

LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
 FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
 U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
 Tel.- 52-57-88 y 76-22-64

CÁRACTERISTICAS DEL ENSAYO DE TENSION EN METALES

REALIZADO POR \_\_\_\_\_

PRUEBA N° -----  
 ESTANDAR -----  
 MATERIAL-----  
 LONGITUD INICIAL ----- cm.  
 DIAMETRO INICIAL ----- cm.  
 AREA INICIAL ----- cm.<sup>2</sup>  
 LONGITUD FINAL----- cm.  
 DIAMETRO FINAL----- cm.  
 AREA FINAL----- cm.<sup>2</sup>  
 VOLUMEN----- cm.<sup>3</sup>  
 RANGO----- Kg.  
 CARGA DE CEDENCIA----- Kg.  
 CARGA MAXIMA----- Kg.  
 CARGA DE FRACTURA----- Kg.  
 ESFUERZO DE CEDENCIA----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO MAXIMO----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO DE FRACTURA----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 MODULO DE ELASTICIDAD----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 RESILENCIA ELASTICA UNITARIA----- Kg-cm/cm<sup>3</sup>  
 RESILENCIA ELASTICA TOTAL----- Kg-cm.  
 TENACIDAD UNITARIA----- Kg-cm/cm<sup>3</sup>  
 TENACIDAD TOTAL----- Kg-cm  
 % REDUCCION DE AREA----- %  
 % ELONGACION DE LONGITUD----- %  
 TEXTURA DEL GRANO-----  
 TIPO DE FRACTURA-----  
 ESFUERZO ESPECIFICADO----- Kg/cm<sup>2</sup>/min  
 VELOCIDAD DE APLICACION DE CARGA- %

MONTERREY, N.L.

FECHA. \_\_\_\_\_

## VI.- ENSAYO ESTÁTICO DE COMPRESIÓN

### 6.1.- INTRODUCCIÓN

El término *ensayo de compresión* usualmente se usa para referirse a ensayos en los cuales una probeta preparada es sometida a una carga monoaxial -- gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurre la falla. En un ensayo de compresión, se logra sometiendo una pieza de material a una carga en los extremos que produce una acción aplastante.

Con excepción de algunas piezas de ensayo arbitrariamente formadas, las probetas son cilíndricas o prismáticas en su forma y de sección transversal constante a lo largo del tramo dentro del cual las mediciones se toman. Las probetas en compresión quedan limitadas a una longitud tal que el flambaje debido a la acción columnar no constituya un factor. Así (con ciertas excepciones), se hace un intento para obtener una distribución uniforme del esfuerzo directo sobre secciones críticas normales a la dirección de la carga. El logro de estas condiciones ideales está limitado por la forma y su fidelidad de la pieza de ensayo, por la efectividad de los dispositivos de sujeción y apoyo, y por la acción de la máquina de ensaye.

Aunque, por lo que respecta al sentido y a la dirección del esfuerzo, la compresión es meramente lo contrario de la tensión, existen varios factores que toman el ensayo de tensión, o compresión más deseable en un caso específico. Los más importantes de estos factores son los siguientes:

1.- La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.

2.- El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga tensiva. Existe siempre una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y a que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue.

3.- La fricción entre los puentes de la máquina de ensaye o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de ésta. Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente.

4.- Las áreas seccionales, relativamente mayores de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensaye de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y, por lo tanto, tan cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada.

### 6.2.- REQUERIMIENTOS PARA PROBETAS DE COMPRESIÓN.

Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas. Sin embargo, la sección cuadrada o rectangular se usa frecuentemente.

La selección de la relación entre la longitud y el diámetro de una probeta de compresión parece ser más o menos un compromiso entre varias condiciones indeseables. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no uniforme del esfuerzo sobre una sección recta. Se sugiere una relación entre altura y diámetro de 10 como un límite superior práctico. A medida que la longitud de la probeta disminuye, el efecto de la restricción friccional en los extremos se torna sumamente importante; asimismo, para longitudes menores de aproximadamente 1.5 veces el diámetro, los planos diagonales a lo largo de los cuales la falla se verificaría en una --

probeta más larga intersectan la base, con el resultado de que la resistencia aparente se aumenta. Comúnmente se emplea una relación entre longitud y diámetro de 2 o más, aunque la relación entre altura y diámetro varíe para materiales diferentes. Para acomodar un compresómetro con la precisión deseada, con frecuencia es necesario usar una probeta relativamente larga.

Los extremos a los cuales se aplica la carga deben ser planos y perpendiculares al eje de la probeta o, de hecho, convertidos así mediante el uso de cabeceo y dispositivos de montaje.

Los tramos de calibración para mediciones de deformación deben preferiblemente ser más cortos que el largo de la probeta cuando menos el diámetro de la probeta.

6.3.- PROBETAS ESTANDAR

Las probetas para ensayos de compresión de materiales metálicos recomendados por la (ASTM E 9) se muestran en la figura 6.1. Las probetas cortas son para usarse con metales antifricción, las de longitud mediana para uso general y las largas para ensayos que determinen el módulo de elasticidad. Las probetas para ensayos de compresión de lámina metálica deben cargarse en una plantilla que provee apoyo lateral contra el pandeo sin interferir con las deformaciones axiales de la probeta. Los detalles de esas plantillas y las probetas correspondientes están cubiertos por la (ASTM E 9).

Dimensiones sugeridas para las probetas

Tipos	Diámetro d, pulg.	Altura h, pulg.
Corta	$1\frac{1}{8}$	1
Longitud mediana	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
	0.798	$2\frac{3}{8}$
	1	3
Larga	$1\frac{1}{8}$	$3\frac{3}{8}$
	0.798	6 $\frac{3}{8}$
	$1\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$

Nota:  
Los diámetros deben fabricarse dentro de + 0.01 pulg. de las dimensiones indicadas

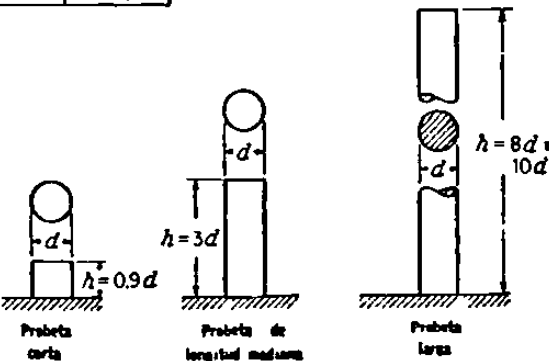


Figura 6.1.- Las probetas para ensayos de compresión de materiales metálicos de formas no similares (ASTM E 9).

6.4.- CAMAS Y BLOQUES DE APOYO

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

Usualmente un extremo de la probeta debe apoyarse en un bloque o dado esféricamente asentado. La figura 6.2, muestra arreglos satisfactorios de la probeta y del bloque. El objeto del bloque es contrarrestar el efecto de una pequeña falta de paralelismo entre el puente de la máquina y la cara ex-

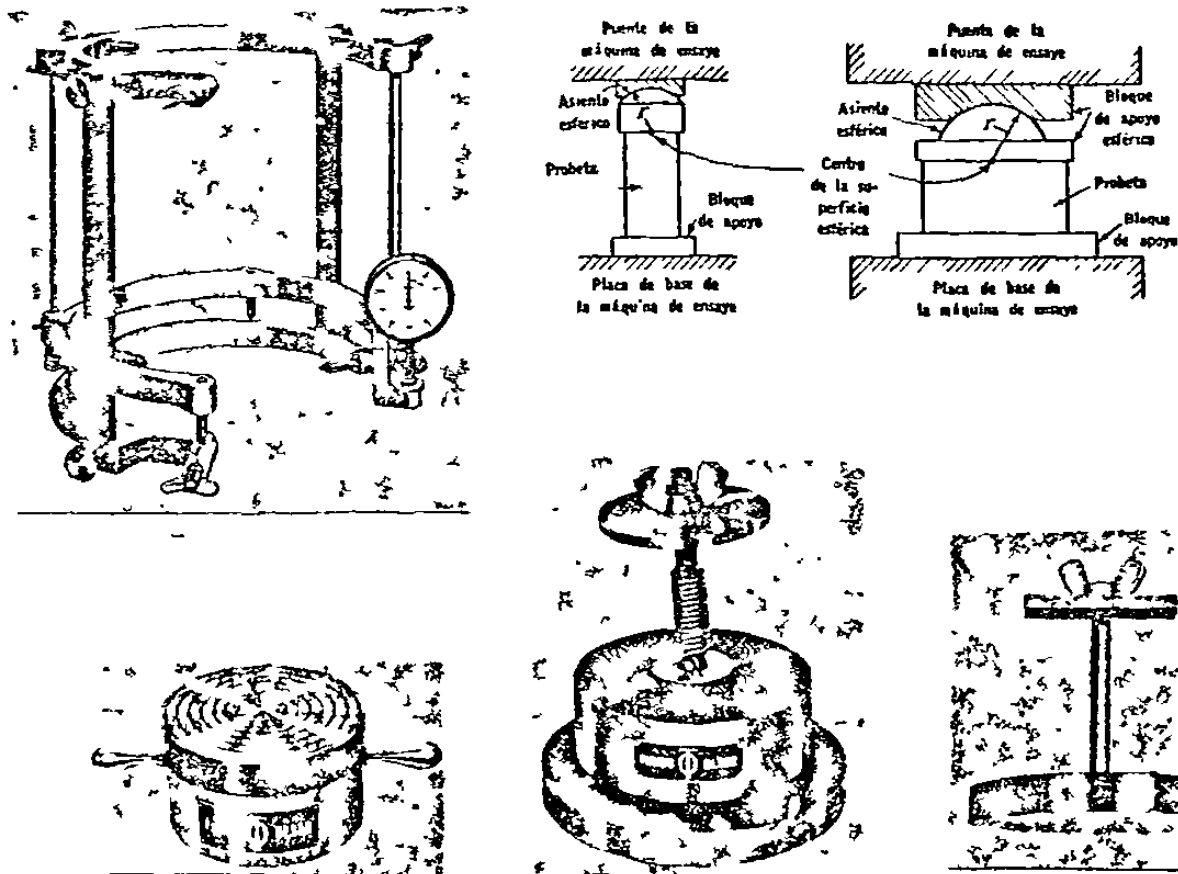


Figura 6.2.- Campresómetro y bloques o dados de apoyo planos y esféricos para ensayo de compresión.

trema de la probeta, confiriendo a la probeta una distribución inicial de la carga tan pareja como sea posible. Es deseable que el bloque de apoyo esféricamente asentado, esté en el extremo superior de la probeta. Para que la resultante de las fuerzas aplicadas al extremo de la probeta no quede excéntrica con respecto al eje de la probeta, es importante que el centro de la superficie esférica de este bloque yacza en la cara plana que se apoya en la probeta, y que la probeta misma sea cuidadosamente centrada con respecto al centro de esta superficie esférica. Debido a la aumentada resistencia a la fricción a medida que la carga crece, el cojinete esféricamente asentado no puede confiarse en que se ajuste a sí mismo a la acción flexionante que pueda ocurrir durante el ensayo. En algunas condiciones de ensayo, el bloque de apoyo esféricamente asentado puede omitirse mientras que, en otras, dos de tales bloques pueden requerirse. El bloque debe tener un diámetro igual o ligeramente mayor que el de la probeta.

#### 6.5.- REALIZACION DE LOS ENSAYOS

En los ensayos comerciales la única propiedad ordinariamente determinada es la resistencia a la compresión. Para los materiales quebradizos en los cuales ocurre una fractura, la resistencia última se determina fácil y -

definitivamente. Para aquellos materiales en los cuales no hay un fenómeno singular que marque la resistencia última, se toman límites de deformación arbitrarios como criterios de resistencia.

En los ensayos para determinar la resistencia a la cedencia de los metales en compresión, los criterios usuales descritos en el Cap. 5, pueden seguirse.

Las dimensiones deben determinarse con una precisión apropiada. Las precisiones recomendadas para mediciones transversal seccionales en la labor ordinaria son las siguientes: metales, hasta el 0.001 plg. más cercano.

Al ensayar los metales, los extremos de la probeta y las caras de los bloques de apoyo deben limpiarse con acetona o cualquier otro solvente adecuado inmediatamente antes del ensayo para quitar la grasa y el aceite que pudieran influir en la restricción friccional de las superficies extremas (ASTM E 9).

La velocidad de ensayo en compresión es todavía comúnmente especificada en términos de la velocidad de marcha del puente móvil, para materiales metálicos, con referencia E 9-33 T, de 1 a 3 plg. de largo, la máxima velocidad es de 0.05 plg por min; de 3 plg o más es de 0.11 plg por min.

#### 6.6.- OBSERVACIONES DE ENSAYO

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

Los materiales quebradizos comúnmente se rompen ya a lo largo de un plano diagonal, o ya con una fractura en forma de cono (probetas cilíndricas) o pirámide (probetas cuadradas), ocasionalmente denominada fractura en forma de *reloj de arena* (véase la figura 6.3.). El hierro fundido usualmente falla a lo largo de un plano inclinado, y el concreto exhibe una fractura de tipo cónico. Tales fracturas son esencialmente fallos por corte.

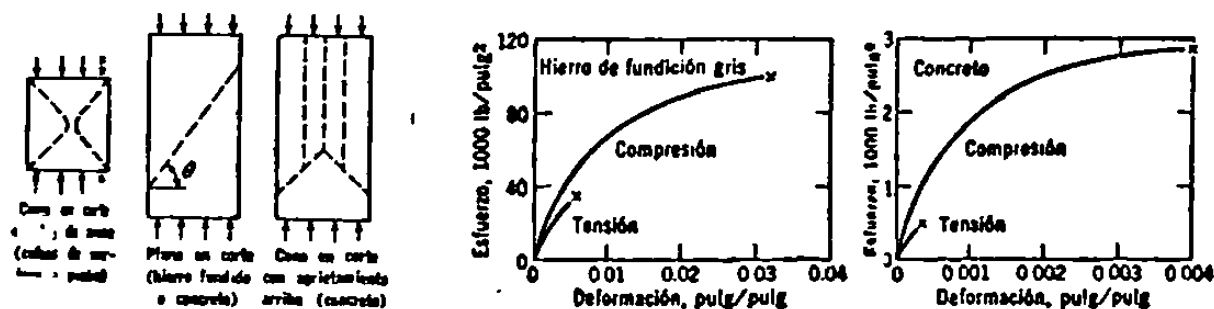


Figura 6.3.- Tipos de falla de los materiales quebradizos bajo cargas compresivas y sus gráficas de comportamiento.

Los materiales dúctiles y plásticos con alguna tenacidad protuberan lateralmente y adquieren forma de barril cuando se les comprime siempre y cuando, por supuesto, la probeta no se doble o flambee. (ver figura 6.4.). Los materiales con ductilidad relativamente baja y las piezas endurecidas desarrollan ranuras superficiales paralelas al eje de carga cuando la falla se torna pronunciada.

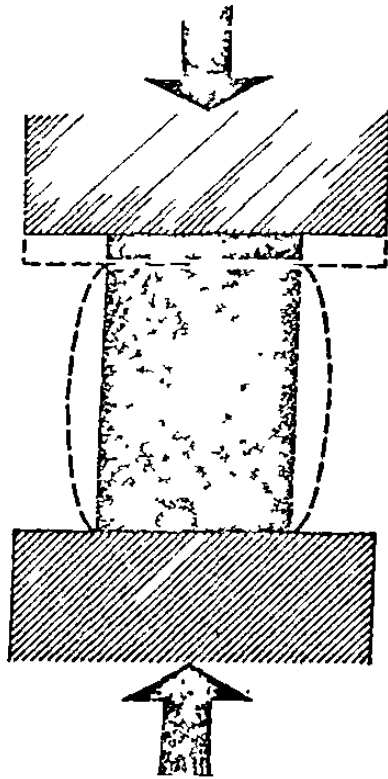
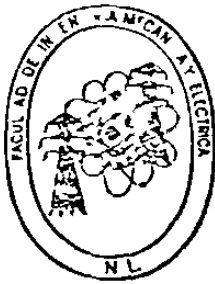


Figura 6.4.- Prueba de compresión en un material dúctil que muestra "abarrilamiento" debido a la fuerza de fricción en la superficie de contacto entre platinas y probeta.

#### 6.7.- REPORTE

En todas las pruebas que se hagan deberán reportarse los datos iniciales en cuanto a dimensión y la historia termo mecánica de la pieza, de tal manera que después de hacer la prueba podemos corroborar los resultados de las características medidas.

En seguida se presenta un formato que pudiera servir como base para el informe de todos estos datos.



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
PFL. - 52-57-88 y 76-22 64

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE COMPRESION EN METALES

REALIZADO POR \_\_\_\_\_

PRUEBA N° -----  
ESTANDAR -----  
MATERIAL -----  
LONGITUD INICIAL ----- cm.  
DIAMETRO INICIAL ----- cm.  
AREA INICIAL ----- cm<sup>2</sup>  
LONGITUD FINAL ----- cm.  
DIAMETRO FINAL ----- cm.  
AREA FINAL ----- cm<sup>2</sup>  
VOLUMEN ----- cm<sup>3</sup>  
RANGO ----- Kg.  
CARGA DE CEDENCIA ----- Kg.  
CARGA MAXIMA ----- Kg.  
CARGA DE FRACTURA ----- Kg.  
ESFUERZO DE CEDENCIA ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
ESFUERZO MAXIMO ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
ESFUERZO DE FRACTURA ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
MODULO DE ELASTICIDAD ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
RESILENCIA ELASTICA UNITARIA ----- Kg-cm/cm<sup>3</sup>  
RESILENCIA ELASTICA TOTAL ----- Kg-cm.  
TENACIDAD UNITARIA ----- Kg-cm/cm<sup>3</sup>  
TENACIDAD TOTAL ----- Kg-cm  
% REDUCCION DE LONG. ----- %  
% ELONGACION DE AREA ----- %  
TEXTURA DEL GRANO -----  
TIPO DE FRACTURA -----  
ESFUERZO ESPECIFICADO ----- Kg/cm<sup>2</sup>/min.  
VELOCIDAD DE APLICACION DE CARGA -- %

MONTERREY, N.L.

FECHA \_\_\_\_\_

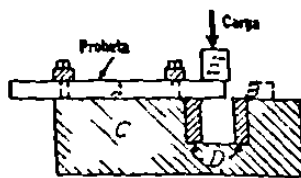
## VII.- ENSAYO DE CORTE

## 7.1.- OBJETO Y APLICABILIDAD DEL ENSAYO DE CORTE

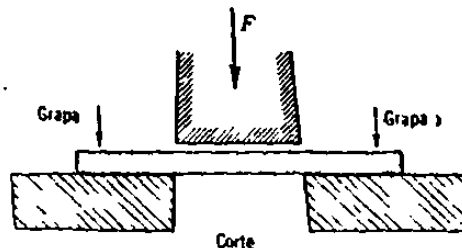
En el ensayo de corte directo ocasionalmente llamado ensayo de corte -- "transversal", usualmente se procede a sujetar o apoyar un prisma del material, de tal modo que los esfuerzos flexionantes se minimicen a través del plano a lo largo del cual la carga cortante se aplique. Aunque el método -- basta para una indicación de la resistencia al esfuerzo que puede esperarse en remaches, pernos de palanca, bloques de madera, etc. Sin embargo, debido a la flexión o la fricción entre las partes de la herramienta o a ambas, da una aproximación de los valores correctos de la resistencia al corte. Los resultados de esa prueba dependen en un grado considerable de la dureza y el filo de los bordes de las palancas endurecidas que descansan sobre la probeta. El ensayo de corte transversal posee la limitación adicional de ser completamente inútil para la determinación de la resistencia elástica o del módulo de rigidez debido a la imposibilidad de medir las deformaciones.

## 7.2.- EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO.

Para el ensayo de corte directo de metales, usualmente se corta una barra en algún dispositivo que apriete una porción de la probeta mientras que la restante es sometida a carga por medio de dados adecuados. En la herramienta cortante del tipo Johnson, se usa una barra de sección rectangular -- aproximadamente de 1 por 2 plg o una varilla cilíndrica de aproximadamente 1 plg de diámetro. Como se muestra en la figura 7.1, la probeta A se sujeta a la base C. La fuerza aplicada a la herramienta de carga E rompe la probeta en corte simple. Si la probeta se extiende hasta B y tiende el puente entre dos dados  $\bar{D}$ , queda sometido al corte doble. Los dados y la herramienta de carga se hacen de acero templado para herramientas afiladas.



(a) Herramienta Johnson de corte para ensayo de corte simple (o doble) de secciones redondas o rectangulares



Resistencia al corte

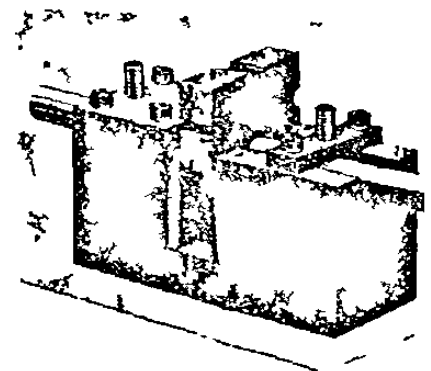


Figura 7.1.- Método y aditamento para ensaye de metales en corte directo.

Los ensayos de corte directo ordinariamente se hacen en máquinas de ensaye de compresión o tensión.

En el ensayo de corte directo, el dispositivo de ensaye debe sujetar la probeta firmemente y conservar la buena alineación, y la carga debe aplicarse uniformemente en forma perpendicular al eje de la pieza. En un ensayo de corte simple, cuando se usa equipo similar al mostrado en la figura 7.1, la probeta debe extenderse suficientemente por debajo de la herramienta de carga E para evitar los esfuerzos de opresión altos. Asimismo, en el ensayo de



corte doble la probeta B se empalmarse sobre el seguro dado D para evitar los altos esfuerzos opresivos. La velocidad del puente para aplicar la carga no debe exceder 0.05 plg por min. para metales.

En el ensayo de corte directo, el único valor crítico que puede observarse es la carga máxima P. Si A es el área sometida a la fuerza entonces la resistencia promedio al corte es tomada simplemente como  $P/A$ . La forma y textura de la superficie fracturada debe ser reportada.

A continuación se presenta un formato de presentación de datos:



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
TEL. - 52-57-88 y 76-22-64

### CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DEL CORTE DIRECTO

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No. -----  
MATERIAL -----  
DIAMETRO ----- cm.  
AREA TOTAL CORTE ----- cm<sup>2</sup>  
CARGA MAXIMA ----- Kg.  
ESFUERZO MAXIMO ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
TIPO DE FRACTURA -----

MONTERREY, N.L.

FECHA \_\_\_\_\_

## VIII.- ENSAYO DE TORSION

## 8.1.- ENSAYO DE TORSION

Los criterios principales para la selección de la probeta de torsión parece ser que (1) las probetas deben ser de tal tamaño que permitan que las mediciones de deformación deseadas se logren con exactitud adecuada, y (2) de tales proporciones que eliminen aquella porción de probeta sobre la cual se tomen las mediciones del efecto de los esfuerzos debidos a la sujeción de los extremos. Los extremos deben ser tales que puedan sujetarse y asegurarse sin desarrollar esfuerzos suficientemente localizados para causar la falla en las mordazas. Ordinariamente las mordazas de los mandriles de la máquina adaptan la forma de bloques o transmisiones, algunos tipos de los cuales automáticamente aprietan según el torque es aplicado. Debe tenerse cuidado al sujetar la probeta para no introducir flexión. Usualmente se proveen puntos de centrado en los mandriles de la máquina de torsión para la inserción en pequeños orificios de centrado a cada lado de la probeta; así la probeta puede centrarse exactamente en la máquina.

Es prácticamente imposible determinar la resistencia al corte hasta el límite proporcional de las fibras extremas de una probeta de torsión, sólida. Una delgada probeta tubular es preferible para la determinación de esta propiedad. Las probetas tubulares para determinaciones de la última resistencia al corte deben tener secciones cortas reducidas con una razón entre el largo de la sección reducida y el diámetro ( $L/D$ ) alrededor de 0.5 y una razón entre el diámetro y el grueso ( $D/t$ ) de aproximadamente 10 a 12.

Para determinaciones de la resistencia a la cedencia cortante y del módulo de rigidez, una probeta hueca que posea una longitud de cuando menos 10 diámetros y una razón entre el diámetro y el grueso de pared de aproximadamente 8 a 10, debe preferirse para su sección reducida.

El ensayo de torsión de metales se realiza en una máquina especial de ensaye, diseñada con este propósito. Una ilustración de un tipo de máquina de ensaye de torsión se muestra en la figura 8.1. Un mecanismo propulsor adecuado mueve un mandril con mordazas dentadas y endurecidas, y el par aplicado es transmitido a través de la probeta a un mandril similar en el cabezal de medición lo cual acciona algún tipo de indicador del torque.

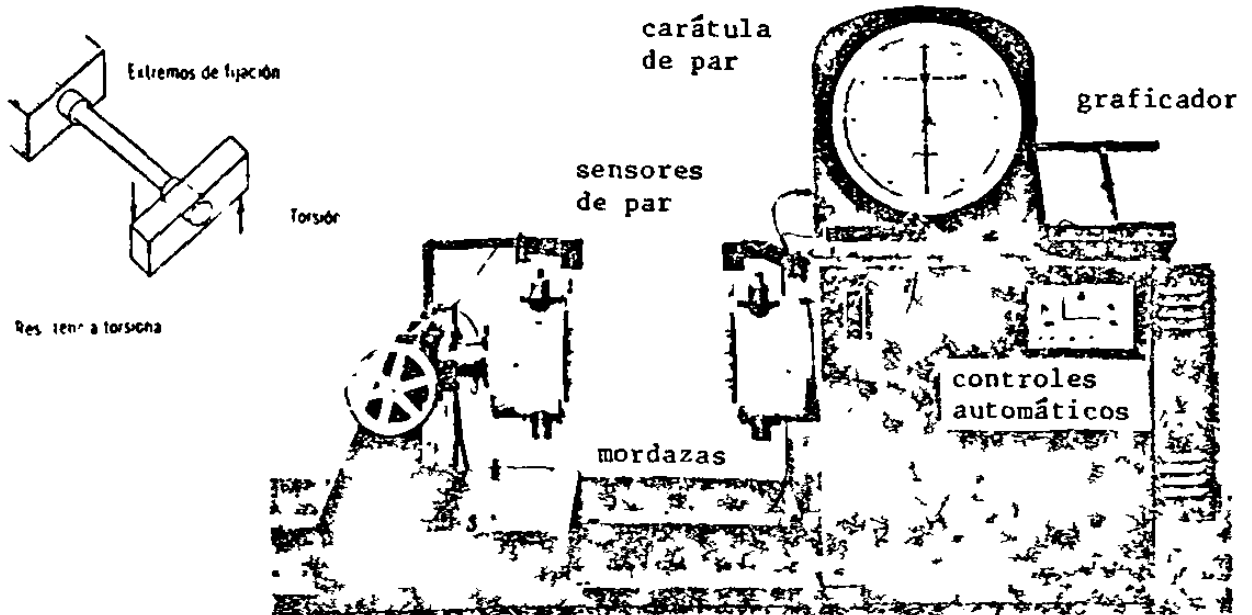


Figura 8.1.- Máquina para ensayar a torsión.- Control automático de avance, indicador de par, graficador de par Vs. ángulo de giro.

Se usan varios dispositivos para medir la deformación o la elongación en una probeta de torsión. Estos dispositivos de torsión o tracción ordinaria consisten en dos collarines sujetos a la probeta a una distancia o tramo de calibración. La separación de los dos, con algún medio para medir el desplazamiento angular relativo de los collarines. En un tipo, un vernier aplicado a un collarín se mueve alrededor de un círculo graduado acoplado al otro collarín, en otro tipo se emplean espejos a los collarines, y las observaciones se hacen con teloscopios y escalas.

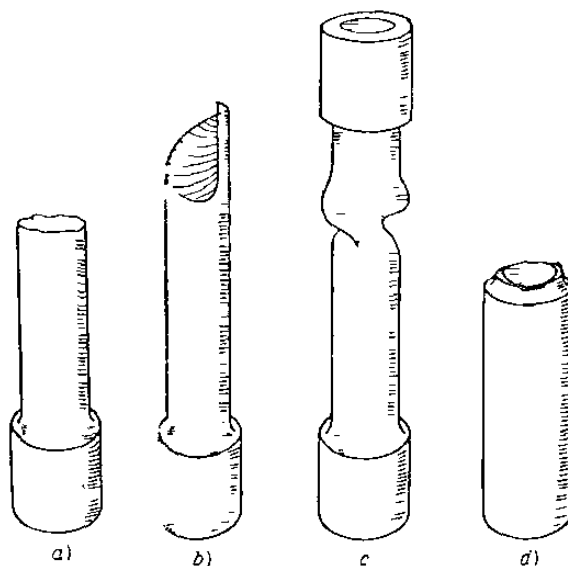
La sección transversal de una probeta de torsión debe reducirse hasta en parte en 1 000, dentro del límite proporcional del material, la velocidad del cabezal de torsión no debe exceder de aproximadamente 0.01 r.p.m. por pulg de longitud de la probeta, aunque la velocidad puede aumentarse después de haberse alcanzado el punto de cedencia.

## 8.2.- OBSERVACIONES DE ENSAYO

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

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

Para los materiales que se rompen en el ensayo de corte o torsión, la ruptura en varillas sólidas es plana y normal al eje de la pieza, como se muestra en la figura 8.2a. Para los aceros dúctiles, la fractura es usualmente de textura sedosa, y el eje alrededor del cual el torcido final se verificó, puede usualmente observarse.

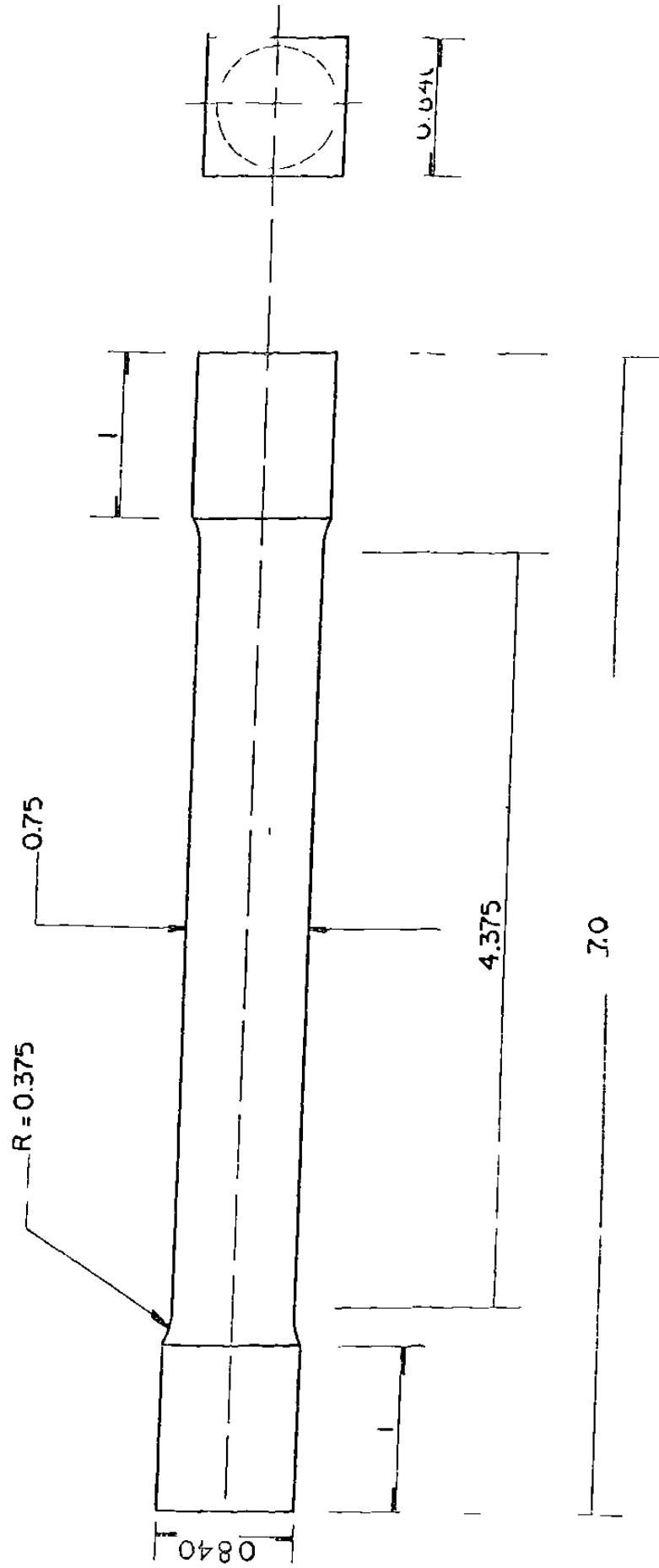


- (a) Barra de material dúctil. Fractura recta, plana, tras ensal.  
 (b) Barra de material dúctil. Fractura helicoidal.  
 (c) Probeta de material dúctil. Falla por flambéo.  
 (d) Probeta de material dúctil, sección corta reducida tras ensal.

Figura 8.- Tipos de falla en torsión.

Como las superficies de ruptura pueden ser lisas, las porciones exteriores, al rebajarse mutuamente, actúan como levas, rompiendo la pieza en la dirección de su longitud; las porciones centrales no rotas aún por el corte posible antes de ser rotas, sobreviven en tensión por esta acción de leva,

PROBETA MACIZA PARA EL ENSAYO DE TORSION



UANL  
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTLs.

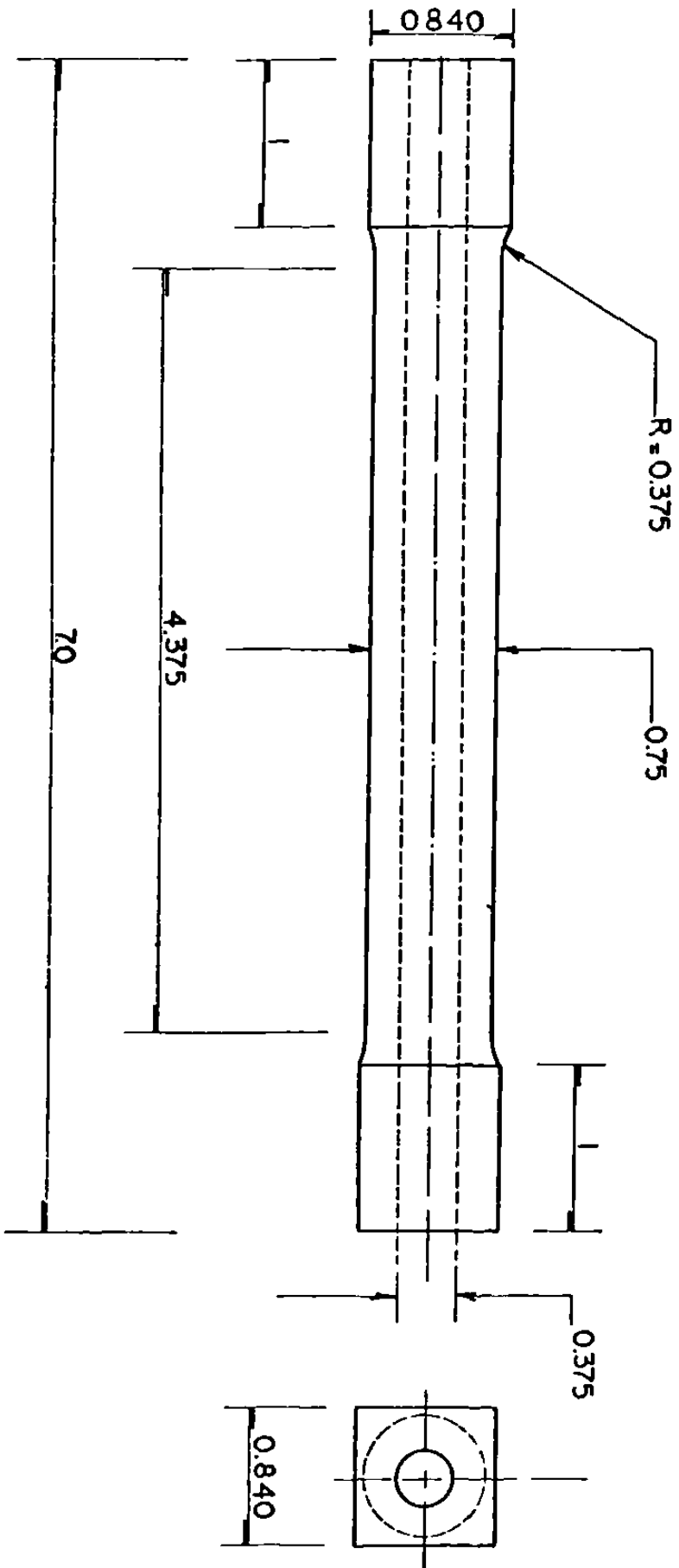
ENSAYO : TORSION

MATERIAL : METAL

EST : ASTM A-260

COTAS : PULGADAS

PROBETA HUECA PARA EL ENSAYO DE TORSION .



UANL  
FIME

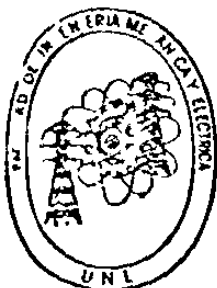
LAB. DE MEC. DE LOS MTL.S.

ENSAYO : TORSION

MATERIAL : METAL

EST . ASTM A-260

COTAS : PULGADAS



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
 FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
 U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
 TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE TORSION

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No -----  
 ESTANDAR -----  
 MATERIAL -----  
 LONGITUD INICIAL ----- cm  
 DIAM. EXTERNO ----- cm.  
 DIAM. INTERNO ----- cm.  
 RADIO EFECTIVO ----- cm.  
 AREA EFECTIVA ----- cm<sup>2</sup>  
 VOLUMEN ----- cm<sup>3</sup>  
 RANGO ----- Kg.  
 CARGA DE CEDENCIA ----- Kg.  
 CARGA MAXIMA ----- Kg.  
 CARGA DE RUPTURA ----- Kg.  
 BRAZO DE PALANCA ----- cm.  
 PAR DE CEDENCIA ----- Kg-cm.  
 PAR MAXIMO ----- Kg-cm.  
 PAR DE RUPTURA ----- Kg-cm.  
 MOMENTO POLAR DE INERCIA ----- cm<sup>4</sup>  
 ESFUERZO CORTANTE DE CEDENCIA ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 ESF. COR. MAXIMO ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 ESF. COR. DE RUPTURA ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 MODULO DE ELASTICIDAD AL CORTE ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 VELOCIDAD DE APLICACION DE CARGA ---  
 ANGULO MAXIMO DE DEFORMACION ----- Grados  
 TIPO DE FRACTURA -----

MONTERREY, N.L.

FECHA: \_\_\_\_\_

PROBETA HUECA PARA EL ENSAYO DE TORSION.

## IX ENSAYO DE FLEXION

## 9.1.- COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES SOMETIDOS A LA FLEXION

Si las fuerzas actúan sobre una pieza de material de tal manera que tienden a inducir esfuerzos compresivos sobre una parte de una sección transversal de la pieza y los esfuerzos tensivos sobre la parte restante, se dice que la pieza está en flexión.

En las vigas en que la razón entre la longitud y el peralte es de aproximadamente 10 o más, las deflexiones por corte son suficientemente pequeñas comparadas con las deflexiones por flexión para ser usualmente ignoradas en el ensayo práctico.

Los valores del límite proporcional determinados de los ensayos de vigas son generalmente más altos que los obtenidos de los ensayos de tensión o compresión, porque el relajamiento de las fibras extremas es ocultado por el efecto sustentante de las fibras menos altamente fatigadas, más cercanas al eje neutro.

## 9.2.- PROBETAS PARA ENSAYOS DE FLEXION

Para determinar el módulo de ruptura para un material dado, la viga bajo ensayo debe proporcionarse de tal manera que no falle por corte o deflexión lateral antes de alcanzar su última resistencia a la flexión. Para producir una falla por flexión, la probeta no debe ser demasiada corta con respecto al peralte de la viga, e inversamente, si se desea la falla por esfuerzo cortante, el claro no debe ser demasiado largo. Los valores de  $L = 6d$  a  $L = 12d$  (dependiendo el valor real del material, de la forma de la viga y del tipo de cargado) en que  $L =$  largo y  $d =$  peralte, sirven como línea delimitante aproximada entre las vigas cortas de mucho peralte que fallan por corte y las largas de poco peralte que fallan en las fibras extremas.

Las probetas de hierro fundido son barras cilíndricas, vaciadas por separado, pero en moldes de arena de las mismas condiciones y tomados del mismo crisol que los vaciados que representan. En la tabla 9.1, se dan tres tamaños comunes de barras de ensayo. Ellas son ensayadas como vigas simples bajo carga central con claros que dependen del tamaño de la barra, también como son mostradas en la Tabla 9.1.

TABLA 9.1.- TAMAÑOS NORMALES DE BARRAS DE ENSAYO DE HIERRO FUNDIDO PARA ENSAYOS DE FLEXION\*

Dimensiones nominales, plg	Sección que controla los vaciados, plg		Distancia entre los apoyos, plg.
	Diámetro	Longitud	
0.50 o menos	0.875	15	12
0.51 a 1.00	1.20	21	18
1.01 o más	2.00	27	24

\* Basada en la ASTM A 48

## 9.3.- APARATOS PARA ENSAYOS DE FLEXION

Los principales requerimientos de los bloques de apoyo y carga para ensayos de vigas son los siguientes:

1.- Deben tener una forma tal que permita el uso de un claro de largo definido y conocido.

