

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

TM
Z5853
.M2
FIME
1982
F8
Ej.2

NOM

RAL D

TM

25853

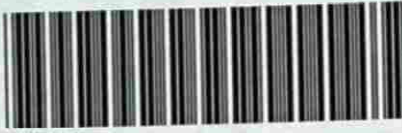
.M2

FINE

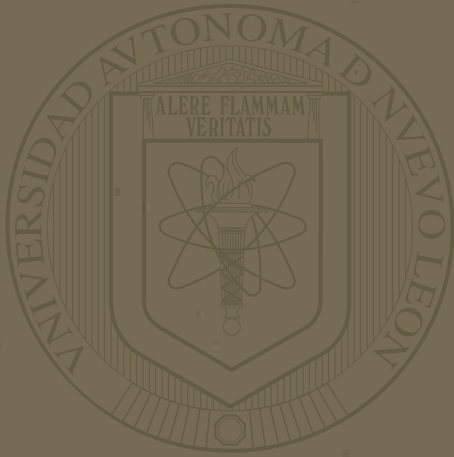
1982

F8

Ej.2



1020070566



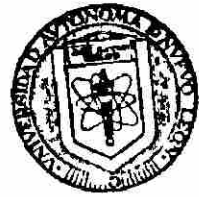
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

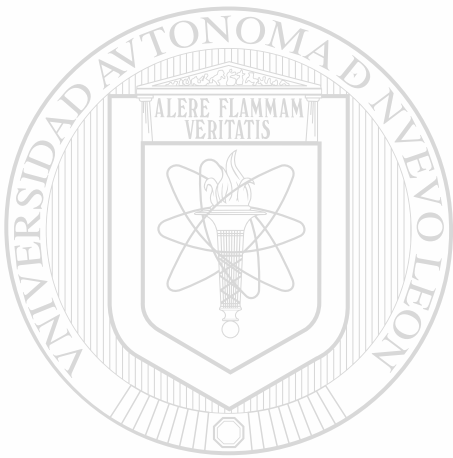
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

3
2



DIRECCION GENERAL DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO



UANL

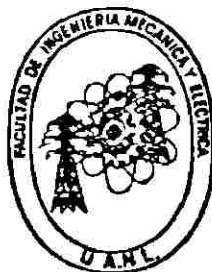
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

®

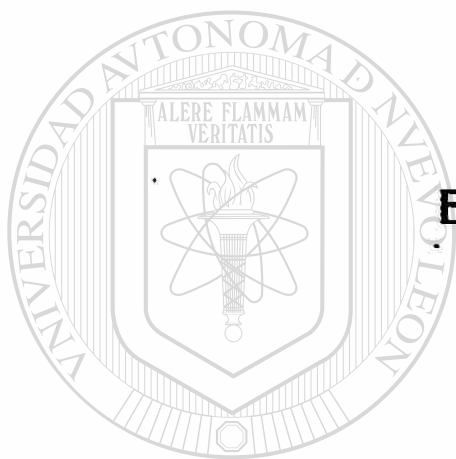
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA



**DIRECCION GENERAL DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**ENSAYOS MECANICOS
EN METALES**

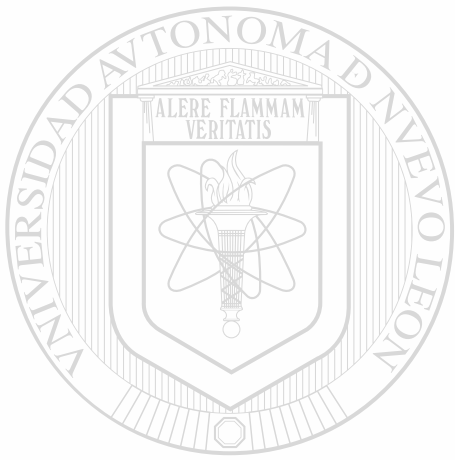
TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERIA MECANICA
PRESENTA**

FELIPE FUENTES ESPINOZA

MONTERREY, N. L.

MARZO DE 1982



UANL

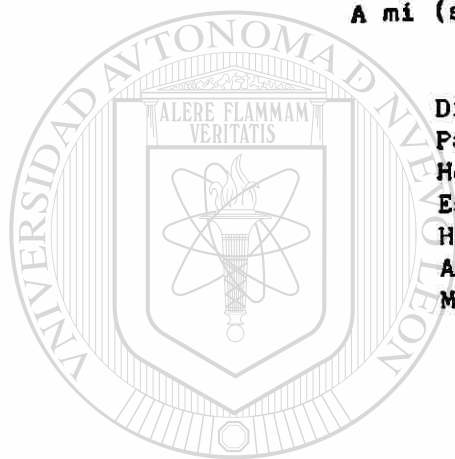
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



162081

A mi (s)



Dios

Padres: Pablo + y Ma. del Socorro

Hermanos: Antonio, Martha Alicia y Rosa Elena

Esposa: Ma. Leticia Góngora Martínez

Hijos: Felipe y Pablo Eduardo

Amigo: José Estrada Rodríguez

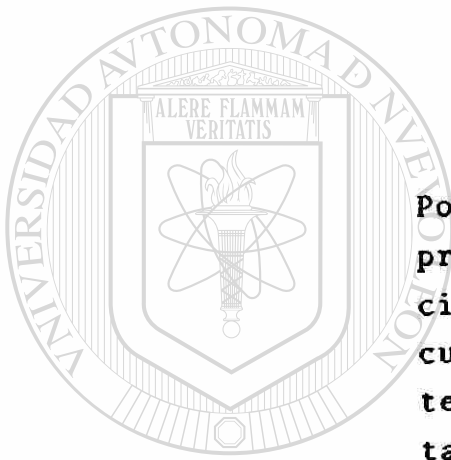
Maestros:

**Porque han contribuido en gran parte
a mi formación y actual realización.**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



**DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
ING. FELIPE FUENTES ESPINOSA.**



A los estudiantes de F.I.M.
con admiración y respeto.

Por ser hombres y mujeres, com
prometidos con su ideal, con--
cientes de su potencial y fa--
cultades naturales. Que asis--
ten día con día a esta Facul--
tad, buscándo su realización -
profesional.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Ing. F. Fuentes E.



PRUEBAS MECANICAS EN METALES

CONTENIDO

I.- METALES

1.1.- ESTRUCTURA DE LOS METALES	1
1.2.- FORMACION DE GRANO	2
1.3.- SOLIDIFICACION EN METALES Y ALEACIONES	3
1.4.- PROPIEDADES DE LOS METALES	5

II.- PRINCIPIOS DE ENSAYOS

2.1.- ENSAYE DE MATERIALES	7
2.2.- SIGNIFICADO DE LOS ENSAYOS	8
2.3.- DISEÑO DE ENSAYOS	8
2.4.- AGENCIAS ESTANDARIZADORAS	9

III.- MEDICION DE LA CARGA, EL LARGO Y LA DEFORMACION

3.1.- INTRODUCCION	11
3.2.- PIVOTES	11
3.3.- MEDICIONES DE CARGA	12
3.4.- MAQUINAS DE ENSAYE	14
3.5.- MAQUINAS DE ENGRANE Y TORNILLO	15
3.6.- MAQUINAS HIDRAULICAS	16
3.7.- AJUSTE DE LA VELOCIDAD	18
3.8.- PARTES DE LA MAQUINA UNIVERSAL	19
3.9.- CALIBRACION DE MAQUINAS DE ENSAYE	22
3.10- MEDICION DE LA LONGITUD	25
3.11- MICROMETROS	27
3.12- MEDICION DEL CAMBIO DE LONGITUD: DEFORMIMETROS MECANICOS	31
3.13- REGISTRADORAS DE ESFUERZOS-DEFORMACIONES	31
3.14- DEFORMIMETROS DE LECTURA A DISTANCIA	32
3.15- LA RELACION DE CAMBIO ENTRE: DEFORMACION Y RESISTENCIA	32
3.16- CALIBRADORES INTEGRALES DE ALAMBRE DE RESISTENCIA	33

IV.- ESTANDARES DE PRUEBA

4.1.- ESTANDARES DE PRUEBA	35
----------------------------	----

V.- ENSAYO ESTATICO DE TENSION

5.1.- INTRODUCCION	36
5.2.- PROBETAS DE TENSION	36
5.3.- PROBETAS ESTANDAR	37
5.4.- DISPOSITIVOS DE MONTAJE	39
5.5.- REALIZACION DE ENSAYOS	41

5.6.- OBSERVACIONES DE ENSAYO	43
5.7.- ESFUERZO-DEFORMACION VERDADEROS	49
5.8.- RECUPERACION	49
5.9.- EFECTOS DE LAS VARIABLES IMPORTANTES	50
5.10- VELOCIDAD DE APLICACION DE CARGA	51
5.11- FORMATOS	51
VI.- ENSAYO ESTATICO DE COMPRESION	
6.1.- INTRODUCCION	58
6.2.- REQUERIMIENTOS PARA PROBETAS DE COMPRESION	58
6.3.- PROBETAS ESTANDARES	59
6.4.- CAMAS Y BLOQUES DE APOYO	59
6.5.- REALIZACION DE LOS ENSAYOS	60
6.6.- OBSERVACIONES DE ENSAYO	61
6.7.- REPORTE	62
VII.- ENSAYO DE CORTE	
7.1.- OBJETIVO Y APLICABILIDAD DEL ENSAYO DE CORTE	64
7.2.- EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO	64
VIII.- ENSAYO DE TORSION	
8.1.- ENSAYO DE TORSION	66
8.2.- OBSERVACIONES DE ENSAYO	67
IX.- ENSAYO DE FLEXION	
9.1.- COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES SOMETIDOS A FLEXION	72
9.2.- PROBETAS PARA ENSAYOS DE FLEXION	72
9.3.- APARATOS PARA ENSAYOS DE FLEXION	72
9.4.- REALIZACION DE LOS ENSAYOS DE FLEXION DE LAS VIGAS	74
9.5.- OBSERVACIONES DEL ENSAYO	74
9.6.- PRESENTACION DE DATOS	74
X.- ENSAYO DE DOBLADO	
10.1- DOBLADO EN METALES	77
10.2- FORMATO	78
XI.- ENSAYOS DE DUREZA	
11.1- INTRODUCCION	80
11.2- DUREZA ELASTICA	80
11.3- RESISTENCIA AL CORTE O ABRASION	81
11.4- RESISTENCIA A LA IDENTACION	83
a) PRUEBA O ENSAYO DE DUREZA BRINELL	84
b) PRUEBA O ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL	90
c) PRUEBA O ENSAYO DE DUREZA VICKERS	95
d) PRUEBA O ENSAYO DE MICRODUREZA	98
11.5- EXACTITUD DE CUALQUIER PRUEBA O ENSAYO DE DUREZA DE IDENTACION	98
11.6- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PRUEBAS	101

11.7.-	FORMATO	102
XII.- ENSAYO DE IMPACTO		
12.1.-	INTRODUCCION	108
12.2.-	EL ENSAYO DE CHARPY PARA METALES	109
12.3.-	ENSAYO DE IMPACTO EN TENSION	110
12.4.-	ENSAYO DE CHARPY A BAJAS TEMPERATURAS	111
12.5.-	ENSAYO DE IZOD	111
12.6.-	MAQUINAS DE IMPACTO	111
12.7.-	FORMATO	113
XIII.- ENSAYOS DE FATIGA		
13.1.-	INTRODUCCION	119
13.2.-	MAQUINAS PARA ENSAYOS A LA FATIGA DE LOS MATERIALES	120
13.3.-	PROCEDIMIENTO GENERAL	122
13.4.-	DESARROLLO DE LAS ROTURAS POR FATIGA	126
13.5.-	FORMATO	128
XIV.- ENSAYO DE DUCTILIDAD		
14.1.-	INTRODUCCION	130
14.2.-	MAQUINA DE DUCTILIDAD	130
14.3.-	PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	130
14.4.-	TIPOS DE ENSAYO	130
	a) ENSAYO OLSEN-ERICHSEN	130
	b) ENSAYO DE COPA PROFUNDA	132
	c) ENSAYO DE COPA CONICA FUKUI	134
	d) PRUEBA DEL AGUJERO EXPANDIDO	134
14.5.-	FORMATO	134
A P E N D I C E		
<hr/>		
XV.- TABLAS DE CARACTERISTICAS GENERALES		136
15.1.-	ESPECIFICACION AISI-SAE PARA ACEROS	136
15.2.-	FACTORES DE CONVERSION	138
15.3.-	EQUIVALENCIAS DE DUREZA	139
15.4.-	PROPIEDADES DEL ACERO AL CARBON Y ALEADOS	142
	PARTE I.- ROLADOS EN CALIENTE, NORMALIZADOS Y	
	RECOCIDOS	142
	PARTE II.- TEMPLADOS Y REVENIDOS	143
15.5.-	PROPIEDADES TIPICAS DE ALGUNOS ACEROS INOXIDABLES	145
15.6.-	PROPIEDADES TIPICAS DE LOS MATERIALES FERROSOS FUNDIDOS	146
15.7.-	GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 1040	149
15.8.-	GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 3140	150
15.9.-	GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 4340	151
15.10-	RELACION DUREZA Vs. ESFUERZO	152
15.11-	PROPIEDADES TIPICAS DE METALES FERROSOS FORJADOS (DULCES)	153
15.12-	PROPIEDADES TIPICAS DE ACEROS EN DIVERSOS TAMAÑOS	155
15.13-	PROPIEDADES TIPICAS DE ACEROS TRATADOS TERMICAMENTE	156
15.14-	PROPIEDAD DE RESISTENCIA A LA FATIGA DE LOS METALES	157
15.15-	PROPIEDADES TIPICAS DE ACEROS CEMENTADOS	159
15.16-	PROPIEDADES TIPICAS DE ALGUNOS METALES NO FERROSOS	160

INTRODUCCION.- El uso extensivo de los estudios experimentales preliminares al diseño y construcción de nuevos elementos mecánicos o estructurales y el uso de procedimientos de ensaye para control de procesos establecidos de manufactura y construcción, son hechos significantes y bien reconocidos de nuestro desarrollo técnico. Prácticamente todas las ramas de la ingeniería, especialmente aquellas que tratan con estructuras y máquinas, conciernen íntimamente a los materiales, cuyas propiedades deben ser determinadas con ensayos. La producción masiva satisfactoria depende de la inspección y control de la calidad de los productos manufacturados, lo que implica un sistema de muestreo y ensaye.

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

Los siguientes temas como: *Estructura de los materiales, Técnica de ensaye, Principios físicos y mecánicos involucrados en el aparato y procedimiento de ensaye, Teoría de las mediciones, Interpretación de los resultados*, son básicos para el estudio del ensaye de materiales.

Conjuntamente con el avance de nuestro desarrollo tecnológico han surgido notables mejoramientos en los tipos más antiguos de materiales, muchos descubrimientos de otros nuevos, y una variedad de nuevos usos para todos éstos. Ellos han extendido el alcance del ensaye de materiales y han complicado su práctica. Sin embargo, los principios fundamentales involucrados en la realización de ensayos válidos y confiables son comunes a todos los ensayos y constituye el propósito de este libro tratar estos principios por medio de la explicación de los métodos de ensaye ordinarios de los metales.

1.- METALES

1.1.- ESTRUCTURA DE LOS METALES

Aunque los metales pueden existir como vapor, líquido o sólido, por lo general son usados en su forma sólida. Puesto que todas las sustancias están compuestas por átomos cada cual con sus características particulares, - los mismos átomos existen, sea que el metal esté en su forma gaseosa, líquida o sólida.

Todos los metales sólidos y muchos otros materiales son de naturaleza *crystalina*, y los átomos se alinean a sí mismos en un modelo geométrico ya solidificado. Este modelo de átomos forma la *mall*a en el espacio del material. Las celdas unitarias de varias formas de mallas en el espacio aparecen en la Fig. 1.1. Afortunadamente, es factible hacer el análisis de un material por medio de rayos X, determinando el tipo de su malla así como la distancia entre los átomos.

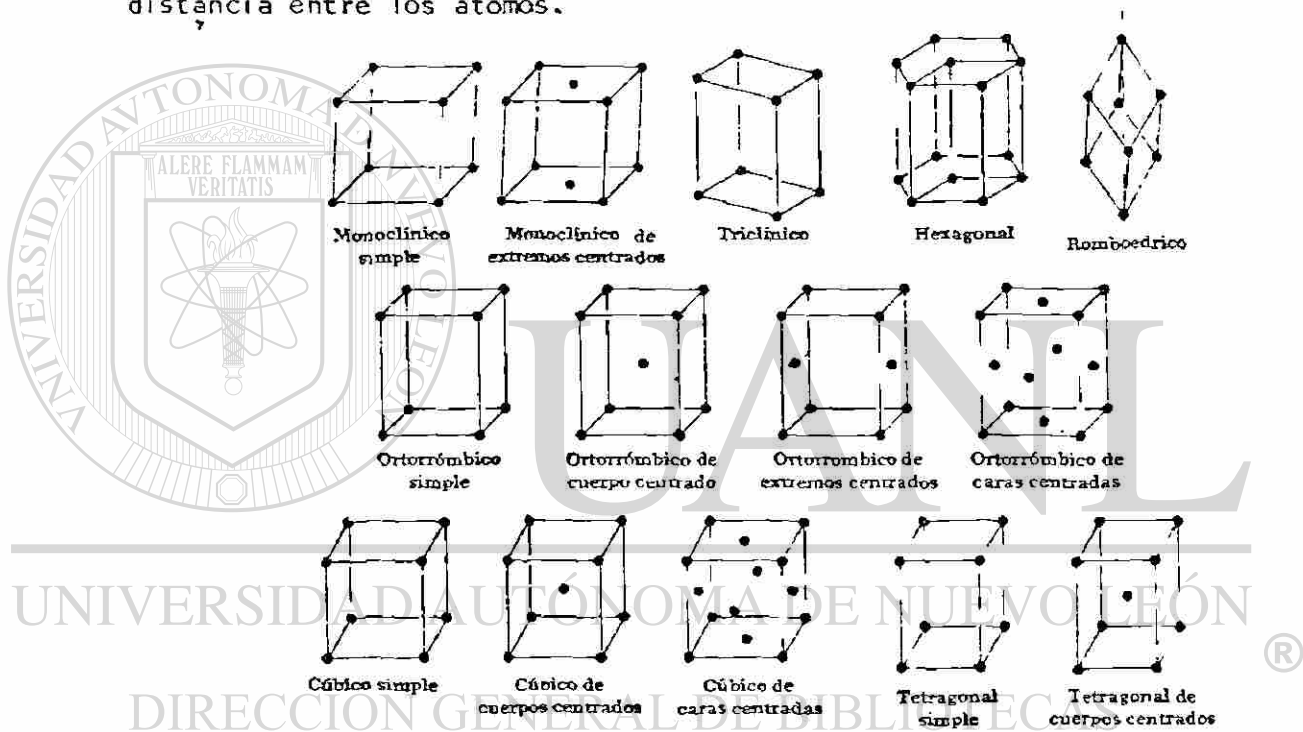


Fig. 1.1.- Retículas espaciales. Hay 14 Retículas típicas continuas en tres dimensiones.

Algunos materiales sólidos, tales como el hierro, pueden tener más de una estructura de malla a diferentes temperaturas. Este tipo de cambio es llamado *alotrópico*.

Cualquier material que se presente en varias formas de cristales, se le conoce como *alotrópico* o *poliformo*, y dicho material podrá tener propiedades diferentes, características de cada estructura de malla. El hierro tiene a la temperatura ambiente, una estructura de malla cúbica de cuerpo centrado y se le llama hierro alfa. Cuando el hierro es calentado aproximadamente alrededor de 910°C , su estructura cambia a una malla de cara centrada y se convierte en hierro gamma. Esta transición es notada por cambios en las propiedades eléctricas, por la absorción del calor y por las dimensiones. Si se somete a rayos X, el hierro mostrará otro espaciamiento diferente entre sus átomos. El estaño muestra una diferencia dramática en sus propiedades, debido a su naturaleza alotrópica. En su forma común, es de un color blanco plateado, pero cuando se le somete a bajas temperaturas cam

bia gradualmente a gris.

La *mallá cúbica de cuerpo centrado* tiene átomos en los vértices de un cubo y un átomo en el centro, ver Fig. 1.1. El hierro (alfa) a la temperatura ambiente, el cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno son unos pocos de los metales más importantes con esta estructura de mallá.

La *mallá cúbica de cara centrada*, tiene átomos en los vértices de un cubo y un átomo en el centro de cada cara, ver Fig. 1.1. Hierro (gamma) a temperatura elevada, aluminio, plata, cobre, oro, níquel, plomo y platino son ejemplos de estas estructuras de mallá.

La *mallá hexagonal compacta*, estructura que está geoméricamente descrita en la Fig. 1.1. Los metales berilio, cadmio, magnesio y titanio tienen estructura hexagonal.

Las propiedades de un metal se pueden predecir, hasta cierto grado, -- por el tipo de estructura de su mallá. La estructura hexagonal compacta, -- indica generalmente que ha perdido su ductilidad y se hace cada vez más frágil cuando se le dobla o labra en máquina. Los materiales con mallá cúbica de cara centrada, son por lo general más dúctiles.

La estructura de mallá de una aleación, no es de fácil predicción. -- Cualquier elemento añadido a un metal puro altera el tamaño de la mallá y -- dependiendo de la aleación formada, cambiará el tipo de aquélla. Los átomos del elemento añadido podrán tomar el lugar de ciertos átomos en el metal solvente o en el metal puro. La aleación resultante se conoce como una *solución sólida sustitucional*. El latón, una aleación de cobre y zinc, es un ejemplo. Cuando los átomos del elemento añadido se acomodan a sí mismos -- dentro de espacios (intersticios) entre los átomos del solvente, la aleación es llamada una *solución sólida intersticial*. El carbono en el hierro es un ejemplo. Los *compuestos intermetálicos* se forman cuando ciertos metales se alean y la estructura de mallá se hace muy compleja. Tales compuestos funden a temperatura fija y tienen mayor conductibilidad y ductilidad -- pero más alta resistencia y dureza que una aleación con estructura de mallá de cara centrada, de cuerpo centrada o estructura de mallá hexagonal. Ejemplos de aleaciones intermetálicas ocurren en los sistemas de aluminio-cobre, cobre-magnesio y estaño-antimonio.

1.2.- FORMACION DE GRANO

Quando un metal solidifica, los átomos se acomodan a sí mismos geoméricamente. La formación inicial de la mallá en un líquido que solidifica da lugar a un núcleo para los cristales que van a crecer en forma ordenada; esto es, mantendrán su modelo de mallá y cada mallá sucesiva irá creciendo con la precedente. Muchos de estos núcleos se forman en un líquido a medida que comienza la solidificación, pero la dirección en la cual queda orientado el núcleo inicial es al azar. La Fig. 1.2.A, ilustra esquemáticamente la forma de crecimiento de los cristales. Cuando un cristal se pone en contacto con otro de diferente orientación, cesa el crecimiento de ambos cristales y la superficie donde ellos concurren, irregular en naturaleza, forma parte de un límite de grano.

La mayoría de los cristales no se desarrollan uniformemente y en cambio progresan con más rapidez en una dirección que en otra. Como el crecimiento de los cristales avanza, los cristales frontales se ramifican en forma de árbol. Dicho crecimiento se llama *dendrítico*, y la formación de cristales es llamada *dendrita*. El crecimiento es casi siempre desigual con las ramas de la dendrita engrosando, o formándose nuevas ramas a medida que progresa la solidificación.

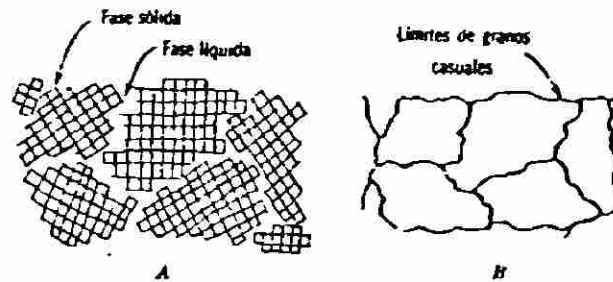


Figura 1.2.- Crecimiento de los cristales para formar granos. A, crecimiento de los cristales. B, granos.

La Fig. 1.2.B, muestra el desarrollo completo de los límites de grano de diferentes cristales. Los granos de un metal pueden ser estudiados valiéndose de una grande amplificación, después de que el material ha sido atacado con un ácido conveniente, para hacer que se destaquen los límites.

El tamaño de grano de un metal depende, sobre el promedio de velocidad que fue enfriado y la extensión y naturaleza del calentamiento o enfriamiento sufridos en el proceso de trabajo. Un metal con granos finos o pequeños puede tener resistencia superior y como una dureza comparada al mismo metal con granos grandes. Esto es porque, con los átomos juntos es más difícil -- que se presente una "interferencia deslizante" en la estructura de malla -- cuando una fuerza deformadora es aplicada. Los materiales de grano grande están caracterizados por ser de fácil maquinado, poseer mejor habilidad a endurecerse por tratamiento térmico, conductividad térmica y eléctrica superior. Aunque los metales de grano grande pueden endurecerse más uniformemente durante el tratamiento térmico, los materiales de grano fino son menos aptos a la ruptura cuando son calentados. Pueden agregarse algunos aditivos para asegurar un predeterminado tamaño de grano. El aluminio por ejemplo, puede ser agregado al acero para promover granos finos. El tamaño de grano deseado es usualmente un compromiso dependiendo sobre las propiedades previstas. En el caso de latón el cual se usa para la fabricación de cartuchos, un grano grande permite en este caso el formado más fácilmente, pero una superficie fina y resistente son proporcionadas con un grano fino.

La buena dureza, como el tamaño de grano están afectadas por la aplicación de temperatura del metal. El apagar la flama al metal caliente desde una temperatura elevada puede por ocasión endurecerlo, y al enfriarlo lentamente se puede conseguir en el exterior de la pieza su próxima suavidad. El recocido, con una referencia es enfriamiento lento del metal desde una temperatura elevada, y es usada para reblandecer, agregar tenacidad, eliminar esfuerzos e incrementar la ductilidad de los metales.

1.3.- SOLIDIFICACION DE METALES Y ALEACIONES

Los metales puros solidifican de manera única, como queda indicado por la Fig. 1.3. El líquido se enfría al punto en el cual el primer núcleo se forma. Desde el momento que principia la solidificación hasta que se completa, no cambiará la temperatura de la mezcla sólido-líquido. Una vez que la solidificación ha concluido, desciende la temperatura con respecto al tiempo

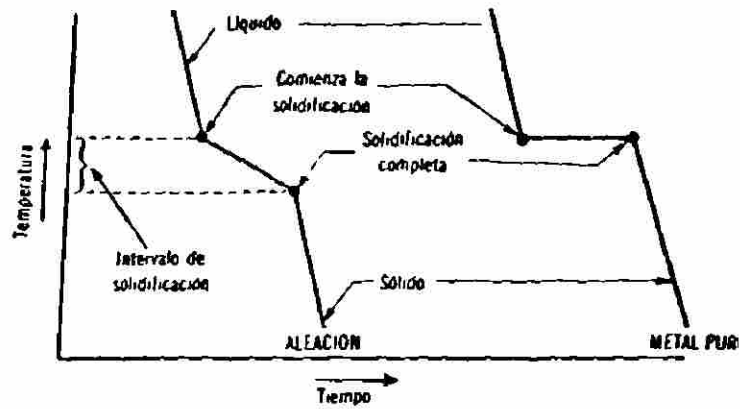


Figura 1.3.- Curva temperatura-tiempo para un metal y aleación.

Quando otros elementos se añaden a un metal puro para realizar sus propiedades, la combinación es llamada *aleación*. El latón es una aleación de cobre y zinc, el bronce una aleación de cobre y estaño y el acero una aleación de hierro y carbono. Por consiguiente, el número de aleaciones es infinito, siendo difícil la predicción de sus propiedades y características.

Aún cuando los metales puros solidifican a temperatura constante, las aleaciones no lo hacen así, lo cual se demuestra en la Fig. 1.3. El primer núcleo se forma a una temperatura mucho mayor que aquella a la cual tiene lugar la completa solidificación. Este cambio en la temperatura a medida que progresa la solidificación, causa en el sólido que se va a formar un cambio en su composición química debido a que cada elemento en una aleación tiene sus propias peculiaridades con respecto a la temperatura.

El diagrama de equilibrio muestra de que manera una aleación forma lo que se llama una solución sólida; esto es, un sólido que es en efecto una solución de dos o más materiales. Existen muchos tipos de diagramas de

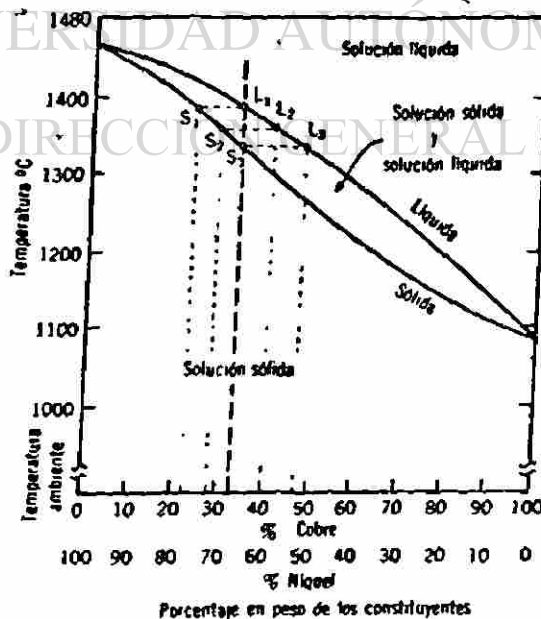


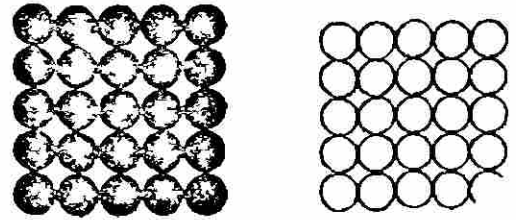
Figura 1.4.- Diagrama de equilibrio para aleaciones cobre-níquel.

equilibrio, dependiendo de las aleaciones involucradas, pero una de las más simples y más usadas es la aleación de cobre y níquel, mostrada en la Fig. 1.4.

El monel es un metal que se compone de 67% de níquel y 33% de cobre. Este metal resiste la corrosión del agua salada y se usa para envasar bebidas y alimentos.

Este tipo de diagrama permite al ingeniero determinar los constituyentes de la aleación, así como algunas otras propiedades de solución sólida restante. La Fig. 1.5 muestra la forma como varían las propiedades físicas y mecánicas de las aleaciones cobre-níquel, con respecto a los dos metales. Es interesante saber que las monedas de 5 cts. o níquel contienen 75% de cobre y 25% de níquel.

Figura 1.5.- Variaciones de las propiedades típicas al cambiar la composición de las aleaciones comerciales cobre-níquel. Los esquemas de la distribución atómica muestran la distorsión producida en la red por la formación de la solución sólida.



1.4.- PROPIEDADES DE LOS METALES

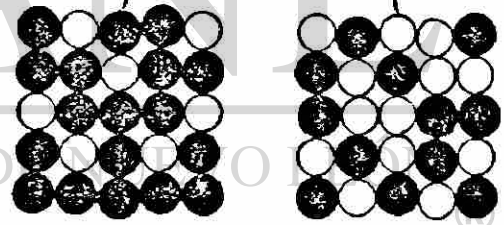
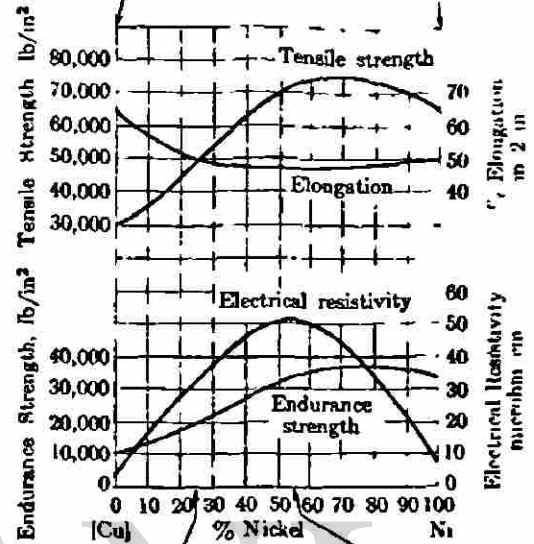
De lo anterior expuesto concluimos que las propiedades de los metales dependen de:

La estructura cristalina.- que queda definida por la composición química o el tratamiento térmico.

El tamaño de grano.- que queda definido por el tratamiento; térmico mecánico o químico.

La función principal de los materiales de Ingeniería, consiste en desarrollar resistencia, rigidez y durabilidad adecuadas al servicio para el cual fueron concebidos. Estos requerimientos definen en gran parte las propiedades que los materiales deben poseer y, por lo tanto, determinar a grandes rasgos la naturaleza de los ensayos efectuados en esos materiales.

Una clasificación parcial de las propiedades de los materiales de ingeniería se ofrece en la Tabla siguiente.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CLASIFICACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE INGENIERIA

CLASE	PROPIEDAD	CLASE	PROPIEDAD
Físicas	Dimensiones, forma	Mecánicas	Resistencia
	Densidad o gravedad específica		Tensión, compresión, cortante, y flexión estática, impacto, y tenacidad
	Porosidad		Rigidez
	Contenido de humedad		Elasticidad, plasticidad.
	Macroestructura		Ductilidad, fragilidad
	Microestructura		Dureza, resistencia al desgaste

pro-
de
lea-
in-
as.
las.
imer
ne-
da-
y--
ción

lo
ia-
-
ale
de
la
tra

e-
de
p--
a-
s.
ite
iti
no
u-
.5
-
de
in
de

	Oxido o composición compleja	Térmicas	Color específico
Químicas	Acidez o alcalinidad		Expansión
			Conductividad
	Resistencia a la corrosión o la interperie, etc.	Eléctricas y magnéticas	Conductividad
			Permeabilidad magnética
	Acción hidroabsorbente o hidrorrepelente		Acción galvánica
	Contracción y dilatación debidas a cambios de humedad	Acústicas	Transmisión del sonido
Fisicoquímicas			Reflexión del sonido
		Ópticas	Calor
			Transmisión de la luz
			Reflexión de la luz

En general la determinación de cualesquiera o todas estas propiedades puede constituir el tema del ensaye de ingeniería. Sin embargo, la mayor parte de la labor del laboratorio de ensaye de materiales ordinario se relaciona con las propiedades mecánicas. Esta labor frecuentemente es llamada "ensaye mecánico". Como el factor principal en la vida y el desempeño de las estructuras y las máquinas es la carga aplicada, la resistencia es de suma importancia; un requerimiento inicial de cualquier material de ingeniería es una resistencia adecuada. Es su más amplia aceptación el término *resistencia* puede suponerse que se refiere a la resistencia a la falla de una pieza completa de material, una pequeña parte de ella, o aún la superficie. El criterio de la falla puede ser ya sea la ruptura o la deformación excesiva.

El conocimiento completo del comportamiento de un material dado involucraría el estudio de todas sus propiedades bajo un muy amplio rango de condiciones, mas la realización de los ensayos exhaustivos necesaria para obtener información completa usualmente no sería necesaria o económicamente viable. El problema, pues, consiste en recabar datos acerca de esas propiedades que puedan influir en el valor económico y la servicialidad de un material, o un producto hecho de un material dado, para un propósito dado. La eficiencia relativa de un material para un uso específico depende del grado al cual las propiedades pertinentes estén presentes. Para algunos usos, una propiedad puede ser muy deseable, mientras que para otros usos pueden ser indeseables o aun peligrosa.

II.- PRINCIPIOS DE ENSAYOS

2.1.- ENSAYE DE MATERIALES

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

El ensaye comercial se preocupa, principalmente, ya sea por la verificación de la aceptabilidad de los materiales bajo especificaciones de adquisición o por el control de la producción o fabricación.

Los propósitos comunes de la investigación de materiales son (1) arribar a un nuevo entendimiento de los materiales conocidos, (2) descubrir las propiedades de materiales nuevos, y (3) elaborar normas de calidad o procedimientos de ensayo significativos.

Aunque muchas investigaciones son de naturaleza más o menos rutinaria, también hay muchas que demandan una gran variedad de ensayos y mediciones, requieren la apreciación de todas las fases del problema general, y plantean exigencias extremas de la habilidad del ingenio, y los recursos del experimentador si el éxito ha de lograrse.

La meta de lo aquí llamado *ensaye científico* es la acumulación de un acervo de información ordenado y confiable acerca de las propiedades fundamentales y útiles de los materiales, con la mira final de aportar datos para el análisis exacto del comportamiento estructural y el diseño eficiente. La labor de este tipo demanda, sobre todo, cuidado, paciencia y precisión.

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

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

Con respecto a la utilizabilidad de un material o una parte después del ensaye, los ensayos pueden clasificarse como *destructivos* o *no destructivos*. Los ensayos para determinar la resistencia última naturalmente implican la destrucción de la muestra. Como no puede ensayarse así un lote completo, surgen los problemas para obtener una indicación confiable de la resistencia del lote mediante el uso de un número de muestras suficiente, así como de mantener dentro de límites razonables el costo del material para muestras. Para proyectos terminados resulta deseable utilizar ensayos no destructivos si es posible.

co
magnético
a
sonido
onido
la luz
luz
dades
ayor
rela
mada
de
de su
niería
esís
na pie
a. ET
siva.
volu-
condi
tener
ble.
que
o un
cia -
l las
dad -
bles

2.2.- SIGNIFICADO DE LOS ENSAYOS

Nuestros conceptos de las propiedades de los materiales están usualmente idealizados y sobre-simplificados. En realidad, nosotros no *determinamos las propiedades*, en el sentido de que derivemos algunos valores inmutables que describan definitivamente el comportamiento del material. Más bien obtenemos solamente *medidas, indicaciones o manifestaciones* de las propiedades descubiertas en muestras de materiales ensayados en ciertos grupos de circunstancias.

Las medidas que obtenemos dependen de las condiciones de ensayo, las cuales incluyen la manera en que la muestra se toma y prepara, así como de los procedimientos particulares involucrados al realizar el ensayo. Por lo tanto, una implicación del "significado de los ensayos" tiene que ver con la *confiabilidad* de los ensayos para arrojar medidas de las propiedades que deban determinar. :

El significado real de cualquier ensayo reside en el grado al cual nos capacita para *predecir el desempeño* de un material en servicio. Un ensayo puede tener significado en una de dos maneras: (1) puede medir adecuadamente una propiedad que sea suficientemente básica y representativa para que los resultados de los ensayos puedan utilizarse directamente en el diseño, o (2) el ensayo, aun cuando sea muy arbitrario, sirve para identificar los materiales que la experiencia ha comprobado que arrojan un desempeño satisfactorio.

Un hecho sobresaliente a advertir en un estudio de los datos de ensayo detallados y en los resultados de las investigaciones en general, es la *variación* de las medidas cuantitativas de las propiedades dadas. Esto puede deberse parcialmente a la carencia de precisión absoluta de las operaciones de ensayo, pero también a la *variación real* de una propiedad dada entre las muestras. Nuestros materiales no son homogéneos; dentro de ciertos límites su composición puede estar gobernada enteramente por el azar, de modo que una descripción de su comportamiento puede descansar en gran medida sobre una base estadística.

2.3.- DISEÑO DE ENSAYOS

Las siguientes observaciones que influyen en el diseño de ensayos se extrajeron de un antiguo manual del U.S. Bureau of Standards (Departamento de Estandarización de los Estados Unidos de Norteamérica) sobre el ensayo de materiales. Una medida adecuada de una propiedad dada resulta posible cuando (1) la propiedad puede ser definida con suficiente exactitud, (2) el material es de composición o pureza conocidas, (3) las condiciones existentes son normales o conocidas, (4) los métodos experimentales son teóricamente correctos, (5) las observaciones y sus reducciones se hacen con el cuidado, y (6) el orden de exactitud de los resultados se conoce. Este ideal raramente se alcanza, pero cuando se propugna los resultados pasan de la etapa cualitativa a la cuantitativa y se les denomina *constantes* porque las redeterminaciones no darán resultados sensiblemente diferentes. Los resultados aproximados se mejoran sostenidamente a medida que se inventan instrumentos y métodos más precisos. El grado de exactitud a alcanzar se convierte en una cuestión muy práctica en un laboratorio de ensayo. El tiempo y la labor involucrados en los ensayos pueden muy bien aumentar fuera de proporción a medida que los límites de exactitud lograble se acercan. Para la determinación de las constantes físicas o las propiedades fundamentales de los materiales, el grado de exactitud buscado puede ser el máximo. En ter-

minos generales el grado de exactitud propugnado debe ser aquel que sea estrictamente bueno para el propósito en cuestión.

2.4.- AGENCIAS ESTANDARIZADORAS

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

La labor de normalización incluye en general (1) el desarrollo de los métodos de ensayo para los materiales, (2) el establecimiento de definiciones normales, (3) la formulación de especificaciones de materiales y (4) la formulación de prácticas recomendables que influyen en varios procesos de utilización de materiales. Los comités encargados del desarrollo de las especificaciones estudian primeramente los materiales en sus campos respectivos y fomentan la necesaria investigación sobre la cual debe basarse la labor de normalización. En los comités que estudian materiales que posean importancia comercial, la política generalmente consiste en mantener el equilibrio entre los representantes de los intereses del productor y del consumidor.

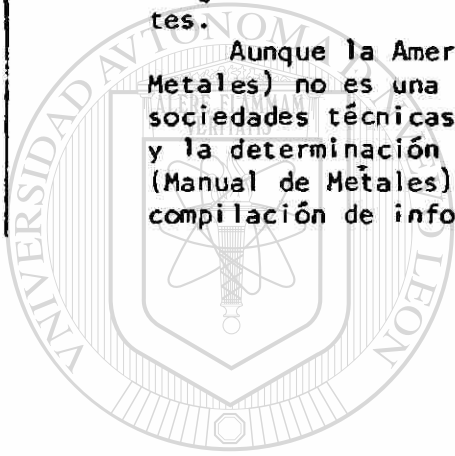
Después de la terminación de los estudios que involucran los métodos de ensaye, la nomenclatura, y los requerimientos, se desarrolla una norma propuesta y presenta en una junta del comité que tenga jurisdicción sobre los materiales del campo particular en cuestión. Si se consigue la aprobación en esta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

La Asociación Norteamericana de Normas fue organizada en 1918 por la ASCE, ASME, AIMME, AIEE, y ASTM para proveer un medio para la industria, las organizaciones técnicas, y los departamentos gubernamentales para trabajar conjuntamente en el desarrollo de normas industriales nacionales aceptables para todos los grupos y otros mediante el cual las agencias normativas pudieran coordinar sus labores e impedir la duplicación del esfuerzo. Según un método, las ASA Standards (Normas de la ASA) se desarrollan y aprueban de una manera muy similar a la de la ASTM.

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

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

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

III.- MEDICION DE LA CARGA, EL LARGO, Y LA DEFORMACION - APARATOS DE ENSAYE COMUNES

3.1.- INTRODUCCION

En el ensaye mecánico la mayoría de las mediciones en última instancia tienen que ver con la determinación del esfuerzo y de la deformación. Aunque la comparación directa con pesos y distancias conocidos frecuentemente es usada como el medio para determinar la fuerza y la longitud. En general, una variedad de principios y fenómenos físicos es empleada en los numerosos tipos de aparatos utilizados para determinar la carga y la deformación. Además de los dispositivos mecánicos que multiplican o magnifican los cambios de carga y longitud, existen instrumentos que aprovechan los fenómenos tales como la elasticidad, la reflexión de la luz, la interferencia de las ondas de luz, la resistencia eléctrica, el magnetismo, la inductancia y las vibraciones sónicas.

Para controlar la exactitud de los datos numéricos, es necesario conocer el error o el límite de error, de las mediciones contribuyentes. El error (es decir, la diferencia entre un valor observado y lo que se cree que es el valor verdadero) en las lecturas indicadas de un instrumento de medición es normalmente determinado por un proceso de calibración.

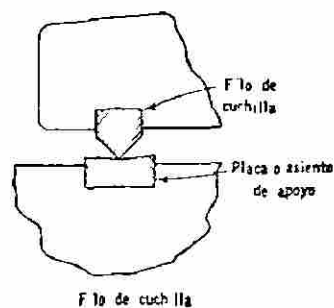
Intimamente relacionadas con la exactitud de un instrumento están la sensibilidad y la lectura mínima del instrumento. La sensibilidad se expresa en términos del menor valor de la cantidad a medir correspondiente al cual hay una respuesta en el dispositivo indicador del instrumento de medición; un instrumento que requiera un cambio de magnitud relativamente grande en el objeto que esté siendo medido para poder accionar el instrumento se dice que carece de sensibilidad. La lectura menor es el valor más pequeño que puede leerse en un instrumento que posea una escala graduada.

3.2.- PIVOTES

En cualquier dispositivo que emplee palancas, ya sea una máquina de ensaye, una báscula, o un deformímetro, los pivotes son importantes detalles. Es necesario que operen con un mínimo de fricción y sin movimiento perdido y que mantengan una posición constante (brazo de palanca). Aún más, deben ser diseñados de modo que sean estables y permanezcan alineados bajo carga.

En las máquinas de ensaye que utiliza un sistema de pesaje a palancas, los pivotes son usualmente "filos de cuchilla" de acero endurecido en los cuales dos superficies pulidas se encuentran a un ángulo de 90° para producir una línea recta, la cual es el borde de apoyo. En los instrumentos pequeños, el ángulo entre las superficies que se encuentran en el borde de apoyo es frecuentemente mucho menor de 90° . La placa de apoyo o asiento del filo de cuchilla como la que se muestra en la Fig. 3.1, la cual usualmente se hace de acero endurecido, también posee superficies pulidas que se encuentran en un ángulo obtuso un poco menor de 180° .

Figura 3.1.- Pivotes



En las máquinas de ensaye la carga compresiva admisible por pulgada lineal sobre los filos es de aproximadamente 7,000 lb, aunque se han usado valores de apoyo de 11,000 lb/plg.

3.3.- MEDICIONES DE CARGAS

En los párrafos siguientes se describen algunos de los métodos para medir las cargas en la práctica del ensaye de materiales. Varios de estos métodos pueden usarse solos o en combinación con otros más.

Pesos. Cuando pesos de magnitud conocida se usan directamente como medio de aplicación de carga, también sirven para medir la carga. El procedimiento es de aplicación limitada.

Pesos con palanca de longitud constante. Por medio de una palanca horizontal los brazos de la cual son de longitud fija, pero no necesariamente igual, una carga dada en un brazo puede equilibrarse mediante alguna combinación de pesas en el otro brazo. Este principio se usa algunas veces para poner un sistema de pesaje a palancas dentro de un rango de cargas deseado, pero como el proceso de equilibrar agregando continuamente pesas separadas es lento, rara vez se usa sólo en las máquinas de ensaye. Por supuesto, por lo general, se le emplea en básculas de pesaje del tipo de "balanza".

Pesa con palanca variable. Para propósitos de ensaye uno de los más útiles principios de pesaje es el de la romana, mediante la cual la carga aplicada al brazo corto es equilibrada, por una pesa de magnitud constante colocada en el punto apropiado en el brazo largo. El brazo largo, o palanca graduada de la báscula, está graduada para indicar la carga correspondiente a la posición de la pesa móvil (ocasionalmente llamada viajera, contrapeso, o pesa corrediza) (véase la Fig. 3.2a. Otra forma, del principio de palanca variable es el péndulo ilustrado en la 3.2b. El método de pesaje de carga de la romana requiere la operación manual para lograr el equilibrio; por otra parte, el método pendular combinado con el uso de una báscula adecuada es autoindicativo.

La carga real a equilibrar por medio del dispositivo elemental de pesaje, a menudo se reduce o disminuye gradualmente de una carga dada mediante un sistema intermedio de palancas compuestas o múltiples. Esto es necesario cuando se han de medir grandes cargas para poder mantener el dispositivo de pesaje dentro de proporciones convenientes y útiles.

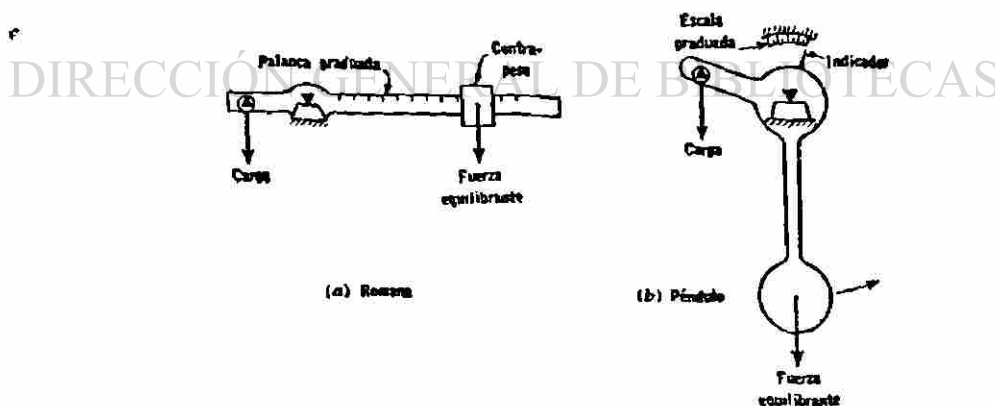


Figura 3.2.- Pesaje con palanca variable

Dispositivos hidráulicos. Las presiones de líquidos comúnmente se miden por medio de manómetros o tubos Bourdon. Un manómetro es simplemente un tubo de vidrio, por lo general, colocado en forma vertical, en el cual un lí

quido (digamos el mercurio) puede elevarse hasta un nivel tal que puede equilibrar la presión aplicada; el nivel del líquido se lee en una escala graduada. Es obvio que el manómetro está limitado a la medición de presiones relativamente bajas de modo que su uso para grandes cargas requeriría un dispositivo de transmisión intermedia para rebajar la carga.

El tubo Bourdon es esencialmente un tubo metálico curvado con un extremo cerrado que tiende a enderezarse cuando la presión se aumenta en el líquido del tubo. En el calibrador Bourdon usual el movimiento del extremo del tubo es magnificado mecánicamente para hacer girar un indicador por una escala, como se indica esquemáticamente en la Fig. 3.3. La exactitud del calibrador Bourdon ordinario puede ser considerablemente afectada por los cambios de temperatura, la histéresis y la fricción de sus partes móviles.

