)$ , donde  $F_S(r)$  es la distribución acumulada de probabilidades de  $S$  hasta el valor  $r$ . Considerando que  $R$  puede tomar diversos valores, cada uno con una probabilidad definida por su distribución de probabilidades  $f_R(r)$ , se tiene

$$PF = \int_{-\infty}^{+\infty} [1 - F_S(r)] f_R(r) dr$$

En términos aproximados dicha probabilidad depende de los valores relativos de las medias de ambas variables y de sus desviaciones estándar; la relación entre las medias,  $m_R/m_S$ , representa un factor de seguridad, o sea mide en qué grado la media de la resistencia excede a la de la acción; mientras mayor sea esta relación, menor será la probabilidad de falla. Las desviaciones estándar de las variables miden su incertidumbre y al crecer cualquiera de las desviaciones estándar aumenta la probabilidad de falla.

Una representación diferente del problema se muestra en la figura 27 en la que las dos variables,  $R$  y  $S$ , se ubican en el mismo eje

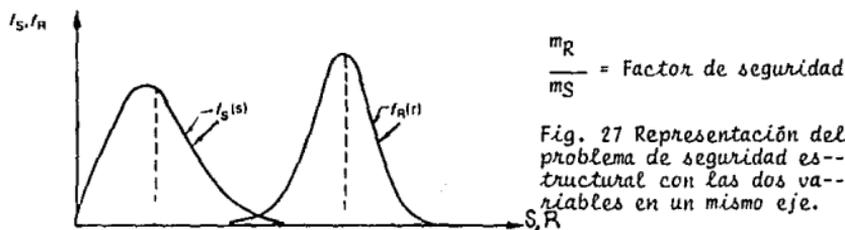


Fig. 27 Representación del problema de seguridad estructural con las dos variables en un mismo eje.

de las abscisas y sus respectivas distribuciones de probabilidades - en las ordenadas. Si la media de la resistencia es muy superior a - la de la acción, para que ocurra una falla debe presentarse un valor de la acción muy arriba en la cola superior de su distribución de -- probabilidades, simultáneamente a la ocurrencia de un valor de resis- tencia muy abajo en la cola inferior de su distribución de probabili- dades. Para una forma dada de la distribución de probabilidades de -- ambas variables, la probabilidad de falla es proporcional al área -- sombreada en la figura 27.

A la probabilidad de que la estructura no falle,  $1 - P_F$ , se le - llama confiabilidad de la estructura y el término confiabilidad es-- tructural se ha adoptado para indicar el estudio con bases probabi-- listas de la seguridad de las estructuras, el cual lleva a la deter- minación racional de los factores de seguridad que deben adoptarse - en el diseño.

Para lograr una confiabilidad prefijada, se requiere adoptar -- cierto factor de seguridad que será mayor mientras mayores sean las - desviaciones estándar de la resistencia y de la acción, o sea mien-- tras mayor sea la incertidumbre que existe en las variables que in-- tervienen en la seguridad.

Existen procedimientos aproximados relativamente sencillos para determinar el factor de seguridad necesario para lograr una confiabi- lidad dada. Estos procedimientos han sido empleados en la elabora- -- ción de algunos códigos de diseño. Una aplicación relativa al Regla- mento de Construcciones para el Distrito Federal se encuentra en la- referencia

## ESFUERZOS PERMISIBLES Y CARGAS PERMISIBLES

Una importante consideración en el diseño de ingeniería es la capacidad del objeto que se diseña para resistir o transmitir cargas. Entre los objetos que deben soportar cargas se incluyen estructuras de edificios, maquinaria, aeronaves, vehículos, embarcaciones y una lista, al parecer interminable, de otras cosas hechas por el hombre. Por sencillez, nos referiremos a tales objetos como estructuras; por tanto, una estructura es cualquier objeto que debe resistir o transmitir cargas.