2.- Las áreas de contacto con el material bajo ensayo deben ser tales que las concentraciones de esfuerzo indebidamente altas (las cuales pueden causar aplastamiento localizado alrededor de las áreas de apoyo) no ocurran.

3.- Debe haber margen para el ajuste longitudinal de la posición de los apoyos de modo que la restricción longitudinal no pueda desarrollarse a medida que la carga progresa.

4.- Debe haber margen para algún ajuste lateral rotativo para acomodar las vigas que estén ligeramente torcidas de uno al otro extremo, de modo que no se inducirán esfuerzos torsionantes.

5.- El arreglo de las partes debe ser estable bajo carga.

Un número de especificaciones describe detalladamente el tipo de apoyo a usar con los materiales particulares. Los aspectos principales de los arreglos de apoyo representativos se muestran en la figura 9.1.

Muchos ensayos de flexión se realizan en máquinas de ensayo universales, con los apoyos colocados sobre la base o una extensión de ella y el bloque de carga sujetado al, o colocado bajo el cabezal movable. Sin embargo, para los ensayos de control de algunos materiales (por ejemplo, ensayos de fundición del hierro fundido y ensayos de campo del cemento), frecuentemente se emplean máquinas especiales de operación manual.

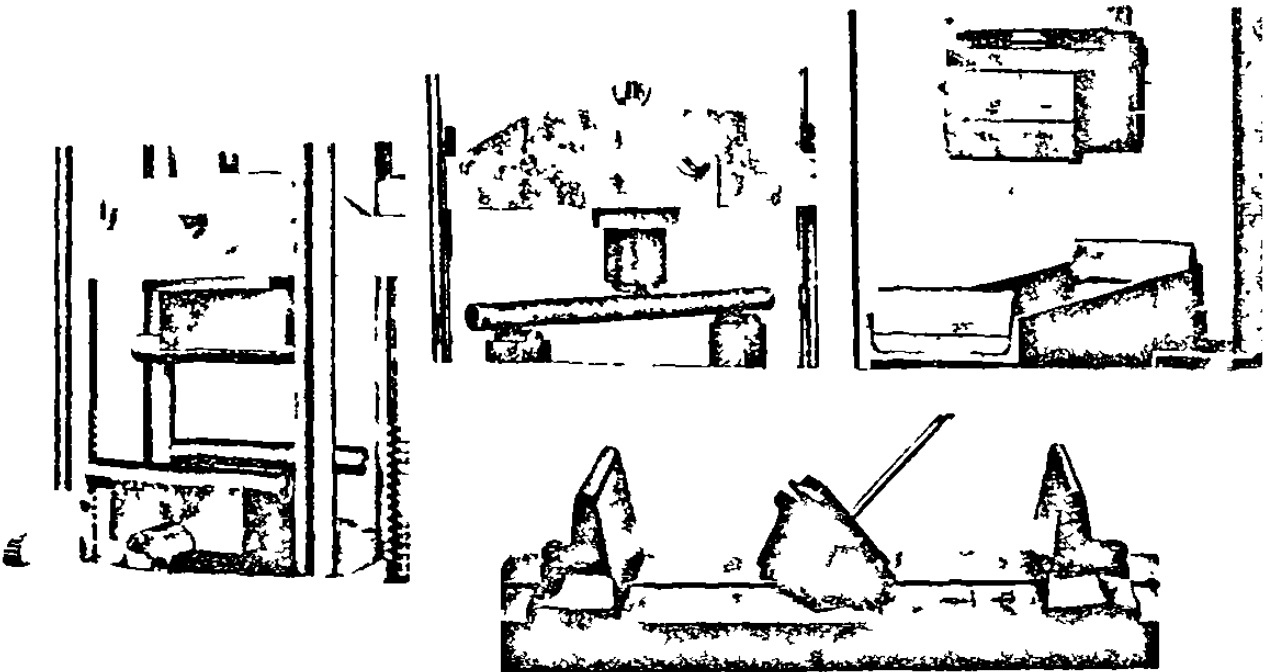


Figura 9.1.- Aspectos principales de los dispositivos de apoyo y carga para ensayos de vigas que indican el margen para ajuste rotatorio longitudinal y lateral en los apoyos.

Los aparatos para medir la deflexión (flecha) deben diseñarse de tal modo que el aplastamiento en los apoyos, el asentamiento de los apoyos y la deformación de los bloques de apoyo y carga o de las partes de la máquina, no introduzcan errores serios en los resultados. Un método para evitar estas fuentes de errores consiste en medir las deflexiones con referencia a puntos



sobre el eje neutro arriba de los apoyos. El arreglo típico se muestra en la figura 9.2.

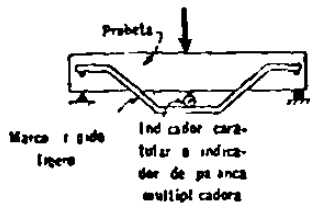


Figura 9.2.- Dispositivos para medir la deflexión.

En general, las deflexiones dentro del límite proporcional deben leerse hasta cuando menos 1/100 de la deflexión en el límite proporcional; para deflexiones mayores deben leerse hasta cuando menos 1/100 de la deflexión al ocurrir la ruptura.

#### 9.4.- REALIZACION DE LOS ENSAYOS DE FLEXION DE LAS VIGAS.

La realización de ensayos rutinarios de flexión es usualmente simple. Ordinariamente sólo el módulo de ruptura se requiere; éste se determina de la carga al ocurrir la ruptura y las dimensiones de la pieza (claro y sección transversal crítica)  $\sigma = Mc/I$ . Cuando el módulo de elasticidad es requerido, una serie de observaciones de carga y deflexión se hacen.

El montaje de apoyos y probeta debe colocarse centralmente en la máquina de ensaye y debe revisarse para cerciorarse de que estén debidamente alineados y puedan funcionar según se desee.

Para barras de flexión de hierro fundido, la carga debe aplicarse a una velocidad tal que la fractura se produzca en no menos de 15 seg. para la barra de 0.875 plg. de diámetro, 20 seg. para la de 1.20 plg. y 40 seg. para la de 2.0 plg. (ASTM A 48).

#### 9.5.- OBSERVACIONES DEL ENSAYO

Los tipos generales de observación y registro de los ensayos en flexión son similares a aquellos de los ensayos de tensión y compresión.

Las condiciones bajo las cuales el módulo de ruptura se determina (tipo de probeta, longitud del claro, tipo y velocidad de carga, etc.), deben siempre registrarse, ya que ellos afectan marcadamente los resultados.

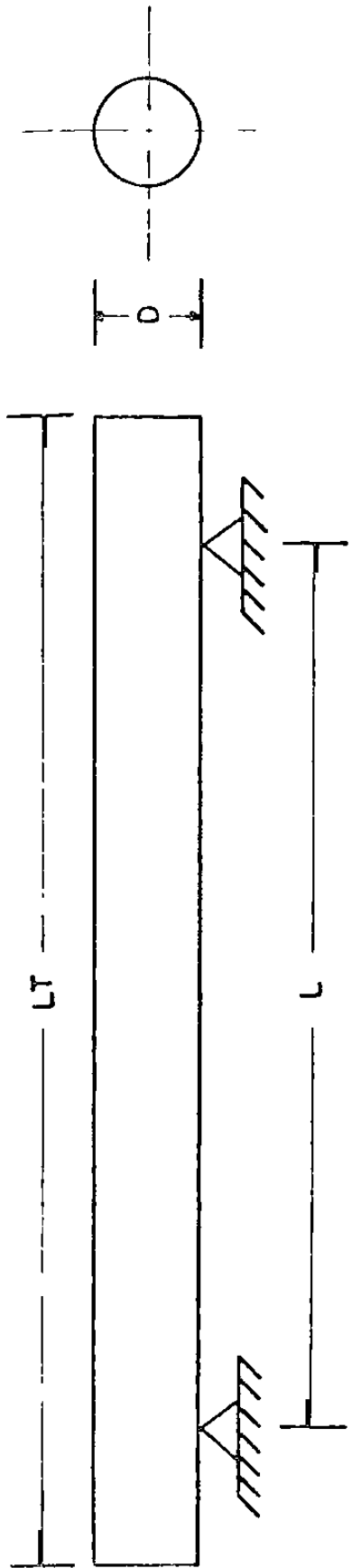
Al computar el módulo de elasticidad de los datos de carga y de deflexión, el procedimiento más simple consiste en trazar un diagrama de carga y deflexión y de la pendiente del diagrama computar las cargas y la deflexión para su sustitución en la fórmula de deflexión pertinente.

En los ensayos de vigas que no fallan por ruptura súbita, las indicaciones de la inminencia de la falla, tales como grietas, cedencia localizada, flambeo, etc., deben observarse cuidadosamente.

La forma de la sección transversal de una viga puede afectar apreciablemente la resistencia de la viga. Los ensayos de vigas de hierro fundido de una variedad de formas, pero de aproximadamente la misma área seccional demuestran que en general el módulo de ruptura y el módulo de elasticidad son más bajos para vigas que tengan una proporción relativamente mayor del área seccional concentrada cerca de las fibras extremas, como en el caso de una sección I, aunque las cargas de ruptura sean considerablemente mayores para tales secciones.

#### 9.6.- PRESENTACION DE DATOS

El diagrama de la probeta estándar y el reporte de la prueba de flexión donde se incluyen los datos iniciales, las condiciones de prueba y resultados se incluyen en seguida.



BARRAS EN HIERRO FUNDIDO

DIAMETRO NOMINAL PULG. "D"	SECCION QUE CONTROLA LOS VACIADOS PULG.		DISTANCIA ENTRE APOYOS PULG. "L"
	DIAMETRO	LONGITUD "T"	
0.50 o' mas	0.875	15	12
0.51 o' 1.00	1.20	21	18
1.01 o' mas	2.00	27	24

LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.

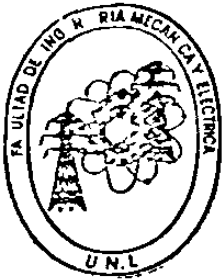
ENSAYO: FLEXION

MATERIAL: F. V.

EST: ASTM 48

COTAS: PULGADAS

UANL  
FIME



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
 FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
 U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
 TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE FLEXION

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No. -----  
 ESTANDAR -----  
 MATERIAL -----  
 LONGITUD ENTRE APOYOS ----- cm  
 LONGITUD TOTAL ----- cm  
 DIAMETRO INICIAL ----- cm  
 AREA INICIAL ----- cm<sup>2</sup>  
 RANGO ----- Kg  
 CARGA DE CEDENCIA ----- Kg  
 CARGA MAXIMA ----- Kg  
 ESFUERZO DE CEDENCIA ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 ESFUERZO MAXIMO ----- Kg/cm<sup>2</sup>  
 DEFLEXION MAXIMA ----- cm  
 VEL. DE APLICACION DE CARGA ----- %  
 NUCLEO ELASTICO ----- cm<sup>2</sup>  
 NUCLEO PLASTICO ----- cm<sup>2</sup>  
 DEFLEXION DE RECUPERACION ----- cm  
 MOMENTO DE INERCIA ----- cm<sup>4</sup>  
 MODULO DE SECCION ----- cm<sup>3</sup>  
 TEXTURA DEL GRANO -----  
 TIPO DE FRACTURA -----

MONTERREY, N.L.

FECHA: \_\_\_\_\_

## X.- ENSAYO DE DOBLADO

## 10.1.- DOBLADO EN METALES

Los ensayos de "doblado" (de los cuales el más común es el de "doblado" en frío) ofrecen un medio sí ple, un tanto burdo, pero frecuentemente satisfactorio para obtener un índice de ductilidad. Escencialmente el ensayo consiste en doblar bruscamente una barra a un ángulo grande y notar si ocurre o no agrietamiento en la superficie exterior de la pieza doblada. Muchas veces se determina el ángulo de doblado al cual el agrietamiento se inicia. La severidad del ensayo generalmente se varía usando tamaños diferentes de pernos alrededor de los cuales se hace el doblado.

Ocasionalmente se realizan ensayos de doblado para constatar la ductilidad para tipos particulares de servicio o detectar la pérdida de ductilidad bajo ciertos tipos de tratamiento. Así, los ensayos de doblado en frío que como el nombre lo implica, se hacen doblando un metal a temperaturas ordinarias, pueden servir para detectar un contenido demasiado alto del carbono o fósforo o condiciones de rolado impropios en el acero. Los ensayos de doblado en frío son requeridos en las especificaciones para muchos aceros, particularmente aquellos en forma de varilla y placa, por ejemplo, barras para refuerzo del concreto (ASTM A 15, A 16), acero para remaches (ASTM A 141), acero estructural (ASTM A 7), placas de acero para recipientes de presión (ASTM A 285), etc. El ensayo de doblado se usa también frecuentemente para ensayar la ductilidad de las soldaduras.

TABLA 10.1.- REQUERIMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO PARA BARRAS DE REFUERZO PARA CONCRETO\*

No. de designación de la barra	Barras sencillas			Barras deformadas		
	Grado estructural	Grado intermedio	Grado duro	Grado estructural	Grado intermedio	Grado duro
Menor de 6	180° $d = t$	180° $d = 2t$	180° $d = 4t$	180° $d = 2t$	90° $d = 3t$	90° $d = 4t$
6, 7, 8	180° $d = t$	90° $d = 2t$	90° $d = 4t$	180° $d = 3t$	90° $d = 4t$	90° $d = 5t$
9, 10, 11	180° $d = t$	90° $d = 2t$	90° $d = 4t$	180° $d = 4t$	90° $d = 5t$	90° $d = 6t$

NOTA:  $d$  = diámetro del perno alrededor del cual la probeta se dobla.  
 $t$  = diámetro de la probeta.

\* Basado en la ASTM A 15.

El ángulo especificado de doblado y el tamaño del perno alrededor del cual la pieza se dobla sin agrietarse dependen del grado del metal y del tipo de servicio para el cual haya de usarse. En el caso de las barras de refuerzo, para concreto, las cuales deben doblarse en frío en la obra, los requerimientos se muestran en la Tabla 10.1. Los requerimientos para el acero estructural se muestran en la Tabla 10.2, doblandose la probeta 180° en cada caso. Se requiere que una probeta de varilla para remaches se doble aplanándola contra sí misma.

TABLA 10.2.- REQUERIMIENTOS DE LOS ENSAYOS DE DOBLADO  
PARA ACERO ESTRUCTURAL\*

Grueso del material, plg	Razón entre el diámetro del perno y el grueso de la probeta
$\frac{3}{4}$ o menos . . . . .	$\frac{1}{2}$
Más de $\frac{3}{4}$ hasta 1 . . . . .	1
Más de 1 hasta $1\frac{1}{2}$ . . . . .	$1\frac{1}{2}$
Más de $1\frac{1}{2}$ hasta 2 . . . . .	$2\frac{1}{2}$
Más de 2 . . . . .	3

\* Basado en la ASTM A 7

Los aspectos esenciales de los dos tipos de aparatos para doblado en frío se muestran, esquemáticamente en la figura 10.1. En la máquina Olsen - el ángulo de doblado puede medirse.

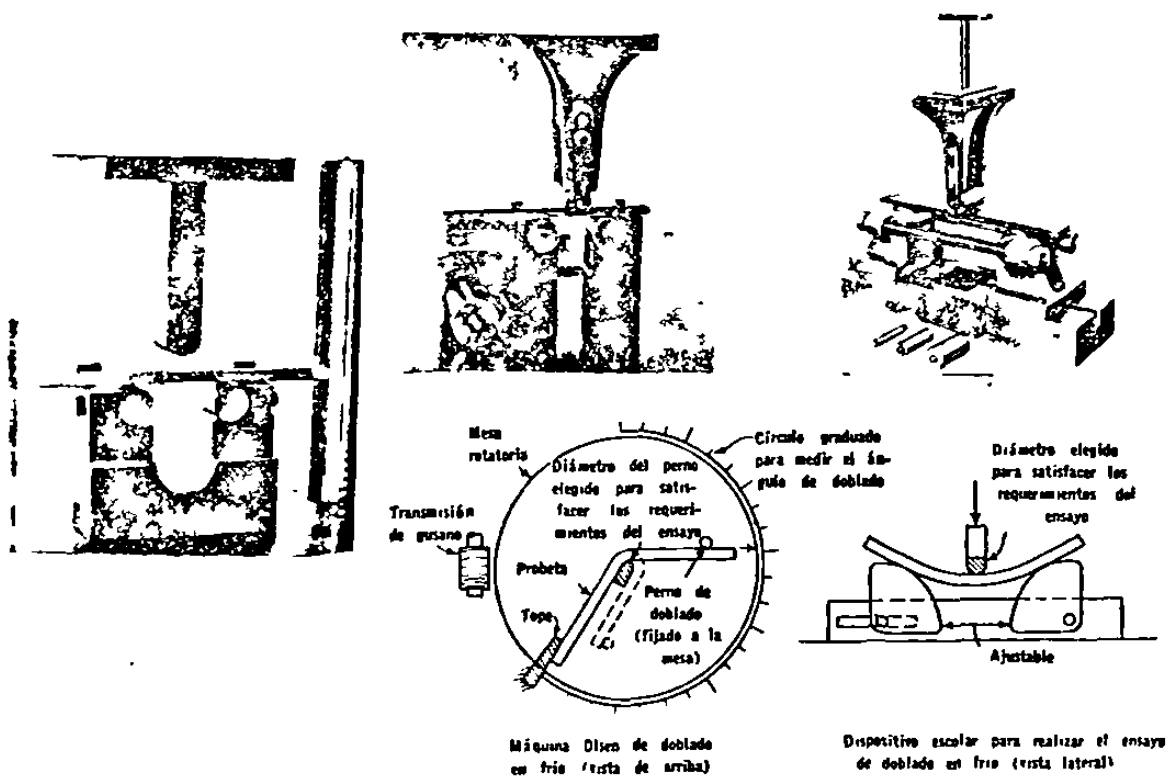
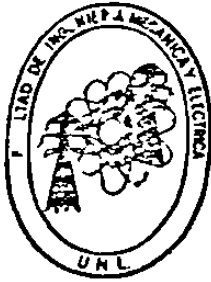


Figura 10.1.- Aparato de ensayo para doblado en frío.

## 10.2.- FORMATO

A continuación presentamos un formato donde se contienen los datos iniciales y los resultados de prueba por ensayo de doblado.



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE DOBLADO

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No. -----

ESTANDAR -----

MATERIAL -----

LONGITUD ----- cm

ANCHO ----- cm

ESPESOR ----- cm

DIAMETRO DEL PERNO ----- cm

CARGA MAXIMA ----- Kg

ANGULO MAX. DE DOBLADO ----- °

MONTERREY, N.L.

FECHA: \_\_\_\_\_

## XI.- ENSAYOS DE DUREZA

### 11.1.- INTRODUCCION

Es difícil definir la propiedad de "dureza", excepto en relación con la prueba empleada en particular para determinar su valor. Debe tenerse en cuenta que un número o valor de dureza no puede utilizarse directamente en trabajos de diseño, como se puede hacer con un valor de resistencia a la tensión, ya que los números de dureza no tienen significado intrínseco.

La dureza no es una propiedad fundamental de un material, sino que está relacionada con las propiedades elásticas y plásticas. El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo como comparación entre materiales o tratamientos. El procedimiento de prueba y la preparación de la muestra suelen ser sencillos y los resultados pueden utilizarse para estimar otras propiedades mecánicas. La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control. El tratamiento térmico o el trabajo efectuado en una pieza metálica resulta generalmente en un cambio de dureza. Cuando se establece el valor resultante de la dureza de un tratamiento térmico a un material dado por un proceso determinado, esa estimación proporcionará un método rápido y sencillo, (de inspección y control) para el material y proceso particulares.

Las diversas pruebas de dureza se pueden dividir en tres categorías:

- Dureza elástica.
- Resistencia al corte o abrasión, y
- Resistencia a la indentación.

### 11.2.- DUREZA ELASTICA

Este tipo de dureza se mide mediante un escleroscopio (figura 11.1), -- que es un dispositivo para medir la altura de rebote de un pequeño martillo con emboquillado de diamante, después de que cae por su propio peso desde -- una altura definida sobre la superficie de la pieza a prueba. El instrumento tiene por lo general un disco autoindicador tal que la altura de rebote se indica automáticamente. Cuando el martillo es elevado a su posición inicial, tiene cierta cantidad de energía potencial. Cuando es liberada, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la superficie de la pieza a prueba. Alguna energía se absorbe al formar la impresión, y el resto regresa al martillo, al rebotar éste. La altura de rebote se indica por un número sobre una escala arbitraria tal que cuanto mayor sea el rebote mayor será el número y la pieza a prueba será más dura.

Esta prueba es realmente una medida de la resistencia del material, o sea, la energía que puede absorber en el intervalo elástico.

El aparato denominado esclerómetro o escleroscopio Shore (figura 11.1) está formado por un tubo de cristal de unos 300 mm. de altura, por cuyo interior cae un martillo que pesa 1/12 de onza (2,36 gr.), que es un cilindro de acero con una punta de diamante redondeada. La altura de caída es de 10" -- (254 mm.), y está dividida en 140 partes iguales.

El aparato se fija a la pieza que se va a ensayar con un pedestal que lleva adecuado para este fin. Se aspira el martillo haciendo el vacío con una pera, y una vez en la parte más alta, se deja caer. Al rebotar queda retenido en su posición más alta, para hacer cómodamente la lectura.

El aparato se gradúa dividiendo en 100 partes la altura media del rebote en una pieza de acero duro templado y prolongando la escala en 40 divisiones más, iguales a las anteriores, para poder realizar medidas en materiales extraduros.

Hay un modelo de esclerómetro que lleva una esfera donde queda registra

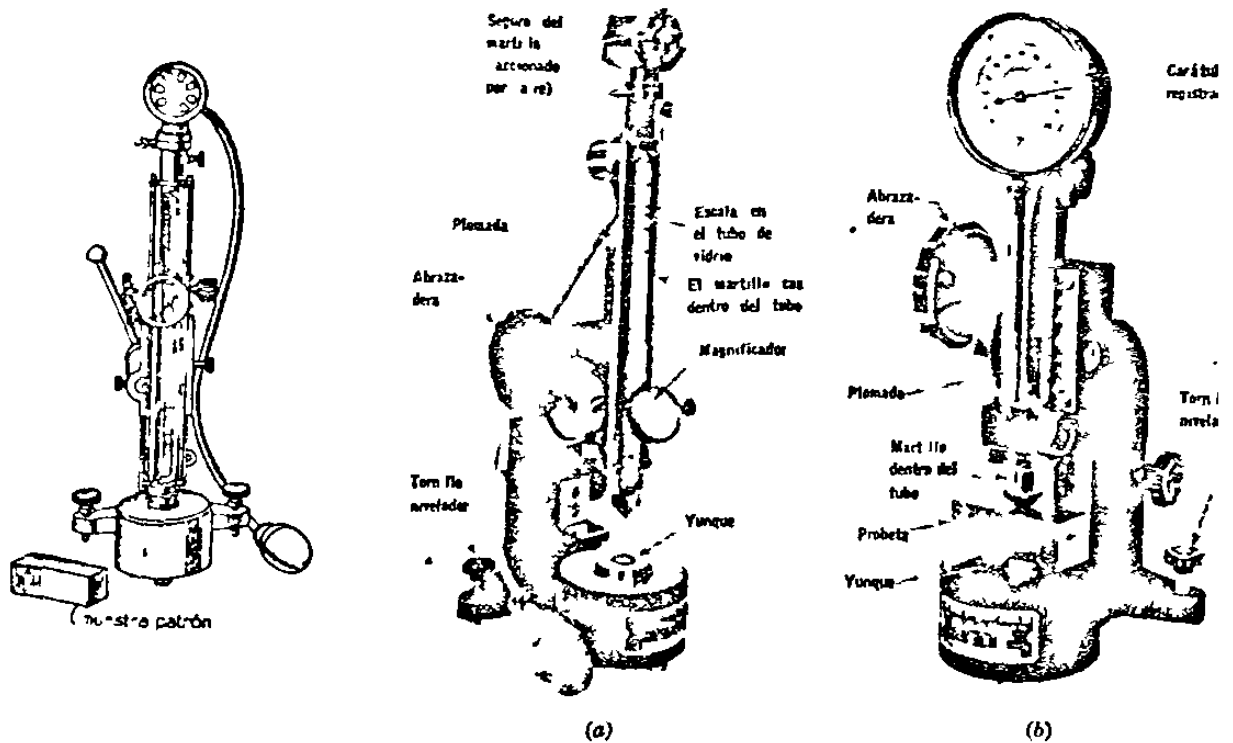


Figura 11.1.- (a) Escleroscopio de lectura directa y (b) escleroscopio de registro caratular

da la altura del rebote del martillo. La altura de caída en este aparato es sólo de 20mm.; pero como el martillo pesa mucho más (37 gr.), las cifras de dureza obtenidas son similares en los dos modelos de esclerómetros.

La ventaja del esclerómetro Shore es que no produce prácticamente ninguna huella en el material ensayado, por lo que se utiliza para medir la dureza superficial de piezas terminadas, como cilindros de laminación, etc.

Es, por tanto, el único ensayo no destructivo, de todos los empleados para determinar la dureza.

### 11 3 - RESISTENCIA AL CORTE O ABRASION

*Prueba de rayadura.*- Esta prueba la ideó Friedrich Mohs. La escala consta de diez minerales estándar arreglados siguiendo un orden de incremento de dureza. El talco es el 1, el yeso el 2, etc., hasta el 9 para el corindón y el 10 para el diamante.

En la Tabla 11.1, se muestra la escala completa con una extensión de la misma.

Si un material desconocido es rayado apreciablemente por el 6 y no por el 5, el valor de dureza está entre 5 y 6. Esta prueba no se ha utilizado mucho en Metalurgia, pero aún se emplea en Mineralogía. La principal es que la escala de dureza no es uniforme. Cuando la dureza de los minerales es examinada por otro método de prueba de dureza, se encuentra que los valores están muy cercanos entre 1 y 9 y que hay gran diferencia en dureza no cubiertas entre 9 y 10.

El esclerómetro de Marten fue el primer aparato que se empleó para medir la dureza al rayado (figura 11 2).



TABLA 11.1.- DUREZA CONTRA EL RAYADO-BASE MINERALOGICA

Escala de Mohs		Extensión de la escala de Mohs*		Equivalente metálico
No de dureza	Mineral de referencia	No. de dureza	Mineral de referencia	
1	Talco	1	Talco	
2	Yeso	2	Yeso	
3	Calcita	3	Calcita	
4	Fluorito	4	Fluorito	
5	Apatita	5	Apatita	
6	Feldespató (ortoclasa)	6	Feldespató (ortoclasa)	
		7	Sílice puro vítreo	
7	Cuarzo	8	Cuarzo	Estilita
8	Topacio	9	Topacio	
		10	Granate	
		11	Circonia fundida	Carburo de tántalo
9	Zafiro o corundo	12	Alúmina fundida	Carburo de tungsteno
		13	Carburo de silicio	
		14	Carburo de boro	
10	Diamante	15	Diamante	

El ensayo Marten se basa en la medida de la anchura de la raya que produce en el material que se ensaya, al moverlo, una punta de diamante de forma piramidal y de ángulo en el vértice de 90°, con una carga constante y determinada.

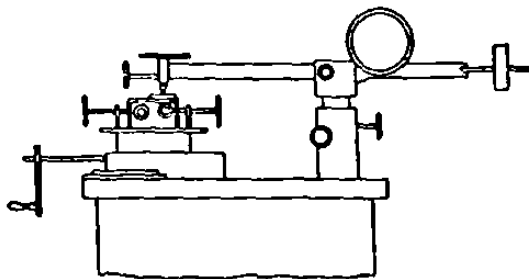
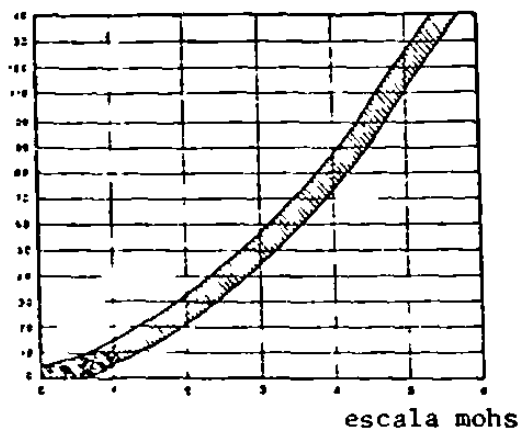


Figura 11.2.- Esclerómetro Marten, para medir la dureza al rayado.

dureza marten



Midiendo la anchura  $a$  de la raya en micras, se calculan las durezas Marten por la fórmula

$$\Delta M = \frac{10,000}{a^2}$$

Como orientación, damos la dureza Marten de algunos metales:

Plomo	-----	16,8
Cobre	-----	37
Acero dulce	-----	73
Acero duro	-----	145

En la figura 11.3, se muestra una gráfica donde se compara las durezas Marten y la escala de Mohs.

Figura 11.3.- Equivalencia entre las durezas Marten y la escala de Mohs.

**Prueba o ensayo de lima.**- La pieza a prueba se somete a la acción de corte de una lima de dureza conocida, para determinar si se produce un corte visible. Las pruebas comparativas con una lima dependen del tamaño, forma y dureza de la lima; de la velocidad, presión y ángulo de limado durante la prueba; y de la composición y tratamiento térmico del material a prueba. La prueba generalmente se emplea en la industria como aceptación o rechazo de una pieza.

En muchos casos, sobre todo con aceros para herramientas, cuando el acero se trata térmicamente, será suficientemente duro, tal que si se pasa una lima por la superficie, ésta no se cortará. No es raro encontrar especificaciones de tratamiento térmico que digan simplemente "tratar térmicamente hasta que el material tome dureza a prueba de lima". Al pasar una lima por la superficie, se puede examinar con rapidez un gran número de partes tratadas térmicamente para determinar si el tratamiento ha sido satisfactorio.

Puede determinarse aproximadamente la dureza de un acero templado por medio de una lima nueva o en buen estado.

Si no "entra" la lima, su dureza será superior a 60 HRC (60 Rockwell-C), y si le "entra", será inferior a 58 HRC (58 Rockwell-C).

Este ensayo puede considerarse incluido entre los que miden la dureza al rayado.

**11.4.- RESISTENCIA A LA INDENTACION**

Esta prueba generalmente es realizada imprimiendo en la muestra, la que está en reposo sobre una plataforma rígida, un marcador o indentador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida que se aplique directamente o por medio de un sistema de palanca. Dependiendo del sistema de prueba, la dureza se expresa por un número inversamente proporcional a la profundidad de la indentación para una carga y marcador especificados, o proporcional a una carga media sobre el área de mella. Los métodos comunes para pruebas de dureza por indentación se dan en la Tabla 11.2 y posteriormente se describen cada uno.

**TABLA 11.2.- PRUEBAS DE DUREZA**

Prueba	Punta	Forma de penetración		Carga	Fórmula para número de dureza	
		Vista lateral	Vista superior			
Brinell	Esfera de 10mm de acero o carburo de tungsteno			P	$NDB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	
Vickers	Pirámide de diamante			P	$NDV = 1.854P/d_1^2$	
Dureza Knoop	Pirámide de diamante			P	$NDK = 14.2P/l^2$	
Rockwell						
A } C } D }	Cono de diamante			60 kg 150 kg 100 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$	100-500t
B } F } G }	Esfera de acero de 1/16" de diámetro			100 kg 60 kg 150 kg	$R_B =$ $R_F =$ $R_G =$	
E	Esfera de acero de 1/8" de diámetro			100 kg	$R_E =$	130-500t

a) *Prueba o ensayo de la máquina.* - El probador de dureza Brinell generalmente consta de una prensa hidráulica vertical de operación manual, diseñada para forzar un marcador de bola dentro de la muestra (figura 11.4).

En la figura 11.5, se muestra la máquina y el microscopio usado en la prueba.

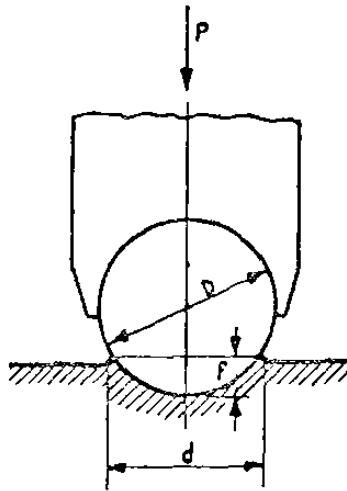
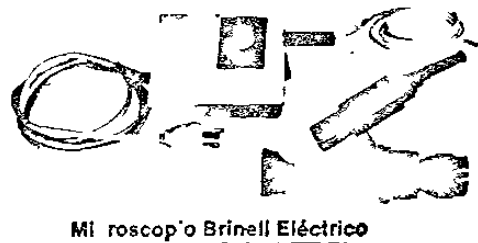
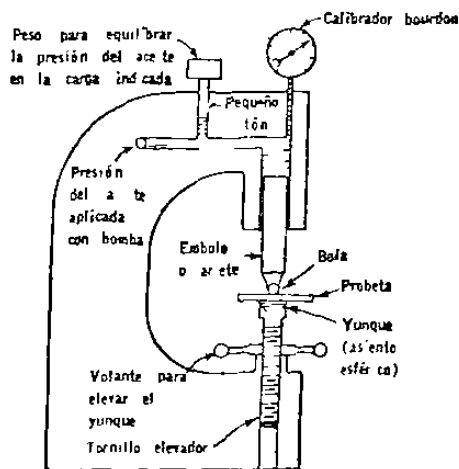


Figura 11.4.- Esquema del ensayo Brinell.



Microscopio Brinell Eléctrico

Figura 11.5.- Aspectos de la máquina Brinell. Aplica las cargas hidráulicas, las cuales se regulan mediante un válvula entre 500 y 3000 Kg. - El penetrador de bolilla tiene un movimiento vertical máximo de 25 mm. - La lectura debe hacerse con un microscopio como el mostrado.

El procedimiento estándar requiere que la prueba se haga con una bola de 10 mm de diámetro bajo una carga de 3 000 kg para metales ferrosos a 500 kg para metales no ferrosos. Para metales ferrosos, la bola bajo presión es presionada dentro de la muestra a prueba por lo menos durante 10 seg; para metales no ferrosos el tiempo es 30 seg. El diámetro de la impresión producida es medido por medio de un microscopio que contiene una escala ocular, generalmente graduada en décimos de milímetro, que permite estimaciones de hasta casi 0.05 mm.

El número de dureza Brinell (HB) es la razón de la carga en kilogramos al área en milímetros cuadrados de la impresión, y se calcula mediante la fórmula:

$$HB = \frac{L}{(\pi D/2)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

donde:

- L = carga de prueba, kg
- D = diámetro de la bola, mm
- d = diámetro de la impresión, mm

Por lo general no se necesita hacer el cálculo, ya que hay tablas para convertir el diámetro de la grabación observada al número de dureza Brinell (consúltese la tabla 11.3).

El número de dureza Brinell cuando se usa la bola ordinaria está limitado a 500 HB aproximadamente. Conforme el material a prueba sea más duro, hay tendencia a que el propio marcador de muescas se empiece a deformar y las lecturas no serán exactas. El límite superior de la escala puede aumentarse al usar una bola de carburo de tungsteno en vez de una bola de acero endurecido. En ese caso, es posible llegar a 650 HB aproximadamente.

La ASTM especifica que no deben aparecer marcas en la pieza sobre el lado opuesto a la indentación y también requiere que el grueso de la probeta sea cuando menos 10 veces mayor que la profundidad de la huella. Para satisfacer este requerimiento la dureza mínima para un grueso de probeta dado, debe ser la indicada en la Tabla 11.4.

Si una indentación se hace demasiado cerca del borde de la probeta, ésta puede ser demasiado grande y asimétrica. Si se hace demasiado cerca de uno anterior; puede resultar demasiado grande debido a la carencia de suficiente material sustentante o demasiado pequeño debido al endurecimiento por trabajo del material por la primera indentación. Sin embargo, los ensayos han demostrado que los errores pueden desestimarse si la distancia al centro de la huella desde el borde de la probeta o desde el centro de las huellas adyacentes es igual a o mayor que 2 1/2 veces al diámetro de la huella.

La superficie de la huella no es realmente esférica porque la bola sufre alguna deformación bajo carga y existe alguna recuperación de la pieza de ensayo cuando la carga es retirada. Así las indentaciones hechas con bolas de diferentes tamaños y cargas no son geométricamente similares. Sin embargo, para ensayar probetas delgadas o pequeñas, algunas veces resulta necesario realizar ensayos de dureza de Brinell con una bola de menos de 10 mm de diámetro. Tales ensayos (los cuales no deben considerarse como ensayos de dureza de Brinell normales) se aproximan a los ensayos normales más estrechamente si la relación entre la carga aplicada P en kilogramos, y el diámetro D de la bola, en milímetros, es la misma que en los ensayos normales.

Donde  $P/D^2 = 30$  para carga de 3 000 kg y bola de 10 mm

TABLA 11.3.- RELACIONES APROXIMADAS DE MEDICIONES DE DUREZA PARA ACEROS

Diámetro, mm	Brinell, 3 000 Kg		Vickers, marcador piramidal de diamante	Rockwell, usando marcador o penetrador de diamante de forma cónica				Escleroscopio	Mohs	Resistencia tensil, 1 000 lb/pulg.
	Bola estándar	Bola de carburo de tungsteno		C 150 KG	D 100 KG	A 60 KG	Superficial 30 N			
2.35	...	682	737	61.7	72.0	82.2	79.0	84		
2.40	...	653	697	60.0	70.7	81.2	77.5	81		
2.45	...	627	667	58.7	69.7	80.5	76.3	79	8.0	323
2.50	...	601	640	57.3	68.7	79.8	75.1	77	...	309
2.55	...	578	615	56.0	67.7	79.1	73.9	75	...	297
2.60	...	555	591	54.7	66.7	78.4	72.7	73	7.5	285
2.65	...	534	569	53.5	65.8	77.8	71.6	71	...	274
2.70	...	514	547	52.1	64.7	76.9	70.3	70	...	263
2.75	495	...	539	51.6	64.3	76.7	69.9	...	...	259
	...	495	528	51.0	63.8	76.3	69.4	68	...	253
2.80	477	...	516	50.3	63.2	75.9	68.7	...	...	247
	...	477	508	49.6	62.7	75.6	68.2	66	...	243
2.85	461	...	495	48.8	61.9	75.1	67.4	...	...	237
	...	461	491	48.5	61.7	74.9	67.2	65	...	235
2.90	444	...	474	47.2	61.0	74.3	66.0	...	7.0	226
	...	444	472	47.1	60.8	74.2	65.8	63	...	225
2.95	429	429	455	45.7	59.7	73.4	64.6	61	...	217
3.00	415	415	440	44.5	58.8	72.8	63.5	59	...	210
3.05	401	401	425	43.1	57.8	72.0	62.3	58	...	202
3.10	388	388	410	41.8	56.8	71.4	61.1	56	...	195
3.15	375	375	396	40.4	55.7	70.6	59.9	54	6.5	188
3.20	363	363	383	39.1	54.6	70.0	58.7	52	...	182
3.25	352	352	372	37.9	53.8	69.3	57.6	51	...	176
3.30	341	341	360	36.6	52.8	68.7	56.4	50	...	170
3.35	331	331	350	35.5	51.9	68.1	55.4	48	...	166
3.40	321	321	339	34.3	51.0	67.5	54.3	47	...	160
3.45	311	311	328	33.1	50.0	66.9	53.3	46	...	155
3.50	302	302	319	32.1	49.3	66.3	52.2	45	6.0	150
3.55	293	293	309	30.9	48.3	65.7	51.2	43	...	145
3.60	285	285	301	29.9	47.6	65.3	50.3	42	...	141
3.65	277	277	292	28.8	46.7	64.6	49.3	41	...	137
3.70	269	269	284	27.6	45.9	64.1	48.3	40	...	133
3.75	262	262	276	26.6	45.0	63.6	47.3	39	...	129
3.80	255	255	269	25.4	44.2	63.0	46.2	38	...	126
3.85	248	248	261	24.2	43.2	62.5	45.1	37	5.5	122
3.90	241	241	253	22.8	42.0	61.8	43.9	36	...	118
3.95	235	235	247	21.7	41.4	61.4	42.9	35	...	115
4.00	229	229	241	20.5	40.5	60.8	41.9	34	...	111

TABLA 11.3.- RELACIONES APROXIMADAS DE MEDICIONES DE DUREZA PARA ACEROS (Continuación).