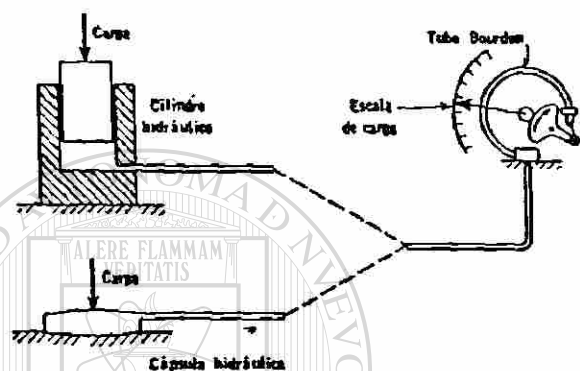


Figura 3.3.- Pesaje por medio de presión hidráulica

La carga, a pesar, puede ser transmitida hidráulicamente, mediante el uso ya sea de un cilindro y pistón hidráulicos o una cápsula flexible cerrada, los dos de las cuales se muestran esquemáticamente en la Fig. 3.3.

Pueden usarse dispositivos hidráulicos interconectados con diferentes áreas de pistón en lugar de un sistema de palancas intermedio para rebajar la carga, y el pequeño pistón puede hacer que accione un dispositivo de pesaje pendular o de romana; éste es precisamente el inverso del principio del gato hidráulico usual.

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

Dinamómetros. En general, los dinamómetros son una clase de dispositivos por medio de los cuales la generación o transmisión de la potencia puede ser medida. Debido a que la medición mecánica de la potencia, por lo general, se reduce a la determinación de una fuerza (conjuntamente con otras cantidades), el término *dinamómetro* es a menudo aplicado a instrumentos autosuficientes de medición de cargas (usualmente portátiles).

Muchos dinamómetros (en el sentido restricto de un instrumento de medición de cargas) utilizan la deformación o deflexión de un miembro elástico como base para determinar la fuerza aplicada al dispositivo, aunque la presión desarrollada en una cápsula hidráulica también ha sido utilizada como base para indicar la fuerza aplicada. En uso, se inserta un dinamómetro en el circuito de fuerzas y la fuerza a medirse (o una fracción conocida de la

fuerza a medirse) es transmitida a través del dinamómetro. Por medio de la calibración bajo fuerzas conocidas, la deflexión del elemento elástico puede convertirse directamente a términos de fuerza transmitida usando una escala debidamente graduada o aplicando un factor de calibración a las deflexiones indicadas.

En el ensaye de los materiales se usan comúnmente dos tipos de dinamómetros. Un tipo es la balanza de resortes hecha con un resorte helicoidal - - apretadamente devanado, el cual puede usarse en forma directa para medir las cargas sobre un pequeño ejemplar o usarse en combinación con un sistema de - palancas múltiples o transmisión hidráulica. Algunos dispositivos elásticos tienen calibradores de alambre de resistencia eléctrica montados permanentemente sobre ellos para medir las deformaciones de modo que puedan servir como dinamómetros.

3.4.- MAQUINAS DE ENSAYE

Dos partes esenciales de una máquina de ensaye son (1) un medio para -- aplicar carga a una probeta y (2) un medio para equilibrar y medir la carga aplicada. Dependiendo del diseño de la máquina, estas dos partes pueden estar completamente separadas o superpuestas. Además de estos aspectos básicos, hay una variedad de partes o mecanismos accesorios, tales como dispositivos para agarrar o apoyar la pieza de prueba, la unidad de fuerza, los controles, los registros, los indicadores de velocidad y amortiguadores de retroceso o choque, la carga puede aplicarse por medios mecánicos, mediante el uso de mecanismos de engrane y tornillo, caso en el cual las máquinas son -- llamadas de "engrane y tornillo" o "mecánicas". Cuando la carga es aplicada por medio de un gato o prensa hidráulicos, el dispositivo es llamado "máquina hidráulica". La fuerza puede proveerse manualmente o por medio de alguna máquina motriz (por lo general, un motor eléctrico) a una bomba o una cadena de engranes, dependiendo del diseño de la máquina y su capacidad.

Algunas máquinas son diseñadas para un solo tipo de ensayo, como una máquina de tensión hecha para ensayar cadenas y alambre; y otras hechas únicamente para ensayos compresivos. Sin embargo, si una máquina es diseñada para ensayar probetas en tensión, compresión y flexión, es llamada "máquina de ensaye universal". También hay máquinas especiales para torsión, dureza, impacto, resistencia, flexión en frío y otros ensayos.

Dos tipos principales de máquinas universales motorizadas son ahora de uso común en los EE.UU.: (1) las máquinas de engrane y tornillo son dispositivos de pesaje de palancas múltiples y contrapeso móvil o péndulo o con dispositivos electrónicos de medición de cargas y (2) las máquinas hidráulicas, las cuales en los tipos más precisos utilizan la cápsula Emery y un tubo de Bourdon modificado, o un tubo de Bourdon en combinación con un resorte isoe-elástico o un dispositivo electrónico, para medir e indicar la carga.

En una máquina mecánica la carga ordinariamente es aplicada a una probeta a través de un "puente móvil" (véase la Fig. 3.4.). En el caso de una -- probeta en tensión la carga es soportada por un "puente fijo", el cual puede sin embargo, ubicarse en cualquiera de varias posiciones. En un ensayo compresivo o flexión transversal la carga es soportada por la mesa de trabajo de la máquina. En las máquinas de engrane y tornillo del tipo de palanca, el puente fijo o la mesa transmiten entonces la carga al sistema de pesaje de - palancas compuestas. En una máquina hidráulica la carga es ordinariamente -- aplicada por medio del movimiento del pistón del sistema hidráulico, el cual está conectado ya sea a la mesa de la máquina, o a un puente móvil. El mecanismo para medir la carga puede originarse ya sea en las porciones fijas o en las móviles de tales máquinas.

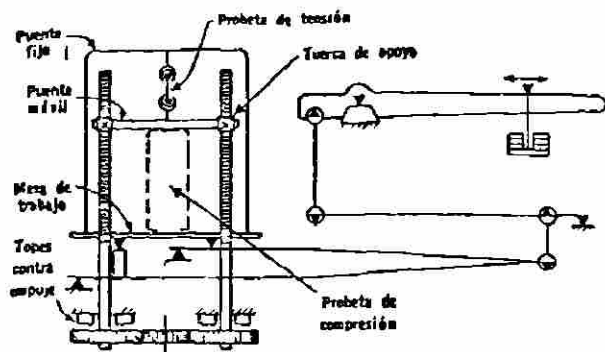


Figura 3.4.- Diagrama esquemático de una máquina de ensayo con engrane y tornillo. El puente móvil siempre desciende durante un ensayo.

La máquina hidráulica ofrece un medio para lograr capacidades muy grandes. La máquina más grande, usada solamente para compresión, es la de - - - 10 000 000 lb de la Oficina Nacional de Normas (National Bureau of Standards)

Un número de máquinas universales con el rango desde 1 000 000 hasta 5 000 000 lb está en uso. En años recientes, las máquinas hidráulicas de capacidad ordinaria han alcanzado mucha aceptación. En la máquina hidráulica moderna la carga puede ser aplicada rápidamente y fácilmente con poco ruido o vibración, y con un buen control del ritmo de carga. Las máquinas hidráulicas más baratas que utilizan la presión en el cilindro de carga como una indicación de la carga sobre la probeta pueden resultar susceptibles e inexactitudes mayores, pero las mejores de ellas, especialmente aquellas que incorporan la cápsula Emery, pueden ser muy exactas.

Algunos de los requerimientos generales para las máquinas de ensayo son los siguientes:

- 1.- La exactitud requerida debe obtenerse en todo el rango de carga; ordinariamente se requiere que los errores sean menores del 1%, pero 0.5% o menos es deseable.
- 2.- Debe ser sensitiva a los cambios ligeros de carga.
- 3.- Las mordazas del puente deben estar alineadas.
- 4.- Los puentes móviles no deben oscilar, torcerse o moverse lateralmente.
- 5.- La aplicación de la carga debe ser uniforme, controlable y capaz de un considerable rango de velocidades.
- 6.- Debe estar libre de vibraciones excesivas.
- 7.- El mecanismo de retroceso debe ser adecuado para absorber la energía de ruptura, de las probetas que se quiebran súbitamente para evitar daños a la máquina al cargarse a toda capacidad.
- 8.- Debe ser susceptible a la manipulación y al ajuste fáciles y rápidos y debe permitir el fácil acceso a las probetas y deformímetros.

Ocasionalmente, los registradores de esfuerzo-deformación autográficos o semiautográficos se usan. Los dispositivos de sujeción, los dados de apoyo, montaje y los soportes para las probetas se describen en conexión con los ensayos a los cuales son aplicables.

3.5.- MAQUINAS DE ENGRANE Y TORNILLO

En algunas máquinas universales un mecanismo de engrane y tornillo impulsado por un motor acciona el puente móvil, el cual transmite la carga a través de la probeta directamente a la mesa o al puente fijo y luego indirectamente a la mesa de trabajo. La carga sobre la mesa puede a su vez equilibrarse por medio de un sistema de palancas múltiples que elimina la palanca graduada al larguero de la balanza y el contrapeso, según se muestra esquemáticamente en la Fig. 3.4; sin embargo, algunas máquinas de engrane y tornillo construidas recientemente, miden la carga mediante un sistema de péndulo

de lectura directa, el principio del cual está ilustrado en la Fig. 3.2b. - Uno de los tipos más nuevos de máquinas mecánicas de ensaye difiere de todos los demás en que la carga se mide por medio de una celda de carga universal SR-4 que acciona electrónicamente el indicador de carga.

En algunas máquinas de ensaye los tornillos mismos giran dentro de tuercas de apoyo montadas en el puente móvil como se muestra la Fig. 3.4., en otras máquinas los tornillos están fijados al puente móvil, y las tuercas de apoyo están en los engranes debajo de la mesa de trabajo. Cualquiera de los dos sistemas sirve satisfactoriamente para mover el puente.

Se usan máquinas con dos, tres o cuatro tornillos. Las máquinas de dos tornillos están bien adaptadas para los ensayos de tensión y transversales, pero cuando se usan para ensayos de compresión, debe tenerse cuidado de colocar la probeta en el plano de los tornillos y a la mitad de la distancia entre ellos, para evitar la flexión de los tornillos. La probeta no queda tan accesible en las máquinas de tres y cuatro tornillos como en aquellos de sólo dos tornillos, pero las primeras no resultan fácilmente dañadas por la excentricidad accidental o las cargas excéntricas.

3.6.- MÁQUINAS HIDRAULICAS

Los aspectos principales de dos tipos de máquinas hidráulicas se muestran diagramáticamente en la Fig. 3.5.

En el tipo A, la carga es aplicada por una prensa hidráulica y es medida por la presión desarrollada dentro del cilindro hidráulico. El pistón principal, por lo general, se ajusta y empalma cuidadosamente, para reducir la fricción del pequeño pistón usado en el sistema de medición, el segundo de ellos se hace girar durante la operación de la máquina. En el diagrama mostrado, la carga es finalmente medida por un dispositivo pendular, aunque se usa un tubo Bourdon en algunas máquinas.

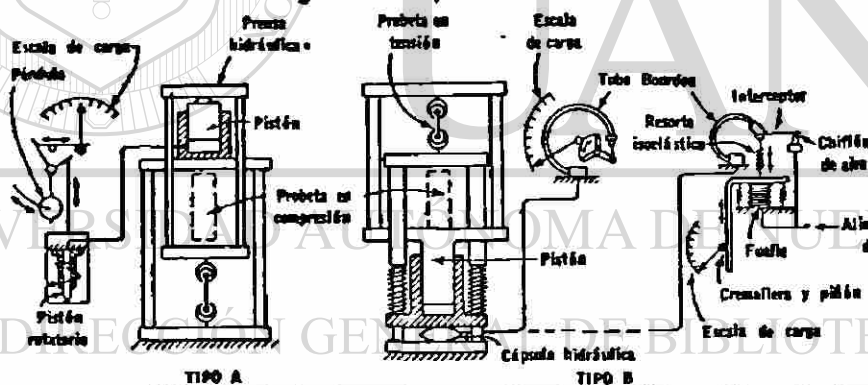


Figura 3.5.- Aspectos esenciales de dos tipos de máquinas de ensaye hidráulicas.

En las máquinas de tipo B, la carga es aplicada por una prensa hidráulica independientemente del sistema de medición, el cual es accionado por una cápsula hidráulica. En algunas máquinas, tales como la mostrada en la Fig. 3.6, un movimiento muy ligero del extremo del tubo Bourdon acciona unidades electrónicas que a su vez accionan el indicador de cargas. En otras máquinas el uso directo del tubo Bourdon ha sido reemplazado por un mecanismo, -- operando según el método "nulo", indicado a la derecha de la Fig. 3.5. En este método, un ligero movimiento del extremo del tubo Bourdon mueve al interruptor sobre él un chiflón de aire y permite que la presión del aire del chiflón y, por lo tanto, del fuelle decrezca. Los resortes de la izquierda y la derecha del fuelle aplastan a éste y alargan el resorte isoelástico (un

resorte de módulo constante), el cual está fijado al extremo del tubo Bourdon. Este movimiento restaura al interceptor sobre el chiflón de aire a su posición original y acciona la manecilla sobre la balanza de carga. Este método contrarresta la bien conocida desventaja del tubo Bourdon ordinario, a saber que no arroja una relación rectilínea entre la presión y el movimiento del extremo.

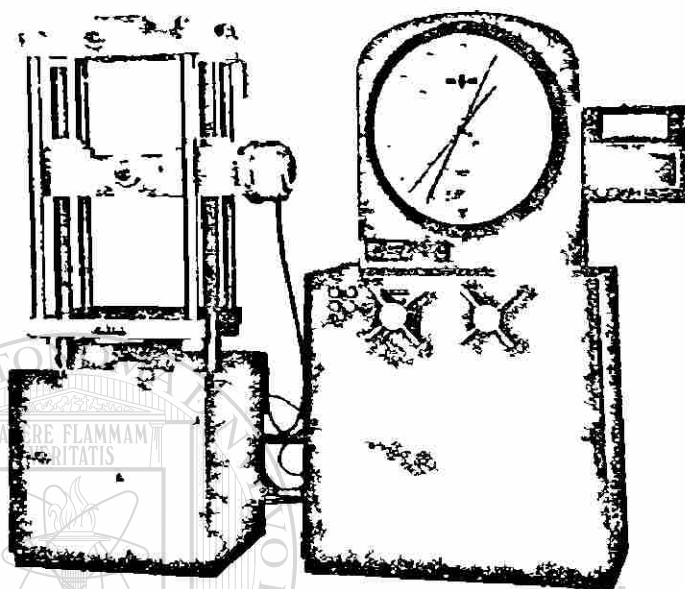


Figura 3.6.- Máquina universal hidráulica con transductor mecánico-eléctrico conectado al extremo de un tubo Bourdon. Capacidad 60,000 Kg.

En las máquinas más modernas, el sistema de medición de la carga es por medio de dispositivos isoelásticos que traducen la señal de presión en señal eléctrica, la cual a su vez es amplificada para mover el servomecanismo de la aguja indicadora de carga, ó a un contador de display, ó a una microprocesadora que mueve un graficador x-y. La ventaja de los dispositivos isoelásticos es que el control es más exacto y más rápido. La desventaja es la lentitud con que responden los elementos mecánicos a los cuales están interconectados, y el dispositivo transductor deberá estar aislado de polvo, ruido o de campos electromagnéticos. Ver figura 3.7 y 3.8.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

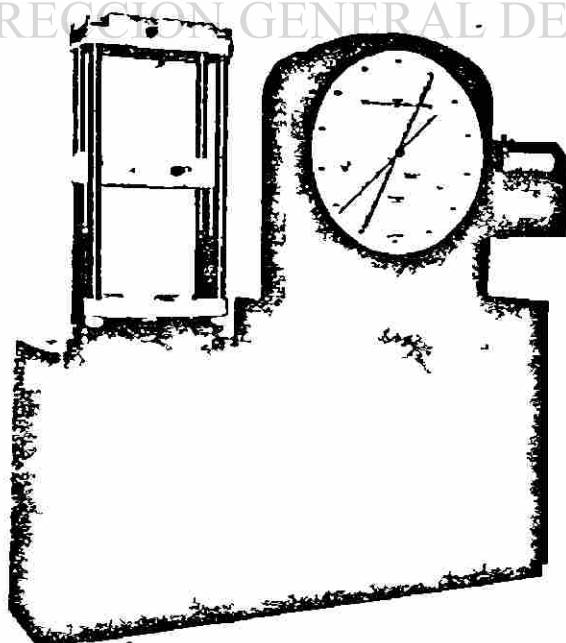


Figura 3.7.- Máquina universal hidráulica - con dispositivo isoelástico para traducción de la presión - capacidad 30,000 Kg.

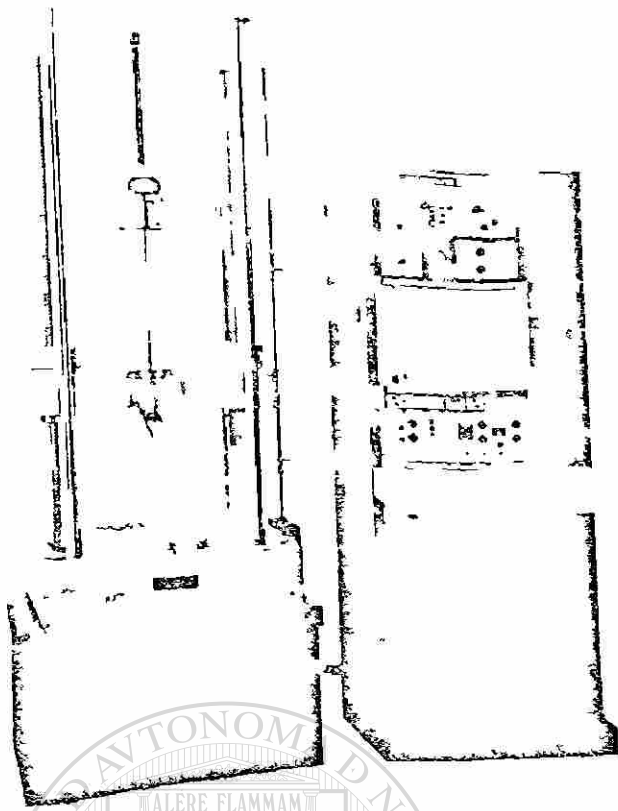


Figura 3.8.- Máquina Universal - con circuitos de estrado sólido, lectura digital, graficador x-y, control de velocidad - capacidad 6,000 Kg.

La mayoría de las máquinas están equipadas con dos o más arduas indicadores de cargas para servir a diferentes rangos de carga o llevan una carátula con una máscara que puede hacerse girar para exponer grupos diferentes de cifras y así permitir que la carátula única sirva para varios rangos de carga. Se usan mecanismos de medición de carga adecuados para cada rango de carga de modo que las cargas pequeñas puedan observarse con una precisión comparable a aquella para las cargas grandes.

3.7.- AJUSTE DE LA VELOCIDAD

Los mecanismos propulsores para las máquinas de ensaye de engrane y tornillo usualmente se hace que accione el puente a cuatro o más velocidades. Las diversas velocidades pueden obtenerse por medio del uso selectivo de diferentes razones para engranaje, de varias velocidades de motor fijas, o propulsiones electrónicamente controladas que permitan el uso de cualquier velocidad de ensaye deseada, (Fig. 3.9).

En la mayoría de las máquinas hidráulicas modernas, cualquier velocidad de aplicación de carga deseado puede obtenerse mediante el uso de una velocidad de bombeo apropiada o un ajuste valvular que controle el flujo de aceite de la bomba al cilindro de carga. En esas máquinas, la velocidad de carga es frecuentemente controlada mediante el uso de un brazo o disco regulador auxiliar en la carátula indicadora de carga; para aplicar la carga a la velocidad deseada, el operador ajusta el regulador para que funcione a la velocidad dada y luego los controles del motor o de la bomba para lograr que el indicador de cargas se ciña al regulador.

En la mayoría de las máquinas hidráulicas modernas, cualquier velocidad de aplicación de carga deseado puede obtenerse mediante el uso de una velocidad de bombeo apropiada o un ajuste valvular que controle el flujo de aceite de la bomba al cilindro de carga. En esas máquinas, la velocidad de carga es frecuentemente controlada mediante el uso de un brazo o disco regulador auxiliar en la carátula indicadora de carga; para aplicar la carga a la velocidad deseada, el operador ajusta el regulador para que funcione a la velocidad dada y luego los controles del motor o de la bomba para lograr que el indicador de cargas se ciña al regulador.

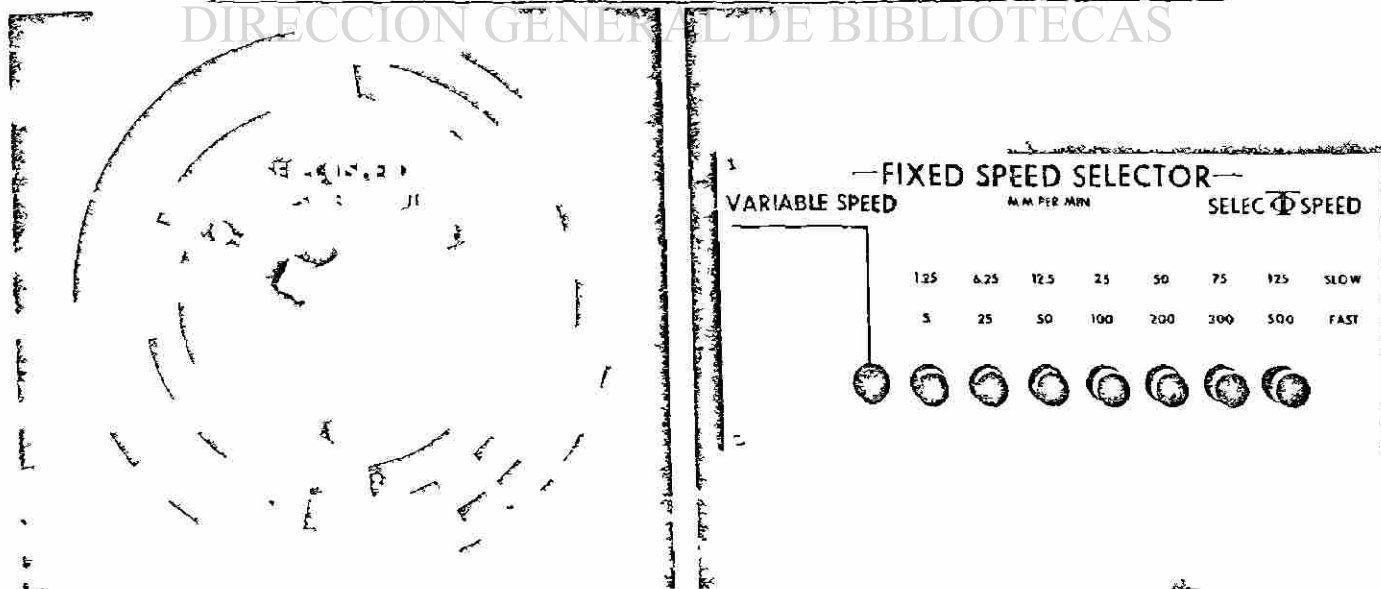


Figura 3.9.- Selector de velocidad de aplicación de carga.

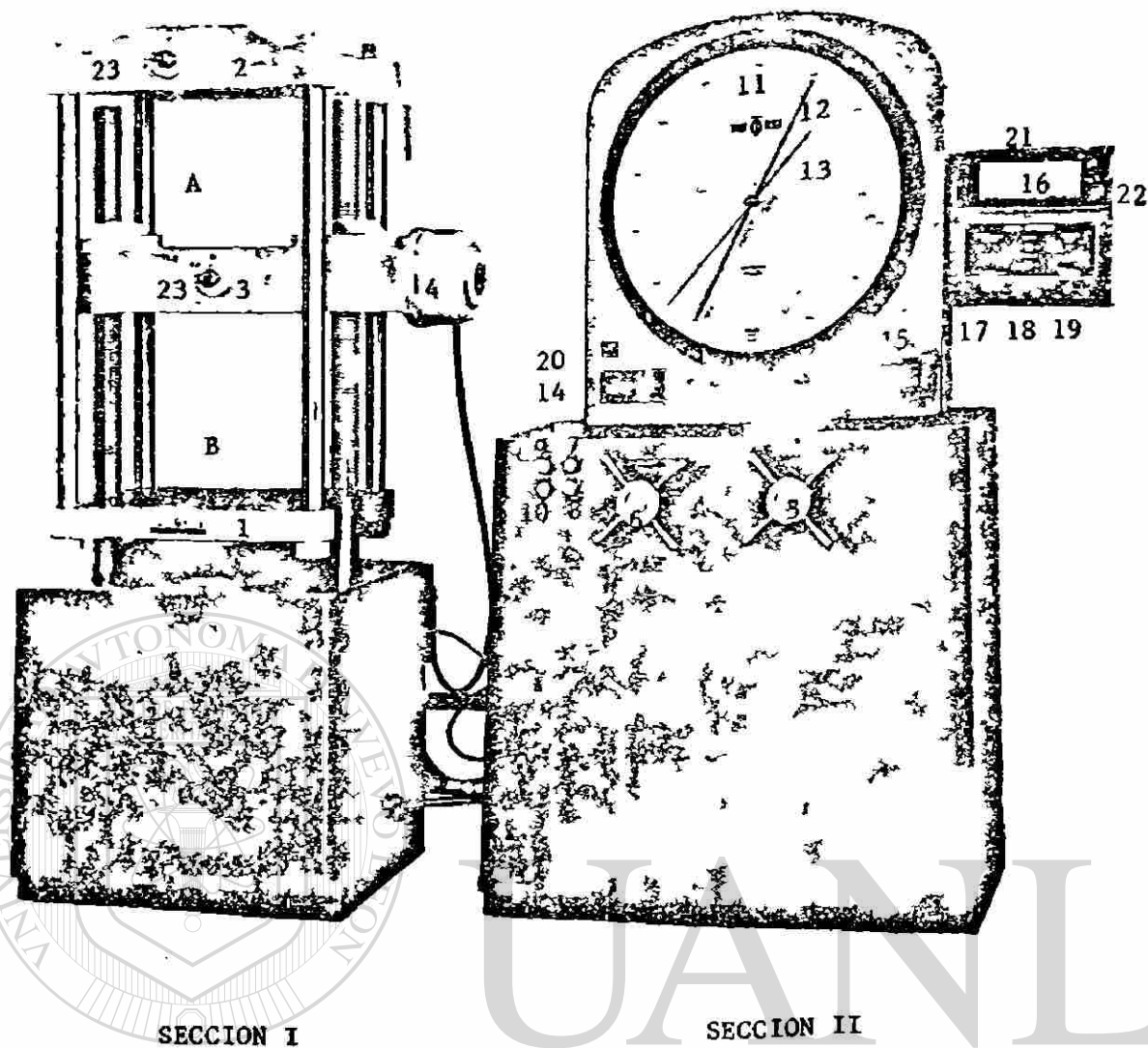


Figura 3.10.- MAQUINA UNIVERSAL

3.8.- PARTES DE LA MAQUINA UNIVERSAL

Son las que se enuncian en seguida. Ver figura 3.10.

Sección I Sección de Pruebas

Sección II Sección de Control

- 1.- Pistón de carga
- 2.- Cabezal móvil
- 3.- Cabezal fijo
- 4.- Motor de cabezal fijo
- 5.- Válvula de carga
- 6.- Válvula de descarga
- 7.- Botón de encendido para la bomba
- 8.- Botón de apagado para la bomba
- 9.- Botón para elevar el cabezal fijo
- 10.- Botón para bajar el cabezal fijo
- 11.- Carátula indicadora de lecturas
- 12.- Aguja motora
- 13.- Aguja indicadora
- 14.- Selector de rangos
- 15.- Ajuste a cero de los rangos

- 16.- Graficador
 - 17.- Selector de amplificador de deformación
 - 18.- Botones de calentamiento y encendido del graficador
 - 19.- Ajuste a cero de la deformación
 - 20.- Celda de carga
 - 21.- Vástago de carga
 - 22.- Tambor de deformaciones
 - 23.- Manivela para mordazas de tensión en placas
 - A.- Zona de tracción
 - B.- Zona de compresión
- Rangos
- | | | |
|-------|-----------------|-----------------------|
| Bajo | 0 - 1,500 Kgr. | 2.5 Kgr. por división |
| Medio | 0 - 15,000 Kgr. | 25 Kgr. por división |
| Alto | 0 - 60,000 Kgr. | 100 Kgr. por división |

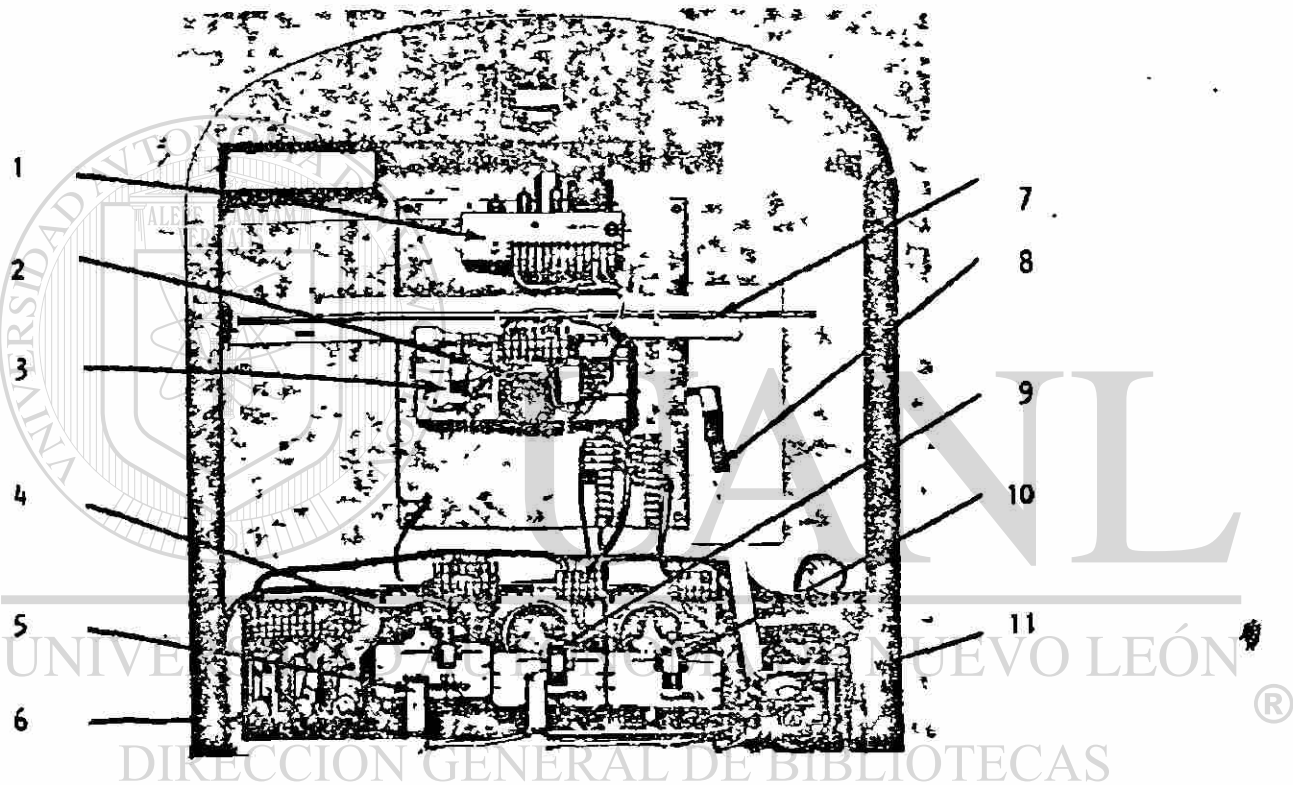


Figura 3.11.- Partes internas de la Sección de Control. (Superior).

- 1.- Amplificador
- 2.- Servo Mecanismo
- 3.- Balance del Motor Transductor
- 4.- Transductor del Rango Bajo
- 5.- Válvulas de Seguridad
- 6.- Ajustes de Cero
- 7.- Mecanismo para el Graficador
- 8.- Posicionador de la Carátula
- 9.- Transductor de Rango Medio
- 10.- Transductor de Rango Alto
- 11.- Selector de rango, incorporada a una válvula hidráulica, escala de medición y a un Switch eléctrico.

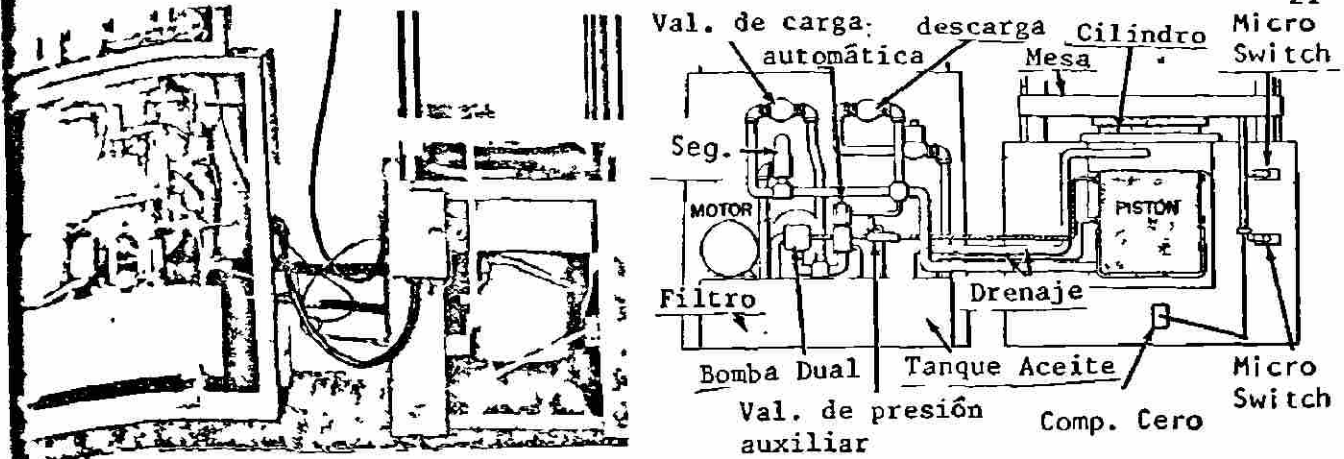


Figura 3.12.- Partes Internas de la Sección de Control. (Inferior).

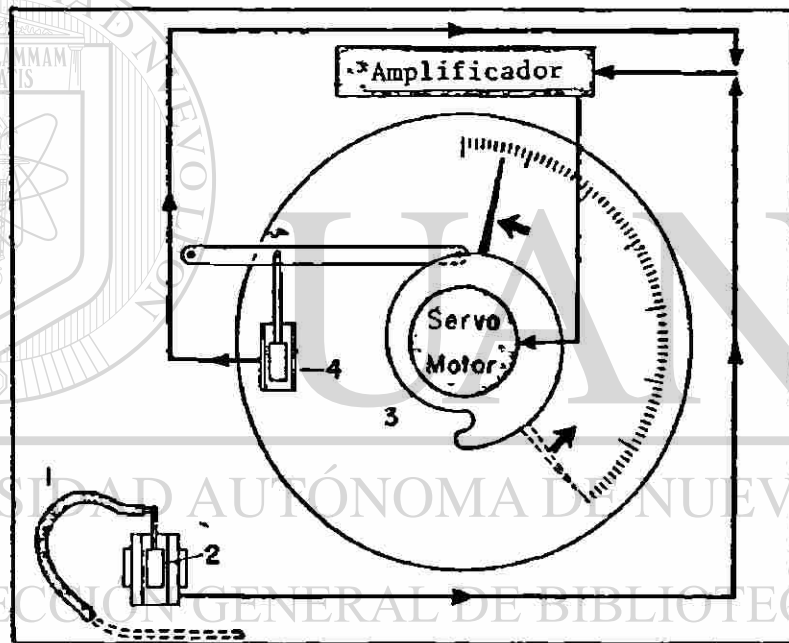


Figura 3.13.- Circuito de las señales hidráulicas hasta el indicador de carga.

INDICACION DE CARGA

Los sistemas indicadores de carga, son compuestos por un balanceador de nulos, el cual es accionado por un tubo Bourdon que mide e indica electrónicamente la señal proporcional de la carga aplicada al espécimen.

Refiriéndonos a la figura 3.13. La presión hidráulica desarrollada sobre el espécimen de prueba es aplicada al tubo Bourdon (1), moviéndose hacia arriba produciendo una señal positiva de voltaje en el transductor diferencial (2), la cual es amplificada y enviada al servo motor (3).

Al girar el motor indicará un punto en la carátula, para que esto suceda se acopla al servo motor una leva y varilla acoplada a un transductor (4)

cuyo movimiento de acuerdo a la figura nos producirá una señal negativa, la cual es mandada al amplificador, cuando las señales son opuestas y de igual intensidad se produce un balance nulo, quedando la aguja que es movida por el servo motor, en un punto fijo indicando en la carátula la carga aplicada al espécimen en ese instante.

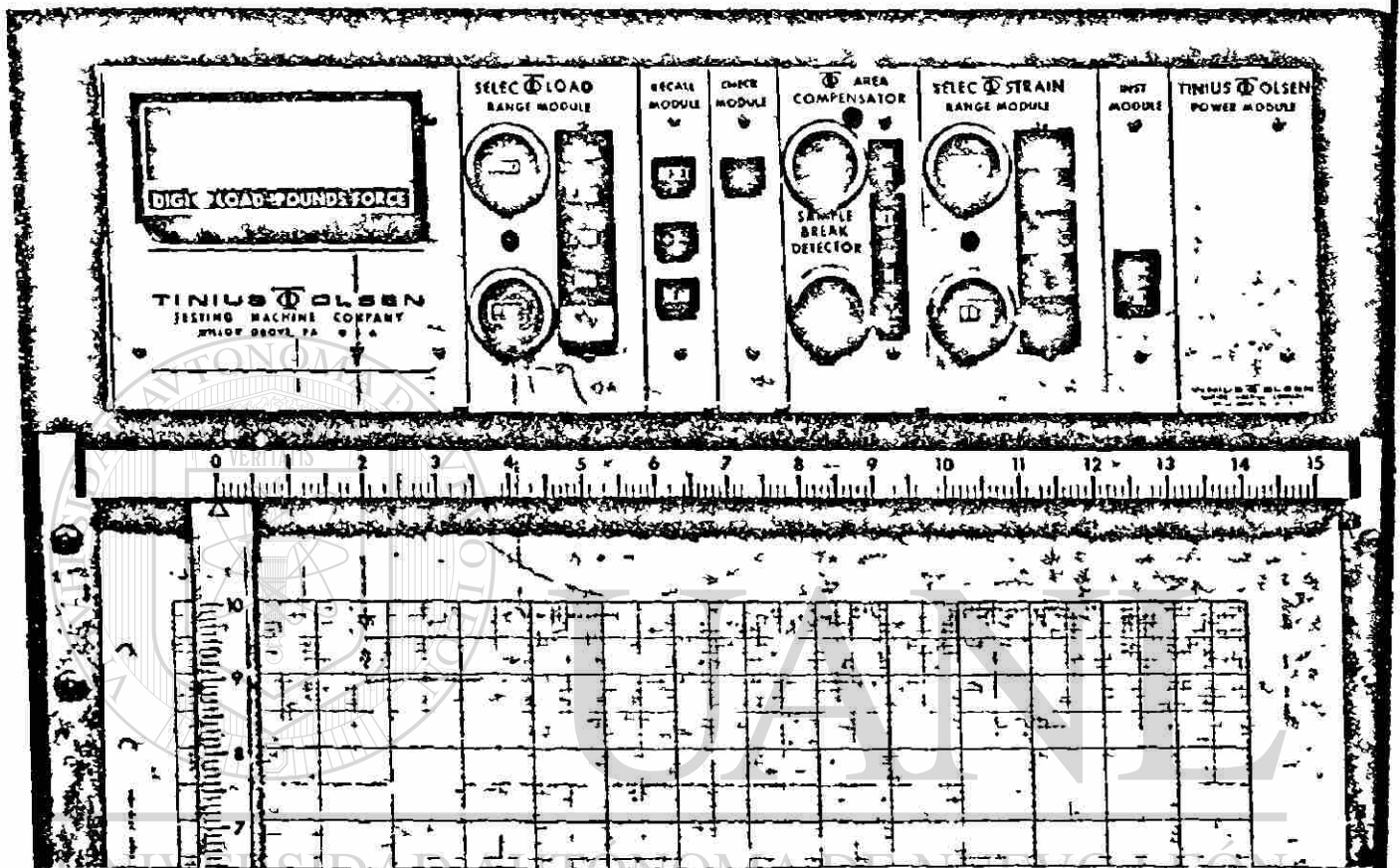


Figura 3.14.- Panel de Control de Estado Sólido

En los últimos años se ha desarrollado altamente la electrónica a tal grado que las máquinas universales más modernas están gobernadas por circuitos de estado sólido, que lógicamente nos dan más velocidad a respuestas, más precisión en la medición; en la figura 3.14 se muestra un display donde se marca la carga, los botones para seleccionar rango de carga con sus ajustes a cero, botones de encendido y apagado, botones de velocidad de aplicación de carga, etc.

3.9.- CALIBRACION DE MAQUINAS DE ENSAYE

Tres métodos comúnmente usados para calibrar las máquinas de ensaye son: (1) el uso de pesas solas, (2) el uso de palancas y pesas y (3) el uso de dispositivos de calibración elásticos (ASTM E 4).

Cuando pueden usarse, las pesas normalizadas constituyen un medio de calibración simple. La pesa usual es unidad de 50 lb. Tales pesas frecuentemente se fabrican con una exactitud del 0.01 lb o menos, más cercano por comparación con una norma conocida. Las solas pesas resultan únicamente adecuadas para usarse con máquinas de ensaye de tipo vertical que acciona

el mecanismo de medición mediante una presión descendente sobre la mesa. El uso de pesas está limitado por el espacio disponible sobre la mesa de la máquina y el número de pesas disponible; frecuentemente veinte pesas de 50 lb, un total de 1,000 lb, se usan. En casos especiales, pesas normalizadas que pesan 10 000 lb, se han usado.

El rango sobre el cual las pesas calibradas pueden usarse, puede aumentarse mediante el uso de un par de palancas, las cuales usualmente se hacen con una razón de palanqueo de 10:1, de modo que 20 pesas arrojan una carga efectiva de 10,000 lb. Un arreglo común de éstas así llamadas "palancas de comprobación" se muestra en la Fig. 3.15. Para calibrar máquinas de ensayo horizontales, palancas angular de "manivell" (palancas cuyos dos brazos quedan en ángulo recto) ocasionalmente se usan. La razón de palanqueo de cualquier sistema de palancas debe determinarse por medio de un ensayo de carga más bien que por la medición directa de los brazos de la palanca.

Las limitaciones generales del uso de las pesas, o de las palancas con pesas, son que resultan inconvenientes para transportarse y solamente pueden usarse para un rango de carga relativamente pequeño, usualmente menos que el rango de carga útil de las máquinas de ensayo de capacidad intermedia y grande.

Probablemente, el método de calibración más simple y común para las máquinas de mayor capacidad consiste en el uso de un dispositivo de calibración elástico, el cual a su vez consiste de un miembro, o miembros del metal elástico, combinado con un mecanismo para indicar la magnitud de la deformación bajo la carga. Dos formas de este dispositivo son: (1) una barra de acero junto con un deformímetro acoplado y (2) un "anillo de calibración", el cual es un aro o anillo de acero combinado con algún tipo de indicador de deflexión. La barra de acero es adecuada principalmente para usarse en tensión, aunque algunas barras se usan en compresión.

Los dispositivos de aros o anillos son hechos ya sea en compresión o tensión. Un anillo de calibración para usarse en compresión está ilustrado en la Fig. 3.16. Una carga compresiva acorta el diámetro vertical y este cambio es medido por micrómetro. Con este cambio y los datos de calibración para el anillo, la carga aplicada puede determinarse. Los anillos de calibración de esta clase son adquiribles en capacidades hasta de 300 000 lb, pero las barras de compresión tienen capacidad hasta de 3 000 000 lb, las cuales están equipadas con calibradores de deformación electrónica, son adquiribles en la Oficina Nacional de Normas. Asimismo, para calibrar máquinas muy grandes en compresión, varios anillos o barras de calibración pueden usarse paralelamente.

A continuación aparecen tres importantes requerimientos de un dispositivo de calibración elástico (ASTM E 74):

1.- Debe ser construido de tal manera que su exactitud no resulte afectada por el manejo y la transportación y que las partes susceptibles de dañarse o removerse puedan reemplazarse sin disminuir la exactitud del dispositivo.

2.- Debe estar provisto de conexiones o portacojinetes construidos, de tal manera que la exactitud del dispositivo en uso, no resulte afectada por imperfecciones en las conexiones o los portacojinetes.

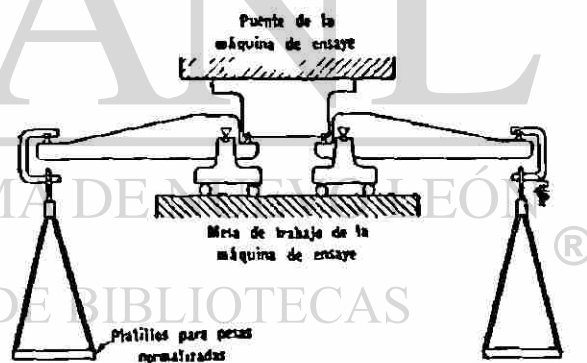


Figura 3.15.- Palancas de comprobación (ASTM E 4).

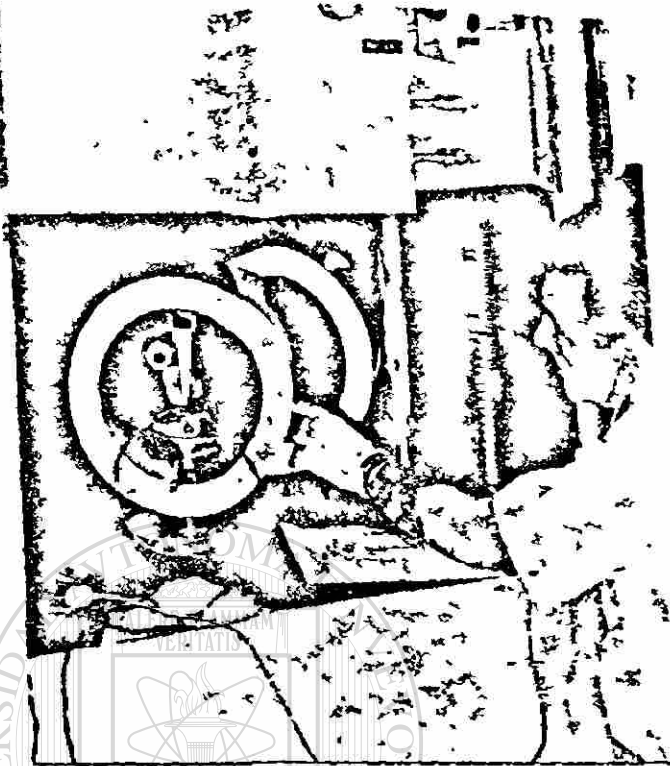


Figura 3.16.- Anillo de calibración para usarse en compresión.

3.- Debe calibrarse en combinación con el deformímetro que haya de usar con él y el deformímetro debe usarse en el mismo rango que la cubierta por la calibración.

Debe tenerse cuidado de minimizar cualesquiera cambios de temperatura durante el uso de un dispositivo de calibración elástico. Aún más, la temperatura real en el momento de usarse y de su propia calibración debe conocerse ya que las propiedades elásticas del material cambian con la temperatura. En general, la lectura de un dispositivo del tipo de anillo cambia en aproximadamente 0.015% por cada cambio de temperatura de, un grado Fahrenheit de lo normalizado.

Debe distinguirse entre la calibración de máquinas de ensaye, o el procedimiento para determinar la magnitud del error en las cargas indicadas, y lo que la ASTM (ASTM E 4) llama la verificación de las máquinas de ensaye. La verificación se preocupa por averiguar si los errores quedan o no dentro de una amplitud admisible especificada, e implica la certificación de que una máquina cumple

con los requerimientos de exactitud estipulados. La "variación permisible", o máximo error admisible de carga indicada de una máquina de ensaye, es de 1%. El "rango de carga" es la amplitud de las cargas indicadas para la cual la máquina dá resultados dentro de la variación permisible especificada. El rango de carga admisible debe consignarse en cualquier certificado de verificación. Se recomienda no usar ninguna corrección en máquinas probadas y encontradas "exactas" dentro de los límites prescritos (ASTM E 4).

Se especifica que las correcciones de calibración no deben aplicarse a las cargas indicadas para obtener valores dentro del rango de exactitud requerida. Obviamente esto implica que la máquina debe ajustarse o modificarse hasta que la calibración demuestre que está dentro de los límites especificados. Las calibraciones subsecuentes que establecen el hecho de que los errores quedan dentro de los límites prescritos se llaman verificaciones.

El ajuste de máquinas que llevan una pesa equilibrante, o un péndulo se logra fácilmente cambiando el peso de estos elementos. Para las máquinas hidráulicas que llevan un resorte isoelástico, el ajuste se logra cambiando su largo efectivo, para aquellas que utilizan un calibrador eléctrico en el extremo del tubo Bourdon, el ajuste se logra en la conexión del tubo; para aquellas provistas de un calibrador de cargas simple en el tubo Bourdon, el ajuste debe hacerse en el enlace del calibrador.

Los cambios de temperatura no afectan la exactitud de una máquina mecánica, pero sí tienen un ligero efecto en todas las máquinas hidráulicas que utilizan un tubo Bourdon. Sin embargo, para los cambios de temperatura normales los errores así introducidos, por lo general, ascienden a menos de aproximadamente 0.1%.

3.10.- MEDICION DE LA LONGITUD

Con pocas excepciones notables, la operación consiste en tomar mediciones lineales cuantitativas se reduce en última instancia a la toma de lecturas en una escala graduada, y lo segundo consiste esencialmente en estimar la posición de alguna marca (línea, manecilla o similar) a lo largo de la escala. Para obtener una estimación exacta, es necesario eliminar el paralaje lo cual usualmente se hace de una de dos maneras, por "coincidencia tangencial" o el uso de principio de la "escala de espejo". En el primer método, se hace que la marca quede en el plano de las graduaciones escalares. Una forma de dispositivo de espejo se muestra en la Fig. 3.17. Cuando el alambre o manecilla parece coincidir con su imagen, la línea de visión por el alambre es perpendicular a la escala y al espejo.