Si se desea evitar la falla de una estructura, las cargas que la misma puede realmente soportar deben ser mayores que las cargas que requerirá sostener cuando esté en servicio. La capacidad de una estructura para soportar cargas se denomina resistencia, por lo que el criterio precedente puede replantearse como sigue: la resistencia real de una estructura debe rebasar la resistencia requerida. La relación entre la resistencia real y la resistencia requerida se denomina factor de seguridad  $n$ :

$$\text{Factor de seguridad } n = \frac{\text{resistencia real}}{\text{resistencia requerida}}$$

Desde luego, el factor de seguridad  $n$  debe ser mayor que 1.0 si se desea impedir la falla del material. De acuerdo con las circunstancias, se emplean factores de seguridad desde un poco más de 1.0 hasta 10.

La inclusión de factores de seguridad en el diseño no es un asunto sencillo ya que la resistencia y la falla del material denotan conceptos diferentes. La falla del material, o simplemente la falla, significa la ruptura o el colapso completo de una estructura, o bien que las deformaciones rebasan algún valor limitante, de tal modo que la estructura, o bien que las deformaciones rebasan algún valor limitante, de tal modo que la estructura se vuelve incapaz de realizar sus funciones. Esta última clase de falla puede ocurrir con cargas mucho menores que aquellas que ocasionan el colapso. Para la determinación de un factor de seguridad se deben tomar en cuenta conceptos como los siguientes: Probabilidad de sobrecarga accidental de la estructura; los tipos de cargas (estática, dinámica o repetitiva) y con qué precisión se conocen; la posibilidad de falla por fatiga; inexactitudes de construcción; calidad de fabricación; variaciones en propiedades de los materiales; deterioro debido a corrosión o a otros efectos ambientales; -- precisión de los métodos de análisis; si la falla es gradual (con amplias señales de peligro) o súbita (sin señales de peligro); consecuencias de la falla (daño menor o catástrofe) y otras consideraciones más. Si el factor de seguridad es muy bajo, el riesgo de falla será elevado y por tanto la estructura será inaceptable; si el factor es muy grande, la estructura desperdiciará material y puede volverse inadecuada para su función (por ejemplo, puede ser muy pesada). Debido a estas complejidades, se requiere el buen juicio y criterio del ingeniero al establecer los factores de seguridad. Estos factores suelen determinarlos-

grupos de ingenieros expertos que formulan los códigos y especificaciones utilizadas por otros diseñadores.

En la práctica, los factores de seguridad se definen e implantan en muchas formas. Para muchas estructuras es importante que el material permanezca en el margen elástico lineal a fin de evitar deformaciones permanentes cuando se retiran las cargas. Por lo que un método común de diseño consiste en emplear un factor de seguridad respecto de la fluencia de la estructura. La estructura alcanza la fluencia cuando algún punto de la misma alcanza su esfuerzo de fluencia. Mediante la aplicación de un factor de seguridad respecto del esfuerzo de fluencia, se obtiene un esfuerzo permisible o esfuerzo de trabajo, que no debe rebasarse en ninguna parte de la estructura. Así,

$$\text{Esfuerzo permisible} = \frac{\text{esfuerzo de fluencia}}{\text{factor de seguridad}}$$

o sea

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{\sigma_y}{n}$$

donde se introduce la notación  $\sigma_{\text{perm}}$  y  $\sigma_y$  para los esfuerzos permisible y de fluencia respectivamente. En el diseño de edificios un factor de seguridad  $n$  característico con respecto de la fluencia es 1.67; así, un acero dulce que tenga un esfuerzo de fluencia  $\sigma_y$  de 36 ksi tendrá un esfuerzo permisible  $\sigma_{\text{perm}}$  en tensión de 21.6 ksi.

Otro método de diseño es establecer el esfuerzo permisible al aplicar un factor de seguridad respecto del esfuerzo último en lugar del esfuerzo de fluencia. Este método es adecuado para materiales frágiles, como el concreto, y también se utiliza para la madera. El esfuerzo permisible se obtiene de la ecuación

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_u}{n}$$

donde  $\sigma_u$  es el esfuerzo último. El factor de seguridad normalmente es mucho mayor con respecto al esfuerzo último que con respecto al esfuerzo de fluencia. En el caso de acero dulce, un factor de seguridad de 1.67 respecto al esfuerzo de fluencia corresponde aproximadamente a un factor de 2.8 con respecto al esfuerzo último.