Diámetro, mm	Brinell, 1000 Kg Bola estándar	Rockwell, uso de marcador o penetrador de forma cónica						Eclipsoscopio	Mohs	Resistencia a la tensión, 1000 lb/pulg <sup>2</sup>
		Marcador de diamante cónico		B 100 Kg Bola de 1/16 de pulg	E 100 Kg Bola de 1/8 de pulg	Superficial				
		D 100 KG	A 60 KG			30 N Marcador de diamante cónico	30 T Bola de 1/16 de pulg			
4 05	223	40	60	97	...	41	80.5	33	...	108
4 10	217	39	60	96	...	40	80.0	32	...	105
4 15	212	38	59	95	...	39	79.0	31	...	102
4 20	207	37	59	94	...	38	78.5	31	...	100
4 25	202	37	58	93	110	37	78.0	30	...	98
4 30	197	36	58	92	110	36	77.5	29	...	96
4 35	192	35	57	91	109	35	77.0	28	5.0	94
4 40	187	34	57	90	109	34	76.0	28	...	92
4 45	183	34	56	89	109	33	75.5	27	...	90
4 50	179	33	56	88	108	32	75.0	27	...	88
4 55	174	33	55	87	108	31	74.5	26	...	86
4 60	170	32	55	86	107	30	74.0	26	...	84
4 65	166	32	54	85	107	30	73.5	25	...	82
4 70	163	31	53	84	106	29	73.0	25	...	81
4 75	159	31	53	83	106	28	72.8	24	...	79
4 80	156	30	52	82	105	27	71.5	24	...	77
4 85	153	..	..	81	105	..	71.0	23	...	76
4 90	149	..	..	80	104	..	70.0	23	4.5	75
4 95	146	..	..	79	104	..	69.5	22	...	74
5 00	143	..	..	78	103	..	69.0	22	...	72
5 05	140	..	..	76	103	..	68.0	21	...	71
5 10	137	..	..	75	102	..	67.0	21	...	70
5 15	134	..	..	74	102	..	66.0	21	..	68
5 20	131	..	..	73	101	..	65.0	20	...	66
5 25	128	..	..	71	100	..	64.0	..	...	65
5 30	126	..	..	70	100	..	63.5	..	...	64
5 35	124	..	..	69	99	..	62.5	..	...	63
5 40	121	..	..	68	98	..	62	..	...	62
5 45	118	..	..	67	97	..	61	..	...	61
5 50	116	..	..	65	96	..	60	..	...	60
5 55	114	..	..	64	95	..	59	..	...	59
5 60	112	..	..	63	95	..	58	..	...	58
5 65	109	..	..	62	94	..	58	..	...	56
5 70	107	..	..	60	93	..	57	..	...	55
5 75	105	..	..	58	92	..	55	..	...	54
5 80	103	..	..	57	91	..	54	..	...	53

TABLA 11.4.- DUREZA DE UNA PROBETA DE ACERO

Espesor de la probeta, plg	Mínima dureza según Brinell para la cual un ensayo de Brinell puede efectuarse con seguridad		
	Carga de 10 kg	Carga de 100 kg	Carga de 3000 kg
1/16	100	301	602
1/8	50	150	301
3/16	33	100	201
1/4	25	75	150
5/16	20	60	120
3/8	17	50	100

\* De ASTM E 10.

- $p/D^2 = 15$  para carga de 1500 kg y bola de 10 mm
- $p/D^2 = 5$  para carga de 500 kg y bola de 10 mm

Como las indentaciones hechas por bolas de diferentes tamaños y cargas no son geoméricamente similares, es esencial que el tamaño de la bola y la magnitud de la carga se consignen con el número de dureza, siempre y cuando la carga de 3000 kg y la bola de 10 mm no hayan sido usadas.

Cuando se ha de medir la profundidad de la huella, la observación se hace justamente después de que la carga se ha retirado. Un número de dureza se computa de la profundidad de la huella mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$\text{Número de dureza de Brinell} = \frac{\text{carga aplicada}}{\text{área indentada}} = \frac{P}{\pi D t}$$

donde:

- $t$  = profundidad de la huella, en milímetros
- $D$  = diámetro de la bola, en milímetros

Sin embargo, la profundidad de huella observada  $t_1$  (usualmente determinada del movimiento relativo del vástago de la bola y la probeta) y la profundidad real  $t$  correspondiente al diámetro de la huella  $d$  no coinciden, debido a la posible formación de un borde (figura 11.6a) o una depresión circundante (figura 11.6b). Los materiales suaves como el cobre y el acero suave muestran el efecto anterior, y los materiales duros tales como el acero al manganeso y algunos bronce desarrollan una depresión.

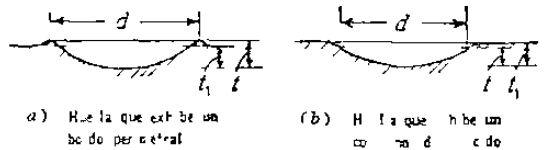


Figura 11.6.- Secciones transversales de las indentaciones en el ensayo de Brinell.

Aunque la profundidad de indentación observada  $t_1$  parece ser una base lógica de comparación, no es la base del número de dureza de Brinell de acuerdo con la definición. Sin embargo, es posible establecer para la labor de control rutinaria mediante el ensayo, la relación entre la profundidad y el diámetro de la huella para cada clase de material en las diferentes etapas de dureza. Estas relaciones pueden consignarse en una gráfica o registrarse.

se en forma tabular de modo que los ensayos rutinarios rápidos en la producción masiva pueda lograrse que arrojen valores de Brinell normalizados.

El número de dureza Brinell seguido por el símbolo HB sin números sufixos indica condiciones de prueba estándar usando una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 3 000 kg, aplicada de 10 a 15 seg. Para otras condiciones, el número de dureza y el símbolo HB se complementan por números que indican las condiciones de prueba en el siguiente orden: diámetro de la bola, carga y duración de la carga; por ejemplo 75 HB 10/500/30 indica una dureza Brinell de 75 medida con una bola de 10 mm de diámetro y una carga de 500 kg aplicada por 30 seg.

La duración de la carga es diferente para cada material como se muestra a continuación:

MATERIAL	TIEMPO
Hierros y aceros -----	10 a 30 segundos
Cobre, bronce y latones -----	30 "
Aleaciones ligeras -----	60 a 120 "
Estaño y plomo -----	120 "
Materiales muy blandos -----	120 "

*Práctica de los ensayos Brinell.*- El aparato más elemental consiste en una prensa, mediante la cual se aplica la carga correspondiente (figura 11.5). Después, por medio de una regla graduada o un microscopio provisto también de un retículo graduado (figura 11.5), se mide el diámetro de la huella que la bola ha dejado en el material y, mediante la fórmula o la tabla, se halla el número Brinell.

Si la huella resulta ovalada, se toma la media de los diámetros extremos.

Debe cuidarse especialmente al realizar el ensayo:

1°.- Que la superficie de la pieza esté limpia, sea perfectamente plana, normal al eje de aplicación de la carga y lo más homogénea posible.

2°.- Que el espesor de la pieza sea, por lo menos, doble del diámetro de la huella.

3°.- Que la distancia del centro de la huella al borde de la pieza sea, por lo menos, cuatro veces el diámetro de la huella.

Como orientación, damos la dureza Brinell de algunos materiales:

Acero de herramientas templado -----	500
Acero duro (0,80% de carbono) -----	210
Acero dulce (0,10% de carbono) -----	110
Bronce -----	100
Latón -----	50
Aluminio -----	25 a 30

*Relación entre la dureza Brinell y la resistencia.*- La resistencia de un acero puede obtenerse, de una manera aproximada, multiplicando el número Brinell por un factor que varía según el material (Tabla 11.5). Esta fórmula es válida sólo para durezas hasta 400 Brinell.

TABLA 11.5.- FACTORES PARA EL CALCULO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCION PARTIENDO DEL NUMERO BRINELL

Acero al carbono -----	0.36
Acero aleado -----	0.34



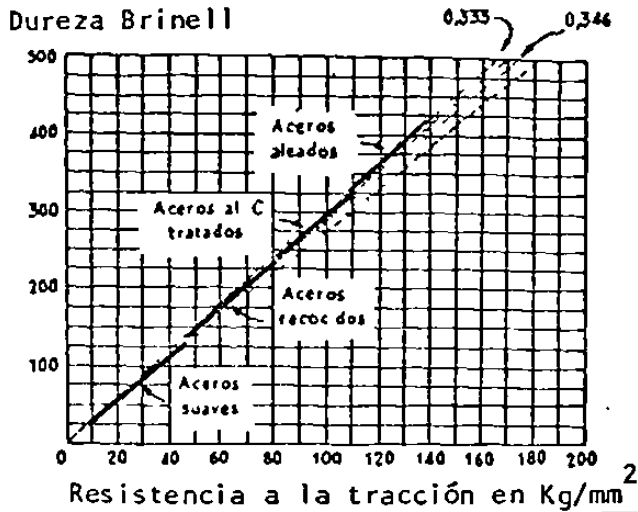


Figura 11.7.- Relación entre la dureza - de los aceros y su resistencia mecánica.

De acuerdo con esta fórmula, se ha confeccionado el gráfico de figura 11.7.

También puede obtenerse aproximadamente el contenido del carbono de un acero, si se conoce la dureza Brinell, mediante la fórmula:

$$\% C = \frac{HB - 80}{141}$$

b) Prueba o ensayo de dureza -- Rockwell.- En esta prueba de dureza se utiliza un instrumento de lectura directa basado en el principio de medición de profundidad diferencial (figura 11.8). La prueba se lleva a cabo al elevar

la muestra lentamente contra el marcador hasta que se ha aplicado una carga determinada menor. Esto se indica en el disco medidor o indicador digital, en la figura 11.9, se muestran las partes y aditamentos de las máquinas usadas. Luego se aplica la carga mayor a través de un sistema de palanca de carga. Después de que la aguja del disco llega al reposo, se quita la carga mayor y, con la carga menor todavía en acción, el número de dureza Rockwell es leído en el disco medidor. Como el orden de los números se invierte en el disco medidor, una impresión poco profunda en un material duro dará un número grande en tanto que una impresión profunda en un material blando dará un número pequeño.

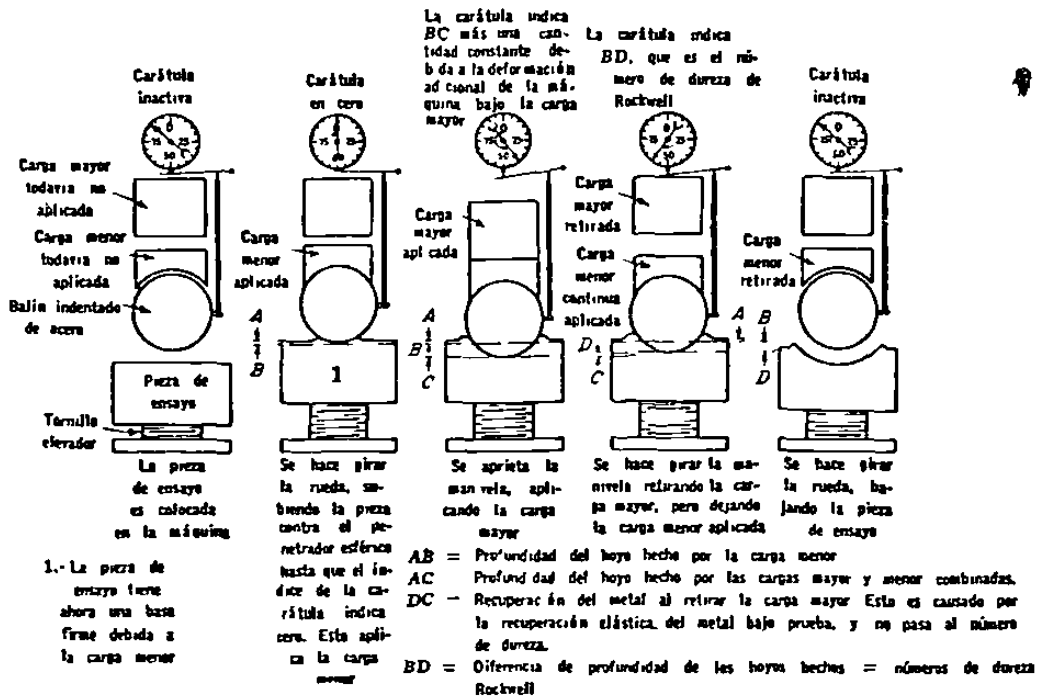
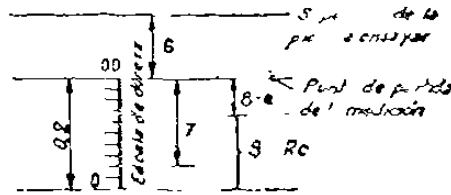
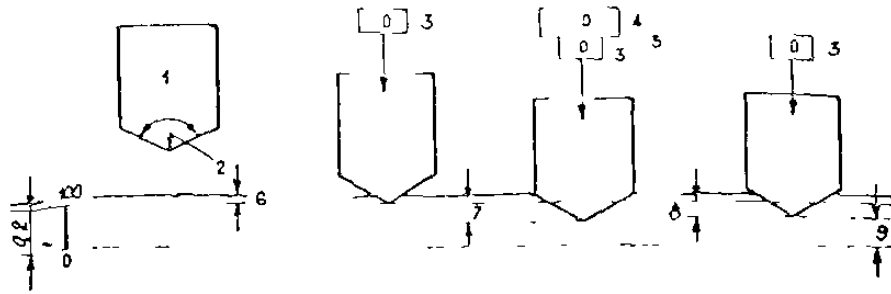
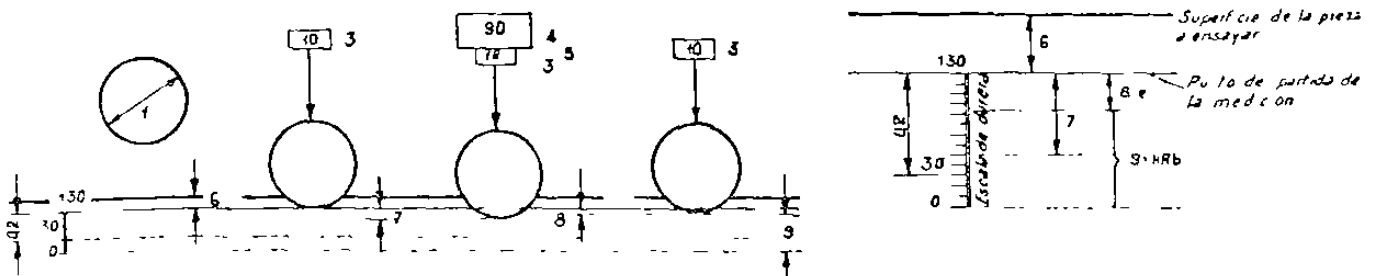


Figura 11.8.- Procedimiento para usar el aparato de dureza Rockwell.



Nº	ROCKWELL A	ROCKWELL C
1	Angulo de la punta del diamante = 120°	Angulo de la punta del diamante = 120°
2	Radio de redondeo de la punta del cono = 0.2mm	Radio de redondeo de la punta del cono = 0.2mm
3	P <sub>0</sub> Carga previa = 10 Kgs	Carga previa = 10Kgs
4	P <sub>i</sub> " adicional = 50 "	" adicional = 100 "
5	P " total = 60 " (P = P <sub>0</sub> + P <sub>i</sub> )	" total = 150 " (P = P <sub>0</sub> + P <sub>i</sub> )
6	Penetración con la carga previa (punto de partida de la medición)	Penetración con la carga previa (punto de partida de la medición)
7	Penetración total actuando la carga adicional	Penetración total actuando la carga adicional
8	e " permanente despues de quitar la C. adicional	" permanente despues de quitar la C. adicional
9	HRA o HRC Dureza Rockwell A = 100 - e	Dureza Rockwell C = 100 - e

Figura 11.8.- Esquemas de los ensayos Rockwell A y C.



Nº	ROCKWELL B
1	D Diametro de la bola = 1/16"
3	P <sub>0</sub> Carga previa = 10 kg
4	P <sub>i</sub> " adicional = 90 "
5	P " total = 100 " (P = P <sub>0</sub> + P <sub>i</sub> )
6	Penetración con la carga previa (punto de partida de la medición)
7	Penetración total actuando la carga adicional
8	e " permanente despues de quitar la carga adicional
9	HRB D e = a Rockwell B = 130 - e

Figura 11.8.- F u e a del ensayo Rockwell B.

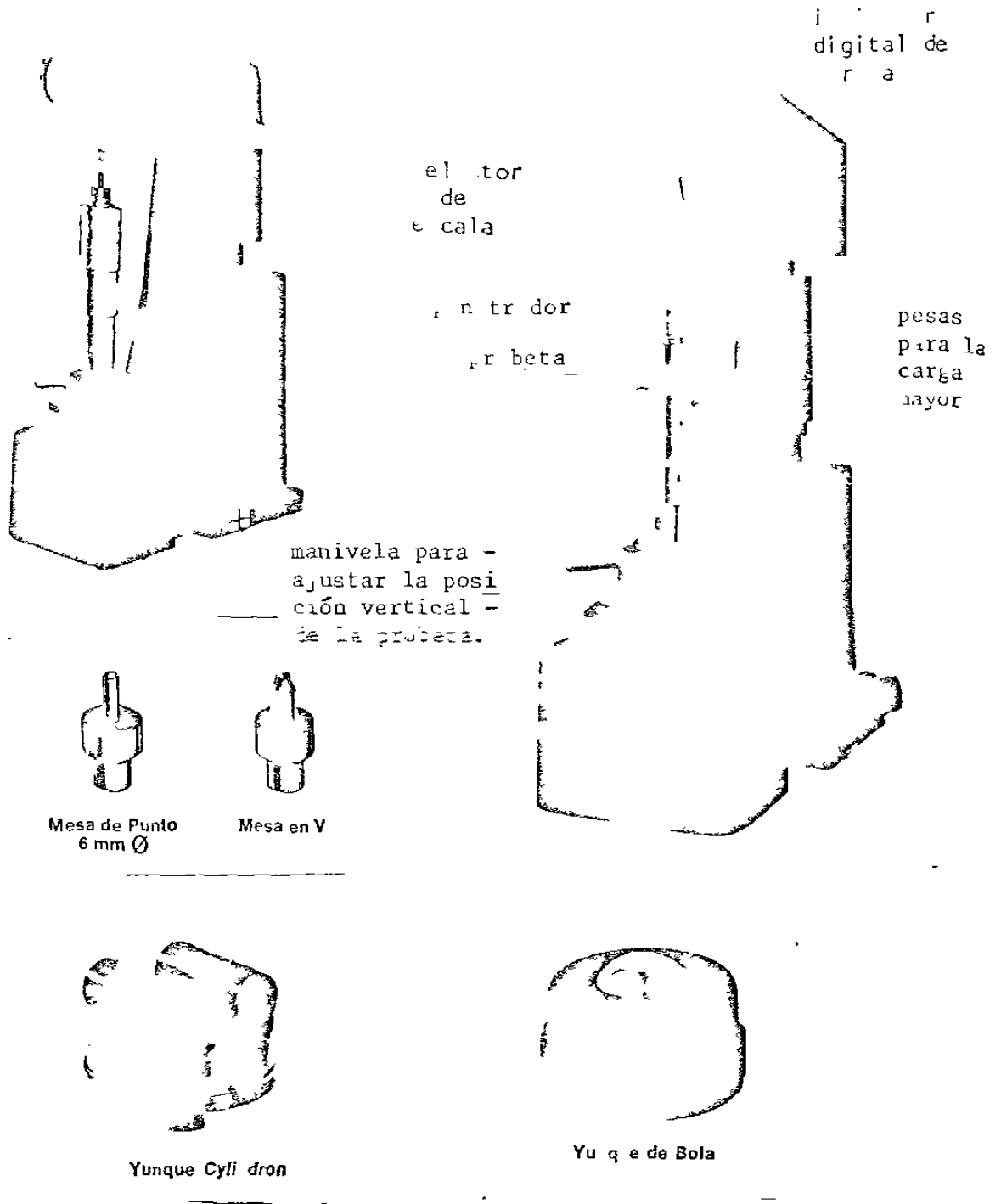


Figura 11.9.- Durómetros Wilson-Rockwell digital y de carátula diferentes de aditamentos de soporte.

Hay dos máquinas Rockwell: el probador normal para secciones relativamente gruesas y el probador superficial para secciones delgadas. La carga normal es de 10 kg en el probador normal y de 3 kg en el probador superficial.

Pueden utilizarse diversos marcadores de muelas y argas y cada combinación determina una escala Rockwell específica. Los marcadores de muelas son en bolas de acero duras de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 de pulgada de diámetro y un ángulo cónico de diámetro de 20°.

General ente las cargas mayores son de 60, 100 y 150 kg en el probador normal y de 15, 30 kg en el probador superficial.

Las escalas Rockwell empleadas más comúnmente son la B, figura 11.8 - - (marcador de bola de 1/16 plg y 100 kg de carga) y la C (marcador de diamante y 150 kg de carga) figura 11.8, ambas obtenidas con el probador normal. - Debido a las muchas escalas Rockwell, el número de dureza debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y precedido de los números de dureza; por eje plo, 82 HRB significa una dureza de Rockwell de 82 medida en la escala B (bola de 1/16 de plg y 100 kg de carga). - En la tabla 11.6 aparecen las escalas de dureza Rockwell y algunas aplicaciones típicas.

TABLA 11.6.- ESCALAS Y LETRAS DE PREFIJO DE LA DUREZA DEL ROCKWELL\*

Símbolo escalar y letra de prefijo	Penetrador	Carga mayor, kg	Nume- rales caratu- lares	Aplicaciones típicas de las escalas
B†	Grupo uno† Bola de 1/16 plg	100	rojo	Aleaciones de cobre, aceros suaves, aleaciones de aluminio, hierro maleable
C†	Cono de diamante	150	negro	Acero, hierro fundido duro, hierro maleable perlítico, acero de alto endurecimiento superficial
A	Grupo dos Cono de diamante	60	negro	Carburos cementados, acero delgado, acero de bajo endurecimiento superficial
D	Cono de diamante	100	negro	Acero delgado, acero de endurecimiento superficial mediano
E	Bola de 1/8 plg	100	rojo	Hierro fundido aleaciones de aluminio y magnesio, metales para rodamientos
F	Bola de 1/16 plg	60	rojo	Aleaciones de cobre templado, láminas metálicas delgadas y blandas
G	Bola de 1/16 plg	150	rojo	Bronce fosforado cobre al berilio, hierro maleable
H	Bola de 1/8 plg	60	rojo	Aluminio plomo, cinc
K	Bola de 1/8 plg	150	rojo	
L	Grupo tres Bola de 1/4 plg	60	rojo	
M	Bola de 1/4 plg	100	rojo	Materiales para rodamientos y otros materiales muy delgados y o suaves Use-se la bola mas pequeña y la carga mas pesada que no arroje esfuerzo del yunque
P	Bola de 1/4 plg	150	rojo	
R	Bola de 1/4 plg	60	rojo	
S	Bola de 1/4 plg	100	rojo	
V	Bola de 1/2 plg	150	rojo	

\* Basado en la ASTM E 8

TABLA 11.6.- ESCALAS DE DUREZA ROCKWELL

Escala de medición	Tipo de penetrador	Tipo y tamaño del penetrador	Carga mayor en kg	Escala del comparador	Escala del comparador		APLICACIONES
					Color	Ubicación	
A	Normal	Cono de diamante	150	60	Negro	Fuera	Aceros nitrurados, flejes estirados en frío, hojas de afeitar, carburos metálicos (90 a 98).
B	"	"	"	100	Rojo	Dentro	Aceros al carbón recocidos de bajo contenido en C.
C	"	Cono de diamante	"	150	Negro	Fuera	Aceros duros con dureza superior a 100 Rockwell H o 20 Rc.
D	"	Cono de diamante	"	100	Negro	Fuera	Aceros cementados.
E	"	Bola de 1/16"	"	100	Rojo	Dentro	Metales blandos, como anti-fricción y piezas fundidas.
F	"	Bola de 1/16"	"	60	"	"	Bronce recocido.
G	"	Bola de 1/16"	"	150	"	"	Bronce fosforoso y otros metales.
H	"	Bola de 1/16"	"	60	"	"	Metales blandos, con poca homogeneidad, fundición de hierro.
K	"	Bola de 1/16"	"	150	"	"	Metales duros, con poca homogeneidad, fundición de hierro.
L	"	Bola de 1/16"	"	60	"	"	"
M	"	Bola de 1/16"	"	100	"	"	"
P	"	Bola de 1/16"	"	150	"	"	"
R	"	Bola de 1/16"	"	60	"	"	Metales muy blandos.
S	"	Bola de 1/16"	"	100	"	"	"
V	"	Bola de 1/16"	"	150	"	"	"
15-N	Superficial	Cono de diamante	3	15	"	"	Aceros nitrurados, cementados y de herramientas de gran dureza.
30-N	"	Cono de diamante	"	30	"	"	"
45-N	"	Cono de diamante	"	45	"	"	"
15-T	"	Bola de 1/16"	"	15	"	"	Bronce, latón y acero blando.
30-T	"	Bola de 1/16"	"	30	"	"	"
45-T	"	Bola de 1/16"	"	45	"	"	"

El funcionamiento de la máquina debe ser verificado frecuentemente con bloques de prueba estándar proporcionados por el fabricante.

La manija de operación debe regresarse suavemente a su posición inicial; golpear la manija para quitar la carga mayor puede producir un error de varios puntos en el disco de indicación. Se debe tener cuidado de asentar firmemente el yunque y el marcador. Cualquier movimiento vertical en estos puntos resulta en un registro de una profundidad adicional en el medidor y, por tanto, en la lectura de dureza falsa.

*Aparato de dureza superficial Rockwell.* Este aparato es una máquina para propósitos especiales, concebida especialmente para ensayos de dureza en que resulten posibles únicamente penetraciones someras y cuando se desee conocer la dureza de la probeta cerca de la superficie. Fue diseñado particularmente para ensayar el acero nitrurado, hojas para afeitar, trabajo liberamente carburizado, y lámina de latón, bronce y acero.

El aparato "superficial" opera sobre el mismo principio que el aparato Rockwell regular, pero emplea cargas menor y mayor más ligeras y posee un sistema de medición de la profundidad más sensitivo. En lugar de la carga

TABLA 11.7.- ESCALAS ROCKWELL DE DUREZA SUPERFICIAL

Carga mayor kg	SIMBOLOS ESCALARES				
	Escala N, cono de diamante	Escala T, bola de 1/16 plg	Escala W, bola de 1/8 plg	Escala X, bola de 1/4 plg	Escala Y, bola de 1/2 plg
15	15 N	15 T	15 W	15 X	15 Y
30	30 N	30 T	30 W	30 X	30 Y
45	45 N	45 T	45 W	45 X	45 Y

\* Basada en ASTM E 18

menor de 10 Kg y las cargas mayores de 60, 100, 150 kg de Rockwell regular, el aparato superficial aplica una carga menor de 3 kg y cargas mayores de 15, 30 o 45 kg. Un punto de dureza en la máquina superficial corresponde a una diferencia en profundidad de penetración de 0.001 mm.

Como el cono de diamante de estas máquinas superficiales está ideado especialmente para usarse en trabajo "nitrurado" y la bola de acero de 1/16 plg para probar lámina "delgada", las letras N y T han sido seleccionadas para estas dos designaciones escalares. Las escalas W, X y Y se usan para materiales muy suaves. Aunque estas máquinas llevan un solo juego de graduaciones caratulares escalares deben usarse símbolos escalares como los que se dan en la Tabla 11.7, para indicar el penetrador y la carga mayor usados.

c) *Prueba o ensayo de dureza Vickers.* En esta prueba, el instrumento utiliza un marcador piramidal de diamante de base cuadrada con un ángulo incluido de 136° entre las caras opuestas (véase la figura 11.9). El intervalo de carga está generalmente entre 1 y 120 kg. El probador de dureza Vickers funciona bajo el mismo principio que el probador Brinell, y los números se expresan en términos de carga y área de la impresión. Como resultado de la forma del marcador, la impresión sobre la superficie de la muestra será un cuadrado. La longitud de la diagonal del cuadrado es medida por medio de un microscopio equipado con un micrómetro ocular que contiene filos móviles, (figura 11.10). La distancia entre los filos se indica en un contador calibrado en milésimas de milímetro. Por lo general, hay tablas o gráficas como la figura 11.11 para convertir la diagonal medida al número de dureza piramidal Vickers (HV) o por medio de la fórmula:

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

donde:

L = carga aplicada, en kg

d = longitud de la diagonal del cuadrado de la impresión, en mm.

Respecto a las cargas, son independientes de la dureza obtenida, pues la diagonal resultará proporcional a la carga, y para un mismo material saldrá la misma dureza con cualquier carga. Sin embargo, se puede hacer constar la carga al designar la dureza.

Se utilizan cargas de 1 a 120 kg, siendo las más frecuentemente empleadas las de 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 ó 200 kg. La más utilizada es la de 30 kg.

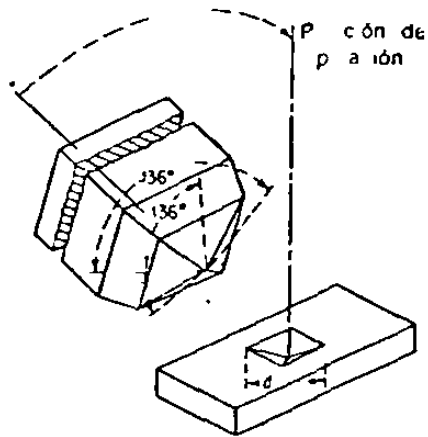


Figura 11.9.- Marcador piramidal de diamante Vickers.

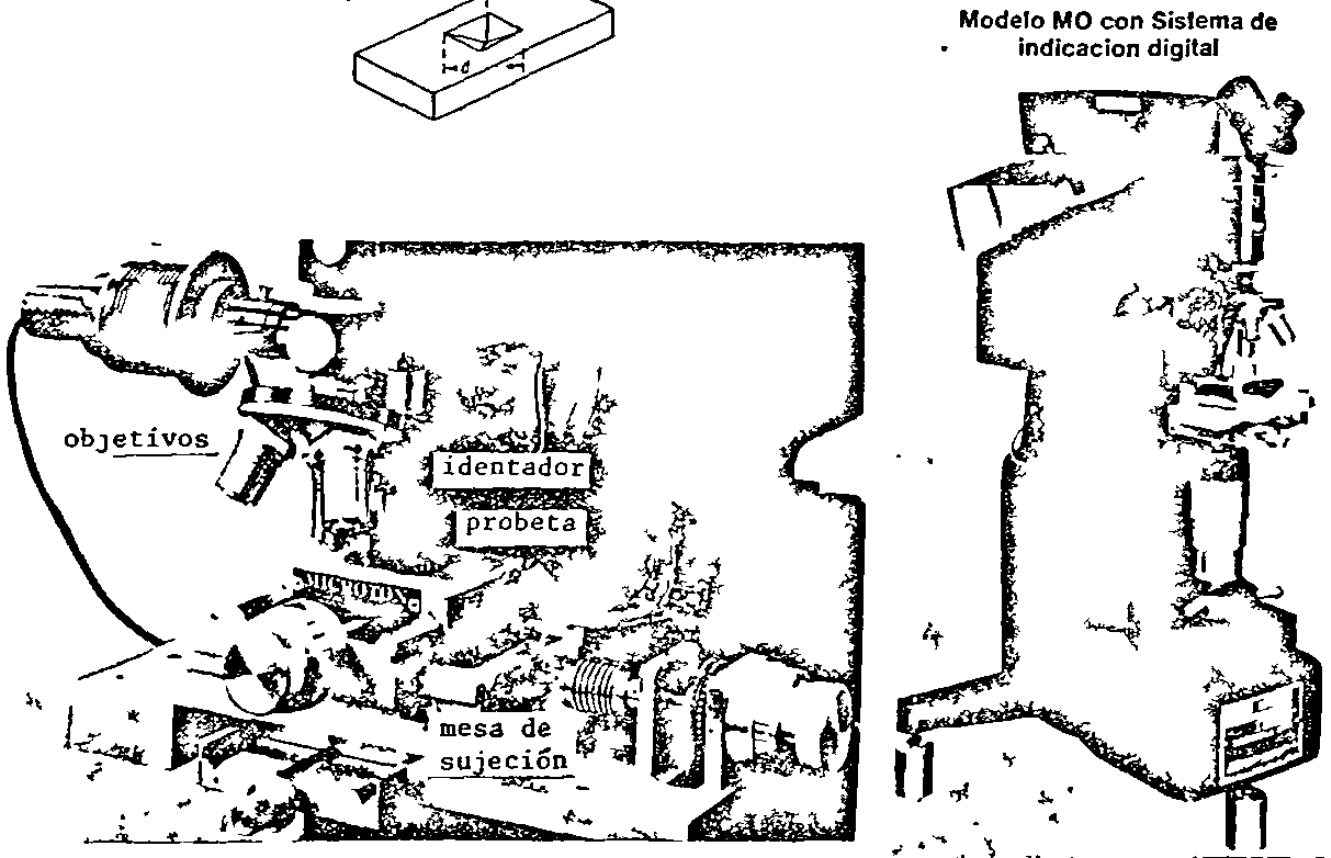


Figura 11.10.- Durómetro Vickers con microscopio e indicador digital integrado.

Respecto al tiempo que se ha de mantener la carga, oscila entre diez y treinta segundos, siendo el más empleado quince minutos.

La dureza se expresa por las letras H V, seguidas de dos cifras, una para la carga y otra para el tiempo. Por ejemplo, si la carga ha sido 30 - Kg. durante 15 segundos, se pone HV 30/15.

Como resultado de la latitud en las cargas aplicadas, el probador Vickers es útil para medir la dureza de hojas muy delgadas, así como secciones pesadas,

Piezas pequeñas de precisión (relojes, electrónicas, etc.)

Superficies endurecidas superficialmente

Láminas y alambres de diámetros pequeños.

Dureza de los componentes de una microestructura.

Soldaduras.

Educación e investigación.

Las máquinas Vickers (figura 11.10) son muy similares a las Brinell, y hay máquinas que se emplean para medir las durezas por los dos métodos, utilizando el penetrador adecuado.

#### NORMAS PARA EL ENSAYO VICKERS

1a.- La superficie de ensayo debe estar pulida para que los resultados sean válidos.

2a.- Como regla general, el espesor de la probeta debe ser superior a 1,5 veces la diagonal de la huella.

3a.- En las probetas redondas debe aplicarse sobre el diamante una carga tan pequeña que la influencia de la curvatura (flecha) sobre la longitud de la diagonal sea inferior a 0,01 mm.

La diagonal de la diagonal  $d$ , debe medirse con una precisión de 0,001 milímetros. Para longitudes superiores de 0,5 mm. es suficiente una precisión de 0,01. El valor de la diagonal tomado debe ser la media de las dos diagonales.

La dureza para cifras inferiores a 25 debe darse redondeada a la décima y para cifras superiores, redondeada en unidades.

diagonal de la huella

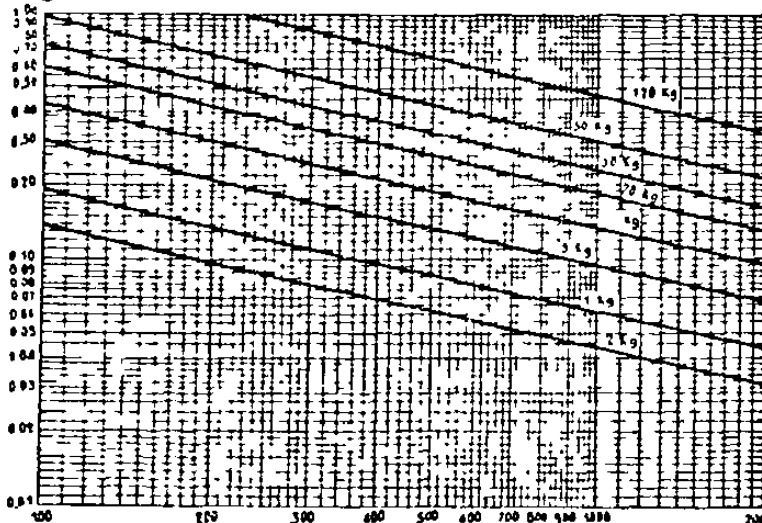


Figura 11.11.- Dureza Vickers en función de la carga aplicada y diagonal de la huella.

dureza Vickers

#### VENTAJAS DEL METODO VICKERS

1a.- Las huellas Vickers son comparables entre sí, y las cifras de dureza obtenidas, independientes de las cargas.

2a.- Con el mismo penetrador puede medirse una amplia gama de materiales, desde muy blandos hasta muy duros, llegándose hasta 1.150 Vickers, que equivaldrían aproximadamente a 780 Brinell, dureza que, como se sabe, no puede obtenerse con Brinell directamente sin deformar la bola.

3a.- Puede medirse la dureza de piezas muy delgadas empleando cargas pequeñas, hasta espesores del orden de 0,05 mm.

4a.- Puede medirse dureza superficial, dada la pequeña penetración del diamante, con cargas pequeñas, lo que permite comprobar, por ejemplo, el endurecimiento superficial de un material después de rectificado con piedra esmeril.

5a - La escala Vickers es más detallada que la Rockwell, y así, por ejemplo, entre HRC 60 y HRC 66, las durezas Vickers que corresponden son 765 y 960, o sea, 32 unidades Vickers por cada unidad Rockwell.

6a.- Como es preciso examinar la huella, puede comprobarse en cada medición el buen estado del diamante, lo que no ocurre en el Rockwell, que debe examinarse expresamente el diamante de vez en cuando.



d) *Prueba o ensayo de microdureza.*- Desafortunadamente, este término es engañoso ya que podría referirse a la prueba de pequeños valores de dureza cuando en realidad significa el uso de impresiones pequeñas. Las cargas de prueba están entre 1 y 1 000 g. Hay dos tipos de marcadores empleados para la prueba de microdureza: la pirámide de diamante Vickers de base cuadrada de  $136^\circ$ , descrita anteriormente y el marcador Knoop de diamante alargado.

El marcador Knoop (figura 11.12) tiene forma piramidal que produce una impresión en forma de diamante, y tiene diagonales largas y cortas a una razón aproximada de 7:1. La forma piramidal empleada tiene incluidos ángulos longitudinales de  $172^\circ 30'$  y ángulos transversales de  $130^\circ$ . La profundidad de impresión es como de  $1/30$  de su longitud. Como en la prueba Vickers, la diagonal más larga de la impresión es medida ópticamente con el ocular de un micrómetro de rosca. El número de dureza Knoop es el resultado de dividir la carga entre el área de la impresión. Por lo general se utilizan tablas para convertir la longitud diagonal medida al número de dureza Knoop (HK), o mediante la fórmula siguiente:

$$HK = \frac{14.229L}{d^2}$$

donde:

L = carga aplicada, en kg

d = longitud de la diagonal mayor, en mm.

La figura 11.13 muestra el probador de microdureza Tukon y algunos aditamentos de sujeción. En la tabla 11.8 aparecen algunas aplicaciones típicas de la prueba de dureza por marcación.

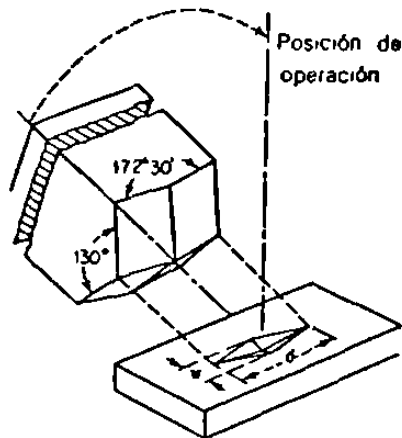


Figura 11.12.- Marcador piramidal Knoop de diamante indentado.

El dispositivo Tukon-Knoop o un dispositivo Wilson-Knoop, un tanto similar, es útil para ensayos de dureza de pequeñas partes tales como las de los relojes, materiales delgados, alambres pequeños, puntas de instrumentos cortantes, cristales sencillos o constituyentes de metales aleados, y capas superficiales y para explorar variaciones de dureza de áreas pequeñas como sobre el grueso de láminas delgadas o adjuntas a una superficie crítica.

#### 11.5.- EXACTITUD DE CUALQUIER PRUEBA O ENSAYO DE DUREZA DE INDENTACION

Algunos de los factores que influyen en la exactitud de cualquier prueba de dureza por indentación son:

una uuestra redonda menor de 1 plg de diámetro sin haber esmerilado una cara plana, la lectura observada debe ajustarse por un factor de corrección apropiado (tabla 11.9).

TABLA 11.9.- CARTA WILSON DE CORRECCIONES CILINDRICAS  
Correcciones para trabajos cilíndricos (solo aproximadas) que se agregarán a los números Rockwell observados

Marcador cónico de diamante							
Escala's C, D, A	Diámetro de la muestra, pulg.						
	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1
80	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0
70	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0	0
60	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5
50	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
40	3.5	2.5	2.0	1.5	1.0	1.0	1.0
30	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.0
20	6.0	4.5	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5

Marcador de bola de 1/16 de pulg.							
Escala's B, F, G	Diámetro de la muestra, pulg.						
	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1
100	3.5	2.5	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5
90	4.0	3.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.0
80	5.0	3.5	2.5	2.0	1.5	1.5	1.5
70	6.0	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	1.5
60	7.0	5.0	3.5	3.0	2.5	2.0	2.0
50	8.0	5.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0
40	9.0	6.0	4.5	4.0	3.0	2.5	2.5

*Localización de las impresiones.*- Las impresiones deben estar al menos a 2 1/2 diámetros de distancia del borde de la muestra y separadas al menos 5 diámetros cuando se utilicen bolas para la prueba de dureza.

*Uniformidad del material.*- Si hay variaciones estructurales y químicas en el material, a mayor área de impresión más exacta será la lectura de dureza promedio. Para obtener una dureza promedio verdadera para el material, es necesario tomar muchas lecturas si el área de impresión es pequeña.

#### 11.6.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PRUEBAS

La selección de una prueba de dureza se determina generalmente por la facilidad de realización y por la exactitud deseada. Como la prueba Brinell deja una impresión relativamente grande, está limitada a secciones de tamaño mayor. Sin embargo, esto constituye una ventaja cuando el material probado no es homogéneo. La superficie de la pieza a prueba cuando se efectúa una prueba Brinell no tiene que ser tan uniforme como la que se requiere en métodos de prueba que producen impresiones menores; no obstante, usar un microscopio para medir el diámetro de la impresión no es tan conveniente como leer un disco medidor. Debido a la deformación de la bola de acero, la prueba Brinell suele ser inexacta por encima de 500 HB. El intervalo puede aumentarse a 650 HB con una bola de carburo de tungsteno.

