

BIBLIOTECA FAC. DE QUIMICA

EL LABORATORIO DE PRUEBAS FISICAS

DEL DEPARTAMENTO METALURGICO

DEL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

JOYO MIRANDA, RAMON HERAYO

1967-



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 esta 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.

RECEIVED
NOV 14 1967
LIBRARY
UNIVERSITY OF MICHIGAN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.

FACULTAD DE QUIMICA.

EL LABORATORIO DE PNEUMAS FISICAS
DEL DEPARTAMENTO METALURGICO
DEL INSTITUTO MEXICANO DE PETROLEO.



QUIMICO

RAMON HORACIO LOYO MIRANDA.

QUIMICO METALURGICO.

1967

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA.

PRESIDENTE. Prof. Mario Medina V.

VOCAL. Prof. Carlos Arango S.

SECRETARIO. Prof. Armando Acosta E.

PRIMER SUPLENTE. Prof. Ioth Contreras R.

SEGUNDO SUPLENTE. Prof. Nicolás Jaimez V.

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA.

INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.

RANCHO HORACIO LOYO MIRANDA.

Sustentante

Q.M. ARMANDO ACOSTA E.
Asesor del Tema.

Q.M. ROBERTO GONZALEZ TORRES.
Supervisor Técnico.

GENERALIDADES

Este aspecto, en la industria mexicana desgraciadamen-

te ha estado un tanto cuanto olvidado y así, grandes empresas son las únicas que cuentan con laboratorios o departamentos encargados de este control, en cambio, en otras, por falta de recursos económicos o por no dar la debida importancia a este aspecto, se carece del mas mínimo control, basándose sólo en la experiencia de fabricación que se tiene sobre cualquier artículo.

Para no sólo para el fabricante es importante este control, tambien para el consumidor resulta interesante y provechoso tener en cuenta la calidad de su compra, con el objeto de pagar el precio verdadero que el producto tenga según su calidad, obteniendo así mayor beneficio de esa inversión.

El Instituto Mexicano del Petróleo atento al problema que tiene nuestro país ha creado un departamento de control de calidad, que si bien controlará los productos que consumen

4

Las industrias petrolera y petroquímica nacionales, por otro lado ayudará a la industria en general.

Este control de calidad será el punto de partida para una investigación para estudiar la forma de resolver los problemas que se presentan con el fin de lograr una mejor calidad en determinando producto y no solamente limitarse a decir que un material no está dentro de la norma exigida.

En este afán como dije antes, el I.N.P. integró un departamento de control de calidad y dentro de éste, una sección para el estudio y control de los metales.

Esta sección metalúrgica estará formada principalmente de dos divisiones o laboratorios; el metalográfico y el de pruebas físicas e mecánicas, como en todas las casas, estas laboratorios guardan una estrecha relación con otros departamentos, principalmente con el analítico, ya que es de gran valor y en algunas ocasiones indispensable para el control de calidad metalúrgico conocer la constitución química del producto que se estudia.

Este departamento analítico cuenta con los aparatos más modernos que existen actualmente, ya que se tiene desde un laboratorio de vía húmeda hasta aparatos como el espectrómetro de masa y el microscopio electrónico que sirven para la investigación en su más alto nivel.

La sección metalúrgica como dije antes se divide en el laboratorio metalográfico y el de pruebas físicas, en este informe de la práctica profesional hablaré de este último

laboratorio, pero a grandes rasgos describiré lo que es la metalografía y su laboratorio.

La metalografía es un amplio campo del estudio de los metales y de la naturaleza esencial de su estructura desde -- grandes magnitudes (macroscopía) hasta niveles estructurales (microscopía), dentro de este conocimiento de la estructura de los metales y sus aleaciones se incluyen estudios de porosidades, segregaciones, precipitaciones, deformaciones y estudios de dislocaciones que no pueden lograr haciendo uso del microscopio electrónico, su laboratorio cuenta con aparatos e instrumentos muy variados, desde la preparación de muestras -- hasta el ataque con reactivos adecuados y su observación, esto a grandes rasgos es la metalografía, pero esta se encuentra íntimamente relacionada con las pruebas físicas y aunque pueden existir una técnica sin la otra, lo mejor es que las dos estén relacionadas para lograr los mejores resultados.

Todos los metales están sometidos durante su servicio a infinidad de esfuerzos ya sea que tiran, empujan, tuerca, etc. como estas fuerzas no se pueden medir directamente, lo que se hace es utilizar una máquina que produzca estos esfuerzos y con esto tener conocimiento del probable comportamiento de un material para un trabajo dado y específico, ya que de dicho trabajo dependerán sus propiedades, pues si bien, un material puede tener propiedades excelentes para un uso especial, estas mismas pueden resultar malas para otro.

Las pruebas de propiedades mecánicas más usadas en la valoración de la calidad de los productos metálicos son:

tensión, compresión, doblado, dureza, impacto en barra recortada y algunas otras pruebas como las de Creep y las de fatiga.

Pueden usarse otro tipo de pruebas dependiendo del producto particular o su uso propuesto. Generalmente los valores obtenidos para cada una de las pruebas pertenecen específicamente a la muestra seleccionada. Es esencial, por lo tanto, seleccionar debidamente las muestras para que los resultados puedan considerarse representativos de un producto metálico.

Se ha mencionado anteriormente requisitos obligatorios para las dimensiones de estas especificaciones. Confiar con estas regulaciones es esencial si el resultado de estas pruebas está satisfactoriamente el productor y el consumidor, también es un deber de cooperación, es esencial cuidar y uniformar los procedimientos a seguir en el momento y durante la ejecución de pruebas, estos procedimientos pueden ser usados siempre que no exista cambios por temperatura o distorsiones, las que pueden afectar los valores de la prueba.

El tamaño y la preparación adecuada de las especificaciones de prueba requieren cuidadosa atención a los valores resultantes satisfactorios.

Para la muestra de un producto metálico, el productor se propone el tamaño y forma que debe tener, en la forma más adecuada y sin afectar sus propiedades.

PREPARACION DE MUESTRAS

Los especimenes para pruebas de productos metálicos son preparados de muestras que tienen dimensiones empíricas, de forma y tamaño acordadas, que han venido a reconocerse como estándar, ya que los cambios de forma y tamaño afectan apreciablemente algunos resultados en las pruebas de propiedades mecánicas.

Se ha encontrado necesario establecer requisitos obligatorios para las dimensiones de estos especimenes. Conducen a resultados satisfactorios con estos requisitos es esencial si el resultado de estas pruebas debe satisfacer plenamente al productor y al consumidor, también si va a hacerse una comparación, es esencial cuidar y uniformar los procedimientos a seguir en el maquinado y acabado de especimenes de prueba. Estos procedimientos pueden ser usados siempre que no causen cambios por temperatura e distorsiones, las que pueden afectar los valores de la prueba.

El muestreo y la preparación adecuada de especimenes de prueba requieren cuidadosa atención si se esperan resultados satisfactorios.

Dada la muestra de un producto metálico, el problema es prepararla del tamaño y forma que debe tener, en la forma más económica y sin afectar apreciablemente sus propiedades.

Si la muestra debe ser cortada, la porción adyacente al lado del corte se encontrará afectada si el calor de cortado es alto. La cantidad de material adyacente que debe ser renovado de los lados de la muestra depende de varios factores, pero principalmente del tamaño del artículo y de su clase.

También es importante la clase y tamaño del cortador usado en la preparación. Una regla de seguridad es remover una cantidad de material igual al espesor del material cortado.

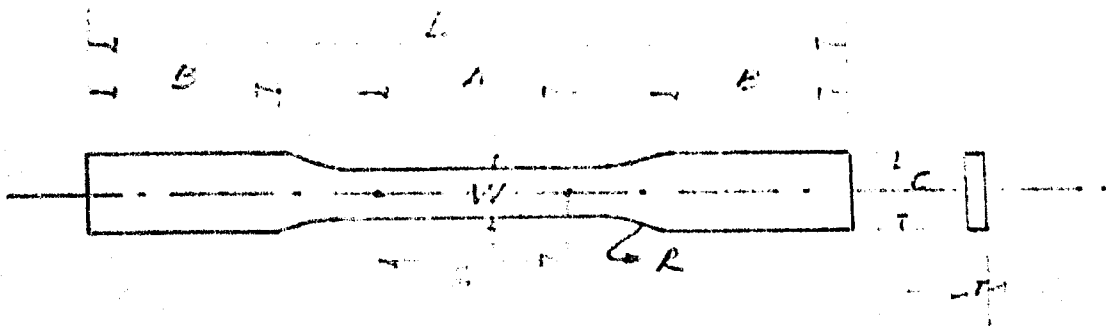
Espejismos de Tensión.

Algunos de los tipos de especímenes para pruebas de tensión más usados para hojas, placas, bandas y productos metálicos tubulares de pared delgada son mostrados en la fig. 1.

Los tipos de especímenes más pequeños tienen dimensiones específicas más detalladas que los grandes porque la experiencia ha mostrado que los detalles adicionales indicados son necesarios para obtener resultados satisfactorios.

Uno de los requisitos esenciales es el eje de simetría principal, para obtener tensiones uniformes o axiales durante la prueba.

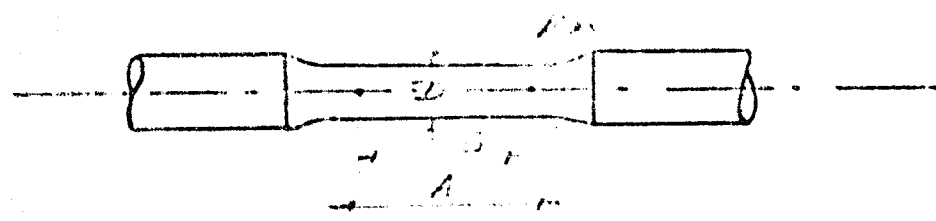
El acabado final de la muestra en especímenes de tensión es importante que sea de alta calidad. Las superficies -



DIMENSIONES

	mm	inch
G Longitud de flecha	50.0 ± 0.10	2.000 ± 0.005
W Ancho	12.5 ± 0.25	0.500 ± 0.010
T Espesor (Max)	15	3/8
E Radio (Min)	12	1/2
L Longitud Total de la probeta (mm)	200	8
R Longitud de la seccion reducida (mm)	60	2 1/2
B Longitud de la seccion para medidas	50	2
C Ancho de la seccion para medidas	20	3/4

fig 1



DIMENSIONES

	mm	inch
G Longitud de flecha	50.0 ± 0.10	2.000 ± 0.005
D Diametro	12.5 ± 0.25	0.500 ± 0.010
R Radio (mm)	10	3/8
A Longitud de la seccion reducida	60	2 1/2

fig 2

deben ser lisas, las esquinas libres de rebabas y de otras irregularidades indeseables.