El último método que describiremos comprende la aplicación de factores de seguridad a cargas en vez de esfuerzos. Utilizaremos el término *cargas últimas* para denotar las cargas que provocan el colapso o falla de la estructura. Las cargas que debe soportar la estructura en operación se denominan *cargas de servicio* o *cargas de trabajo*. El factor de seguridad es el cociente de las primeras entre las segundas:

$$\text{Factor de seguridad } n = \frac{\text{carga última}}{\text{carga de servicio}}$$

Dado que las cargas de servicio son cantidades conocidas, el procedimiento común de diseño es multiplicarlas por el factor de seguridad para determinar las cargas últimas. Luego, la estructura de diseño se conoce como *diseño por resistencia* o *diseño por carga última*, y el factor de seguridad se denomina *factor de carga* ya que es un multiplicador de las cargas de servicio:

$$\text{Carga última} = (\text{carga de servicio})(\text{factor de carga})$$

Factores de carga característicos utilizados en el diseño de estructuras de concreto reforzado son 1.4 para *cargas muertas*, que constituye el peso mismo de la estructura, y 1.7 para *cargas vivas*, que son las cargas aplicadas a la estructura. Los métodos de diseño por resistencia se emplean comúnmente para estructuras de concreto reforzado y a veces para estructuras de acero. En la sección y en el capítulo se exponen métodos para determinar cargas últimas de algunas estructuras simples.

En diseño aeronáutico, se acostumbra hablar al margen de seguridad en lugar del factor de seguridad. El *margen de seguridad* se define como el factor de seguridad menos uno:

$$\text{Margen de seguridad} = n - 1$$

Así una estructura que tenga una resistencia última igual al doble de la resistencia requerida tiene un factor de seguridad de 2.0 y un margen de seguridad de 1.0. Cuando el margen de seguridad se reduce a cero o menos, la estructura (supuestamente) fallará.

### Ejemplo

Una barra de acero de sección transversal rectangular (10 x 40 mm) soporta una fuerza de tensión  $P$  y está articulada a un soporte por medio de un perno redondo de 15 mm de diámetro (Fig. 28). Los esfuerzos permisibles a tensión para la barra y a cortante para el perno son  $\sigma_{perm} = 120 \text{ MPa}$  y  $\tau_{perm} = 60 \text{ MPa}$ , respectivamente. ¿Cuál es el valor máximo permisible de la carga  $P$ ?

El esfuerzo de tensión en la barra rectangular debe calcularse -- con el área neta en la sección transversal que tiene el barrenado para el perno. Esta área es

$$A_{neta} = (40 \text{ mm} - 15 \text{ mm})(10 \text{ mm}) = 250 \text{ mm}^2$$

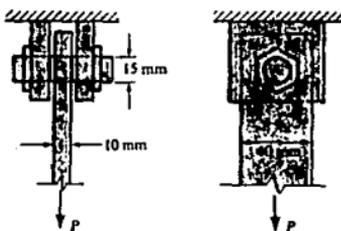


Fig. 28

Por lo que la carga admisible  $P_1$  basada en la tensión de la barra es

$$P_1 = \sigma_{perm} A_{neta} = (120 \text{ MPa})(250 \text{ mm}^2) = 30 \text{ kN}$$

Este cálculo desprecia cualquier concentración de esfuerzos debida a la presencia del barrenado.

Enseguida se calcula la carga permisible basada en el cortante -- del perno. El perno tiende a cortarse según dos secciones transversales, por lo que la fuerza total que puede resistir es

$$P_2 = P_{\text{perm}} (2A)$$

donde A es el área de la sección transversal del perno. Al sustituir valores numéricos se obtiene

$$P_2 = (60 \text{ MPa})(2) \quad 15 \text{ mm}^2 = 21.2 \text{ kN}$$

Al comparar los dos valores anteriores de P, se aprecia que rige el cortante en el perno y que

$$P_{\text{perm}} = 21.2 \text{ kN}$$

es el valor máximo permisible de la carga.