La prueba Rockwell es una operación rápida y sencilla. Como las cargas y los indentados o marcadores son menores que los utilizados en la prueba Brinell, la prueba Rockwell puede emplearse en muestras más delgadas y probarse tanto los materiales más duros como los más blandos.

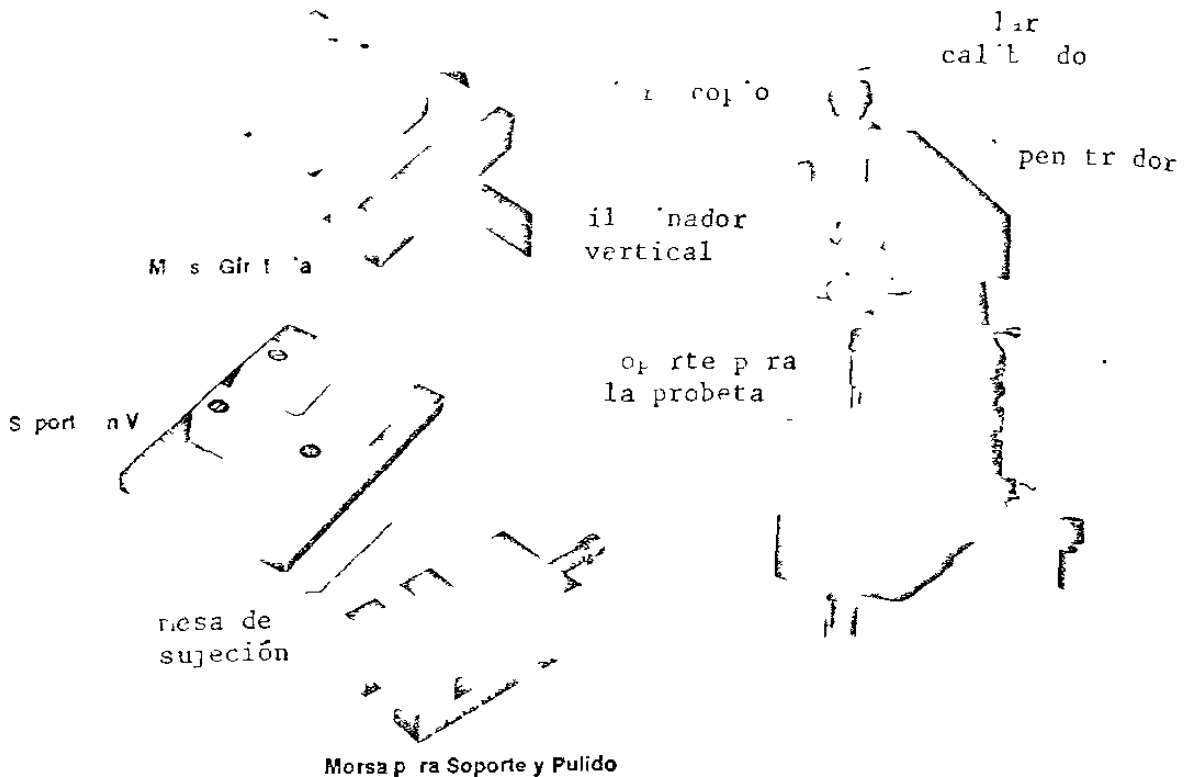


Figura 11.13.- Probador de microdureza Tukon y tres soportes de sujeción diferentes.

*Condición del marcador de muescas.*- El achatamiento de la bola de acero de un marcador producirá errores en el número de dureza, en cuyo caso la bola debe ser revisada frecuentemente para detectar cualquier deformación permanente y debe descartarse cuando ocurra tal deformación. Los marcadores de diamante deben revisarse en busca de cualquier señal de astillado.

*Exactitud de la carga o esfuerzo aplicado.*- El probador debe aplicar cargas dentro del intervalo establecido con errores mínimos. Las cargas mayores a la cantidad recomendada no deben utilizarse para obtener así pruebas exactas.

*Cargas o esfuerzos aplicados con impacto.*- Además de producir lecturas de dureza inexactas, el impacto a la carga puede dañar los marcadores de diamante. El uso de un recipiente pequeño con aceite, controlado, asegurará la uniformidad, así como la continua operación del mecanismo de carga.

*Condición de la superficie de la muestra.*- La superficie de la muestra sobre la cual se va a tomar la lectura de dureza debe ser plana y representativa del material en buen estado. Cualquier orificio, costra o grasa debe eliminarse por esmerilado o pulido.

*Espesor de la muestra.*- La muestra debe ser suficientemente gruesa de modo que no aparezca alguna protuberancia sobre la superficie opuesta a la de la impresión. El espesor de la muestra recomendado es de por lo menos diez veces la profundidad de la impresión.

*Forma de la muestra.* Se eliga mayor exactitud cuando la superficie a probar sea plana y perpendicular al eje vertical del indicador. Una muestra larga debe sujetarse cuadrante tal forma que no se ladee. Una superficie plana debe prepararse, si es posible, sobre una muestra de forma cilíndrica yarse un yunque en V para portar la muestra, a menos que se esmerilen las superficies paralelas en los costados del cilindro, en cuyo caso se puede utilizar un yunque plano. Si se desea una prueba de dureza Rockwell en

Tabla 11.8.- APLICACIONES Y LIMITACIONES DE LA FUERZA DE PENETRACION

B IN LL	ROCKWELL	ROCKWELL S P R I C I A L	V I C K E R S	M I C R O F U Z A
<p>Apropiado para el estudio de superficies y secciones longitudinales.</p> <p>La mayor parte de las fundiciones, incluyendo el acero, hierro fundido y aluminio.</p> <p>La mayor parte de los fraguados.</p>	<p>Partes acortadas, tales como tornillos, pletinas, parafusos, pernos, e granes, poleas, rodillos, pistones, pivotes, topes etc.</p> <p>Herramientas de corte, tales como sierras, cinceles, tijeras.</p> <p>Herramientas de fundido.</p> <p>Fundiciones y fraguados pesados.</p> <p>Hojas metálicas.</p> <p>Alambres de diámetro grande.</p> <p>Contactos eléctricos.</p> <p>Hojas o partes plásticas.</p> <p>Partes cementadas.</p> <p>Cilindros cementados.</p>	<p>Indicaciones que se aplican a la Rockwell superficial, excepto si se requiere una penetración profunda, como en:</p> <p>Partes cementadas delgadas, hasta de 0.010 pulg.</p> <p>Materiales delgados, hasta de 0.06 pulg.</p> <p>Cilindros cementados.</p> <p>Metales en polvo.</p>	<p>Indicaciones que se aplican a la Rockwell superficial, excepto si se requiere más extensión o menor penetración, como en:</p> <p>Partes cementadas delgadas, de 0.005 a 0.010 pulg.</p> <p>Materiales delgados, hasta de 0.005 pulg.</p> <p>Partes de acabado fino, con el fin de evitar una operación de recocido.</p> <p>Secciones delgadas, tales como tuberías.</p> <p>Estructuras débiles.</p> <p>Especímenes del chapado.</p>	<p>Superficies planas.</p> <p>Resistencias, soldaduras, o pinturas.</p> <p>Láminas delgadas y materiales muy delgados hasta de 0.0001 pulg.</p> <p>Para establecer los gradientes de endurecimiento.</p> <p>Metales y materiales limitados.</p> <p>Partes o áreas muy pequeñas, como engranes de reloj, bordes de herramientas de corte, crestas de filetes en codos, puntos pivote, etc.</p> <p>Materiales muy frágiles o quebradizos (indentador de Knoop), como silicio, germanio, vidrio, esmalte de dientes.</p> <p>Materiales opacos, claros o translúcidos.</p> <p>Metales en polvo.</p> <p>Para investigar propiedades individuales de un material.</p> <p>Para determinar la densidad del grano o la finura de la estructura del material.</p>

El probador Vickers es el más sensible de los probadores de dureza utilizados en la producción industrial. Tiene una sola escala continua para todos los materiales y el número de dureza es virtualmente independiente de la carga. Debido a la posibilidad de usar cargas ligeras, pueden probarse secciones más delgadas que cualquier otra prueba de producción y la impresión cuadrada es la más fácil de medir con exactitud.

La prueba de microdureza es básicamente una prueba de laboratorio. Usar cargas muy ligeras permite probar partes muy pequeñas y secciones muy delgadas. Puede utilizarse para determinar la dureza de constituyentes individuales de la microestructura. Como a menor tamaño de la indentación el terminado de la superficie debe ser mejor, se necesita tener bastante más cuidado para preparar la superficie para la prueba de microdureza. Por lo general, la superficie se prepara mediante la técnica de pulido metalográfico.

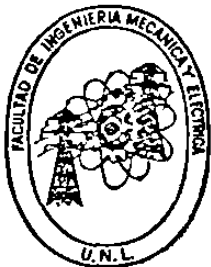
Las ventajas principales del escleroscopio son las pequeñas impresiones que permanecen, la rapidez de la prueba y la portabilidad del instrumento; - sin embargo, los resultados tienden a ser inexactos, a menos que se tomen -- precauciones adecuadas.

El tubo debe estar perpendicular a la pieza a prueba, las piezas delgadas deben estar soportadas y afianzadas apropiadamente, la superficie que se va a probar debe ser más uniforme y lisa que para la mayoría de los otros métodos de prueba, y la punta de diamante no debe estar astillada o agrietada.

*Conversión de los distintos números de dureza.* - La tabla 11.3 muestra la conversión de dureza aproximada entre las diversas máquinas probadoras de dureza. Estos datos generalmente se aplican a aceros y se han derivado de - extensas pruebas de dureza en aceros al carbono y sus aleaciones, principalmente en aquellos que han sido tratados térmicamente.

#### 11.7.- FORMATO

A continuación se presentan las probetas para los diferentes tipos de ensayo de dureza con sus tendencias mínimas, junto con un formato que pueda servir como reporte de los ensayos realizados.



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

#### CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE DUREZA EN METALES METODO BRINELL.

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No. -----  
ESTANDAR -----  
MATERIAL -----  
DIAMETRO ----- cm  
ESPESOR ----- cm  
IDENTADOR -----  
CARGA ----- kg

DIAMETRO DE LA HUELLA ----- cm.  
 FAC. DE CORRECCION -----  
 No. DE DUREZA BRINELL -----

MONTERREY, N.L.

FECHA: \_\_\_\_\_



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
 FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
 U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
 TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

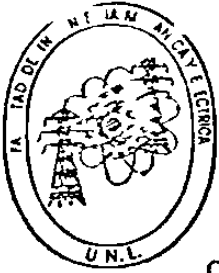
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE DUREZA EN METALES  
 METODO ROCKWELL.

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No. -----  
 MATERIAL -----  
 DIAMETRO ----- cm  
 ESPESOR ----- cm  
 ENSAYO (SUP. O NORMAL) -----  
 COLOR -----  
 IDENTADOR -----  
 CARGA MENOR ----- kg.  
 CARGA MAYOR ----- kg.  
 PENETRACION MAX. ----- mm.  
 PENETRACION PERMANENTE ----- mm.  
 RECUPERACION ----- mm.  
 FAC. DE CORRECCION -----  
 No. DE DUREZA ROCKWELL -----  
 RANGO DE DUREZA -----

MONTERREY, N.L.

FECHA: \_\_\_\_\_



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
 FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
 U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
 TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

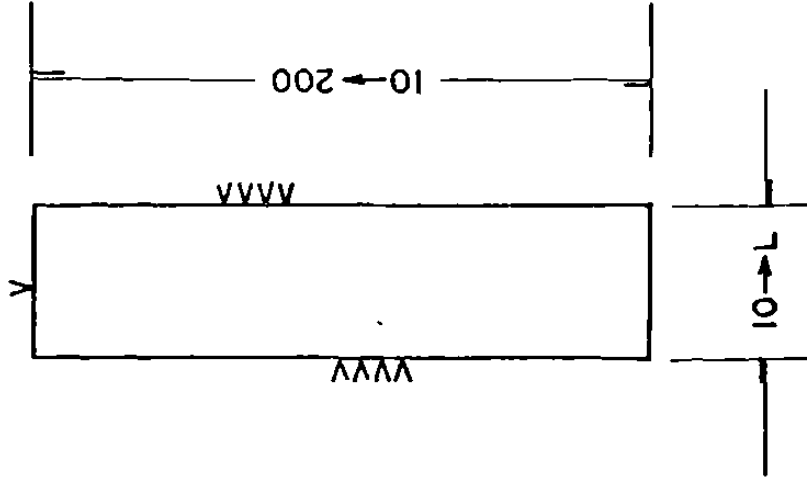
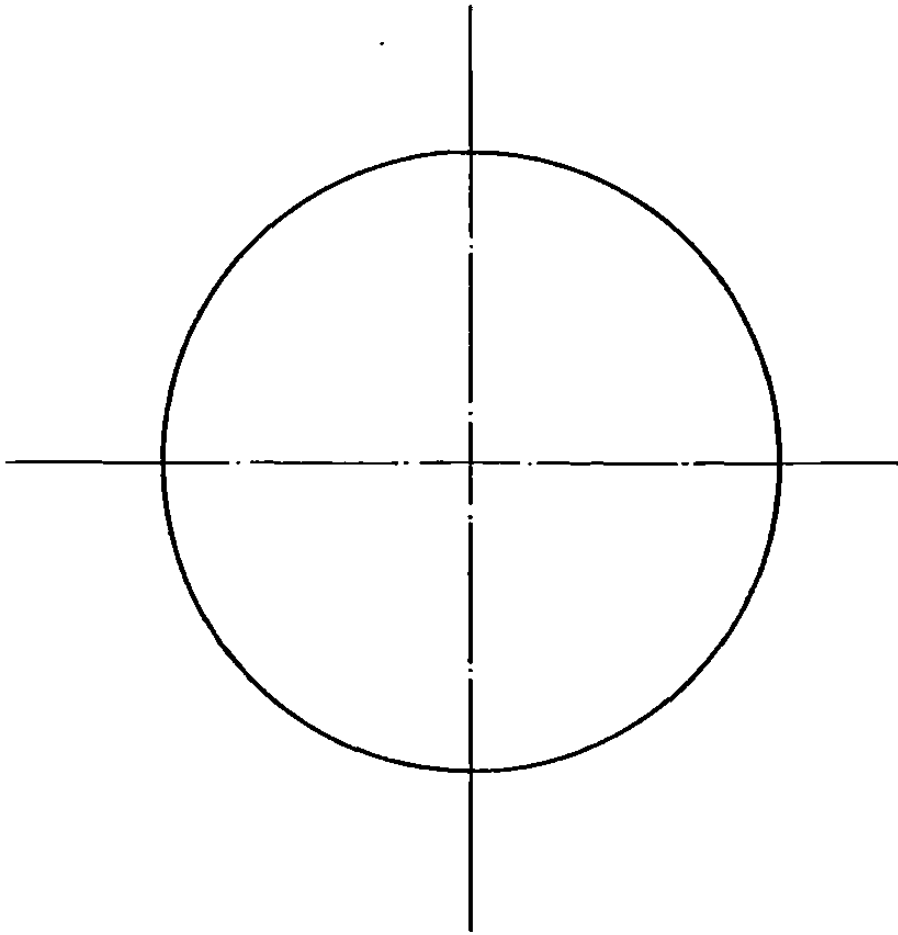
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE DUREZA EN METALES  
 METODO VICKERS.

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No. -----  
 MATERIAL -----  
 DIAMETRO ----- cm  
 ESPESOR ----- cm  
 CARGA ----- kg  
 IDENTADOR -----  
 DIAGONAL 1 ----- mm  
 DIAGONAL 2 ----- mm  
 DIAG. PROMEDIO ----- mm  
 No. DE DUREZA VICKERS -----

MONTERREY, N.L.

FECHA: \_\_\_\_\_



UANI  
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTL.

ENSAYO : DUREZA

MATERIAL : METAL

EST : VICKERS

COTAS . mm.

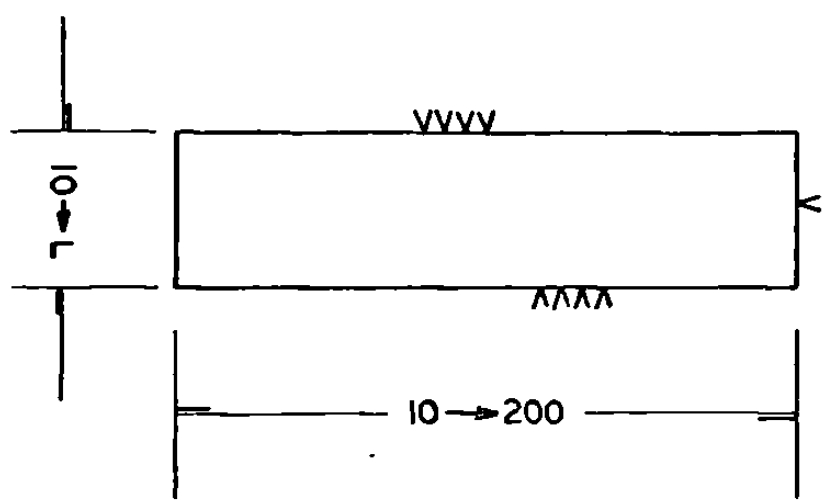
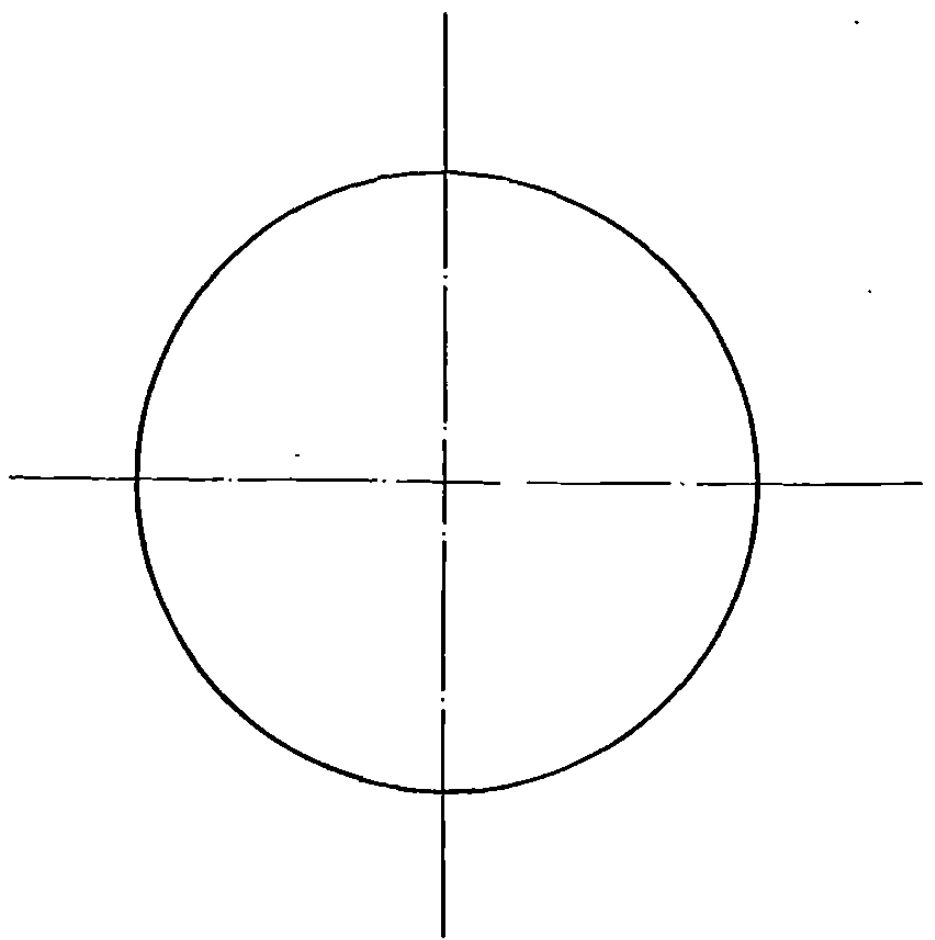


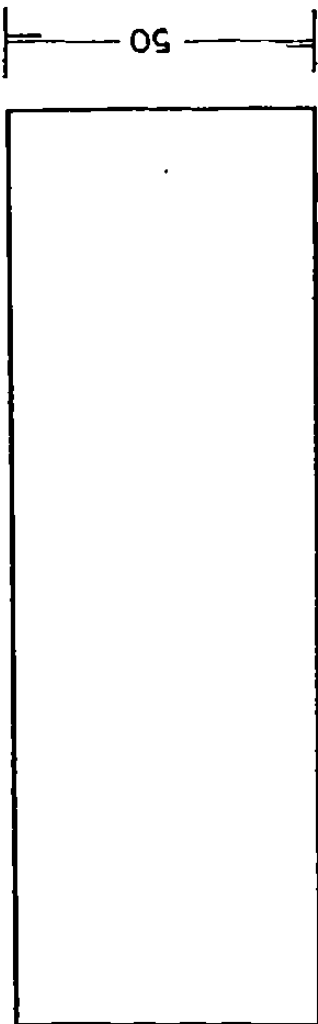
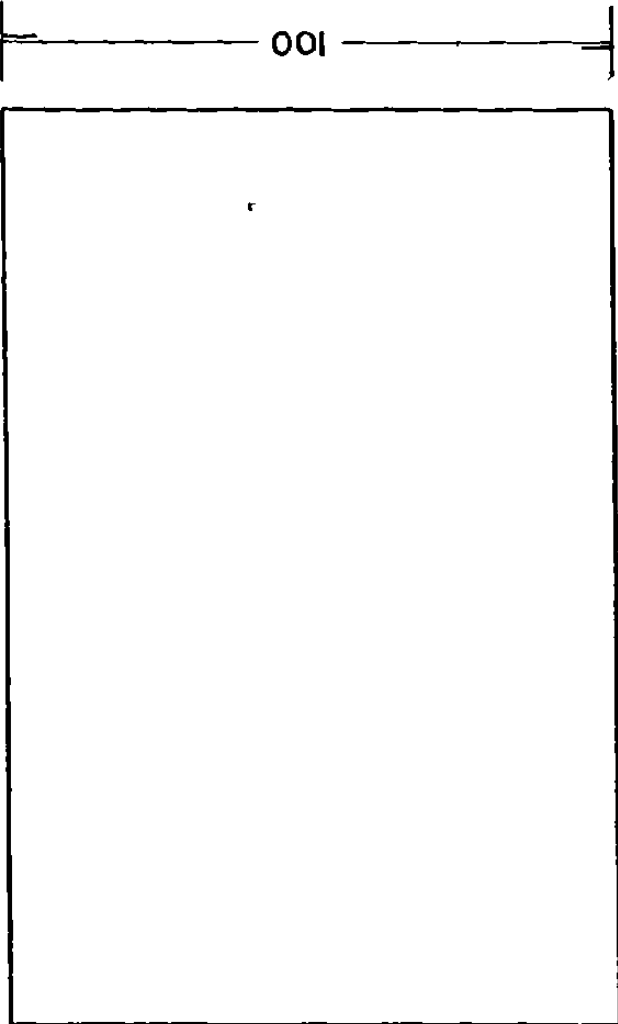
UANL  
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTL.S.

ENSAYO DUREZA  
MATERIAL: METAL

EST: ROCKWELL  
COTAS . mm





ESCALA: 1:125

150

NOTA: Para probetas  
circulares o  
cuadradas.

LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.

EST: BRINELL

COTAS: mm.

ENSAYO: DUREZA

MATERIAL: METAL

UANL  
FIME

## XII.- ENSAYO DE IMPACTO

## 12.1.- Introducción

Un tipo importante de carga dinámica es aquel en que la carga se aplica súbitamente como en el caso del impacto.

La mecánica del impacto involucra no solamente la cuestión de los esfuerzos inducidos, sino también una consideración de la transferencia de energía y la absorción y disipación de esa energía.

En el diseño de muchos tipos de estructuras y máquinas que deban recibir carga de impacto, la meta es proveer margen para la absorción de tanta energía como sea posible a través de la acción *elástica* y luego confiar en alguna clase de contención para disiparla. En tales estructuras la resistencia (es decir, la capacidad energética elástica) del material es una propiedad significativa, y los datos de resiliencia derivados de la carga estática pueden ser adecuados.

Y sin duda los resultados de los ensayos de impacto han contribuido indirectamente al mejoramiento del diseño de ciertos tipos de partes, pero en general tales ensayos, cuando menos hasta la fecha, han demostrado ser de significación limitada para producir datos de diseños básicos.

Existe pues una distinción a establecer entre los problemas que involucran, principalmente, la absorción de la energía elástica y los problemas para los que los datos sobre la capacidad energética al ocurrir la ruptura sean pertinentes. Esta diferencia contribuye a una limitación básica de la aplicabilidad general de los resultados del ensayo de impacto ordinario.

Bajo carga a impacto, se han realizado determinaciones detalladas de las relaciones entre el esfuerzo, la deformación, la temperatura y el tiempo.

La prueba de impacto indica la sensibilidad a la presencia de muescas de un material, la cual resulta por la existencia de zonas de concentración de esfuerzos internos tales como, inclusiones en los límites de grano, fisuras internas y fases secundarias. Es también útil como una herramienta en producción, ya que permite la comparación de materiales manufacturados con otros que han demostrado dar un servicio satisfactorio. Los aceros, al igual que la mayor parte de otros materiales CCC, absorbe más energía al romperse de modo dúctil que frágil; por ello, la prueba de impacto se emplea a menudo para valuar la *temperatura de transición* del estado dúctil al frágil que se observa a medida que disminuye la temperatura. La temperatura de transición depende también de la geometría de la muesca en la probeta. Para materiales idénticos, cuanto más aguda la muesca, mayor será la temperatura aparente de transición. La figura 12.1 muestra los resultados de pruebas de impacto para varios materiales.

No todos los materiales responden de la misma manera a las variaciones de velocidad de la aplicación de la carga; algunos materiales muestran lo que se denomina "sensitividad a la velocidad" en un grado mucho más alto que otros.

Para velocidades obtenidas con las máquinas de impacto ordinarias, se obtiene una buena correlación entre los resultados de ensayos de tensión (sin ranuración) bajo carga de impacto y estática si el área bajo el diagrama de esfuerzo y deformación convencional se utiliza para calcular la energía hasta la ruptura.

Cada tipo de ensayo de impacto posee su propio campo de uso especializado y su aplicabilidad depende en gran parte de la satisfactoria correlación con el desempeño bajo condiciones de servicio.

Al realizar un ensayo de impacto, la carga puede aplicarse en flexión, tensión, compresión, o torsión. La carga flexionante es la más común; la

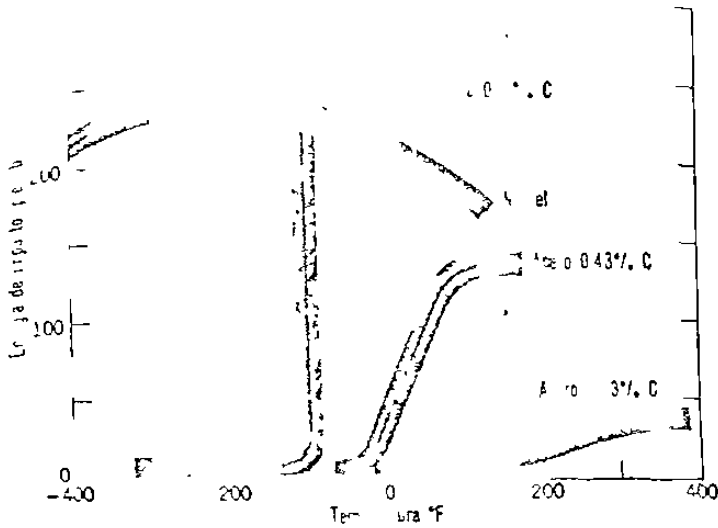


Figura 12.1.- Resultados de pruebas de impacto para varias aleaciones, medidos a través de un intervalo de temperatura.

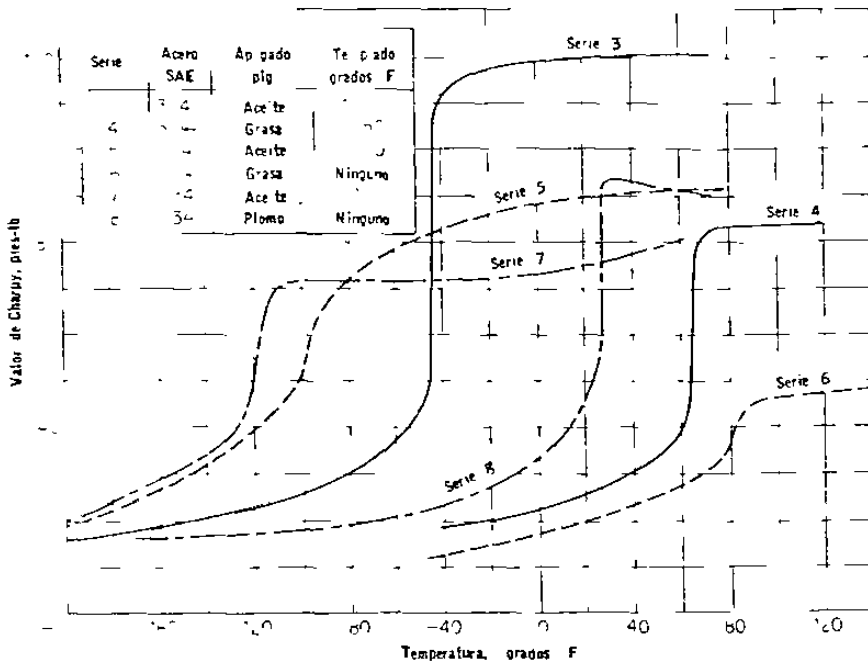


Figura 12.1.- Variación del rango de la temperatura de transición para el acero en el ensayo de Charpy.

carga tensiva es menos común; las cargas de compresión y de torsión se usan solamente en casos especiales.

Quizás los ensayos de impacto más comúnmente usados para los aceros en este país sean los de Charpy e Izod, ambos de los cuales emplean el principio del péndulo. Ordinariamente, estos ensayos se hacen sobre pequeñas probetas ranuradas quebradas en flexión. En el ensayo de Charpy, la probeta es apoyada como una viga simple, y en el de Izod se le apoya como un voladizo.

Los procedimientos para los ensayos de Charpy e Izod en cuanto a su aplicación a los metales han sido normalizados (ASTM E 23), y la especificación formal de los límites de la resistencia al impacto ha sido hecha en el caso de los materiales para un número de productos tales como partes de avión, engranes de transmisión, partes para orugas de tractores, aletas para turbinas, muchos tipos de forjados y tubo y placa de acero para servicio a baja temperatura.

### 12.2.- EL ENSAYO DE CHARPY PARA METALES

La probeta estándar para ensayos de flexión es una pieza de 10 por 10 por 55 mm medida como se muestra en la figura 12.2a, (ASTM E 23). Otros tipos se usan en casos especiales. En algunas especificaciones especiales se

requiere una ranura en forma de ojo de cerradura o de U, como se muestra en la figura 12.2b y c. La probeta la cual se carga como una viga simple, se coloca horizontalmente entre los dos yunques, como se muestra en la figura 12.2d, de modo que el percutor golpee el lado opuesto de la ranura a la mitad del claro. El péndulo es elevado hasta su posición más alta y sostenido por un tope ajustado para dar una altura de caída constante para todos los ensayos. Luego se le suelta y permite caer y fracturar la probeta.

En su movimiento ascendente el péndulo lleva el indicador de fricción sobre una escala semicircular graduada en grados o pie-libras. La energía requerida para fracturar la probeta es una función del ángulo de elevación.

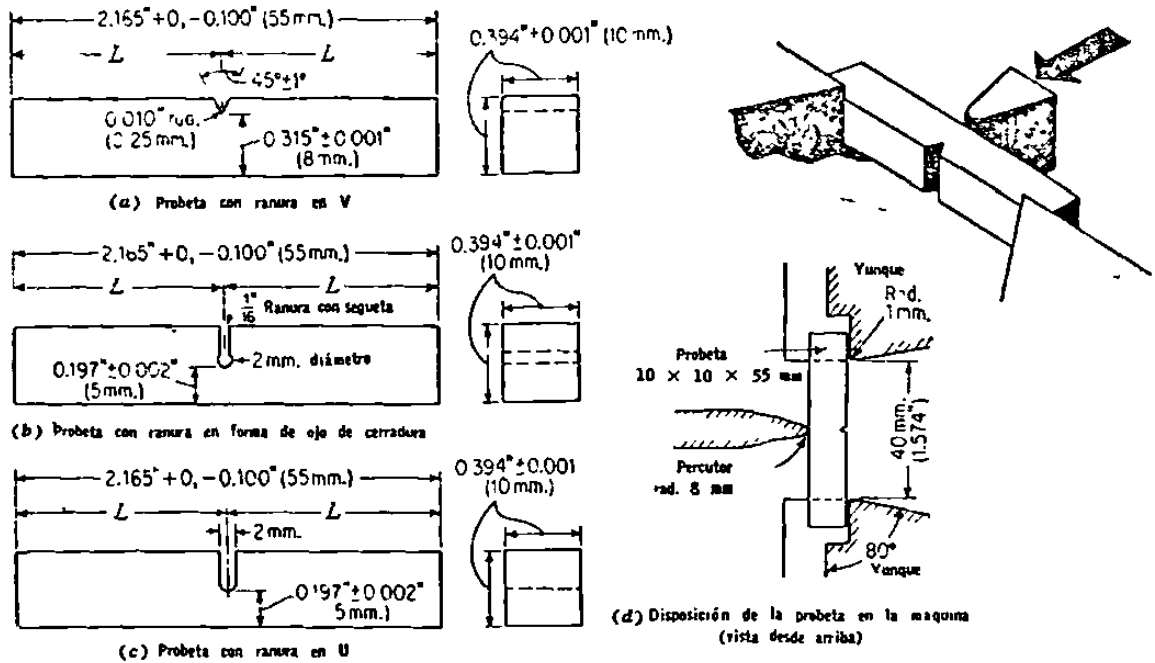


Figura 12.2.- Probetas de Charpy

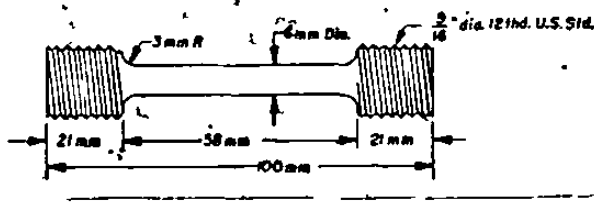


Figura 12.3.- Probeta de impacto de tensión.

12.3.- ENSAYO DE IMPACTO DE TENSION

Para los ensayos de impacto de tensión una probeta se sujeta al borde posterior del péndulo. Cuando el péndulo cae, un martillo con forma de bloque fijado al extremo proyectante de la probeta golpea dos yunques extendidos, fracturándose la probeta al pasar el péndulo entre los dos yunques. Las probetas de tensión pueden ser sencillas o llevar una ranura circunferencial. Un tipo de probeta sencillo tiene un diámetro de 6 mm; una probeta ranurada correspondiente tiene un diámetro de 100 mm excepto en el arranque de la ranura que tiene 1 mm de ancho y 2 mm de profundidad, proporcionando un diámetro neto de 6 mm como para el primer tipo. El ensayo de tensión no ha sido normalizado y no se usa mucho en la práctica comercial.

#### 12.4.- ENSAYOS DE CHARPY A BAJAS TEMPERATURAS

Los ensayos para determinar la resistencia al impacto de los metales a bajas temperaturas son comúnmente realizados sumergiendo las probetas en algún líquido fresco en una vasija de boca ancha con, cuando menos, 1 plg de líquido arriba y abajo de las probetas. Para temperaturas desde la ambiente hasta  $-109^{\circ}\text{F}$ , este líquido es usualmente alcohol o acetona, enfriado a la temperatura deseada mediante la adición de pequeños trozos de hielo seco. Para temperaturas más bajas el agente enfriador es usualmente nitrógeno líquido ( $-319^{\circ}\text{F}$ ), y el líquido para inmersión es usualmente alcohol hasta  $-190^{\circ}\text{F}$ , isopentano hasta  $-250^{\circ}\text{F}$ , y el mismo nitrógeno líquido hasta  $-319^{\circ}\text{F}$ .

Los termómetros adecuados para determinar la temperatura del enfriador son del tipo mercurial hasta  $-38^{\circ}\text{F}$ , alcohol o tipos bimetalicos hasta  $-150^{\circ}\text{F}$ , y termopares de cobre y constantan o termómetros del tipo de pentano para temperaturas más bajas.

Las probetas deben mantenerse a una temperatura por 15 min y la temperatura del baño debe mantenerse constante dentro de  $+0, -3^{\circ}\text{F}$  durante los últimos 5 min antes del ensaye. El ensayo debe completarse dentro de 5 seg después de retirar la probeta del enfriador. Como se muestra en la figura 12.4, a una temperatura de ensayo de  $-40^{\circ}\text{F}$ , no ocurren ningunos cambios de temperatura apreciables dentro de 5 seg cuando se usa alcohol.

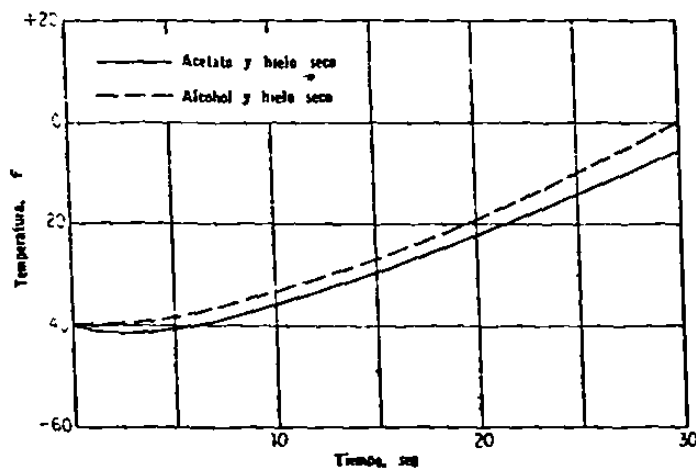


Figura 12.4.- Cambio de temperatura de las probetas de Charpy al retirarse del baño a  $-40^{\circ}\text{F}$ .

#### 12.5.- ENSAYO DE IZOD

El péndulo golpea la probeta, la cual se sujeta para fungir como un voladizo vertical de 10 por 10 mm de sección y 75 mm de largo que lleva una ranura normal de  $45^{\circ}$  y 2 mm de profundidad. El montaje de la probeta y la posición relativa del percutor se muestran en la figura 12.5. La elevación angular del péndulo después de la ruptura de la probeta o la energía para fracturar la probeta se indica en una escala graduada por un indicador de fricción.

En el ensayo se rompen las probetas largas por las tres entalladuras, girando las caras y colocándolas en la posición adecuada la entalladura que corresponda. El valor de la resiliencia es la media de las tres lecturas y se da en pies-libras.

#### 12.6.- MAQUINAS DE IMPACTO

Las máquinas de impactos ordinarias, tiene un péndulo oscilante de peso fijo, que es elevado a una altura estándar, dependiendo del tipo de muestra que se pretende probar (véase la figura 12.6). A esta altura, con referen-

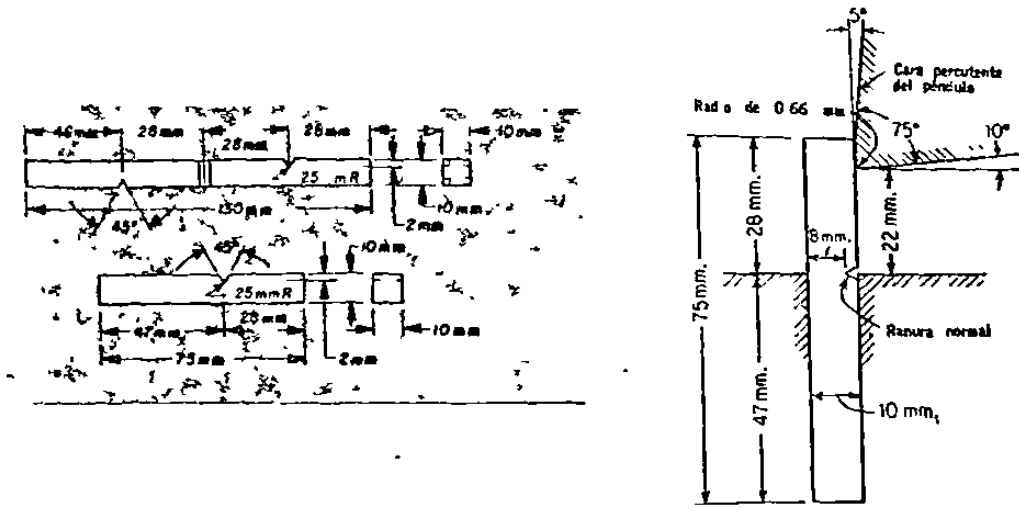


Figura 12.5.- Probeta de viga en voladizo y su montaje para el ensayo de Izod.

cia al tornillo de banco, el péndulo tiene una cantidad definida de energía potencial. Cuando el péndulo se libera, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea a la muestra. La muestra Charpy se golpeará atrás de la muesca en V, en tanto que la muestra Izod, colocada con la muesca en V de cara al péndulo, se golpeará arriba de la muesca en V. En cualquier caso, una parte de la energía del péndulo se utilizará para romper la muestra, provocando que el péndulo se eleve en el lado opuesto de la máquina a una altura menor que aquella con que inició su movimiento desde ese mismo lado de la máquina. El peso del péndulo multiplicado por la diferencia de alturas indicará la energía, generalmente en libras-pie, absorbida por la muestra, o sea la resistencia al impacto de la muestra con muesca. Sin embargo, esto último se tiene calibrado y graduado en una escala para cada tipo de prueba.