Durante la preparación y el manejo de especímenes debe tenerse cuidado, para evitar deterioros tales como: picaduras, rasguños, marcas impropias, etc.

El laboratorio de pruebas físicas de este Instituto contará con un aparato llamado Tensil-kut con el cual se preparan muestras para prueba de tensión de diferentes medidas. Este aparato está integrado principalmente de un cortador y plantillas que tienen la forma y dimensiones de las probetas.

Cuando el material no es apropiado para hacer probetas planas se maquinan muestras de sección circular, estas se ilustran en la fig. 2. Algunas de estas probetas son roscadas.

Para especímenes de prueba de productos tubulares se utilizan unos tapones (plugs) en los extremos de la muestra.

En general, los plugs deberán ser maquinados a una medida que sólo requiera un empuje ligero para meterlos dentro del tubo y preferentemente sin lubricante. Fig. 3.

El tamaño de los plugs estará de acuerdo con el tamaño de las mordazas de la máquina de prueba.

Otros materiales tubulares de gran tamaño se prueban, preparando especímenes rectangulares. Algunas máquinas tienen mordazas de paredes curvadas para probar este tipo de muestras.

En el caso de metales no están -
 ensa de tracción, tentativa-
 nes tres tipos como los mejo-
 rando exclusivamente para es-
 tal a esta prueba. La muestra
 de la resistencia a la compres-
 se determinar el módulo de

(PULG.)

± 0.05
 ± 1/8
 ± 1/8
 ± 1/8
 min.

de dimensiones requeridas para
 en la fig. 4.

ción resulta mas difícil obte-
 en las pruebas de tracción.

ción es, que en las pruebas de
 la carga aumenta, cuando es -
 tras que, en las pruebas de -
 de a disminuir cuando aumenta
 ralmente dentro del límite plás-

ANCIA
 NTR
 ONTES

12
 18
 2-1

streses de la probeta de compre-
 Este es, la superficie de los
 eje del espécimen dentro de -
 caso de muestras de tracción y
 quizadas hasta tener una super-
 as esquinas del espécimen deben

PROBETA	DIAMETRO (PULG.)	LONGITUD (PULG.)
PEQUEÑO	$1\frac{1}{2} \pm 0.01$	1 ± 0.05
MEDIANO	0.75 ± 0.01	$2\frac{3}{8} \pm \frac{1}{8}$
	1.0 ± 0.01	$3 \pm \frac{1}{8}$
GRANDE	$1\frac{1}{8} \pm 0.01$	$3\frac{3}{8} \pm \frac{1}{8}$
	$1\frac{1}{4} \pm 0.01$	$12\frac{1}{2} \text{ min.}$

fig 4

PRUEBA DE BARRA TRANSVERSAL	DIMENSIONES		DISTANCIA ENTRE SOPORTES
	DIAMETRO (PULGADAS)	LONGITUD (PULGADAS)	
A	0.875	15	12
B	1.20	21	18
C	2.00	27	24

fig 5

ser afiladas y libres de rebaba, picaduras, rasguños o cualquier otra irregularidad ya que esto produciría concentraciones de tensiones durante la prueba, un requisito final frecuentemente menospreciado es que los extremos del espécimen y las superficies que estén en contacto durante la prueba sean limpiados y secados antes de iniciarse ésta, el limpiado puede hacerse con cualquier solvente adecuado.

Existen bloques de compensamiento ajustable adecuados para corregir la falta de paralelismo de las placas de la máquina de prueba.

Especímenes de Doblado.

Los especímenes de prueba requeridos para la prueba de doblado son del tipo rectangular o redondo. El tipo rectangular es preferido con un ancho que sea tres veces el espesor. Los lados del espécimen deben estar lisos y las esquinas deben tener un radio no mayor que un octavo del espesor de la muestra. La longitud del espécimen es variada en relación al espesor, se le considera poco importante permitiendo que la longitud sea suficiente para ejecutar la operación de doblado. Cuando el tipo redondo se usa, los resultados pueden ser considerados como una medida de la elongación de los productos metálicos.

Algunas pruebas son hechas por doblado de una tira o pieza de metal alrededor de un mandril de dimensiones especi-

ficas, por medio de aplicaciones fijas de carga o por martilla de donde la ruptura ocurre en un ángulo de 90° a 180° .

La prueba de doblado es una de las mejores y de las más simples, los resultados obtenidos son afectados por el procedimiento seguido y el aparato usado.

La prueba mejor conocida como de flexión transversal es aplicada a materiales frágiles como el fierro fundido y se considera algunas veces como prueba de doblado. Se han estandarizado tres tamaños de especímenes cuyas dimensiones se ilustran en la fig. 5.

Especímenes de Impacto.

Los tipos de especímenes y sus tamaños recomendados por la A.S.T.M. son mostrados en la fig. 6.

Las probetas no recortadas de $\frac{1}{2}$ de pulgada han sido usadas para controlar la fundición a presión de metales no ferrosos. En estos experimentos se han usado diversos tipos de muestras, tamaños y formas y seguramente pronto aparecerá un tipo de espécimen que satisfaga todas las necesidades en los diferentes metales.

En algunas aplicaciones, la prueba de barra recortada presenta notables méritos pero en otras, los resultados han sido obtenidos de valores dudosos.

Otras formas de la prueba de impacto es la que se realiza con repetidos choques y la prueba de torsión-impacto, esta una requiere tamaños de especímenes diferentes.

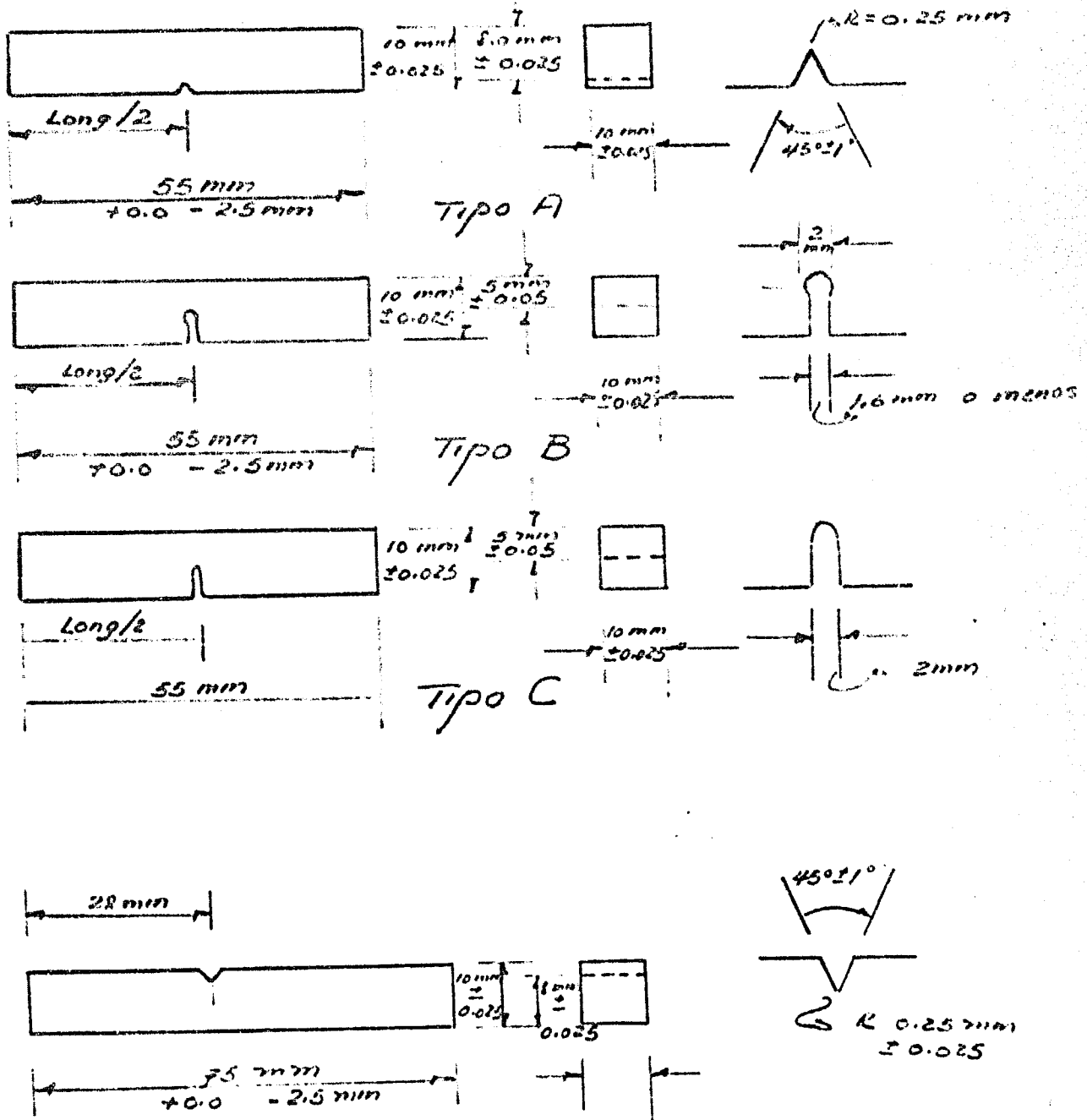


fig 6

En la zona elástica existe una relación entre el esfuerzo y la deformación que se conoce como Ley de Hooke, su expresión matemática es la siguiente:

$$\epsilon = \frac{1}{E} \sigma$$

donde: ϵ es la deformación; σ el esfuerzo y E es el módulo de Young.

El módulo de Young es la propiedad elástica más importante de los metales y sus aleaciones.

No se conoce ningún medio para incrementar el valor de E de un material dado y sólo con un cambio muy notable en la composición de la aleación se logra este propósito, por otra parte, su valor se puede disminuir produciendo tensiones internas en el material (endurecimiento por precipitación eutectoide, deformación en frío), y la temperatura también varía este valor.