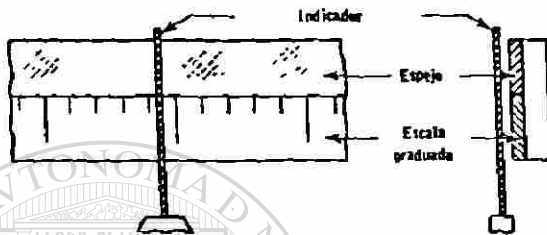


Figura 3.17.- Dispositivo de escala de espejo.

En el caso más simple, la posición de una marca a lo largo de una escala se obtiene estimando la distancia desde una graduación adyacente. La mínima lectura de una escala depende del espaciamiento de las marcas de graduación, y siempre que sea posible es deseable estimar décimos de divisiones. Para un mayor refinamiento al leer las fracciones de una división se puede usar un vernier.

Un vernier sencillo de lectura directa, quizá el tipo más común, se muestra en la figura 3.18. Una distancia igual a nueve divisiones de la escala se divide en diez divisiones iguales en el vernier. Entonces cada división del vernier equivale a nueve décimos de una división de la escala. Por lo tanto, si la primera marca del vernier después de la marca del cero o índice coincide con cualquier marca de la escala, el índice queda un décimo de división más allá de la marca escalar precedente; si la segunda marca del vernier coincide, el índice queda dos décimos de división más allá de la marca escalar precedente; etc.

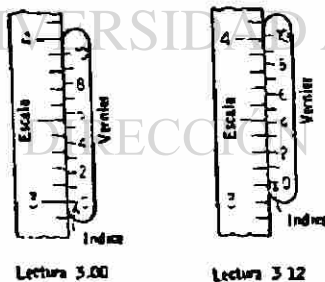


Figura 3.18.- Vernier directo

Existen vernieres para los diferentes sistemas métricos y con diferentes precisiones, los más modernos traen adaptado en el cursor una carátula de lectura (ver figura 3.19) ó sistema de display digital.

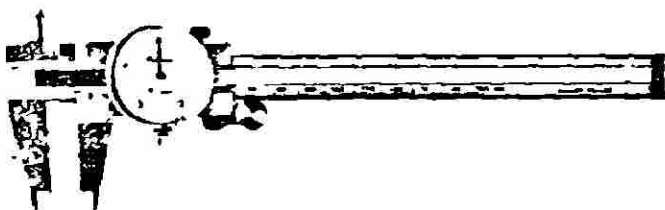


Figura 3.19.- Vernier con carátula integral

le
re
i-
u
ue
is-
áni
uti
les
ada

Puntas cruzadas para mediciones interiores

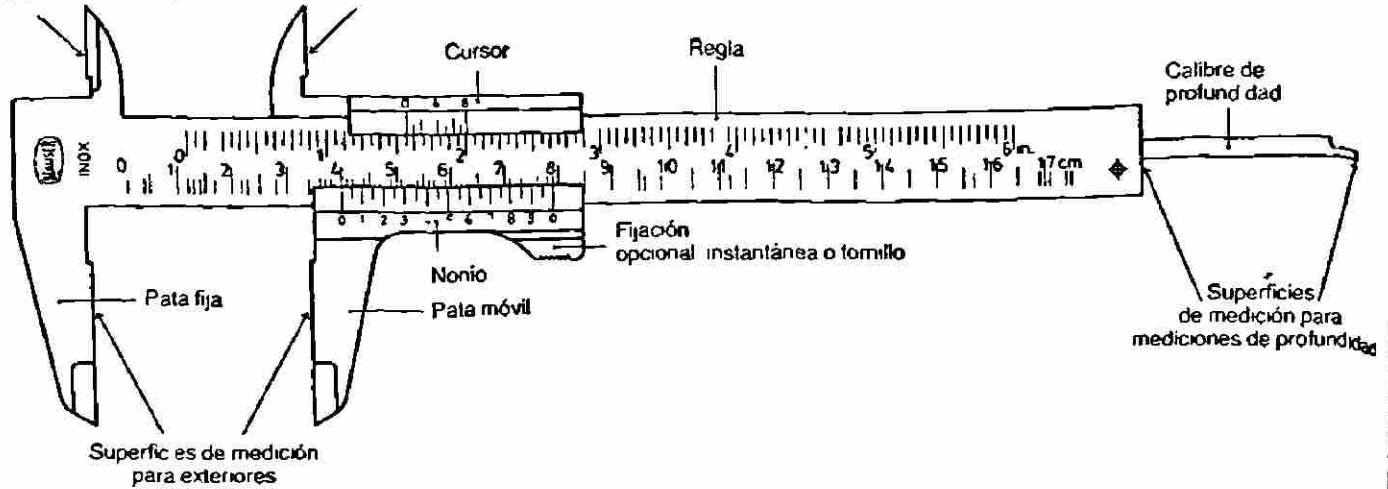


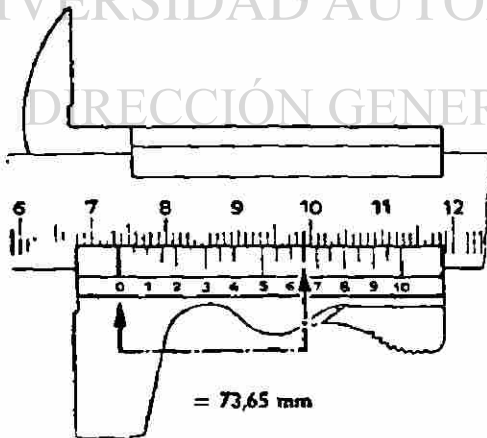
Figura 3.20.- Partes del Vernier.

En la figura 3.20, se muestran las diferentes partes que componen a un Vernier para medición de: interiores, exteriores y profundidad.

La medición de una distancia entre dos puntos puede hacerse directamente por comparación con una escala o cinta graduada de acero. La distancia entre las superficies opuestas de un objeto sólido comúnmente se determina mediante el uso de un calibre, la separación de las puntas del cual puede medirse directamente con una escala. Para distancias pequeñas, el uso directo de la escala graduada arroja resultados de exactitud limitada, porque la mínima lectura práctica de una escala simple vista es aproximadamente de 0.01 plg. Se recurre entonces a un micrómetro (es decir, un medidor de distancias pequeñas) para realizar mediciones más finas.

En seguida se muestran diferentes mediciones con los vernieres para diferentes amplitudes.

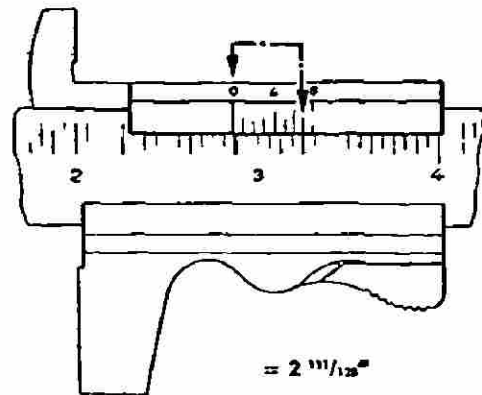
Nonio de 1/20 mm ampliado a 39 mm



- a) División principal:
La raya del nonio marcada con 0 se encuentra entre las rayas 73 y 74. Lectura = 73 mm
- b) División del nonio:
La primera raya sin numeración después de la raya marcada con 6 coincide con una raya de la división principal
Lectura = 6 + 1/20
Resultado total = 73 + 0.6 + 0.05 = 73.65 mm

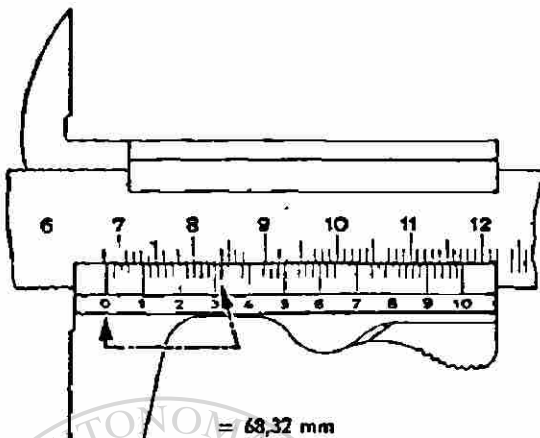
Nonio de 1/128"

Explicación de la graduación de la regla
Pulgada dividida en 16 partes
Se cuenta: 1/16", 2/16" = 1/8", 3/16", 4/16" = 1/4" etc.
En relación con el nonio los valores deben ser ampliados por 8.
Explicación del nonio
Nonio dividido en 8 partes, 1 parte por 1/8 más corta que la divisor la regla. Posibilidad de lectura 1/16" : 8 = 1/128"



- a) División principal:
La raya del nonio marcada con 0 se encuentra entre 2 3/16" y 2 1/2"
Lectura = 2 3/16"
- b) División del nonio:
La séptima raya coincide con una raya de la división principal
Lectura = 7/128"
Resultado total = 2 3/16" + 7/128" = 2 111/128"

Nonio de $1/50$ mm



= 68,32 mm

- a) División principal:
La raya del nonio marcada con 0 se encuentra entre las rayas 68 y 69. Lectura = 68 mm
- b) División del nonio:
La primera raya sin numeración después de la raya marcada con 3 coincide con una raya de la división principal
- Lectura = $\frac{3}{10} + \frac{1}{100}$
- Resultado total = $68 + 0,3 + 0,02$
= 68,32 mm

Nonio de $1/1000''$ ampliado a 1,225''

Explicación de la graduación de la regla

Pulgada dividida en 40 partes

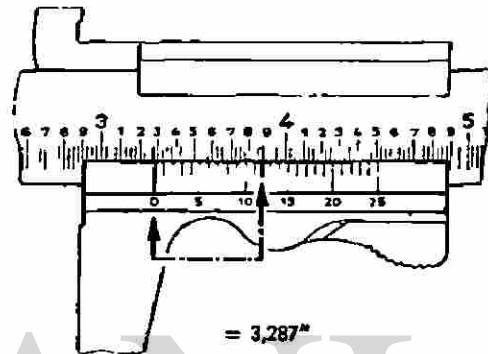
Se cuenta $\frac{25}{1000}''$, $\frac{50}{1000}''$, $\frac{75}{1000}''$ etc.

Expresión en decimales 0,025'' etc.

Para facilitar la lectura cada cuarta raya es más larga y prevista de números 1, 2 etc hasta 9. Las rayas más largas indican $\frac{1}{10} = \frac{100}{1000}''$, por lo tanto 0,100'', 0,200'' etc.

Explicación del nonio

El nonio tiene 25 partes. Cada quinta raya está numerada



= 3,287''

- a) División principal:
La raya del nonio marcada con 0 se encuentra entre 3,275'' y 3,300''; Lectura 3,275''
- b) División del nonio:
La duodécima raya coincide con una raya de la división principal
Lectura = $\frac{12}{1000}''$
- Resultado total = $3,275'' + 0,012''$
= 3,287''

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

3.11.- MICRÓMETROS

En principio, un micrómetro es simplemente un instrumento para obtener una indicación amplificada de las distancias pequeñas. En muchos micrómetros la distancia es, de hecho, recorrida por alguna parte móvil, y el movimiento resultante es amplificado y medido. La determinación de las distancias mayores que la amplitud de movimiento del dispositivo micrométrico requiere que las mediciones se hagan con respecto a algún punto fijo cuya posición se conozca exactamente.

Micrómetro de tornillo.— Quizá la forma más simple de micrómetro es el de tornillo. Una ilustración común del micrómetro de tornillo se encuentra en el calibrador micrométrico ordinario, mostrado en la figura 3.21. Ahí el tornillo generalmente lleva 40 cuerdas por pulgada (paso de la cuerda = 0.025 plg), y el cañón tiene 25 divisiones, de modo que $1/25$ de vuelta arroja un movimiento del husillo (y una lectura correspondiente) de 0.001 plg. Los micrómetros de tornillo más precisos se hacen graduados hasta 0.0001 plg, para ofrecer una mínima lectura práctica de 0.00001 plg, el rango de recorrido del husillo en los calibradores micrómetros es usualmente de no más de 1 plg, pero esos dispositivos son adquiribles para medir longitudes

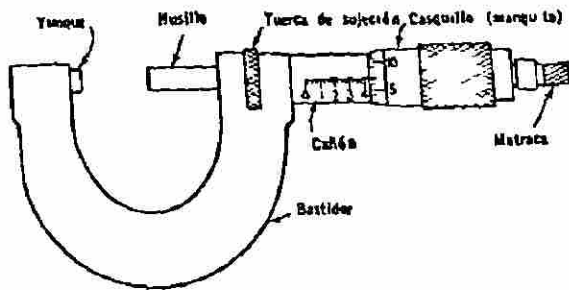


Figura 3.21.- Calibrador micrómetro de tornillo.

de 2 pies o más.

En muchos usos del micrómetro de tornillo, el extremo del husillo o tornillo debe entablar contacto con la pieza de referencia a la cual las mediciones se estén haciendo. Es necesario algún método para controlar la presión de contacto si han de obtenerse resultados consistentes. El calibrador micrómetro para mecánicos (véase las figuras 3.20 y 3.21), frecuentemente es tá equipado con un trinquete de resorte que se suelta con una presión de contacto definida.

Los últimos desarrollos de los micrómetros en la actualidad vienen integrados con un indicador de medida digital directo, como se muestra en la figura 3.22. En la figura 3.23 se muestran las diferentes partes de un micrómetro de arco con dos diferentes tipos de ejecuciones opcionales, mostrando los indicadores de medida digital integrados.



Figura 3.22.- Micrómetro con indicador de medida digital.

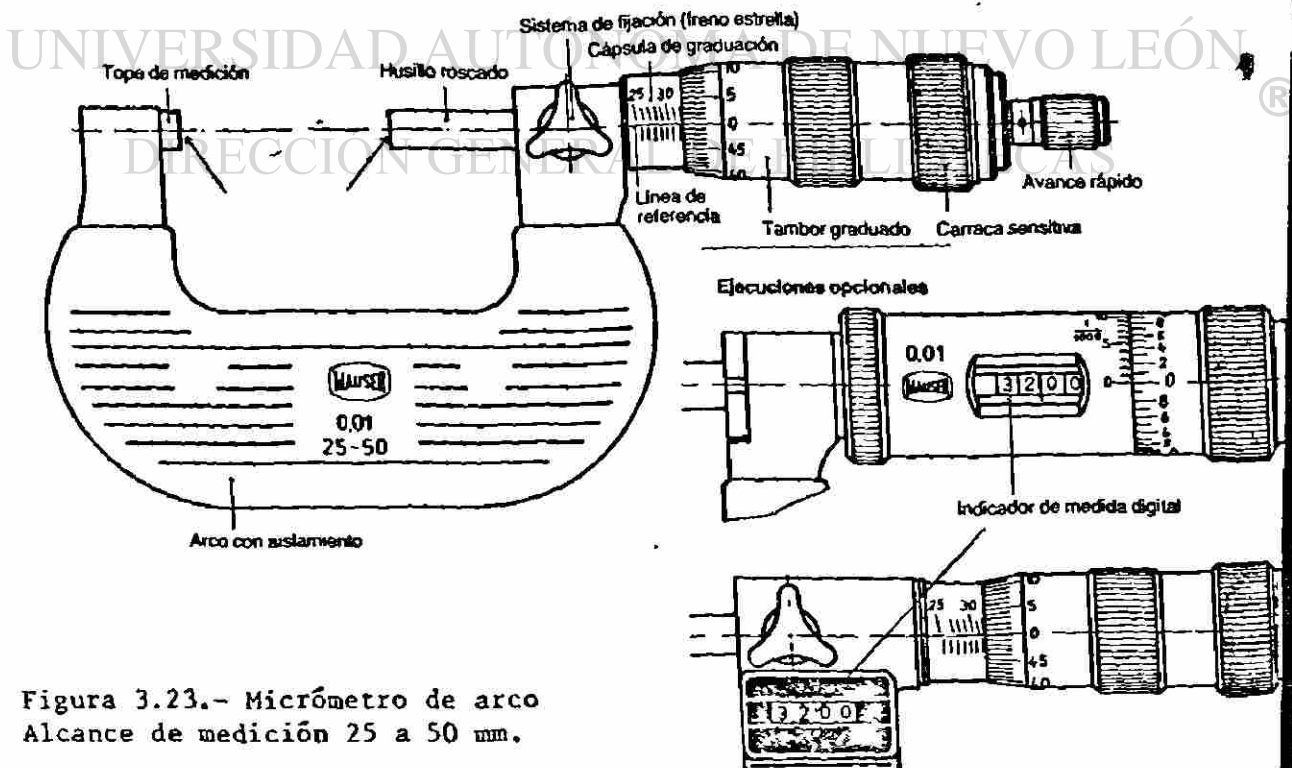


Figura 3.23.- Micrómetro de arco Alcance de medición 25 a 50 mm.

N d le Ex : La ay ref AU AL ind Se



Ejen infen la 41 Rest Medi

A continuación se muestran las diferentes formas en que se pueden hacer lecturas en los micrómetros.

Micrómetros con paso de rosca del husillo de 0,5 mm, lectura 0,01 mm

Explicación: Una vuelta del husillo varía el resultado de medición en 1 mm. Por lo tanto, se puede leer a primera vista 0,1 y 0,01 mm en forma continua de 0 - 100.

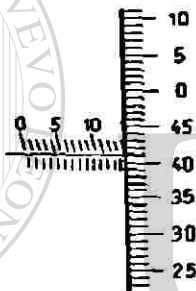
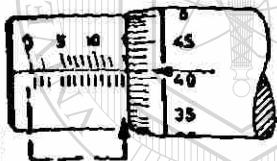
La capsula interior (capsula de división) está graduada con 2 x 25 mm. La graduación inferior, separada de la superior por la línea de referencia cero, está desplazada hacia la derecha en 0,5 mm.

Al leer el resultado de medición hay que tener en cuenta lo siguiente:

La raya marcada con 0 sigue inmediatamente la raya inferior, la cual indica 0,5, y luego la raya superior indicando 1 mm etc.

Se cuenta

raya marcada con 0	= 0 mm
primera raya inferior + 0,5	= 0,5 mm
primera raya superior	= 1,0 mm
raya intermedia inferior + 0,5	= 1,5 mm
etc.	



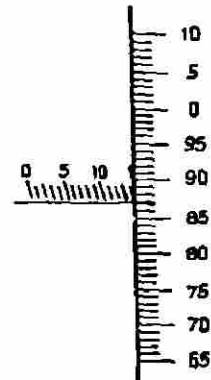
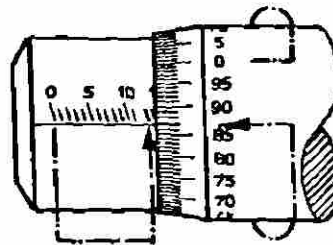
Ejemplo de lectura: El tambor exterior ha dejado pasar una raya inferior después de la 13ª raya superior, en el mismo tambor exterior la 41ª raya coincide con la línea cero.

Resultado:

Medida en la capsula de división 13 rayas superiores	= 13,00 mm
raya inferior visible	= 0,50 mm
medida en el tambor exterior 41 rayas	= 0,41 mm
Resultado de medición	13,91 mm

Micrómetros con paso de rosca del husillo de 1 mm, lectura 0,01 mm

Explicación: Una vuelta del husillo varía el resultado de medición en 1 mm. Por lo tanto, se puede leer a primera vista 0,1 y 0,01 mm en forma continua de 0 - 100.

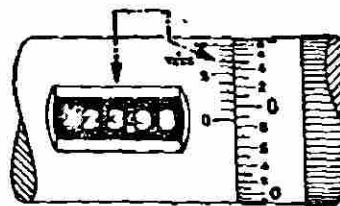


Ejemplo de lectura: El tambor avanzó hasta la raya 13ª de la capsula de división, en ese punto la raya 87ª del tambor graduado coincide con la línea de referencia cero.

Resultado: Medida en la capsula de división 13 rayas = 13,00 mm
 Medida en el tambor graduado 87 rayas = 0,87 mm
Resultado de medición 13,87 mm

Micrómetros con contador digital, paso de rosca del husillo de 0,5 mm, lectura 0,001 mm

Explicación: El resultado de la medición a partir de 0,01 mm se lee directamente en la ventanilla, la cual está cerrada con una lupa de aumento para la ampliación de los números. El anillo de división numerado adyacente en el cabezal de medición sólo tiene función de control. La lectura de 0,001 mm se realiza libre de paralaje con ayuda del nonio adicional.



Ejemplo de lectura:

Medida indicada en el contador	= 23,98 mm
Medida en el nonio la septima raya del nonio coincide con una raya del anillo de división	= 0,007 mm
Resultado de medición:	23,987 mm

Micrómetro de carátula.- Un tipo de micrómetro extensamente usado en la actualidad es el de carátula o "indicador de carátula". En estos instrumentos, el movimiento del husillo acciona una palanca o un engranaje, el cual a su vez acciona una manecilla en una carátula graduada. El indicador de carátula posee la gran ventaja de ser autoindicativo.

El mecanismo interno de una forma de indicador de carátula (Ames, Federal, Starrett), el cual utiliza trenes o cadenas de engranes, se muestra en la figura 3.24. Debe advertirse que en este dispositivo la cremallera propulsa un piñón, el cual a su vez acciona un engrane. Esto es lo contrario de la

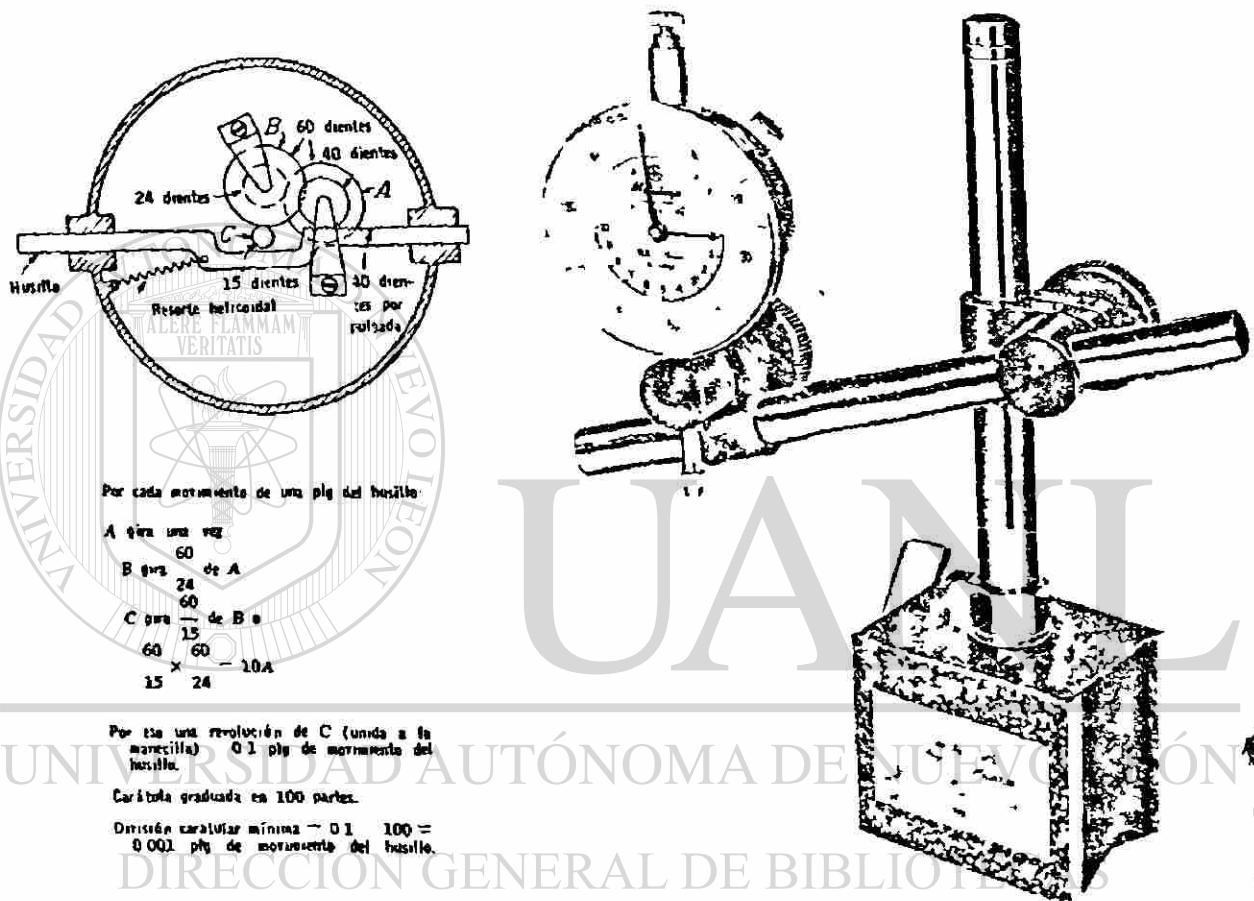


Figura 3.24.- Vista exterior e interior del micrómetro de carátula. Mecanismo típico de indicador de carátula. (Amex, Federla, Starrett).

operación ordinaria del tren de engranes y torna importante la fricción de apoyo de manera que, en las mejores calidades de indicadores de carátula, se usan rodamientos enjovados. En el indicador de carátula ordinario, la división más pequeña de la carátula corresponde a un movimiento del husillo de 0.001 plg, que arroja una mínima lectura estimada de 0.001 plg. Sin embargo se pueden obtener indicadores graduados de 0.0001 plg. Para un indicador fijado en posición, el movimiento del husillo se usa para medir una deformación u otro valor como el grueso, la altura, etc. Estos indicadores se construyen para varios rangos de movimiento del husillo, siendo una amplitud común 0.2 plg; sin embargo, amplitudes de 1/2 o hasta 1 plg, son adquiribles. Sobre cualquier amplitud considerable, la mayoría de los indicadores de este

tipo son confiables hasta una o dos divisiones de la carátula. Sobre una amplitud restringida, sin embargo, o por calibración puede lograrse que arrojen mediciones exactas hasta un valor correspondientes quizás a un quinto de división.

3.12.- MEDICION DEL CAMBIO DE LONGITUD: DEFORMIMETROS MECANICOS.

Un deformímetro ha sido definido como cualquier instrumento que mida la deformación. La deformación puede ser un cambio de longitud resultante de las deformaciones lineales, puede ser la deflexión de viga, o puede ser una torsión angular como en una flecha.

La mayoría de los instrumentos para medir deformaciones lineales se aplican a la superficie de la pieza de ensayo —deformímetros de superficie. Para medir las fatigas internas, unos cuantos instrumentos de lectura a distancia, han sido desarrollados —ocasionalmente llamados "telémetros", o "deformímetros". La mayoría de los deformímetros permanecen fijados a la probeta durante el curso de un ensayo, (ver figura 3.25) pero ciertos instrumentos portátiles, algunos llamados "calibradores de deformación", pueden ser retirados de la probeta y aplicados nuevamente sólo cuando se ha de realizar una observación de la deformación. Dependiendo si ha de medir deformaciones por tensión o compresión, un instrumento puede ser denominado extensómetro o compresómetro.

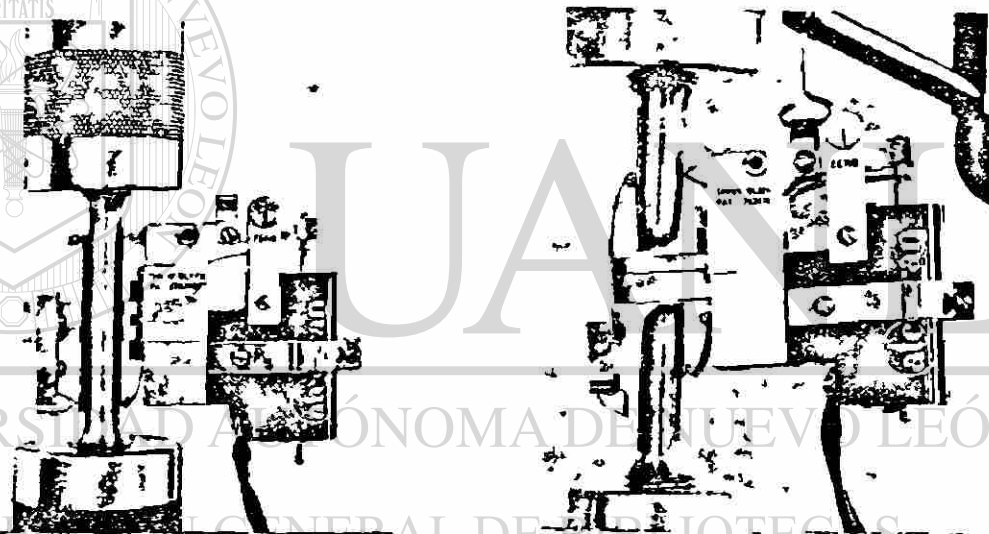


Figura 3.25.- Deformímetro mecánico eléctrico

Los puntos entre los cuales se miden las deformaciones se llaman *puntos de calibración* y la distancia inicial o nominal entre los puntos de calibración es llamada *distancia de calibración o longitud de calibración*. La medición de la deformación total no depende de la longitud de calibración si se usa un dispositivo de tipo micrométrico.

3.13.- REGISTRADORAS DE ESFUERZOS-DEFORMACIONES.

Algunas máquinas de ensayo están equipadas con grabadoras autográficas de esfuerzo y deformación, las cuales automáticamente trazan un diagrama de esfuerzo y deformación. En un tipo, el deformímetro eléctrico fijado a la probeta lleva una palanca de acción por deformación que mueve un núcleo dentro de la bobina eléctrica de un transformador en miniatura. El movimiento del núcleo es transmitido electrónicamente a un transformador similar que acciona un servomotor que hace girar el cilindro de la grabadora. La aguja

accionada por la carga y el cilindro accionado por la deformación controlan los dos movimientos necesarios para trazar el diagrama de esfuerzo y deformación. Ver figura 3.26.

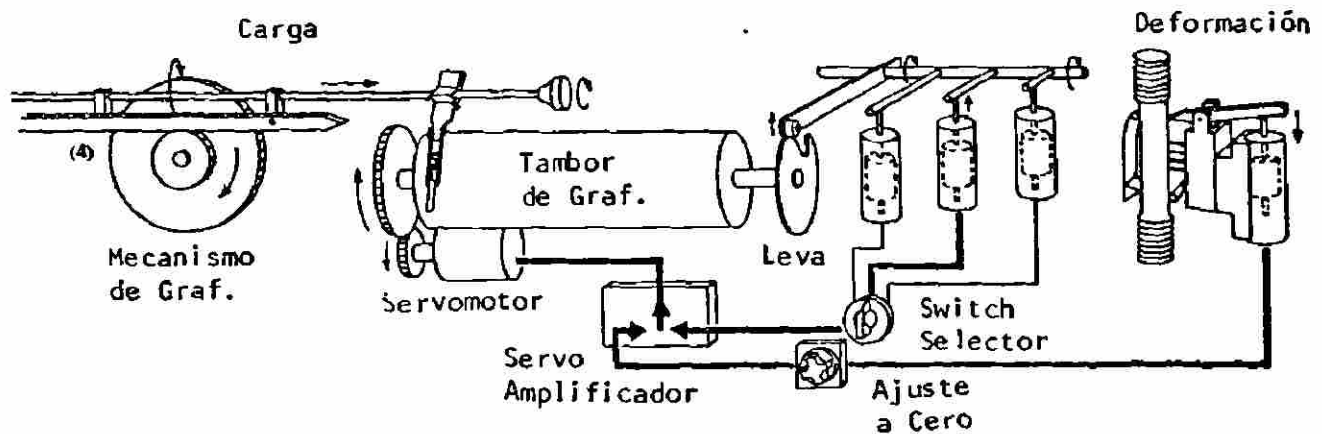


Figura 3.26.- Circuito del graficador de esfuerzo-deformación.

3.14.- DEFORMIMETROS DE LECTURA A DISTANCIA

Para muchos propósitos, los deformímetros de lectura a distancia son deseables, y aun necesarios. Por ejemplo, cuando un gran número de deformímetros están ubicados en diferentes partes de una estructura de ensayo, es conveniente tomar lecturas en algún instrumento central. Cuando las deformaciones hayan de observarse hasta el punto de ruptura, bajo cargas pesadas, es prudente que los observadores permanezcan a una distancia que ofrezca seguridad. Cuando hayan de determinarse deformaciones en una posición inaccesible, como en el interior de una presa de concreto o el interior de un recipiente presionizado, un instrumento de lectura a distancia es necesario. Cuando las deformaciones debidas a esfuerzos rápidamente fluctuantes hayan de medirse, un deformímetro de lectura a distancia conectado a un dispositivo de grabación puede usarse. Muchos de los deformímetros de lectura a distancia son del tipo de resistencia eléctrica.

3.15.- LA RELACION DE CAMBIO ENTRE DEFORMACION Y RESISTENCIA.

Lord Kelvin descubrió que la resistencia eléctrica de un alambre dado es una función de la deformación a la cual sea sometido, las deformaciones por tensión usualmente aumentando la resistencia y aquéllas por compresión disminuyéndola. Para la labor de calibración de la deformación es común expresar el cambio de deformación en función del cambio de resistencia, dando una razón denominada sensibilidad a la deformación o factor de calibración K . Este factor de calibración $K = \Delta R/R \div \Delta L/L$, donde ΔR representa el cambio de resistencia en la resistencia de calibración total R , y ΔL es el correspondiente cambio de longitud en el largo total L del conductor. La deformación ϵ en milicropulgadas por pulgada = $\Delta R/RK$.

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

Los diversos puntos a considerar en la selección de un alambre de resistencia, según el orden de su importancia son (1) el factor de calibración, -- mientras más alto mejor; (2) la resistencia, mientras más alta mejor; (3) el coeficiente de temperatura de resistencia, mientras más bajo mejor, de modo --

TABLA 3.1.- ALAMBRES DE RESISTENCIA

Comercial alambre	Composición	Sensibilidad a la deformación	Coefficiente de temperatura de resistencia
Moníquel	80% Ni, 20% Cr	2.0	Alto
Galina	4% Ni; 12% Mn; 84% Cu	0.47	Muy bajo
Advance, Copel, o Constantana	4 % Ni, 55% Cu	2.0	Despreciable
Isoelástico	36% Ni; 8% Cr; 0.5% Mo	3.5	Alto
Níquel	Ni	-12.1	Inestable

que el calibrador no sea demasiado sensible a la temperatura; (4) el coeficiente de expansión lineal, mientras más bajo mejor; (5) el comportamiento termoeléctrico, o la tendencia a generar una f.e.m. térmica en las conexiones, mientras más baja mejor; (6) las propiedades físicas, el alambre blando (fácil de conformar y soldar) es preferible al duro y tenaz; y (7) el comportamiento de histéresis, indeseable.

De las clases de alambre mostradas en la Tabla 3.1, el alambre del tipo Advance es preferido para la mayoría de los calibradores pues posee un factor de calibración suficientemente bueno, un coeficiente de temperatura de resistencia despreciable, y se trabaja fácilmente. Para mediciones dinámicas, cuando un alto coeficiente de temperatura de resistencia no es de mucha importancia, es deseable usar alambre isoelástico debido a su alta sensibilidad a la deformación. Esto arroja una mayor productividad, requiere menos amplificación para los instrumentos de medición, y se traduce en un costo de instrumentación menor. Algunos calibradores se hacen grabando delgadas láminas de hojas metálicas para producir la configuración equivalente de los calibradores de alambre.

3.16.- CALIBRADORES INTEGRALES DE ALAMBRE DE RESISTENCIA

Un calibrador usual y comercial de alambre de resistencia usado en los Estados Unidos es fabricado por la Baldwin-Lima-Hamilton Corp. y es conocido como calibrador SR-4. Algunos de los tipos comunes se muestran en la figura 3.27. En muchos casos los elementos sensitivos se componen de un tramo continuo de alambre doblado para formar un serpentín de modo que todas las vueltas queden en el mismo plano. Luego este alambre es cementado a un material portador de papel u otro tipo. En otros casos los elementos sensitivos se hacen con un tramo continuo de alambre envuelto en un patrón helicoidal alrededor de un núcleo delgado y plano de papel. Este elemento sensitivo se coloca luego entre dos cubiertas de papel para protección. Los tramos de calibración varían desde 1/8 a 8 plg o más, pero esta amplitud no es adquirible en todos los tipos de calibradores.

Las ventajas sobresalientes de los calibradores integrales de alambre de resistencia eléctrico, comparados con los calibradores mecánicos, son:

- 1.- Facilidad de instalación.
- 2.- Exactitud relativamente alta.
- 3.- Sensibilidad ajustable (cambiando el incremento del amplificador -- usado).
- 4.- Indicación a distancia (tornando posible la observación de las deformaciones en puntos distantes e inaccesibles).
- 5.- Tramos de calibración muy cortos.

- 6.- Medición de la deformación en la superficie del miembro de ensayo.
 7.- Reacción a la deformación dinámica.

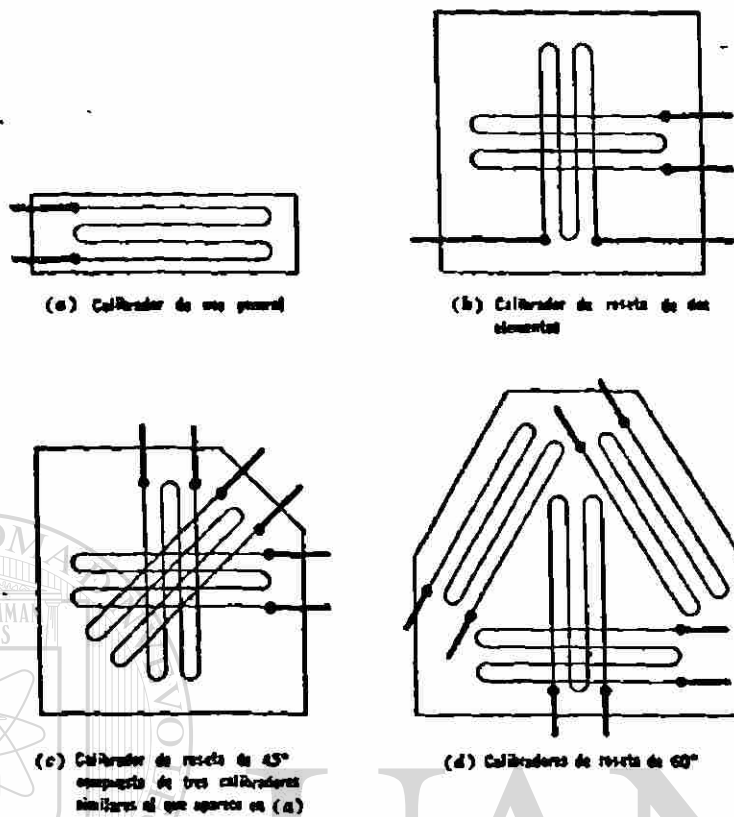


Figura 3.27.- Tipos principales de calibradores con alambres de resistencia eléctrica.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

IV.- ESTANDARES DE PRUEBA

Estos son las condiciones en que se realizarán los ensayos; procurando ~~semej~~ lo más posible, las condiciones reales de trabajo de la pieza o siguiendo una serie de normas estandarizadas.

En los ensayos intervienen tres factores a saber: *medio ambiente, probeta, máquina ensayadora*; en donde se controlará diversas condiciones, que se enumeran a continuación:

- A.- *Medio ambiente*.- Se controlará: temperatura, presión, humedad, con taminación.
- B.- *Probeta*.- Se controlará: dimensiones, superficie, forma, material, condición interna.
- C.- *Máquina ensayadora*.- Se controlará: precisión, capacidad de carga, velocidad de aplicación de carga, adaptabilidad de accesorios, sen sibilidad, móvil o fija, calibración, forma de ensayar.

Fijado lo anterior y aunado a la capacidad de la persona que realice - el ensayo se obtendrán óptimos resultados en cuanto a la característica mecánica que deseamos medir.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

V.- ENSAYO ESTÁTICO DE TENSIÓN

5.1.- INTRODUCCION

El término *ensayo de tensión*, 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 tensión simple, la operación se realiza sujetando los extremos opuestos de la pieza de material y separándolos, produciendo un alargamiento.

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.

Cuando se realizan debidamente en probetas adecuadas, este ensayo, entre todos los demás, se acerca más a la evaluación de las propiedades mecánicas fundamentales con el diseño como finalidad, aunque debe advertirse -- que las propiedades tensionales no son necesariamente suficientes para permitir la predicción del desempeño de los materiales bajo todas las condiciones de carga. Cuando se emplean métodos de ensayo normales, los resultados constituyen criterios adecuados de la calidad de los materiales por medio de los cuales se ha logrado acumular suficiente experiencia para proveer la certeza de que un nivel de calidad dado significa un comportamiento satisfactorio en servicio.

Los ensayos apropiadamente conducidos en partes representativas pueden ser valiosos para indicar directamente el desempeño de tales partes bajo -- cargas en servicio. Los ensayos adecuados de probetas o partes montadas so metidas a tratamientos específicos pueden ser útiles para evaluar cuantitativamente el efecto de esos tratamientos.

El uso de los ensayos de tensión no está limitado a la determinación de las propiedades del material en forma de probetas preparadas (conformadas). Los ensayos de tamaño completo de los materiales manufacturados, las piezas fabricadas, y los miembros estructurales se realizan comúnmente. La variedad de las piezas elaboradas y los miembros de tamaño real, a los cuales los ensayos de tensión pueden aplicarse, es muy amplia; por ejemplo: -- tramos seleccionados de alambre, varilla, tubería, barras de refuerzo, cables de alambre, barras tensoras, cadena para anclas, ganchos para anclas, articulaciones remachadas y soldadas. ®

5.2.- PROBETAS DE TENSIÓN

Las probetas para ensayos de tensión se hacen en una variedad de formas. La sección transversal de la probeta es redonda, cuadrada, o rectangular. Para los metales, si una pieza de suficiente grueso puede obtenerse de tal manera que pueda ser fácilmente maquinada, se usa comúnmente una probeta redonda; para láminas y placas en almacenamiento usualmente se emplea una probeta plana. La porción central del tramo es usualmente (aunque no siempre), de sección menor que los extremos para provocar que la falla ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por los dispositivos de sujeción. La nomenclatura típica para las probetas de tensión se indica en la Figura 5.1. El tramo de calibración es el tramo marcado sobre el cual se toman las mediciones de alargamiento.

La forma de los extremos debe ser adecuada al material, y tal, que -- ajuste debidamente en el dispositivo de sujeción a emplear. Los extremos de las probetas redondas pueden ser simples, cabeceados, o roscados. Los extremos simples deben ser suficientemente largos para adaptarse a algún ti

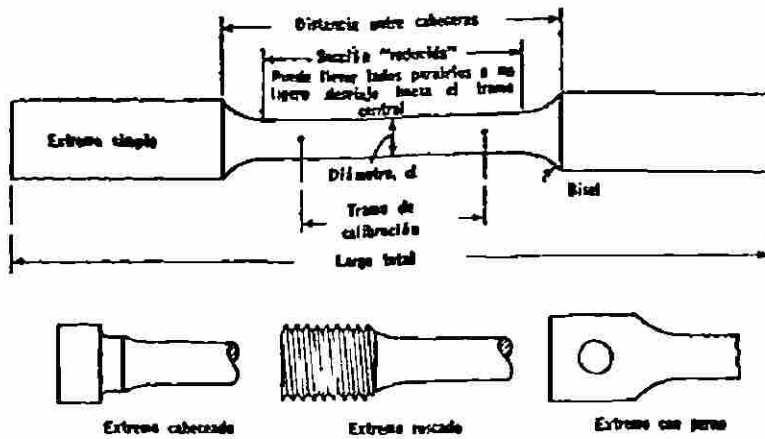


Figura 5.1.- Probeta típica de tensión.

po de mordazas cuneiformes. Las probetas rectangulares generalmente se hacen con extremos simples, aunque éstos ocasionalmente pueden ser cabeceados o contener un orificio para aplicar presión con perno.

La transición del extremo a la sección reducida debe hacerse por medio de un bisel adecuado para reducir la concentración del esfuerzo causada por el cambio brusco de sección; para los materiales quebradizos, esto es particularmente importante.

Una probeta debe ser simétrica con respecto a un eje longitudinal a toda su longitud, para evitar la flexión durante la aplicación de la carga. La figura 5.2, ilustra los defectos comunes en la preparación de probetas planas.

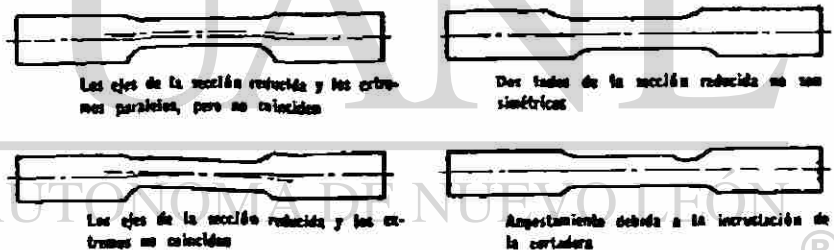


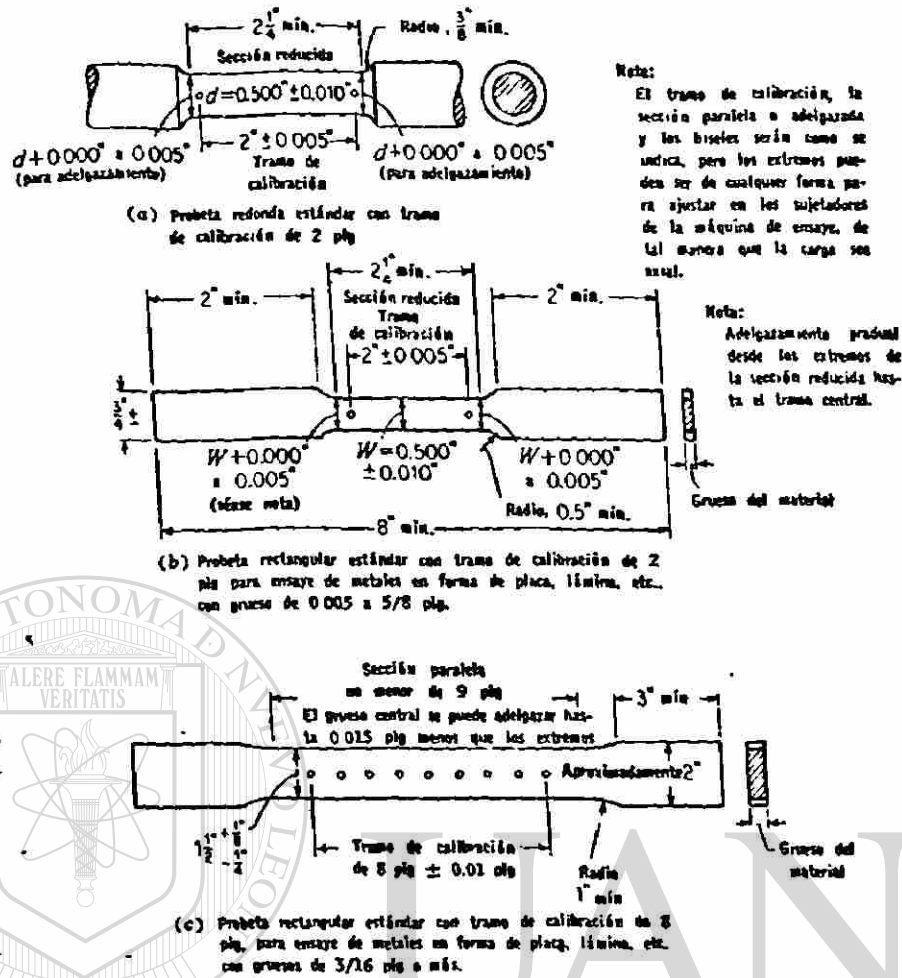
Figura 5.2.- Defectos comunes de las probetas planas.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

5.3.- PROBETAS ESTANDAR

Las dimensiones de varias piezas de ensayo normalizadas, con las tolerancias permisibles se dan en la Figura 5.3.

La probeta de tensión redonda para metales dúctiles ASTM Estándar mostrada en figura 5.3a frecuentemente se hace de 0.505 plg. de diámetro para tener una área seccional exactamente de 0.200 plg². Pueden utilizarse probetas más pequeñas, siempre y cuando el tramo de calibración sea de cuatro veces el diámetro de la probeta. Si se hace un adelgazamiento, la diferencia de diámetro entre los extremos y el centro del tramo de calibración, no debe exceder de 1% aproximadamente. Las probetas tomadas de placa y secciones planas se muestran en las figuras 5.3b y 5.3c. Las ligeras variantes de estos tipos de probetas pueden encontrarse en varias especificaciones particulares.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 Figura 5.3.- Formas normalizadas según la ASTM de probetas para ensayos de tensión de metal -

(dúctil) (ASTM E 8).

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La forma de la probeta ASTM Estándar para el hierro fundido se muestra en la figura 5.4. Se usan tres tamaños, cuyas principales dimensiones se muestran en la figura

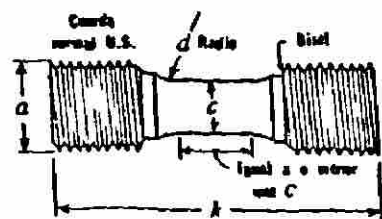


Figura 5.4.- Probeta redonda para ensayos de tensión ASTM Estándar para hierro fundido (ASTM E 8, A 48).

Dimensiones de probetas, plg			
Dimensión	Probeta A	Probeta B	Probeta C
a	$\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{7}{8}$
c	0.500	0.750	1.25
d, mín.	1.00	1.00	2.00
k, mín.	3.75	4.00	$6\frac{3}{8}$

La probeta ASTM Estándar para matrices metálicas fundidas es de 0.25 plg. de diámetro y lleva una barra de 3 plg. de radio y un tramo de calibración de 2 plg. Por lo demás, es semejante a la probeta mostrada en la figura 5.3a.

Las probetas provenientes de barras, varillas o alambres, usualmente tienen el área seccional completa del producto que representan. Cuando resulta práctico, el tramo de calibración debe tener cuatro veces el diámetro de la probeta, aunque para tamaños de 1/4 plg. y menores, se usa frecuentemente un tramo de calibración de 10 plg. Los ensayos de tensión de cable de alambre se realizan sobre tramos cortados de cable comercial. Los extremos se sujetan en moldes especiales rellenos con cinc, que haya sido vertido en estado de derretimiento alrededor de los extremos aplanados del cable, (véase la figura 5.5).