En el diseño de estas se ha incluido lo último en precisión, eliminando la fricción del aire en el bástago del péndulo, sin sobrepasar 0.75% del rango total, haciendo este de una sola pieza, que está conectado a la columna por medio de baleros cuya fricción no excede el 0.25% del rango total y a una base rígida para evitar desbalanceo por vibración.

Los aditamentos para las diversas pruebas se adaptan fácilmente, se adapta un freno magnético para el péndulo que se puede regular en tiempo, para una pasada o más, un posicionador de ángulo del péndulo para bajas energías, el péndulo puede ser motorizado y automáticamente se puede regresar a la posición de inicio de prueba con un freno de posición, ahorrando con esto el tiempo de prueba.

El Dynatup es un instrumento que se acopla a sistemas de impacto y nos da en un display la carga total y la energía absorbida por el espécimen durante todo el proceso de impactación: desde el impacto inicial y la aceleración hasta el resto del pandeo plástico, iniciación de fractura y propagación de falla.

El instrumento Dynatup produce curvas de carga contra tiempo, y energía contra tiempo, dando con estas mayor información a las propiedades dinámicas del espécimen que fue probado pudiéndose leer: el esfuerzo de cedencia, la carga de fractura, ductilidad, iniciación de falla o propagación de energía, energía de corte y la energía de impacto total, etc.

La prueba actual memoriza el fenómeno y lo manda a un osciloscopio en

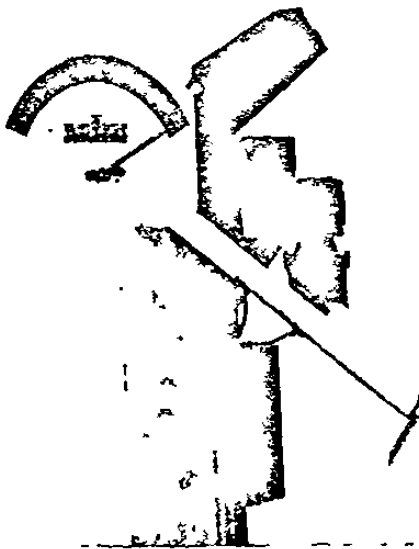


Figura 12.6.- Mecanismo de regreso motorizado del péndulo

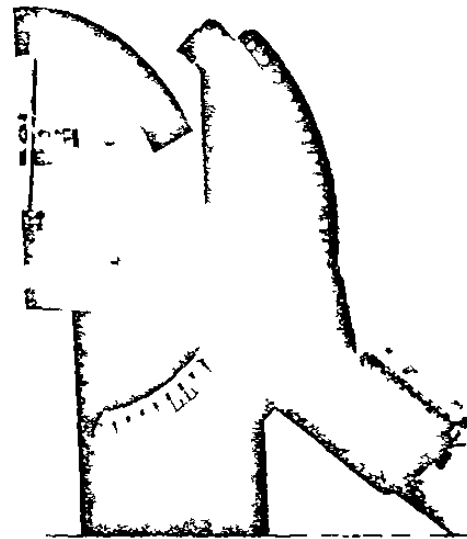


Figura 12.7.- Posicionador opcional para energías bajas.

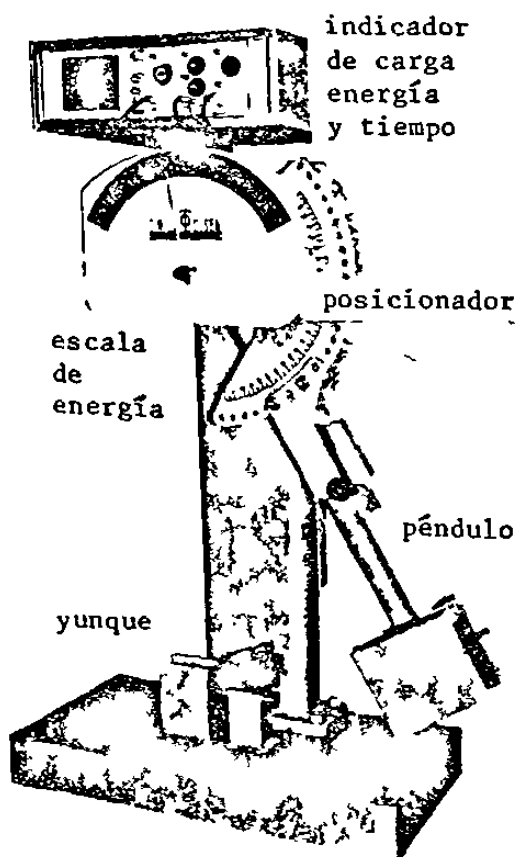


Figura 12.8.- Probador de impacto con el Dynatup integrado y con posicionador de bajo nivel de energía hasta .2 libra-pie y velocidades de caída de .4 pies por seg.

el instante de impacto. (ver fig. 12.8).

La salida del puente calibrador es mandada a un registro por un puente dual almacenador del osciloscopio, durante pequeños intervalos de tiempo (de .1 a 1 milisegundos) que es el contacto con el espécimen.

Las señales producidas durante este contacto pueden ser analizadas directamente mediante una señal análoga, del historial del espécimen de carga contra tiempo.

El procedimiento de prueba no interfiere de ninguna forma en la medición de la energía de impacto.

La trayectoria es retenida en un osciloscopio y almacenada en una fotografía, para dar un récord permanente de carga contra tiempo y energía contra tiempo empleadas en el espécimen, o la velocidad de impactación del péndulo, (ver figura 12.9)

#### 12.7.- FORMATO

A continuación presentamos un formato de las características del ensayo de impacto en metales, junto con un croquis de las probetas estándar para cada uno de los ensayos.



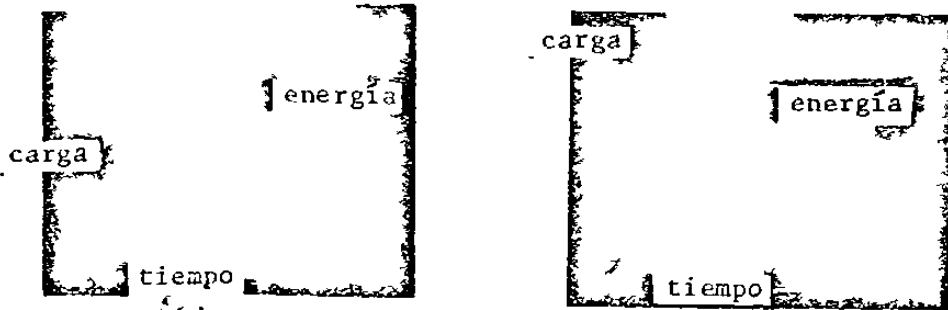
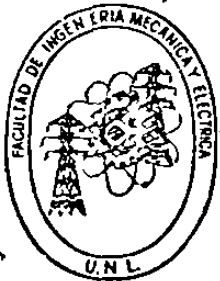


Figura 12.9.- Las dos gráficas fueron tomadas de un Dynatup y que se refiere a dos materiales que tienen la misma energía de impacto, donde es mayor en ductilidad (Fig. a), y el otro es altamente frágil (Fig b). Las propiedades pueden ser leídas aparentemente de la curva de carga. Las curvas también proporcionan otros datos interesantes respecto a la carga de la fractura dinámica.



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

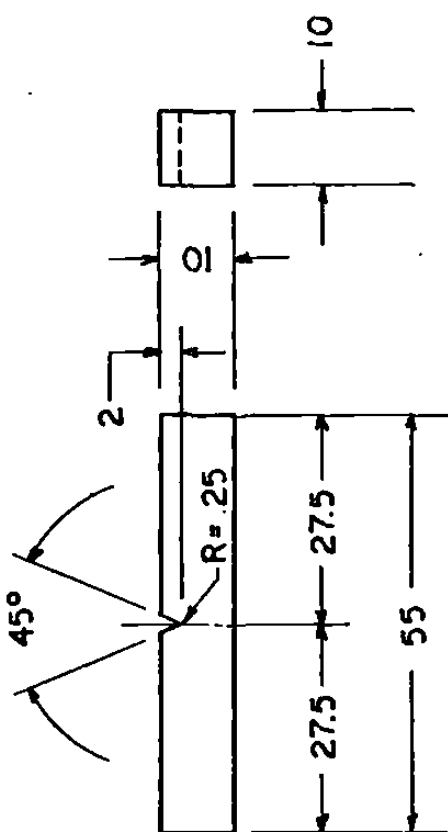
### CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE IMPACTO EN METALES

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

PRUEBA No. -----  
ESTANDAR -----  
TIPO DE ENSAYO -----  
MATERIAL -----  
TEMPERATURA DE PRUEBA ----- °C  
CARGA MAXIMA ----- lb  
TIEMPO DE CONTACTO ----- seg  
ENERGIA DE IMPACTO ----- lb-pie  
TIPO DE FRACTURA -----

MONTERREY, N.L.

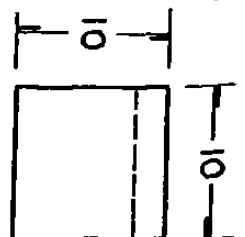
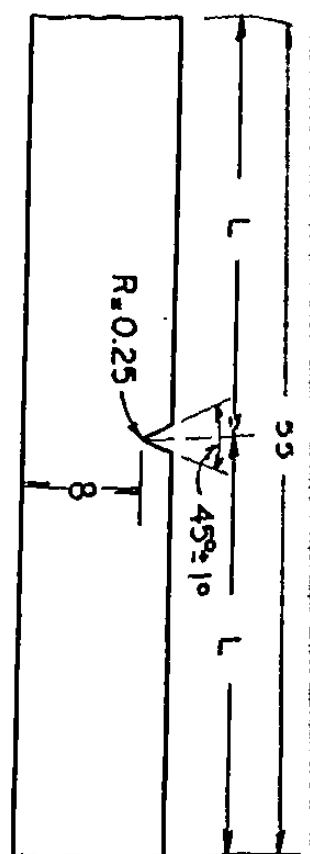
FECHA: \_\_\_\_\_



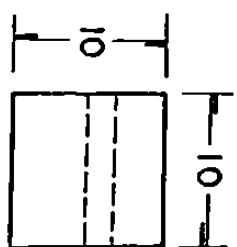
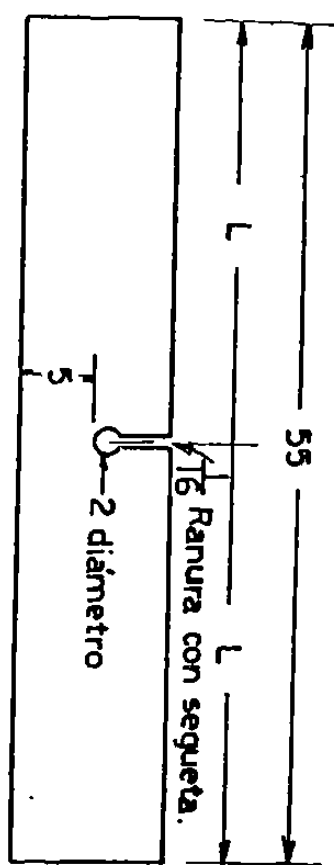
ESPECIMEN DE PRUEBA CHARPY

UANL FIME	LAB. DE MEC. DE LOS MTL.		ENSAYO: IMPACTO	EST: E 23-64	
			MATERIAL: METAL	COTAS: mm.	

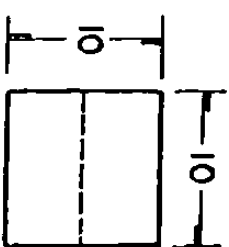
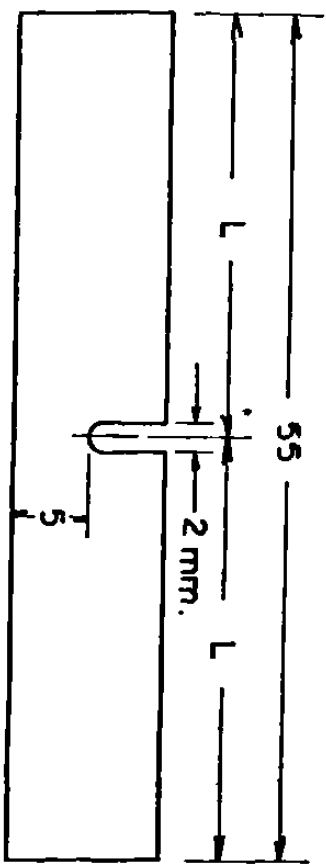
(a) Probeta con ranura en V.



(b) Probeta con ranura en forma de ojo de cerradura.



(c) Probeta con ranura en U.



EN PROBETAS CHARPY.

UANL  
FIME

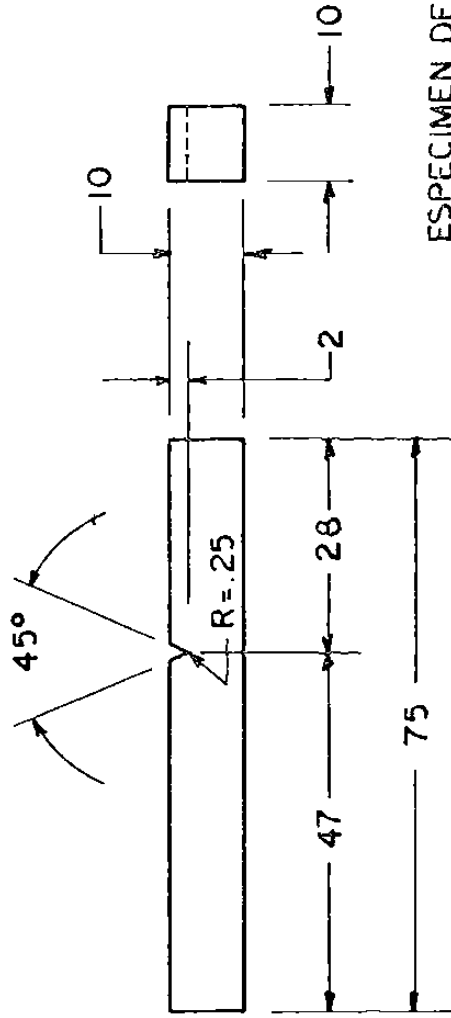
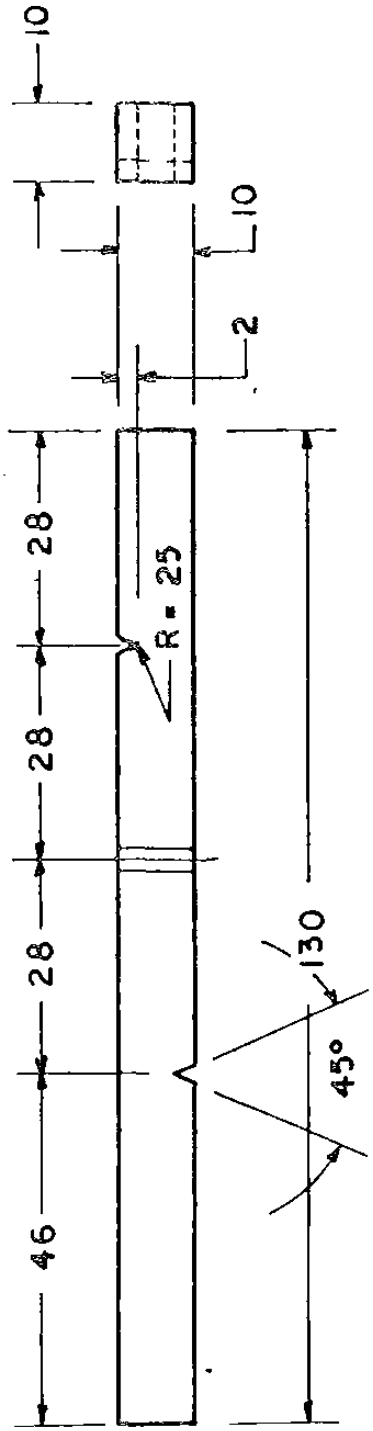
LAB. DE MEC. DE LOS MTLs.

ENSAYO: IMPACTO

MATERIAL: METAL

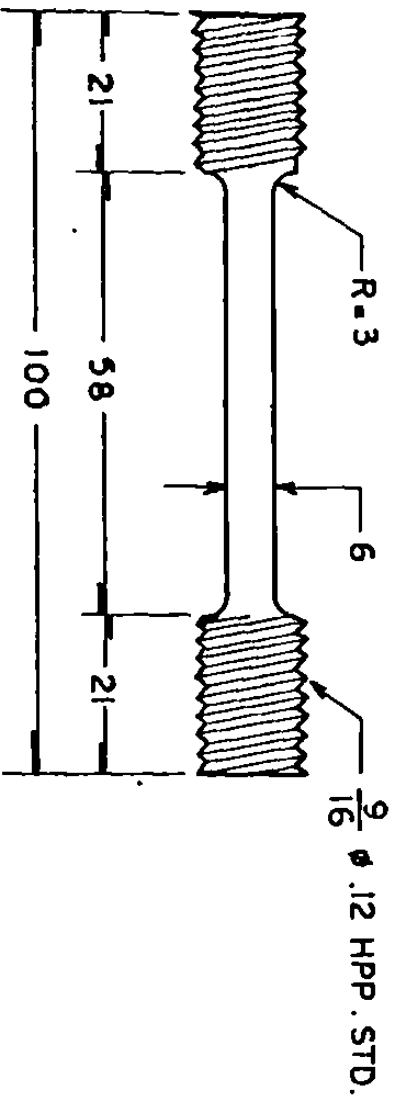
EST: ASTM E-23

COTAS: mm.



ESPECIMEN DE PRUEBA IZOD

UANL FIME	LAB. DE MEC. DE LOS MTLs.		ENSAYO: IMPACTO	EST: E 23-64	
			MATERIAL: METAL	COTAS: mm.	



ESPECIMEN DE PRUEBA IMPACTO  
TENSION.

UANL  
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTLIS.

ENSAYO: TENSION

MATERIAL: METAL

EST: E 23-64

COTAS: mm.

XIII.- ENSAYOS A LA FATIGA

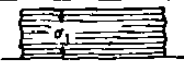



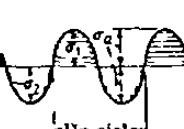
13.1.- INTRODUCCIÓN

La mayoría de los montajes estructurales quedan sometidos a la variación de las cargas aplicadas, causando fluctuaciones de los esfuerzos en las partes. Si los esfuerzos fluctuantes son de magnitud suficiente, aun cuando el máximo esfuerzo aplicado sea considerablemente menor que la resistencia estática del material, la falla puede ocurrir cuando el esfuerzo se repite en un número suficiente de veces. Una falla inducida de esta manera es llamada "falla por fatiga".

Una clasificación de los tipos de esfuerzos "repetidos" se ofrece en la Tabla 13.1. Además de designar el grado de *variación del esfuerzo*, la *clase del esfuerzo* (tensivo, compresivo, o cortante) también debe estipularse para una definición completa de la condición del esfuerzo. Los esfuerzos pueden ser causados por cargas axiales, de corte, de torsión, de flexión o por combinaciones de ellos. Para las determinaciones de las características de fatiga de los metales, uno de los tipos de carga repetida más comúnmente usado es la flexión completamente invertida.

TABLA 13.1.- CLASIFICACION DE LOS TIPOS DE ESFUERZOS REPETIDOS

Al consignar los valores numéricos de los esfuerzos, la clase del esfuerzo debe siempre designarse como tensión, compresión, o cortante. La clase del cargado debe asimismo designarse como axial, torsionante, cortante directo, o flexionante.

Tipo de variación del esfuerzo		Nomenclatura para el rango-relación		Nomenclatura para el esfuerzo medio	
Descripción	Diagrama	Esfuerzo máximo	Rango-relación	Esfuerzo medio	Esfuerzo alternante
Esfuerzo sostenido, $\sigma_1$		$\sigma_1$	$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1.0$	$\sigma_1$	0
Esfuerzo pulsante, entre $\sigma_1$ y $\sigma_2$		$\sigma_1$	$0 < \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 1$	$\sigma_m$	$\pm \sigma_a$
Esfuerzo pulsante entre $\sigma_1$ y 0		$\sigma_1$	$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0$	$\sigma_m$	$\pm \sigma_a$
Parcialmente invertido entre $\sigma_1$ y ( $\sigma_2$ ), cuando $\sigma_2 < \sigma_1$ y de signo opuesto		$\sigma_1$	$-1 < \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 0$	$\sigma_m$	$\pm \sigma_a$
Esfuerzo completamente invertido, entre $\sigma_1$ y $\sigma_2$ , cuando $\sigma_2 = -\sigma_1$		$\sigma_1$	$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -1.0$	0	$\pm \sigma_a = \sigma_1$

Nota:  $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$  y  $\sigma_a = (\sigma_1 - \sigma_2)/2$ , respetando los signos.  
 \* "Informe del Comité de Investigación de la ASTM sobre la Fatiga de los Metales" Proc. ASTM, Vol. 37. Parte I, 1937.

La fatiga debe considerarse en el diseño de muchas partes sometidas a ciclos de esfuerzos tales como los cigueñales de motores, pernos, resortes, dientes de engranes, aletas de turbinas, partes para automóviles y aviones, partes para motores a vapor y gas, rieles ferroviarios, cables de alambre, ejes para automóviles, y muchas partes para máquinas sometidas a cargado cíclico.

El esfuerzo al cual un metal falla por fatiga es aquí denominado *resistencia a la fatiga*. Se ha descubierto que para la mayoría de los materiales existe un esfuerzo limitativo abajo del cual una carga puede repetidamente aplicarse un número indefinido de veces sin causar la falla. Este esfuerzo limitativo es denominado *límite de fatiga*.

Cuando una pieza es sometida a una variación cíclica de esfuerzos, las partículas constitutivas tienden a moverse ligeramente con respecto una de otra. Este movimiento finalmente debilita algún minúsculo elemento, a tal grado que se rompe. En la zona de la falla se desarrolla una concentración de esfuerzos, este también se desarrolla en cambios bruscos de sección y con las sucesivas repeticiones del esfuerzo la fractura se extiende de este núcleo a toda la sección. Por esta razón las fallas por fatiga frecuentemente son denominadas "fracturas progresivas".

Las fallas por fatiga ocurren súbitamente sin ninguna deformación apreciable, y la fractura es burdamente cristalina como en el caso de una falla estática de hierro fundido o acero quebradizo.

Merece mencionarse, sin embargo, que ningún ensayo de fatiga para los metales ha sido normalizado por la ASTM, aunque ciertos tipos de máquinas, probetas y procedimientos son de uso común.

### 13.2.- MÁQUINAS PARA ENSAYOS A LA FATIGA DE LOS METALES

Las máquinas para realizar ensayos a la fatiga en ciclos de esfuerzos repetidos o invertidos pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de esfuerzo producido:

- 1.- Máquinas para ciclos de esfuerzo axial (tensión, compresión)
- 2.- Máquinas para ciclos de esfuerzo flexionante
- 3.- Máquinas para ciclos de esfuerzos cortantes torsionales
- 4.- Máquinas universales para esfuerzo axial, de flexión, o de corte torsional o combinaciones de ellos.

Todas las máquinas de ensayo de esfuerzos repetidos deben ir provistas de un medio para aplicar la carga a una probeta y medirla. Asimismo, debe proveerse un contador para registrar el número aplicado de ciclos y algún dispositivo que, cuando la probeta se rompa, automáticamente desembrague el contador. Frecuentemente el dispositivo desembragador también se diseña para detener la máquina de ensayo misma.

Existen máquinas más sofisticadas que mediante microprocesadores pueden controlar todo el proceso de la prueba.

La máquina que se muestra en la figura 13.1 es una máquina universal -- que usa un sistema de control de retro alimentación como se muestra en el diagrama de blocks figura 13.2, donde se explica el principio de control.

La fuerza, deformación o desplazamiento empezado sobre el espécimen de prueba es medido y continuamente comparado con la señal de entrada de mando, la diferencia entre los valores medidos y los valores accésados es usado para darnos una señal continuamente corregida, donde la señal error y la diferencia es minimizada por una servo valvula. Un transducto puede ser usado como excitador y a la vez nos dá la señal respuesta que puede ser controlada, como la fuerza, la formación y el espécimen mediante la prueba.

El sistema mantiene la señal de entrada durante la prueba por un coman-

do continuo donde una servo válvula que provee un control preciso durante las pruebas estáticas o dinámicas.

La prueba de fatiga y tensión o compresión puede ser realizada a diferentes tipos de cargas, con sus correspondientes amplitudes dependiendo de la condición de servicio simulado. En la figura 13.3 se muestra el montaje de la probeta, la señal de entrada que sirve como comando y se muestra también la respuesta que se obtiene de usar materiales.

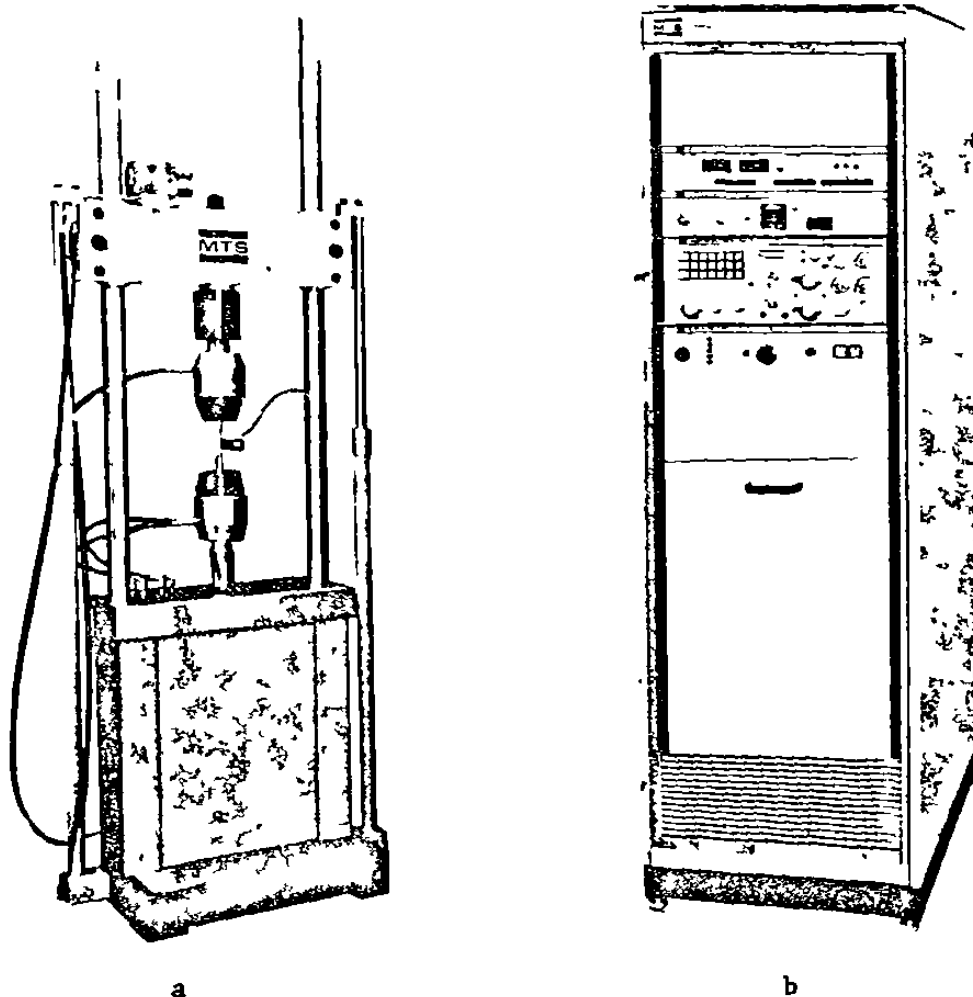


Figura 13.1.- Máquina universal de prueba para condiciones dinámicas, la a es la sección mecánica de prueba y la b es el panel de control.

Respecto a las máquinas para medir la fatiga y esfuerzos flexionantes como se muestran en la figura 13.4, donde la probeta es sometida con una biga simplemente apoyada y giratoria, donde se puede ir variando la carga concentrada, donde el número de vueltas de la vida de la misma.

Este tipo de ensayo es el mismo usado comúnmente y que puede proporcionar un perimetro comparativo para algunos de los diseños que se semejen y en esta condición, la probeta usada se muestra en la figura 13.5 se usa también las probetas como bigas en cantilever (boladizo) con el mismo proceso de prueba.



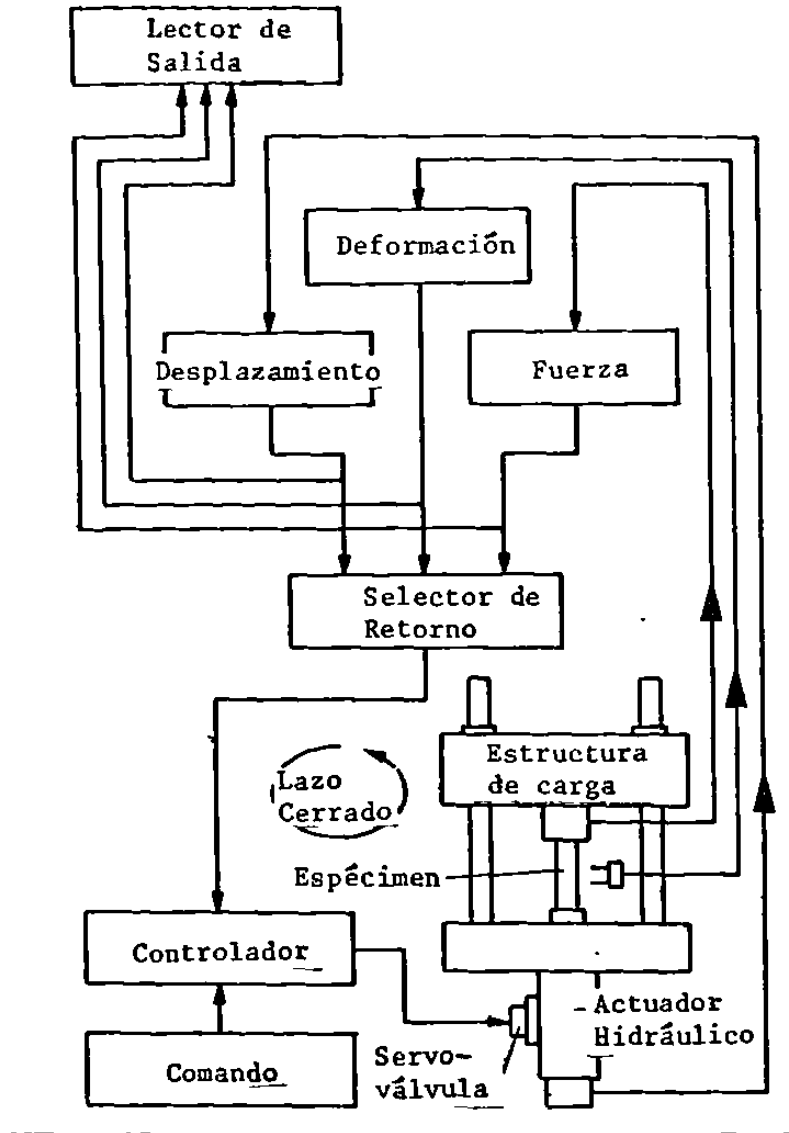


Figura 13.2.- Diagrama de blocks de la máquina para pruebas dinámicas.

Esos diagramas son denominados SN (S para esfuerzo, N para el número de ciclos). En general, los diagramas SN se dibujan utilizando un trazado semilogarítmico como se muestra en la figura 13.5, la cual representa los resultados para varios materiales típicos. Para todos los metales ferrosos ensayados, y para la mayoría de los metales no ferrosos, los diagramas SN son horizontales, tan aproximadamente como puede determinarse, para valores de N que varían desde 1 000 000 hasta 50 000 000 de ciclos, indicando así un bien definido límite de resistencia. Los diagramas SN para el duraluminio y el metal monel no indican límites de resistencia bien definidos.

La resistencia a la fatiga de los metales varía de acuerdo con la composición, la estructura granular, el tratamiento térmico, y el maquinado. La fatiga límite y las resistencias estáticas de unos cuantos metales representativos se muestran en la Tabla 13.2.

Resulta difícil realizar ensayos de esfuerzos repetidos de probetas bajo ciclos de tensión y compresión directas y alternas, debido a la posibilidad de que cualquier ligera excentricidad de carga puede causar esfuerzos --

Esto es ir variando la magnitud de la carga y registrando el número de ciclos de vida por cada caso.

Para las máquinas de ensayos dinámicos y torsión se sigue algo similar a las ya descritas, pudiendo existir comparaciones de esfuerzos para una probeta dada como son las axiales, flexionantes o torsionales.

### 13.3.- PROCEDIMIENTO GENERAL

Para determinar el límite de resistencia de un metal, es necesario preparar un número de probetas similares que sean representativas del material. La primera probeta se ensaya a un esfuerzo relativamente alto de modo que la falla ocurra con un corto número de aplicaciones de esfuerzo. Las probetas sucesivas se prueban luego, cada una a un esfuerzo más bajo. El número de repeticiones requerido para producir la falla aumenta según el esfuerzo disminuye. Las probetas que se han sometido a esfuerzos inferiores del límite de resistencia no fallarán.

Los resultados de los ensayos a la fatiga comúnmente se registran en diagramas en que los valores del esfuerzo se trazan como ordenadas y los del número de ciclos de esfuerzo hasta la fractura se trazan como abscisas.

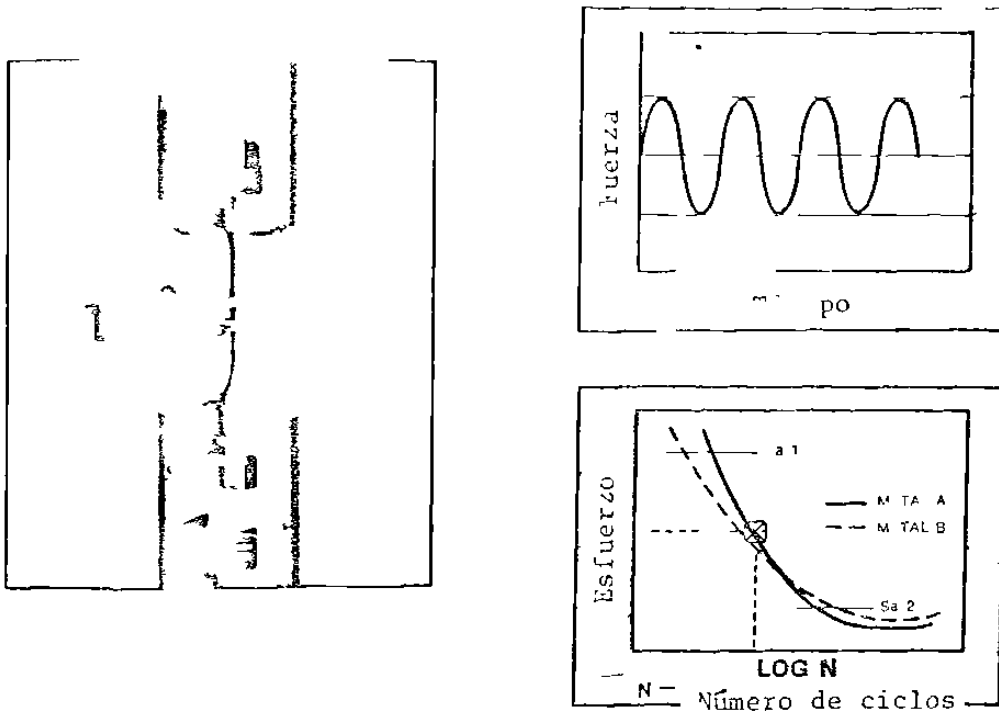


Figura 13.3.- a) montaje de la probeta, b) señal de referencia de entrada, c) curva del comportamiento de la probeta.

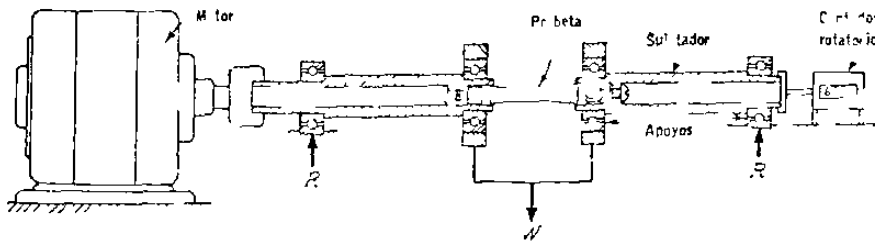


Figura 13.4.- Un tipo de máquina de ensaye de esfuerzo invertido con viga rotatoria.

flexionantes serios, y los esfuerzos intensamente localizados son susceptibles de ocurrir en las orillas de las probetas axialmente cargadas. Estas concentraciones de esfuerzos en objetos sometidos a esfuerzos repetidos son de importancia considerable aun para los materiales dúctiles, aunque tienen muy poco efecto sobre la resistencia estática a la tensión. En general, los ensayos cuidadosamente conducidos han demostrado que el límite de duración para ciclos de tensión y compresión directas y alternas es prácticamente el mismo que el límite de duración para ciclos de esfuerzos flexionantes invertidos.

El límite de duración para esfuerzos alternantes usualmente se determina de los ensayos en torsión rotativa o invertida. La mayoría de estas determinaciones han sido realizadas en aleaciones de aluminio y aleaciones de acero. Para los ensayos de los aceros al carbono la relación entre el límite de duración en torsión invertida y el límite de duración en flexión invertida es aproximadamente 0.48 a 0.64, con un promedio de 0.5. Para las aleaciones de aluminio la relación varía de 0.44 a 0.71, con un promedio de 0.58. La relación promedio para algunos metales no ferrosos es de 0.52.

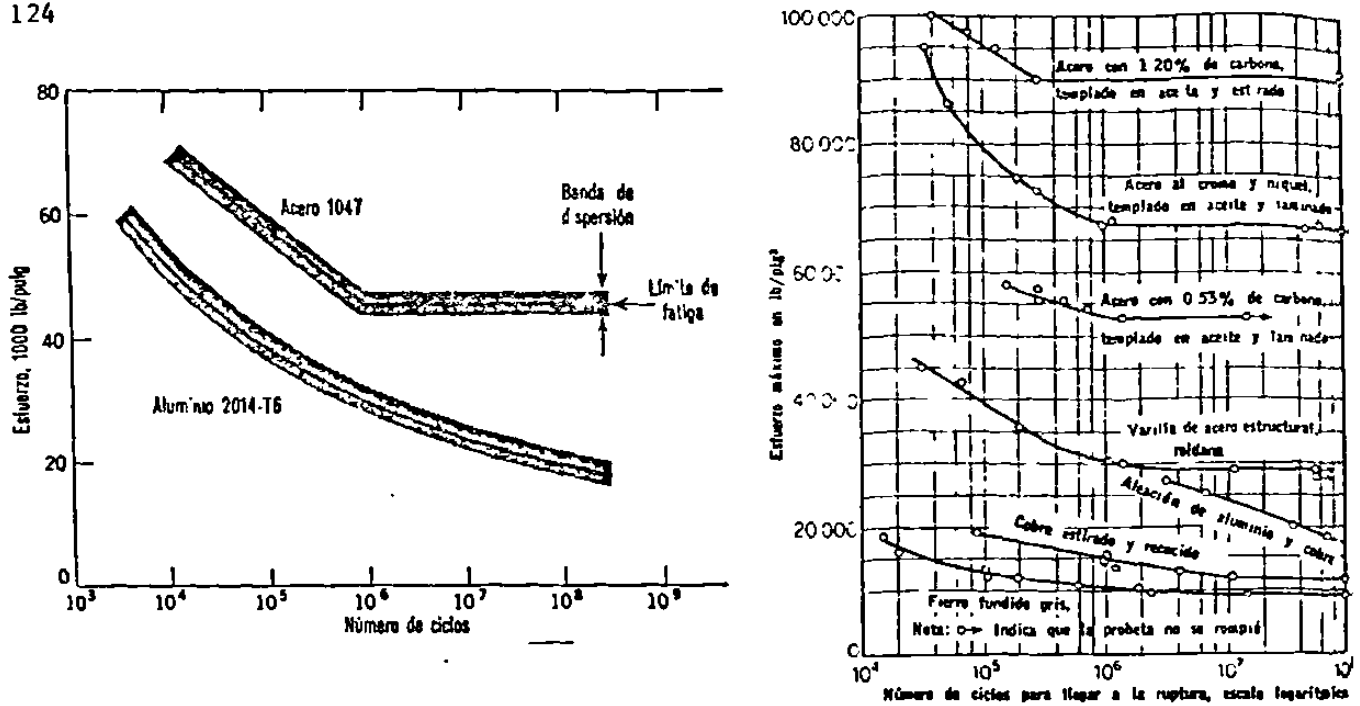


Figura 13.5.- Típicos diagramas SN para determinar el límite de duración de los metales sometidos a - esfuerzo flexionante invertido.