Ahora, analicemos una curva tensión-deformación ilustrada en la fig. 7.

Un cristal metálico es anisotrópico respecto a las deformaciones, pero si consideramos que una barra está formada por millones de cristales y debido a su orientación éstos se comportan como isotrópicos.

Así vemos en la gráfica que al ir aumentando el esfuerzo no se nota deformación alguna, o si la hay no es permanente, hasta llegar a un punto, éste es de suma importancia y se le conoce como punto de fluencia o límite elástico; en algunos

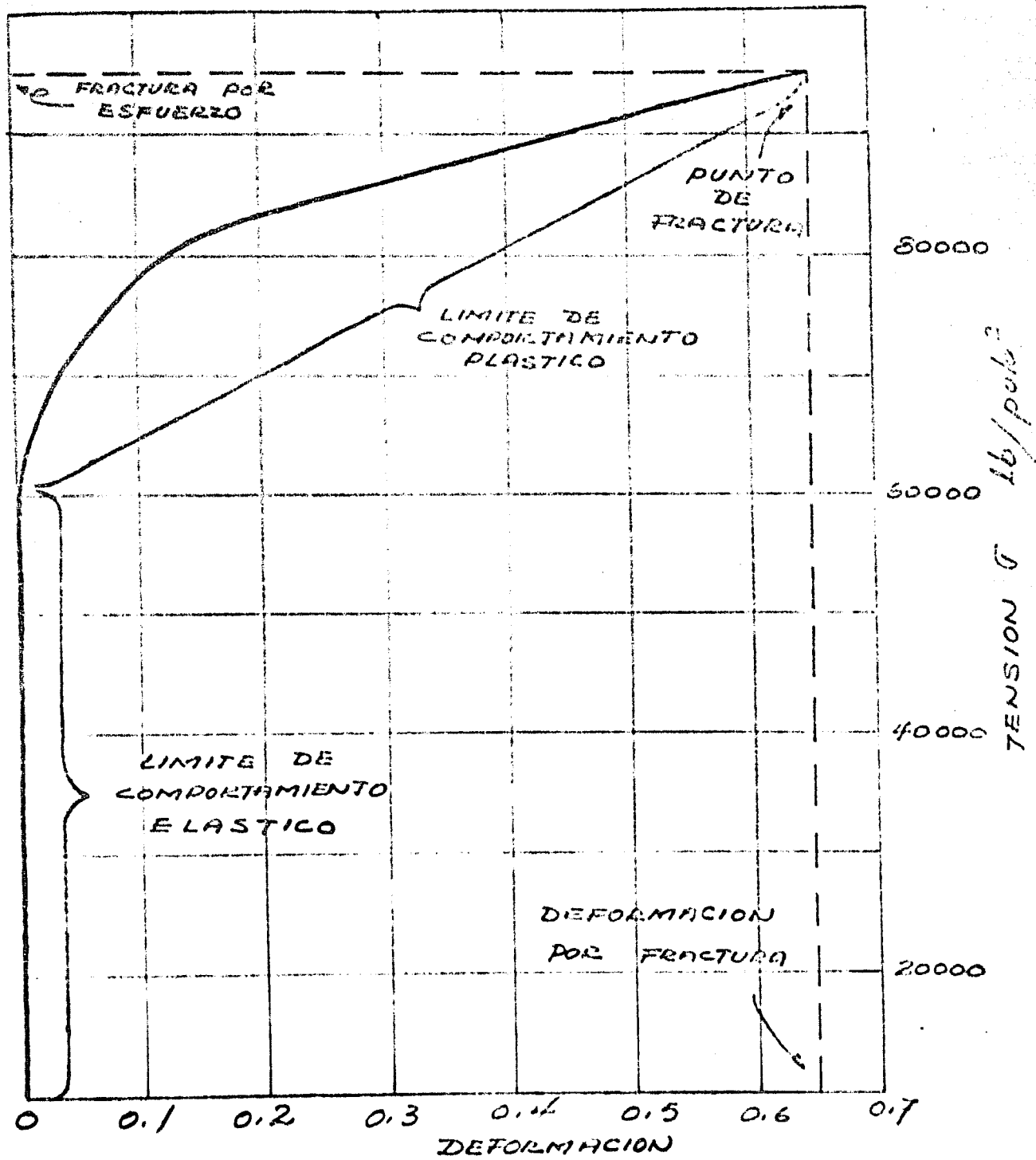


fig 7

material es muy claro, mientras que, en otros aparece uno inferior y otro superior como en los aceros, y hay algunos materiales en que es tan poco claro que se considera que el límite de fluencia es el esfuerzo capaz de producir una deformación del 0.2%. A partir de este punto la deformación, se dice que es plástica, esto es, es ya una deformación permanente y sucede que al ir sometiendo la pieza a un esfuerzo esta se va endureciendo por trabajo mecánico y por consiguiente requiere cada vez de un esfuerzo mayor hasta que llega al punto en que el esfuerzo es tal, que el material cede y se produce la fractura, la fractura es un tema importante del que hablaremos después.

Es claro, de lo visto anteriormente que lo importante en una prueba de tracción es el conocer el límite elástico del material, ya que este dato servirá de base en el momento de hacer el cálculo necesario para el correcto uso del material.

Por otro lado, muchas técnicas de fabricación tales como: laminación, extrusión y estampado dependen de la posibilidad de deformar plásticamente un metal sin que sufra fractura. Esto hace necesario conocer la ductilidad y la velocidad de endurecimiento por trabajado.

El valor del límite elástico como dijimos es el límite práctico para efectuar los cálculos de diseño y es alterado por algunos factores como:

Los elementos de aleación hacen que este valor aumente en comparación con el del metal puro.

Este límite disminuye al aumentar la temperatura, cosa que ya no tiene mucha importancia pasando a ser más útil la velocidad de fluencia o creep, que estudiaremos más adelante.

La microestructura también ejerce una notable influencia.

Otro dato importante que se obtiene de la prueba de tracción es la elongación que se mide en porcentaje tomando una distancia determinada, esta puede ser dos pulgadas, diez pulgadas, etc. Este valor está especificado en muchas normas en un máximo y mínimo y en otras ocasiones es un dato complementario para conocer las propiedades del material que se prueba.

Durante la deformación elástica hay un cambio de volumen. En cambio, la deformación plástica se realiza a volumen constante, es decir,

$$A_0 \cdot l_0 = A_t \cdot l_t = K$$

Como l aumenta durante la deformación, A debe disminuir y es esto lo que se observa en la práctica.

Ahora, si representamos el esfuerzo y la deformación en el rango elástico y en el plástico observaremos diferencias.

En el rango elástico

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad \epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad 2 \text{ (2)}$$

donde:

P es la carga, l la longitud final y l_0 la longitud inicial.

Este es válido cuando ϵ es pequeño, pero en la deformación permanente en que ϵ es grande tenemos:

$$\sigma = \frac{P}{A_i} \quad \delta = \int d\epsilon = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} = \int_{l_0}^{l_i} \frac{1}{l} dl = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

Por lo tanto, $\delta = \ln \frac{l_i}{l_0}$ (2)

Se debe hacer notar que en la industria se calcula la deformación a partir de la ecuación (2), y la ecuación (4) es sólo válida si la deformación es uniforme en toda la longitud considerada; si hay estricción se calcula de la siguiente forma:

$$\delta = \int_{l_0}^{l_i} \frac{dl}{l} = \int_{d_0}^d \frac{d \ln d_0}{d}$$

donde d_0 es el diámetro inicial y d el final

La parte de la barra que se deforma uniformemente se llama zona de deformación uniforme y la parte que se deforma por estricción se llama zona de estricción. La zona de estricción es la zona en la que el material se deforma por estricción y se produce la ruptura del material.

En la zona de deformación uniforme el material se deforma por deformación homogénea y el diámetro de la barra se reduce uniformemente.

1. En la zona de deformación uniforme...
2. En la zona de estricción...

PRUEBA DE COMPRESION.

Es otra de las pruebas que se efectúan en las llamadas Máquinas Universales, esta prueba guarda gran similitud con la prueba de tracción hasta el punto en que también se puede obtener una gráfica esfuerzo-deformación, aunque el esfuerzo en este caso es en sentido contrario, ya que como su nombre lo indica, en ésta, la muestra se comprime.

Esta prueba es menos usada que la vista anteriormente, y se supone que los metales tienen un comportamiento igual para los esfuerzos de tracción que para los esfuerzos de compresión y si en algún caso existe una diferencia la resistencia a la compresión resultará mas alta.

La razón por la que la prueba de tracción es mas usada es que se considera que ésta da resultados suficientes para conocer la calidad de un material. Esta suposición es válida hasta cierto punto, razón por la cual a últimas fechas se ha incrementado el uso de la prueba de compresión principalmente en materiales delgados.

Ahora, si comparamos las pruebas de tracción y compresión observaremos que esta última se encuentra en desventaja con la anterior ya que.:

1. Da menos información.
2. Al aumentar el esfuerzo de compresión cuando el material es muy dúctil, éste tiende a aumentar su diámetro en forma

Indefinida, lo que impide obtener valores equivalentes al porcentaje de elongación y de reducción de área; además la resistencia máxima tiene poco sentido.

3. Para obtener buenos resultados, la máquina debe estar en condiciones de alineación inmejorables, con que no se tan propiamente de la máquina, de la prueba y de la muestra. Se requiere además gran precisión en la medida de deformación. Las medidas preferentemente deben hacerse en lados opuestos del espécimen, la Fig. 7.

a menos que previa experimentación se conozca que la distribución de esfuerzos es uniforme en toda la muestra, en este caso sí se puede medir la deformación en un solo lado.

Las deformaciones deberán ser medidas entre dos puntos marcados en el espécimen y no entre las caras opuestas del mismo.

Las deformaciones se miden en las partes de la muestra para esta prueba de tensión, así como las del material con las de sección transversal rectangular con caras redondas, aunque también se usan las de sección redonda, en algunas ocasiones como las varillas usadas en cimentación en que se prueban sin necesidad de preparar una probeta.

En esta prueba a diferencia de las anteriores, el resultado no se expresa en forma numérica sino simplemente se informa al la muestra resiste o no al esfuerzo si que se usó la.

PRUEBA DE DOBLADO.

La prueba de doblado es una de las mas simples y menos costosas de las pruebas mecánicas para la evaluación de las propiedades de los metales. Esta prueba tiene la ventaja de que sirve de guía para conocer la ductilidad de los metales.