Alambres en cinc

Figura 5.5.- Molde para cable de alambre.

Los tubos pequeños (de 1 plg. o menos) se ensayan a pleno diámetro. Se insertan tapones metálicos de ajuste apretado, en los extremos, hasta una profundidad suficiente para permitir que los sujetadores abracen la probeta sin causar el colapso del tubo. Los tapones no deben extenderse hasta aquella parte de la probeta sobre la cual se mide la longitud (ASTM E 8).

Para los tubos mayores que no pueden enyarse a plena sección, las probetas longitudinales - usualmente se cortan, aunque las probetas transversales son ocasionalmente permitidas (ASTM A 106).

5.4.- DISPOSITIVOS DE MONTAJE

La función del dispositivo de montaje es transmitir la carga desde los puentes de la máquina de ensaye hasta la probeta. El requerimiento esencial del dispositivo de montaje es que la carga sea transmitida axialmente a la probeta; esto implica que los centros de acción de las mordazas estén alineados al principio y durante el progreso del ensayo, y que no se introduzca ninguna flexión o torsión por la acción, o una falla en la acción de las mordazas. Además, por supuesto, el dispositivo debe estar adecuadamente diseñado para soportar las cargas y no debe aflojarse durante un ensayo.

Las mordazas, ilustradas en la figura 5.6, son un tipo común de dispositivo de montaje. Resultan satisfactorias para ensayos comerciales de probetas de metal dúctil de longitud adecuada, porque una ligera flexión o torsión no parece afectar la resistencia y el alargamiento de los materiales dúctiles. No puede hacerse ningún ajuste para impedir la flexión al usar mordazas de esta clase. Las mordazas del tipo de cuña son usualmente satisfactorias para usarse con materiales quebradizos, porque la acción presionante de las mordazas tiende a causar la falla en o cerca de las mordazas. Las caras de las mordazas que tocan la probeta se hacen ásperas o estriadas para reducir el deslizamiento; para las probetas planas las caras de las mordazas son también planas, y para las probetas cilíndricas, las mordazas llevan una ranura en V de tamaño adecuado. El ajuste se hace por medio de tablillas o alineadores, de modo que el eje de la probeta coincida con el centro de los puentes de la máquina de ensaye y las mordazas queden apropiadamente ubicadas en la cabecera. Las posiciones correctas e incorrectas de los sujetadores se ilustran en la figura 5.7.

Donde resulta necesario asegurar una alineación más exacta, lo que es muy importante en ensayos de materiales quebradizos, algún tipo de articulación o unión universal se usa en los dados en ambos extremos; usualmente es

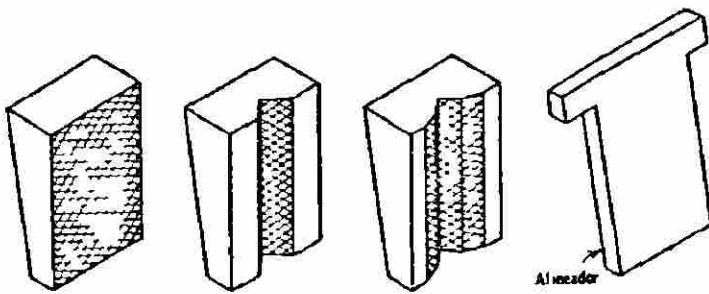
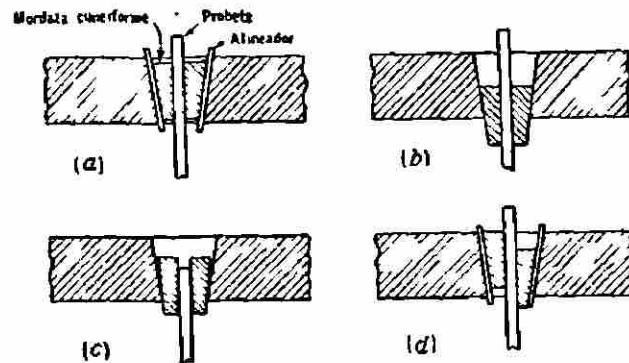


Figura 5.6.- Mordazas cuneiformes para ensayos de tensión de metales.

Figura 5.7.- Posición correcta (a) e incorrecta (b, c y d) de las mordazas cuneiformes.



un arreglo de asentamiento esférico o de perno (denominado enlace "autoalineante"). Un dibujo esquemático de un dispositivo que utiliza cojinetes esféricamente asentados en los cabezales de la máquina de ensaye, se muestra en la figura 5.8 (ASTM E 8). La distancia entre los cojinetes esféricos debe ser tan grande como sea posible. Esos dispositivos no siempre son completamente efectivos; obviamente, los asientos esféricos no se ajustan fácilmente si no están debidamente lubricados, y pueden "atascarse" con cargas altas independientemente de la lubricación.

Diferentes tipos de conectores para sujetar rápida y adecuadamente probetas; cilíndricos con extremos roscados o cabeceados, se ilustran en la figura 5.9. Para láminas y alambres están los sujetadores templin (figura 5.10) y los sujetadores para alambre se muestran en la figura 5.11.

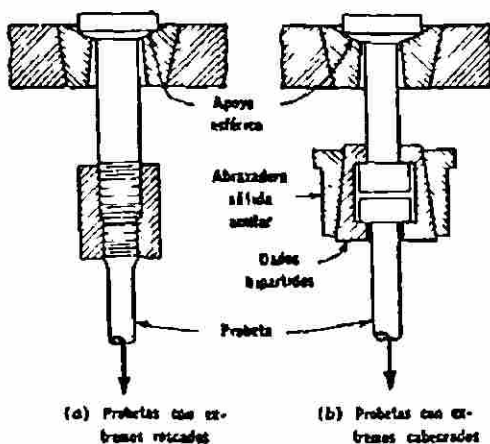


Figura 5.8.- Soportes esféricamente asentados (ASTM E 8).

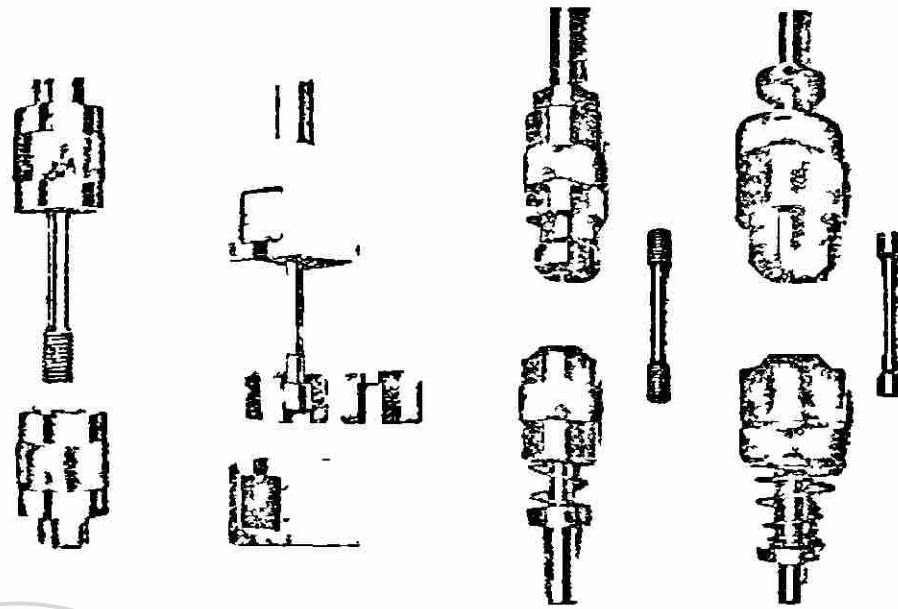


Figura 5.9.- Diferentes tipos de conectores entre probeta y aditamento.

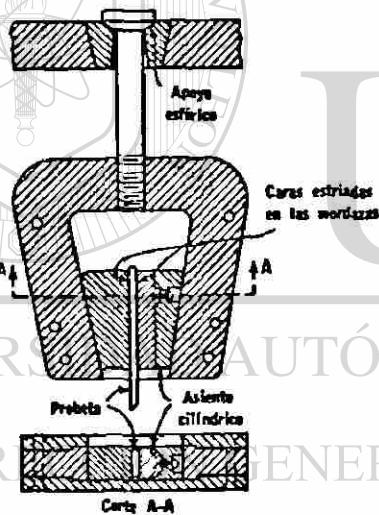


Figura 5.10.- Soportes Templin.

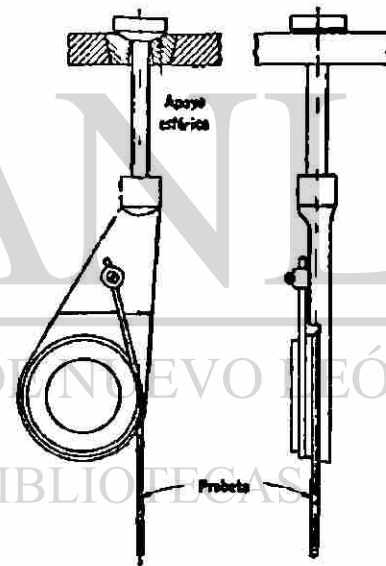


Figura 5.11.- Dispositivo de control para el ensayo de alambre.

5.5.- REALIZACION DE ENSAYOS

Previamente a la aplicación de cargas a una probeta, sus dimensiones se miden. Ocasionalmente, se puede requerir el peso unitario, requiriendo determinaciones de peso y volumen. Las mediciones lineales se hacen con báscula, separadores y escala, o micrómetros, dependiendo de la dimensión a determinar y la precisión a alcanzar. En el caso más simple, solamente el diámetro o el ancho y el grueso de la sección crítica se miden. Las dimensiones seccionales transversales de las probetas metálicas deben ordinariamente tomarse con una precisión de aproximadamente 0.5%. Excepto para diámetros pequeños y láminas delgadas, las mediciones hasta 0.001 plg. satisfacen este -

requerimiento. En las probetas cilíndricas, las mediciones deben hacerse so
bre los diámetros cuando menos, mutuamente perpendiculares.

Si han de tomarse mediciones de alargamiento, el tramo de calibración -
es marcado o trazado. Sobre probetas de metal dúctil de tamaño ordinario, -
esto se hace con un punzón de centros; pero sobre láminas delgadas, o mate-
rial quebradizo, deben usarse rayas finas. En cualquier caso, las marcas de
ben ser muy ligeras para no dañar el metal, influyendo así en la ruptura. -
Cuando se debe realizar mucho trabajo, se usa ocasionalmente una perforadora
con punzón doble o múltiple. Resulta conveniente poner las probetas redon-
das en un bloque en forma de V al marcar los puntos de calibración. Cuando
se usa un tramo de calibración de 8 plg. en probetas de acero, las marcas se
hacen con 1 plg. de separación.

Antes de usar un máquina de ensaye por primera vez, el operador debe fa-
miliarizarse con la máquina, sus controles, sus velocidades, la acción del -
mecanismo de carga y el valor de las graduaciones del indicador de carga. -
Antes de poner una probeta en una máquina debe comprobarse que el dispositi-
vo de carga de la máquina dé la indicación de carga cero y se hagan los ajus
tes si fuere necesario.

Quando se coloca una probeta en una máquina, el dispositivo de sujeción
debe revisarse para cerciorarse de que funcione debidamente. Si se usan to-
pes o guarniciones para impedir que las mordazas se boten de los dados al --
ocurrir una falla súbita, los topes deben fijarse en posición. La probeta
debe colocarse de tal manera que resulte conveniente para hacer observacio-
nes en las líneas de calibración.

Si se ha de utilizar un extensómetro, el valor de las divisiones del in-
dicador y la relación de multiplicación deben determinarse antes de colocar
el extensómetro sobre la probeta. Debe colocársele centralmente sobre la --
probeta y alinearse debidamente. Cuando se usan extensómetros del tipo de -
collares, el eje de la probeta y el del extensómetro deben hacerse coincidir.
Después de sujetársele en posición la barra espaciadora (en caso de existir)
se retira y los ajustes se revisan. Frecuentemente una pequeña carga ini-
cial se coloca sobre la probeta antes de poner el extensómetro en posición -
de cero.

La velocidad del ensaye no debe ser mayor que aquella a la cual las lec-
turas de carga y otras pueden tomarse con el grado de exactitud deseado, y -
si la velocidad de ensaye ejerce una influencia apreciable sobre las propie-
dades del material, el ritmo de deformación de la pieza de ensayo debe que-
dar dentro de límites definidos, aunque los estudios han indicado que pueden
ser razonablemente amplios. ®

Con frecuencia la carga se aplica rápidamente a cualquier velocidad con-
veniente, hasta la mitad de la resistencia a la cedencia o el punto de ceden-
cia especificados, o hasta una cuarta parte de la resistencia a la tensión -
especificada, cualquiera que sea menor. Arriba de este punto la carga es --
aplicada según la velocidad especificada.

Sobre el punto de cedencia de los metales dúctiles, se permiten veloci-
dades más altas porque la variación de la velocidad no parece tener tanto --
efecto sobre la resistencia última, como sobre la resistencia a la cedencia;
el alargamiento, sin embargo, es sensitivo a la variación de la velocidad a
altas velocidades de carga.

Para ensayos que involucren mediciones extensométricas la carga se apli-
ca ya sea en incrementos, la carga y la deformación se leen al final de cada
incremento, o se aplica continuamente a una velocidad lenta (generalmente a
velocidades del puente, que varían desde 0.01 hasta 0.05 plg/min), y la car-
ga y la deformación se observan simultáneamente. El segundo método se concí-
dera preferible.

Después de que la probeta ha fallado, se le retira de la máquina de ensayo, y si se requieren valores de alargamiento, los extremos rotos de una probeta se juntan y se mide la distancia entre los puntos de referencia con una escala o un separador hasta el 0.01 plg. más cercano. El diámetro de la sección más pequeña se puede calibrar preferiblemente con un separador microscópico equipado con un huso puntiagudo y un yunque o tas, para determinar la reducción del área. Debe emplearse el mismo grado de precisión que se ha usado para medir el diámetro original.

5.6.- OBSERVACIONES DE ENSAYO

Las observaciones hechas durante un ensayo se registran de alguna manera apropiada, separada, antes de iniciar el ensayo. La identificación de las marcas y la información similar pertinente se anotan. Las dimensiones original y final, así como las cargas críticas, se registran al observarse. Si las mediciones extensométricas se hacen manualmente, se lleva una bitácora de las cargas y las deformaciones correspondientes.

Algunas máquinas de ensayo están equipadas con un aditamento automático para trazar el diagrama de esfuerzo y deformación. Se anotan, la característica de la fractura y la presencia de algunos defectos. También se anotan las bitácoras, las condiciones del ensayo, particularmente el tipo del equipo usado y la rapidez del ensayo. Las deformaciones, esfuerzos, porcentaje de elongación y reducción del área se calculan sobre la base de las dimensiones originales. Una bitácora y un diagrama esfuerzo-deformación preparadas con ellos, se muestran en la figura 5.12. La bitácora contiene casi toda la información pertinente de un ensayo de tensión.

Las propiedades que se pueden determinar con una prueba de tensión se explican en seguida:

Límite proporcional.- Para muchos materiales estructurales se ha encontrado que la parte inicial de la gráfica esfuerzo-deformación puede ser aproximada por la recta OP de la figuras 5.13 y 5.16. En este intervalo, el esfuerzo y la deformación son proporcionales entre sí, de manera que cualquier incremento en esfuerzo resultará de un aumento proporcional a la deformación. El esfuerzo en el límite del punto proporcional P se conoce como *límite de proporcionalidad*.

Límite elástico.- Si se retira una pequeña parte de la carga aplicada sobre la pieza a prueba, la aguja del extensómetro regresará a cero, indicando que la deformación producida por la carga es elástica. Si la carga se aumenta continuamente, se libera después de cada incremento y se revisa el extensómetro, entonces se alcanzará un punto en que la aguja no regresará a cero. Esto indica que ahora el material tiene una deformación permanente; por tanto, el límite elástico puede definirse como el esfuerzo mínimo al que ocurre la primera deformación permanente. Para la mayoría de los materiales estructurales, el límite elástico tiene casi el mismo valor numérico que el límite de proporcionalidad.

Punto de cedencia o fluencia.- Conforme la carga en la pieza a prueba aumenta más allá del límite elástico, se alcanza un esfuerzo al cual el material continúa deformándose sin que haya incremento de la carga. El esfuerzo en el punto Y de la figura 5.13 se conoce como *punto de cedencia o fluencia*. Este fenómeno ocurre sólo en ciertos materiales dúctiles. El esfuerzo puede disminuir realmente por un momento, resultando en un punto de cedencia superior y en otro inferior. Como el punto de cedencia es relativamente fácil de determinar y la deformación permanente es pequeña hasta el punto de cedencia, constituye un valor muy importante de considerar en el diseño de muchas partes para maquinaria cuya utilidad se afectaría si ocurriera una gran deformación permanente. Esto es válido sólo para materiales que exhiban un

ENSAYO DE TENSION DE METALES

BITÁCORA

Material	Aceero mate	Carga, lb (1)	Lectura carátula, plg (2)	Esfuer no, lb/plg ²	Deformar n, plg/plg	Carga, lb	Lectura esca- lar, plg	Esfuer- so, lb/plg ²	Deformación plg/plg	
Marca o número	A 618	3 410	0 002	4 330	0 000125	31 800	0 10	40 400	0 0125	
Longitud total de la probeta, plg	18 5	6 450	0 004	8 200	0 000250	37 200	0 20	47 300	0 0250	
Longitud entre cabezas, plg	11 2	9 160	0 006	11 640	0 000375	41 400	0 30	52 600	0 0375	
Tramo de calibración, plg	8 00	12 370	0 008	15 720	0 000500	47 200	0 50	60 000	0 0625	
Diámetro de los extremos, plg	1 25	14 830	0 010	18 860	0 000625	50 200	0 70	63 800	0 0875	
Diámetro de la sección reducida, plg	1 001	18 020	0 012	22 900	0 000750	52 200	0 90	68 300	0 1125	
Alargamiento en 8 plg, plg	2 50	20 780	0 014	26 400	0 000875	53 100	1 10	67 500	0 1375	
Diámetro de la sección rupturada, plg	0 613	23 640	0 016	30 000	0 001000	53 400	1 30	67 900	0 1625	
Velocidad de la máquina, plg/min	Deformación de reducción % de la sección	0 05	26 370	0 018	33 500	0 001125	53 500	1 50	68 000	0 1875
		0 2	29 250	0 020	37 200	0 001250	53 300	1 70	67 700	0 2125
Notas:			31 600	0 022	40 200	0 001375	53 000	1 90	67 300	0 2375
(1) Máquina Olisa de 60 000 lb (No. 12)			31 710	0 023	40 300	0 00144	52 000	2 10	66 100	0 2625
(2) Extensómetro carátula federal con multiplicador de 3 (No. 41).			31 520	0 024	40 000	0 00150	38 800	2 50	49 300	0 3125
(3) Fractura de cono y cráter de tres cuartos en grano fino al centro, pedoso en el borde.			31 390	0 030	39 900	0 0018 8	Ruptura (3)			
Alargamiento en cada pulgada:			31 100	0 040	39 500	0 00250				
0 20, 0 22, 0 25, 0 35, 0 78, 0 27, 0 23, 0 20			31 630	0 050	40 200	0 00312				
			31 650	0 075	40 200	0 00469				
			31 700	0 100	40 300	0 00625				

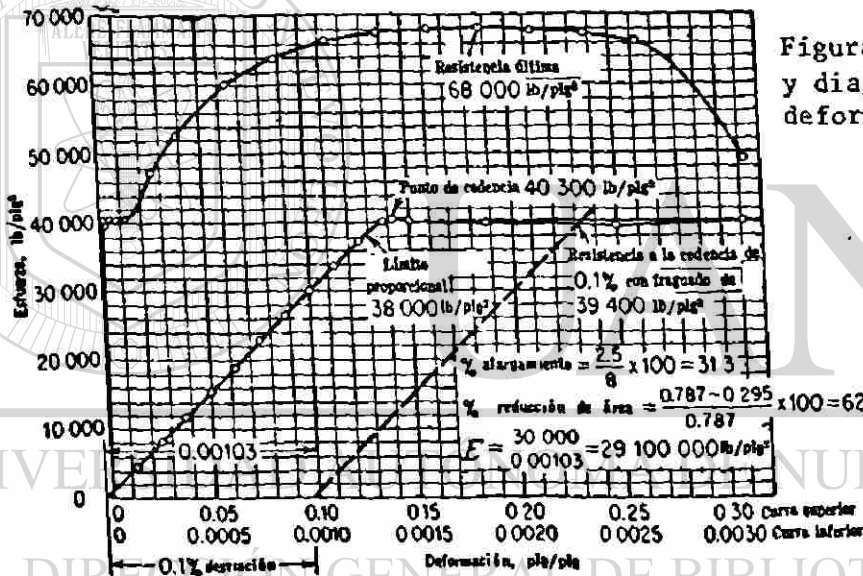


Figura 5.12.- Bitácora y diagrama, esfuerzo-deformación

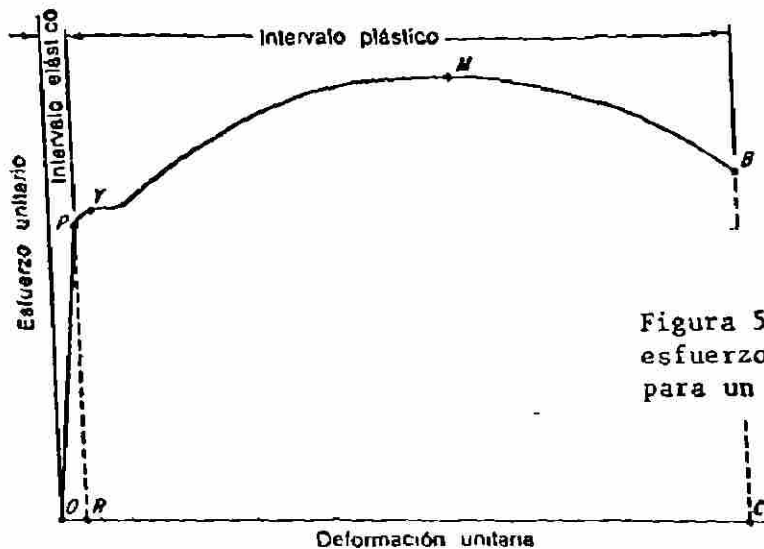


Figura 5.13.- Gráfica esfuerzo-deformación para un acero dúctil.

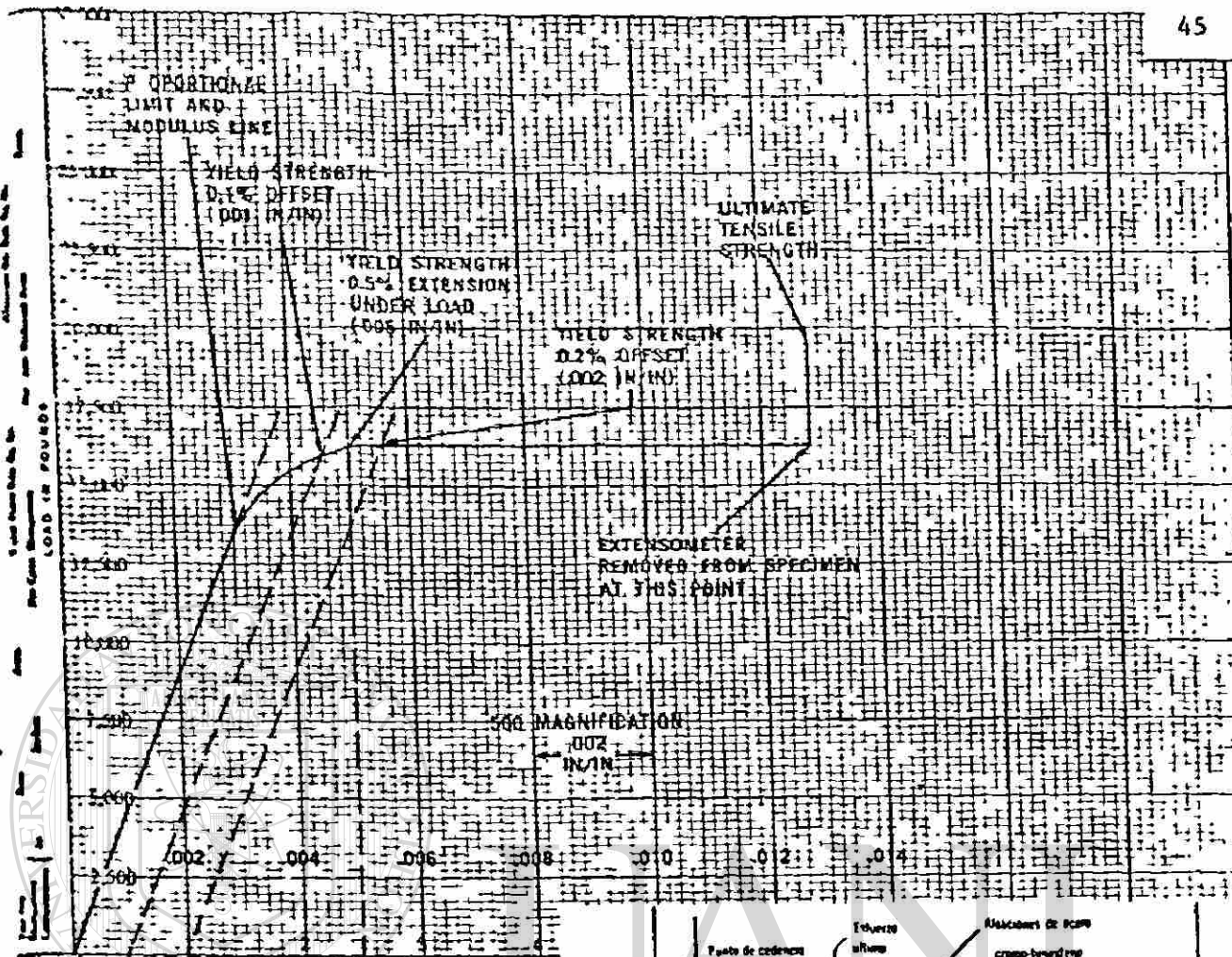


Figura 5.14.- Diagrama esfuerzo contra deformación tomada del graficador de la máquina.

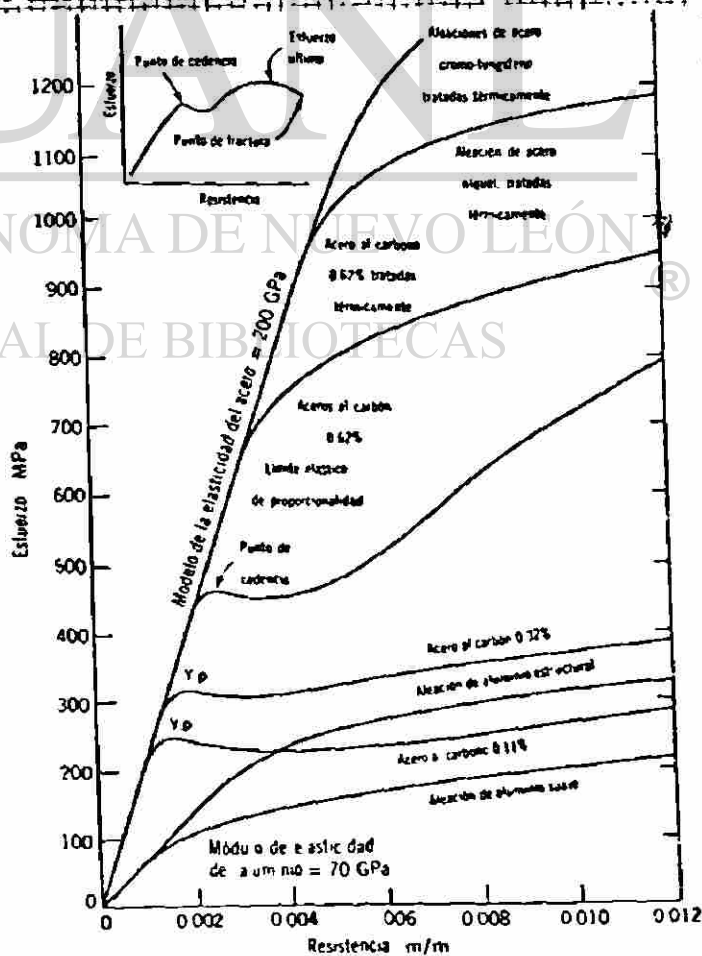


Figura 5.15.- Curva esfuerzo-deformación para varios materiales.

ica
ón
il.

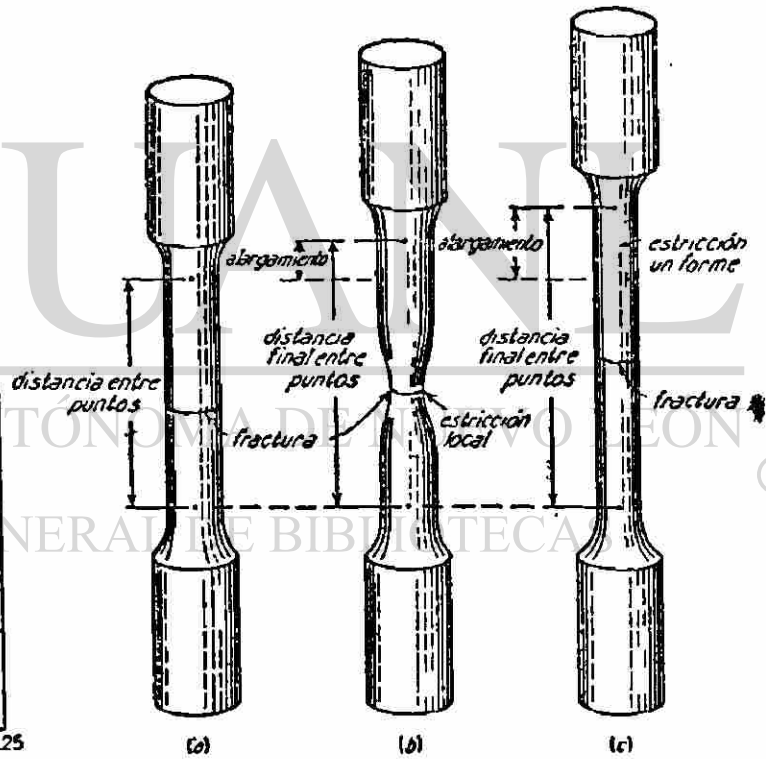
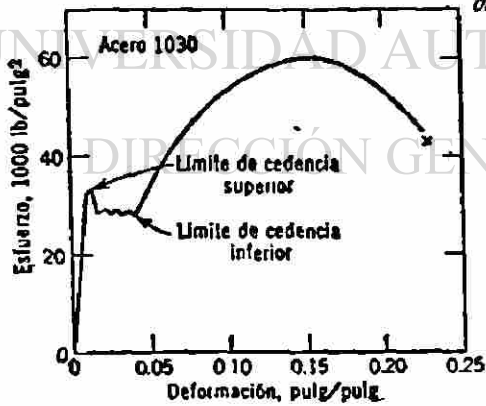
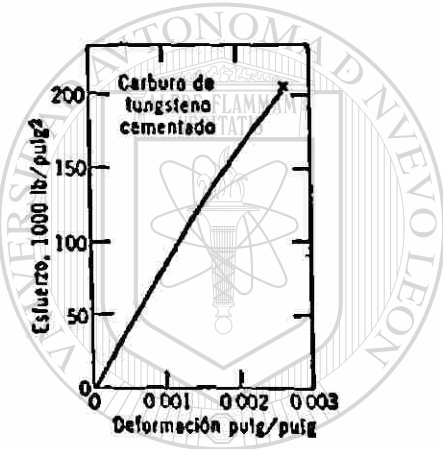
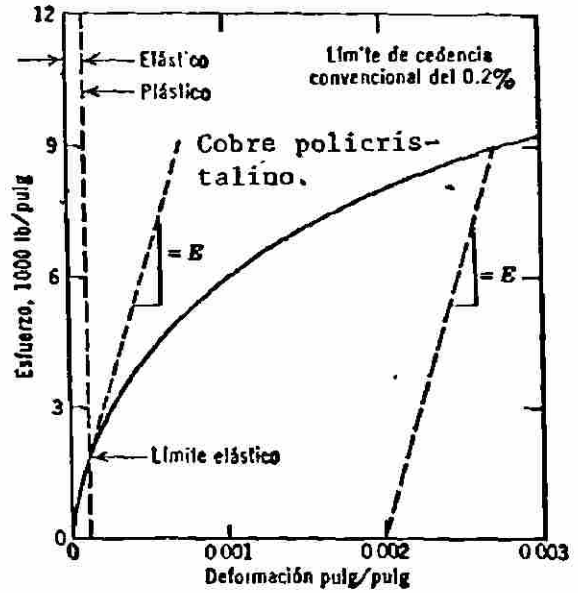
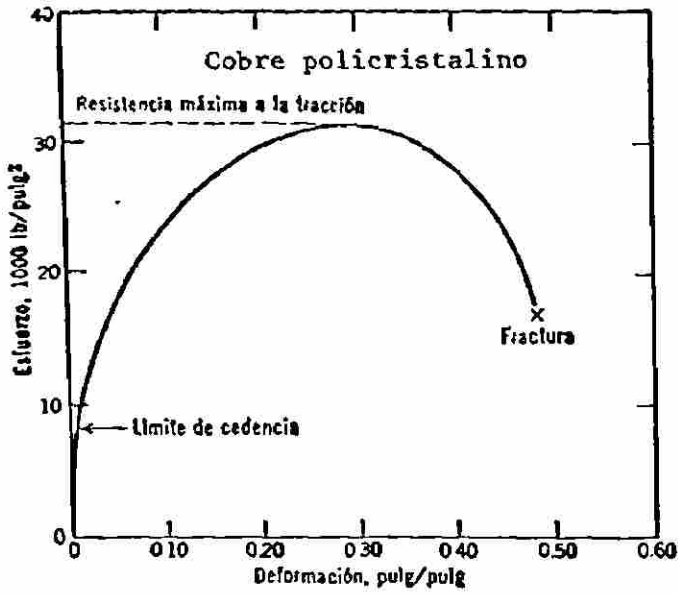


Figura 5.15.- (Continuación). Diagramas de esfuerzo contra deformación para el cobre policristalino, Carburo de Tungsteno Cementado, Acero 1030. Tipos de rotura por tracción: a) material frágil, con estricción y alargamiento prácticamente nulos; b) material dúctil, con estricción localizada antes de la rotura; c) materia dúctil, con alargamiento y estricción uniformes antes de la rotura.

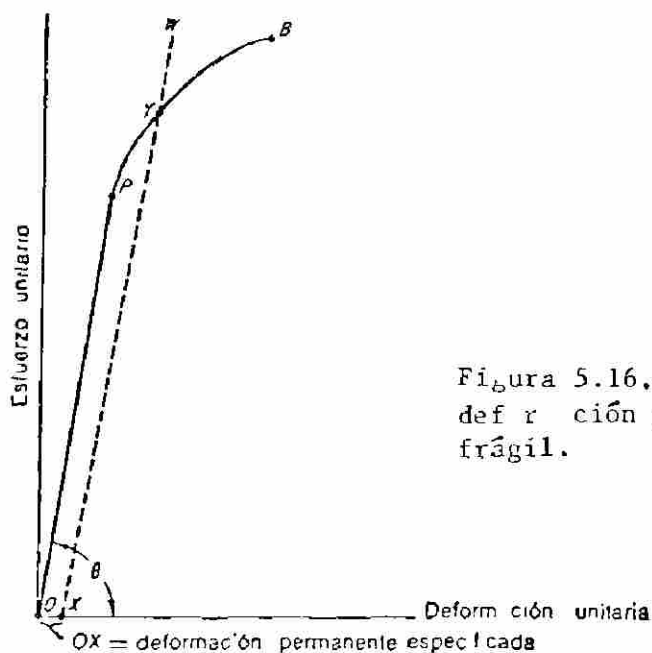


Figura 5.16.- Gráfica esfuerzo-deformación para un material frágil.

punto de cedencia bien definido.

Resistencia de cedencia o fluencia.- La mayoría de los materiales no ferrosos y los aceros de alta resistencia no tienen un punto de cedencia definido. Para estos materiales, la máxima resistencia útil corresponde a la resistencia de cedencia, que es el esfuerzo al cual un material exhibe una desviación limitante especificada de la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación. Por lo general, este valor se determina por el "método de la deformación permanente especificada". En la figura 5.16, la deformación especificada OX se marca sobre el eje de la deformación. En seguida, se traza la línea XW paralela a OP, localizándose de esta manera el punto Y y la intersección de la línea XW con el diagrama esfuerzo-deformación. El valor del esfuerzo en el punto Y indica la resistencia o fluencia. El valor de la deformación permanente especificada está generalmente entre 0.10 y 0.20% de la longitud calibrada. (ver figura 5.14).

Resistencia límite.- Conforme aumenta la carga aplicada sobre la pieza a prueba, el esfuerzo y la deformación se incrementan, como lo indica la porción de la curva YM (fig. 5.13) para un material dúctil, hasta que se alcanza el esfuerzo máximo en el punto M; por tanto, la resistencia límite o la resistencia de tensión es el esfuerzo máximo desarrollado por el material, basado en el área transversal original. Un material frágil se rompe cuando es llevado hasta la resistencia límite (punto B de la figura 5.16), en tanto que el material dúctil continuará alargándose.

Resistencia a la ruptura.- Para un material dúctil, hasta el punto de resistencia límite, la deformación es uniforme a lo largo de la longitud de la barra. Al esfuerzo máximo, la muestra experimenta una deformación localizada o formación de cuello y la carga disminuye conforme el área decrece. Esta elongación en forma de cuello es una deformación no uniforme y ocurre rápidamente hasta el punto en que el material falla (figura 5.17). La resistencia a la ruptura (punto B, figura 5.13), determinada al dividir la carga de ruptura entre el área transversal original, es siempre menor que la resistencia límite. Para un material frágil, la resistencia límite y la resistencia de ruptura coinciden.

Ductilidad.- La ductilidad de un material se determinará a partir de la

cantidad de deformación que les es posible soportar hasta que se fractura. - Esta se determina en una prueba de tensión mediante dos mediciones:

Elongación. Se determinan juntando, después de la fractura, las partes de la muestra y midiendo la distancia entre las marcas puestas en la muestra antes de la prueba,

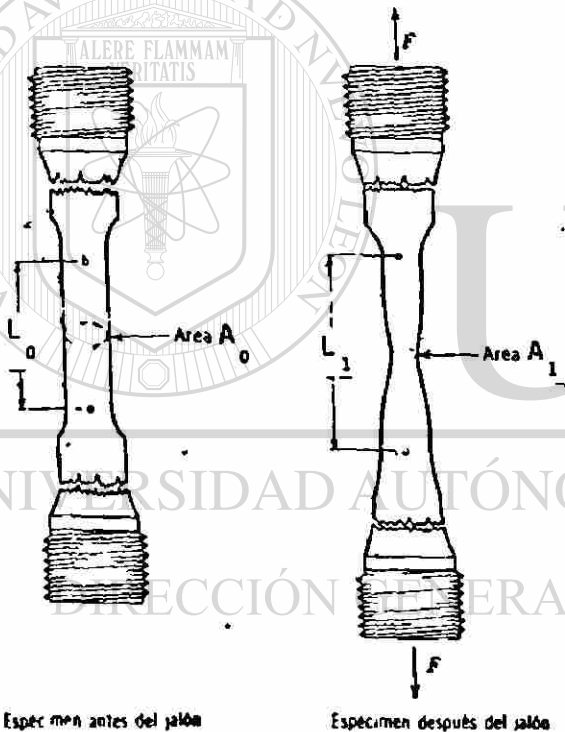
$$\text{Elongación (por ciento)} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100$$

donde:

L_1 = longitud de la medida final,

L_0 = longitud de la medida original, generalmente 2 plg.

Al reportar el porcentaje de elongación, debe especificarse la longitud de la medida original, ya que el porcentaje de elongación variará de acuerdo con la longitud original.



Especcimen antes del jalón

Especcimen después del jalón

Figura 5.17.- Muestra tensil antes y después de que el material falle.

Reducción en área. - Esta también se determina a partir de las mitades rotas de la muestra bajo la tensión, midiendo para ello el área transversal mínima y con la fórmula:

Reducción en área (porcentaje) =

$$\frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100$$

donde

A_0 = área transversal original

A_1 = área transversal final

Módulo de elasticidad o módulo de Young. - Considérese la porción recta de la curva esfuerzo-deformación. La ecuación de una línea recta es $y = mx + b$, donde y es el eje vertical (en este caso, *esfuerzo*) y x el eje horizontal (en este caso, *deformación*). La intercepción de la recta con el eje y es b , y en este caso es cero, ya que la recta pasa por el origen. La pendiente de la

recta es m . Cuando se despeja m de la ecuación, la pendiente es igual a y/x . De esta manera, se puede determinar la pendiente de la recta dibujando un triángulo rectángulo cualquiera y encontrando la tangente del ángulo θ (figura 5.13), que es igual a y/x o *esfuerzo/deformación*. La pendiente es realmente la constante de proporcionalidad entre esfuerzo y deformación cuando se está abajo del límite de proporcionalidad y se conoce como *módulo de elasticidad o módulo de Young*.

El módulo de elasticidad, indicación de la rigidez de un material, se mide en libras por pulgada cuadrada; por ejemplo, el módulo de elasticidad del

acero es 30 millones de lb/plg^2 aproximadamente, en tanto que el del aluminio es 10 millones de lb/plg^2 . Por ende, el acero es aproximadamente tres veces más rígido que el aluminio. El módulo de elasticidad es una propiedad muy útil de la Ingeniería y aparecerá en fórmulas relacionadas con el diseño de vigas y columnas, en las que la rigidez es importante. figura 5.15

5.7.- ESFUERZO-DEFORMACION VERDADEROS

La prueba convencional de tensión descrita antes dará valiosa información hasta aproximarse y llegar al punto de cedencia. Más allá de este punto, los valores de esfuerzo son ficticios, ya que el área transversal real se reducirá considerablemente. El esfuerzo verdadero se determina al dividir la carga entre el área transversal existente a esa intensidad de carga. La deformación real se determina al dividir el cambio en longitud entre la longitud inmediatamente precedente. El diagrama esfuerzo-deformación real (figura 5.18) dá información útil concerniente al flujo plástico y la fractura de metales.

5.8.- RECUPERACION

Es posible dividir el diagrama esfuerzo-deformación en dos partes, como se muestra en la figura 5.13). La parte a la izquierda del límite elástico puede definirse como *intervalo elástico* y la de la derecha como *intervalo plástico*. El área bajo la curva en el intervalo elástico (área OPR) es una medida de la energía por unidad de volumen que puede absorber el material sin sufrir deformación permanente. Este valor se conoce como *módulo de recuperación o resiliencia*. La energía por unidad de volumen que puede absorber un material (el área bajo la totalidad del diagrama esfuerzo-deformación) hasta el punto de fractura se conoce como tenacidad. Esta es principalmente una propiedad del intervalo plástico, ya que sólo una pequeña parte de la energía total absorbida es energía elástica que puede recuperarse cuando se suprime el esfuerzo.

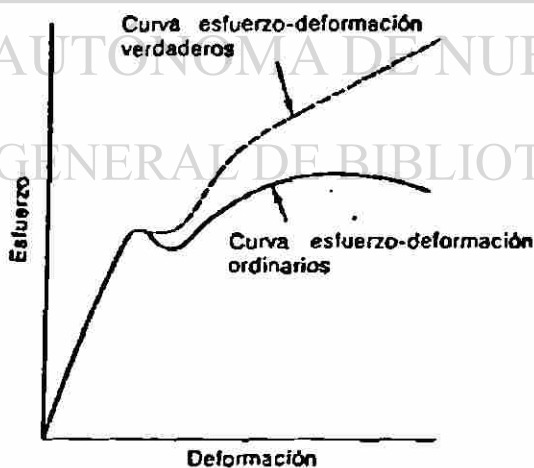


Figura 5.18.- Gráfica esfuerzo-deformación verdaderos y esfuerzo-deformación convencionales para un acero dúctil.

Las fracturas por tensión pueden clasificarse en cuanto a forma, textura y color. Los tipos de fractura, en lo respectivo a la forma, son simétricos: cono y cráter, planos e irregulares. Varias descripciones de la textura son: sedosa, grano fino, grano grueso o granular, fibrosa o astillable, cristalina, vidriosa y mate.

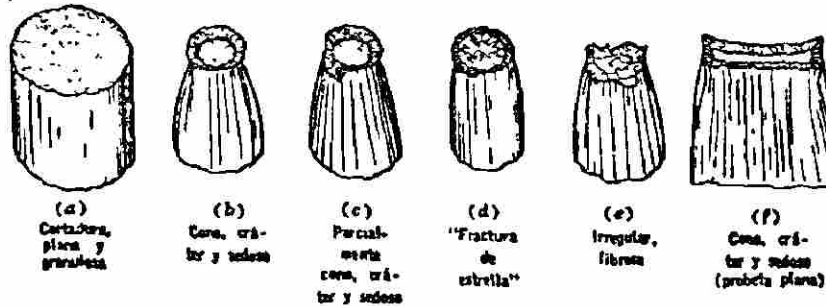
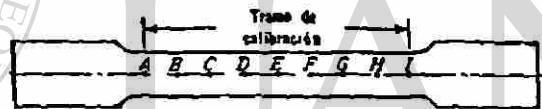


Figura 5.19.- Fracturas típicas por tensión de los metales.

La fractura puede presentarse fuera del tramo de calibración o cerca de la curva, cuando esto suceda deberá aplicarse las fórmulas que se indiquen en la figura 5.20.



Para rupturas entre C y G: Alargamiento = $\frac{AI_{final} - AI_{original}}{AI_{original}}$

Para rupturas entre A y C, pero más cercanas a B que a A:

Elongación = $\frac{(AC + 2CF)_{final} - AI_{original}}{AI_{original}}$

Para rupturas dentro de media división de A: Elongación = $\frac{2AE_{final} - AI_{original}}{AI_{original}}$

Figura 5.20.- Determinación del alargamiento aproximado para rupturas, fuera del tercio medio del tramo de calibración.

5.9.- EFECTO DE LAS VARIABLES IMPORTANTES

Sobre un extenso rango de velocidades, la velocidad de carga tiene un efecto importante sobre las propiedades tensionales de los materiales. Las resistencias tienden a aumentar y la ductilidad a disminuir con las velocidades aumentadas. Por ejemplo, ciertos ensayos han indicado que con una relación de velocidad de aproximadamente 14 000:1 el punto de cedencia del acero suave aumentó más o menos un 30%. En general, el cambio de resistencia a alargamiento parece variar aproximadamente según el logaritmo de la velocidad. El efecto parece ser más pronunciado para los materiales que poseen puntos de fusión bajos, tales como el plomo, el cinc y los plásticos que para aquellos con puntos de fusión altos, como el acero. En el caso del efecto de las cargas muy lentamente aplicadas (ensayos de larga duración) es una disminución de la resistencia contra la observada a velocidades de ensaye normales.

Afortunadamente, investigaciones recientes han demostrado que sobre el rango de velocidades usadas en las máquinas de ensaye ordinarias los efectos de una variación de velocidad moderada sobre las propiedades tensionales de

los metales son bastante ligeros, y pueden permitirse tolerancias muy amplias sin introducir un error serio en los resultados de los ensayos para los metales dúctiles. Por ejemplo, en ensayos de probetas estándar de un acero estructural se descubrió que aumentar 8 veces la velocidad de deformación aumentaba el punto de cedencia en aproximadamente un 4%, la resistencia a la tensión como un 2%, y disminuía el alargamiento más o menos un 5%. En la máquina en que se realizaron estos ensayos, este cambio correspondió a un cambio de velocidad de marcha del puente de 0.05 a 0.40 plg/min. El efecto de las variaciones de velocidad dentro del rango de velocidades de carga normales sobre la resistencia de los materiales quebradizos como el hierro fundido parece ser pequeño.

5.10.- VELOCIDAD DE APLICACION DE CARGA

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

La velocidad del ensayo no debe ser mayor que aquella a la cual las lecturas de carga y otras pueden tomarse con el grado de exactitud deseado y si la velocidad de ensayo ejerce una influencia apreciable sobre las propiedades del material, el ritmo de deformación de la pieza de ensayo debe quedar dentro de límites definidos.

No hay datos disponibles en qué basar cualquier regla simple para la velocidad de aplicación de carga, aunque un factor puede determinarse en forma de porcentaje de velocidad de aplicación de carga de la manera siguiente:

$$\% \text{ V.A.C.} = \frac{\sigma_{\text{esp.}} \times A_i \times 100}{\text{Rango de la máquina}}$$

donde:

A_i = Area inicial de la probeta

$\sigma_{\text{esp.}}$ = Son los esfuerzos especificados dependiendo el tipo de material que se esté probando.

Los esfuerzos especificados para los materiales más comunmente utilizados en ingeniería se dan a continuación:

MATERIAL	ESFUERZO ESPECIFICADO ($\sigma_{\text{esp.}}$)
BRONCE	600 Kg./Cm ² ./min.
LATON	2500 Kg./Cm ² ./min.
FIERRO VACIADO	600 Kg./Cm ² ./min.
ACERO MINERO	4000 Kg./Cm ² ./min.
ACERO COMERCIAL	3000 Kg./Cm ² ./min.
COLD ROLLED	3000 Kg./Cm ² ./min.
ALUMINIO	3000 Kg./Cm ² ./min.

5.11.- FORMATOS

A continuación se presenta una serie de dibujos a escala para diferentes probetas estándares según la ASTM, usadas para el ensayo de tensión. Se muestra también el formato del reporte para dichos ensayos.