TABLA 13.2.- LIMITE DE DURACION Y RELACION DE DURACION DE VARIOS METALES

Metal	Resistencia a la tensión, estática lb/plg²	Límite de duración en flexión lb/plg²	Relación de duración
Acero, 0.18% de carbono, laminación en caliente	62 700	30 800	0.49
Acero, 0.24% de carbono, templado y estirado	67 500	29 500	0.44
Acero, 0.32% de carbono laminado en caliente	65 700	31 300	0.48
Acero, 0.38% de carbono, templado y estirado	91 500	33 500	0.37
Acero, 0.93% de carbono, recocido	84 100	30 500	0.36
Acero, 1.02% de carbono, templado	200 400	105 000	0.51
Acero al níquel, SAE 2341, templado	282 000	112 000	0.40
Acero fundido, 0.25% de carbono, en ese estado	67 200	27 000	0.40
Cobre, recocido	32 400	10 000	0.31
Cobre, laminación en frío	52 000	16 000	0.31
Latón 70-30, laminación en frío	73 200	17 500	0.24
Aleación 2024 de aluminio, T36,	72 000	18 000	0.25
Aleación de magnesio AZ63A	40 000	11 000	0.27

Para probetas de metal sometidas a esfuerzos repetidos que involucren - un rango de esfuerzos menor que la inversión completa, mientras menor sea el rango de esfuerzos, más alto será el límite de duración. El valor limitativo es, por supuesto, la resistencia estática. La naturaleza general de la - variación de la resistencia con el rango de esfuerzos se muestra en la figura 13.6. Se muestran tres métodos para representar los datos de la fátiga - que involucren la variable del rango en términos de esfuerzos. La figura --

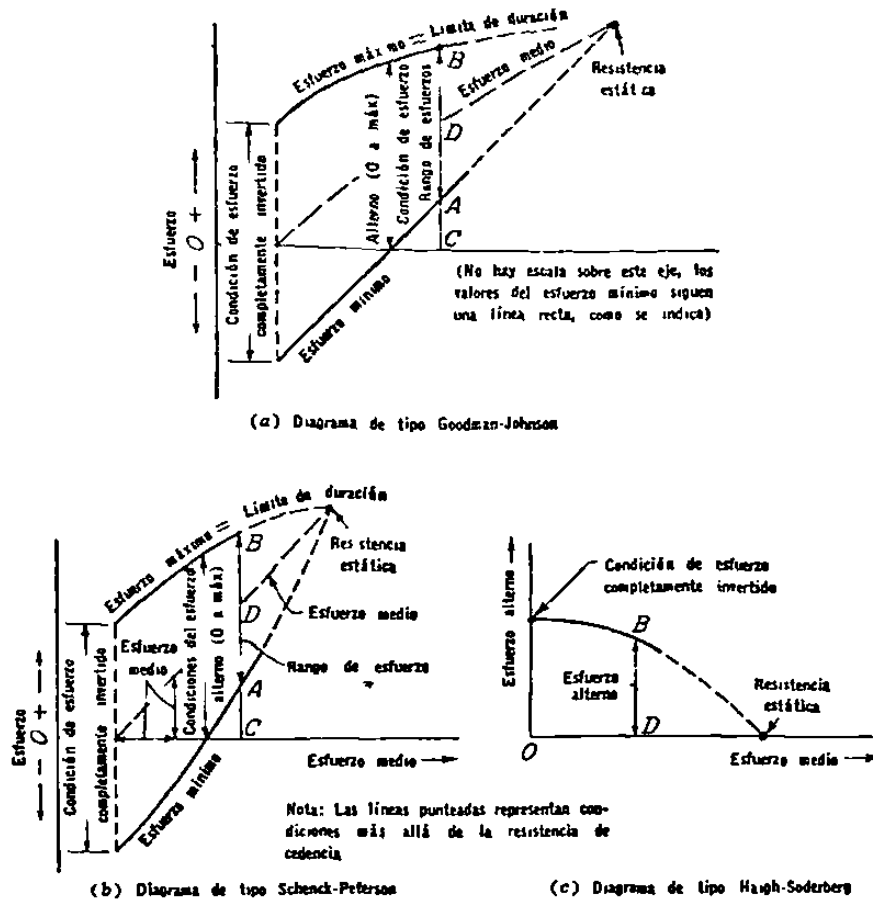


Figura 13.6.- Variación general de la resistencia con el rango de esfuerzos.

13.6a muestra el diagrama del tipo Goodman-Johnson en el cual el esfuerzo mínimo se traza para arrojar una línea recta (la escala horizontal carece de significación), y el límite de duración correspondiente a cualquier esfuerzo mínimo se traza verticalmente arriba, arrojando la línea curva superior. El rango de esfuerzos se representa por medio de la ordenada vertical entre las líneas continuas superior e inferior, mientras que el esfuerzo medio se representa por medio de la línea curva rayada. Así, para cualquier esfuerzo mínimo AC, el límite de duración es BC, el esfuerzo medio es DC y el rango de esfuerzos es AB.

La figura 13.6b, el diagrama Schenck-Peterson, se dibuja casi de la misma manera, excepto que la línea curva que representa los esfuerzos medios se traza como una línea recta a un ángulo de  $45^\circ$  con el eje horizontal. Esto, convierte en curva la línea del esfuerzo mínimo y permite que el eje horizontal represente los esfuerzos medios a la misma escala que sobre el eje vertical.

La figura 13.6c, el diagrama Haigh-Soderberg, representa la mitad superior de la figura 13.6b, pero con la línea a  $45^\circ$  llevada a la posición horizontal que representa los esfuerzos medios. En este diagrama las ordenadas de la curva representan el máximo valor del esfuerzo alterno BD, el cual puede aplicarse simultáneamente con un esfuerzo medio OD sin causar la falla por fatiga. Para el propósito de estimar los valores de la resistencia a la

fatiga para su uso en el diseño, ha sido derivado un número de fórmulas, basadas en idealizaciones de los datos.

Los bruscos cambios de sección transversal definitivamente disminuyen la resistencia nominal a la fatiga debido a la alta concentración del esfuerzo en tales transiciones. Los resultados de ensayos efectuados por Moore y Kommers, presentados en la Tabla 13.3, son típicos de los obtenidos por otros investigadores. Ellos demuestran que una ranura en V aguda puede reducir el límite nominal de duración de una probeta con flexión invertida aproximadamente un 65%, aun cuando el área transversal seccional neta permanezca constante. En partes de máquinas reales, sometidas a ciclos de esfuerzo invertido, cualquier cambio de sección brusco debido a agujeros, canales, ranuras, cuerdas de tornillo y rebordes, debe recibir consideración especial. Sin embargo, el efecto de esos elevadores de esfuerzos no es tan serio como parecería por los resultados de los cálculos realizados con base en la teoría de la elasticidad o el análisis fotoelástico.

TABLA 13.3.- EL EFECTO DE LA FORMA DE UNA PROBETA DE ENSAYO SOBRE EL LIMITE DE DURACION NOMINAL.

Diámetro de la probeta en plg		Medios de reducción <sup>2</sup> del diámetro	Reducción del límite de duración nominal, porcentaje
En los extremos	Al centro		
0.40	0.275	Ranura con radio de 10 plg	0
0.40	0.275	Ranura con radio de 1 plg	5
0.40	0.275	Ranura con radio de ¼ plg	10
0.40	0.275	Reborde con rosca corta	25
0.40	0.275	Reborde cuadrado	50
0.40	0.275	Muesca de 90° en V	65

#### 13.4.- DESARROLLO DE LAS ROTURAS POR FATIGA

En toda rotura por fatiga pueden distinguirse tres períodos: *incubación*, *fisuración progresiva* y *rotura*.

En el período de *incubación* se inicia una fisura microscópica que generalmente no es visible a simple vista. En el período de *fisuración progresiva*, la grieta iniciada en el período de incubación se extiende y progresa por la acción de los esfuerzos alterados y repetidos a que está sometido el metal. Y, por fin, en el tercer período, de *rotura*, el metal se rompe bruscamente, con escasa deformación del mismo. En realidad, los verdaderos períodos de rotura por fatiga son los dos primeros, pues en el tercero la pieza se rompe, porque su sección es ya insuficiente para resistir esfuerzos normales, para los que estaba calculada con toda su sección intacta.

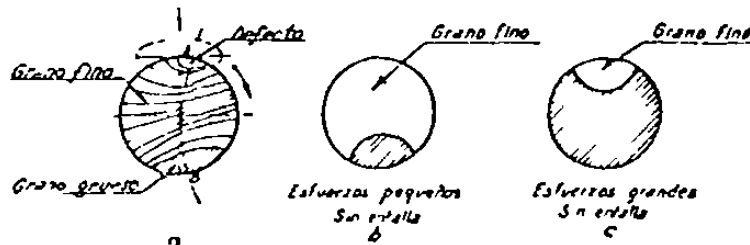


Figura 13.7.- Secciones de rotura por fatiga de probetas sin entalla, producida por flexión rotativa.

En el aspecto que presentan las secciones de piezas fracturadas por fatiga se distinguen perfectamente dos zonas que corresponden a los dos últimos periodos descritos; una, de *grano fino*, que ha ido rompiéndose por fatiga, en el periodo de fisuración progresiva, y otra zona, de *grano grueso*, de aspecto brillante, que es la sección de rotura instantánea final. En la zona de *grano fino* se distinguen a veces una serie de líneas que parece como si hubiesen avanzado concéntricamente a partir de un punto de la superficie, que, por tener algún defecto y ser más débil, es de donde ha partido la primer fisura (figura 13.7a).

Si la pieza estaba ampliamente dimensionada, es decir, si los esfuerzos que resistía eran muy inferiores a su resistencia, la zona de *grano fino* es muy grande, y la del grueso, pequeña (figura 13.7b). En cambio, si la pieza trabaja casi al límite de su resistencia, en cuanto se debilita al reducirse su sección, por una pequeña zona rota por fatiga, se rompe instantáneamente, siendo la zona de fractura de *grano grueso* muy grande (figura 13.7c).

Generalmente, la iniciación de la rotura es superficial, por algún punto descarburado, raya producida por el mecanizado o cambios bruscos de sección, progresando la grieta perpendicular a las líneas de fuerza (figura 13.9).

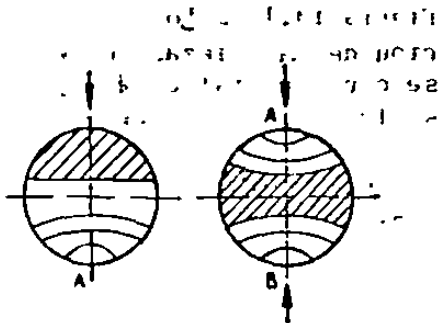


Figura 13.8.- Secciones de rotura por fatiga, de probetas sin entalla sometidas a esfuerzos de flexión intermitentes y alternados.

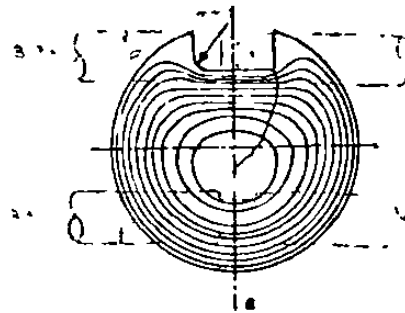


Figura 13.9.- Sección de rotura por fatiga de un eje con chavetero. La grieta se inicia en el ángulo no redondeado.

*Influencia del acabado y forma de las piezas en la rotura por fatiga.*

Se ha comprobado también que una pieza perfectamente acabado superficialmente resiste mejor la fatiga que una con acabado basto. También se ha demostrado que una pieza que ha estado en servicio sometida a esfuerzos repetidos de magnitudes inferiores al límite de su fatiga, queda como "endurecida", pudiendo después resistir esfuerzos superiores a los que pudiera soportar inicialmente. Por el contrario, una pieza sometida a un esfuerzo superior al máximo calculado, aunque sea momentáneamente y aunque no se haya producido ninguna fisura, reduce la capacidad del metal para soportar esfuerzos inferiores.

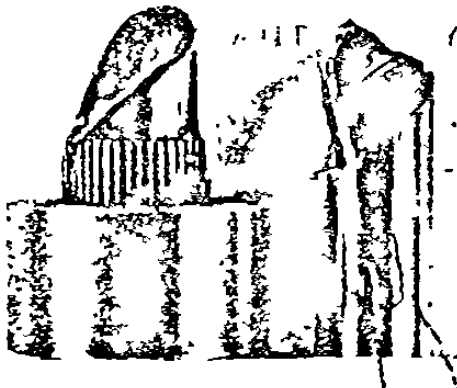


Figura 13.10.- Fractura en hélice típica de las roturas por fatiga con esfuerzos de torsión.

Por otra parte, la forma de la pieza hace variar también el límite de su resistencia de fatiga, y en las probetas de la figura 13.11 puede apreciarse una reducción de resistencia de la última probeta con respecto a la primera hasta de un 40%, a pesar de mantener la misma sección. En general, todo cambio brusco de sección, los agujeros, los fileteados, las medias cañas, las ranuras, las muescas, etc., disminuyen la resistencia del metal a la fatiga, siendo mayor la reducción cuanto más aguda sean las aristas o entranques. En las figuras 13.7, 13.8, 13.9 y 13.10 se han representado tipos de roturas producidas por diferentes clases de esfuerzos.

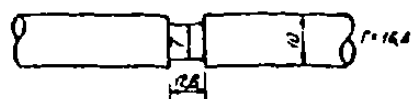
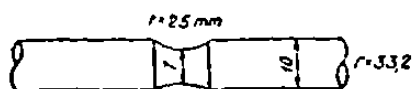
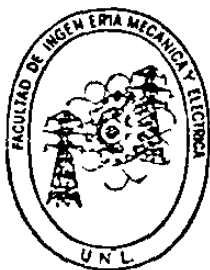


Figura 13.11.- Los cambios de sección de las piezas deben proyectarse con especial cuidado. Obsérvese la resistencia decreciente de un eje, cuya sección se ha reducido lo mismo, en perfiles diferentes.

### 13.5.- FORMATO

A continuación se presenta un formato que puede servir como reporte de la prueba donde se contienen todas las características del espécimen.



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

### CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE FATIGA

REALIZADO POR: \_\_\_\_\_

No. DE PRUEBA -----

TIPO DE PRUEBA -----

MATERIAL -----

DIAMETRO MAYOR ----- plg  
DIAMETRO MENOR ----- plg  
RADIO DE ACORDE ----- plg  
LONGITUD TOTAL ----- plg  
LONGITUD DE PRUEBA ----- plg  
TEMPERATURA DE PRUEBA ----- °F  
NUMERO DE CICLOS -----  
ESFUERZO MAXIMO ----- psi  
ESFUERZO MEDIO ----- psi  
ESFUERZO MINIMO ----- psi  
ESFUERZO DE CEDENCIA ----- psi  
TIPO DE FRACTURA -----

MONTERREY, N. L.

FECHA: \_\_\_\_\_



#### XIV.- ENSAYO DE DUCTILIDAD

##### 14.1.- INTRODUCCION

El ensayo de ductilidad es uno de los más utilizados y tiene por objeto conocer la aptitud de las chapas para ser conformadas por embutición, que es uno de los procesos más empleados por la industria moderna para la fabricación de piezas para aviones, automóviles, etc.

La medida de la ductilidad es la altura que se deforma la lámina, cuando se le embute un punzón, hasta el momento en que se inicia la ruptura.

##### 14.2.- MAQUINA DE DUCTILIDAD

La realización de los ensayos se efectúan en la probadora de ductilidad como la mostrada en la figura 14.1 cuyas componentes son:

*Botones de control.*- Los que controlan el encendido y apagado de la máquina.

*Indicadores de carga.*- Son dos, hasta 6,000 ó 30,000 lb. y mediante un selector se utiliza uno ú otros, tiene cada uno aguja motora e indicadora de carga máxima.

*Control de presión de sujeción.*- Se puede controlar y aplicar hasta 3,000 lb. de presión en el espécimen, todo esto mediante un sistema hidráulico independiente del sistema central, mediante un manómetro se indica, la presión de sujeción aplicada.

*Freno automático.*- Con este circuito se frena automáticamente el desarrollo de la prueba, una vez que se inicie la ruptura en la probeta.

*Embutido automático.*- Con este control se obtiene que todas las pruebas se hagan a la profundidad predeterminada. Retornando automáticamente el penetrador a su posición original para inicio de la siguiente prueba.

*Indicador de profundidad.*- Carátula con dos agujas, una indicadora de máximos y la otra motriz. Miden la profundidad de deformación de las probetas.

*Control de velocidad.*- Con este se controla la velocidad de aplicación de carga, según se desee en pulg/min.

*Sección de prueba.*- De metal endurecido y capacitado para admitir probetas de diferente espesor, el cambio de los dados formadores es relativamente rápido. Figura 14.2.

##### 14.3.- PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se colocan los penetrados requeridos según el ensayo, se amordaza la probeta a la presión predeterminada, se selecciona el rango que se desee usar y la velocidad de aplicación de carga requerida. Se oprime el botón de inicio de prueba y el penetrador es empujado contra la probeta en las carátulas, se marcará la velocidad de aplicación de carga, la variación de carga y la profundidad de embutido, cuando se inicie la ruptura, el ensayo se puede frenar, manual o automáticamente; posteriormente se retira la probeta de la sección de prueba.

##### 14.4.- TIPOS DE ENSAYOS

Un ancho rango de tipos de ensayos de ductilidad, pueden desarrollarse de acuerdo a las necesidades, con solo cambiar los aditamentos correspondientes. De los tipos más usados son:

a).- *Ensayo Olsen-Erichsen.*- Se emplea una bola de acero de 1" ó 20mm de diámetro para cada uno, figura 14.3. La forma de ruptura es por tensión radial presentando una grieta circular, figura 14.4, en ese instante se mide

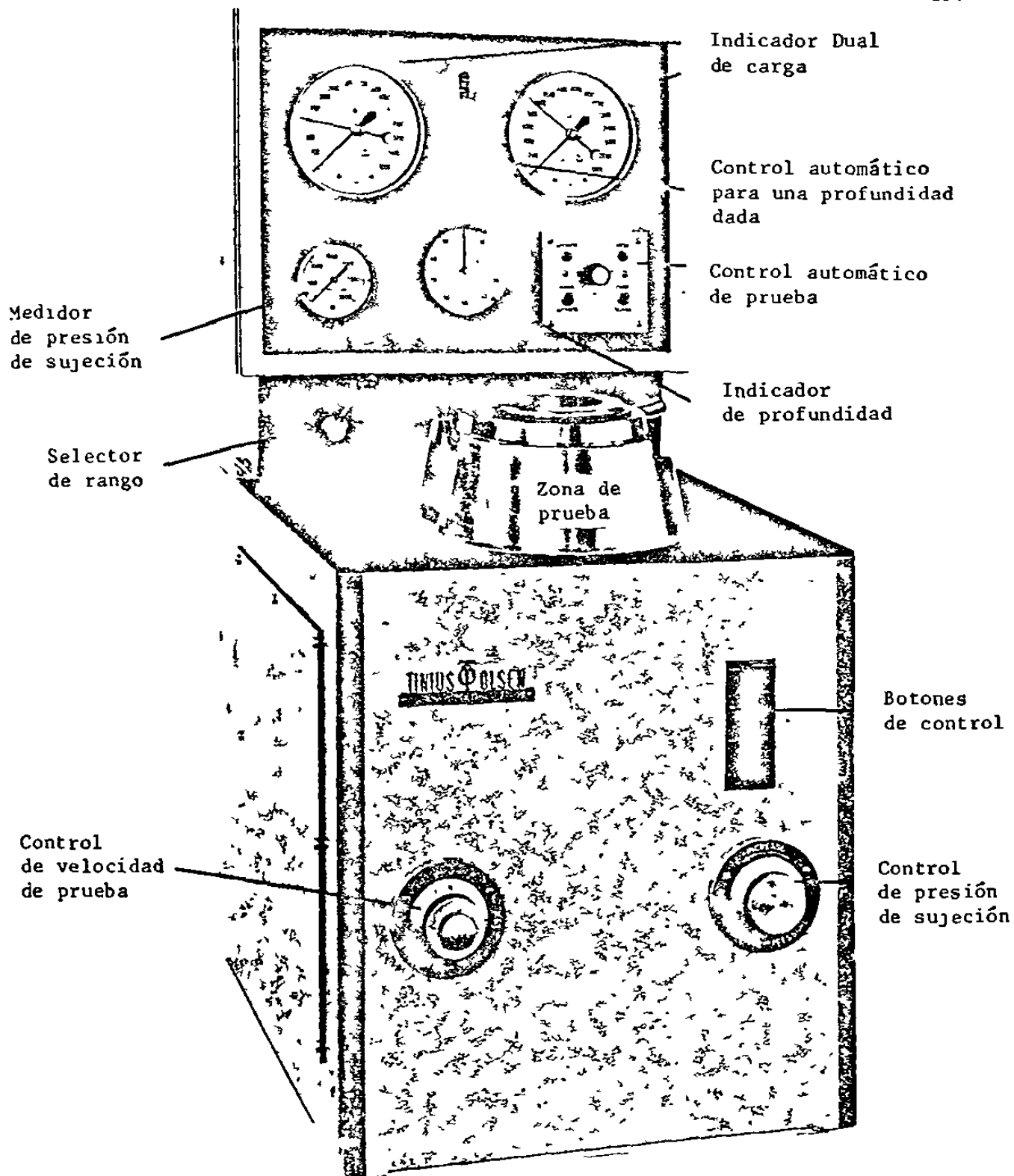


Figura 14.1.- Probadora de ductilidad para placas.

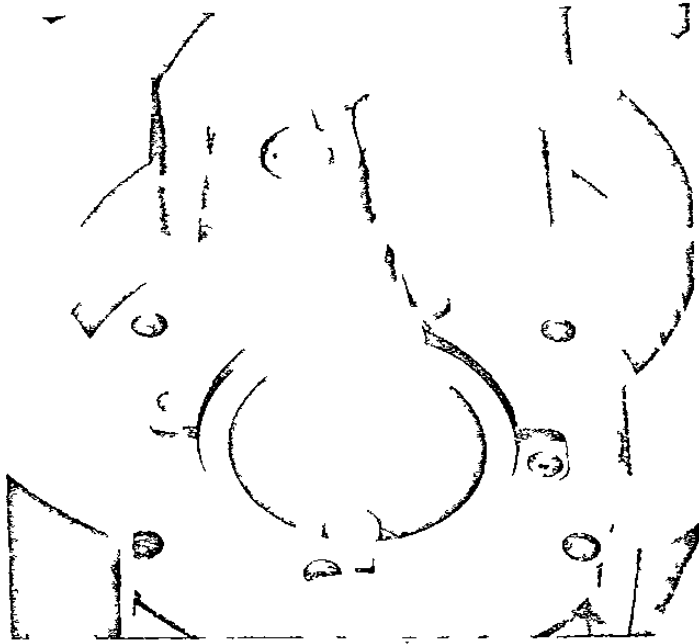


Figura 14.2.- Cambio - rápido del penetrador Olsen/Erichsen.

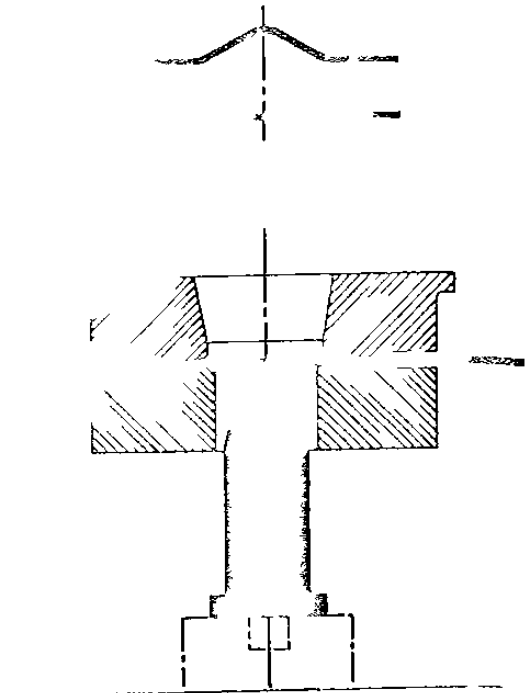


Figura 14.3.- Arreglo para la prueba de ductilidad Olsen y Erichsen.

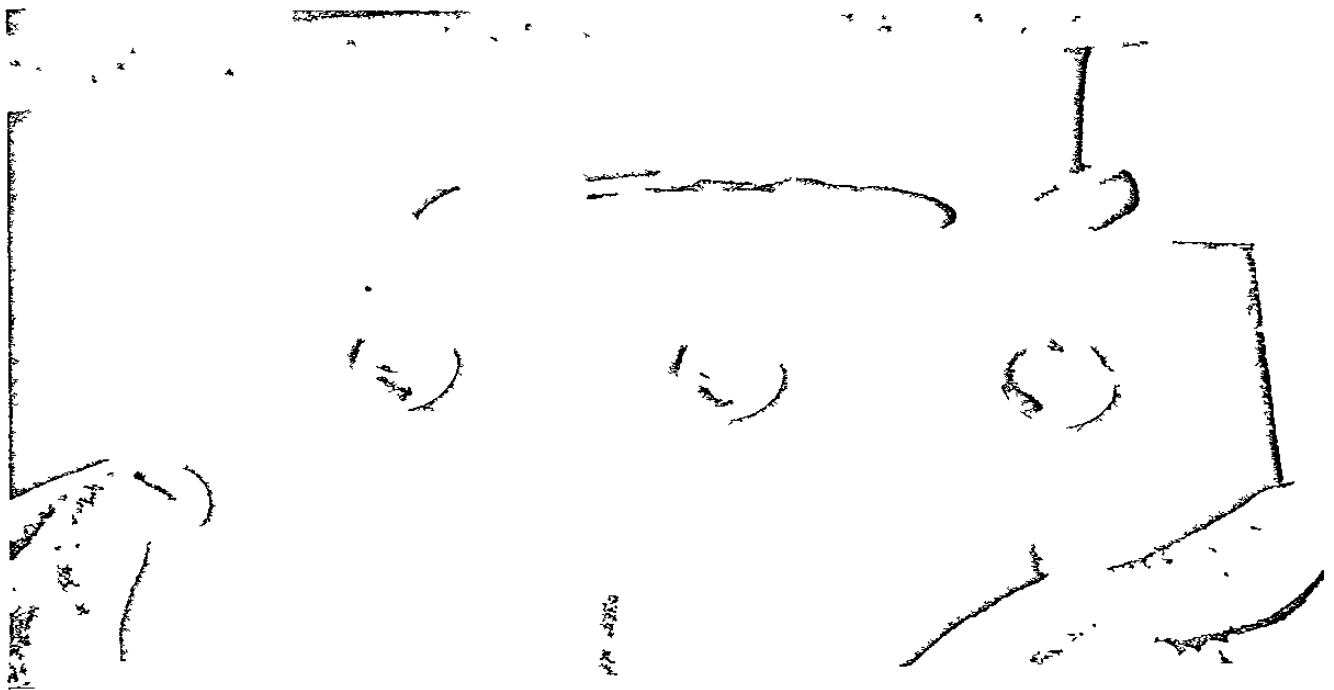


Figura 14.4.- Tipo de falla Olsen/Erichsen.

la profundidad

b) *Esfera de poca profundidad.*- La órbita es circular con espesores que van de 0.3 a 1.86 mm se les da forma en un punto de circular de cabeza a la longitud de 19 a 50 mm. Figura 14.5.



Figura 14.5.- Penetrador - para el ensayo de copa.

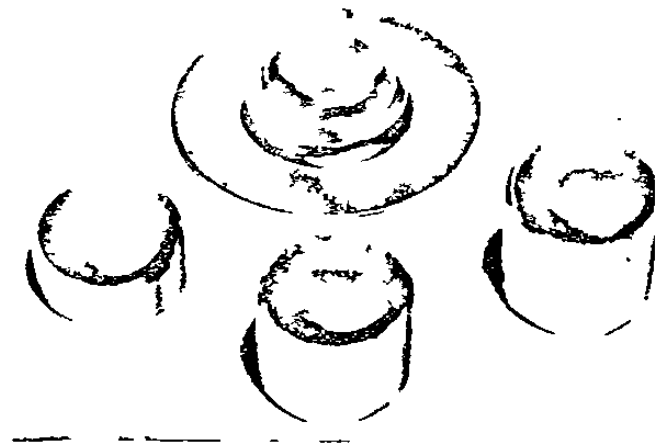


Figura 14.6.- Pruebas de copa profunda para discos de 55 mm, 66 mm, 70 mm y 80 mm de diámetro de una misma placa de acero de 0.059 pulgs.

Inicialmente se cortan una serie de placas circulares con diferentes - diámetros, pero el mismo metal, con un mismo penetrador se van probando cada una y se anota en cual diámetro se tiene máxima profundidad o copa perfecta. Figura 14.6.

El proceso de formado es afectado por diversos factores como; tipo de metal, tamaño y espesor de los discos, tolerancias entre los dados, presión de sujeción, velocidad de formado, presión o carga, tipo de lubricante, tamaño y forma del penetrador.

Se puede medir también cuanto es la razón máxima de formado, relacionando el diámetro y la altura de las copas formadas sucesivamente hasta tres etapas continuas en la figura 14.7 se muestra el esquema y las probetas del ensayo.

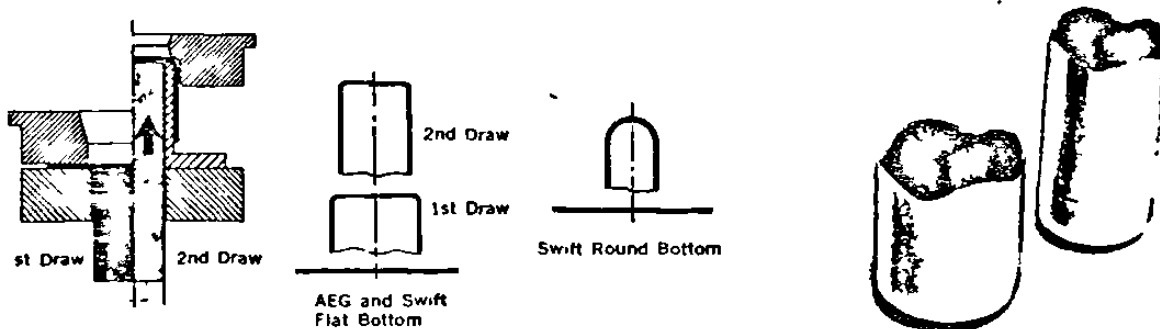


Figura 14.7.- Arreglo del embutido profundo de dos etapas y las probetas ensayadas.

c) *Ensayo de copa cónica Fukui.*- Para evaluar la formabilidad de los metales que se usaran en estampados compuestos en este ensayo se involucra un penetrador cilíndrico de cabeza redondeada, el cual empuja la placa contra un dado cónico, como se muestra en la figura 14.8 se mide la profundidad, cuando aparece la grieta en la cabeza del cono.

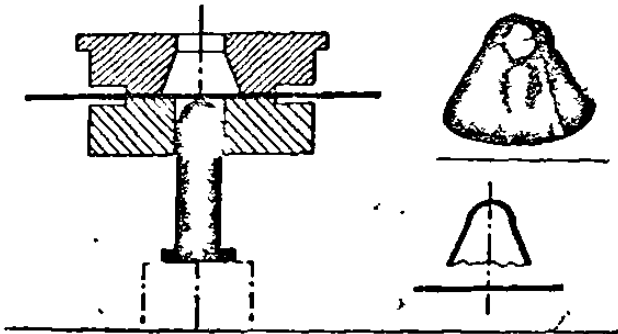


Figura 14.8.- Arreglo para el ensayo de copa cónica - fukus con una muestra rota

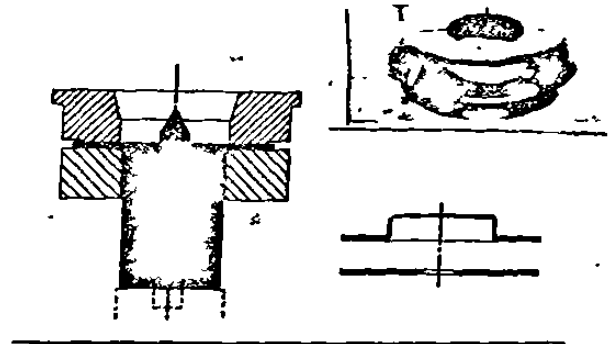
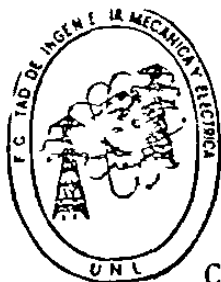


Figura 14.9.- Arreglo para el ensayo de agujero expandido con una muestra rota.

d) *Prueba del agujero expandido.*- En este ensayo concurren en la acción de esfuerzos radial y tangencial, fenómeno que se presenta en muchos procesos de formado, mediante un penetrador cilíndrico con una saliente al centro de embute la probeta, figura 14.9, cuando una grieta aparece el ensayo se suspende y se mide la expansión del agujero, el cual es una medida de la formabilidad del metal.

#### 14.5.- FORMATO

Se presenta a continuación un formato que pudiera servir como reporte de la prueba, donde se continen las características de la pieza antes y después del ensayo



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES  
 FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
 U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA  
 TEL.- 52-57-88 y 76-22-64

CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE DUCTILIDAD

REALIZADO POR \_\_\_\_\_

No. DE PRUEBA -----  
 ESTANDAR -----  
 TIPO DE PRUEBA -----  
 MATERIAL -----  
 ESPESOR ----- plg  
 VELOCIDAD DE PRUEBA ----- plg/min.  
 PRESION DE SUJECION ----- psi.  
 DIAMETRO DE PENETRADOR ----- plg  
 PROFUNDIDAD ----- plg  
 CARGA MAXIMA ----- lb.  
 DIAMETRO EXPANDIDO ----- plg  
 TIPO DE FALLA -----

MONTERREY, N.L.

FECHA: \_\_\_\_\_



UNS No.	C		Mn	P	ax	S <sub>max</sub>	Si	Ni	Cr	Mo
	0.01-0.35		0.01-0.90	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	—	—
G 13 00	0.2	0.33	1.60	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	—	—
G 3350	0.33	0.38	1.01	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	—	—
G 3 00	0.38-0.43	—	1.60	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	—	—
G 13 50	0.30	0.48	1.01	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	—	—
G 30	0.20	0.25	0.70	0.015	0.035	0.040	0.1-0.35	—	—	0.00-0.30
G 40	0.20	0.25	0.70	0.015	0.035	0.040	0.5-0.35	—	—	0.20-0.30
G40270	0.25	0.30	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.5	—	—	0.2-0.30
G 280	0.25	0.30	0.70	0.015	0.035	0.035-0.050	0.15-0.35	—	—	0.00-0.30
G-7370	0.35-0.40	—	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	—	0.0-0.30
G 0470	0.45	0.50	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	—	0.20-0.30
G41180	0.18-0.23	—	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.40-0.60	0.08-0.15
G41300	0.28-0.33	—	0.40	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25
G41370	0.35	0.40	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25
G41400	0.38	0.43	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25
G41420	0.40	0.45	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25
G41450	0.43	0.48	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25
G41470	0.45	0.50	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25
G41500	0.48	0.53	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15-0.25
G41610	0.56	0.64	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	0.25-0.35
G43200	0.17-0.22	—	0.45	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	0.40-0.60	0.20-0.30
G43400	0.38	0.43	0.60	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30
G43406	0.38-0.43	—	0.65	0.015	0.025	0.025	0.15-0.35	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30
G46150	0.13	0.18	0.45	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30
G46200	0.17-0.22	—	0.45	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	1.65-2.00	—	0.20-0.30
G46260	0.24-0.29	—	0.45	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.70-1.00	—	0.15-0.25
G47200	0.17	0.22	0.50	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.90-1.20	0.35-0.55	0.15-0.25
G48150	0.13	0.18	0.40	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30
G48170	0.15	0.20	0.40	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30
G48200	0.18	0.23	0.50	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	3.25-3.75	—	0.20-0.30
G51170	0.15	0.20	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—
G51200	0.17	0.22	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—
G51300	0.28	0.33	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	—
G51320	0.30	0.35	0.60	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.75-1.00	—
G51350	0.33	0.38	0.60	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.05	—
G51400	0.38-0.43	—	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—
G51500	0.48-0.53	—	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—
G51550	0.51	0.59	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—
G51600	0.56	0.64	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—
G51986	0.98	1.10	0.25	0.015	0.025	0.025	0.15-0.35	—	0.90-1.15	—
G 2986	0.98	1.10	0.25	0.015	0.025	0.025	0.15-0.35	—	1.30-1.60	—
G61180	0.16	0.21	0.50	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.50-0.70	0.10-0.15 V
G61500	0.48	0.53	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.80-1.10	0.15 V min
G86150	0.30	0.18	0.7	0.015	0.035	0.040	0.5-0.35	0.00-0.0	0.40-0.60	0.0-0.25
G 6170	0.15	0.20	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.00-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
G86200	0.18	0.23	0.70	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
G 6220	0.0	0.25	0.00	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.0-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
G 6 50	0.23	0.28	0.0	0.015	0.035	0.040	0.1-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
6270	0.25	0.30	0.0	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.4-0.60	0.15-0.25
0	0.8	0.33	0.00	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.0	0.4-0.60	0.5-0.5
G 6370	0.35	0.40	0.75	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
G 6 00	0.3	0.43	0.75	0.015	0.035	0.040	0.1-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
G 20	0.40	0.45	0.5	0.015	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25



## ESPECIFICACIONES AISI-SAE PARA ACEROS (Continuación)

AISI-SAE No.	UNS No.	Composition, % <sup>1,2</sup>							
		C	Mn	P max	S max	Si	Ni	Cr	Mo
8645	G86450	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
8655	G86550	0.51-0.59	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.15-0.25
8720	G87200	0.18-0.23	0.70-0.90	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30
8740	G87400	0.38-0.43	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.20-0.30
8822	G88220	0.20-0.25	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.40-0.70	0.40-0.60	0.30-0.40
9260	G92600	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	1.80-2.20	—	—	—

Standard Boron Grades<sup>4</sup>

50B44	G50441	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.40-0.60	—
50B46	G50461	0.44-0.49	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.20-0.35	—
50B50	G50501	0.48-0.53	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.40-0.60	—
50B60	G50601	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.40-0.60	—
51B60	G51601	0.56-0.64	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	—	0.70-0.90	—
81B45	G81451	0.43-0.48	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.20-0.40	0.35-0.55	0.08-0.15
94B17	G94171	0.15-0.20	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.08-0.15
94B30	G94301	0.28-0.33	0.75-1.00	0.035	0.040	0.15-0.35	0.30-0.60	0.30-0.50	0.08-0.15

1. Small quantities of certain elements are present which are not specified or required. These incidental elements may be present to the following maximum amounts: Cu, 0.35%; Ni, 0.25%; Cr, 0.20%; and Mo, 0.06%. 2. Standard alloy steels can also be produced with a lead range of 0.15-0.35%. Such steels are identified by inserting the letter "L" between the second and third numerals of the AISI or SAE number, e.g. 41L40. 3. Electric furnace steel. 4. 0.0005-0.003% B.

Source: *Steel Products Manual*, American Iron and Steel Institute.