Análisis comparativo de barras del No. 4 Hylsa y Sicartsa

FLUENCIA. menos de 4200?

SICARTSA:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= 5373 & u &= \frac{4200 - 5373}{661} = -1.77 \\ S &= 661 & & \text{de la tabla} \\ C.V. &= 0.12 & F(u) = F(-1.77) &= 1 - 0.96164 = 0.038386 \\ & & & \text{o sea de} \\ & & & \text{cada 10,000 Vrs.} \\ & & & 380 \text{ pueden fallar} \end{aligned}$$

HVLSA:

$$\begin{aligned} \bar{X} &= 6624 & u &= \frac{4200 - 6624}{661} = -3.66 \\ S &= 661 & & \text{de la Tabla} \\ C.V. &= 0.19 & F(-3.66) &= 1 - 0.999831416 = 0.0001685 \\ & & F(3.5) &= 0.999767 \\ & & F(3.66) &= ? \\ & & F(4.0) &= 0.9999683 \\ & & F(3.66) &= 0.999767 + \frac{0.9999683 - 0.999767}{0.5} (0.16) = \\ & & & = 0.99983 \\ & & & \text{de cada 10 000 Vrs. 2 pueden fallar.} \end{aligned}$$

CORTANTE.      menos de 1680 kg

SICARTSA:

$$\bar{X} = 5804$$

$$S = 275$$

$$C.V = 0.050$$

$$u = \frac{1680 - 5804}{275} = - 14.99$$

de la Tabla

el 100% de probabilidad que no resista  
menos de 1680 kg

HYLSA:

$$\bar{X} = 5509$$

$$S = 334$$

$$CV = 0.061$$

$$u = \frac{1680 - 5509}{334} = - 11.46$$

de la Tabla \_\_\_\_\_

el 100% de probabilidad que no resista menos  
de 1680 kg

TENSION . menos de 6370 kg/cm<sup>2</sup>

SICARTSA:

$$\bar{X} = 7116 \quad u = \frac{6370 - 9608}{1188} = 2.72$$

$$S = 1188$$

$$CV = 0.123 \quad \text{de la Tabla } \underline{\hspace{2cm}}$$

$$F(2.5) = 0.99379$$

$$F(2.72) =$$

$$F(3.0) = 0.99865$$

$$F(2.72) = 0.99379 + \frac{0.99865 - 0.99379}{0.5}(0.22)$$

$$= 0.9959284$$

$$F(-2.72) = 1 - 0.9959284 = 0.0040716$$

de cada 10,000 vrs. 40 pueden fallar.

HYLSA:

$$\bar{X} = 9312 \quad u = \frac{6370 - 9312}{846} = 3.47$$

$$S = 846$$

$$CV = 0.09 \quad \text{de la Tabla } \underline{\hspace{2cm}}$$

$$F(-3.0) = 0.99865$$

$$F(-3.47) = 0.00030 \quad F(-3.47) = 0.99865 + \frac{0.999767 - 0.99865}{0.5}(0.47)$$

$$F(-3.5) = 0.999767 \quad = 0.99969998$$

de cada 10,000

3 pueden fallar.

## CAPITULO 10 CONCLUSIONES

Valores de la función de probabilidad para la distribución normal estandarizada.