La manera más simple de hacer la prueba se ilustra en la fig. 7.

El doblado ocurre entre dos soportes rígidos y por medio de un dispositivo adecuado se aplica la carga necesaria. Esta prueba tambien se hace en la Máquina Universal.

Las especificaciones de las normas mas usuales indican que las pruebas deben hacerse a 90° , 120° y 180° según la clase de material y el uso a que será destinado.

Han sido usadas gran variedad de muestras para esta prueba de doblado, aunque las mas usuales son las de sección transversal rectangular con cantos redondos, aunque tambien se usan las de sección redonda y en algunas ocasiones como las varillas usadas en cimentación en que se prueban sin necesidad de preparar una probeta.

En esta prueba a diferencia de las anteriores, el resultado no se expresa en forma numérica sino simplemente se infiere si la muestra resiste o no al esfuerzo al que se somete.

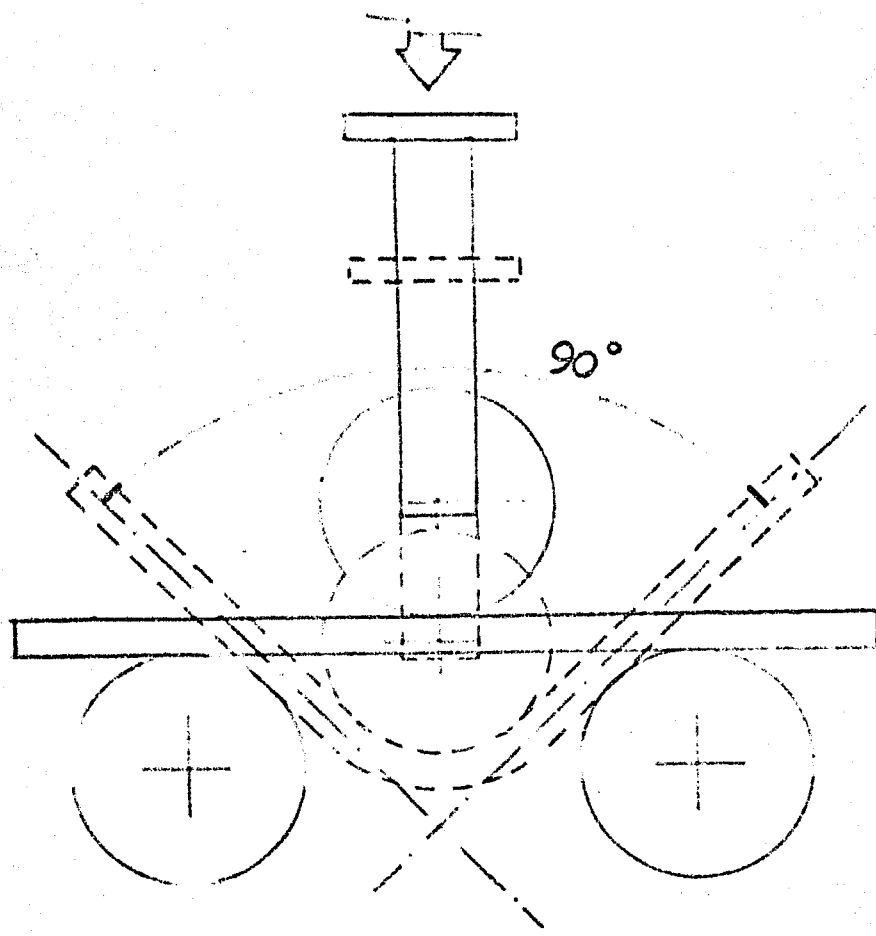


fig 8

PRUEBA DE IMPACTO.

Los ensayos de impacto miden la energía necesaria para fracturar una muestra por una carga de choque o impacto, un metal puede ser duro y tener gran resistencia a la tracción - pero no ser adecuado para resistir impactos muy intensos.

Para valorar la resistencia al choque de los metales - se utilizan diferentes métodos, pero los mas usuales son: el de Izod y el de Charpy, ambos se basan en la energía que absorbe un material para fracturarse cuando un péndulo o martillo se deja caer de una altura dada.

Las probetas que se usan ya se describieron en el capítulo referente a preparación de muestras.

En España a estas pruebas se les conoce como ensayos de resiliencia.

Este tipo de ensayo sirve para determinar la temperatura de transición dúctil-frágil de un material.

Se han dado casos en los que puentes, barcos, etc. se parten en pedazos, al investigar estos fenómenos de fallas en estos aceros se observó que son dúctiles a una temperatura dada pero a cierta temperatura, generalmente mas baja cuando se les somete a esfuerzo sufren una transición dúctil-frágil.

Los factores que contribuyen a una fractura frágil son:

- a) Un estado de tensiones triaxial. Si observamos una de las probetas usadas en este ensayo notamos una entalla y al fondo de ésta cuando la probeta se flexiona origina tensión

En las de tracción radiales y transversales, además de la tensión de tracción longitudinal. Esta condición de tensión - triaxial lleva las tensiones necesarias para que comience la deformación plástica y tiende a producir rotura con un flujo plástico pequeño.

b) Bajas temperaturas.

c) Alta velocidad de deformación o una carga muy rápida.

Los aceros como casi todos los metales que presentan una estructura cúbica centrada absorben más energía cuando se fracturan en forma dúctil que cuando lo hacen en forma frágil, de donde observamos claramente que esta prueba nos pueda proporcionar la temperatura de transición dúctil-frágil con sólo hacer una serie de pruebas variando la temperatura del ensayo.

La forma de la entalla es determinante en esta temperatura por lo que siempre se trata de usar el mismo tipo de entalla, para tener base de comparación.

Una entalla más aguda da una temperatura de transición aparentemente más alta.

En la práctica se utilizó un tipo de entalla con una carga de 5000 Kg. para las pruebas de impacto y 200 Kg. para las pruebas de tracción.

Para cada tipo de ensayo se hicieron 10 ensayos durante 10 días, para el impacto se hicieron 10 ensayos.

El ensayo de tracción se hizo por medio de un microscopio que tiene un ocular graduado generalmente en G. I. cm.

PRUEBA DE DUREZA.

La dureza es una propiedad algo difícil de definir y generalmente lo que se hace es definirla en función de la prueba para medirla, así para minerales se usa la escala de Mohs y se define como la resistencia que presenta un mineral a ser rayado por otro.

Para medir la dureza en los metales los métodos más usuales son los de penetración y se dice que la dureza es la resistencia que presenta un metal a ser penetrado por un cuerpo.

A continuación, describiremos los métodos de dureza más usados. El uso de carga pesada (3000 Kg.) y un bola de acero de penetración lenta se emplea para durezas relativamente grandes.

Prueba de Dureza Brinell.

La prueba de dureza Brinell consiste básicamente en una prueba de dureza por penetración en una prensa hidráulica vertical y manual, diseñada para formar un penetrador de bola en la muestra.

La prueba requiere el uso de una bola de acero de 10 mm \pm 0.0025 milímetros de diámetro y una carga de 3000 Kg. para metales ferrosos y 500 Kg. para muestras no ferrosas.

Para especímenes ferrosos la bola es presionada durante 10 seg., para no ferrosos el tiempo es de 30 seg.

El diámetro de la impresión se mide por medio de un microscopio que tiene un ocular graduado generalmente en 0.1 mm.

Quando se desean números de dureza mas apropiados se recomienda un portaobjetos micrométrico que aproxima ± 0.01 mm.

El número de dureza Brinell es la relación de la carga en Kg. al área impresa en mm^2 y se calcula mediante la siguiente fórmula:

donde:
$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

P es la carga de la prueba en kilogramos

D el diámetro de la bola empleada en milímetros

d el diámetro de la impresión en milímetros

Ordinariamente este cálculo no es necesario, ya que existen tablas para convertir el diámetro observado a BHN.

El uso de cargas grandes (3000 y 500 Kg.) y un solo tamaño de penetrador limita la prueba para muestras relativamente grandes.

Prueba de Dureza Rockwell.

La prueba Rockwell es hecha por la elevación lenta del espécimen contra el penetrador hasta que, sea aplicada una carga. Esta es indicada con un índice en una carátula, la carga total es aplicada por medio de una palanca, la velocidad de descenso de esta palanca es controlada por un amortiguador de aceite.

Al completarse el descenso de la palanca la carga mayor es quitada, cuando la carga menor está todavía activa y el número de dureza Rockwell es leído en la carátula, esta

lectura está basada en la diferencia de profundidades de la carga mayor menos la de la carga menor, esta última carga tiene por objeto eliminar el posible error por fallas en la superficie de la muestra.

Para cubrir todos los límites de dureza se tienen dos tipos de máquinas; la Rockwell normal para especímenes de espesores grandes y la superficial para muestras delgadas. Cada una de estas con diferentes escalas haciendo uso de penetradores y cargas diversas.

Los penetradores son bolas de acero de $1/16$, $1/8$, $1/4$, y $1/2$ de pulgadas y un cono de diamante con una amplitud de 120° . Las cargas para la máquina normal son 60, 100, 250 Kg. y 15, 30 y 45 Kg. para la superficial.

Una división de la carátula de la Rockwell normal mide un desplazamiento vertical de 0.002 mm. y en la superficial de 0.001 mm.

Estas máquinas deben ser chequeadas frecuentemente con bloques de prueba estandarizados y que son curtidos por el fabricante.

Prueba de Dureza Vickers.

Esta prueba, emplea un penetrador piramidal de base cuadrada, es de diamante con una amplitud de 136° , las cargas usualmente tienen un límite de 5 a 100 Kg.

Para hacer una prueba el espécimen es elevado hasta que está mas o menos a 1 mm. del penetrador y por medio de un

sistema de palancas es accionado el peso, la velocidad aquí también está regulada por un amortiguador de aceite.

La impresión es medida a través de un microscopio ajustado con un ocular micrométrico.

La impresión aparece como un cuadrado obscuro en una pantalla luminosa.

Se provee de tablas para convertir la medida de la impresión en milímetros a Dureza Vickers (D.P.H.) o se puede usar la siguiente fórmula:

donde:

L es carga en kilogramos

d longitud de la diagonal de la impresión en milímetros.

Para pruebas ordinarias las cargas usuales son de 5 a 100 kilogramos.