UANL
FIME

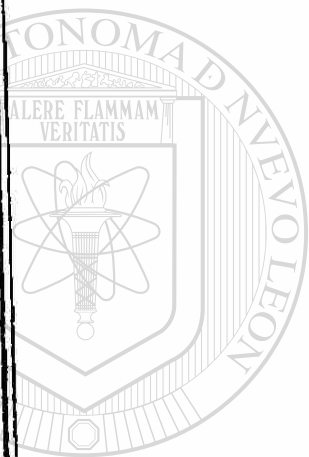
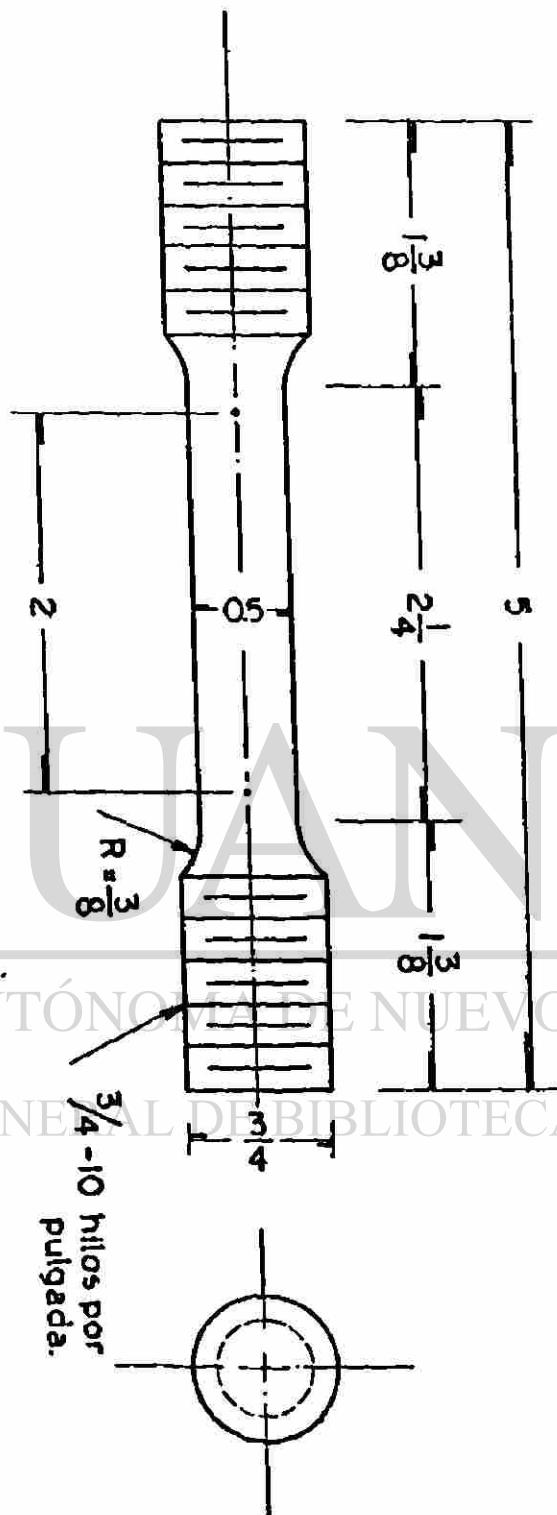
LAB. DE MEC. DE LOS MTL.

ENSAYO: TENSION

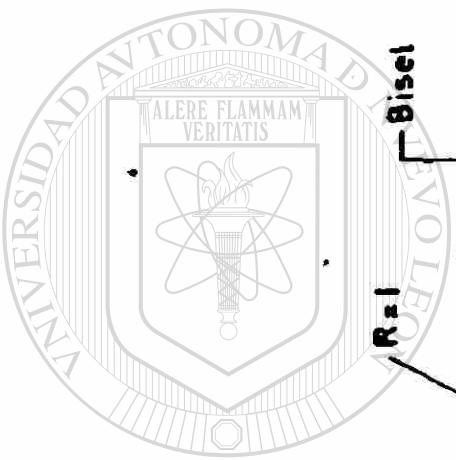
MATERIAL: METAL

EST: ASTM A-370

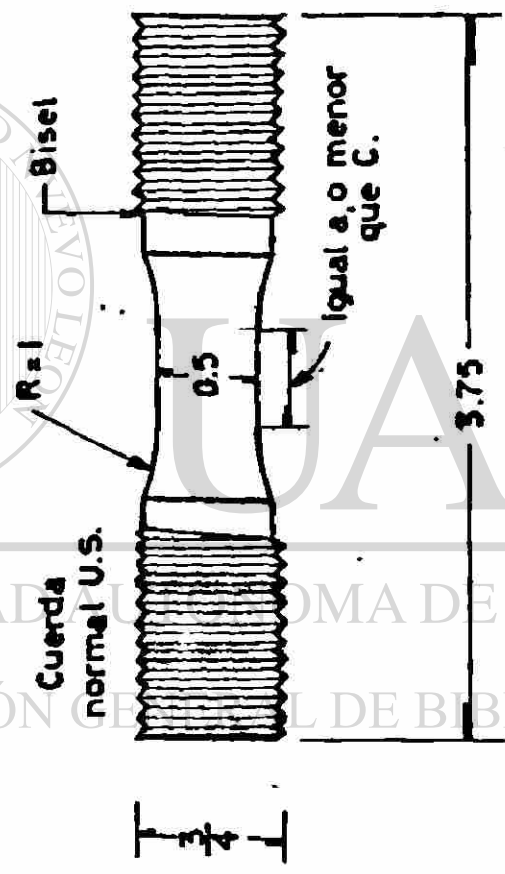
COTAS: PULGADAS.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



EN HIERRO FUNDIDO, SECCION CIRCULAR.

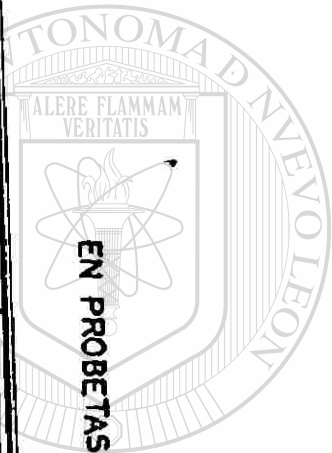
UANL FIME	LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.		ENSAYO : TENSION	EST: ASTM E8, A 48
	MAT'L	L: METAL	COTAS :	

UANL
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTL.

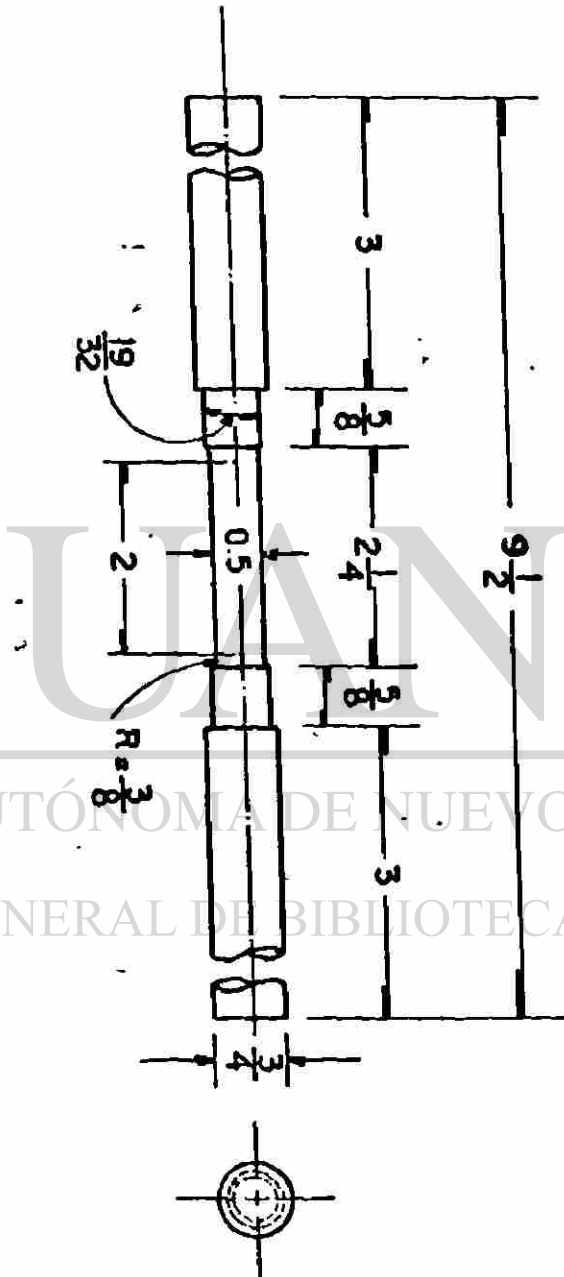
ENSAYO: TENSION
MATERIAL: METAL

EST: ASTM A-370
COTAS: PULGADAS

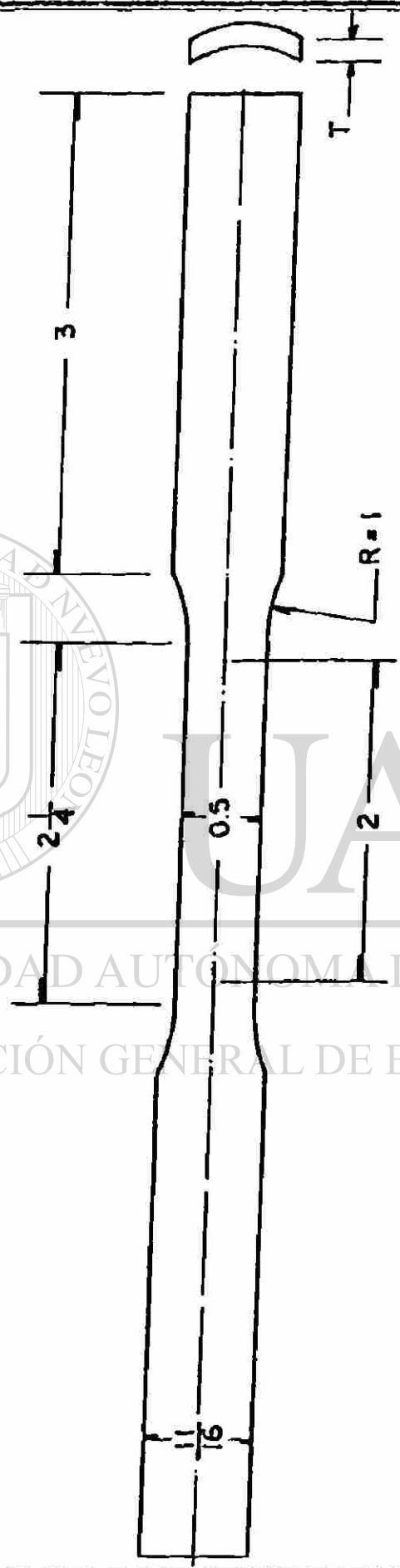
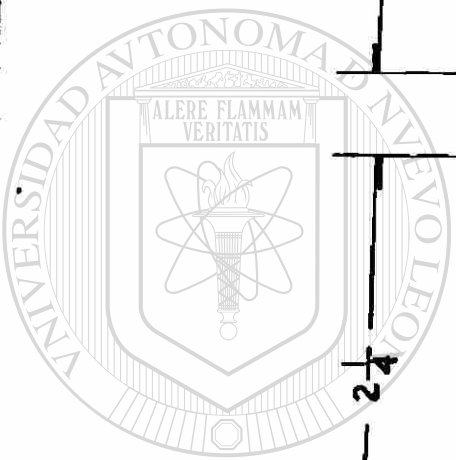


EN PROBETAS DE SECCION CIRCULAR.

ESCALA: 1=2



®



NOTA: Probeta tomada longitudinalmente de un tubo de diámetro grande.

UANL FIME	LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.	ENSAYO: TENSION	EST: ASTM A-370
		MATERIAL: METAL	COTAS: PULGADAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UANL
FINE

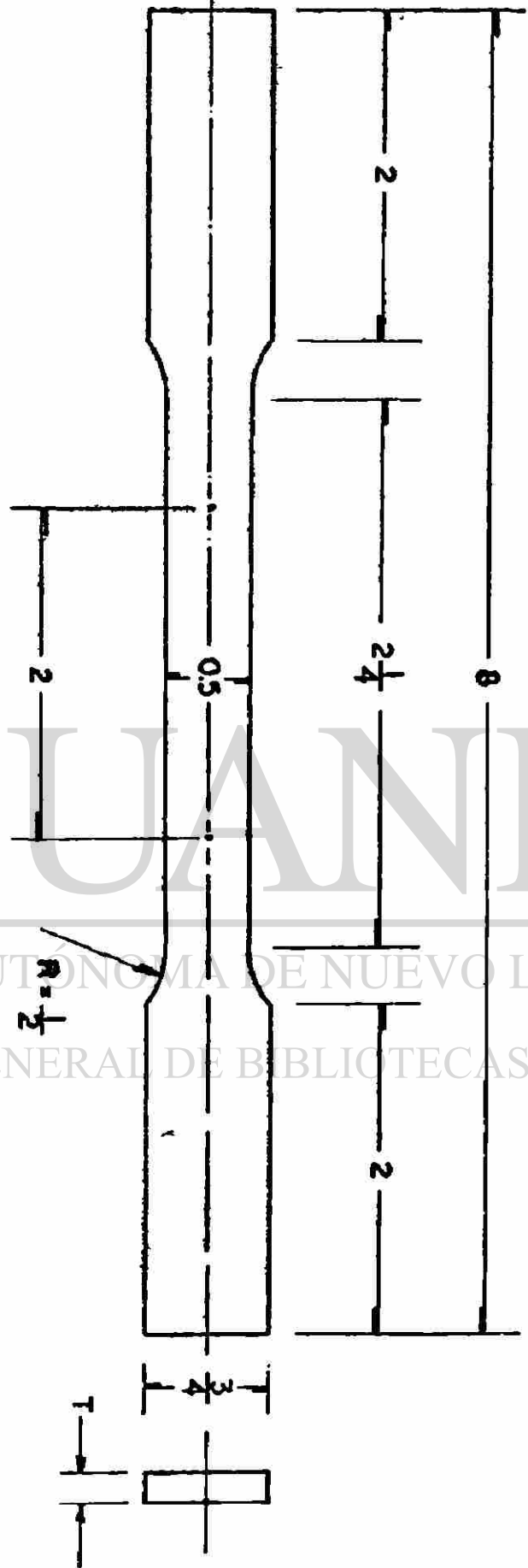
LAB. DE MEC. DE LOS MTL.

ENSAYO: TENSION

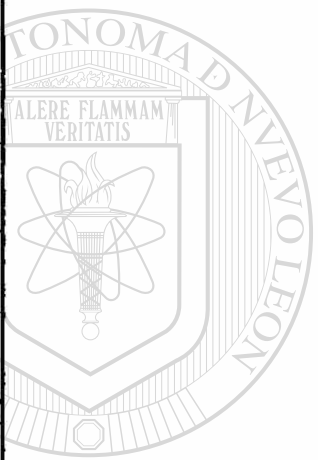
MATERIAL: METAL

EST: ASTM A-370

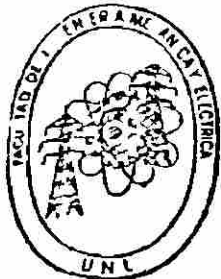
COTAS: PULGADAS



EN PROBETAS PLANAS CORTAS.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



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 TENSION EN METALES

REALIZADO POR _____

PRUEBA N° -----
 ESTANDAR -----
 MATERIAL-----
 LONGITUD INICIAL ----- cm.
 DIAMETRO INICIAL ----- cm.
 AREA INICIAL ----- cm.²
 LONGITUD FINAL----- cm.
 DIAMETRO FINAL----- cm.
 AREA FINAL----- cm.²
 VOLUMEN----- cm.³
 RANGO----- Kg.
 CARGA DE CEDENCIA----- Kg.
 CARGA MAXIMA----- Kg.
 CARGA DE FRACTURA----- Kg.
 ESFUERZO DE CEDENCIA----- Kg/cm²
 ESFUERZO MAXIMO----- Kg/cm²
 ESFUERZO DE FRACTURA----- Kg/cm²
 MODULO DE ELASTICIDAD----- Kg/cm²
 RESILENCIA ELASTICA UNITARIA----- Kg-cm/cm³
 RESILENCIA ELASTICA TOTAL----- Kg-cm.
 TENACIDAD UNITARIA----- Kg-cm/cm³
 TENACIDAD TOTAL----- Kg-cm
 % REDUCCION DE AREA----- %
 % ELONGACION DE LONGITUD----- %
 TEXTURA DEL GRANO-----
 TIPO DE FRACTURA-----
 ESFUERZO ESPECIFICADO----- Kg/cm²/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 flambéo 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 ensayo.

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 ensayo 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 ensayo 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, pul.	Altura h, pul.
Corta	$1\frac{1}{8}$	1
Longitud mediana	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
	0.798	$2\frac{1}{2}$
	1	3
Largas	$\frac{1}{2}$	$3\frac{3}{8}$
	0.798	$6\frac{1}{2}$
	$1\frac{1}{2}$	$12\frac{1}{2}$

Nota:
Los diámetros deben hacerse dentro de + 0.01 pul. de las dimensiones indicadas

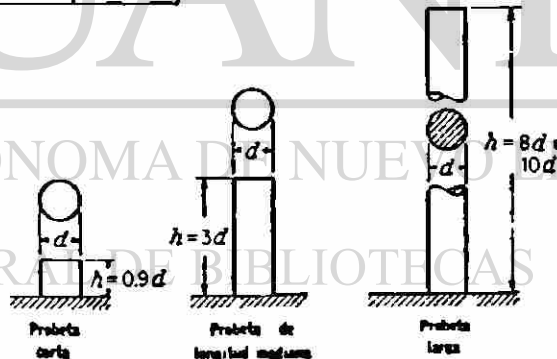


Figura 6.1.- Las probetas para ensayos de compresión de materiales metálicos de formas no similares (ASTM E 9).

6.4.- CANAS 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-

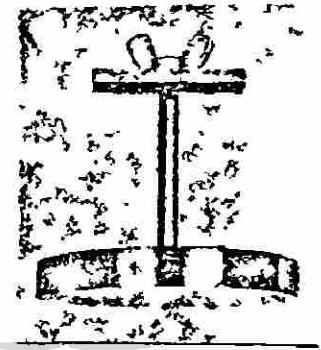
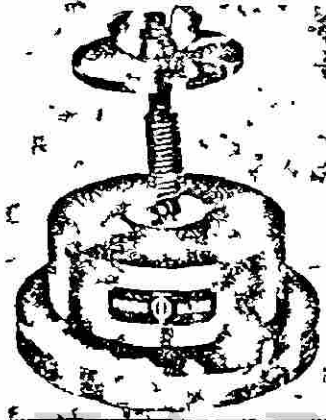
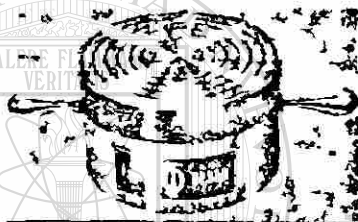
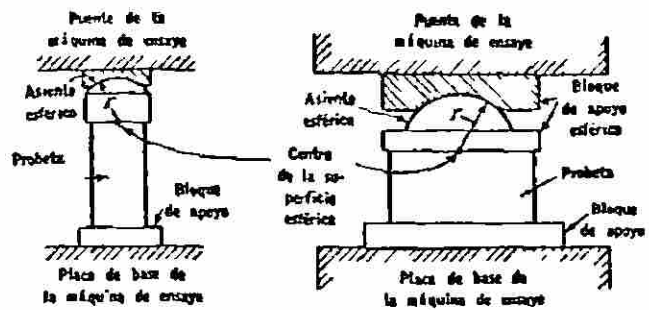
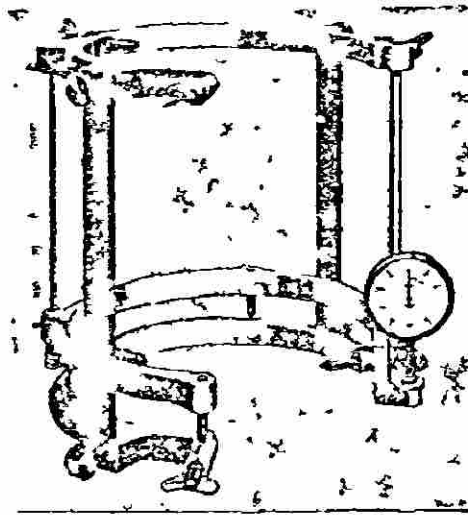


Figura 6.2.- Compresómetro y bloques o dados de apoyo planos y esféricos para ensayo de compresión.

tema 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 transversales 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.

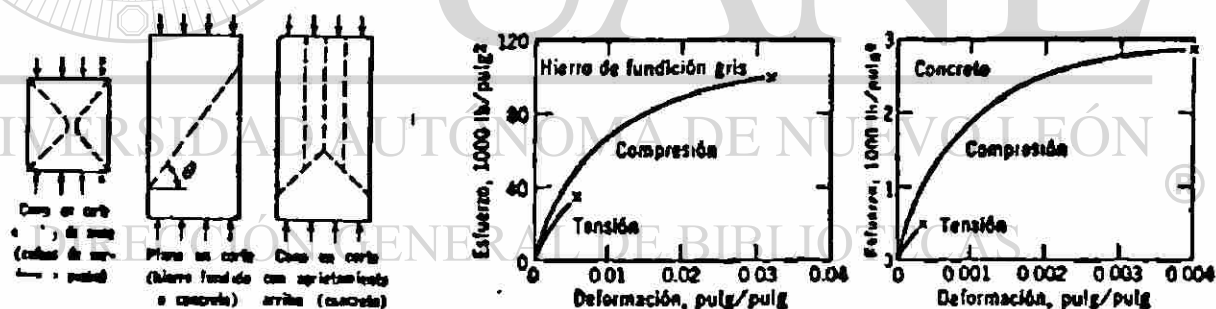


Figura 6.3.- Tipos de falla de los materiales quebradizos bajo cargas compresivas y sus gráficas de comportamiento.

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.

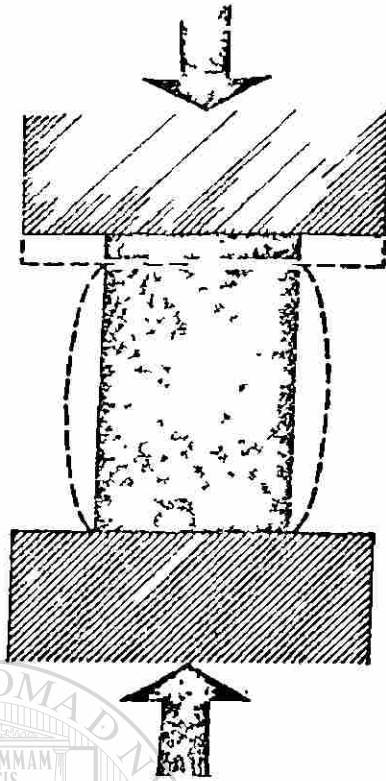


Figura 6.4.- Prueba de compresión en un material dúctil que muestra "abarrelamiento" debido a la fuerza de fricción en la superficie de contacto entre platinas y probeta.

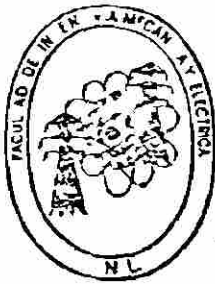
6.7.- REPORTE

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 podamos 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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



LABORATORIO DE MECANICA DE LOS MATERIALES
FAC. DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
U.A.N.L. CD. UNIVERSITARIA
TFL. - 2-57-88 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 ----- cm²
LONGITUD FINAL ----- cm.
DIAMETRO FINAL ----- cm.
AREA FINAL ----- cm²
VOLUMEN ----- cm³
RANGO ----- Kg.
CARGA DE CEDENCIA ----- Kg.
CARGA MAXIMA ----- Kg.
CARGA DE FRACTURA ----- Kg.
ESFUERZO DE CEDENCIA ----- Kg/cm²
ESFUERZO MAXIMO ----- Kg/cm²
ESFUERZO DE FRACTURA ----- Kg/cm²
MODULO DE ELASTICIDAD ----- Kg/cm²
RESILENCIA ELASTICA UNITARIA ----- Kg-cm/cm³
RESILENCIA ELASTICA TOTAL ----- Kg-cm.
TENACIDAD UNITARIA ----- Kg-cm/cm³
TENACIDAD TOTAL ----- Kg-cm
% REDUCCION DE LONG. ----- %
% ELONGACION DE AREA ----- %
TEXTURA DEL GRANO -----
TIPO DE FRACTURA -----
ESFUERZO ESPECIFICADO ----- Kg/cm²/min.
VELOCIDAD DE APLICACION DE CARGA ----- %

MONTERREY, N.L.

FECHA _____

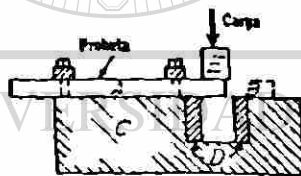
VII.- ENSAYO DE CORTE

7.1.- OBJETO Y APLICABILIDAD DEL ENSAYO DE CORTE

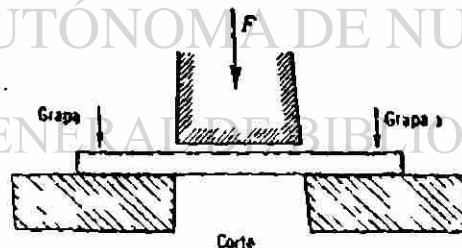
En el ensayo de corte directo ocasionalmente llamado ensayo de corte -- "transversal", usualmente se procede a sujetar o apoyar un prisma del material, de tal modo que los esfuerzos flexionantes se minimicen a través del plano a lo largo del cual la carga cortante se aplique. Aunque el método -- basta 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 (a doble) de secciones redondas o rectangulares



Resistencia al corte

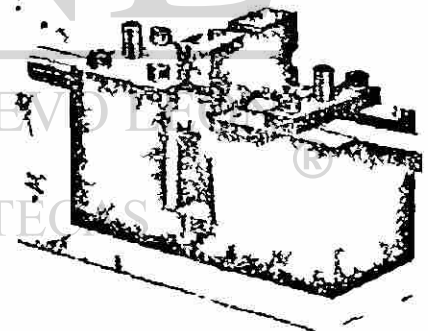


Figura 7.1.- Método y aditamento para ensaye de metales en corte directo.

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 ----- cm²
CARGA MAXIMA ----- Kg.
ESFUERZO MAXIMO ----- Kg/cm²
TIPO DE FRACTURA -----

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
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 ensayo 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.

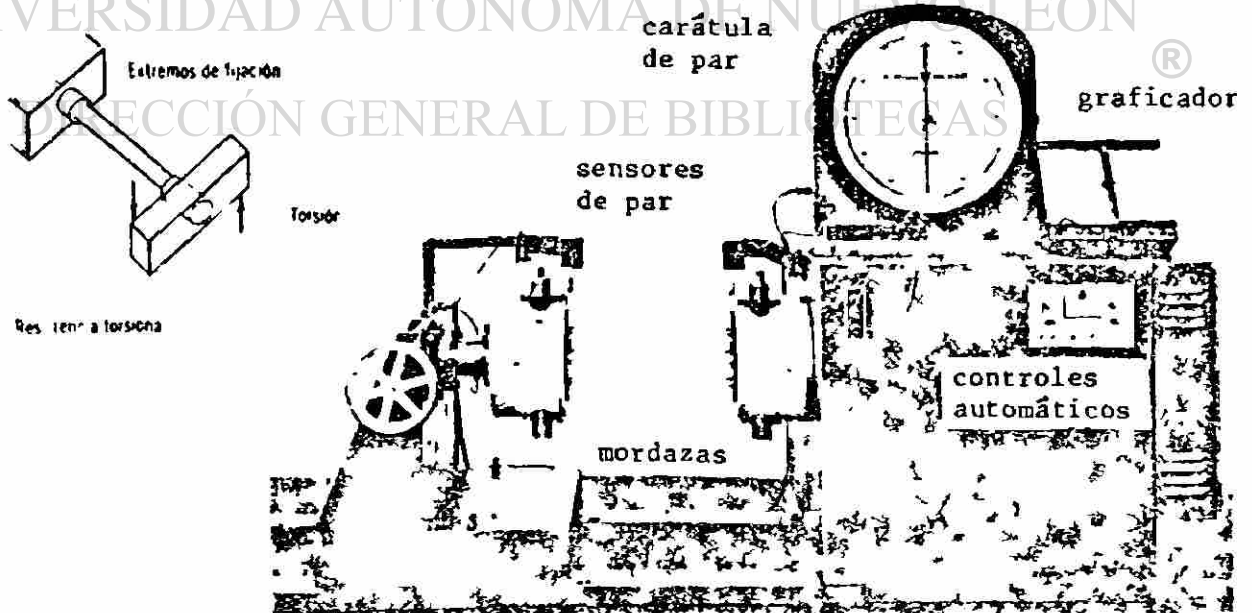


Figura 8.1.- Máquina para ensayar a torsión.- Control automático de avance, indicador de par, graficador de par Vs. ángulo de giro.

Se utilizan varios tipos de probetas para medir la deformación o la rotura en una probeta de torsión. Estos tipos de probetas de torsión o tracción ordinaria que consisten en dos collarines sujetos a la probeta a una distancia o tramo de calibración de separación dados, 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.

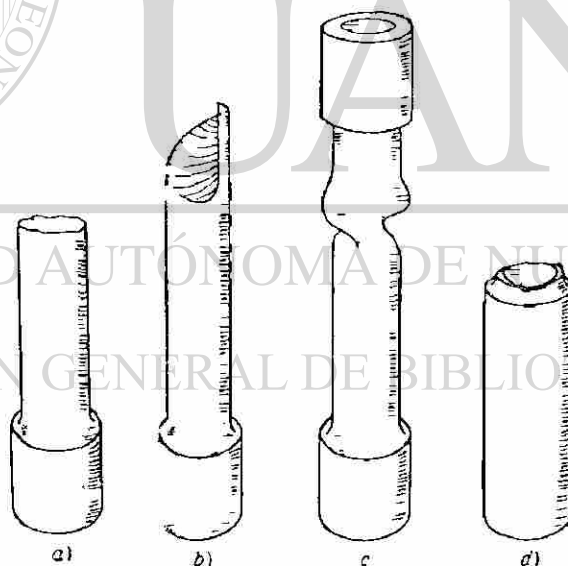
La sección transversal de una probeta de torsión debe reducirse hasta la parte en 1 000, dentro del límite proporcional del material, la velocidad del cabezal de torsión no debe exceder de aproximadamente 0.01 r.p.m. por pulg de longitud de la probeta, aunque la velocidad puede aumentarse después de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

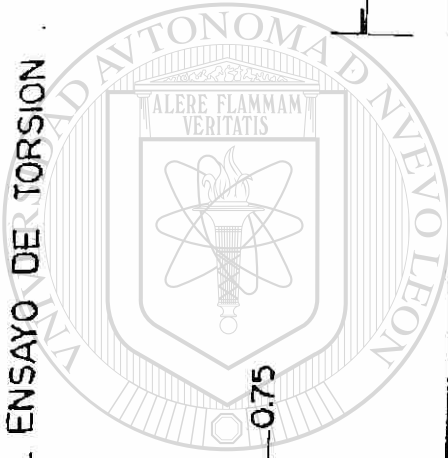


- (a) Barra de material dúctil. Fractura recta, plana, tras ensayo.
 (b) Barra de material que se dúctil. Fractura helicoidal.
 (c) Probeta de material dúctil. Falla por flambeo.
 (d) Probeta de material dúctil, sección corta reducida. Fractura plana, tras ensayo.

Figura 8.2.- 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, cubren en tensión por esta acción de leva,

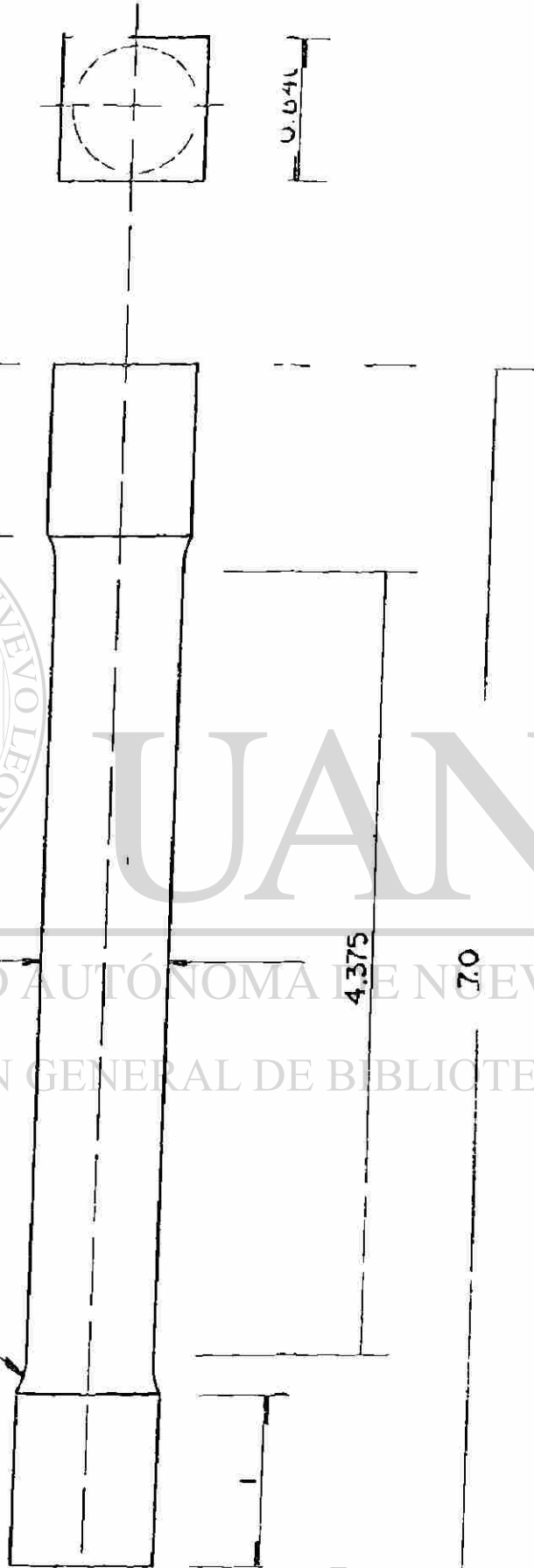
PROBETA MACIZA PARA EL ENSAYO DE TORSION



R = 0.375

0.75

0.840



0.640

4.375

0.70

UANL
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTL.S.

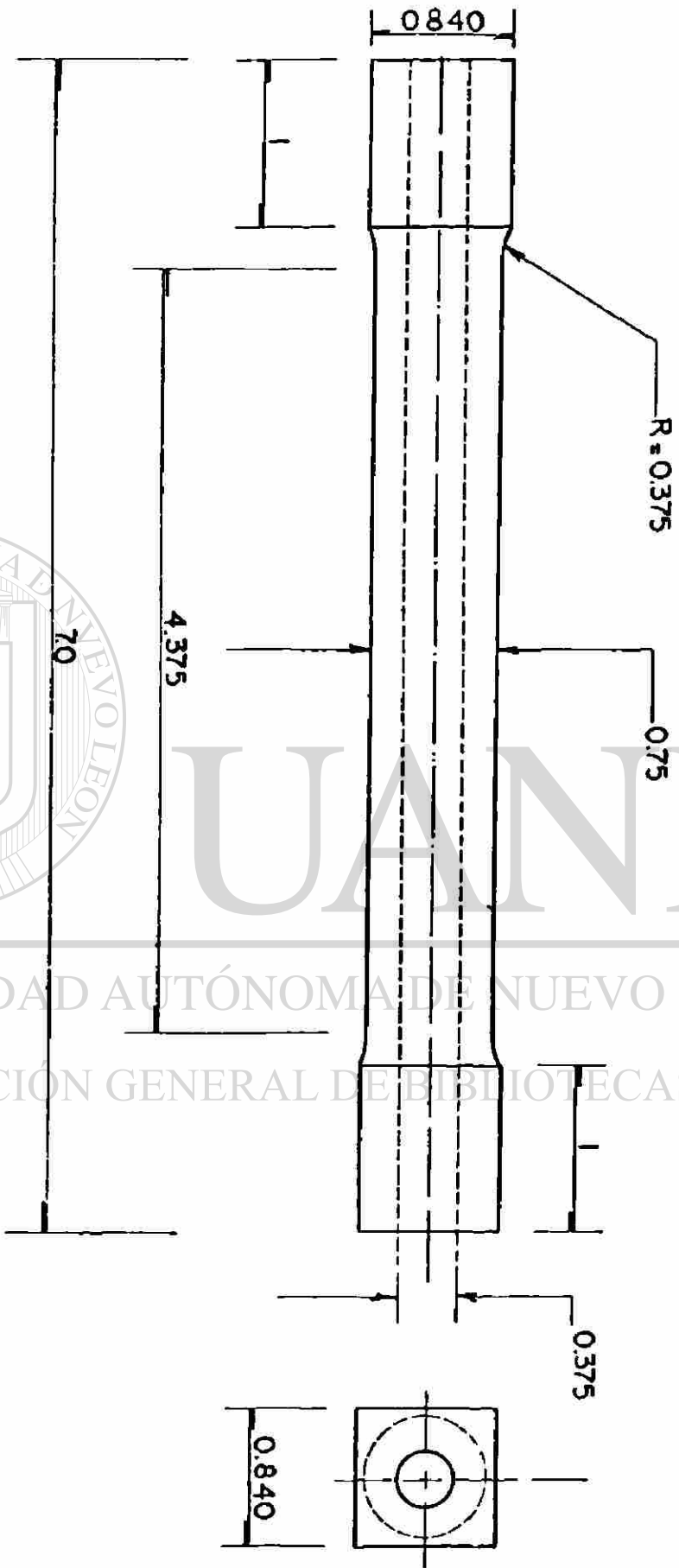
ENSAYO : TORSION

MATERIAL : METAL

EST : ASTM A-260

COTAS : PULGADAS

PROBETA HUECA PARA EL ENSAYO DE TORSION .

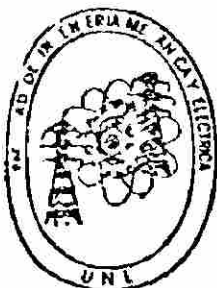


UANL
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.

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 ----- cm²
 VOLUMEN ----- cm³
 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 ----- cm⁴
 ESFUERZO CORTANTE DE CEDENCIA ----- Kg/cm²
 ESF. COR. MAXIMO ----- Kg/cm²
 ESF. COR. DE RUPTURA ----- Kg/cm²
 MODULO DE ELASTICIDAD AL CORTE ----- Kg/cm²
 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 móvil. 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.

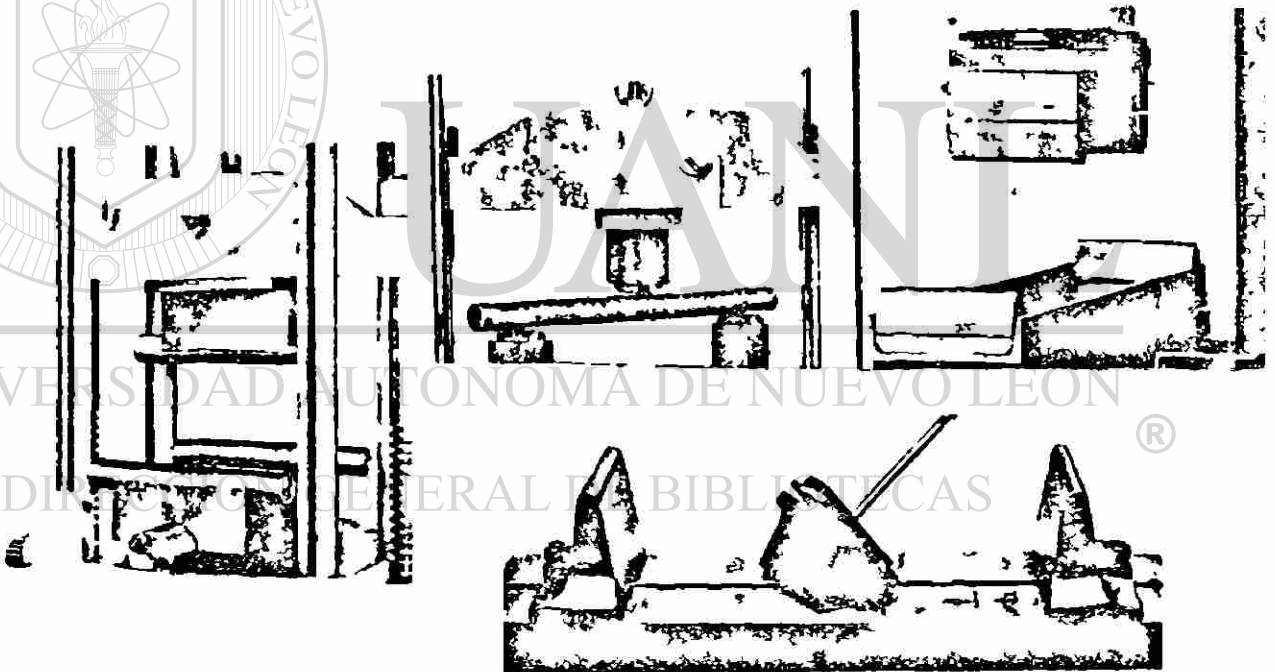


Figura 9.1.- Aspectos principales de los dispositivos de apoyo y carga para ensayos de vigas que indican el margen para ajuste rotatorio longitudinal y lateral en los apoyos.

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.

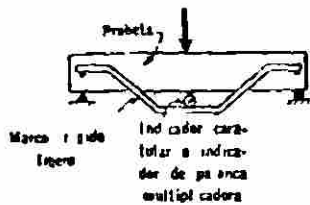


Figura 9.2.- Dispositivos para medir la deflexión.

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.

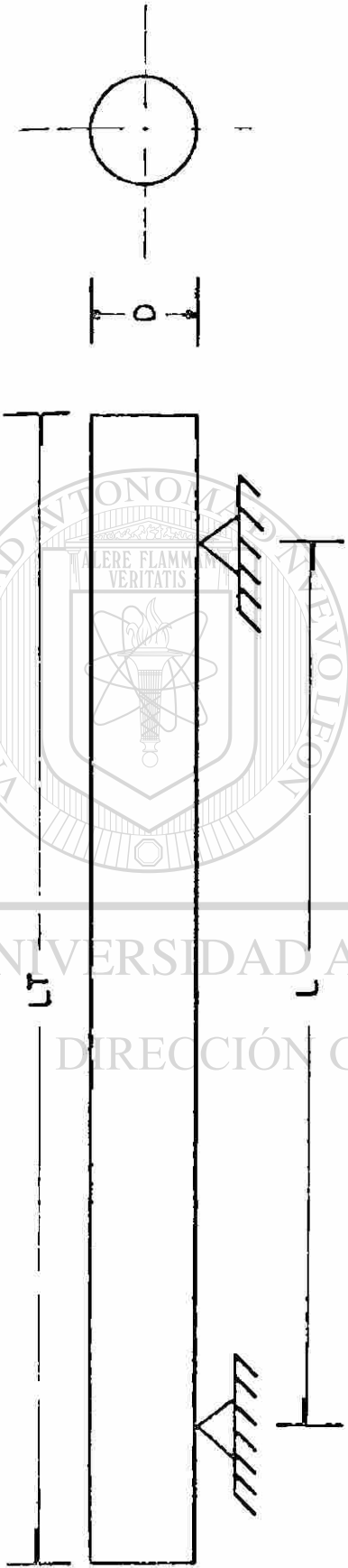
Al computar el módulo de elasticidad de los datos de carga y de deflexión, el procedimiento más simple consiste en trazar un diagrama de carga y deflexión y de la pendiente del diagrama computar las cargas y la deflexión para su sustitución en la fórmula de deflexión pertinente.

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

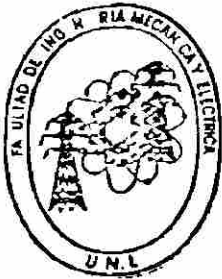
DIAMETRO NOMINAL PULG. "D"	SECCION QUE CONTROLA LOS VAGADOS PULG.		DISTANCIA ENTRE APOYOS PULG. "L"
	DIAMETRO	LONGITUD "L"	
0.50 o' mas	0.875	15	12
0.51 o' 1.00	1.20	21	18
1.01 o' mas	2.00	27	24

LAB. DE MEC. DE LOS MTL.

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 ----- cm²
RANGO ----- Kg
CARGA DE CEDENCIA ----- Kg
CARGA MAXIMA ----- Kg
ESFUERZO DE CEDENCIA ----- Kg/cm²
ESFUERZO MAXIMO ----- Kg/cm²
DEFLEXION MAXIMA ----- cm
VEL. DE APLICACION DE CARGA ----- %

NUCLEO ELASTICO ----- cm²
NUCLEO PLASTICO ----- cm²
DEFLEXION DE RECUPERACION ----- cm
MOMENTO DE INERCIA ----- cm⁴
MODULO DE SECCION ----- cm³
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 esfuerzo, 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.

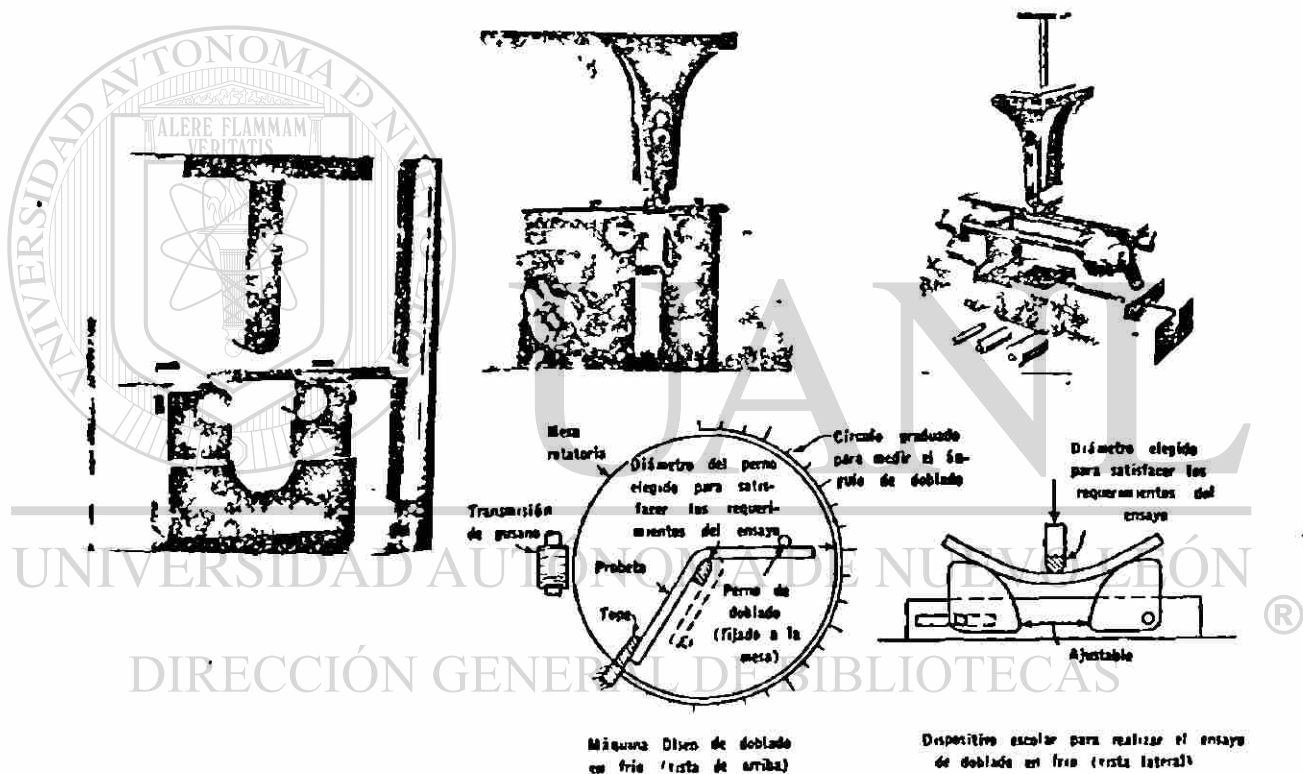
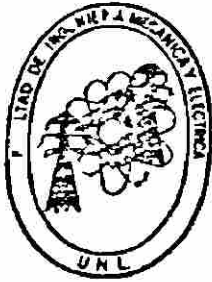


Figura 10.1.- Aparato de ensayo para doblado en frío.

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

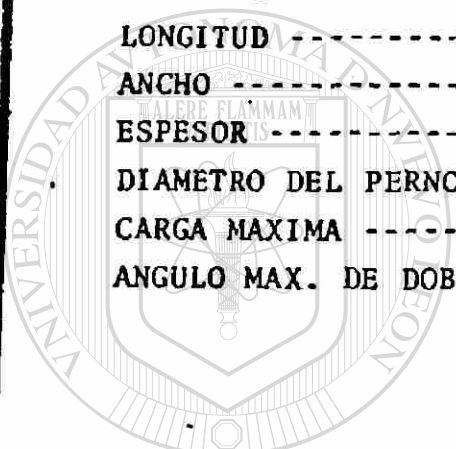
ANCHO ----- cm

ESPESOR ----- cm

DIAMETRO DEL PERNO ----- cm

CARGA MAXIMA ----- Kg

ANGULO MAX. DE DOBLADO ----- °



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

MONTERREY, N.L.

FECHA: _____

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



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 re -- tenido en su posición más alta, para hacer cómodamente la lectura.