TABLA 1

Función de distribución acumulada,  $F_z(u) = \int_{-\infty}^u f_z(u) du$

u	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7703	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8889	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9014
1.3	0.9032	0.9049	0.9065	0.9082	0.9098	0.9114	0.9130	0.9146	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9250	0.9264	0.9278	0.9292	0.9305	0.9319
1.5	0.9331	0.9344	0.9357	0.9369	0.9382	0.9394	0.9406	0.9417	0.9428	0.9438
1.6	0.9447	0.9458	0.9468	0.9478	0.9487	0.9496	0.9505	0.9514	0.9522	0.9530
1.7	0.9538	0.9545	0.9552	0.9558	0.9564	0.9569	0.9574	0.9579	0.9583	0.9588
1.8	0.9591	0.9596	0.9599	0.9602	0.9605	0.9607	0.9609	0.9611	0.9612	0.9614
1.9	0.9615	0.9616	0.9617	0.9618	0.9619	0.9620	0.9621	0.9622	0.9623	0.9624
2.0	0.9625	0.9626	0.9627	0.9628	0.9629	0.9630	0.9631	0.9632	0.9633	0.9634
2.1	0.9635	0.9636	0.9637	0.9638	0.9639	0.9640	0.9641	0.9642	0.9643	0.9644
2.2	0.9645	0.9646	0.9647	0.9648	0.9649	0.9650	0.9651	0.9652	0.9653	0.9654
2.3	0.9655	0.9656	0.9657	0.9658	0.9659	0.9660	0.9661	0.9662	0.9663	0.9664
2.4	0.9665	0.9666	0.9667	0.9668	0.9669	0.9670	0.9671	0.9672	0.9673	0.9674
2.5	0.9675	0.9676	0.9677	0.9678	0.9679	0.9680	0.9681	0.9682	0.9683	0.9684
3.0	0.9685	0.9686	0.9687	0.9688	0.9689	0.9690	0.9691	0.9692	0.9693	0.9694
3.5	0.9695	0.9696	0.9697	0.9698	0.9699	0.9700	0.9701	0.9702	0.9703	0.9704
4.0	0.9705	0.9706	0.9707	0.9708	0.9709	0.9710	0.9711	0.9712	0.9713	0.9714
4.5	0.9715	0.9716	0.9717	0.9718	0.9719	0.9720	0.9721	0.9722	0.9723	0.9724
5.0	0.9725	0.9726	0.9727	0.9728	0.9729	0.9730	0.9731	0.9732	0.9733	0.9734
5.5	0.9735	0.9736	0.9737	0.9738	0.9739	0.9740	0.9741	0.9742	0.9743	0.9744

u 2.32 3.09 3.72 4.27 4.75 5.20 5.61 6.00 6.36 6.71  
 $1 - F(u)$   $10^{-2}$   $10^{-3}$   $10^{-4}$   $10^{-5}$   $10^{-6}$   $10^{-7}$   $10^{-8}$   $10^{-9}$   $10^{-10}$

**El ensayo y el sentido común.** La experimentación y el ensayo científicos, así como las matemáticas, han llegado a ser una importante herramienta del ingeniero. El ensayo no debe usarse como sustituto del pensamiento, aunque podría descubrirse que un experimento apropiado pudiera coadyuvar al análisis.

Antes de emprenderse, el propósito de un ensayo debe entenderse bien, y el carácter general de los resultados debe ser previsto. La magia de los ensayos reside eno en iniciarlas y esperar lo mejor, sino en los resultados de la planeación cuidadosa e inteligente y - el lento y penoso proceso de resolver dificultades.

Es importante para el ingeniero interesado en la realización de los ensayos haber desarrollado la habilidad para visualizar lo que - acontece tras de las operaciones físicas de los ensayos las líneas - de esfuerzo y deformación, las reacciones, los movimientos de las -- partes componentes, los circuitos de flujo, etc. Debe percatarse de las oportunidades de error y advertir rápidamente dónde podrían ocurrir los errores. Debe permanecer alerta para advertir lo inusitado, pues ahí yace el embrión del descubrimiento. Debe ser el primero en comprobar sus resultados recurriendo al criterio de lo que aparezca como razonable y estar listo para verificarlos si no lo parecen.

Un experimento o un ensayo permanece inconcluso hasta que se le resume, comprueba e interpreta. Debe constituir el orgullo, como es la obligación, del ingeniero de presentar los resultados de sus descubrimientos de manera clara, enfática, inteligible y agradable. La naturaleza de un informe debe ajustarse para satisfacer las necesidades del auditorio. Las personas no técnicas y los usuarios de materiales no informados poseen una tendencia a pensar en los ensayos, - especialmente las de aceptación, como instrumentos precisos, infalibles y de aplicación general. Los ensayos siempre están sometidos a condiciones limitativas, y los resultados no se pueden informar - apropiadamente hasta que se les ha asignado una interpretación práctica.