También existen bloques estandarizados para checar la máquina.

$$DPH = \frac{1.854L}{d^2}$$

Prueba de Eberbach.

Es un descubrimiento reciente en el uso de la escala DPH para pruebas de microdureza. La unidad de penetración es una pirámide de diamante.

Para hacer una prueba se selecciona un campo por medio

del microscopio, luego ésta se substituye por el penetrador y se hace la prueba, por último, con un ocular micrométrico se lee la huella. Esta prueba presenta la ventaja de que se puede determinar la dureza de constituyentes estructurales. Sus límites de carga son de 7.5 a 550 Kg.

Existe otra prueba que es la Tukon que tiene gran semejanza con la prueba Vickers.

MÁQUINAS PORTÁTILES.

Máquina Brinell. Esta máquina es capaz de hacer una prueba Brinell estandar con cargas de 500 a 3000 Kg. El diseño provee de un dispositivo que facilita que la máquina sea usada en cualquier posición; su peso completo es de 12 Kg.

Escleroscopio. Este instrumento ya no es de los que aprueba la dureza por penetración, sino que lo hace midiendo el rebote de una esfera de acero que topetea al caer por su propio peso en el espécimen de prueba. La bola de acero opera dentro de un tubo de cristal en el cual está inscrita una escala para medir la altura del rebote. Algunos aparatos traen una carátula para registrar estas alturas.

Esta prueba se usa específicamente para medir superficies lisas que no pueden ser marcadas por una penetración. Una superficie rugosa producirá resultados falsos.

De las pruebas de dureza se derivan considerable información, aunque para esto se requiere del conocimiento de la composición y condiciones del metal que se prueba.

Da una idea rápida de las condiciones del material, ya que generalmente todos los tratamientos que se les da a los metales van acompañados de un cambio en su dureza; así mismo, existe una relación entre la prueba de dureza y la resistencia a la tracción. Esto no quiere decir que en algún caso la pueda substituir.

Otra de sus aplicaciones es la información que da al espesor de una carburación, nitruración, etc. o de un tratamiento térmico (templabilidad).

Las máquinas deben revisarse y dárseles servicio con cierta regularidad.

Una baja velocidad en la aplicación de la carga es preferible para evitar que el impacto de ésta sea muy fuerte.

Como algunos metales exhiben altas velocidades de flujo bajo la carga, es conveniente con el fin de obtener resultados exactos que el tiempo de aplicación de la carga sea siempre el mismo.

El penetrador, debe estar en buenas condiciones. El yunque en el cual el espécimen descansa debe estar plano y limpio, debe tenerse cuidado de no llevar el yunque hasta el

penetrador y cuando el material es delgado y se desconoce su dureza debe aplicarse una carga baja para evitar que este penetrador deteriore al yunque.

La muestra puede ser de un espesor suficiente que cuando se realice la prueba, dicha muestra no se haga convexa e - aparezca otra marca en la superficie opuesta a la penetración. El espesor recomendado es de por lo menos 10 veces el espesor de la impresión.

La superficie de la muestra, en la cual se hará la penetración deberá ser plana y representativa, libre de hoyos, escamas o grasa.

Para lograr una buena exactitud en una prueba de dureza por penetración, la superficie del espécimen debe ser plana y normal al eje vertical del penetrador. Un espécimen que se extiende más allá de los lados del yunque debe estar apoyado. Cuando se va a probar una forma cilíndrica debe prepararse una superficie plana o utilizar un yunque apropiado.

En el Instituto Mexicano del Petróleo se contará con dos máquinas Rockwell, una normal y otra superficial por ser ésta la prueba de mayor uso actualmente, además se tendrá un Escleroscopio y para la prueba Brinell, la máquina universal tiene un aditamento especial para realizarla.

PRUEBA DE FATIGA.

La prueba de fatiga es de gran importancia en los diseños, pues muchas piezas están sujetas a pequeños esfuerzos repetidos y así vemos anteriormente que, para esfuerzos estáticos lo importante es el límite elástico, para esfuerzos dinámicos se precisa de la medida de la resistencia a la fatiga.

La prueba de fatiga se hace en máquinas, algunas de constitución simple hasta algunas que son controladas electrónicamente como la H.F.S., pero en todas lo que se trata de obtener es que a un número de ciclos de esfuerzos repetidos la pieza falle y con esto medir su resistencia a la fatiga.

Se tiene conocimiento de que si una muestra metálica es sometida a fluctuaciones de tensiones puede romperse a tensiones hasta 1/2 menores que la tensión de ruptura en condiciones estáticas. En estas condiciones se dice que la pieza se fatigó.

Como se dijo al principio de este trabajo, lo que se trata en el laboratorio es tener una máquina que produzca efectos semejantes a los producidos en una pieza durante la práctica, por esta razón la tecnología creó estas máquinas.

Si para la prueba de tracción se graficaba esfuerzo contra deformación, en este caso se grafica el esfuerzo S , contra el número de ciclos N , a esta curva que se obtiene se le conoce como "Curva de Wöhler".

Una curva de este tipo se ilustra en la fig. 9.

Resistencia a la Tracción

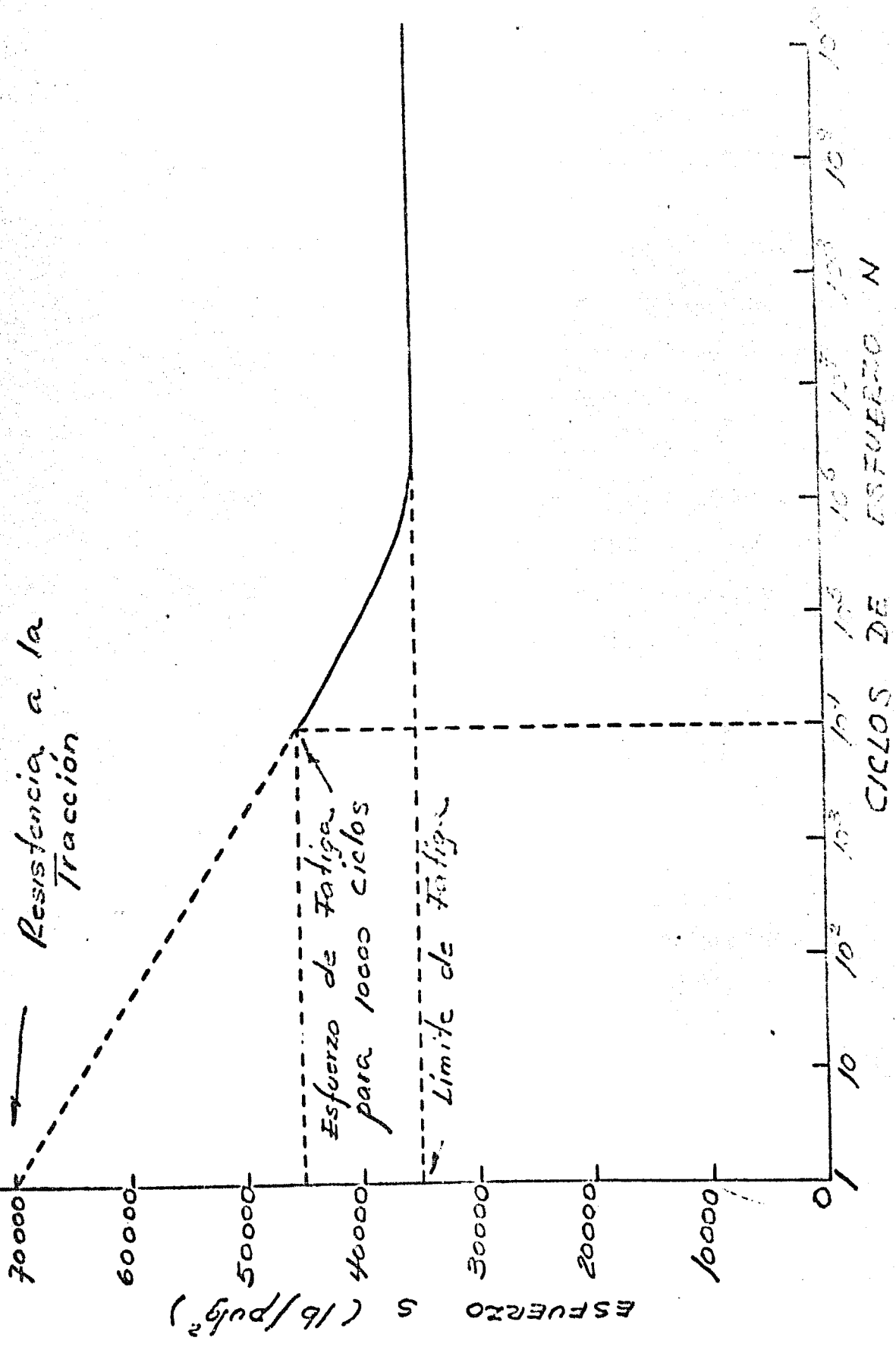


fig 9

Las curvas muestran que muchos metales pueden soportar un número infinitamente grande de ciclos con tal de que el esfuerzo se encuentre por abajo del límite de fatiga.

Conviene señalar que algunos materiales, las aleaciones de aluminio no tienen un límite de fatiga bien definido.

Cuando se trata de concluir algo de los datos que de la prueba de fatiga se obtienen, deben tomarse muy en cuenta, los procedimientos seguidos en la prueba, ya que, en las máquinas citadas las probetas pueden ser fatigadas por tensión-compresión o por torsión-flexión.

Aunque hay que hacer notar que las condiciones de trabajo en el servicio difieren significativamente de las que se ven en los ensayos típicos de fatiga, la influencia de alguno de estos factores de servicio se pueden estimar aproximadamente en la siguiente forma:

1. Un acabado superficial de mecanizado puede reducir el límite de fatiga en un 20%, una entalla superficial en un 40% y condiciones corrosivas en más del 50%.
2. Las tensiones de compresión permanentes pueden aumentar el límite de fatiga en un 25%.
3. Las piezas de máquinas de un diámetro mayor de un cuarto de pulgada, resistirán menos en un 20% que las probetas usadas en el laboratorio.

En las aleaciones ferrosas, la tensión permisible disminuye cuando el número de ciclos aumenta hasta que la

tensión alcanza un valor al cual, la muestra tiene un tiempo de vida infinito.

En la mayoría de las aleaciones no ferrosas, la tensión disminuye al aumentar el número de ciclos, aunque la pendiente de las curvas S-N disminuye.