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

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

on la
cuen
raba
sión,
está
za-
eria
ues-
- -
pa-
n -
e -
ma
sto

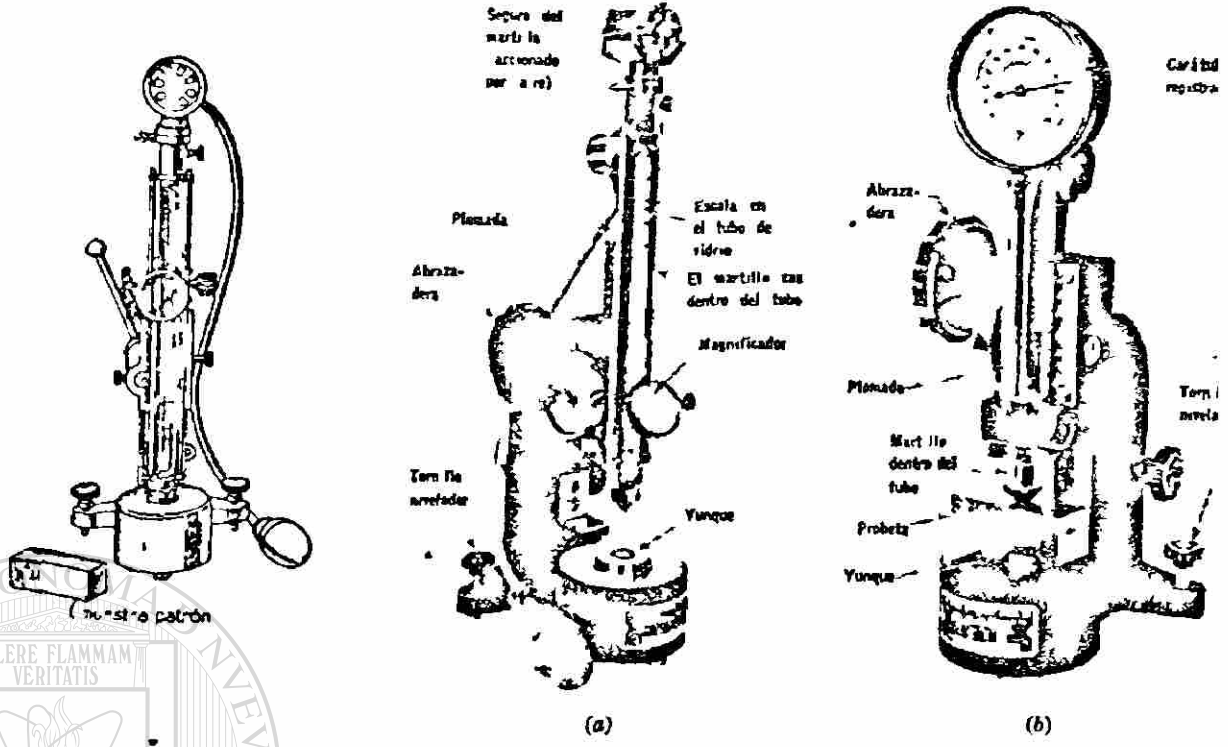
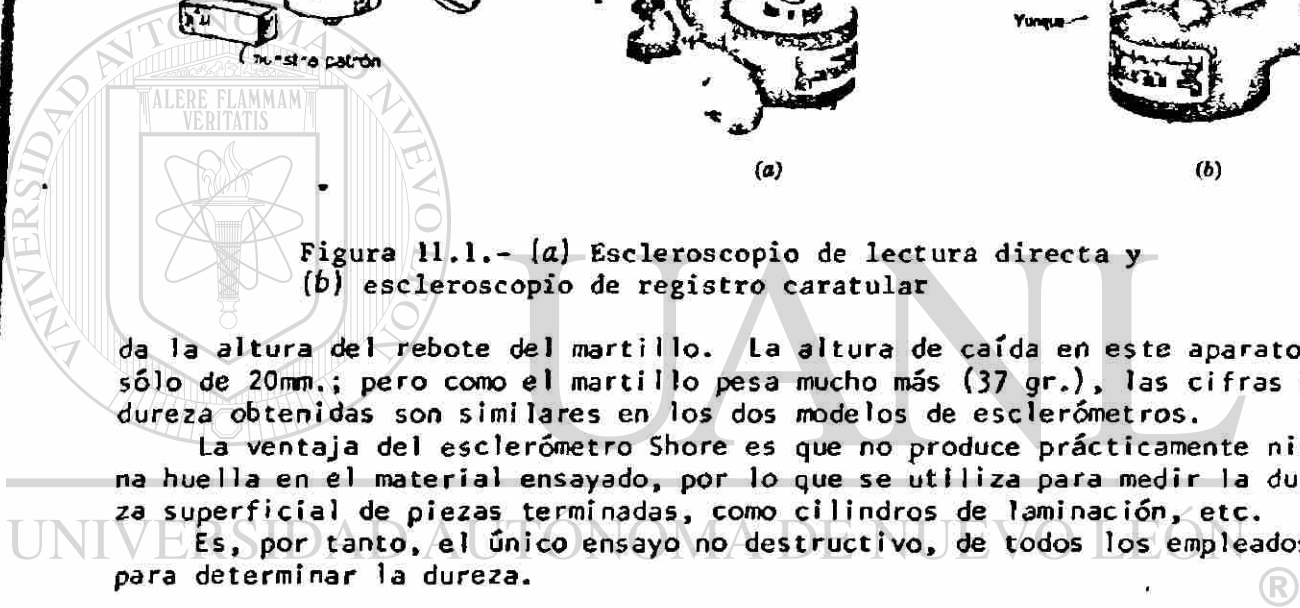


Figura 11.1.- (a) Escleroscopio de lectura directa y (b) escleroscopio de registro caratular

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.



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
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 MINERALÓGICA

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	Feldespato (ortoclasa)	6	Feldespato (ortoclasa)	
7	Cuarzo	7	Sílice puro vítreo	
8	Topacio	8	Cuarzo	Estilita
		9	Topacio	
		10	Granate	
9	Zafiro o corundo	11	Circonia fundida	Carburo de tántalo
		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.

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

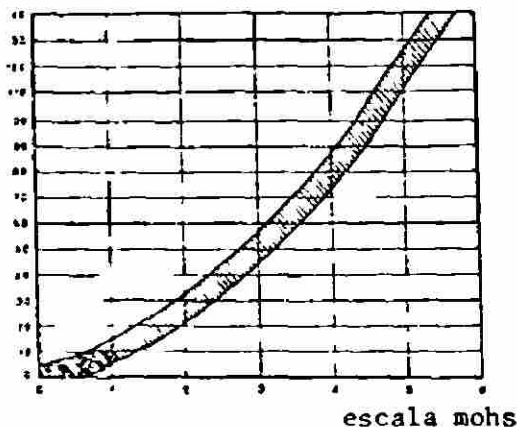
$$\Delta M = \frac{10,000}{a^2}$$

Como orientación, damos la dureza Marten de algunos metales:

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

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

dureza marten



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.



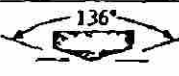









Si no "entra" la lima, su dureza será superior a 60 HRC (60 Rockwell-C), y si le "entra", será inferior a 58 HRC (58 Rockwell-C).

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.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
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	$R_A =$	100-500t
				150 kg	$R_C =$	
				100 kg	$R_D =$	
B } F } G }	Esfera de acero de 1/16" de diámetro			100 kg	$R_B =$	130-500t
				60 kg	$R_F =$	
				150 kg	$R_G =$	
E	Esfera de acero de 1/8" de diámetro			100 kg	$R_E =$	

a) Prueba o ensayo de dureza Brinell. - El probador de dureza Brinell generalmente se constata 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.

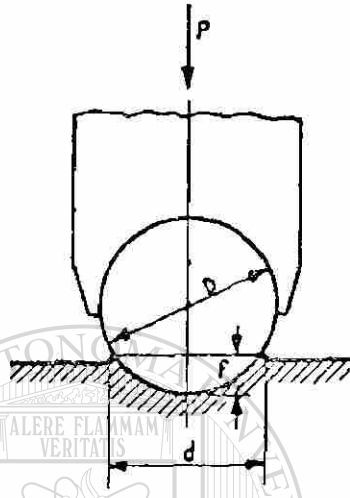
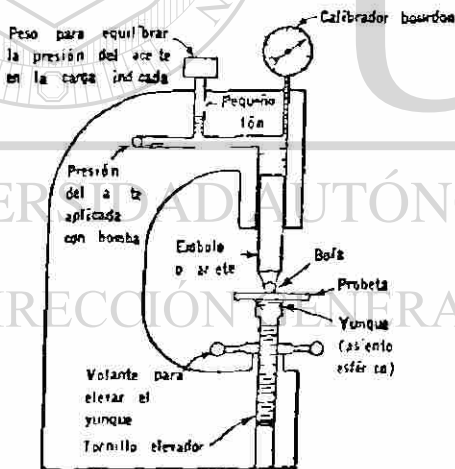


Figura 11.4.- Esquema del ensayo Brinell.



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, éste puede ser demasiado grande y asimétrico. 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 geoméricamente 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	...	632	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 3000 Kg Bola estándar	Rockwell, uso de marcador de penetrador de forma cónica						Eclipsoscopio	Mohs	Resistencia a la tensión, 1 000 lb/pulg ²
		Marcador de diamante cónico		Superficial						
		D 100 KG	A 60 KG	B 100 Kg Bola de 1/16 de pulg	E 100 Kg Bola de 1/8 de pulg	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 EN UNA PROBETA FIL*

Espesor de la probeta, plg	Mínima dureza según Brinell para la cual un ensayo de Brinell puede efectuarse con seguridad		
	Carga de 0 kg	Carga de 10 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:

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

donde:

- \hat{x} = profundidad de la huella, en milímetros
- D = diámetro de la bola, en milímetros

Sin embargo, la profundidad de huella observada \hat{x}_1 (usualmente determinada del movimiento relativo del vástago de la bola y la probeta) y la profundidad real \hat{x} 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. Aunque la profundidad de indentación observada \hat{x}_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 conseguirse en una gráfica o registrar-

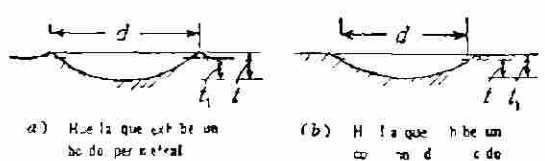


Figura 11.6.- Secciones transversales de las indentaciones en el ensayo de Brinell.

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 suficientes 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

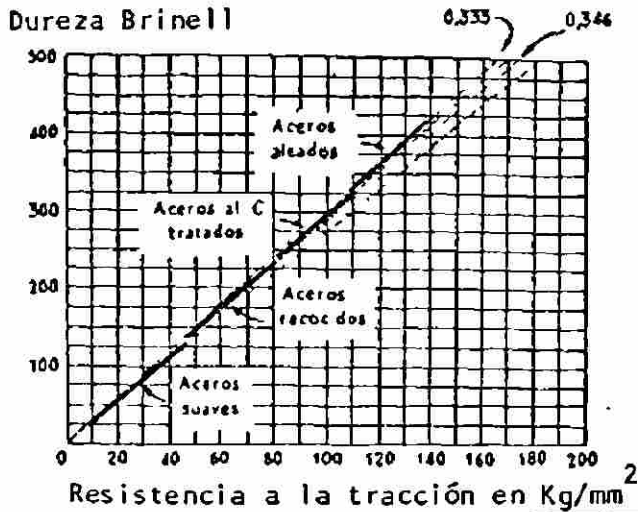


Figura 11.7.- Relación entre la dureza - de los aceros y su resistencia mecánica.

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.

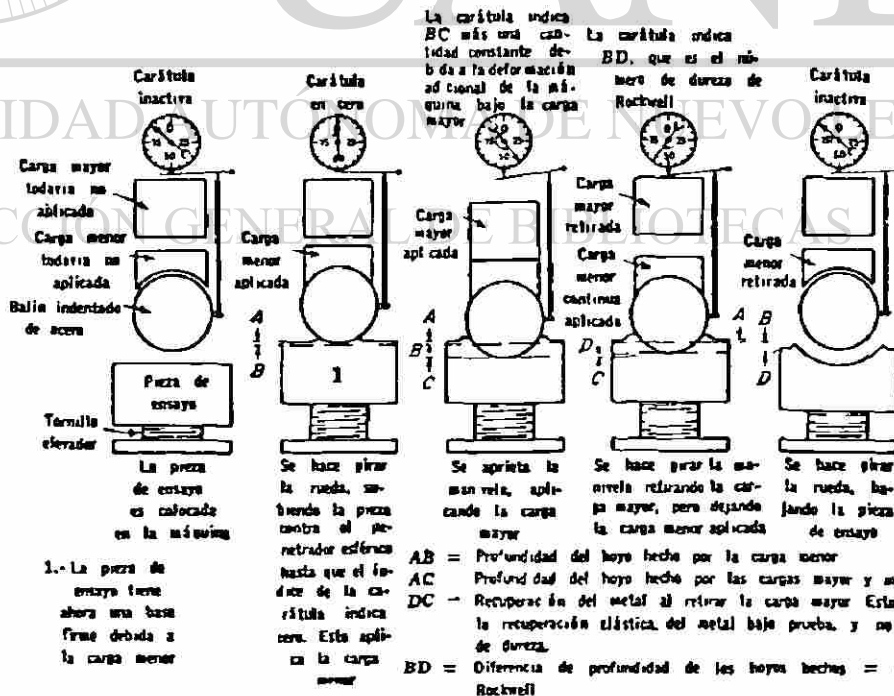
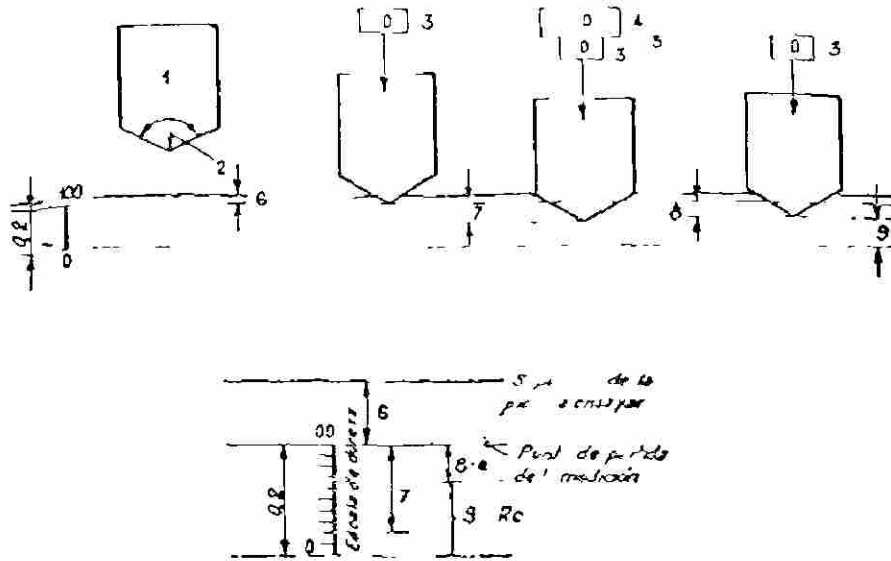
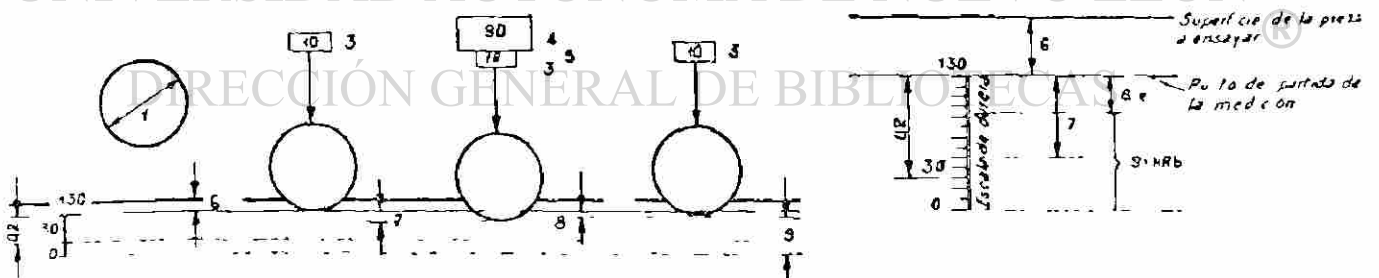


Figura 11.8.- Procedimiento para usar el aparato de dureza Rockwell.



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 ₀ Carga previa = 10 kgs	Carga previa = 10Kgs
4	P _i " adicional = 50 "	" adicional = 140 "
5	P " total = 60 " (P = P ₀ + P _i)	" total = 150 " (P = P ₀ + P _i)
6	Penetración en 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 después de quitar la C. adicional	" permanente después de quitar la C. adicional
9	HRA Dureza Rockwell A = 100 - e	HRC Dureza Rockwell C = 100 - e

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



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

Figura 11.8.- Flujo de del ensayo Rockwell B.

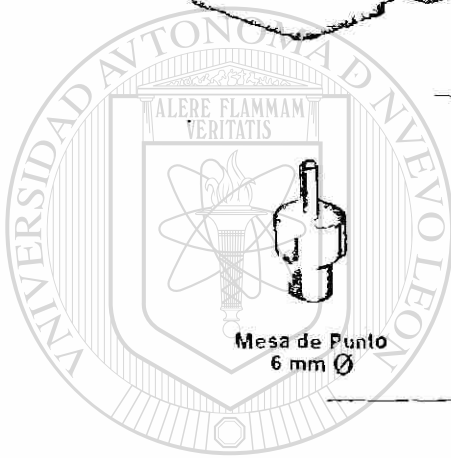
digital de
r a

el tor
de
e cala

n tr dor
r beta

pesas
para la
carga
mayor

manivela para -
ajustar la posi
ción vertical -
de la probeta.



Mesa de Punto
6 mm Ø

Mesa en V

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Yunque Cylíndrico



Yunque de Bola

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 incluyen bolas de acero duras de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 de pulgada de diámetro y un marcador cónico de diamante 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*

Simbolo escalar y letra de prefijo	Penetrador	Carga mayor, kg	Nume- rales caratu- lares	Aplicaciones típicas de las escalas
Bf	Grupo uno Bola de 1/16 plg	100	rojo	Aleaciones de cobre, aceros suaves, aleaciones de aluminio, hierro maleable
Cf	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 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 18

TABLA 11.6.- ESCALAS DE DUREZA ROCKWELL

Escala de medición	Tipo de probador	Tipo y tamaño del penetrador	Carga mayor en kg	Escala del comparador	Escala del Color		APLICACIONES
					Color	Exposición	
A	Normal	Cóno de diamante	150	60	Negro	Fuera	Aceros nitrurados, flejes estriados en frío, hojas de afeitar, carburos metálicos (90 a 98).
B	"	Bola de 1/16"	"	100	Rojo	Dentro	Aceros al carbono recocidos de bajo contenido en C.
C	"	Cóno de diamante	"	150	Negro	Fuera	Aceros duros con dureza superior a 100 Rockwell H o 20 Rc.
D	"	Cóno de diamante	"	100	Negro	Fuera	Aceros cementados.
E	"	Bola de 1/16"	"	100	Rojo	Dentro	Metales blandos, como anti-fricción y piezas frías.
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	Cóno de diamante	3	15	"	"	Aceros nitrurados, cementados y de herramientas de gran dureza.
30-N	"	Cóno de diamante	"	30	"	"	"
45-N	"	Cóno 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 instrumental 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.

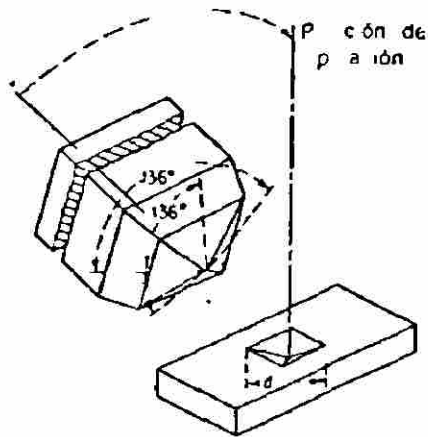


Figura 11.9.- Marcador piramidal de diamante Vickers.

Modelo MO con Sistema de indicación digital

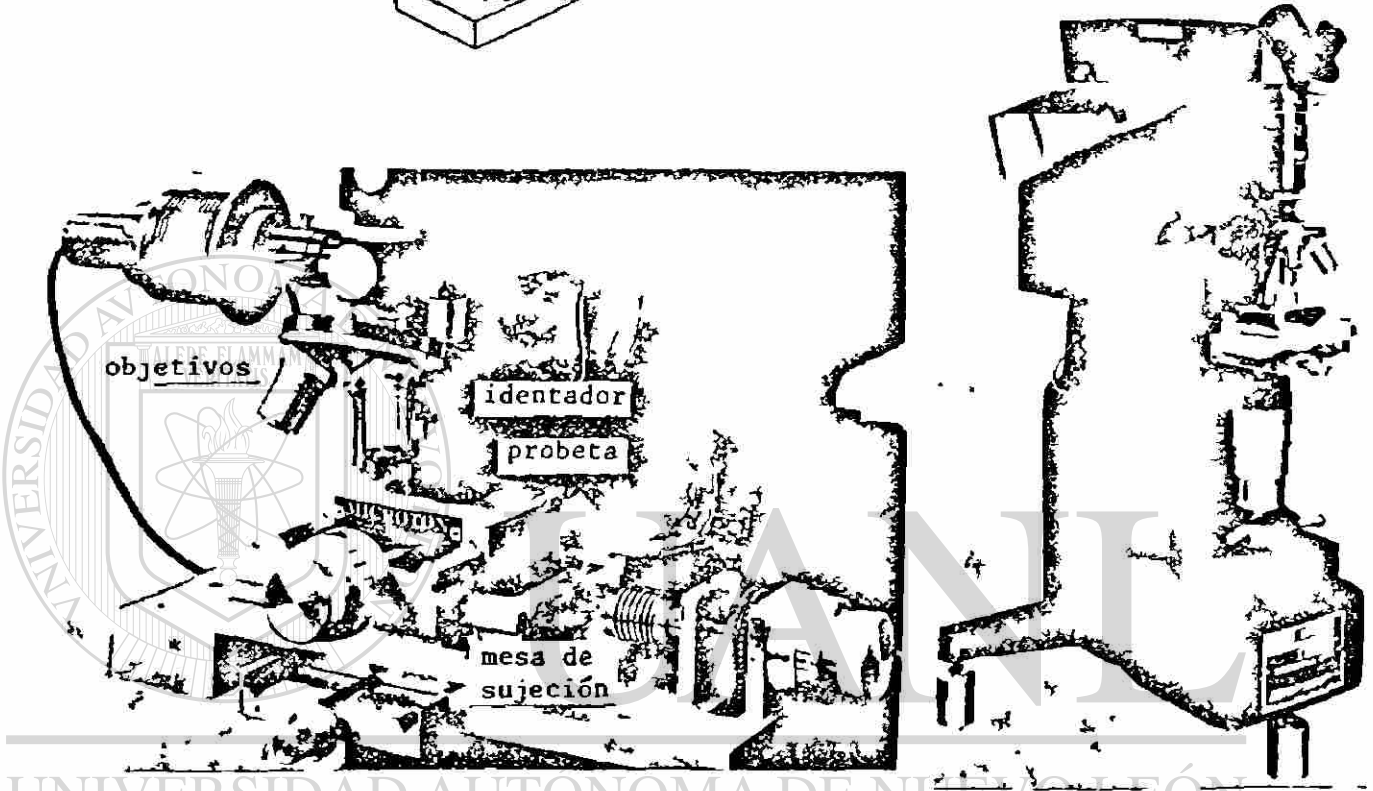


Figura 11.10.- Durómetro Vickers con microscopio e indicador digital integrado.

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

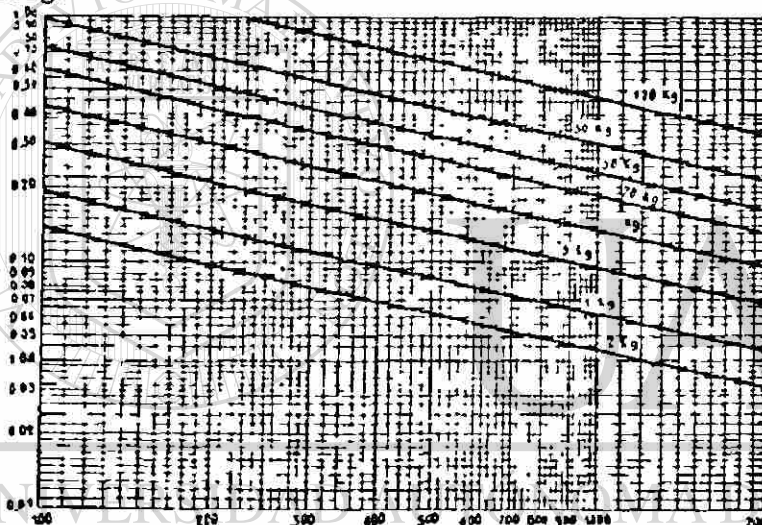


Figura 11.11.- Dureza Vickers en función de la carga aplicada y diagonal de la huella.

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° , 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° . 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.

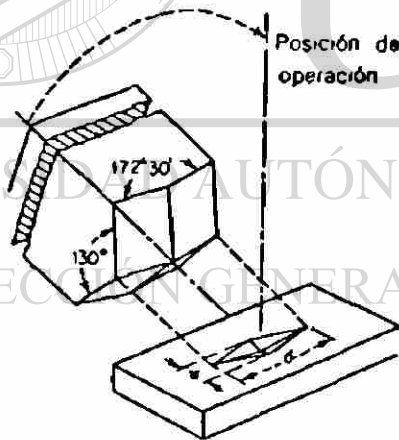


Figura 11.12.- Marcador piramidal Knoop de diamante indentado.

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.						
	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	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.						
	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	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.

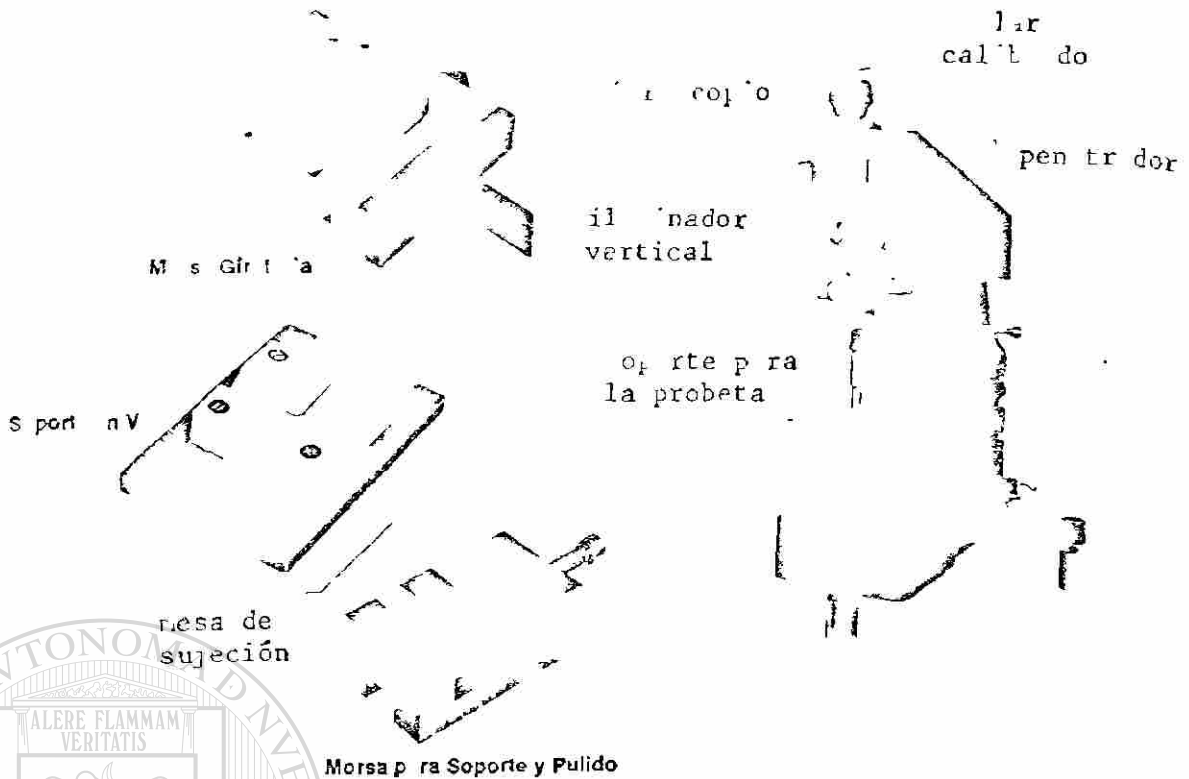


Figura 11.13.- Probador de microdureza Tukon y tres soportes de sujeción diferentes.

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 recomendada 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 indente. Una muestra larga debe sujetarse cuidadosamente de tal forma que no se ladee. Una superficie plana debe prepararse, si es posible, sobre una muestra de forma cilíndrica y marcarse un yunque en V para sujetar la muestra, a menos que se esmerile las superficies planas paralelas en los extremos del cilindro, en cuyo caso se puede utilizar un yunque plano. Si se desea una prueba de dureza Rockwell en

TABLA 11.8.- APLICACIONES TIPOICAS DE LAS ESCALAS DE DUREZA ROCKWELL Y VICKERS

B IN LL	ROCKWELL	ROCKWELL S P R I C I A L	VICKERS	MICRODUREZA
<p>Acero cristal y cerámicas laminadas.</p> <p>La mayor parte de las fundiciones, incluyendo el acero, hierro fundido y aluminio.</p> <p>La mayor parte de los fragados.</p>	<p>Partes acortadas, tales como rosas, pletas para ejes, bushings, pernos, e granes, poleas, rodillos, pájaros, pivotes, topes etc.</p> <p>Herramientas de corte, tales como sierras, cinceles, cinceles, tijeras.</p> <p>Herramientas de fundido.</p> <p>Fundiciones y fragados pequeños.</p> <p>Hojas metálicas.</p> <p>Almbrado de diámetro grande</p> <p>Contactos eléctricos.</p> <p>Hojas o partes plásticas.</p> <p>Partes cementadas.</p> <p>Cerámicos cementados.</p>	<p>Instrumentos que la Rockwell utilizar, excepto el de que requiere una penetración menor profunda, como en:</p> <p>Partes- cementadas delgadas, hasta de 0.010 pulg.</p> <p>Materiales delgados, hasta de 0.06 pulg.</p> <p>Cerámicos cementados.</p> <p>Metales en polvo.</p>	<p>Instrumentos que para la Rockwell y la Rockwell superficial, excepto el de que requiere más extitud 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 reducción.</p> <p>Secciones delgadas, tales como tuberías.</p> <p>Estructuras débiles.</p> <p>Especímenes del chapado.</p>	<p>Superficies plásticas.</p> <p>Resinas, epoxi, polímeros, níquel o plásticos.</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 fundidos.</p> <p>Partes o áreas muy pequeñas, como engranes de reloj, bridas de herramientas de corte, crestas de filetes en roscas, 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 dureza del grano o la dureza de la superficie 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.

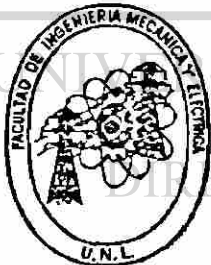
Las ventajas principales del escleroscopio son las pequeñas impresiones que permanecen, la rapidez de la prueba y la portabilidad del instrumento; sin embargo, los resultados tienden a ser inexactos, a menos que se tomen precauciones adecuadas.

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.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 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.

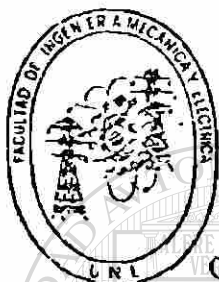
REALIZADO POR: _____

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

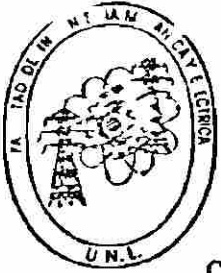
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE DUREZA EN METALES
METODO ROCKWELL.

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 -----

UANL

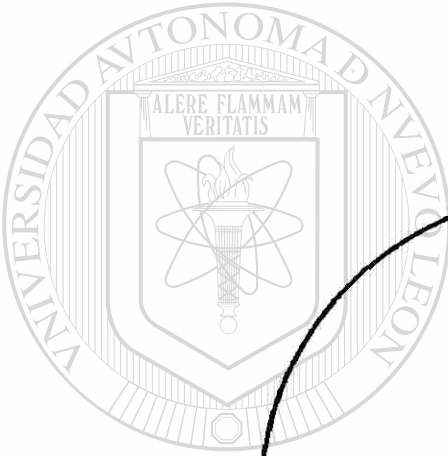
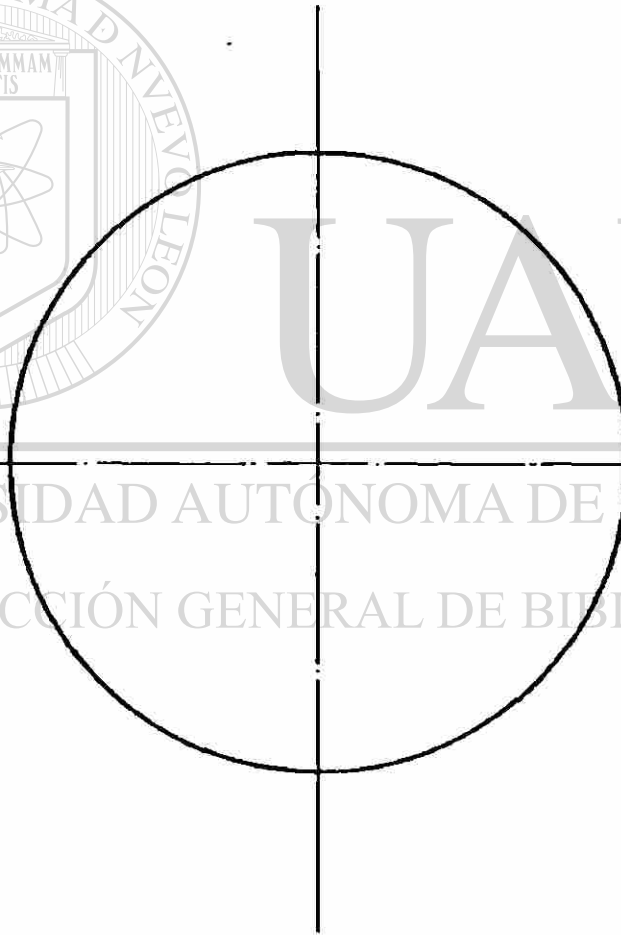
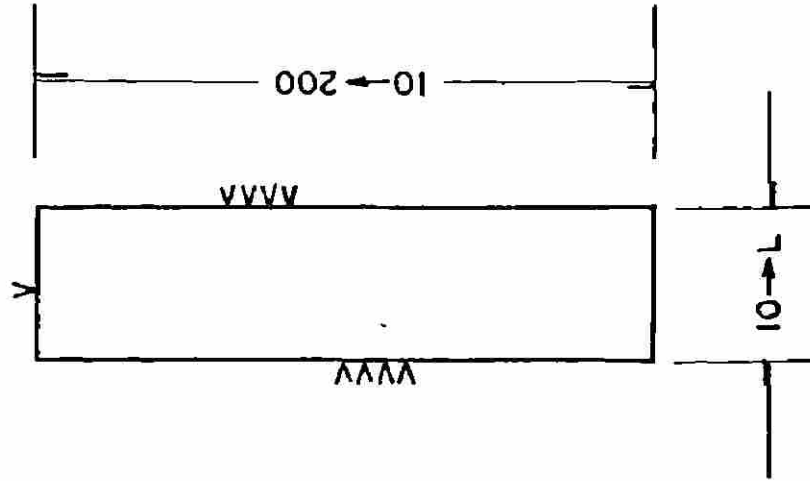
MONTERREY, N.L.

FECHA: _____

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

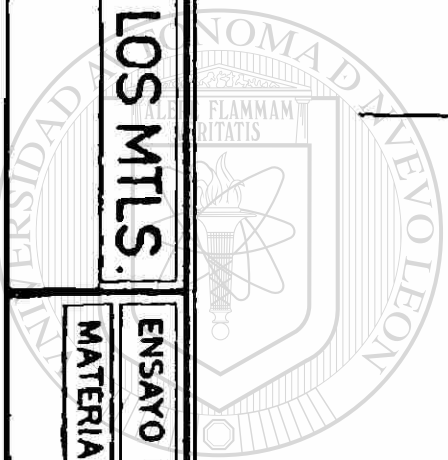
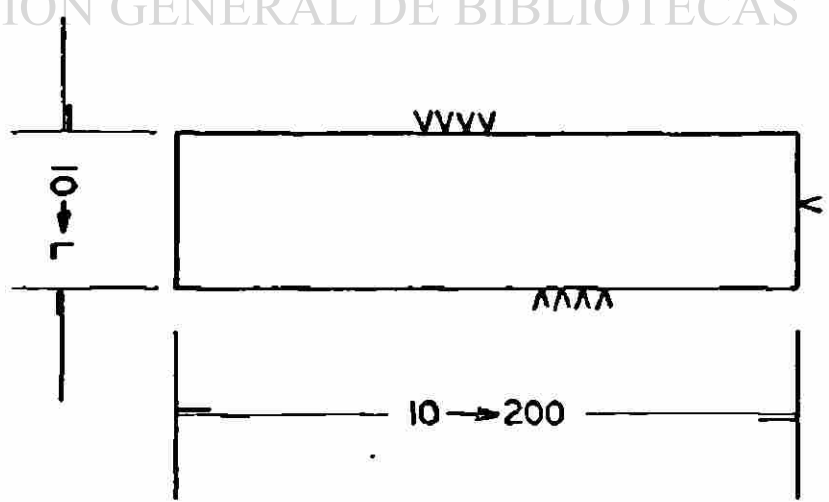
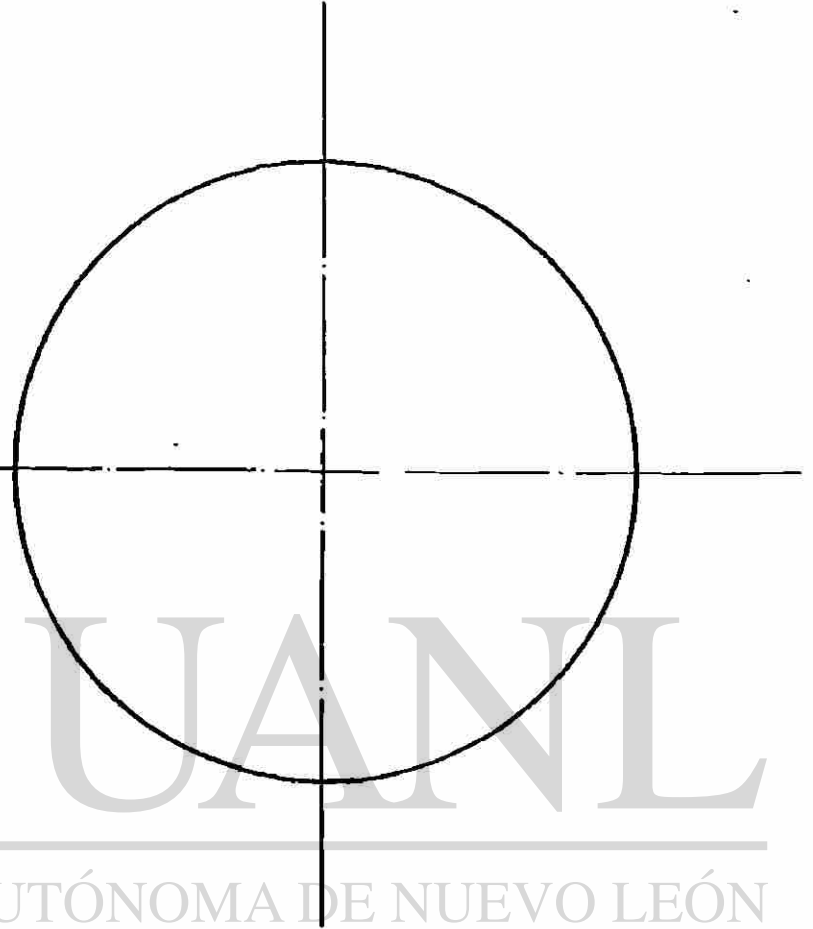
	EST: VICKERS	ENSAYO: DUREZA	LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.®	UANL FIME
	COTAS. mm.	MATERIAL: METAL		

UANL
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.

ENSAYO DUREZA
MATERIAL: METAL

EST: ROCKWELL
COTAS: mm

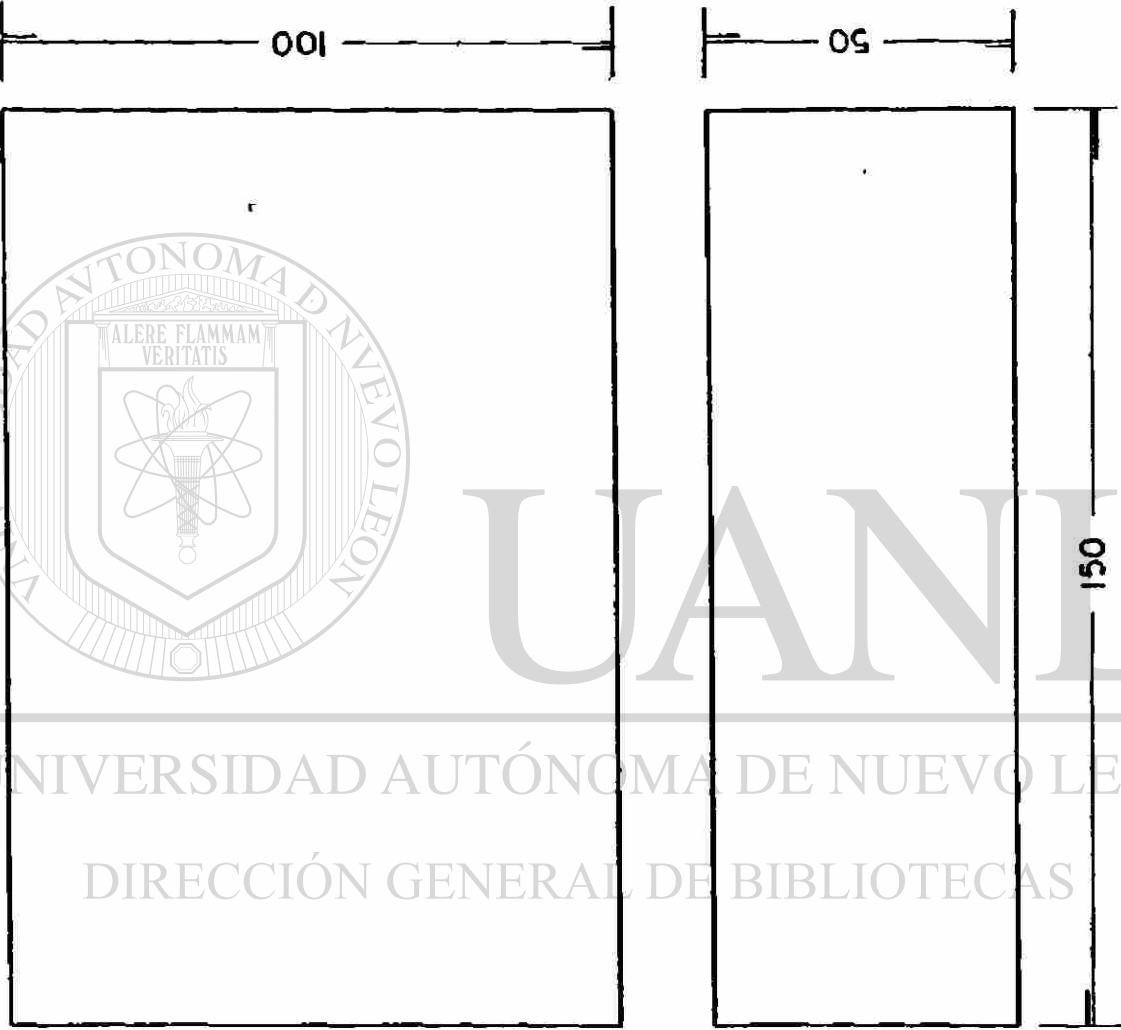


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

COLECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





ESCALA: 1:125

NOTA: Para probetas
circulares o
cuadradas.

EST: BRINELL		ENSAYO: DUREZA		LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.
COTAS: mm.		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 "sensibilidad 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

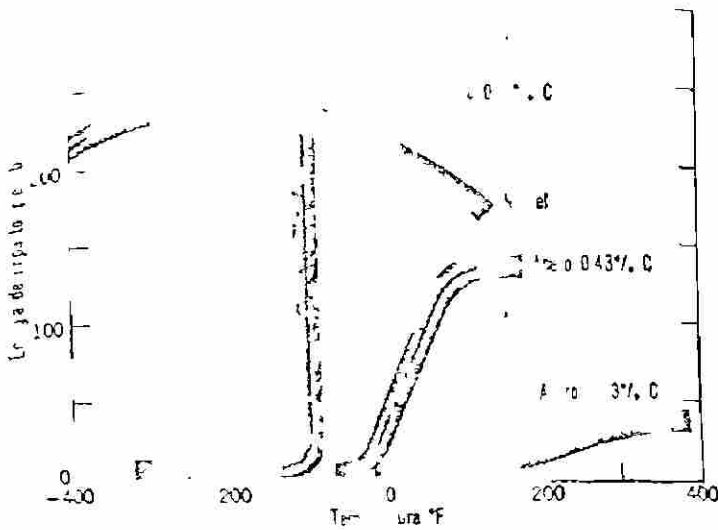


Figura 12.1.- Resultados de pruebas de impacto para varias aleaciones, medidos a través de un intervalo de temperatura.

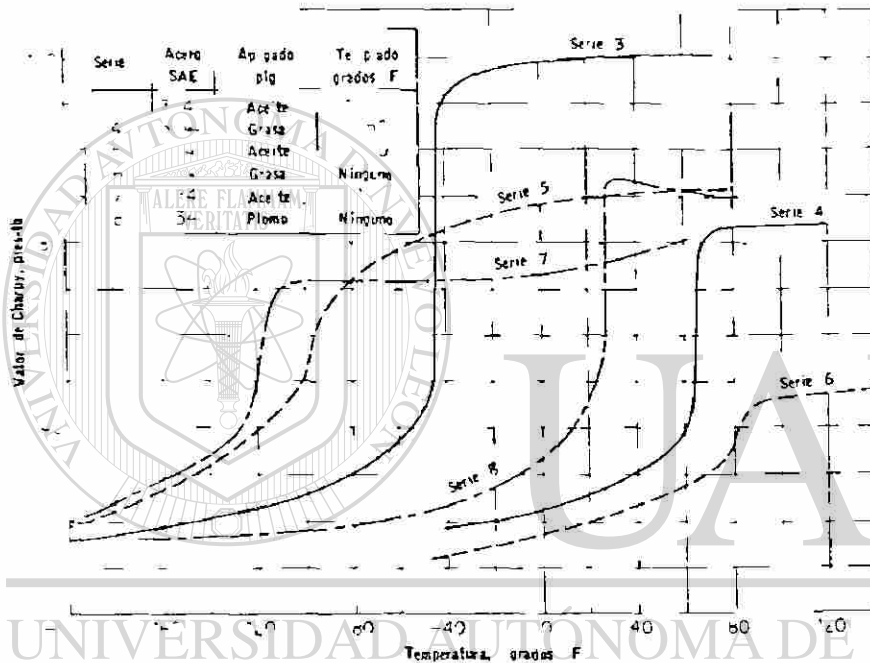


Figura 12.1.- Variación del rango de la temperatura de transición para el acero en el ensayo de Charpy.

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 y se muestra como se muestra en la figura 12.2a, (ASTM E 23). Estos 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.

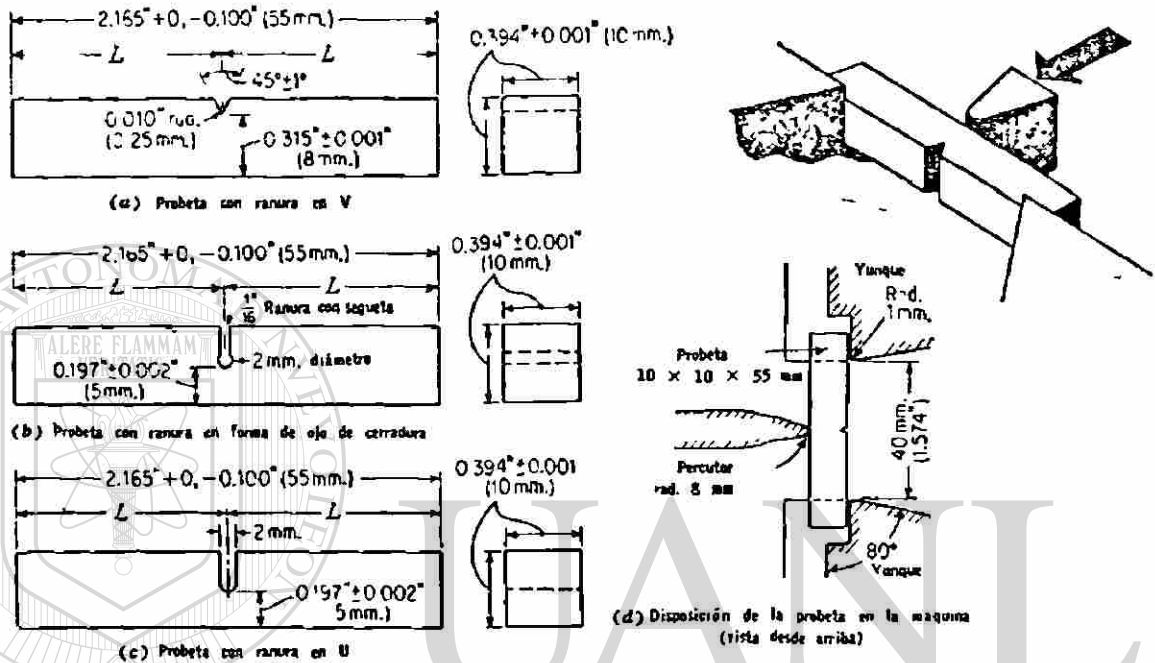


Figura 12.2.- Probetas de Charpy

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

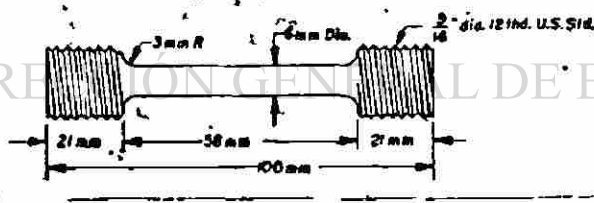


Figura 12.3.- Probeta de impacto de tensión.

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°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°F), y el líquido para inmersión es usualmente alcohol hasta -190°F , isopentano hasta -250°F , y el mismo nitrógeno líquido hasta -319°F .

Los termómetros adecuados para determinar la temperatura del enfriador son del tipo mercurial hasta -38°F , alcohol o tipos bimetalicos hasta -150°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°F , no ocurren ningunos cambios de temperatura apreciables dentro de 5 seg cuando se usa alcohol.