## 15.2.- FACTORES DE CONVERSION

US Customary to SI	SI to US Customary
1 lb (mass), 0.4536 kg	1 kg, 2.2046 lb (mass)
1 lb (force), 4.448 N	1 m, 39.370 in.
1 in., 25.4 mm (exact)	1 mm, 0.03937 in.
1 in. lb, 113 Nmm	1 MPa, 145 psi
1 hp, 0.7457 kW	1 N, 0.2248 lb (force)
1 Btu, 1,055,000 Nmm	1 kW, 1.341 hp
1 Btu, 252 calories	1 centipoise, 0.000 000 145 $\frac{\text{lb sec}}{\text{in.}^2}$
1 $\frac{\text{Btu}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$ , $\frac{5.677 \text{ watts}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$	1 $\frac{\text{Nsec}}{\text{mm}^2}$ , 145 $\frac{\text{lb sec}}{\text{in.}^2}$
	1 calorie, 37.05 in. lb











## PROPIEDADES DEL ACERO AL CARBON Y ALEADOS (Continuación)

AISI No *	Tempering Temperature, F	Tensile Strength, Psi	Yield Strength, Psi	Elongation, %	Reduction in Area, %	Impact, BT
5150	400	282 000	251 000	5	37	52
	600	252 000	230 000	6	40	47
	800	210 000	190 000	9	47	41L
	1,000	163 000	150 000	15	54	340
	1,200	117 000	118 000	20	60	270
5160	400	322 000	260 000	4	10	627
	600	290 000	257 000	9	30	555
	800	233 000	212 000	10	37	461
	1,000	169 000	151 000	12	47	341
	1,200	130 000	116 000	20	56	269
51B60	400	—	—	—	—	600
	600	—	—	—	—	540
	800	237 000	216 000	11	36	460
	1,000	175 000	160 000	15	44	355
	1,200	140 000	126 000	20	47	290
6150	400	280 000	245 000	8	38	538
	600	250 000	228 000	8	39	483
	800	208 000	193 000	10	43	420
	1,000	168 000	155 000	13	50	345
	1,200	137 000	122 000	17	58	282
81B45	400	295 000	250 000	10	33	550
	600	256 000	228 000	8	42	475
	800	204 000	190 000	11	48	405
	1,000	160 000	149 000	16	53	338
	1,200	130 000	115 000	20	55	280
8630	400	238 000	218 000	9	38	465
	600	215 000	202 000	10	42	430
	800	185 000	170 000	13	47	375
	1,000	150 000	130 000	17	54	310
	1,200	112 000	100 000	23	63	240
8640	400	270 000	242 000	10	40	505
	600	240 000	220 000	10	41	460
	800	200 000	188 000	12	45	400
	1,000	160 000	150 000	16	54	340
	1,200	130 000	116 000	20	62	280
86B45	400	287 000	238 000	9	31	525
	600	246 000	225 000	9	40	475
	800	200 000	191 000	11	41	395
	1,000	160 000	150 000	15	49	335
	1,200	131 000	127 000	19	58	280
8650	400	281 000	243 000	10	38	525
	600	250 000	225 000	10	40	490
	800	210 000	192 000	12	45	400
	1,000	170 000	153 000	15	51	340
	1,200	140 000	120 000	20	58	280
8660	400	—	—	—	—	600
	600	—	—	—	—	540
	800	237 000	225 000	13	37	460
	1,000	190 000	176 000	17	44	355
	1,200	155 000	138 000	23	53	290
8740	400	290 000	240 000	10	41	505
	600	249 000	225 000	11	44	460
	800	208 000	197 000	13	47	400
	1,000	175 000	165 000	15	54	340
	1,200	143 000	131 000	20	60	280
9255	400	305 000	297 000	1	3	601
	600	281 000	260 000	4	10	578
	800	233 000	216 000	8	22	477
	1,000	182 000	160 000	15	32	352
	1,200	144 000	118 000	20	42	285
9260	400	—	—	—	—	600
	600	—	—	—	—	540
	800	255 000	218 000	8	24	470
	1,000	192 000	164 000	12	30	390
	1,200	142 000	118 000	20	43	295
94B30	400	250 000	225 000	12	46	475
	600	232 000	206 000	12	49	445
	800	195 000	175 000	13	57	382
	1,000	145 000	135 000	16	65	307
	1,200	120 000	105 000	21	69	250

15.5.- PROPIEDADES TÍPICAS DE ALGUNOS ACEROS INOXIDABLES

Notas: (a) Coeficiente de dilatación térmica a temperatura próxima a la del ambiente, cm/cm °C (o bien pulg./-pulg °F). (b) Los valores medios aproximados de la resistencia máxima de los materiales, 403, 410 y 416 están dados por  $S_u = 351 + 32,70$  (NDB), en kg/cm<sup>2</sup> (o bien  $S_u = 5 + 0,465$  (BHN), en ksi). (c) Varía con los detalles del tratamiento térmico y del trabajado en frío. (d) Trabajado en frío, plena dureza. (e) Los límites de fatiga para aceros inoxidable se pueden estimar en  $0,4S_u$ , hasta la resistencia a la tracción de 11 250 kg/cm<sup>2</sup> (160 ksi) aproximadamente. (f) Varía algo según el estado: recocido, trabajado en frío, eliminado de tensiones. En cizalladura, para alambres de resortes estirados en frío,  $G = 745$  250 kg/cm<sup>2</sup> (o bien  $G = 10,6 \times 10^6$  psi). (g) Tira de 1,48 mm (0,058 pulgadas). (h) Mínimo. (i) Barras de 25,40 mm (1 pulgada). (j) PH, endurecido por precipitación; Republic Steel TH 1050;  $S_u$  min garantizada = 11 952 kg/cm<sup>2</sup> = 170 ksi;  $S^*n$  para  $10^8$ .

MATERIAL N° AISI	RESISTENCIA MÁXIMA $S_u$ kg/cm <sup>2</sup> (c) ksi	LÍMITE DE FLUENCIA $S_y$ kg/cm <sup>2</sup> (c) ksi	LÍMITE DE FATIGA $S^*n$ (e) kg/cm <sup>2</sup> (d) ksi	MÓDULO ELASTICIDAD (f) E kg/cm <sup>2</sup> × 10 <sup>-8</sup> psi × 10 <sup>-4</sup>	ALARGA- MIENTO en 50 mm (2 pulg) (g) %	REDUC- CIÓN ÁREA (h) %	NDB (BHN) (media) (c)	DENSIDAD (i) kg/dm <sup>3</sup> lb/pulg <sup>3</sup> cm cm °C	WZOB (c) pie-lb	$\alpha \times 10^4$ (a) cm cm °C	OBSERVACIONES
301, 1/4 duro.	8 788(h)	5 273(h)	2 109(g)	1,968	25(h)		260	7,92	0,286	16,9	(17 % Cr, 7 % Ni) Uso general; de- coración, estructurales
302, recocido	6 327	2 601	2 390	1,968	57	65	150	7,92	0,286	17,3	Austenítico. Endurecible por trabajo en frío.
302, 1/4 duro.	8 788(g)(h)	5 273(h)	4 921(d)	1,968	12(h)		260	7,92	0,286	17,3	302, 303 son aceros inoxidable 18-8.
303, recocido.	6 327	2 460	2 460	1,968	50	55	160	7,92	0,286	17,3	Austenítico Endurecible por trabajo en frío.
304, recocido.	5 976	2 460	2 460	1,968	50	70	150	7,92	0,286	17,3	Austenítico. Endurecible por trabajo en frío.
316, trabajado en frío (j)	6 327	4 218	2 812	1,968	45	65	190	7,92	0,286	16,0	Austenítico. Endurecible por trabajo en frío.
321, recocido	6 116	2 460	2 671	1,968	50	65	150	8,02	0,290	16,7	Estabilizado por Ti.
347, recocido	6 327	2 812	2 742	1,968	50	65	160	7,92	0,286	16,7	Austenítico. Endurecible por trabajo en frío.
403, 410, con tra- tamiento térmico	7 734(h)	5 976(h)	4 077	2,038	20	65	225	7,73	0,279	10,2	Martensítico. Endurecible por trata- miento térmico.
410, trabajado en frío (b)	7 030(h)	5 976	3 726	2,038	17	60	205	7,73	0,279	10,2	Martensítico. Dureza máxima.
416, recocido (b)	5 273	2 812	2 812	2,038	30	60	155	7,70	0,278	10,2	Martensítico. Endurecible por trata- miento térmico.
430, recocido.	5 273	3 163	2 812	2,038	25	65	160	7,67	0,277	10,4	Ferrítico. No endurecible por trata- miento térmico.
431, OQT 1000*											
(h) . . . . . 10 546	150	9 140	130	2,038	18	60	325	7,75	0,28	11,7	Martensítico. Endurecible por trata- miento térmico hasta alta resistencia
17-7 PH barra											
(i) . . . . . 12 303	175	10 897	155	2,038	6(h)	34	390	7,65	0,276	10,1	(17 % Cr, 7 % Ni, 1,15 % Al) Solu- ción recocida, etc.

\* OQT 1000 = Oil Quenched and Tempered at 1000° F = Templado y revenido en aceite a 538° C. (N. del T.)



## 15.6.- PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS MATERIALES FERROSOS FUNDIDOS

Notas: Los coeficientes aproximados de dilatación térmica son en  $\text{cm/cm}^\circ\text{C}$  (o bien en  $\text{pulg/pulg}^\circ\text{F}$ ): hierro gris,  $10 \times 10^{-6}$  (o bien  $5,6 \times 10^{-6}$ ); hierro maleable,  $11,9 \times 10^{-6}$  (o bien  $6,6 \times 10^{-6}$ ); hierro nodular,  $12,1 \times 10^{-6}$  (o bien  $6,7 \times 10^{-6}$ ); acero moldeado,  $11,7 \times 10^{-6}$  (o bien  $6,5 \times 10^{-6}$ ) (pero varía -- apreciablemente con la composición).

Coefficiente de Poisson: hierro gris, 0,211 (min); hierro maleable, 0,265; hierro nodular, 0,16; acero moldeado, 0,27.

(a) Las especificaciones ASTM y SAE no son iguales. (b) Maquinabilidad, valores relativos, AISI B1112 = 100%. (c) Diámetro 30,48 mm; soportes, 457,2 mm (o sea 1,2 pulgada diámetro, soportes 18 pulgadas). (c) Los resultados de los ensayos indican que la resistencia a la flexión del hierro fundido en secciones simétricas, calculada por  $S_f = M/Z$ , es aproximadamente  $1,9S_u$  a  $2S_u$ . Se usa  $1,9S_u$ . (e) Calculada. (f) Valores mínimos. Los valores típicos pueden estar comprendidos entre 10 y 40% más elevados. (g) Los materiales ASTM 35 y de grado (calidad) más elevado se consideran que son de alta resistencia, y son más caros. (h) Para hierro fundido con 25% de resistencia máxima; varía con las dimensiones de la sección y el análisis químico. (i) Flexión invertida. Para hierro gris,  $0,4S_u < S'_n < 0,6S_u$ . (j) El número indica las propiedades mínimas; por ejemplo, 80-60-03 indica  $S_u = 80$  ksi ( $5624 \text{ kg/cm}^2$ ),  $S_y = 60$  ksi ( $4218 \text{ kg/cm}^2$ ) (deformación permanente de 0,2%) y alargamiento de 3%, mínimo, en sección de 25,40 mm (1 pulgada) aproximadamente. (k) 0,3% C, máximo. (l) N&T, símbolo de "normalizado y revenido" (en inglés, "normalized and tempered"). Las propiedades de las piezas fundidas de acero varían con los contenidos de carbono y de elementos de aleación, y con el tratamiento térmico, como en el acero forjado; mínima  $S'_n \approx 0,4S_u$ . (m) Impacto de Charpy, entalladura en ojo de cerradura,  $21^\circ\text{C}$ , kgm (o bien  $70^\circ\text{F}$ , pie-lb). (n) Impacto de Charpy, entalladura en V. (o) Se toma igual a  $S_u$ . (p) ASTM A339-55. (q) ASTM A395-56T. (r) ASTM A396-58. (s) Para el proyecto se admiten resistencias máximas de compresión y resistencias de fluencia del hierro nodular iguales a  $S_u$  y  $S_y$ , respectivamente. (t) Grados o calidades comerciales corrientes. (u) Revenido a  $649^\circ\text{C}$  ( $1200^\circ\text{F}$ ). (v) Típica  $S_u \approx 6749 \text{ kg/cm}^2$  (96 ksi),  $S_y = 5132 \text{ kg/cm}^2$  (73 ksi) cuando WQT 1200 (o sea, templado en agua y revenido a  $1200^\circ\text{F}$ , equivalentes a  $649^\circ\text{C}$ ). (w) Tipo de aplicaciones generales.

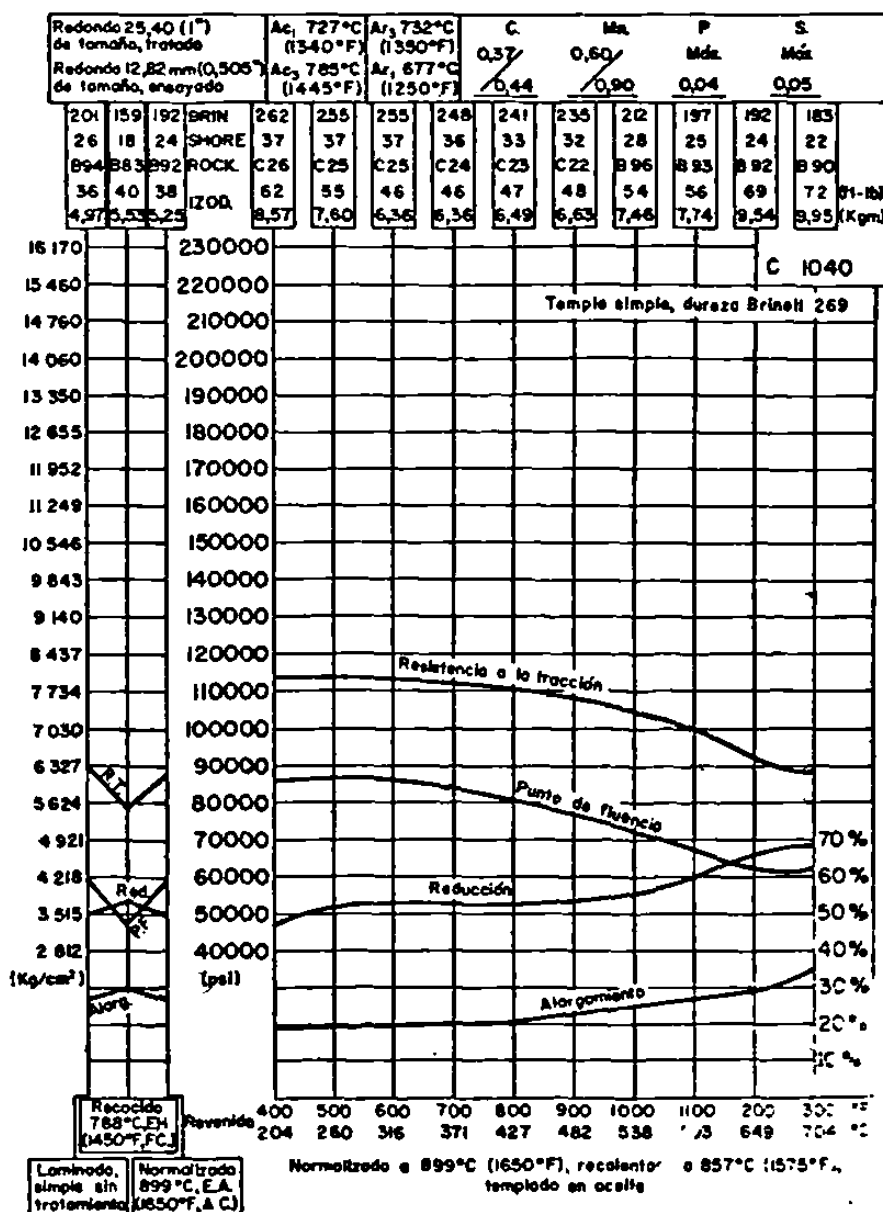
PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS MATERIALES FERROSOS FUNDIDOS

MATERIAL N.º ESPECIFICACIÓN	RESISTENCIA MÁXIMA				LÍMITE DE FATIGA $s_n$ (f) kg/cm <sup>2</sup>	FLUENCIA EN TRACCIÓN $s_0$ kg/cm <sup>2</sup>	MÓDULO ELÁSTICIDAD $E \times 10^4$ kg/cm <sup>2</sup>	MÓDULO DE CIZALLADURA $G \times 10^{-4}$ kg/cm <sup>2</sup>	NOB.	DENSIDAD kg/cm <sup>3</sup>	VISCOSIDAD (b)	MÍNIMO ESPESOR DE PARED RECOMENDADO
	$s_u$ kg/cm <sup>2</sup>	$s_{ur}$ kg/cm <sup>2</sup>	$T_{0.2}$ kg/cm <sup>2</sup>	RESIS. TRANSV. kg (c)								
ERRÓNEOS (fund simplemente sin tratamiento)					(e)							
SAE(a)												
110	1 406(f)	5 835	2 249	1 828	703	0,675(f)	0,274(f)	156	7,01			r = 3,17 mm
	1 757(f)	6 819	2 460	2 249	808	0,818(f)	0,323(f)	174	7,01			r = 6,35 mm
	2 109(f)	7 662	2 882	2 812	984	0,914(f)	0,365(f)	201	7,04			r = 9,52 mm
(g)	2 460(f)	8 718	3 445	3 409	1 124	1,019(f)	0,407(f)	212	7,12	3,18	80	r = 9,52 mm
(h)	2 812(f)	9 843	3 656	4 007	1 300	1,124(f)	0,450(f)	235	7,26	3,45	65	r = 15,87 mm
(i)	3 515(f)	11 570	4 499	5 132	1 511	1,321(f)	0,506(f)	262	7,45	4,28	55	r = 19,05 mm
(j)	4 218(f)	13 147	4 218	6 221	1 722	1,434(f)	0,548(f)	302	7,45	10,36	50	r = 25,40 mm
1-Resist, Inco K-6	1 757(f)	7 030(f)				0,843(f)		145		13,82		r = 3,17 mm
lechante (w)	2 460(f)					0,843(f)		190				r = 3,17-22,22 mm
IERRO MALLEABLE												
STM Grado												
47-52	3 656	(n)	3 374	4 077	1 792	1,757	0,752	120	7,26	1,65	120	ALARG. en 5 cm %
47-52	3 866	(o)	3 023	4 077	1 898	1,757	0,752	130	7,26	2,21	120	REDUC. AREA %
												12,5
												20
EFU FUNDIDO LK												
45 J (res. c. y lechante)	4 921	(s)		4 007	2 109	1,617	0,668	160	7,19	1,24-2,76(n)		18
47-52 (res. c. y lechante)	4 187	(s)		5 132	2 812	1,617	0,696	230	7,19	0,27-1,10(n)		6
47-52 (res. c. y lechante)	7 734	(s)		6 187	3 093(e)	1,617	0,696	270		0,27-0,83(n)		5
CERO MALLEABLE												
STM SAE(a)												
127-58(n)	4 218(f)	4 218(f)	MAX CONT DE CARBONO Y TRATAMIENTO TÉRMICO		1 757	2,109	0,808	120	7,86	2,48(m)	55	30
	4 569(f)	4 569(f)	0,3 % C, Recocido		1 968	2 460(f)	0,808	130	7,86	3,18(m)	60	30
	4 921(f)	4 921(f)	0,3 % C, Normalizado		2 179	2 531(f)	0,808	140	7,86	2,62(m)	65	26
	4 921(f)	4 921(f)	0,35 % C, Normalizado		2 460	2 812(f)	0,808	160	7,86	4,14(m)	70	40
	5 624(f)	5 624(f)	0,25 % C, Normalizado		2 812	3 515(f)(w)	0,808	170	7,86	3,04(m)		27
148-58	5 624(f)	5 624(f)	N&T		2 460	3 515(f)(w)	0,808	190	7,86	4,14(m)(u)		28(u)
	6 327(f)	6 327(f)	WQT		2 882	4 218(f)	0,808	235	7,86	2,76(m)(u)	70	24
148-58	6 327(f)(v)	6 327(f)	N&T		3 445	5 976(f)	0,808	269	7,86	3,87(m)	60	18
148-58	8 437(f)	8 437(f)	WQT		3 866	6 679(f)(w)	0,808	310	7,86	3,45(m)		14(f)
148-58	10 546(f)	10 546(f)	WQT		4 569	8 788(f)	0,808	390	7,86	1,66(m)		9(f)
148-58	12 303(f)	12 303(f)	WQT		5 413	10 194(f)	0,808		7,86			8

PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS MATERIALES FERROSOS FUNDIDOS (Continuación)

MATERIAL N.º ESPECIFICACIÓN	RESISTENCIA MÁXIMA				RESIS. TRANSV. (c) libras	LÍMITE DE FRACTURA (f) ksi	FUERZA EN TRACCIÓN (g) ksi	MÓDULO ELÁSTICIDAD E x 10 <sup>4</sup> psi	MÓDULO DE CIZALLadura G x 10 <sup>4</sup> psi	BHN	LONG. pulg	DENSIDAD lb pulg <sup>3</sup>	MÁQUINA-BILIDAD (b)	MÍNIMO ESPESOR DE PARED RECOMENDADO
	S <sub>u</sub> ksi	S <sub>yc</sub> ksi	S <sub>uv</sub> ksi	Tors. ksi										
HIERRO GRIS (G) (fund simple-mente sin tratamiento) ASTM SAE(a)	(d)	(d)				(e)		(h)						
20	20(F)	83	32	26	1830	10		9.6(F)	3.9(F)	156		0.253		f = 1/4 pulg
25	25(F)	97	35	32	2175	11.5		11.5(F)	4.6(F)	174		0.253		f = 1/4 pulg
30	30(F)	109	41	40	2525	14		13(F)	5.2(F)	201	23	0.254		f = 3/8 pulg
35(G)	35(F)	124	49	48.5	2850	16		14.5(F)	5.8(F)	212	25	0.257		f = 3/8 pulg
40(G)	40(F)	140	52	57	3175	18.5		16(F)	6.4(F)	235	31	0.262		f = 1/2 pulg
50(G)	50(F)	164	64	73	3600	21.5		18.8(F)	7.2(F)	262	65	0.269		f = 3/4 pulg
60(G)	60(F)	187	60	88.5	3700	24.5		20.4(F)	7.8(F)	302	75	0.269		f = 1 pulg
N Resist. Inco K-6 Mechanite (w)	25(F) 35(F)	100(F)						12(F) 12(F)		145 190	100			f = 1/4 pulg f = 1/2 pulg
HIERRO MALEABLE ASTM Grado														
A47-52 32 510	52	(o)	48	58		25.5	34	25	10.7	120	12	0.262	120	en 2 pulg % 12.5
A47-52 35 018	55	(o)	43	58		27	36.5	25	10.7	130	16	0.262	120	% 20
H ERRO FUNDIDO NODULAR (I)														
6 45-10 (recocido) (q)	70	(e)		57		30	55	23	9.5	160	9-20(n)	0.26	18	18
80 60 03 (fund. simplen) (p)	88	(e)		73		40	65	23	9.9	230	2-8(n)	0.26	6	6
1 X 10-03 (trat térmico) (r)	110	(s)		88(e)		44(e)	80	23	9.9	270	2-6(n)	0.26	5	5
ALFERO MOLDADO ASTM SAE(a)														
A.7 58(f)	66(f)					25	70(f)	30	11.5	120	18(m)	0.284	55	30
A.27 58(f) 0010(K)	65(f)					28	35(f)	30	11.5	130	23(m)	0.284	60	30
A.7 58	74(f)					31	36(f)	30	11.5	140	19(m)	0.284	65	30
A.7 58	71(f)					35	40(f)	30	11.5	160	30(m)	0.284	70	26
A.48 58 080	81(f)					35	40(f)	30	11.5	160	30(m)	0.284	70	27
A.148-58	81(f)					41	50(KH)	30	11.5	170	22(m)	0.284	70	27
A.48 58 090	90(f)					41	60(f)	30	11.5	190	30(m)(u)	0.284	70	28(u)
A.148 58 0105	105(f)					49	85(f)	30	11.5	235	20(m)(u)	0.284	60	24
A.48 58	120(f)					55	94(KH)	30	11.5	269	28(m)	0.284	60	18
A.148 58 0150	155(f)					65	125(f)	30	11.5	310	25(m)	0.284	60	14(f)
A.148 58 0175	175(f)					77	145(f)	30	11.5	390	12(m)	0.284	60	14(f)

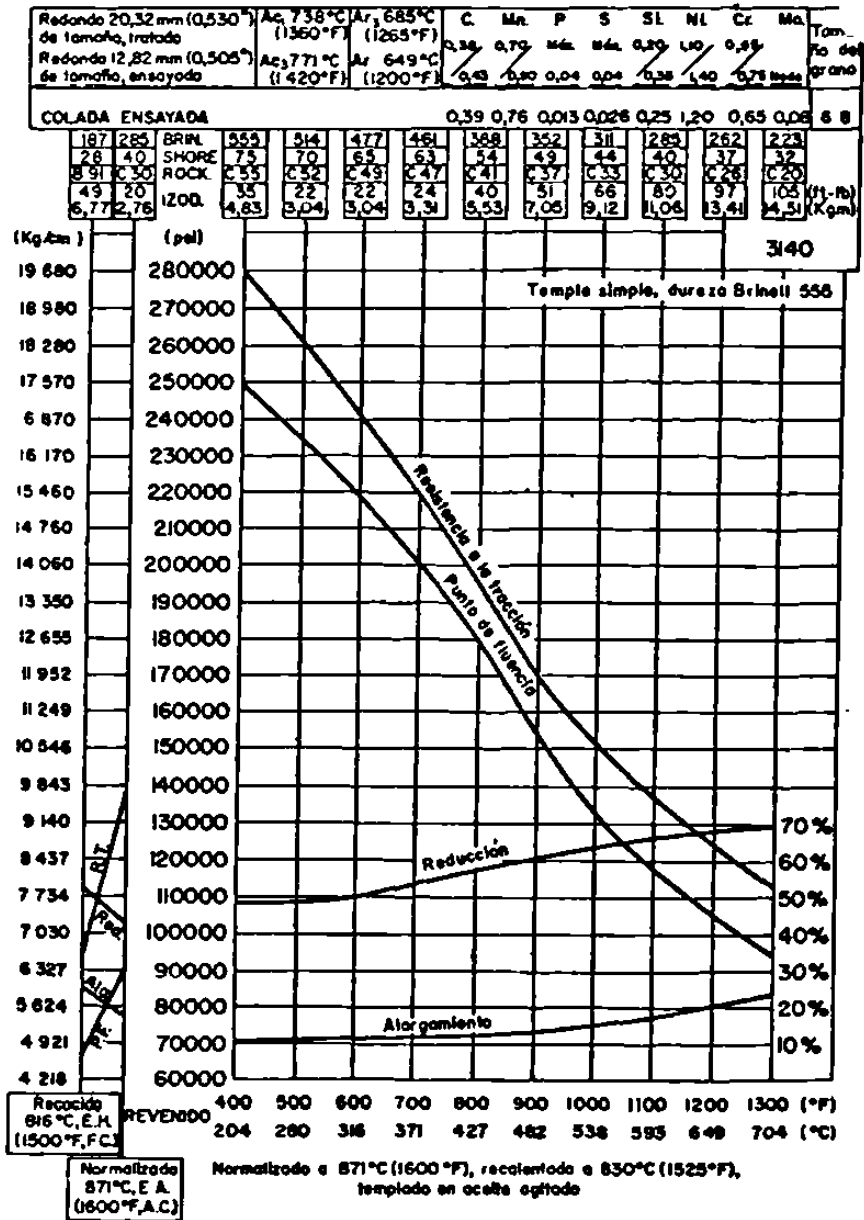
15.7.- GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 1040



Propiedades del acero AISI C1040 con tratamiento térmico. Las abscisas son temperaturas de revenido. Valores medios. Los ábacos como éste son una guía sobre las propiedades mecánicas probables cuando el diámetro es de 6,35 a 38,10 mm (o sea de 1/4 a 1 1/2 pulgada).

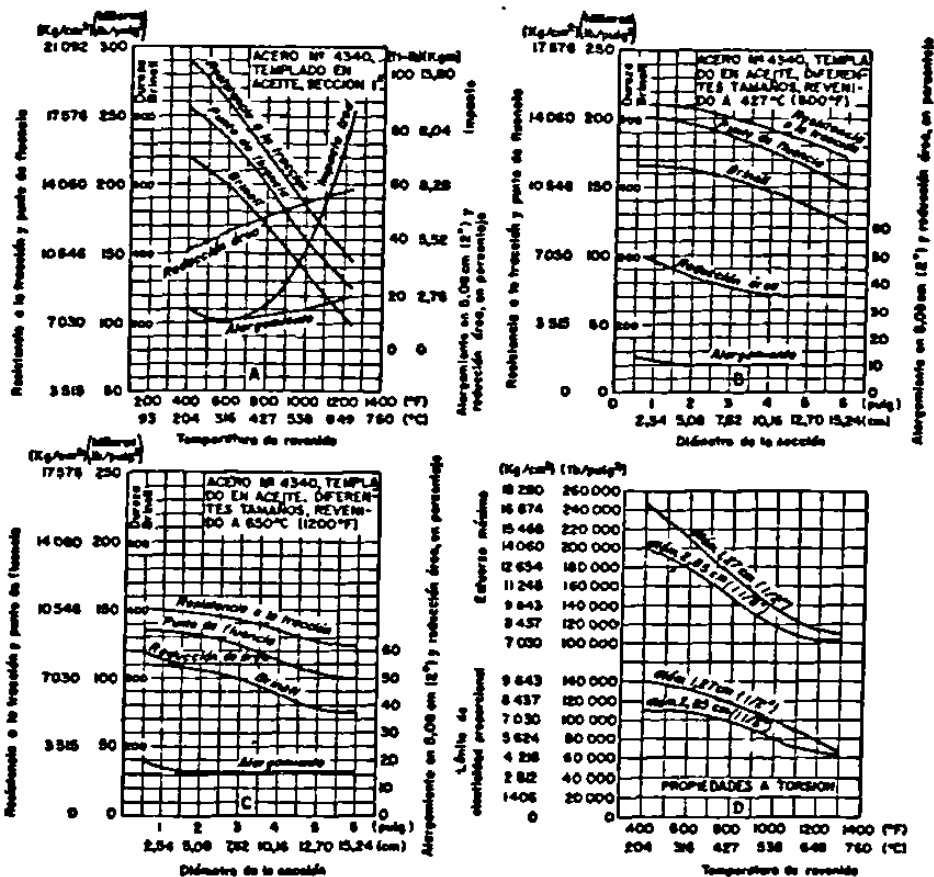
E.H., abreviatura de enfriado en hornos  
F.C., abreviatura de furnace cooled  
E.A., abreviatura de enfriado al aire  
A.C., abreviatura de air cooled  
(N del T.)

15.8.- GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 3140



Propiedades del acero AISI 3140 con tratamiento térmico. Resultados colada única. Las abscisas son temperaturas de revenido. Obsérvese el tratamiento térmico especificado y el tamaño de la probeta. La máxima resistencia  $s_u \approx (35)$  (NDB) en kg/cm<sup>2</sup>, o bien  $s_u \approx (500)(BHN)$  en psi. Este material se emplea mucho para piezas tratadas térmicamente. Para  $R_c = 28$ , la descarbonización de la superficie reduce la resistencia a la fatiga en un 50%. Para  $R_c = 48$ , la descarbonización de la superficie reduce la resistencia a la fatiga en el 75%, hasta aproximadamente  $s_u = 5765$  kg/cm<sup>2</sup> (o bien 82 ksi), pero este porcentaje es inusualmente alto.

15.9.- GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 4340

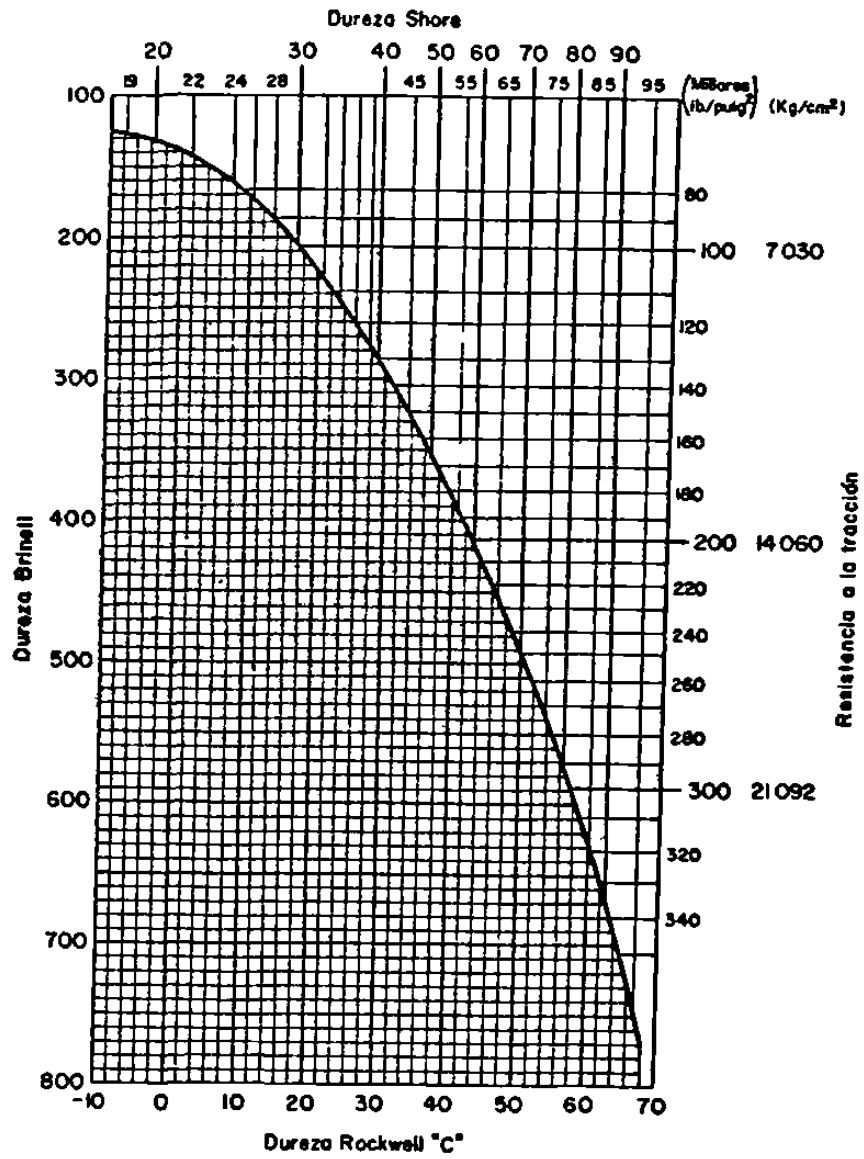


Propiedades del acero AISI 4340 tratado térmicamente. Otra manera de especificar las propiedades mecánicas; los ábacos A, B y C indican propiedades a tracción; el ábaco D da las propiedades a torsión. Es una excelente aleación para aplicaciones generales. A continuación se indican otras resistencias diversas a la fatiga de este acero. Para  $s_n \approx 18\,980 \text{ kg/cm}^2$  (o bien 270 ksi).

Superficie no descarburada,  $s_n = 6257 \text{ kg/cm}^2$  (o bien 89 ksi) Superficie descarburada hasta 0,76 mm (o bien 0,03 pulgada),  $s_n = 2812 \text{ kg/cm}^2$  (o bien 40 ksi). Superficie descarburada, granallada,  $s_n = 6679 \text{ kg/cm}^2$  (o bien 95 ksi). OQT 1075 (580° C), diámetro 1,58 cm (o bien 0,625 pulgada), superficie nitrurada,  $s_n = 8437 \text{ kg/cm}^2$  (o bien 120 ksi). Probeta de material laminado, transversalmente,  $s_n = 3163 \div 4921 \text{ kg/cm}^2$  (o bien 45 + 70 ksi).

Para $s_n \approx 11\,249 \text{ kg/cm}^2$ (o bien 160 ksi); variación de la resistencia a la fatiga con la temperatura.	Temperatura		$s_n$ invertida, $R = -1$		Repetida, $R = 0$	
	°C	°F	kg/cm <sup>2</sup>	ksi	kg/cm <sup>2</sup>	ksi
	21,1	70	8226	117	4921	70
	316	600	6749	96	4288	61
	427	800	5765	82	4148	59
	538	1000	4570	65	2742	39

15.10.- RELACION DUREZA Vs. ESFUERZO



Relación entre números de dureza.

## 15.11.- PROPIEDADES TÍPICAS DE METALES FERROSOS FORJADOS (DÚLCES)

Módulo de elasticidad en tracción o compresión,  $E = 2\,109\,000\text{ kg/cm}^2$  - (o bien  $30 \times 10^6\text{ psi}$ ). (Para hierro dulce,  $E = 1\,968\,000\text{ kg/cm}^2$ , o bien  $28 \times 10^6\text{ psi}$ ).

Módulo de elasticidad en cizalladura o torsión,  $G = 808\,500\text{ kg/cm}^2$  (o bien  $11,5 \times 10^6\text{ psi}$ ). (Para hierro dulce,  $G = 703\,000\text{ kg/cm}^2$ , o bien  $10 \times 10^6\text{ psi}$ ).

La resistencia de fluencia en torsión (cizalladura) está comprendida - frecuentemente entre  $0,5S_y$  y  $0,6S_y$ . Se emplea  $0,6S_y$ .

Límite de fatiga de una probeta pulida, flexión invertida, aproximadamente  $S_u/2$ .

Límite de fatiga en torsión invertida, aproximadamente  $0,6S'_n$ .

El coeficiente de Poisson es aproximadamente de  $0,25$  a  $0,33$ . Se emplea  $0,3$  para el acero.

La densidad es aproximadamente  $7,85\text{ kg/dm}^3$  (o bien  $0,284\text{ lb/pulg}^3$ ). -- (Para hierro dulce,  $7,75\text{ kg/dm}^3$ , o bien  $0,28\text{ lb/pulg}^3$ ).

MATERIAL N.º AISI	ESTADO (c)	MÁXIMA RESISTENCIA		RESISTENCIA DE FLUENCIA EN TRACCIÓN		ALARGA- MIENTO % EN 5,08 cm (2 pulg)	REDUC- CIÓN ÁREA %	NDB (BHN)
		$s_u$ kg/cm² ksi	$s_{u(d)}$ kg/cm² ksi	$s_y$ kg/cm² ksi	$s_y$ kg/cm² ksi			
Hierro dulce Acero forjado	Laminado simple	3 374(a)48(a)	2 531 36	1 757(a)25(a)	35			
C1010(k)	Estirado en frío	4 710 67	3 515 50	3 867 55	25	57	137	
C1015(k)	Estirado en frío	5 413 77	4 077 58	4 429 63	25	63	170	
C1020	Laminado simple	4 569 65	3 445 49	3 374 48	36	59	143	
C1020	Normalizado	4 499 64	3 797* 54*	3 515 50	39	69	131	
C1020	Recocido	4 007 57	3 023 43	2 952 42	36,5	66	111	
C1020(k)	Estirado en frío	5 483 78	4 077 58	4 640 66	20	59	156	
C1022	Laminado simple	5 062 72	3 797 54	3 656 52	35	67	149	
C1030	Laminado simple	5 624 80	4 218 60	3 586 51	32	56	179	
C1035	Laminado simple	5 976 85	4 499 64	3 867 55	29	58	190	
C1045	Laminado simple	6 749 96	5 062 72	4 148 59	22	45	215	
C1095	Normalizado	9 913 141	7 381 105	5 624 80	8	16	285	
B1113(k)	Acabado en frío	5 835 83	4 359 62	5 062 72	14	40	170	
B1113	Laminado simple	4 921 70		3 163 45	25	40	138	
C1118	Laminado simple	5 273 75	3 937 56	3 234 46	32	70	149	
C1118(k)	Estirado en frío	5 624 80	4 218 60	5 273 75	16	57	180	
C1144	OQT 1000 (538° C)	8 296 118	6 187 88	5 835 83	19	46	235	
1340	OQT 1200 (649° C)	7 945 113	5 905 84	6 468 92	21	61	229	
13B45	OQT 800 (427° C)	13 147 187	9 843 140	12 303 175	16	56		
2317(e)	OQT 1000 (538° C)	7 451 106	5 554 79	4 991 71	27	72	220	
2340(e)	OQT 1000 (538° C)	9 632 137	7 241 103	8 437 120	22	60	285	
3150	OQT 1000 (538° C)	10 616 151	7 945 113	9 140 130	16	54	300	
3250(e)	QT 1000 (538° C)	11 670 166	8 577 122	10 264 146	16	52	340	
4063	OQT 1000 (538° C)	12 655 180	9 491 135	11 249 160	14	43	375	
4130	WQT 1100 (593° C)	8 929 127	6 679 95	8 015 114	18	62	260	
4130(e)	Estirado en frío	8 577 122	6 398 91	7 381 105	16	45	248	
4340(e)	Estirado en frío	8 577 122	6 398 91	7 381 105	15	45	248	
4640(e)	OQT 1000 (538° C)	10 686 152	7 311 104	9 140 130	19	56	310	
5140(e)	OQT 1000 (538° C)	10 546 150	7 945 113	8 999 128	19	55	300	
5140(e)	Estirado en frío	7 381 105	5 554 79	6 187 88	18	52	212	
8630	Estirado en frío 10 %	8 085 115	6 046 86	7 030 100	22	53	222	
8640	OQT 1000 (538° C)	11 249 160	8 437 120	10 546 150	16	55	340	
8760	OQT 800 (427° C)	15 468 220	11 600 165	14 068 200	12	43	420	
9255	OQT 1000 (538° C)	12 655 180	9 491 135	11 249 160	15	32	352	
9440	OQT 1000 (538° C)	10 686 152	7 311 104	9 491 135	18	61	311	
9850	OQT 1100 (593° C)	12 655 180	9 491 135	11 108 158	15	48	361	



## PROPIEDADES TÍPICAS DE METALES FERROSOS FORJADOS (Continuación)

El coeficiente de dilatación térmica (lineal) es de 0,0000126 cm/cm-°C (o bien 0,000007 pulg/pulg-°F). (Para hierro dulce es de 0,0000117 cm/cm-°C, o bien 0,0000065 pulg/pulg-°F).

Notas.- Una B precediendo al número AISI indica Bessemer, como B1112; la C delante indica acero Siemens-Martin, como C1020. (a) Valores mínimos. (b) Recocido. (c) QT 1000 indica "templado y revenido a 1000°F" (o sea a -538°C), etc. Las expresiones OQT o bien WQT significan que el correspondiente tratamiento térmico se efectúa "en aceite" (oil), o bien "en agua" (water), respectivamente. (d) La resistencia máxima en cizalladura se ha tomado arbitrariamente igual a 0,75 de la "máxima resistencia a la tracción" excepto los valores señalados con asterisco \* que son valores de ensayo. -- (e) Probeta de 25,40 mm (una pulgada). (f) Torsión. (g) Recocido en factoria. (h) Estirado en frío. (j) Muesca en V Charpy, 21,1°C (o bien 70°F) (k) Las propiedades dependen de la magnitud del trabajo en frío.