Los siguientes comentarios, parafraseados del artículo final -- del libro *Structural Engineering-Strength of Materials*, Ingeniería - Estructural-Resistencia de Materiales) del finado George Fillmore - Swain, resultan pertinentes: El punto a recordar es que tanto en el ensayo como en el uso de las matemáticas, el sentido común siempre - debe imponerse. Al joven ingeniero le conviene cultivar el hábito de desconfiar de lo que no le parezca razonable. A algunas veces las apariencias pueden indicar un resultado incorrecto -el resultado puede serlo; en ese caso sus sentidos necesitan cultivarse. Finalmente, -- puede ser apropiado referirse a un comentario de Aristóteles, quien observó que la característica de una mente instruida es quedar satisfecha con el grado de precisión que la naturaleza del tema admita, y no buscar la exactitud donde solamente sea posible una aproximación de la verdad.

La curva de distribución utilizada fue la distribución normal - debido a la similitud con los histogramas.

El Reglamento de Construcción establece en las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto que el esfuerzo de fluencia de acero de refuerzo es  $4200 \text{ kg/cm}^2$ , este valor es muy razonable conociendo los resultados obtenidos en laboratorio se puede tener la plena confianza que una barra de acero no tendrá una resistencia menor a la solicitada.

La probabilidad de que una barra rectoria resista un esfuerzo de fluencia menor que  $4200 \text{ kg/cm}^2$  es de  $0.13\%$ , es decir por ejemplo de un envío de varillas SICARTSA de  $3/8" \times 380$  de un total de  $10\ 000$  pueden alcanzar el límite de fluencia por debajo de  $4200 \text{ kg/cm}^2$  mientras que HVLSA ofrece que 2 puedan fluir antes de  $4200$ , con certeza al comprar varilla de una u otra marca dependerá exclusivamente del precio, porque la capacidad de resistencia a la tensión es admisible en todos los casos, las probabilidades indican una ligera ventaja de barras HVLSA al superar el límite de fluencia con respecto a otras marcas.

No se realizaron pruebas para conocer la variación que pudieran tener un tipo de corrugado, solamente se revisaron que cumplieran con las especificaciones solicitadas en la Norma B6  
El corrugado de las barras HVLSA es el más adecuado.

En la prueba de doblado ningún espécimen presentó grietas, rupturas, etc, en este renglón existe la confianza que no tendrán problemas al doblar una barra.

La discrepancia entre una u otra varilla puede ser la maleabilidad, SICARTSA mostró mayor maleabilidad.

Es muy importante que el doblado se lleve a cabo en frío y para barras del número 8 y subsecuentemente cuando se tengan que calentarse para doblar, obligatoriamente permitir que se endrien solas, si se enfrían con agua, la capacidad de la barra se reduce en un  $60\%$ .

Una recomendación primordial es que el acero de refuerzo no esté expuesto a la lluvia durante periodos pronunciados, si no será útilizado próximamente el acero, deberá tener apoyos de madera, para evitar el contacto con la tierra mojada, y protegerse con láminas

La terracería reacciona contra la varilla provocando corrosión, aquí la capacidad de las varillas disminuye en un  $40\%$  aproximadamente por la reducción del área y la pérdida de las corrugaciones. No es recomendable la utilización de estas barras en columnas y trabes.

Un requerimiento que hay que cumplir siempre y con especial -- atención son los empalmes de varillas, sobre todo en vigas y columnas, cubriendo con las diferentes longitudes de desarrollo de acuerdo al diámetro de las mismas. Un empalme mal realizado puede provocar una falla impredecible y peligrosa, esta especificación la exige el Reglamento en el artículo

En construcciones con una altura mayor de 9 mts, y sobre todo - de uso habitacional, será necesario llevar a cabo pruebas de laboratorio a muestras de varillas, con cinco probetas será suficiente por cada 20 toneladas.

Una revisión ocular será necesaria confirmando la inexistencia de corrosión principalmente.