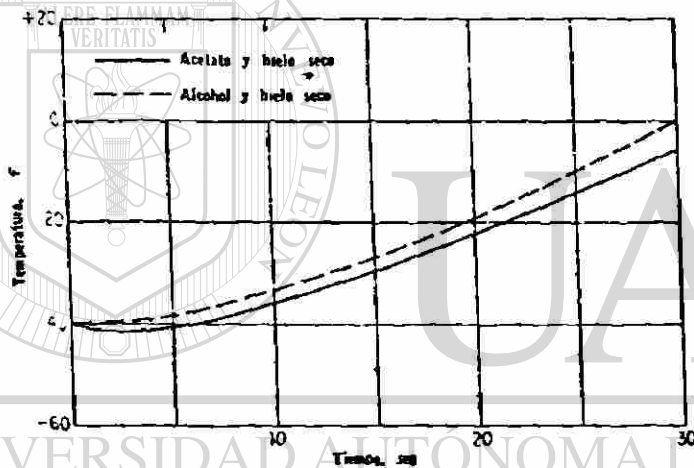


Figura 12.4.- Cambio de temperatura de las probetas de Charpy al retirarse del baño a -40°F .

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° 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-

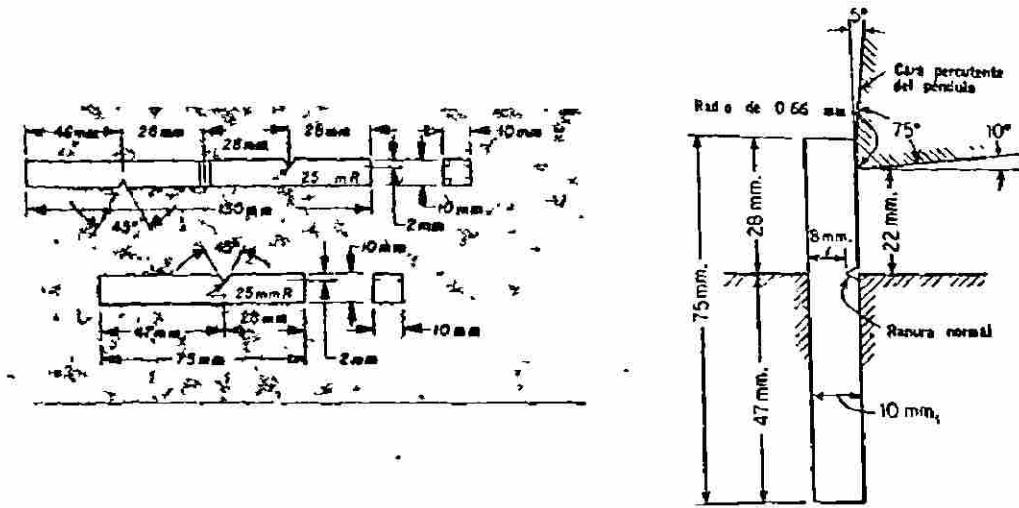


Figura 12.5.- Probeta de viga en voladizo y su montaje para el ensayo de Izod.

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

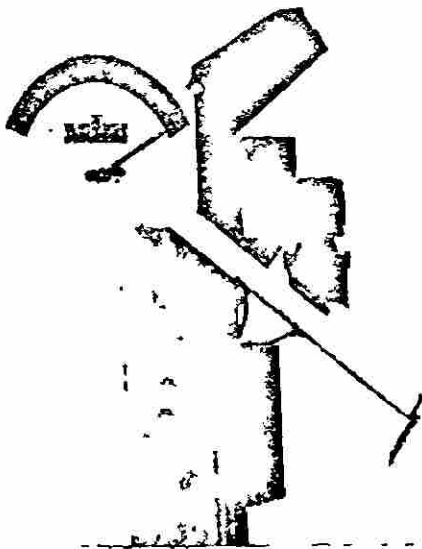


Figura 12.6.- Mecanismo de regreso motorizado del péndulo

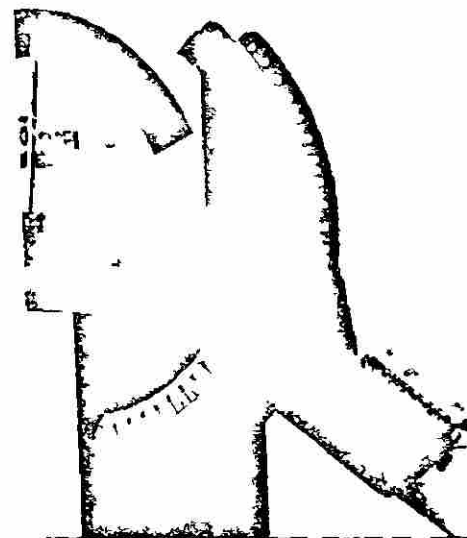


Figura 12.7.- Posicionador opcional para energías bajas.

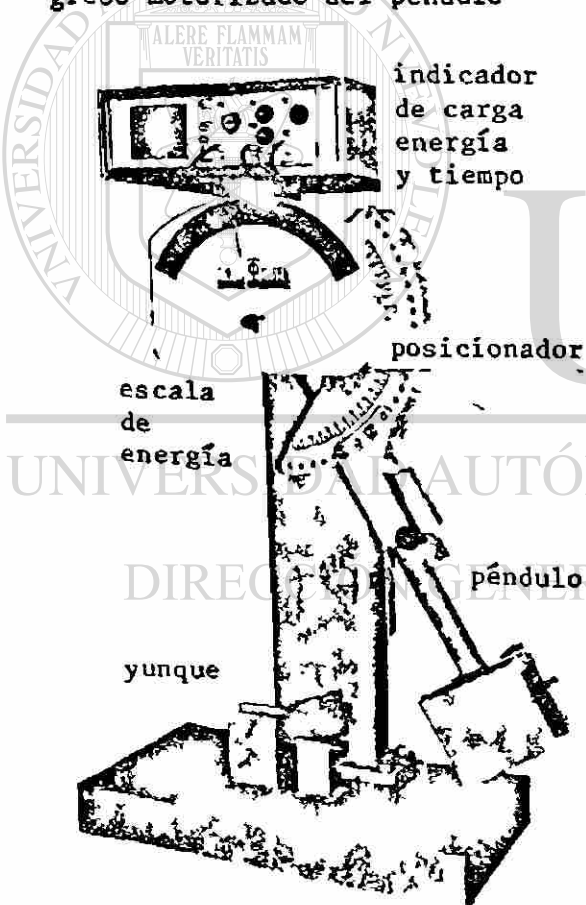


Figura 12.8.- Probador de impacto con el Dynatup integrado y con posicionador de bajo nivel de energía hasta .2 libra-pie y velocidades de caída de .4 pies por seg.

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.

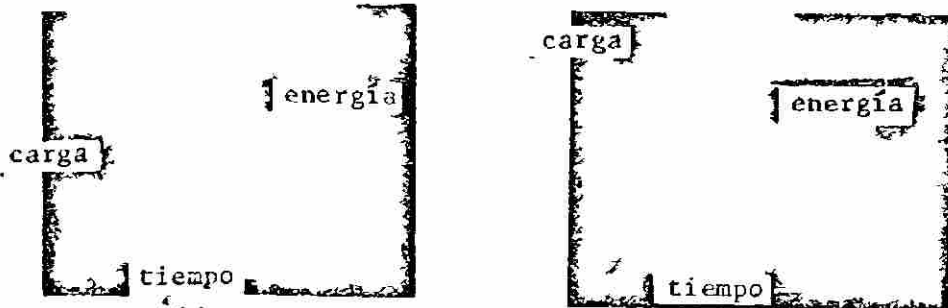


Figura 12.9.- Las dos gráficas fueron tomadas de un Dynatup y que se refiere a dos materiales que tienen la misma energía de impacto, donde es mayor en ductilidad (Fig. a), y el otro es altamente frágil (Fig b). Las propiedades pueden ser leídas aparentemente de la curva de carga. Las curvas también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

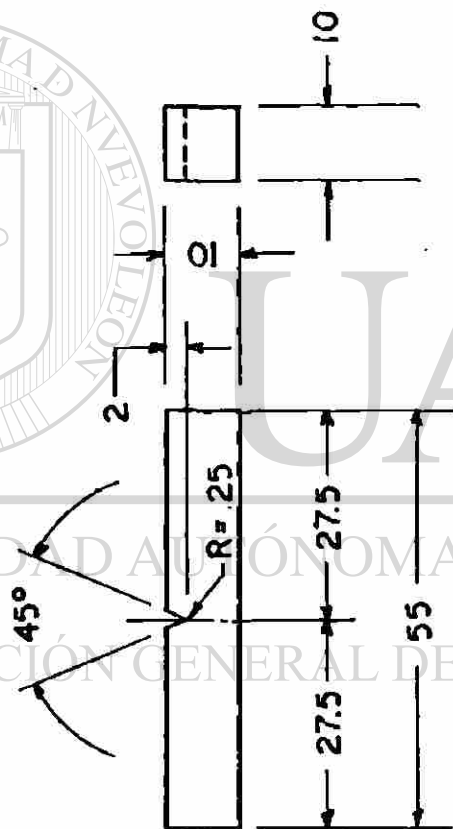
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO DE IMPACTO EN METALES
 REALIZADO POR: _____

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



LAB. DE MEC. DE LOS MTL.

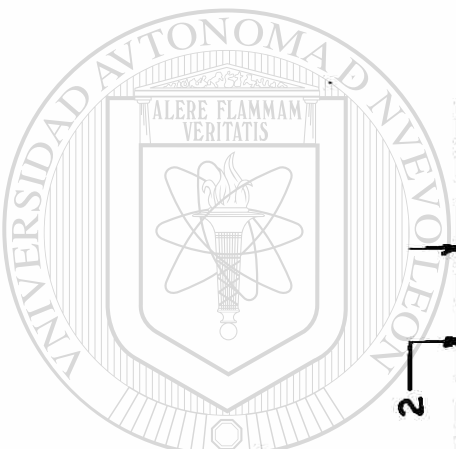
UANL FIME

ENSAYO: IMPACTO

MATERIAL: METAL

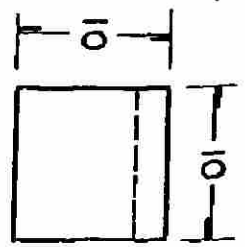
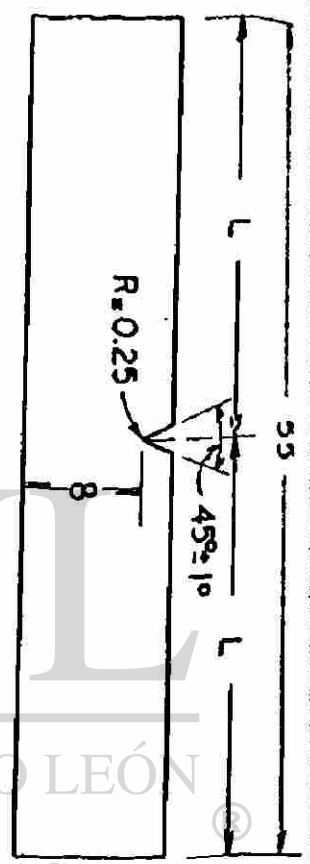
EST: E 23-64

COTAS: mm.

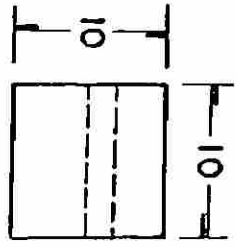
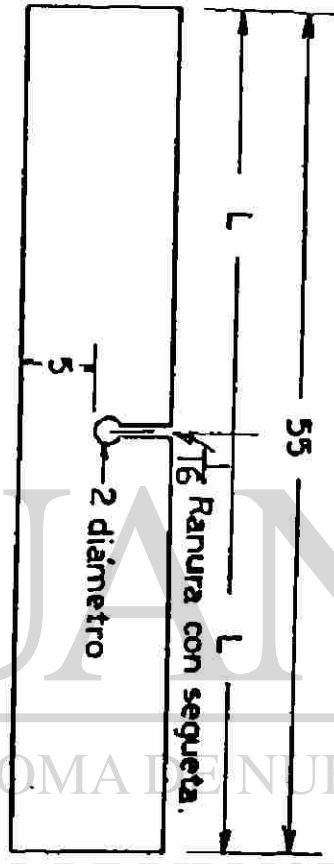


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

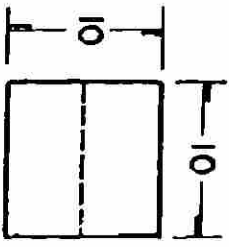
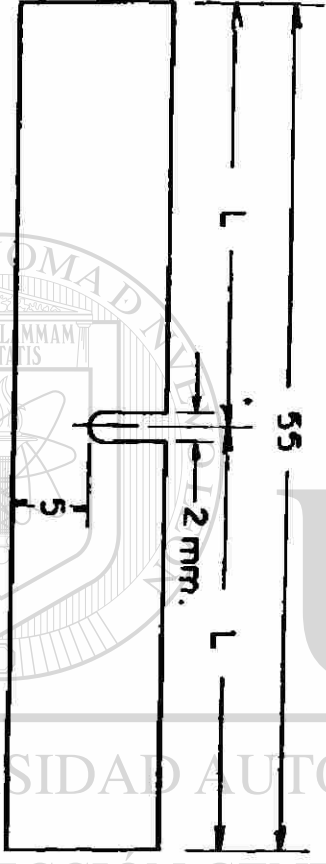
(a) Probeta con ranura en V.



(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.

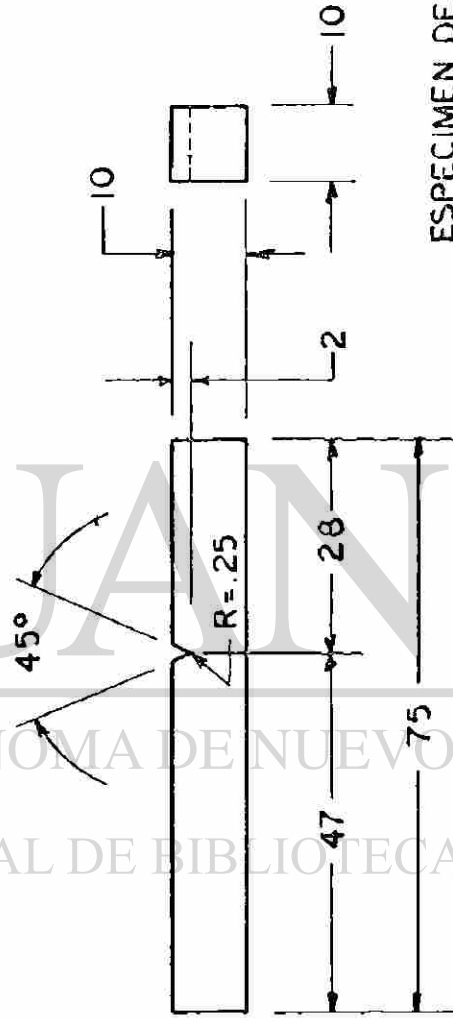
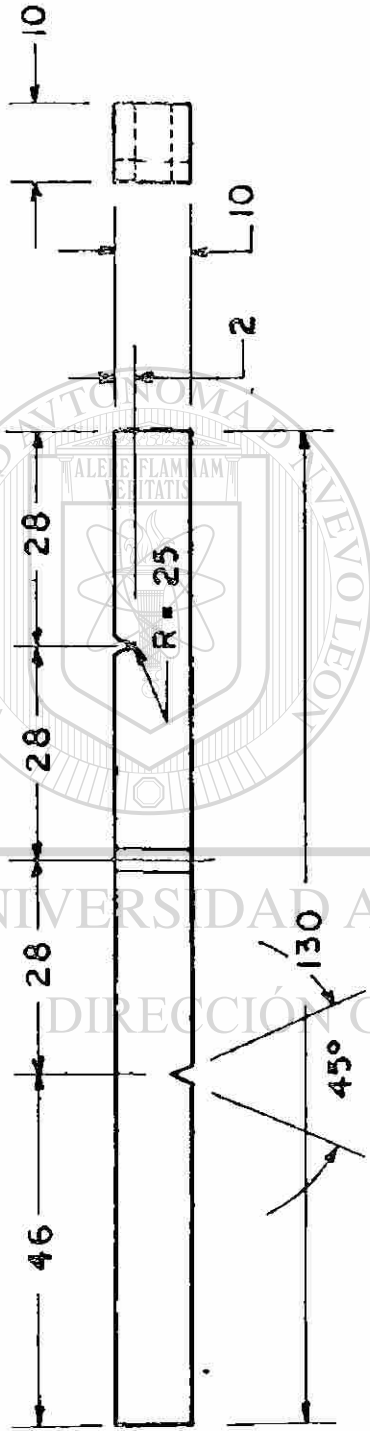
ENSAYO: IMPACTO

MATERIAL: METAL

EST: ASTM E-23

COTAS: mm.





ESPECIMEN DE PRUEBA IZOD

UANL
FIME

LAB. DE MEC. DE LOSMTLS.

ENSAYO: IMPACTO

MATERIAL: METAL

EST: E 23-64

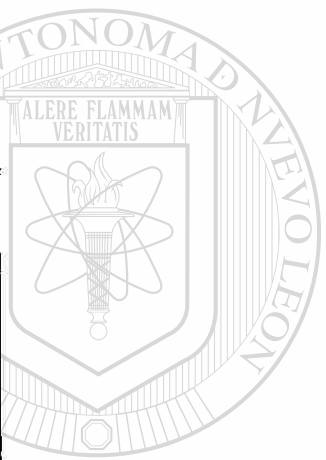
COTAS: mm.

UANL
FIME

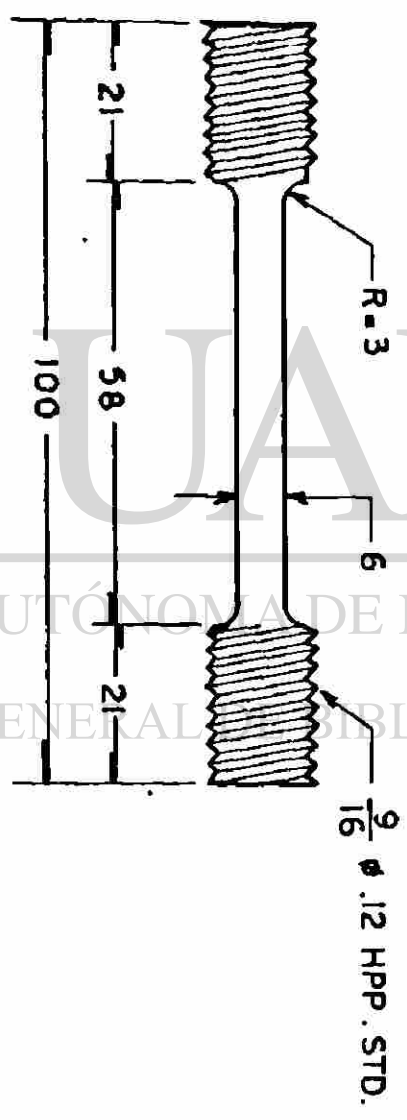
LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.

ENSAYO: TENSION
MATERIAL: METAL

EST: E 23-64
COTAS: mm.



UNANL
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



ESPECIMEN DE PRUEBA IMPACTO
TENSION.

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, σ_1		σ_1	$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 1.0$	σ_1	0
Esfuerzo pulsante, entre σ_1 y σ_2		σ_1	$0 < \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 1$	σ_m	$\pm \sigma_a$
Esfuerzo pulsante entre σ_1 y 0		σ_1	$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = 0$	σ_m	$\pm \sigma_a$
Parcialmente invertido entre σ_1 y (σ_2), cuando $\sigma_2 < \sigma_1$ y de signo opuesto		σ_1	$-1 < \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 0$	σ_m	$\pm \sigma_a$
Esfuerzo completamente invertido, entre σ_1 y σ_2 , cuando $\sigma_2 = -\sigma_1$	 Un ciclo	σ_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.- MAQUINAS 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.

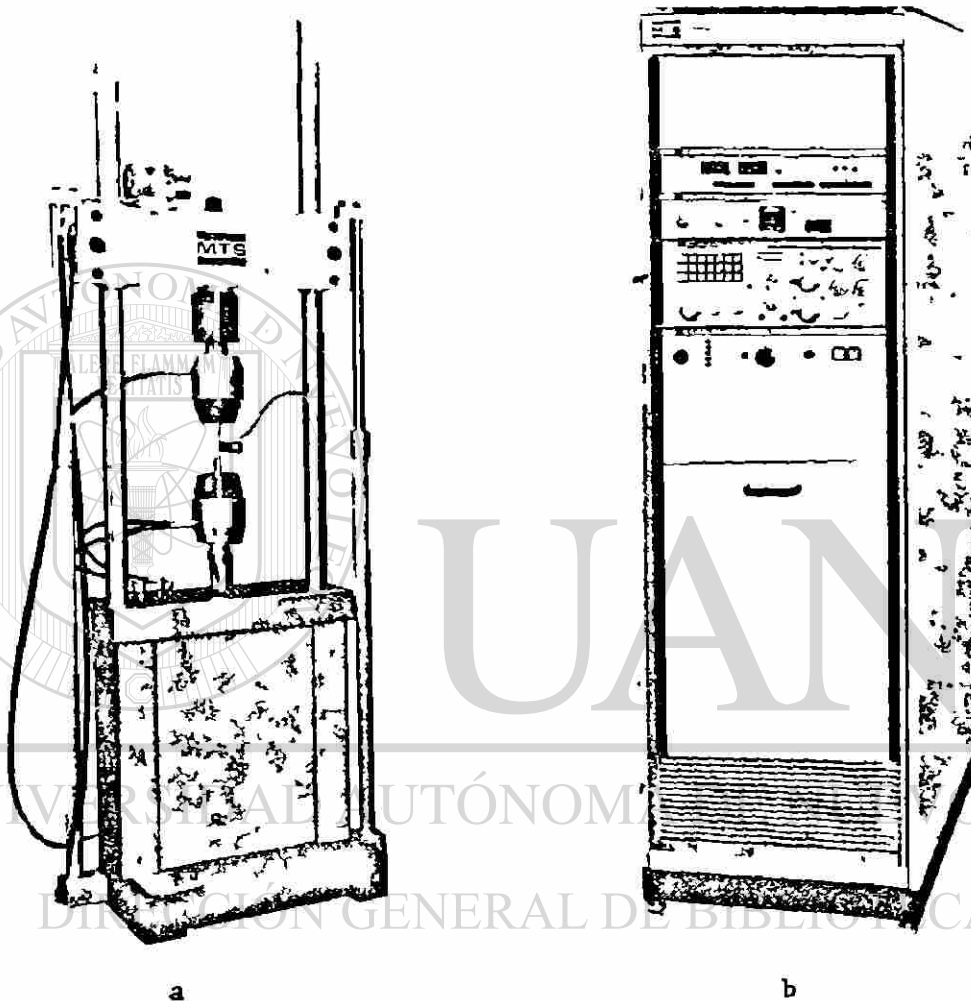


Figura 13.1.- Máquina universal de prueba para condiciones dinámicas, la a es la sección mecánica de prueba y la b es el panel de control.

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 perímetro 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.

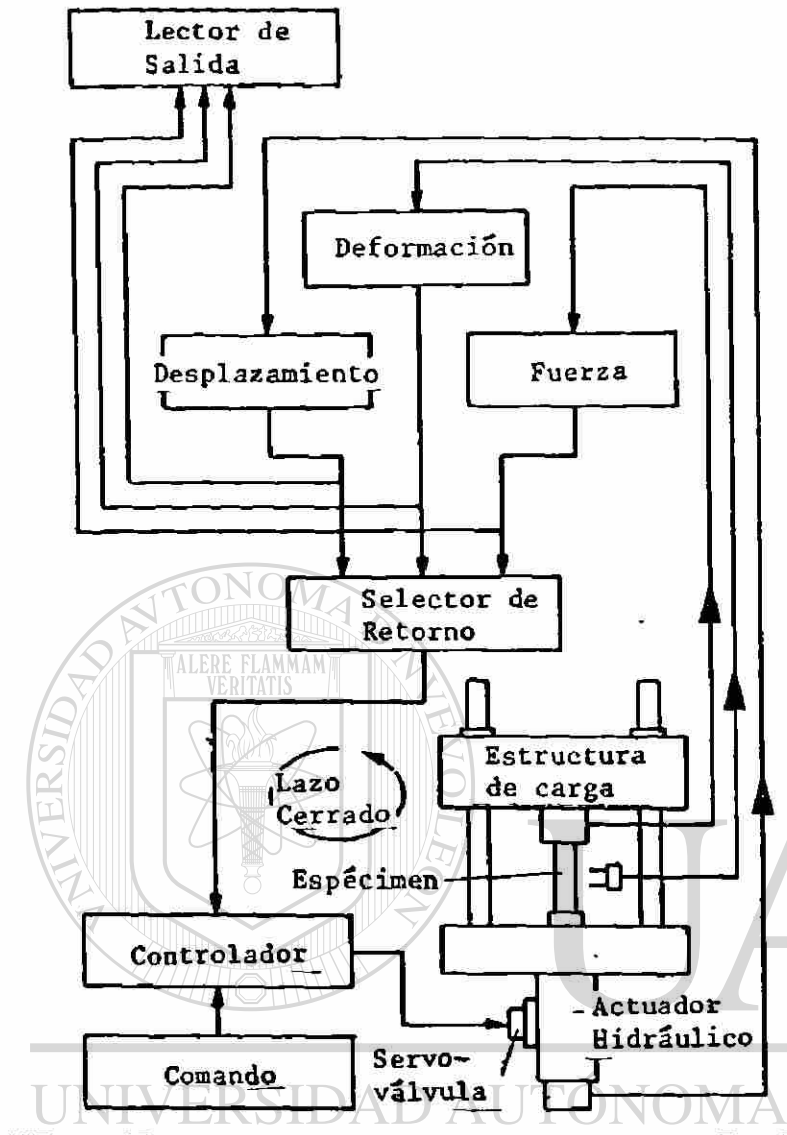


Figura 13.2.- Diagrama de blocks de la máquina para pruebas dinámicas.

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.

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 --

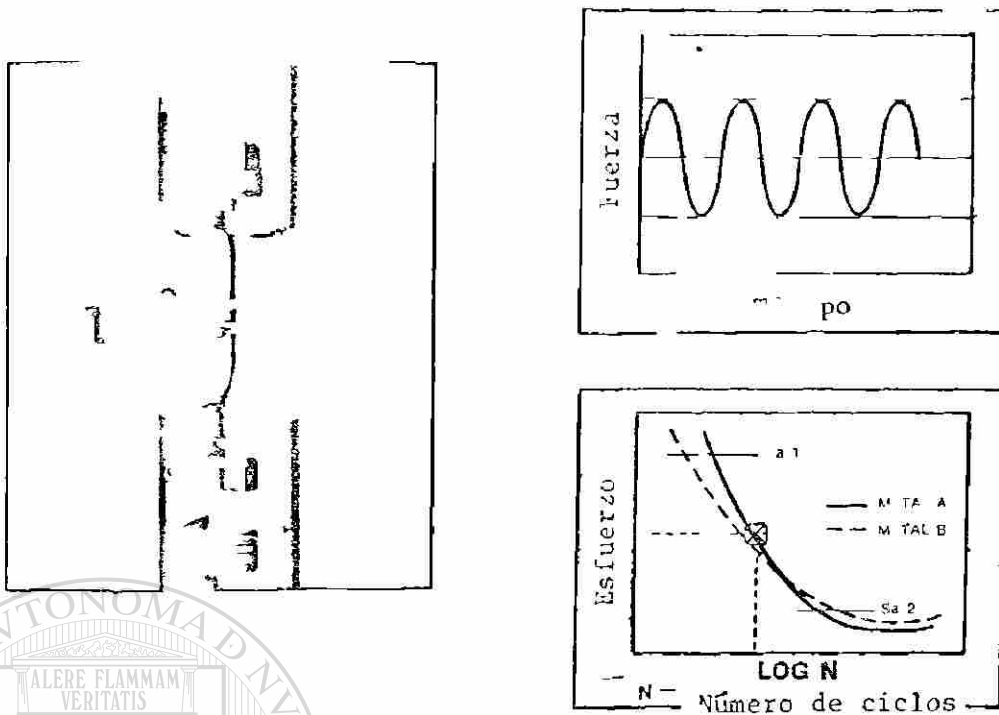


Figura 13.3.- a) montaje de la probeta, b) señal de referencia de entrada, c) curva del comportamiento de la probeta.

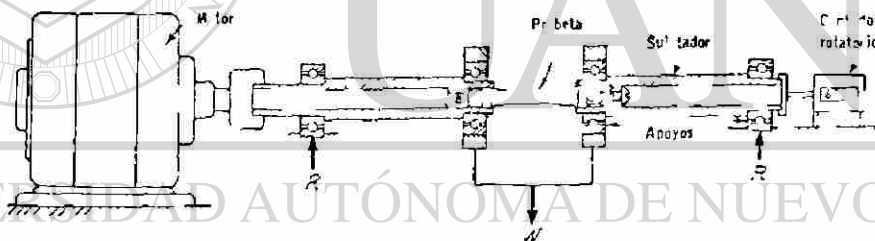


Figura 13.4.- Un tipo de máquina de ensaye de esfuerzo invertido con viga rotatoria.

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 sin 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 repetida o invertida. La mayoría de estas determinaciones han sido realizadas en ensayos al aire libre 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 ha descubierto que varía de 0.48 a 0.64, con un promedio de 0.5. Para las aleaciones de acero al níquel 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.

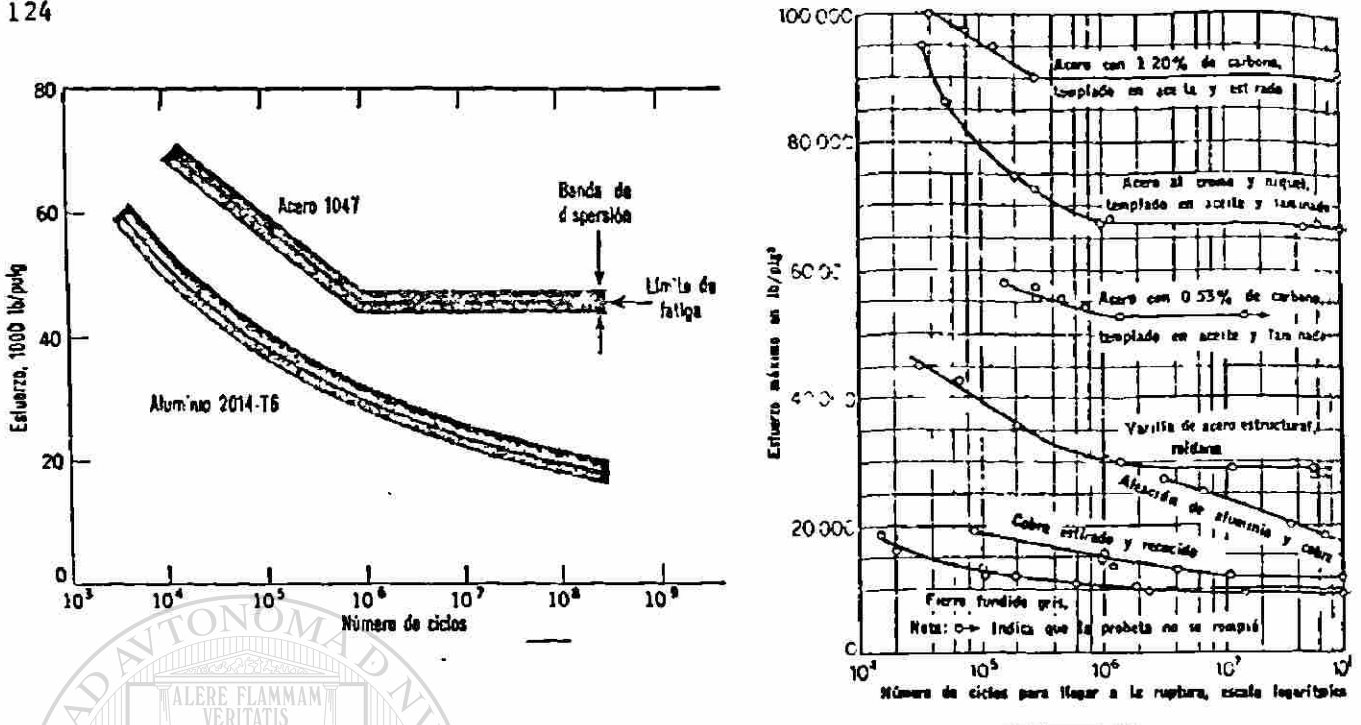
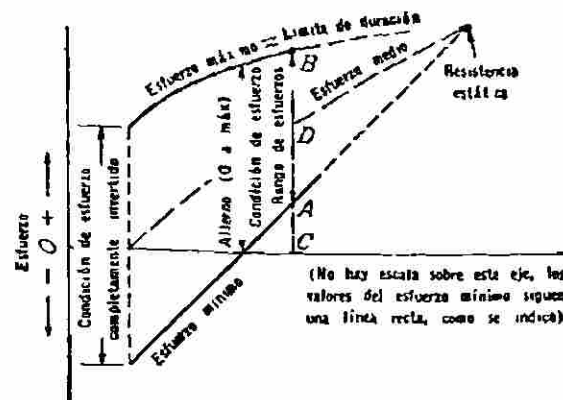


Figura 13.5.- Típicos diagramas SN para determinar el límite de duración de los metales sometidos a esfuerzo flexionante invertido.

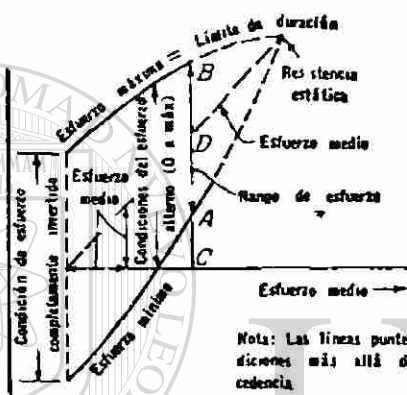
TABLA 13.2.- LIMITE DE DURACION Y RELACION DE DURACION DE VARIOS METALES

Metal	Resistencia a la tensión, estática lb/plg ²	Límite de duración en flexión lb/plg ²	Relación de duración
Acero, 0.18% de carbono, laminación en caliente	62 700	30 900	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

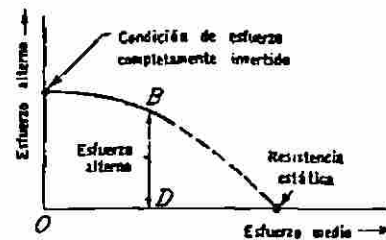
Para probetas de metal sometidas a esfuerzos repetidos que involucren un rango de esfuerzos menor que la inversión completa, mientras menor sea el rango de esfuerzos, más alto será el límite de duración. El valor limitativo es, por supuesto, la resistencia estática. La naturaleza general de la variación 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 fatiga que involucran la variable del rango en términos de esfuerzos. La figura --



(a) Diagrama de tipo Goodman-Johnson



(b) Diagrama de tipo Schenck-Peterson



(c) Diagrama de tipo Haigh-Soderberg

Nota: Las líneas punteadas representan condiciones más allá de la resistencia de cedencia.

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° 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° 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 del diámetro	Reducción del límite de duración nominal, porcentaje
En los extremos	Al centro		
0.10	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 1/4 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.

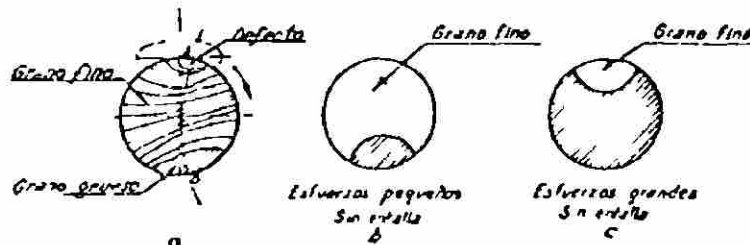


Figura 13.7.- Secciones de rotura por fatiga de probetas sin entalla, producida por flexión rotativa.

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).

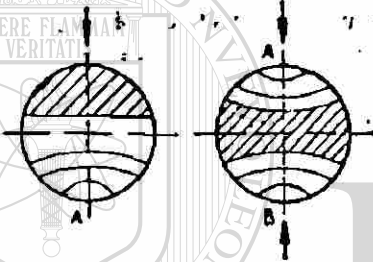


Figura 13.8.- Secciones de rotura por fatiga, de probetas sin entalla sometidas a esfuerzos de flexión intermitentes y alternados.

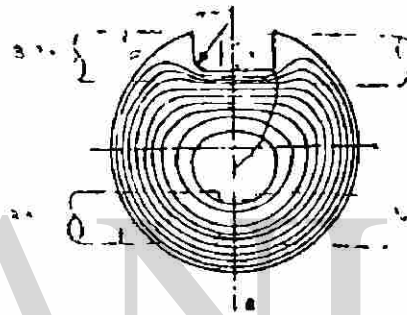


Figura 13.9.- Sección de rotura por fatiga de un eje con chavetero. La grieta se inicia en el ángulo no redondeado.

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

Se ha comprobado también que una pieza perfectamente acabada 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.

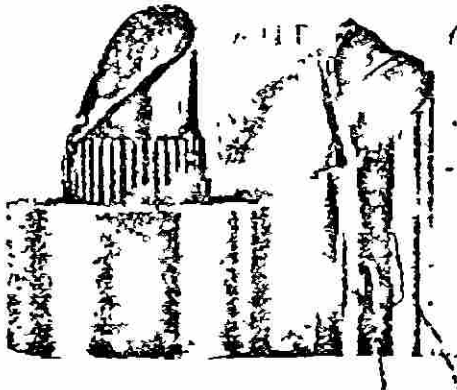


Figura 13.10.- Fractura en hélice típica de las roturas por fatiga con esfuerzos de torsión.

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.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



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: _____

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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 u 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

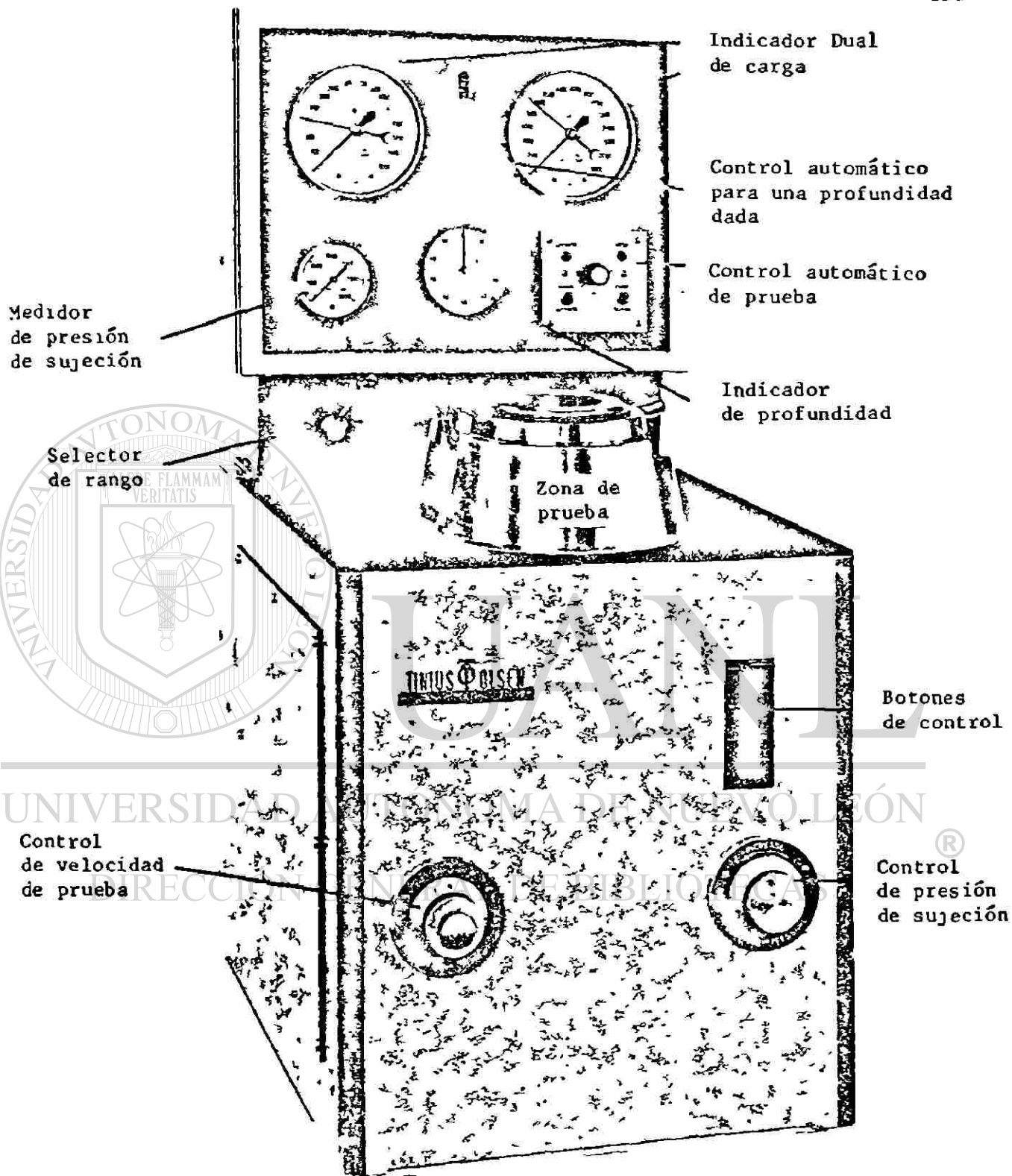


Figura 14.1.- Probadora de ductilidad para placas.

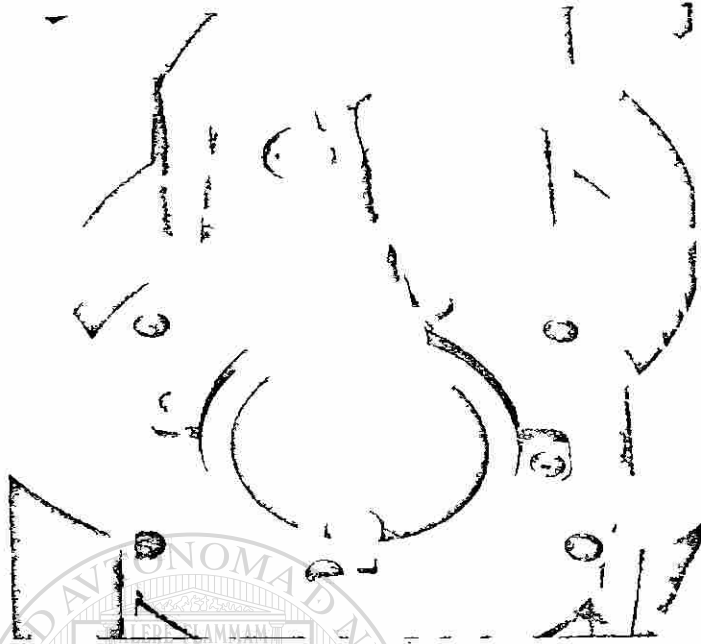


Figura 14.2.- Cambio - rápido del penetrador Olsen/Erichsen.

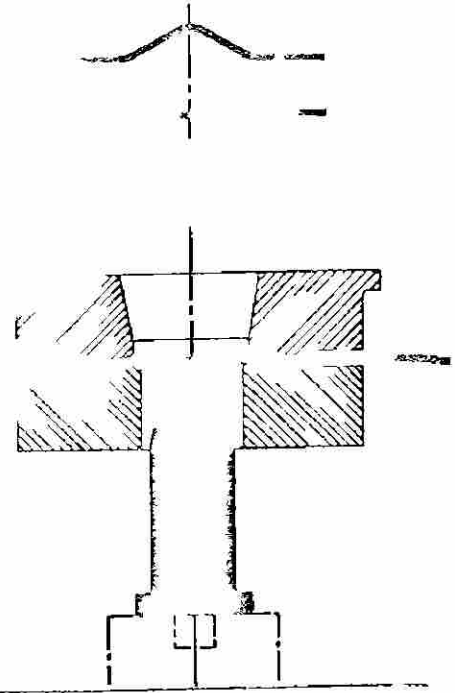
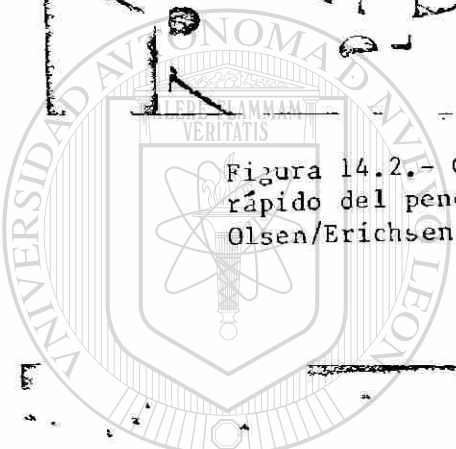


Figura 14.3.- Arreglo para la prueba de ductilidad Olsen y Erichsen.



U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Figura 14.4.- Tipo de falla Ol n/Erick n.

La profundidad
 b) Es de una profunda.- La probeta es circular con espesores que van de 0.3 a 1.86 mm se les da forma en un punto circular de cabeza a un diámetro de 19 a 50 mm. Figura 14.5.



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

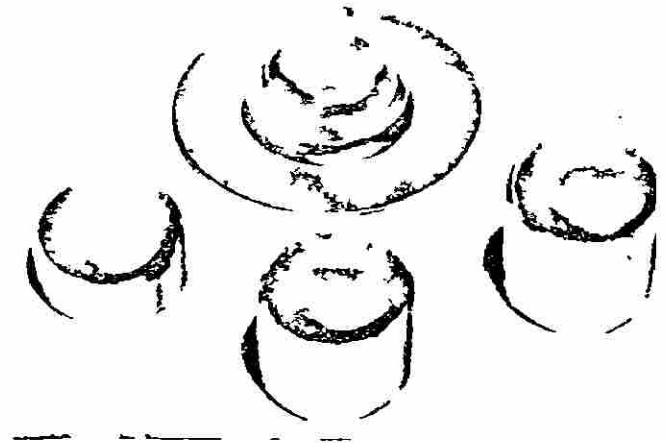


Figura 14.6.- Pruebas de copa profunda para discos de 55 mm, 66 mm, 70 mm y 80 mm de diámetro de una misma placa de acero de 0.059 pulgs.

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.

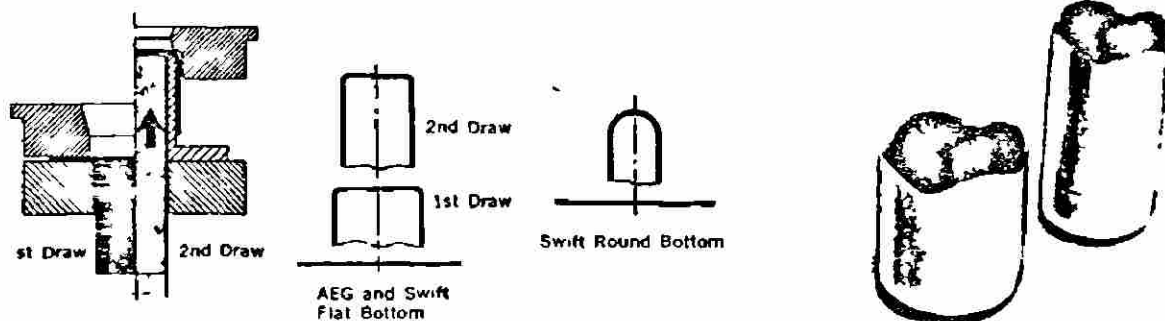


Figura 14.7.- Arreglo del embutido profundo de dos etapas y las probetas ensayadas.

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.

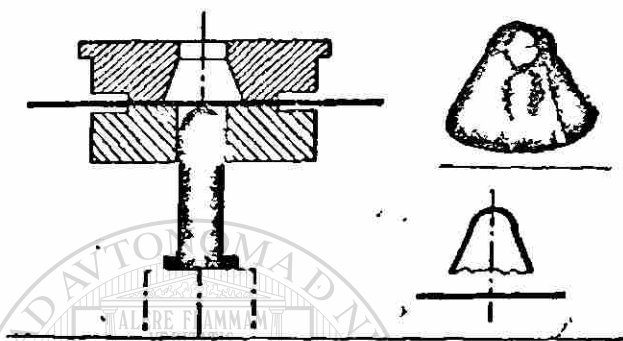


Figura 14.8.- Arreglo para el ensayo de copa cónica - fukus con una muestra rota

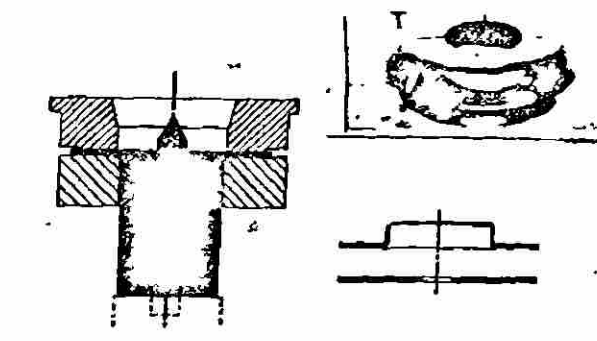
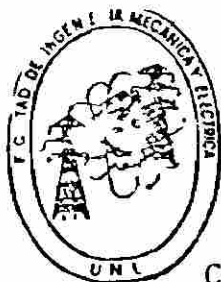


Figura 14.9.- Arreglo para el ensayo de agujero expandido con una muestra rota.

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 -----

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

MONTERREY, N.L.