En los aceros se observan bracos y que por consiguiente así se lo ilustra en la gráfica.

Una cosa de mucha importancia es la siguiente, a temperaturas menores de un 40% del punto de fusión de cualquier metal, el acero es dúctil, lo que se sucede a temperaturas mayores donde es un proceso muy marcado y debe tomarse en cuenta cuando se diseña una pieza que trabajará a altas temperaturas.

De aquí, que algunos autores y científicos definen al acero como: una prueba de fluencia es deseable.

Esta prueba como se toman por las razones mencionadas ha surgido de la necesidad de lograr características iguales a las que se tendrán en la práctica, así, algunas que trabajarán durante largos períodos a temperaturas elevadas, como las que constituyen los motores de combustión interna, máquinas de vapor, turbinas de gas, etc.

Hay que diferenciar los aceros de acero y los aceros de tracción en caliente, ya que estos últimos son más rígidos.

Se ve así anteriormente, en el caso de una prueba de tracción se llega a un punto crítico a partir del cual la

PRUEBA DE CREEP.

A una tensión constante, los materiales continúan deformándose por un período indefinido.

Esta fluencia lenta bajo tensión constante es lo que en inglés se denomina creep y que por comodidad así se le llama a la prueba.

Una cosa de suma importancia es la siguiente, a temperaturas menores de un 40% del punto de fusión de cualquier metal, el creep es despreciable, lo que se sucede a temperaturas mayores donde es un proceso muy marcado y debe tenerse en cuenta cuando se diseña una pieza que trabajará a altas temperaturas.

De aquí, que algunos autores y técnicos definan al creep como: una prueba de fluencia en caliente.

Esta prueba como en todos estos ensayos mecánicos ha surgido de la necesidad de lograr condiciones iguales a las que se tendrán en la práctica, así, piezas que trabajarán durante largos períodos a temperaturas elevadas, como las que constituyen los motores de combustión interna, máquinas de vapor, turbinas de gas, etc.

Hay que diferenciar las pruebas de creep y los ensayos de tracción en caliente, ya que estos últimos son más rápidos.

Ya se vio anteriormente que cuando se hace una prueba de tracción se llega al límite elástico a partir del cual la

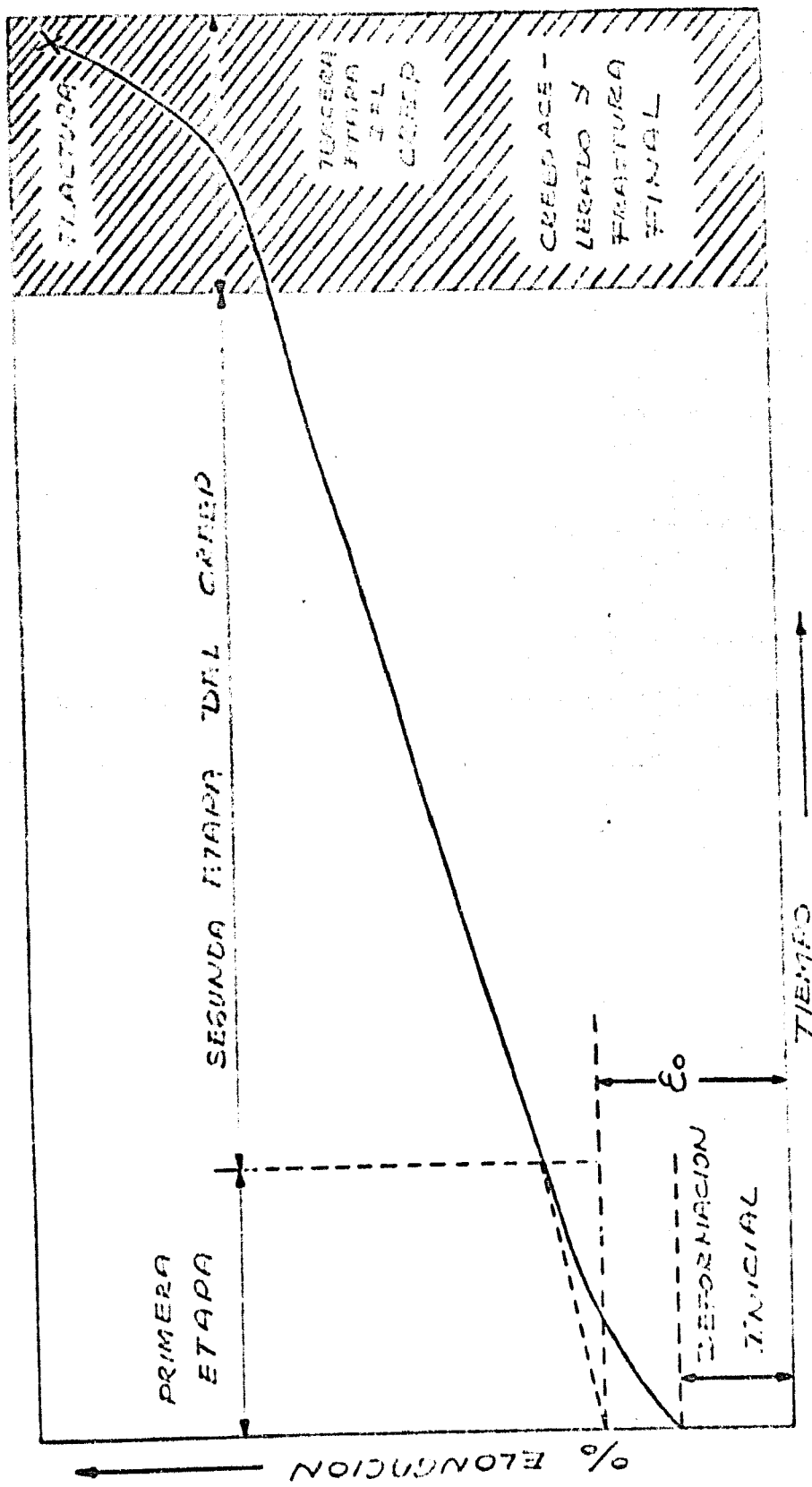


fig 10

deformación es permanente, es decir, plástica. Por el contrario a temperaturas elevadas parece que la deformación plástica ocurre bajo todas las tensiones, entonces lo que interesa es la velocidad a la que se producen y ésta aumenta con el incremento de la tensión a una temperatura dada.

Por consiguiente, lo que se trata de obtener con la prueba de creep es el esfuerzo adecuado, para que la deformación plástica se produzca a baja velocidad o a la velocidad más adecuada.

De este modo, durante la vida de la máquina no habrá un grado de deformación perjudicial.

Los resultados de las experiencias del creep son expresadas como la elongación experimentada por la muestra en función del tiempo. En la fig. 10 ilustramos una curva típica de creep.

En ella, se notan cuatro zonas bien definidas y son:

1. Elongación inicial, en ésta, las tensiones aplicadas hacen que se mantenga una velocidad de fluencia constante durante el tiempo en que interesa para los diseños en Ingeniería.
2. Esta segunda etapa, llamada de creep primario o transitorio.
3. La tercera etapa que es la de creep secundario o estacionario.
4. Por último el creep terciario y la fractura.

El alargamiento total experimentado por una probeta durante el creep es igual a la suma de las deformaciones elásticas y plásticas iniciales más la rápida deformación de la primera etapa de fluencia lenta.

Cada una de las tres últimas etapas de la prueba está caracterizada por endurecimiento por trabajado distinto. En el creep primario la velocidad de endurecimiento de la muestra excede la velocidad de recuperación que le impone la temperatura y la pendiente de la curva es muy pronunciada. Durante el creep secundario, la pendiente de la curva es más baja y lineal, lo que implica que el proceso de recuperación ha alcanzado al de endurecimiento y que ambas velocidades son iguales. El creep terciario se produce por disminución del área transversal de la muestra, de ahí que la pendiente de la curva aumenta rápidamente hasta acabar con la fractura del material.

Para obtener materiales con una buena resistencia al creep es necesario, que su microestructura sea relativamente estable a la temperatura de trabajo.

Por ejemplo, trabajando en frío un acero se aumenta su resistencia si se trabaja a una temperatura menor que la necesaria para que el material recristalice durante el servicio.

La primera etapa de la prueba de creep es el creep primario, en el que la velocidad de deformación es alta y la curva de creep es muy pronunciada. Durante esta etapa se produce un gran aumento de la resistencia del material debido a la formación de dislocaciones y a la creación de una estructura de dislocaciones que se estabiliza en forma de una red de dislocaciones. Este tipo de estructura es muy estable y confiere al material una gran resistencia al creep.

En la segunda etapa, el creep secundario, la velocidad de deformación es menor y la curva de creep es más lineal. Durante esta etapa se produce un aumento de la resistencia del material debido a la formación de una estructura de dislocaciones que se estabiliza en forma de una red de dislocaciones.

FUNDAMENTOS DE LAS PRUEBAS FISICAS.

En este capítulo hablaremos de algunos aspectos teóricos de los ensayos físicos que son de gran importancia, y tiene por objeto, al mismo tiempo dar una idea de la investigación que puede hacerse en torno a estas pruebas, para determinar y mejorar, la calidad de los productos metálicos.

Formación de Líneas de Deslizamiento.

Los metales con cristalización cúbica, centrada en la cara, deforman plásticamente por un proceso en que las líneas cristalinas resbalan unas sobre otras.

Siempre, los planos y dirección de deslizamiento son los más compactos, es decir, los que hacen mayor número de átomos en el cristal. Al conjunto de un plano y una dirección se le llama sistema de deslizamiento.

Quando una muestra metálica, se somete a cualquiera de las pruebas mecánicas descritas en los capítulos anteriores, la probeta sufre un deslizamiento, produciéndose líneas de deslizamiento y que resultan de la interacción de los planos de deslizamiento con la superficie del cristal. Estas líneas de deslizamiento se pueden estudiar en forma estática o bajo condiciones dinámicas.

En la primera, es necesario pulir la muestra, someterla a tracción, descargarla y luego observarla al microscopio.

este sistema de estudio permite determinar los planos de deslizamiento y su dirección, pero no dice nada del proceso de formación de dichas líneas. Se observa que cuando aumenta la deformación plástica, aumenta la profundidad y el número de líneas de deslizamiento.