ROCK	IZOO		MAQUINABILIDAD (i)	ALGUNOS USOS TÍPICOS. OBSERVACIONES
	kgm	pie-lb		
B60			50(h)	ASTM A85-36, A41-36.
			50	Barras, tiras, chapa, placa. Perfiles estirados en frío.
	18,94(j)	137(j)	50	Barras, chapas Tabla AT 8. Para cementación: tabla AT 11.
B79	8,84	64	64	Acero estructural; placa, chapa, tira, alambre.
B74	9,95	72		Calidad de cementación, tabla AT 11.
B66	11,06	80		Aplicaciones generales.
B83			62	Piezas diversas de máquinas, forjadas en frío; barras.
B81	8,29	60	70(h)	Aplicaciones generales.
B88	7,60	55	60	Piezas de maquinaria. Tabla AT 8.
B91	6,22	45	57	Piezas de máquinas. Pueden ser tratadas térmicamente. Tabla AT 9
B96	4,14	30	51	Ejes grandes.
C25	0,41	3	39	Herramientas, muelles. Usualmente, tratadas térmicamente. Tabla AT 9.
B87			135	Mecanizado fácil; alto contenido de azufre.
B76				Mecanizado fácil; alto contenido de azufre.
B81	11,06	80	82	Mecanizado fácil; ordinariamente sin soldadura. Cementación, tabla AT 11.
	15,20(j)	110(j)	85	Tabla AT 8 para C1117.
C22	4,97	36	65(b)	Mecanizado fácil. Alto contenido de azufre. Tablas AT 8 y AT 9 para C1137.
C31	13,13	95	45(g)	(1,75 % Mn). Acero al manganeso.
C42				1345 con boro para mejorar la templabilidad.
B97	11,75	85	55(h)	(3 ½ % Ni) Engranajes, forros (camisas) de bomba, etc.
C30	6,91	50	31	(3 ½ % Ni) Engranajes, etc.
C32	6,36	46		(1,25 % Ni, 0,8 % Cr). Engranajes, pernos, ejes, etc.
C36,5	4,14	30	55(b)	(1,85 % Ni, 1,05 % Cr) Engranajes, etc.
C40	8,15	59		(0,25 % Mo). Ejes, barras, etc.
C25	11,75	85	65(b)	0,95 % Cr, 0,20 % Mo) Ejes, piezas forjadas, pasadores, tubos para aviación.
			45(g)	(1,85 % Ni, 0,8 % Cr, 0,25 % Mo). Aplicaciones generales. Figura AF 3.
C33	5,66	41	55(b)	(1,85 % Ni, 0,25 % Mo).
C32			60(b)	(0,80 % Cr) Engranajes, ejes, pasadores, etc.
			60(g)	(0,55 % Ni, 0,5 % Cr, 0,2 % Mo). Tabla AT 9.
C35	4,97	36	60(b)	(0,55 % Ni, 0,50 % Cr, 0,20 % Mo).
C46	2,62	19	50(b)	(0,55 % Ni, 0,50 % Cr, 0,25 % Mo). Herramientas, engranajes, pernos.
C36	0,96	7	45(b)	(2,00 % Si, 0,82 % Mn). Muelles, cuneces, herramientas.
C33	10,09	73	60(b)	(0,45 % Ni, 0,4 % Cr, 0,11 % Mo).
C37	6,91	50	50(b)	(1 % Ni, 0,8 % Mn, 0,8 % Cr, 0,25 % Mo). Servicio pesado; aplicaciones generales.

## 15.12.- PROPIEDADES TÍPICAS DE ACEROS EN DIVERSOS TAMAÑOS Y ESTADOS

(a) Tornado. (b) 10 %. (c) Inconsistente, de diferentes factorías.

NÚM. AISI	ESTADO	DIÁMETRO DE BARRA		MÁXIMA RESISTENCIA		PUNTO DE FLUENCIA EN TRACCIÓN		ALARG. % EN 5,08 cm (2 pulg)	REDUC- CIÓN ÁREA %	NDB (BHN)	IZOD	
		cm	pulg	$S_u$ kg/cm <sup>2</sup> ksi	$S_y$ kg/cm <sup>2</sup> ksi	kgm	pie-lb					
C1015	Laminado simple	1,27	½	4288	61	3198	45,5	39	61	126	11,19	81
	Recocido	2,54	1	3937	56	2952	42	37	69,7	111	11,47	83
	Normalizado	1,27	½	4429	63	3374	48	38,6	71	126	11,75	85
	Normalizado	2,54	1	4323	61,5	3304	47	37	69,6	121	11,75	85
	Normalizado	5,08	2	4218	60	3128	44,5	37,5	69,2	116	11,89	86
	Normalizado	10,16	4	4148	59	2938	41,8	36,5	67,8	116	11,47	83
C1117	Laminado simple	1,27	½	4963	70,6	3114	44,3	33	63	143	8,29	60
	Recocido	2,54	1	4359	62	2847	40,5	32,8	58	121	9,54	69
	Normalizado	1,27	½	4900	69,7	3163	45	34,3	61	143	9,67	70
	Normalizado	5,08	2	4710	67	2917	41,5	33,5	64,7	137	11,47	83
	Normalizado	10,16	4	4478	63,7	2460	35	34,3	64,7	126	11,61	84
C1030	Laminado simple	1,27	½	5624	80	3586	51	32	54	179	7,60	55
	Recocido	2,54	1	4710	67	3445	49	31	57,9	126	7,05	51
	Normalizado	1,27	½	5448	77,5	3515	50	32	61,1	156	9,54	69
	Normalizado	10,16	4	5096	72,5	3304	47	29,7	56,2	137	8,43	61
	WQT 1000	2,54	1	6187	88	4780	68	28	68,6	179	12,72	92
C1137	Laminado simple	1,27	½	6538	93	3867	55	26	63	192	8,43	61
	Recocido	2,54	1	5976	85	3515	50	27	54	174	5,11	37
	Normalizado	1,27	½	6890	98	4077	58	25	58	201	9,54	69
	Normalizado	5,08	2	6749	96	3445	49	22	51	197	2,90	21
	Estirado en frío	2,54	1	7241	103	6538	93	15	56	217		
C1045	Recocido	2,54	1	6327	90	3867	55	27	54	174	4,42(c)	32(c)
	Normalizado	2,54	1	6960	99	4288	61	25	49	207	6,63(c)	48(c)
	Lam. en caliente (a)	2,54	1	6116	87	3797	54	27	56	187	7,05(c)	51(c)
	Estirado en frío (b)	5,08	2	7030	100	5976	85	19	45	235		
	WQT 1000 (538°C)	1,27	½	9140	130	7734	110	16	56	260	10,37(c)	75(c)
	WQT 1200 (649°C)	1,27	½	7734	110	5905	84	23	61	220		
	WQT 1000 (538°C)	5,08	2	7734	110	4921	70	23	50	205	11,75(c)	85(c)
	WQT 1200 (649°C)	5,08	2	6890	98	4499	64	26	58	190		
	WQT 1000 (538°C)	10,16	4	6609	94	4148	59	25	49	180	8,57(c)	62(c)
	WQT 1200 (649°C)	10,16	4	6538	93	3867	55	28	55	186		
C1050	Laminado simple	1,27	½	7170	102	4077	58	18	37	229	3,18	23
	Recocido	2,54	1	6468	92	3726	53	23,7	40	187	1,66	12
	Normalizado	1,27	½	7804	111	4359	62	21,5	45	223	2,35	17
	Normalizado	10,16	4	7030	100	3937	56	21,7	41,6	201	2,76	20
	Estirado en frío	2,54	1	7945	113	6679	95	12	35	229		
	OQT 1100 (593°C)	1,27	½	8577	122	5695	81	22,8	58	248	3,04	22
	WQT 1100 (593°C)	1,27	½	8366	119	6187	88	21,7	60	241	7,05	51
	OQT 1100 (593°C)	5,08	2	7874	112	4780	68	23	55,6	223	2,76	20
	WQT 1100 (593°C)	5,08	2	8226	117	5518	78,5	23	61	235	3,31	24
	OQT 1100 (593°C)	10,16	4	7100	101	4112	58,5	25	54,5	207	2,90	21
	WQT 1100 (593°C)	10,16	4	7874	112	4780	68	23,7	55,5	229	2,07	15

## 15.13.- PROPIEDADES TÍPICAS DE ACEROS TRATADOS TÉRMICAMENTE

Para obtener la resistencia o el número Brinell para cualquier otra temperatura de revenido, interpolar con repartición lineal entre los valores dados. La extrapolación para temperaturas más bajas puede dar a veces una estimación razonable, pero no se puede confiar en ella.

(a) No interpolar utilizando este valor.

N.º AISI (Medio de enfriamiento)	TAMAÑO		REVENIDO A		MÁXIMA RESISTENCIA $S_u$		PUNTO DE FLUENCIA EN TRACCIÓN $S_y$		NDB (BHN)	ALARG. % EN 5,08 cm (2 pulg)	IZOD	
	cm	pulg	°C	°F	kg/cm²	ksi	kg/cm²	ksi			kgm	pie/lb
C1035 (agua)	2,54	1	316	600	8 296	118	6 116	87	240	11	5,53	40
	2,54	1	538	1000	7 170	102	5 132	73	200	22	7,88	57
	2,54	1	704	1300	5 976	85	4 007	57	170	29	12,85	93
C1095 (aceite)	1,27	½	427	800	12 373	176	7 874	112	363	11	0,83	6
	1,27	½	593	1100	10 194	145	6 187	88	293	17	0,83	6
	10,16	4	593	1100	9 140	130	4 570	65	262	17	0,69	5
C1137 (aceite)	1,27	½	371	700	9 491	135	8 085	115	277	12	1,79(a)	13(a)
	1,27	½	538	1000	7 804	111	6 187	88	229	23	8,43	61
	5,08	2	538	1000	7 381	105	4 429	63	217	23	4,28	31
2330 Acero al níquel (agua)	1,27	½	316	600	14 760	210	13 710	195	429	13	5,39	39
	1,27	½	538	1000	9 491	135	8 858	126	277	20	10,64	77
	1,27	½	704	1300	7 522	107	6 397	91	217	26	15,07	109
	10,16	4	538	1000	7 381	105	5 976	85	207	26	12,02	87
4140 Cr-Mo (aceite)	1,27	½	260	500	18 980	270	16 943	241	534	11	1,10(a)	8(a)
	1,27	½	427	800	14 760	210	13 710	195	429	15	2,90	21
	1,27	½	649	1200	9 140	130	8 085	115	277	21	11,47	83
	10,16	4	649	1200	7 874	112	5 835	83	229	23	12,02	87
4150 Cr-Mo (aceite)	1,27	½	427	800	16 029	228	15 110	215	444	10	1,66(a)	12(a)
	1,27	½	649	1200	11 178	159	9 913	141	331	16	7,32(a)	53(a)
5150 Cromo (aceite)	1,27	½	427	800	14 760	210	13 710	195	415	11	2,35(a)	17(a)
	1,27	½	538	1000	11 249	160	10 475	149	321	15	5,39	39
	1,27	½	649	1200	8 929	127	8 226	117	269	21	8,15	59
6152 Cr-V (aceite)	1,27	½	371	700	17 294	246	15 748	224	495	10	1,24(a)	9(a)
	1,27	½	538	1000	12 936	184	12 163	173	375	12	4,14	30
	1,27	½	649	1200	9 983	142	9 210	131	293	18	8,98	65
	5,08	2	649	1200	8 507	121	6 608	94	241	21	6,22(a)	45(a)
8630 Ni-Cr-Mo (agua)	1,27	½	427	800	13 006	185	12 233	174	375	14	8,01	58
	1,27	½	593	1100	9 632	137	8 788	125	285	20	13,13	95
	10,16	4	593	1100	6 749	96	5 062	72	197	25	14,37	104
8742 Ni-Cr-Mo (aceite)	2,54	1	371	700	15 888	226	14 271	203	455	11	1,93(a)	14(a)
	2,54	1	649	1200	9 140	130	7 734	110	262	21	9,26(a)	67(a)
	10,16	4	649	1200	8 296	118	6 397	91	235	22		
9261 Si-Mn (aceite)	1,27	½	427	800	18 208	259	16 029	228	514	10	1,66	12
	1,27	½	482	900	15 110	215	13 498	192	429	11	1,79	13
	1,27	½	649	1200	10 335	147	8 718	124	311	17	4,83(a)	35(a)
9840 Ni-Cr-Mo (aceite)	2,54	1	371	700	16 662	237	15 045	214	470	11	1,38(a)	14(a)
	2,54	1	649	1200	9 843	140	8 437	120	280	19	8,98(a)	65(a)
	15,24	6	538	1000	10 616	151	9 210	131	302	16		

## 15.14.- PROPIEDADES DE RESISTENCIA A LA FATIGA DE LOS METALES

La relación de fatiga  $s_n$ , disminuye cuando aumenta la dimensión de la sección, hasta un valor tan bajo como 0,35 para la dimensión de 152,40 mm (o bien 6 pulg) en acero fundido.

MATERIAL	ESTADO	PARA NÚM DE CICLOS		$\frac{s_n}{s_y}$ (d)	$s_y$		$\frac{s_r}{s_n}$
		kg/cm <sup>2</sup>	ksi		kg/cm <sup>2</sup>	ksi	
Hierro dulce . . . .	Longitudinal	1617	23	0,49	1968	28	1,22
Hierro dulce . . . .	Transversal	1335	19	0,55	1757(c)	25(c)	1,31
Hierro fundido . . . .	ASTM 30	843	12	0,38			
Hierro fundido . . . .	ASTM 30	1124 en 10 <sup>6</sup>	16 en 10 <sup>6</sup>				
Hierro fundido . . . .	ASTM 30	1476 en 10 <sup>6</sup>	21 en 10 <sup>6</sup>				
Acero fund., 0,18% C.	Fundic. simple, sin tratar	2214	31,5	0,45	2531	36	1,14
Acero fund., 0,18% C.	Fundido y recocido	2425	34,5	0,45	2601	37	1,07
Acero fund., 0,25% C.	Fundido y normalizado	2460	35	0,46	3163	45	1,29
Acero fund., 1330 (a).	Fundido, N&T 1200	3374	48	0,49	4288	61	1,27
Acero fund., 1330 (a).	Fundido, WQT (269 BHN)	4077	58	0,48	7451	106	1,83
Acero fundido, 4340	Fundido, WQT 1100	4499	64	0,40	10405	148	2,32
Acero fundido, 8630	Fundido, N&T 1200	3797	54	0,49	5976	85	1,57
Acero fundido, 8630	Fundido, WQT (286 BHN)	4570	65	0,47	8788	125	1,92
<b>Acero forjado 1015</b>							
1015 . . . . .	Estirado en frío (10% trabajo)	2812	40	0,57	4429	63	1,58
1020 . . . . .	Laminado simple	3163 en 10 <sup>6</sup>	45 en 10 <sup>6</sup>		3374	48	1,08
1020 . . . . .	Laminado simple	2812 en 10 <sup>6</sup>	40 en 10 <sup>6</sup>		3374	48	1,20
1020 . . . . .	Laminado simple	2320 en 10 <sup>6</sup>	33 en 10 <sup>6</sup>		3374	48	1,45
1035 . . . . .	Estirado en frío	3234(c)	46(c)	0,50	5484	78	1,69
1035 . . . . .	En aire	2854	40,6	0,46	4077	58	1,43
1035 . . . . .	En salmuera	1729	24,6		4077	58	2,36
1035 . . . . .	En azufre	745	10,6		4077	58	5,48
1040 . . . . .	Estirado en frío (trabajo 10%)	3797	54	0,54	5976	85	1,57
1040 . . . . .	Estirado en frío (trabajo 20%)	4148	59	0,5	6468	92	1,56
1117 . . . . .	Estirado en frío	2812(c)	40(c)	0,50(c)	4780	68	1,70
1141 . . . . .	Estirado en frío	3515	50	0,46	6237	90	1,8
13B45 . . . . .	OQT 1100	4780	68	0,54	7874	112	1,65
1144 . . . . .	Estirado a temperatura elevada (ETD)	5062	72	0,48	9843	140	1,95
2317 . . . . .	En aire	3656	52	0,61	3515	50	0,96
2317 . . . . .	En salmuera	2221	31,6		3515	50	1,55
2317 . . . . .	En azufre	1680	23,9		3515	50	2,09
2320 . . . . .	Barra laminada en caliente	3374	48	0,50	3586	51	1,06
2320 . . . . .	Cementado, endurecido superficial	6327	90	0,53	9843	140	1,56
3120 . . . . .	Cementado, endurecido superficial	6327	90	0,64	7030	100	1,11
4340 . . . . .	En 1000° F. o sea 538° C (OQT 1150)	2612	40				
6150 . . . . .	Tratado térmicamente	6749	96	0,46	13350	190	1,95
8630 . . . . .	Estirado en frío (20%)	4359	62	0,51	7522	107	1,73
94B40 . . . . .	OQT 1100	4921	70	0,51	8366	119	1,70
Nitralloy N . . . .	Nitrurado	8718	124	0,65	12655	180	1,45
Nitralloy 135, modif.	No nitrurado	3163	45				
Nitralloy 135, modif.	Nitrurado	6327	90	0,66	9843	140	1,56
Nitralloy 135, modif.	Entallado y no nitrurado	1687	24				
Nitralloy 135, modif.	Entallado y nitrurado	5624	80	0,59	9843	140	1,75
Acero inoxidable 316	Barra recocida	2671	38	0,37	2460	35	0,92
Acero inoxidable 403	Barra recocida	2812	40	0,57	2601	37	0,67
Acero inoxidable 403	Barra, tratamiento térmico para R <sub>B</sub> - 97	3866	55	0,50	5976	85	1,54

PROPIEDADES DE RESISTENCIA A LA FATIGA DE LOS METALES (Continuación)

Notas: (a) Acero al manganeso. (b) El número de ciclos es indefinidamente grande, a no ser que se especifique. (c) Por analogía (no es un valor obtenido por ensayo). (d) Depende del número de ciclos. (e) Molde permanente

MATERIAL	ESTADO	PARA NÚM. DE CICLOS		$\frac{s_n}{s_u}$ (d)	$s_y$		$\frac{s_y}{s_n}$
		kg/cm <sup>2</sup>	ksi		kg/cm <sup>2</sup>	ksi	
Acero inoxidable 410	Barras OQT para R <sub>2</sub> y F	4077	58	0,52	5976	85	1,47
Acero inoxidable 410	Barra de acero inoxidable 410	3023	43				
Acero inoxidable 410	OQT 12"	5273	75	0,54	7592	108	1,43
Acero inoxidable 430	Recocido en agua	3234	46	0,61	3515	50	1,09
Aluminio 2011	Forjado T5	1265 en 5 × 10 <sup>6</sup>	18 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,33	3023	43	2,39
Aluminio 2014	Forjado T6	1406 en 5 × 10 <sup>6</sup>	20 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,32	2952	42	2,10
Aluminio 2114	Forjado T6	1265 en 5 × 10 <sup>6</sup>	18 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,26	4218	60	3,33
Aluminio 2114	Forjado T6	2109 en 10 <sup>6</sup>	30 en 10 <sup>6</sup>	0,43	4218	60	2,00
Aluminio 2114	Forjado T6	351 en 5 × 10 <sup>6</sup>	5 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,45	597	8,5	1,70
Aluminio 2114	Tratado en agua H <sub>2</sub> O	1054 en 5 × 10 <sup>6</sup>	15 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,21	4218	60	4,00
Aluminio 5052	Tratado en agua H <sub>2</sub> O	1195 en 5 × 10 <sup>6</sup>	17 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,51	1968	28	1,65
Aluminio 5052	Tratado en agua H <sub>2</sub> O	1335 en 5 × 10 <sup>6</sup>	19 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,47	2460	35	1,84
Aluminio 6063	Forjado T5	703 en 5 × 10 <sup>6</sup>	10 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,37	1476	21	2,1
Aluminio 7079	Forjado T6	1617 en 5 × 10 <sup>6</sup>	23 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,30	4780	68	2,96
Aluminio, aleac. 142	Fundido en arena, T7	738 en 5 × 10 <sup>6</sup>	10,5 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,35	1617	23	2,19
Aluminio, aleac. 142	Fundido, T61(e)	667 en 5 × 10 <sup>6</sup>	9,5 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,20	2952	42	4,42
Bronce de alum (10)	Extruido, tratam término	2390 en 7 × 10 <sup>7</sup>	34 en 7 × 10 <sup>7</sup>	0,44	3515(c)	50(c)	1,47
Bronce de alum (10)	Fund en arena, recocido	1968 en 8 × 10 <sup>7</sup>	28 en 8 × 10 <sup>7</sup>	0,34	2812	40	1,43
Latón cartuch. (70-30)	Alambre de resorte de 2 mm (0,08 pulg)	1546 en 10 <sup>6</sup>	22 en 10 <sup>6</sup>	0,17	4570(c)	65(c)	2,96
Latón cartuch. (70-30)	Dureza media, barra de 25,4 mm (1 pulg)	1546 en 5 × 10 <sup>7</sup>	25 en 5 × 10 <sup>7</sup>	0,31	3656	52	2,36
Latón de fácil mecan	Dureza media, barra 50,8 mm (2 pulg), SAE 72	984 en 3 × 10 <sup>8</sup>	14 en 3 × 10 <sup>8</sup>	0,25	3093	44	3,14
Bronce comercial	Alambre duro de 2 mm (0,08 pulg)	1617 en 10 <sup>6</sup>	23 en 10 <sup>6</sup>	0,31	4218(c)	60(c)	2,61
Bronce de estaño y plomo	Fundido en arena, aleación 2A (Navy M)	773 en 10 <sup>6</sup>	11 en 10 <sup>6</sup>	0,29	1265	18	1,64
Latón pobre (80-20)	Dureza de resorte, cinta 1 mm (0,04 pulg)	1687 en 2 × 10 <sup>7</sup>	24 en 2 × 10 <sup>7</sup>	0,26	4570	65	2,70
Latón pobre (80-20)	Alambre de resorte de 2 mm (0,08 pulg)	1828 en 10 <sup>6</sup>	26 en 10 <sup>6</sup>	0,21	6187(c)	88(c)	3,38
Bronce al manganeso	Fund. en arena, aleac 8A	1490 en 10 <sup>6</sup>	21,2 en 10 <sup>6</sup>	0,30	1968	28	1,32
Bronce al manganeso	Fund. en arena, aleac 8C	1757 en 10 <sup>6</sup>	25 en 10 <sup>6</sup>	0,24	4921	70	2,8
Bronce de silic., tipo A	Barra dureza media	2109 en 3 × 10 <sup>8</sup>	30 en 3 × 10 <sup>8</sup>	0,39	3163	45	1,50
Bronce de silic., tipo B	Laminado en caliente	1335 en 5 × 10 <sup>7</sup>	19 en 5 × 10 <sup>7</sup>				
Bronce de silic., tipo B	Extruido	1406 en 5 × 10 <sup>7</sup>	20 en 5 × 10 <sup>7</sup>	0,29	3867(c)	55(c)	2,75
Bronce de silic., tipo B	Estirado frío, reduc. 72%	2109 en 3 × 10 <sup>8</sup>	30 en 3 × 10 <sup>8</sup>	0,32	4851(c)	69(c)	2,30
Bronce de silic., tipo B	Alambre duro de 2 mm (0,08 pulg)	1757 en 10 <sup>6</sup>	25 en 10 <sup>6</sup>	0,28	4710	67	2,68
Magnesio (AZ63A)	Fundido, T5	773 en 5 × 10 <sup>6</sup>	11 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,38	1054	15	1,36
Magnesio (AZ31B)	Barra extruida	1054 en 5 × 10 <sup>6</sup>	15 en 5 × 10 <sup>6</sup>	0,41	1546	22	1,47
Inconel (Ni-Cr)	Estirado en frío	2812 en 10 <sup>6</sup>	40 en 10 <sup>6</sup>	0,38	5624	80	2,00
Inconel	Forjado simple o laminado en caliente	2671 en 10 <sup>6</sup>	38 en 10 <sup>6</sup>	0,42	2460	35	0,92
Monel (67 Ni, 30 Cu)	Barra recocida	2179 en 10 <sup>6</sup>	31 en 10 <sup>6</sup>	0,41	2109	30	0,97
Monel	Barra estirada en frío	2952 en 10 <sup>6</sup>	42 en 10 <sup>6</sup>	0,42	5273	75	1,78
Monel	Recocido En agua salobre	1476 en 10 <sup>6</sup>	21 en 10 <sup>6</sup>	0,28	2109	30	1,43
K Monel (3 Al)	Estirado en frío, endurecido por envejecimiento	3163 en 10 <sup>6</sup>	45 en 10 <sup>6</sup>	0,30	7734	110	2,44
Titanio (5 Al, 2,5 Sn)	Conformado, acabado esmerlado	4218	60	0,5	7734	110	1,83

## 15.15.- PROPIEDADES TÍPICAS DE ACEROS CEMENTADOS

La cementación se efectúa a unos 927° C (1700° F). Una temperatura de revenido de 150° C (300° F) produce el máximo endurecimiento de superficie; a 232° C (450° F) se obtiene mejor resistencia al impacto.

Notas: (a) Tamaño nominal de la muestra, 25,4 mm (1 pulgada). (b) Muestra de 12,7 mm (1/2 pulgada). (c) Muestra de 50,8 mm (2 pulgadas). (d) Muestra de 101,60 mm (4 pulgadas). (e) Abreviaturas: «SOQT 450», temple simple en aceite y revenido a 450° F (232° C); «DWQT 300», doble temple en agua y revenido a 300° F (149° C); Q, temple; P 300, recocido en caja a 300° F (149° C). (f) Del orden de los otros grados de dureza indicados. (g) El espesor de la capa endurecida depende de la temperatura y del tiempo de cementación; por ejemplo, a 927° C (1700° F) durante 4 horas, el espesor de la capa endurecida será del orden de 1,27 mm (o bien 0,05 pulgada); a 927° C (1700° F) durante 8 horas, aproximadamente 1,52 mm (0,06 pulg). Como se deduce de los valores dados, éstos no constituyen reglas estrictas.

NÚM. AISI	ESTADO (e)	PROPIEDADES DEL NÚCLEO						CAPA ENDURECIDA					
		Máxima resistencia $s_u$		Punto de fluencia en tracción $s_y$		% Alarg. en 5,08 cm (2")	Reducción de área %	NDB (BHN)	Izod		Dureza Rock. Rc	Espesor (8 horas)	
		kg/cm <sup>2</sup>	ksi	kg/cm <sup>2</sup>	ksi				kgm	pie/lb		mm	pulg
C1015(b)	SWQT 350	5 132	73	3 234	46	32	71	149	12,5	91	C62	1,219	0,048
C1020(a)	DWQT 300	5 976	85	3 867	55	33	65	170			(f)	(g)	(g)
C1020(a)	SWQT 300	5 624	80	3 515	50	30	60	160			(f)	(g)	(g)
C1117(b)	SWQT 350	6 749	96	4 148	59	23	53	192	4,5	33	C65	1,143	0,045
2115(a)	DO (o W)QT 300	6 327	90	4 218	60	30	70	185	9,6	70	(f)	(g)	(g)
2317(a)	DOQT 300	6 679	95	4 218	60	35	65	195	11,7	85	(f)	(g)	(g)
2317(a)	DWQT 300	7 030	100	4 570	65	30	60	210	9,6	70	(f)	(g)	(g)
2515(a)	DOQT 300	11 952	170	9 140	130	14	50	352	5,5	40	(f)	(g)	(g)
3115(a)	DOQT 300	7 030	100	4 921	70	25	55	212	7,6	55	(f)	(g)	(g)
3215(a)	SOQT 300	9 913	141	7 734	110	17	50		6,2	45	(f)	(g)	(g)
E3310(b)	SOQT 450	12 655	180	10 475	149	14,5	58	363	7,8	57	C57,5	1,193	0,047
E3310(b)	DOQT 300	12 444	177	10 054	143	15,3	58	352	6,5	47	C61	1,193	0,047
3415(a)	SOQT 300	9 140	130	6 679	95	18	52	285	7,6	55	(f)	(g)	(g)
3415(a)	DOQT 300	9 491	135	7 381	105	19	55	300	8,3	60	(f)	(g)	(g)
4320(b)	OQ directo desde P 300	15 252	217	11 178	159	13	50	429	4,4	32	C60,5	1 524	0,060
4320(b)	DOQT 450	10 194	145	6 609	94	21,8	56	293	6,6	48	C59	1,905	0,075
4620(b)	DOQT 300	8 577	122	5 413	77	22	56	248	8,8	64	C62	1,524	0,060
4620(b)	DOQT 450	8 085	115	5 413	77	22,5	62	235	10,7	78	C59	1,524	0,060
4820(b)	SOQT 300	14 552	207	11 741	167	13,8	52	415	6,1	44	C61	1,193	0,047
4820(b)	SOQT 450	14 410	205	12 936	184	13	53	415	6,5	47	C57,5	1,193	0,047
8620(b)	SOQT 300	13 217	188	10 475	149	11,5	51	388	3,6	26	C64	1 905	0,075
8620(b)	SOQT 450	11 741	167	8 437	120	14,3	53	341	4,0	29	C61	1,930	0,076
8620(b)	DOQT 300	9 351	133	5 835	83	20	56	269	7,6	55	C64	1,778	0,070
E9310(b)	OQ directo desde P 300	12 584	179	10 124	144	15,3	59	375	7,8	57	C59,5	0,990	0,039
E9310(b)	SOQT 300	12 163	173	9,491	135	15,5	60	363	8,4	61	C62	1,193	0,047
E9310(b)	DOQT 300	12 233	174	9 772	139	15,3	62	363	7,4	54	C60,5	1,397	0,055
E9310(a)	SOQT 300	11 178	159	8 577	122	15,5	57	321	9,4	68	(f)	(g)	(g)
E9310(c)	SOQT 300	10 194	145	7 592	108	18,5	66	293	12,8	93	(f)	(g)	(g)
E9310(d)	SOQT 300	9 561	136	6 609	94	19	62	277	12,8	93	(f)	(g)	(g)

## 15.16.- PROPIEDADES TÍPICAS DE ALGUNOS METALES NO FERROSOS

Para *aleaciones de aluminio* se emplea el coeficiente Poisson  $\mu = 0,33$ ; resistencia máxima a la torsión =  $0,65S_u$ ; resistencia de fluencia a la torsión =  $0,55S_y$ . En los perfiles obtenidos por extrusión, de más de 19 mm (3/4 pulg),  $S_u$  será aproximadamente un 15% mayor.

Para *aleaciones de magnesio* se toma la resistencia a la flexión (en secciones simétricas) como valor medio de las resistencias a la tracción y a la compresión. Véase nota (k). Se emplea  $\mu = 0,35$ .

*Abreviaturas:* H, duro; 1/4 H, 1/4 duro; H14, designación de revenido que significa 1/2 duro; HT, con tratamiento térmico; T4, designación de revenido que significa tratamiento térmico en la solución.

Notas: (a) Para 0,5% de alargamiento total bajo carga. -- (b) Reducción en frío de 11%. (c) Para deformación permanente de 0,2 %. (d) NDB o (bien BHN) (número de dureza Brinell). -- (e) NDB (o bien BHN) con carga de 500 kg. (f) Mínimo. (g) -- Plano de espesor uniforme de 1,016 mm, o sea 0,04 pulgadas. -- (h) Resistencia a la fatiga en torsión invertida,  $1757 \text{ kg/cm}^2 = 25 \text{ ksi}$ . (i)  $a$  en  $\text{cm/cm } ^\circ\text{C}$  (o bien  $\text{pulg/pulg } ^\circ\text{F}$ ), coeficiente de dilatación térmica; temperatura ambiente. (j) Varía con el tamaño de la probeta de ensayo. (k) Punto de fluencia en compresión; aleación AZ91C-T6,  $1335 \text{ kg/cm}^2 = 19 \text{ ksi}$ ; AZ61A-F,  $1335 \text{ kg/cm}^2 = 19 \text{ ksi}$ ; AZ80A-T5,  $1968 \text{ kg/cm}^2 = 28 \text{ ksi}$ . (l) Fundición en coquilla. (m) En compresión para deformación, 0,125% (n) A  $650^\circ\text{C}$  ( $1200^\circ\text{F}$ ), después temple en agua y envejecimiento. (o) Calculada. (p) Usada para perfiles estructurales laminados. (q) Para bronce al manganeso de engranajes, utilizar  $S_n = 1195 \text{ kg/cm}^2 = 17 \text{ ksi}$ . (r) Para bronce fosforoso para engranajes, SAE 65, usar  $S_n = 1687 \text{ kg/cm}^2 = 24 \text{ ksi}$ . (s) Temperatura normal; (t) Chapa. (u) Aproximadamente  $1,23 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  ( $17,5 \times 10^6 \text{ psi}$ ) en compresión. (v) Templado en agua y envejecido a  $525^\circ\text{C}$  ( $975^\circ\text{F}$ ). (w)  $S_{uc} = 6116 \text{ kg/cm}^2 = 87 \text{ ksi}$ , Charpy = 6,6 kgm (48 pie lb). (x) Después de un año. -- (y) Platino puro. (z) Fundiciones inyectadas a presión en molde metálico.

PROPIEDADES TÍPICAS DE ALGUNOS METALES NO FERROSOS (Continuación)

MATERIAL (N.º especificación ASTM)	CONDICIÓN (estado)	RESISTENCIA MÁXIMA		LÍMITE DE FLUENCIA		RESISTENCIA A LA FATIGA		MÓDULO DE ELASTIC. TRANSV. $\times 10^{-4}$ kg/cm <sup>2</sup>	MÓDULO DE ELASTIC. LONGITUDINAL $\times 10^{-4}$ kg/cm <sup>2</sup>	ALARGAMIENTO EN 50 mm (2 pulg) (%)	DUREZA ROCKWELL	DENSIDAD		PORCENTAJES DE ELEMENTOS
		$f_u$ kg/cm <sup>2</sup>	$f_{ms}$ kg/cm <sup>2</sup>	$f_y$ kg/cm <sup>2</sup>	$f_{ms}$ kg/cm <sup>2</sup>	$f_n$ kg/cm <sup>2</sup>	$N$ ciclos a que corresponden estos valores de $f_n$					kg/cm <sup>3</sup>	$\alpha \times 10^6$ (°)	
<b>ALEACIONES DE COBRE</b>														
Latón del Almirante (B111)	Recocido	3 726		1 546(e)		1265	10 <sup>7</sup>	1,054	0,407	65	F75	8,53	20,2	71 Cu, 28 Zn, 1 Sn
Bronce de aluminio (B150-2)	Varilla extruida (b)	8 430		4 921(e)		2249	3 $\times 10^7$	1,124	0,457	12	B100	7,59	16,2	81,5 Cu, 9,5 Al, 5 Ni, 2,5 Fe, 1 Mn
Bronce de aluminio (B150-1)	Recocido a 427°C	7 030				1968	8 $\times 10^7$	1,054	0,457	25	B90	7,59	16,5	91 Cu, 9 Al
Cobre al berilio (B194)	HT	12 303		9 140		2460	10 <sup>7</sup> (h)	1,335	0,513	5	C37	8,22	16,7	1,9 Be, 0,2 Ni o Co
Latón de cartuchería (B134-6)	1/2H, varilla	4 921	2952	3 656(e)		1546	5 $\times 10^7$	1,124	0,421	30	B80	8,80	20,00	70 Cu, 30 Zn
Bronce comercial (134-2)	Flexible H(g)	5 062	2952	4 359(e)		1476	15 $\times 10^7$	1,195	0,450	3	B78	8,80	18,3	58 Cu, 39 Zn, más
Latón de fácil mecanización (B16)	Barra 50 mm	3 867	2249	3 093(a)		1406	10 <sup>7</sup>	0,984	0,372	32	B75	8,49	20,5	60 Cu, 39,25 Zn, 0,75 Sn
Bronce al manganeso (B136-A)	1/2H, barra	5 273	3374	4 570(e)		2109	10 <sup>7</sup> (g)(k)	1,124	0,421	25	B80	8,36	21,2	61,5 Cu, 35,5 Zn, 3 Pb
Latón naval (B124-3)	1/4H, barra	4 921	3023	3 374(a)		1335	3 $\times 10^7$ (b)	1,054	0,393	25	B80	8,42	21,2	58 Cu, 39 Zn, más
Plata-níquel B	H(g)	7 030		5 976(e)		2179	10 <sup>7</sup> (f)	1,265	0,421	3	B91	8,69	16,7	60 Cu, 39,25 Zn, 0,75 Sn
Bronce fosforoso (B130-C)	1/2H, barra	5 624		4 570(e)		1757	10 <sup>7</sup> (r)	1,124	0,421	33	B85	8,80	18,2	55 Cu, 27 Zn, 18 Ni
Bronce al selenio (B98-B)	H, varilla 25 mm	4 570	3163	2 460(e)		773	10 <sup>7</sup> (z)	1,195	0,450	10	B80	8,75	17,8	92 Cu, 1,5 Si, más
Latón amarillo (B36-8)	1/8H, var. 25 mm	3 867	2531	2 812(e)				1,054	0,393	48	B55	8,48	20,3	97,7 Cu, 1,5 Si, más
Latón amarillo (B36-8)	1/2H (g)	4 288	2812	3 515(e)				1,054	0,393	23	B70	8,48	20,3	65 Cu, 35 Zn
<b>ALEACIONES DE ALUMINIO</b>														
3003-H14 (M1A)	Estirado duro	1 546	984	1 476(c)		632	5 $\times 10^7$	0,703	0,270	16	40(e)	2,74	23,2	1,0 Mn, otros
2014-T6 (CS41A)	HT, envejecido	4 921	2952	4 218(c)		1265	5 $\times 10^7$	0,745	0,281	13	135(e)	2,80	23,0	3,9 Cu, 0,5 Si, 0,4 Mn, 0,2 Mg
2024-T4 (CG42A)	HT, envejecido	4 780	2882	3 304(c)(p)		1406	5 $\times 10^7$	0,745	0,281	20	120(e)	2,71	23,4	3,8 Cu, 1,2 Mg, 0,3 Mn
6061-T6 (P) (GS11A)	HT, envejecido	3 163	2109	2 812(c)		984	5 $\times 10^7$	0,703	0,263	17	95(e)	2,77	22,8	0,15 Cu, 0,8 Mg, 0,4 Si
7075-T6 (ZG62A)	HT, envejecido	5 765	3374	5 062(c)		1617	5 $\times 10^7$	0,731	0,274	10	150(e)	2,80	23,2	5,1 Zn, 2,1 Mg, 1,2 Cu
355-T6	Fund. a presión en molde metálico	2 812	1898	1 687(c)		1195	5 $\times 10^7$	0,724	0,270	1,8	70(e)	2,63	21,1	9 Si, 0,4 Mg
	Fundido en arena	2 460	1968	1 757		632	5 $\times 10^7$	0,724	0,270	3	80(e)	2,71	21,1	1 Cu, 4,5 Si, 0,4 Mg
<b>ALICACIONES DE MAGNESIO</b>														
AZ61A-F	Barra extruida	3 163	1406	2 320		1195	5 $\times 10^7$	0,457	0,168	16	E72	1,80	25,9	6 Al, 1 Z, 0,2 Mn
AZ80A-T5	Forj., envejecido	3 515	1617	2 531		1125	5 $\times 10^7$	0,457	0,168	6	E82	1,80	25,9	8,5 Al, 0,5 Zn, 0,15 Mn
AZ91C-T6	Fundido en arena	2 812		1 335		984	5 $\times 10^7$ (z)	0,457	0,168	5	E77	1,82	25,9	9 Al, 0,7 Zn, 0,2 Mn
<b>ALEACIONES DE PLOMO Y ESTARNO (antirradiación)</b>														
Pbabbil (B23-46T-9)	A 20° C (l)	703	$f_{pr} = 239$ (m)			274	2 $\times 10^7$	0,295		5	20(e)	9,97	23,9	80 Pb, 15 Sb, 5 Sn
Pbabbil (B23-46T-8)	A 100° C (l)	380	$f_{pr} = 119$ (m)			267	2 $\times 10^7$	0,513		27	10(e)	9,97	23,9	80 Pb, 15 Sb, 5 Sn
Pbabbil de estano (B23-49-1)	A 20° C (l)	654	$f_{pr} = 309$ (m)			267	2 $\times 10^7$			2	17(e)	7,35		91 Sn, 4,5 Sb, 4,5 Cu
<b>DIVERSAS</b>														
Hastelloy B	Fundido en arena	6 327		3 515(c)		4640	10 <sup>7</sup> (n)	1,863		10	B93	9,25	10,0	62 Ni, 28 Mo, 5 Fe
Monel K	Estir. en frío, env.	9 483		7 030(c)		2952		1,828		20	C30	8,48	14,0	66 Ni, 29 Cu, 3 Al
Aleación de platino	Recocido	3 163								35	90(e)	20,0	9,0(f)	10 Rodio
Titanio (B265, g 5) (t)	Recocido (s)	9 386		9 140(c)		2952(f)	10 <sup>7</sup>	1,054		12		4,43	10,4	{ 6 Al, 4 V
Titanio (B265, g 5) (t)	Endurecido (s)(v)	11 952		11 108(c)		4284(f)		1,054		7		4,43	10,4	{ Servicio aeron. temp. elevada
Zinc (AC41A)	Fund. a presión en molde metálico (w)	3 346	2671			54				7	91(e)	6,65	27,4	4 Al, 1 Cu, 0,04 Mg



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

- 1.- ENSAYE E INSPECCION DE LOS MATERIALES DE INGENIERIA  
H.E. DAVIS, G.E. TROXELL, C.T. WISKOCIL  
C.E.C.S.A.
- 2.- INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA  
SYDNEY H. AVNER  
MC. GRAW-HILL
- 3.- DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS  
VIRGIL M. FAIRES  
MONTANER & SIMON, S.A.
- 4.- METALS HANDBOOK - VOL. 1 - PROPERTIES AND SELECTION  
AMERICAN SOCIETY FOR METALS
- 5.- METALS PROGRESS - MATERIALS & PROCESSING  
DATABOOK<sup>1</sup> 81  
AMERICAN SOCIETY FOR METALS
- 6.- METALURGIA APLICADA  
MALCOLM S. BURTON  
AGUILAR
- 7.- PROCESOS DE FABRICACION  
MYRON L. BEGEMAN  
C.E.C.S.A
- 8.- FOLLETOS DE MAQUINAS PARA ENSAYOS  
TINIUS OLSEN
- 9.- HANDBOOK No. 29, 30, 31  
AMERICAN SOCIETY FOR TESTING OF MATERIALS