El método dinámico para el estudio de estas líneas, es fotografiándolas, las primeras experiencias se hicieron en monocristales de aluminio de alta pureza con distintas orientaciones con respecto al eje de tracción, cuando se observa una cara de la muestra la línea se ve como un segmento y luego se propaga a través del cristal, en ambas direcciones, haciéndose más profunda; esto indica que hubo un aumento de corte en la zona de deslizamiento; se han hecho estudios midiendo la velocidad de carga, la velocidad de deformación y la propagación de las líneas de deslizamiento. Graficando el número de líneas contra el tiempo, de la pendiente de la curva resultante se ha deducido que el endurecimiento por trabajado retarda la propagación de las líneas de deslizamiento.

Otros científicos han medido, los escalones que presentan las líneas, encontrando que es un valor constante.

Cuando se deforma lentamente la muestra, las bandas, (conjuntos de líneas) se propagan inmediatamente al principio y luego lo hacen lentamente.

Se ha estudiado que la superficie ejerce cierta influencia sobre las líneas de deslizamiento, así se vio, que si se somete una muestra a un esfuerzo, la muestra sufrirá una defor-

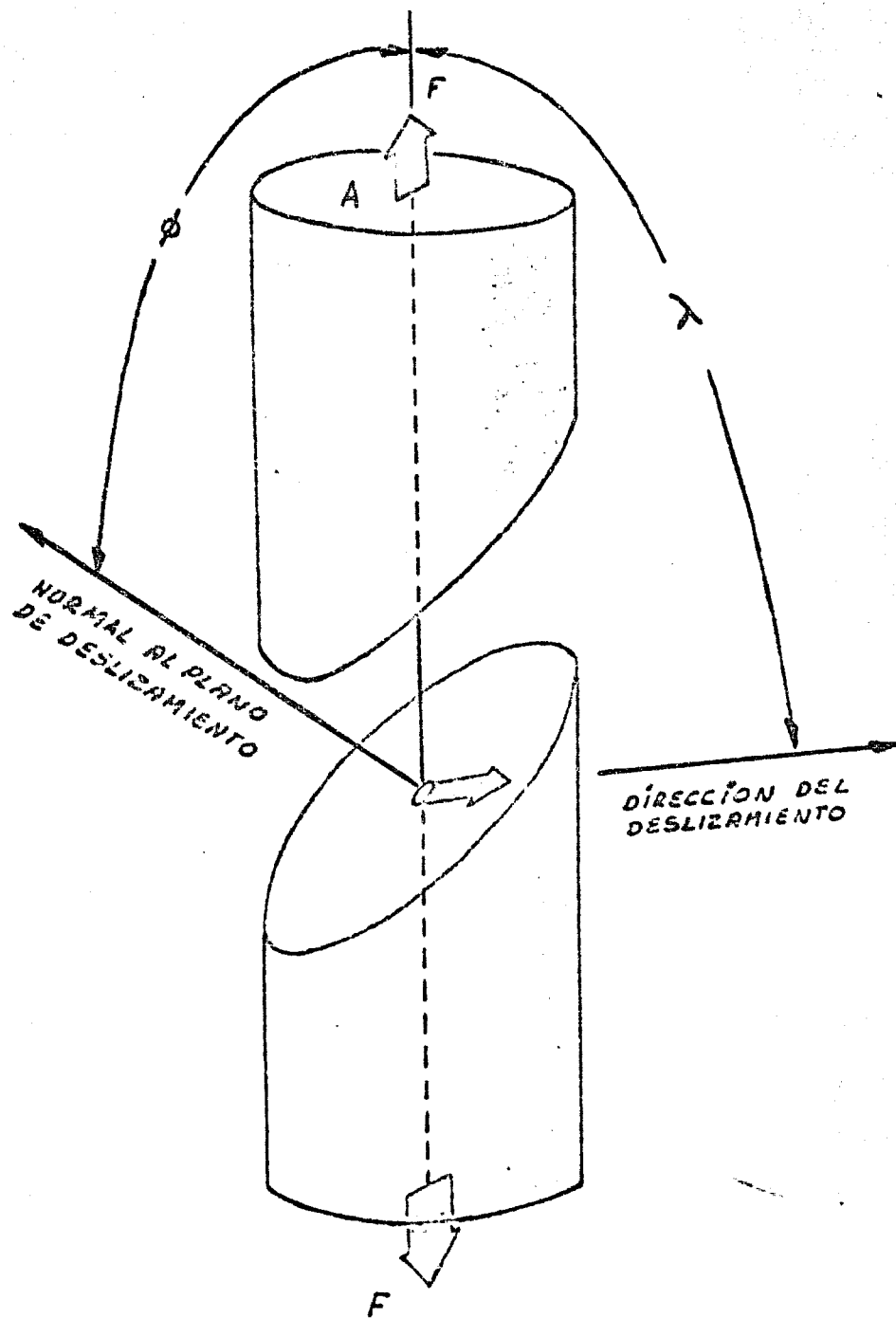


fig 11

enci6n; pero si se disuelve una capa muy delgada de la muestra bajo la misma carga, sufrirá un incremento en la deformaci6n. Una ligera capa de 6xido tambi6n influye, asi como tambi6n un pulido electrolítico, ya que desarrolla una estructura de láminas muy finas paralelas entre sí, antes de que se inicie la formaci6n de líneas de deslizamiento.

Efecto de la Orientaci6n sobre la

Formaci6n de las Líneas de Deslizamiento.

La única direcci6n de la tensi6n responsable del deslizamiento de un plano, es la paralela, y se le llama tensi6n de corte, pues la direcci6n normal al plano, no influye en este proceso.

La representaci6n esquemática se ilustra en la fig. 11.

Si se tiene un cristal, de área transversal A , sometido a una fuerza F , sea λ el ángulo entre la normal al plano de deslizamiento y el eje de tracci6n y ϕ el ángulo entre la direcci6n de deslizamiento y dicho eje. La componente de la fuerza aplicada, que actuará en la direcci6n de deslizamiento: $F' = F \cos \lambda$, y el área del plano de deslizamiento es: $A' = A / \cos \phi$ de donde, la tensi6n de corte en la direcci6n de deslizamiento es:

$$\tau = \frac{F}{A} \cos \lambda \cos \phi$$

El deslizamiento comienza en el plano que tiene máxima tensión de corte.

La orientación de un cristal, cuando es sometido a una tracción cambia de tal forma, que la dirección de deslizamiento tiende a ponerse paralela al eje de tracción.

Se ha visto, que cuantos mas sistemas de deslizamiento tiene una orientación, más rápidamente endurece el cristal.

Efecto de la Temperatura y Velocidad de Deformación.

El número de líneas nuevas que aparecen al aumentar la deformación, disminuye cuando la temperatura aumenta, y en este caso, el desplazamiento de cada línea aumenta.

A baja velocidad de deformación, generalmente las bandas de deslizamiento se hacen más anchas y espaciadas, por el contrario, a velocidades de deformación altas, se producen conjuntos de planos de deslizamiento activos.

Cuando un material, se somete a un esfuerzo, sufre una deformación que es heterogénea, esto es debido, a la fuerza impuesta por las mordazas de la máquina, ya que le resulta imposible a la red cristalina efectuar una rotación homogénea.

A diferencia de los cristales cúbicos centrados en la cara, que presentan líneas de deslizamiento rectas, los cúbicos centrados en el cuerpo, presentan trazas de deformación onduladas y a menudo ramificadas; esto ha hecho más difícil estudiarlos.

Mecanismos de Disolocación para explicar los Procesos de Deformación Plástica.

Un tema importante de la deformación plástica de los metales, lo ocupa el estudio de dislocaciones y que se debe a defectos que tienen en el enrejado cristalino, esto implica difusión de vacancias y átomos intersticiales, y está condicionado por la temperatura, de aquí, la importancia de la temperatura en la deformación plástica.

Se conocen dos tipos de dislocaciones, la de borde y la tornillo; en la primera, tenemos un plano cristalino extra del lado deslizado del cristal respecto de la mitad que no se deslizó, y en la segunda, el enrejado cristalino en el extremo al límite del corte, estará conectado como una rampa cristalina.

Existen dos términos importantes cuando se habla de dislocaciones, que son, el circuito de Burgers, que es un circuito que se puede realizar sobre un plano cristalino en forma de repetir igual número de pasos en una dirección y en sentido opuesto en forma de cercar una dislocación, si ésta no existe, el circuito quedará cerrado, pero, si por el contrario dentro del circuito hay una dislocación, éste quedará abierto, es aquí donde entra el segundo término que es el vector de Burgers, y se dice que es el necesario para cerrar el circuito, este vector, da una medida del defecto en el enrejado.

El límite interior del cristal entre la zona deslizada y la no deslizada, se llama límite de dislocación, y se define el plano de deslizamiento de una dislocación al que es capaz de contener la línea de dislocación y su vector de Burgers.

Las dislocaciones de borde, tienen menor movilidad que las dislocaciones tornillo, ya que la primera, sólo tiene un plano de deslizamiento y la segunda tiene varios. Hay que hacer la advertencia de que la primera puede moverse por salto.

Si las dislocaciones encuentran en su camino a otras dislocaciones situadas en otros planos, se crearán nuevas en unas y otras debido a la interacción, lo que disminuirá su movilidad; esto explica el endurecimiento por trabajado que experimentan los cristales que tienen un solo sistema de deslizamiento.

El efecto de la temperatura sobre el deslizamiento puede interpretarse de la siguiente forma: a temperaturas bajas las dislocaciones generadas en un plano a medida que este plano se endurece, deben abandonar; esto se puede lograr pasando de la dislocación de un plano a otro utilizando su componente tornillo, si la deformación es a temperatura alta, por salto, a planos menos endurecidos.

En la tercera etapa o período en las curvas de Creep, en la que la velocidad de endurecimiento es menor que la velocidad de recuperación dinámica, se debe a que, a pesar de que la densidad de dislocaciones aumenta con el trabajado, se llega a un límite en el que, en planos paralelos próximos exis--

ten dislocaciones de signos contrarios y se aniquilan. Este proceso puede dar lugar a agujeros que pueden ser centros de nucleación de tensiones, capaces de llevar al material a la fractura.

Deformación Plástica en Policristales.

Todas las experiencias efectuadas en monocristales han tenido por objeto explicar la deformación plástica en policristales, pero como es de esperarse, al aplicar los datos obtenidos se ve que entran nuevos factores que complican el planteo, siendo los más importantes los límites de grano y las condiciones de unión que ellos imponen así, la deformación homogénea en un monocristal se transforma en heterogénea en un policristal, ya que varía de un grano a otro y lo que es más, dentro de un mismo grano, esto ha dificultado la solución de problemas en policristales.

El Límite de Grano y su Influencia.

En un agregado policristalino de gran tamaño de grano, la deformación, en la proximidad de los límites es menor, que en el interior del grano. En general, sólo en los casos en que su cristal vecino tenga una orientación tal, que presente un punto de fluencia más bajo, los granos presentan mayor deformación en la proximidad de dicho cristal.

Estudios hechos por Chalmers determinaron que la tensión crítica depende de la orientación relativa de dos cristales, - siendo mínima para el menor ángulo de desorientación.

Esto indica, que cuando los planos de deslizamiento en dos granos adyacentes no son paralelos, es difícil transferir la deformación de un grano a otro a través del límite. Se deduce por lo tanto, que si dos granos unidos por un límite se deforman simultáneamente o no permanecen en contacto sobre todo el límite o si lo hacen, la deformación de cada uno de ellos debe ser diferente a la que tenían cuando deformaban aisladamente.

En este caso, dos condiciones deben ser satisfechas: la continuidad macroscópica, que consiste en que los enrejados cristalinos a ambos lados del límite se deforman igualmente, y la continuidad microscópica, que implica que las dislocaciones, excepto a altas temperaturas no abandonan el cristal en el límite dando un escalón de deslizamiento.

Para que se cumpla la continuidad macroscópica es necesario que el deslizamiento en ambos cristales sea hecho por medio de cuatro sistemas de deslizamiento, dos por cada grano o uno en uno y tres en el otro. La continuidad microscópica implica, que si un gran número de dislocaciones son detenidas por un límite, la tensión generada en su entorno, es capaz de activar una fuente de dislocaciones en el otro grano que no tiene que estar situada necesariamente en el mismo plano. Es decir, se transfiere de un cristal a otro la deformación.

Efecto del Tamaño de Grano en las Propiedades Mecánicas.

Hay evidencia experimental que el número de cristales en la sección transversal de la muestra, más que el tamaño cristalino, es un factor importante para determinar las propiedades mecánicas. Esto se explica ya que los granos están confinados sobre toda la superficie, se comporta diferente que los granos que tienen una superficie libre.

La mayoría de ensayos sobre efecto de tamaño de grano han sido hechos por pruebas de dureza.

Existe, sin embargo, alguna información del efecto del tamaño de grano sobre la tensión necesaria para producir una deformación dada. A menor tamaño de grano la tensión necesaria para producir una deformación dada aumenta.

En los casos en los que hay un límite elástico bien marcado, el efecto del tamaño de grano es muy nítido.

El límite de fluencia superior aumenta cuando el tamaño de grano disminuye. Esto es debido a que en las muestras policristalinas, la tensión de fluencia está relacionada a la propagación del deslizamiento de un cristal a su vecino, en cuyo caso, el aumento de tensión debido a un apilamiento será menor para pequeños cristales que para grandes, ya que una fuente estará sujeta a una presión posterior que la inactivará.

El número de dislocaciones que haya emergido es proporcional a la distancia que deben viajar antes de ser detenidas por el límite.

FRACTURA.

Fractura, es la separación de un cuerpo en dos o más partes, es en la práctica un grave problema y por medio de la fractura en un ensayo práctico mecánico puede seguirse un criterio de la calidad del material.

La fractura puede ser dúctil o frágil, ésta se propaga muy rápidamente a partir de una fisura, sin o con muy poca de formación plástica. Esta fractura, se produce a lo largo de los planos cristalinos característicos llamados planos de clivaje y cuando es en un material policristalino tiene apariencia granular.

La fractura frágil puede obtenerse también a lo largo de los límites de grano, y en este caso se le llama intergranular.

La fractura dúctil ocurre, luego de una extensa deformación plástica y está caracterizada por su propagación lenta, su superficie es opaca y de apariencia fibrosa.

La resistencia a la fractura teórica calculada a partir de las fuerzas interatómicas y energías de superficie es bastante mayor que la obtenida prácticamente y sólo en fibras de vidrio fresca los valores son cercanos, así como también en pelos metálicos. (Whiskers) el límite elástico y la resistencia a la fractura es mayor y aumenta cuando el diámetro del filamento disminuye, esto se debe a que tienen un pequeño número de dislocaciones.

La fractura frágil se produce con muy poca o sin deformación plástica como sucede en los materiales amorfos, no así en los materiales cristalinos en los que si está precedida por algo de deformación plástica y esto ocurre en las proximidades de la zona de fractura. La fractura frágil puede tener lugar en aquellos materiales que experimentan rápido aumento en la tensión de flujo cuando la temperatura disminuye o cuando aumenta la velocidad de deformación.

En materiales policristalinos, la fractura puede propagarse a lo largo de los planos de clivaje o a lo largo de los límites de grano. La fractura transgranular es más frecuente encontrándose en estos materiales cuando rompen por fractura frágil.

En materiales policristalinos que contienen segregaciones en los límites de grano, la fractura generalmente es intergranular. Estas segregaciones de impurezas, o los otros elementos de aleación, o los átomos de hidrógeno y el hidrógeno pueden tener efecto de eliminación de fractura frágil.

Estas consideraciones para eliminar la fractura frágil las veremos en acero, ya que es el metal más usado actualmente, sobre todo cuando se refiere a estructuras en donde este tipo de fracturas ofrece gran peligro.

Temperatura.

A temperaturas por debajo de cero grados centígrados, los aceros tienen una gran resistencia a la fluencia plástica y, por tanto, los ensayos de impacto a distintas temperaturas muestran que la energía absorbida en el proceso, presenta un cambio marcado a una cierta temperatura, la temperatura de transición, no es constante y varía con las condiciones técnicas de ensayo para un mismo material y tamaño, así como la forma de la muestra también es determinante.

Composición y Tamaño de Grano.

En un acero al carbono ordinario, el aumento en el contenido de carbono, aumenta la fragilidad del material, es decir, aumenta la temperatura de transición y disminuye la energía absorbida en el impacto por encima de esta temperatura.

El fósforo es particularmente indeseable, ya que aumenta mucho la temperatura de transición. De los otros elementos usados, sólo el manganeso y el níquel parecen tener efecto benéfico en esta temperatura.

El tamaño de grano de ferrita tiene un efecto marcado sobre la fragilidad del acero, a menor tamaño de grano, más baja es la temperatura de transición. A menor tamaño de grano, los planes de deslizamiento son más cortos, y por lo tanto, el número de dislocaciones es menor y más difícil que se constituya un concentrador de tensiones.

Ambiente.

Ciertos ambientes pueden aumentar la tendencia de un acero a una fractura frágil. En particular cualquier atmósfera que pueda generar hidrógeno y que éste pueda ser absorbido por la muestra, ya que en estas condiciones puede ser frágil aun a temperatura ambiente.

Otro factor de importancia es la distribución de tensiones, pero este corresponde a un campo ingenieril completamente. **Fractura Dúctil.**

Ya dijimos que la fractura dúctil, aparece luego de una deformación plástica considerable, se produce estrangulamiento durante la deformación y ésta continúa en esta zona localizada, hasta que el material se separa a lo largo de una línea o de un punto.

Una vez que la muestra ha comenzado a estrangularse, tanto la tensión como la deformación, se concentran en la región estrangulada. La fractura dúctil comienza en el centro de la región dado que tanto la tensión de corte, como la tensión se hacen más altas que en ningún otro punto.

La fractura dúctil está caracterizada por presentarse como fractura de copa y copa.

La ductilidad de una aleación es medida por la reducción del área de fractura, ésta es afectada por las inclusiones que existan en la aleación.

Fractura por Fatiga.

Los materiales dúctiles sometidos a tensiones alternantes menores que la tensión de fractura estática, pueden romperse por fatiga. Una superficie de fractura por fatiga presenta dos zonas, una relativamente lisa en forma de concha y una región de fractura granular.

El nivel máximo de tensión alcanzado antes de la ruptura es llamado límite de endurecimiento, y es proporcional a la mínima resistencia tensil previa a la ruptura. Esta diferencia como la tensión cíclica, por debajo de la cual no sucede fractura luego de un número determinado de ciclos.

Se puede aumentar la vida de una pieza, sometida a fatiga por envejecimiento, ya que la precipitación detiene el deslizamiento, así mismo también endureciendo la superficie de una muestra, también se aumenta la resistencia a la fatiga.

Para aumentar la vida de una pieza, sometida a fatiga, se puede utilizar el endurecimiento superficial, para obtener un máximo endurecimiento en la aplicación de una propiedad dada.

CONCLUSIONES.

I N D I C E

1. El control de calidad, es un aspecto básico en el desarrollo industrial actual, así como la investigación que se debe hacer para mejorar la calidad de los productos metálicos en este caso particular. 18

PRUEBA DE COMPRESION 24

2. Las pruebas físicas o mecánicas, ocupan un lugar muy importante en el estudio de estos materiales. 25

PRUEBA DE TRACCION 27

3. Es tiempo de que en nuestro país, se instalen más institutos para el estudio de las diversas ramas de la ciencia, como el Instituto Mexicano del Petróleo, y dada la importancia de los metales en la vida moderna crear un instituto dedicado exclusivamente al estudio de ellos, para obtener un máximo rendimiento en la aplicación de sus propiedades. 30

I N D I C E

	Pág.
GENERALIDADES	3
PREPARACION DE MUESTRAS	7
PRUEBA DE TRACCION	18
PRUEBA DE COMPRESION	24
PRUEBA DE DOBLADO	26
PRUEBA DE IMPACTO	28
PRUEBA DE DUREZA	30
PRUEBA DE FATIGA	37
PRUEBA DE CREEP	41
FUNDAMENTOS DE LAS PRUEBAS FISICAS	45
FRACTURA	55
CONCLUSIONES	60

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Brice, Gordon and Phillips
Structure and Properties of Alloys
Mc. Graw - Hill Book Company
Third Edition
1963

Albert G. Guy
Physical Metallurgy for Engineers
Addison - Wesley Publishing, Inc.
1963

Metals Handbook
The American Society for Metals
1948 Edition

Chalmers B.
Physical Metallurgy
Wiley and Sons U.S.A.
1952