FECHA: _____

XV. - T A S E E R I S T I S S
 15.1. F A C I S A S I S A E P A A S

AISI- SAE No.	U S No.	C o n t e n t s , % ¹				
		C	Mn	P	ex	S
N o n r e s u l f u r i z e d G r a d e s						
M A N G A N E S E 1 0 0 % M U M						
1 5 2	G 1 0 0 5 0	0.08 max	0.35 max	0.010	0.040	0.050
1 0 0 8	G 1 0 0 8 0	0.10 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
0 0	G 0 1 0 0	0.13 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
0 1 2	G 0 1 0 2	0.15 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
0 1 5	G 0 1 0 5	0.18 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 1 6	G 1 0 1 6	0.18 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 1 7	G 1 0 1 7	0.20 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 1 8	G 1 0 1 8	0.20 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 1 9	G 1 0 1 9	0.20 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 2 0	G 1 0 2 0	0.23 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 2 1	G 1 0 2 1	0.23 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 2 2	G 1 0 2 2	0.23 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 2 3	G 1 0 2 3	0.25 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 2 5	G 1 0 2 5	0.28 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 2 6	G 1 0 2 6	0.28 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 2 9	G 1 0 2 9	0.31 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 3 0	G 1 0 3 0	0.34 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 3 5	G 1 0 3 5	0.38 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 3 7	G 1 0 3 7	0.38 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 3 8	G 1 0 3 8	0.42 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 3 9	G 1 0 3 9	0.44 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 4 0	G 1 0 4 0	0.44 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 4 2	G 1 0 4 2	0.47 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 4 3	G 1 0 4 3	0.47 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 4 4	G 1 0 4 4	0.50 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 4 5	G 1 0 4 5	0.50 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 4 6	G 1 0 4 6	0.50 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 4 9	G 1 0 4 9	0.53 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 5 0	G 1 0 5 0	0.55 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 5 3	G 1 0 5 3	0.55 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 5 5	G 1 0 5 5	0.60 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 5 9 ²	G 1 0 5 9	0.65 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 6 0	G 1 0 6 0	0.65 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 6 4	G 1 0 6 4	0.70 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 6 5	G 1 0 6 5	0.70 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 6 9 ²	G 1 0 6 9	0.75 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 7 0	G 1 0 7 0	0.75 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 7 8	G 1 0 7 8	0.85 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 8 0	G 1 0 8 0	0.88 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 8 4	G 1 0 8 4	0.93 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 8 6 ²	G 1 0 8 6	0.93 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 9 0	G 1 0 9 0	0.98 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050
1 0 9 5	G 1 0 9 5	1.03 max	0.30-0.60	0.010	0.040	0.050

M A N G A N E S E M A X I M U M O V E R 1 0 0 %

1 5 1 3	G 1 5 1 3	0.16 max	1.10-1.40	0.010	0.040	0.050
1 5 2 2	G 1 5 2 2	0.24 max	1.10-1.40	0.010	0.040	0.050
1 5 2 4	G 1 5 2 4	0.25 max	1.35-1.65	0.010	0.040	0.050
1 5 2 6	G 1 5 2 6	0.29 max	1.10-1.40	0.010	0.040	0.050
1 5 2 7	G 1 5 2 7	0.29 max	1.20-1.50	0.010	0.040	0.050
1 5 4 4	G 1 5 4 4	0.44 max	1.51-1.55	0.010	0.040	0.050

A I S I	E S	C o n t e n t s , % ¹				
No.	No.	C	Mn	P	S	
1 0 8	G 1 5 0	0.44 max	0.2	1.10-1.40	0.040 max	0.050 max
1 5 1	G 1 5 0	0.45 max	0.6	0.85-1.15	0.040 max	0.050 max
1 5 2	G 1 2 0	0.70 max	0.51	0.1-1.0	0.040 max	0.050 max
6 1	G 1 0	0.55 max	0.5	0.75-1.5	0.040 max	0.050 max
1 0 6	G 1 0	0.71 max	0.5	1.15-1.5	0.040 max	0.050 max

F r e e M a c h i n i n g G r a d e s

R E S U L F U R I Z E D

1 1 1 0	G 1 1 1 0	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040 max	0.08-0.13
1 1 1 7	G 1 1 1 7	0.14-0.20	1.00-1.30	0.040 max	0.08-0.13
1 1 1 8	G 1 1 1 8	0.14-0.20	1.30-1.60	0.040 max	0.08-0.13
1 1 3 7	G 1 1 3 7	0.32-0.39	1.35-1.65	0.040 max	0.08-0.13
1 1 3 9	G 1 1 3 9	0.35-0.43	1.35-1.5	0.040 max	0.13-0.20
1 1 4 0	G 1 1 4 0	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040 max	0.08-0.13
1 1 4 1	G 1 1 4 1	0.37-0.45	1.35-1.65	0.040 max	0.08-0.13
1 1 4 4	G 1 1 4 4	0.40-0.48	1.35-1.65	0.040 max	0.24-0.33
1 1 4 6	G 1 1 4 6	0.42-0.49	0.70-1.00	0.040 max	0.08-0.13
1 1 5 1	G 1 1 5 1	0.48-0.55	0.70-1.00	0.040 max	0.08-0.13

R E S U L F U R I Z E D A N D R E P H O S P H O R I Z E D

1 2 1 1	G 1 2 1 1	0.13 max	0.60-0.90	0.07-0.12	0.10-0.15
1 2 1 2	G 1 2 1 2	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.16-0.23
1 2 1 3	G 1 2 1 3	0.13 max	0.70-1.00	0.07-0.12	0.24-0.33
1 2 1 5	G 1 2 1 5	0.09 max	0.75-1.05	0.04-0.09	0.26-0.35
1 2 L 1 4 ³	G 1 2 1 4	0.15 max	0.85-1.15	0.04-0.09	0.26-0.35

1. The following notes refer to boron, copper, lead, and silicon additions:

BORON: Standard killed carbon steels, which are generally fine grain, may be produced with a boron treatment addition to improve hardenability. Such steels are produced to a range of 0.0005-0.003% B. These steels are identified by inserting the letter "B" between the second and third numerals of the AISI or SAE number, e.g. 10B46.

COPPER: When copper is required, 0.20% minimum is generally specified.

LEAD: Standard carbon steels can be produced with a lead range of 0.15-0.35% to improve machinability. Such steels are identified by inserting the letter "L" between the second and third numerals of the AISI or SAE number, e.g. 12L15 and 10L45.

SILICON: It is not common practice to produce the 12XX series of resulfurized and rephosphorized steels to specified limits for silicon because of its deleterious effect on machinability. When silicon ranges or limits are required for resulfurized or nonresulfurized steels, however, the usual practice is a range of 0.00% Si for Si max up to 0.15% inclusive, a range of 0.10% Si for Si max over 0.15 to 0.20% inclusive, a range of 0.15% Si for Si max over 0.20 to 0.30% inclusive, and a range of 0.20% Si for Si max over 0.30 to 0.60% inclusive. Example: Si max is 0.25%, range 0.10-0.15%.

2. Standard grade for eroded directly.

3. 0.15-0.35% Pb.

E	UNS No.	C							
		C	Mn	P	ax	S _{max}	Si	Ni	Cr	Mo
30	G13 00	0 2 0 33	1 60 1 90	0 35	0 0 40	0 15 0 35	—	—	—
5	G 3350	0 33 0 38	1 0 1 90	0 5	0 0 0	0 15 0 35	—	—	—
0	G 3 00	0 38-0 43	1 60 1 90	0 5	0 0 0	0 5 0 35	—	—	—
5	G13 50	0 3 0 48	1 0 1 90	0 5	0	0.15 0 35	—	—	—
3	G 30	0 20 0 25	0 70 0 90	0 035	0 40	0 1 -0 35	—	—	0 0 0 30
24	G 40	0 20 25	0 70 0 90	0 035	0 0 0 0	0. 5 0 35	—	—	0 20 0 30
27	G40270	0 25 0 30	0 70 0 90	0 35	0 40	0 15-0 5	—	—	0 2 0 30
28	G 280	0 25 0 30	0 70 0 90	0 035	0 035-0 050	0 15 0 35	—	—	0 0 0 30
37	G 3370	0 35-0 40	0 70 0 90	0 5	0 0 0	0 15 0 35	—	—	0 0 30
47	G 0470	0 45 0 50	0 70-0 90	0 035	0 040	0 15 0 35	—	—	0 20 0 30
118	G41180	0 18-0 23	0 70 0 90	0 035	0 040	0 15-0 35	—	0 40-0 60	0 08 0 15
130	G41300	0 28-0 33	0 40-0 60	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 80-1 10	0 15 0 25
137	G41370	0 35 0 40	0 70 0 90	0 035	0 040	0 15-0 35	—	0 80-1.10	0.15-0 25
140	G41400	0 38 0 43	0 75-1 00	0 035	0 040	0 15-0 35	—	0 80-1.10	0.15-0 25
142	G41420	0 40 0 45	0 75 1 00	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 80-1.10	0 15-0 25
145	G41450	0 43 0 48	0 75 1 00	0 035	0 040	0 15-0 35	—	0 80-1.10	0 15-0 25
147	G41470	0 45-0 50	0 75-1 00	0 035	0 040	0 15-0 35	—	0 80 1 10	0 15-0 25
150	G41500	0 48 0 53	0 75 1 00	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 70-0 90	0 25 0 35
161	G41610	0 56 0 64	0 75 1 00	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 70-0 90	0 25 0 35
20	G43200	0 17-0 22	0 45-0 65	0 035	0 040	0 15-0 35	1 65-2 00	0 40 0.60	0 20 0 30
340	G43400	0 38 0 43	0 60 0 80	0 035	0 040	0 15-0 35	1 65-2 00	0 70 0 90	0 20 0 30
340 ³	G43406	0 38-0 43	0 65 0 85	0 025	0 025	0 15 0 35	1 65 2 00	0 70-0 90	0 20 0 30
615	G46150	0 13 0 18	0 45 0 65	0 035	0 040	0 15 0 35	1 65-2 00	—	0 20 0 30
20	G46200	0 17-0 22	0 45 0 65	0 035	0 040	0 15-0 35	1 65-2 00	—	0 20 0 30
5 6	G46260	0 24-0 29	0 45 0 65	0 035	0 040	0 15 0 35	0 70 1 00	—	0 15 0 25
4720	G47200	0 17 0 22	0 50 0 70	0 035	0 040	0 15-0 35	0 90-1 20	0 35 0 55	0 15-0 25
4815	G48150	0 13 0 18	0 40 0 60	0 035	0 040	0 15 0 35	3 25 3 75	—	0 20-0 30
4817	G48170	0 15 0 20	0 40 0 60	0 035	0 040	0 15 0 35	3 25 3 75	—	0 20 0 30
4820	G48200	0 18 0 23	0 50 0 70	0 035	0 040	0 15-0 35	3 25 3.75	—	20 0 30
5117	G51170	0 15 0 20	0 70 0 90	0 035	0 040	0.15-0 35	—	0 70 0 90	—
5120	G51200	0.17 0 22	0 70 0 90	0 035	0 040	0.15-0.35	—	0 70-0 90	—
5130	G51300	0 28 0 33	0 70 0 90	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 80 1 10	—
532	G51320	0 30 0 35	0 60 0 80	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 75-1 00	—
535	G51350	0 33 0 38	0 60 0 80	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 80 1 05	—
540	G51400	0 38-0 43	0 70 0 90	0 035	0 040	0 15-0 35	—	0 70 0 90	—
550	G51500	0 48-0 53	0 70 0 90	0 035	0 040	0 15-0 35	—	0 70 0 90	—
555	G51550	0 51 0 59	0 70 0 90	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 70-0 90	—
555	G51600	0 56 0 64	0 75 1 00	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 70-0 90	—
555-10 ³	G51986	0 98 1 10	0 25 0 45	0 025	0 025	0.15 0 35	—	0 90-1 15	—
555-10 ³	G 2986	0 98-1 10	0 25 0 45	0 025	0 025	0.15 0.35	—	1 30-1 60	—
6118	G61180	0 16 0 21	0 50 0 70	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 50 0.70	0.10 0 15 V
6150	G61500	0 48 0 53	0 70 0 90	0 035	0 040	0 15 0 35	—	0 80 1.10	0 15 V min
615	G86150	0 3 0 18	0 7 0 90	0 35	0 40	0 5 0 35	0 0 0 0	0 40 0 60	0 0 25
8617	G 6170	0 15 0 20	0 70 0 90	0 035	0 40	0 15 0 35	0 0 0 70	0 40 60	0 15 0 25
8620	G86200	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 15-0 25
8622	G 6220	0 0 0 25	0 0 0 90	0 035	0 40	0 15 0 35	0 0 70	0 40 0 60	0 15-0 25
8625	G 6 50	0 23 0 28	0 90	0 35	0 040	0 1 0 35	0 40 0 70	0 40 0 60	0 15-0 25
27	6270	0 25 0 30	0 0 90	0 35	0 0 0	0 15 0 35	0 40 70	0 4 60	0 15- 25
30	0	8 33	0 0 0	0 35	0 40	0 15 0 35	0	0 4 0 60	0 15- 25
8637	G 6370	0 35 0 40	0 75 1 00	0 035	0 40	0 15 0 35	0 40 0 70	0 40 0 60	0 15- 25
8640	G 6 00	0 3 0 43	0 75 1 00	0 035	0 40	0 15 0 35	0 40-0 70	0 40 0 60	0 15-0 25
8642	G 20	0 40 0 45	0 5 1 00	0 35	40	0 15 0 35	0 40 0 70	0 40 0 60	0 15-0 25

ESPECIFICACIONES AISI-SAE PARA ACEROS (Continuación)

Composition, %^{1,2}

AISI-SAE No.	UNS No.	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 Grades⁴

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

15.4.- PROPIEDADES DEL ACERO AL CARBÓN Y ALEADOS
 PARTE I.- ROLADOS EN CALIENTE, NORMALIZADOS Y RECOCIDOS

AST No.	Treatment	Yield Strength, Psi	Tensile Strength, Psi	Elongation, %	Reduction in Area, %	Impact Strength (ft-lb)	Hardness, Bhn	AST No.	Treatment	Yield Strength, Psi	Tensile Strength, Psi	Elongation, %	Reduction in Area, %	Impact Strength (ft-lb)
1015	As rolled	45 500	61 000	39.0	61.0	81.5	126	1340	Normalized (1 600 F)	81 000	121 250	22.0	62.9	68.2
	Normalized (1 600 F)	47 000	61 500	37.0	59.6	85.2	121		Annealed (1 475 F)	63 250	102 000	25.5	57.3	52.0
	Annealed (1 600 F)	41 250	56 000	37.0	69.7	84.8	111	3140	Normalized (1 600 F)	87 000	129 250	19.7	57.3	39.5
1020	As rolled	48 000	65 000	36.0	59.0	64.0	143		Annealed (1 500 F)	61 250	100 000	24.5	50.8	34.2
	Normalized (1 600 F)	50 250	64 000	35.8	67.9	86.8	131	4130	Normalized (1 600 F)	63 250	97 000	25.5	59.5	197
	Annealed (1 600 F)	42 750	57 250	36.5	66.0	91.0	111		Annealed (1 585 F)	52 250	81 250	28.2	55.6	156
1025	As rolled	52 000	73 000	35.0	67.0	60.0	149	4140	Normalized (1 600 F)	95 000	148 000	17.7	46.8	302
	Normalized (1 600 F)	57 000	70 000	34.0	67.5	86.5	143		Annealed (1 500 F)	60 500	95 000	25.7	56.9	197
	Annealed (1 600 F)	46 000	65 250	35.0	63.6	89.0	137	4150	Normalized (1 600 F)	106 500	167 500	11.7	30.8	321
1030	As rolled	50 000	80 000	32.0	57.0	55.0	179		Annealed (1 500 F)	55 000	105 750	20.8	40.2	197
	Normalized (1 600 F)	50 000	75 500	32.0	60.8	69.0	149	4320	Normalized (1 600 F)	67 250	115 000	20.8	50.7	235
	Annealed (1 600 F)	49 500	67 250	31.2	57.9	51.2	126		Annealed (1 560 F)	61 625	84 000	29.0	58.4	163
1035	As rolled	60 000	90 000	25.0	50.0	36.0	201	4340	Normalized (1 600 F)	125 000	185 500	12.2	36.3	363
	Normalized (1 600 F)	54 250	85 500	28.0	54.9	48.0	170		Annealed (1 490 F)	68 500	108 000	22.0	49.9	217
	Annealed (1 600 F)	51 250	75 250	30.2	57.2	32.7	149	4620	Normalized (1 650 F)	53 125	83 250	29.0	56.7	174
1040	As rolled	60 000	105 000	20.0	40.0	23.0	229		Annealed (1 575 F)	54 000	74 250	31.3	60.3	149
	Normalized (1 600 F)	62 000	108 500	20.0	39.4	20.0	217	4820	Normalized (1 580 F)	70 250	109 500	24.0	59.2	229
	Annealed (1 600 F)	53 000	92 250	23.7	39.9	12.5	187		Annealed (1 500 F)	67 250	98 750	22.3	58.8	197
1045	As rolled	70 000	118 000	17.0	34.0	13.0	241	5140	Normalized (1 600 F)	68 500	115 000	22.7	59.2	229
	Normalized (1 600 F)	61 000	112 500	18.0	37.2	22.9	229		Annealed (1 525 F)	42 500	83 000	28.6	57.3	30.0
	Annealed (1 600 F)	54 000	90 250	22.5	38.2	8.3	179	5150	Normalized (1 600 F)	76 750	126 250	20.7	58.7	255
1050	As rolled	85 000	140 000	12.0	17.0	5.0	293		Annealed (1 520 F)	51 750	98 000	22.0	43.7	197
	Normalized (1 600 F)	76 000	146 500	11.0	20.6	5.0	293	5160	Normalized (1 575 F)	77 000	138 750	17.5	44.8	269
	Annealed (1 600 F)	54 500	89 250	24.7	45.0	4.5	174		Annealed (1 495 F)	40 000	104 750	17.2	30.6	197
1055	As rolled	83 000	140 000	9.0	18.0	3.0	293	6150	Normalized (1 600 F)	89 250	136 250	21.8	61.0	269
	Normalized (1 650 F)	72 500	147 000	9.5	13.5	4.0	293		Annealed (1 500 F)	59 750	96 750	23.0	48.4	197
	Annealed (1 600 F)	55 000	95 250	13.0	20.6	2.0	192	8620	Normalized (1 675 F)	51 750	91 750	26.3	59.7	183
1060	As rolled	44 300	70 600	33.0	63.0	60.0	143		Annealed (1 600 F)	55 875	77 750	31.3	62.1	149
	Normalized (1 650 F)	44 000	67 750	33.5	63.8	62.8	137	8630	Normalized (1 600 F)	62 250	94 250	23.5	53.5	187
	Annealed (1 575 F)	40 500	62 250	32.8	58.0	69.0	121		Annealed (1 550 F)	54 000	81 750	29.0	58.9	156
1065	As rolled	45 900	75 600	32.0	70.0	80.0	149	8650	Normalized (1 600 F)	99 750	148 500	14.0	40.4	302
	Normalized (1 700 F)	46 250	69 250	33.5	65.9	76.3	143		Annealed (1 465 F)	56 000	103 750	22.5	46.4	212
	Annealed (1 650 F)	41 250	65 250	34.5	66.8	78.5	131	8740	Normalized (1 600 F)	88 000	134 750	16.0	47.9	269
1070	As rolled	55 000	91 000	28.0	61.0	61.0	192		Annealed (1 500 F)	60 250	100 750	22.2	46.4	201
	Normalized (1 450 F)	57 500	97 000	22.5	48.5	47.0	197	9255	Normalized (1 650 F)	84 000	135 250	19.7	43.4	269
	Annealed (1 650 F)	50 000	84 250	26.8	53.9	36.8	174		Annealed (1 550 F)	70 500	112 250	21.7	41.1	229
1075	As rolled	52 000	99 000	22.0	38.0	8.2	192	9310	Normalized (1 650 F)	82 750	131 500	18.8	58.1	269
	Normalized (1 650 F)	58 750	102 500	27.7	55.5	20.1	201		Annealed (1 630 F)	63 750	119 000	17.3	42.1	58.0
	Annealed (1 600 F)	51 250	86 800	24.5	49.1	25.3	163		Annealed (1 550 F)	63 750	119 000	17.3	42.1	58.0
1080	As rolled	61 000	107 000	21.0	41.0	39.0	212		Annealed (1 550 F)	63 750	119 000	17.3	42.1	58.0
	Normalized (1 650 F)	58 000	96 750	21.0	40.4	37.0	197							

All grades are fine grained unless otherwise stated in the first column which has been indicated.

These Data Sheets (Part I and Part II) are offered as a guide to show the potential user what to expect of a given grade of steel in the indicated condition. Data were obtained from specimens 0.505 in. in diameter which were machined from 1 in. rounds. Edge lengths were 2 in. Average properties of hot rolled normalized and annealed material are listed (Part I), while properties of quenched and tempered grades are for single heats (Part II). Sources of the data are Bethlehem Steel Corp. and Republic Steel Corp.

Because of the many variables that affect a steel's properties however, these listed properties should not be considered either as average or typical. Both strengths and ductilities may range up and down from the values given depending on the composition of individual heats of the same grade, section size and internal structures. Properties of carbon steels and many alloy steels are also affected by residual elements (particularly nickel, chromium and molybdenum) even though their amounts are limited to maximums by AISI and SAE specifications.

Fine grained steels normally have better impact strength than coarse grained types, a factor which should be considered when reviewing the results of drop tests. Hardness values are not always related to corresponding tensile strengths, in particular the effect occurs with carbon steels because they are shallow hardening. Hardness tests were made on surfaces and these hardnesses will not reflect the tensile strengths obtained with specimens representing bar centers (Center hardnesses are usually lower than surface hardnesses).

Hot rolled properties for alloy steels are not given because these grades are customarily heat treated. Because the samples were small enough to assure full quenching values indicate strengths and ductilities which may be obtained with hardened, fine grained steels of a similar section size at room temperature.

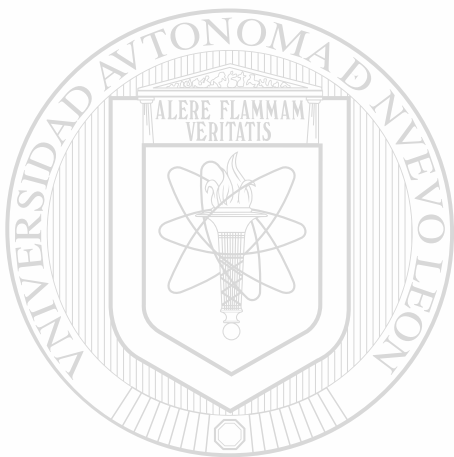
PARTE II.- TEMPLADOS Y REVENIDOS

AIISI No.	Temper ng Tempera ture F	Tensile Strength, Psi	Yield Strength, Psi	Elonga tion, %	Reduc tion in Area, %	Hard ness, Bhn	AIISI No.	Tempering Tempera ture, F	Tensile Strength, Psi	Yield Strength, Psi	Elonga tion, %	Reduc tion in Area, %	Hard ness, Bhn
1030,	400	123 000	94 000	17	47	495	1330†	400	232,000	211 000	9	39	459
	600	116 000	90 000	19	53	401		600	207,000	186,000	9	44	402
	800	106 000	84 000	23	60	302		800	168 000	150,000	15	53	335
	1 000	97 000	75 000	28	65	255		1 000	127 000	112 000	18	60	263
	1,200	85 000	64 000	32	70	207		1,200	106 000	83 000	23	63	216
1040†	400	130 000	96 000	16	45	514	1340	400	262 000	231 000	11	35	505
	600	129 000	94 000	18	52	444		600	270 000	206 000	12	43	453
	800	122 000	92 000	21	57	352		800	163 000	167,000	14	51	375
	1 000	113 000	86 000	23	61	259		1 000	140 000	120 000	17	58	295
	1 200	97 000	72 000	28	68	207		1 200	116 000	90,000	22	66	252
1040	400	113 000	86 000	19	48	352	4037	400	149 000	110 000	6	38	310
	600	115 000	86 000	21	53	255		600	138 000	111,000	14	53	295
	800	110 000	80 000	21	54	241		800	127 000	106 000	20	60	270
	1 000	104 000	71 000	25	57	211		1 000	115 000	95 000	23	63	247
	1 200	92 000	63 000	29	65	182		1 200	101 000	61,000	29	60	220
1050†	400	163 000	117 000	9	27	514	4042	400	261 000	241,000	12	37	516
	600	158 000	115 000	13	36	444		600	234 000	211,000	13	42	455
	800	145 000	110 000	19	48	375		800	187 000	170,000	15	51	380
	1 000	125 000	95 000	23	58	293		1 000	143 000	128,000	20	59	300
	1,200	104 000	78,000	28	65	235		1 200	115 000	100,000	28	66	238
1050	400	—	—	—	—	—	4130†	400	236,000	212,000	10	41	467
	600	142,000	105,000	14	47	321		600	217 000	200 000	11	43	435
	800	136,000	95,000	20	50	277		800	186 000	173 000	13	49	380
	1 000	127 000	84 000	23	53	262		1 000	150 000	132,000	17	57	315
	1,200	107,000	68 000	29	60	223		1,200	118,000	102,000	22	64	245
1060	400	160 000	113 000	13	40	321	4140	400	257,000	238,000	8	38	510
	600	160,000	113,000	13	40	321		600	225,000	208 000	9	43	445
	800	156,000	111,000	14	41	311		800	181,000	165,000	13	49	370
	1 000	140 000	97,000	17	45	277		1 000	138,000	121,000	18	58	285
	1,200	116,000	76,000	23	54	229		1,200	110,000	95,000	22	63	230
1080	400	190 000	142 000	12	35	388	4150	400	280,000	250,000	10	39	530
	600	189 000	142,000	12	35	388		600	256,000	231 000	10	40	495
	800	187,000	138,000	13	36	375		800	220,000	200,000	12	45	440
	1 000	164 000	117,000	16	40	321		1 000	175 000	160,000	15	52	370
	1,200	129 000	87,000	21	50	255		1,200	139,000	122,000	19	60	290
1095†	400	216 000	152 000	10	31	601	4340	400	272,000	243,000	10	38	520
	600	212,000	150,000	11	33	534		600	250,000	230,000	10	40	486
	800	199 000	139,000	13	35	388		800	213,000	198,000	10	44	430
	1 000	165,000	110,000	15	40	293		1 000	170,000	156,000	13	51	360
	1,200	122 000	85 000	20	47	235		1,200	140,000	124,000	19	60	280
1095	400	187 000	120,000	10	30	401	5046	400	253,000	204,000	9	25	482
	600	183,000	118,000	10	30	375		600	205,000	168,000	10	37	401
	800	176,000	112 000	12	32	363		800	165 000	135,000	13	50	336
	1 000	158 000	98,000	15	37	321		1 000	136 000	111,000	18	61	282
	1,200	130,000	80,000	21	47	269		1,200	114,000	95,000	24	66	235
1137	400	157,000	136,000	5	22	352	50846	400	—	—	—	—	560
	600	143,000	122,000	10	33	285		600	258 000	235 000	10	37	505
	800	127,000	106,000	15	48	262		800	202 000	181 000	13	47	405
	1 000	110,000	88,000	24	62	229		1 000	157 000	142 000	17	51	322
	1,200	95,000	70,000	28	69	197		1,200	128,000	115,000	22	60	273
1137†	400	217 000	169 000	5	17	415	50860	400	—	—	—	—	600
	600	199 000	163,000	9	25	375		600	273,000	257,000	8	32	525
	800	160 000	143,000	14	40	311		800	219,000	201 000	11	34	435
	1 000	120 000	105 000	19	60	262		1 000	163 000	145 000	15	38	350
	1,200	94 000	77,000	25	69	187		1,200	130 000	113,000	19	50	290
1141	400	237,000	176 000	6	17	461	5130	400	234 000	220,000	10	40	475
	600	212,000	186 000	9	32	415		600	217 000	204,000	10	46	440
	800	169 000	150 000	12	47	331		800	185,000	175 000	12	51	379
	1 000	130 000	111 000	18	57	262		1 000	150,000	136,000	15	56	305
	1 200	103,000	86 000	23	62	217		1,200	115,000	100,000	20	63	245
1144	400	127 000	91 000	17	36	277	5140	400	260 000	238,000	9	38	490
	600	126,000	90 000	17	40	262		600	229 000	210 000	10	43	450
	800	123 000	88,000	18	42	248		800	190 000	170 000	13	50	365
	1 000	117,000	83 000	20	46	235		1 000	145,000	125 000	17	58	280
	1 200	105,000	73 000	23	55	217		1,200	110 000	96,000	25	66	235

* All grades are fine grained except for those in the 1100 series which are coarse grained. Normalizing and annealing temperatures are given in parentheses † Water quenched.

PROPIEDADES DEL ACERO AL CARBON Y ALEADOS (Continuación)

AISI No °	Tempering Temperature, F	Tensile Strength, Psi	Yield Strength, Psi	Elongation, %	Reduction in Area, %	F _u in 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	411
	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	45	370
	1,200	155 000	138 000	25	53	300
8740	400	290 000	240 000	10	41	500
	600	249 000	225 000	11	45	450
	800	208 000	197 000	13	50	400
	1,000	175 000	165 000	15	55	350
	1,200	143 000	131 000	20	60	300
9255	400	305 000	297 000	1	3	600
	600	281 000	260 000	4	10	570
	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



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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/cm² (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/cm² (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/cm² (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/cm² = 170 ksi; S^*_{10} para 10^8 .

MATERIAL N° AISI	RESISTENCIA MÁXIMA S_u kg/cm ² (c) ksi	LÍMITE DE FLUENCIA EN TRACCIÓN S_y kg/cm ² (c) ksi	LÍMITE DE FATIGA S^*_n (c) kg/cm ² (c) ksi	MÓDULO ELASTICIDAD (f) E kg/cm ² psi $\times 10^{-10} \times 10^{-4}$	ALARGA- MIENTO en 50 mm (2 pulg) (c) %	NDB (BHN) (media) (c)	DENSIDAD kg/dm ³ lb/pulg ³ (c)	1120D (c) pie-lb	$\alpha \times 10^6$ (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	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	160	7,92	0,286	17,3	Austenítico Endurecible por trabajo en frío.
304, recocido	5 976	2 460	2 460	1,968	50	150	7,92	0,286	17,3	Austenítico. Endurecible por trabajo en frío.
316, trabajado en frío (i)	6 327	4 218	2 812	1,968	45	190	7,92	0,286	16,0	Austenítico. Endurecible por trabajo en frío.
321, recocido	6 116	2 460	2 671	1,968	50	150	8,02	0,290	16,7	Estabilizado por Ti.
347, recocido	6 327	2 812	2 742	1,968	50	160	7,92	0,286	16,7	Austenítico. Endurecible por trabajo en frío.
403, 410, con tra- tamiento térmico (b)	7 734(h)	5 976(h)	4 077	2,038	20	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	205	7,73	0,279	10,2	Martensítico. Dureza máxima.
416, recocido (b)	5 273	2 812	2 812	2,038	30	155	7,70	0,278	10,2	Martensítico. Endurecible por trata- miento térmico.
430, recocido	5 273	3 163	2 812	2,038	25	160	7,67	0,277	10,4	Ferrítico. No endurecible por trata- miento térmico.
431, OQT 1000* (h)	10 546	9 140	130	2,038	18	325	7,75	0,28	11,7	Martensítico. Endurecible por trata- miento térmico hasta alta resistencia
17-7 PH barra (i)	12 303	10 897	2 882	2,038	6(h)	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, 10×10^{-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).

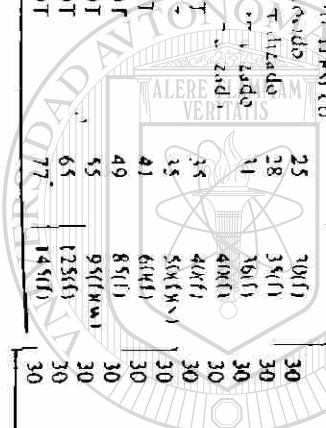
Coefficiente de Poisson: hierro gris, 0,211 (min); hierro maleable, 0,265; hierro nodular, 0,16; acero moldeado, 0,27. (a) Las especificaciones ASTM y SAE no son iguales. (b) Maquinabilidad, valores relativos, AISI B1112 = 100%. (c) Diámetro 30,48 mm; soportes, 457,2 mm (o sea 1,2 pulgada diámetro, soportes 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 $S_u = 80 \text{ ksi}$ (5624 kg/cm^2), $S_y = 60 \text{ ksi}$ (4218 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°C , kgm (o bien 70°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°C (1200°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°F , equivalentes a 649°C). (w) Tipo de aplicaciones generales.

PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS MATERIALES FERROSOS FUNDIDOS

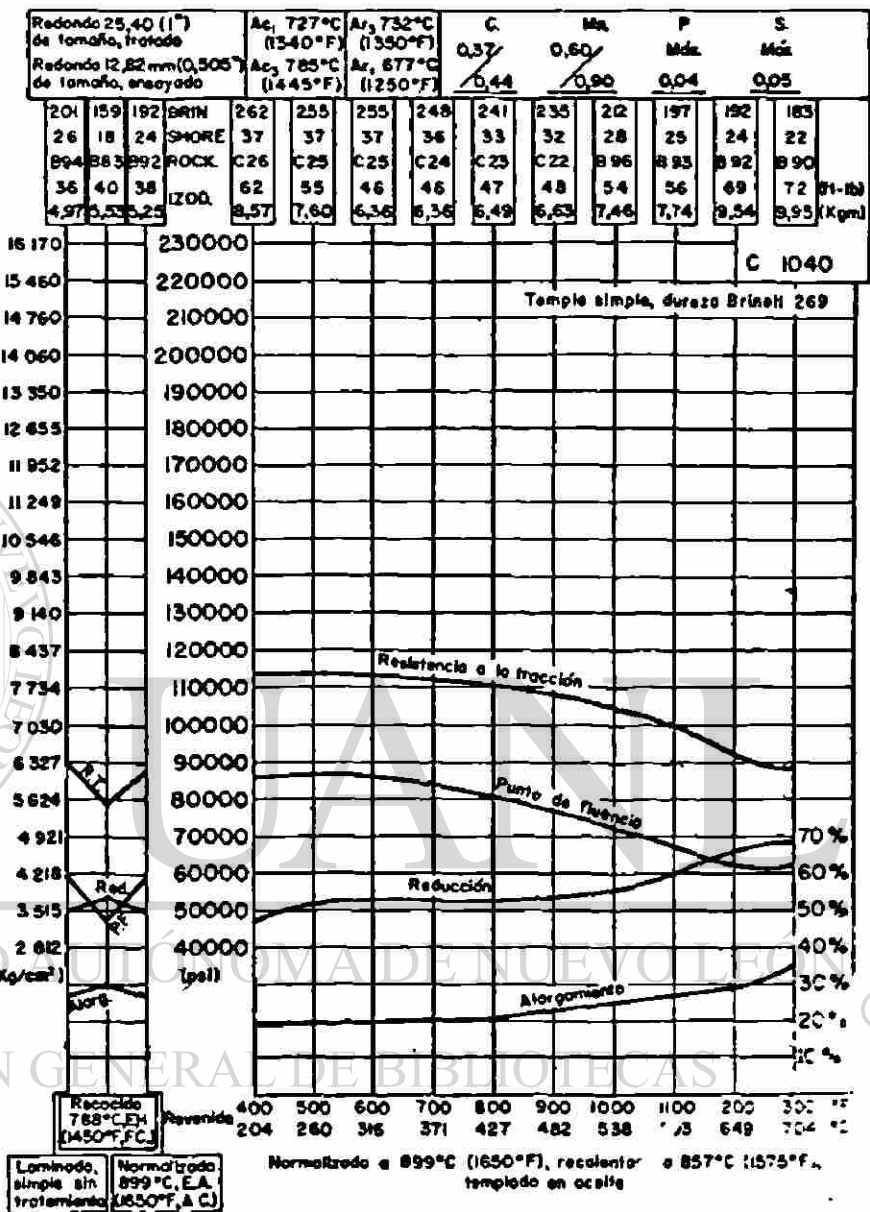
MATERIAL N.º ESPECIFICACIÓN	RESISTENCIA MÁXIMA			LÍMITE DE RESIS. DE TRANSV. FATIGA kg (c)	FLUENCIA EN TRACCIÓN s_u kg/cm ²	MÓDULO ELÁSTICO $E \times 10^4$ kg/cm ²	MÓDULO DE CIZAJA LLADURA $G \times 10^{-4}$ kg/cm ²	IZOO kgm	ENSAYO N.º	VISA IN- BILDAD (b)	MÍNIMO ESPESOR DE PARED RECOMENDADO	
	s_w kg/cm ²	s_{ur} kg/cm ²	$T_{0.2}$ kg/cm ²									
ACERO CRIS (g) (fund simple- mente sin tratamiento)	(e)	(d)	(e)			(h)						
STM SAE(a)												
110	1 406(f) 1 757(f) 2 109(f)	5 835 6 819 7 662	839 986 1145	703 808 984	0,675(f) 0,818(f) 0,914(f)	0,274(f) 0,323(f) 0,365(f)	156 174 201		7,01 7,01 7,04	80	$t = 3,17$ mm $t = 6,35$ mm $t = 9,52$ mm	
111	2 460(f) 2 812(f)	2 882 3 445	1292 1440	1124 1300	1,019(f) 1,124(f)	0,407(f) 0,450(f)	212 235	3,18 3,45	7,12 7,26	65	$t = 9,52$ mm $t = 15,87$ mm	
120	2 812(f) 3 515(f)	3 656 4 499	4007 5132	1300 1511	1,321(f) 1,434(f)	0,506(f) 0,548(f)	262 302	4,28 8,98	7,45 7,45	55	$t = 15,87$ mm $t = 19,05$ mm $t = 25,40$ mm	
121	4 218(f)	11 147	6221	1722	1,434(f)	0,548(f)	302	10,36	7,45	50		
122	1 757(f) 2 460(f)	7 030(f)			0,843(f) 0,843(f)		145 190	13,82			$t = 3,17$ mm $t = 3,17-22,22$ mm	
1-Resist. Inco K-6 Lechanite (w)					1 968(f)							
ACERO MALLEABLE												
STM Grado												
47-52	3 856 5 866	3 374 3 023	4 077 4 077	1 792 1 898	1,757 1,757	0,752 0,752	120 130	1,65 2,21	7,26 7,26	120 120	ALARG. en 5 cm % 12,5 20 RELOC AREA % 18 6 5	
47-52	4 921 4 187 7 734	(s) (s) (s)	4 007 5 132 6 187	2 109 2 812 3 093(e)	1,617 1,617 1,617	0,668 0,696 0,696	160 230 270	1,24-2,76(m) 0,27-1,10(n) 0,27-0,83(m)	7,19 7,19			
47-52	4 218(f) 4 569(f) 4 921(f) 4 921(f) 5 624(f) 5 624(f) 6 327(f)(v) 7 381(f) 8 437(f) 10 546(f) 12 303(f)	4 218(f) 4 569(f) 4 921(f) 4 921(f) 5 624(f) 5 624(f) 6 327(f)(v) 7 381(f) 8 437(f) 10 546(f) 12 303(f)	MAX CONT DE CARBONO Y TRATAMIENTO TÉRMICO 0,3 % C, Recocido 0,3 % C, Normalizado 0,35 % C, Normalizado 0,25 % C, Normalizado N&T WQT N&T WQT WQT WQT	1 757 1 968 2 179 2 460 2 460 2 882 3 445 3 866 4 569 5 413	2 109 2 109 2 109 2 109 2 109 2 109 2 109 2 109 2 109 2 109 2 109	0,808 0,808 0,808 0,808 0,808 0,808 0,808 0,808 0,808 0,808 0,808	120 130 140 160 170 190 235 269 310 390	2,48(m) 3,18(m) 2,62(m) 4,14(m) 3,04(m) 4,14(m)(u) 2,76(m)(u) 3,87(m) 3,45(m) 1,66(m)	7,86 7,86 7,86 7,86 7,86 7,86 7,86 7,86 7,86 7,86	55 60 65 70 70 60	30 30 26 27 28(u) 24 18 14(f) 9(f) 8	50 53 40 42 68(u) 50 42 30(f) 22(f) 15

PROPIEDADES TÍPICAS DE LOS MATERIALES FERROSOS FUNDIDOS (Continuación)

MATERIAL N.º ESPECIFICACIÓN	RESISTENCIA MÁXIMA				RESIS. TRANSV. (c) libras	LÍMITE DE FRACTURA (f) ksi	FLUENCIA EN TRACCIÓN (g) ksi	MÓDULO ELÁSTICO (h) psi	MÓDULO DE ELASTICIDAD (i) psi	MÓDULO DE CLAVILIDAD (j) psi	8H ^{1/2}	LCOB pie-lb	DENSIDAD lb pulg ³	MÁQUINA-BILIDAD (b)	MÍNIMO ESPESOR DE PARED RECOMENDADO
	S _u ksi	S _{yc} ksi	S _{su} ksi	Tors. ksi											
HIERRO GRIS (Ø) (fund simple-mente sin tratamiento)	(d)	(d)				(e)		(h)							
ASTM SAE(a)															
20	20(F)	83	32	26	1850	10	34	9,6(F)	3,9(F)	1,56			0,253		f = 1/8 pulg
25	25(F)	97	35	32	2175	11,5	36,5	11,5(F)	4,6(F)	1,74			0,253		f = 1/4 pulg
30	30(F)	109	41	40	2525	14	36,5	13(F)	5,2(F)	2,01		23	0,254		f = 3/8 pulg
35(Ø)	35(F)	124	49	48,5	2850	16	36,5	14,5(F)	5,8(F)	2,12		25	0,257		f = 3/4 pulg
40(Ø)	40(F)	140	52	57	3175	18,5	36,5	16(F)	6,4(F)	2,35		31	0,262		f = 3/4 pulg
50(Ø)	50(F)	164	64	73	3600	21,5	36,5	18,8(F)	7,2(F)	2,62		65	0,269		f = 3/4 pulg
60(Ø)	60(F)	187	60	88,5	3700	24,5	36,5	20,4(F)	7,8(F)	3,02		75	0,269		f = 1 pulg
N Resist. Inco K-6 Mechanic (w)	25(F)	100(F)					28(F)	12(F)		145		100			f = 1/8 pulg f = 1/4 pulg
HIERRO MALLEABLE										190					
ASTM Grado															
A47-52 32 510	52	(o)	48	58		25,5	34	23	9,5	160		9-20(n)	0,26		18
A47-52 35 018	51	(o)	43	58		27	36,5	25	9,9	230		2-8(n)	0,262		6
HIERRO FUNDIDO NODULAR (l)										270		2-6(n)	0,26		5
6 45-10 (recocido) (q)	70	(6)		57		30	55	23	9,5	160		9-20(n)	0,26		18
80 60 03 (fund. simplen) (p)	88	(6)		73		40	65	23	9,9	230		2-8(n)	0,26		6
1 10 10-03 (trat termico) (r)	110	(5)		88(e)		44(e)	80	23	9,9	270		2-6(n)	0,26		5
ALFERO MODELADO															
ASTM SAE(a)															
A-7 38(f)	66(f)	61	25	25	25	25	10(F)	30	11,5	120		18(m)	0,284		30
A-7 38(f) 00 10(K)	65(f)	61	28	34	25	28	34	30	11,5	130		23(m)	0,284		30
A-7 38	74(f)	61	31	40	25	31	40	30	11,5	140		19(m)	0,284		30
A-7 38	71(f)	61	31	40	25	31	40	30	11,5	140		19(m)	0,284		26
A-7 38	81(f)	61	35	40	25	35	40	30	11,5	160		30(m)	0,284		40
A-7 38 080	81(f)	61	35	40	25	35	40	30	11,5	160		30(m)	0,284		70
A14-38	81(f)	61	35	40	25	35	40	30	11,5	170		22(m)	0,284		42
A-38 58 090	90(f)	61	41	50	25	41	50	30	11,5	190		30(m)(u)	0,284		27
A14-38 0105	105(f)	61	49	50	25	49	50	30	11,5	235		20(m)(u)	0,284		28(u)
A 48 58	120(f)	61	55	50	25	55	50	30	11,5	269		28(m)	0,284		14
A14-38 0150	150(f)	61	65	50	25	65	50	30	11,5	310		25(m)	0,284		42
A14-38 0175	175(f)	61	77	50	25	77	50	30	11,5	390		12(m)	0,284		14(F) 9(F)



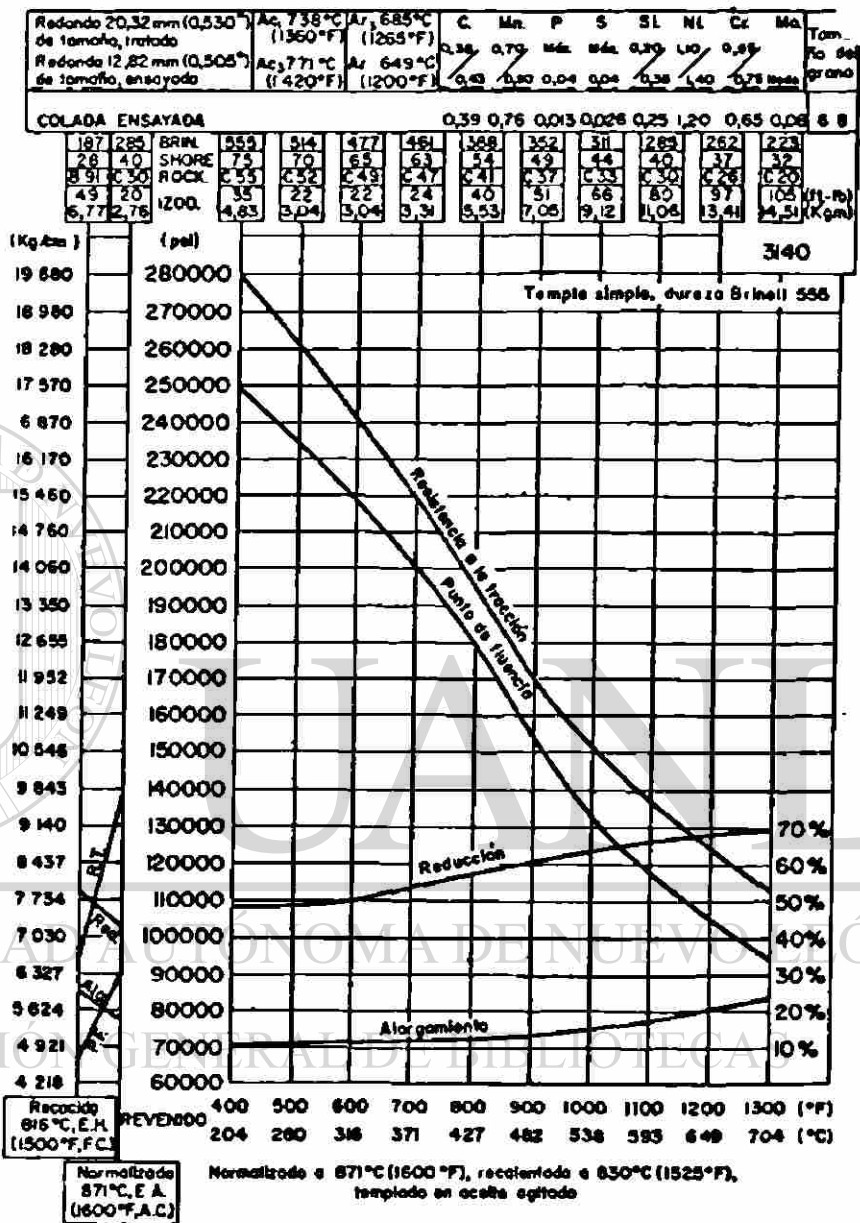
15.7.- GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 1040



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).

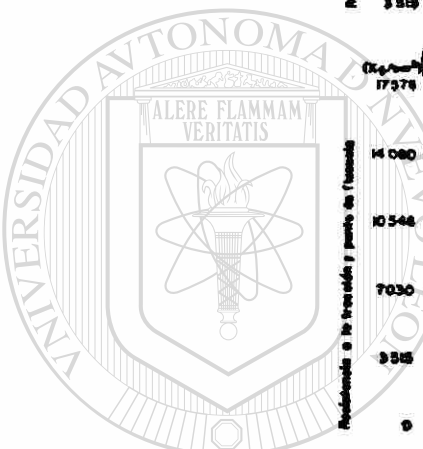
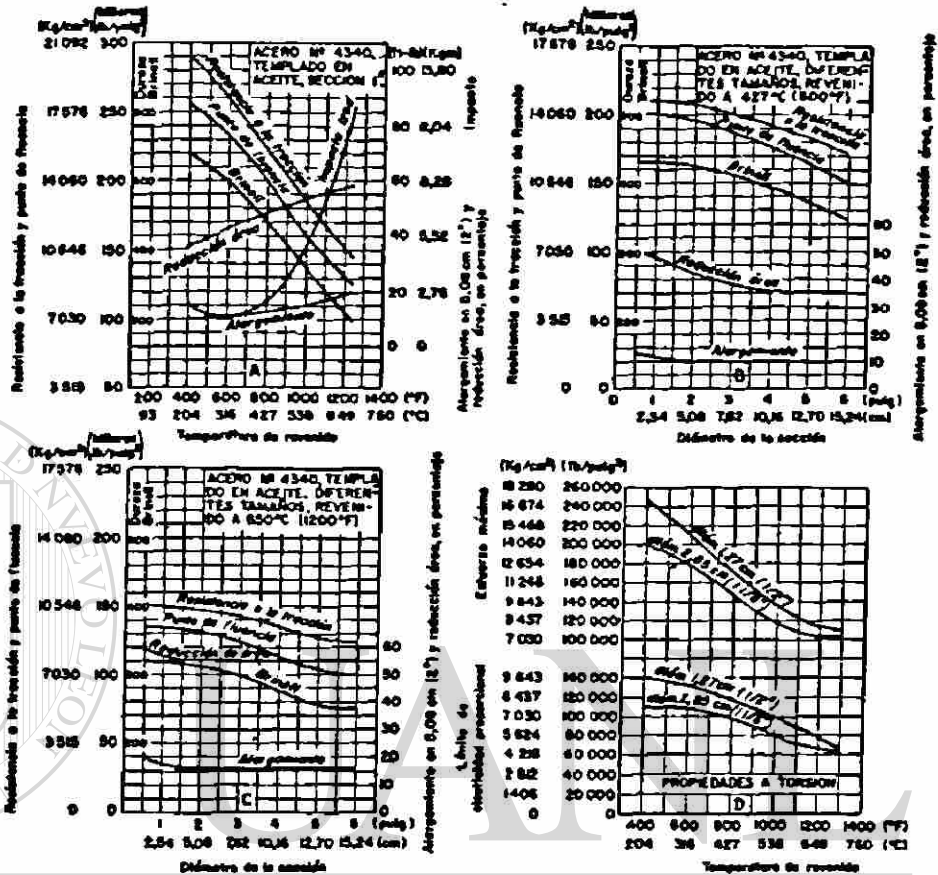
- E.H., abreviatura de «enfriado en hornos»
- F.C., abreviatura de «furnace cooled»
- E.A., abreviatura de «enfriado al aire»
- A.C., abreviatura de «air cooled»
- (N del T.)

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/cm², 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/cm² (o bien 82 ksi), pero este porcentaje es inusualmente alto.

15.9.- GRAFICA DE PROPIEDADES DEL ACERO 4340



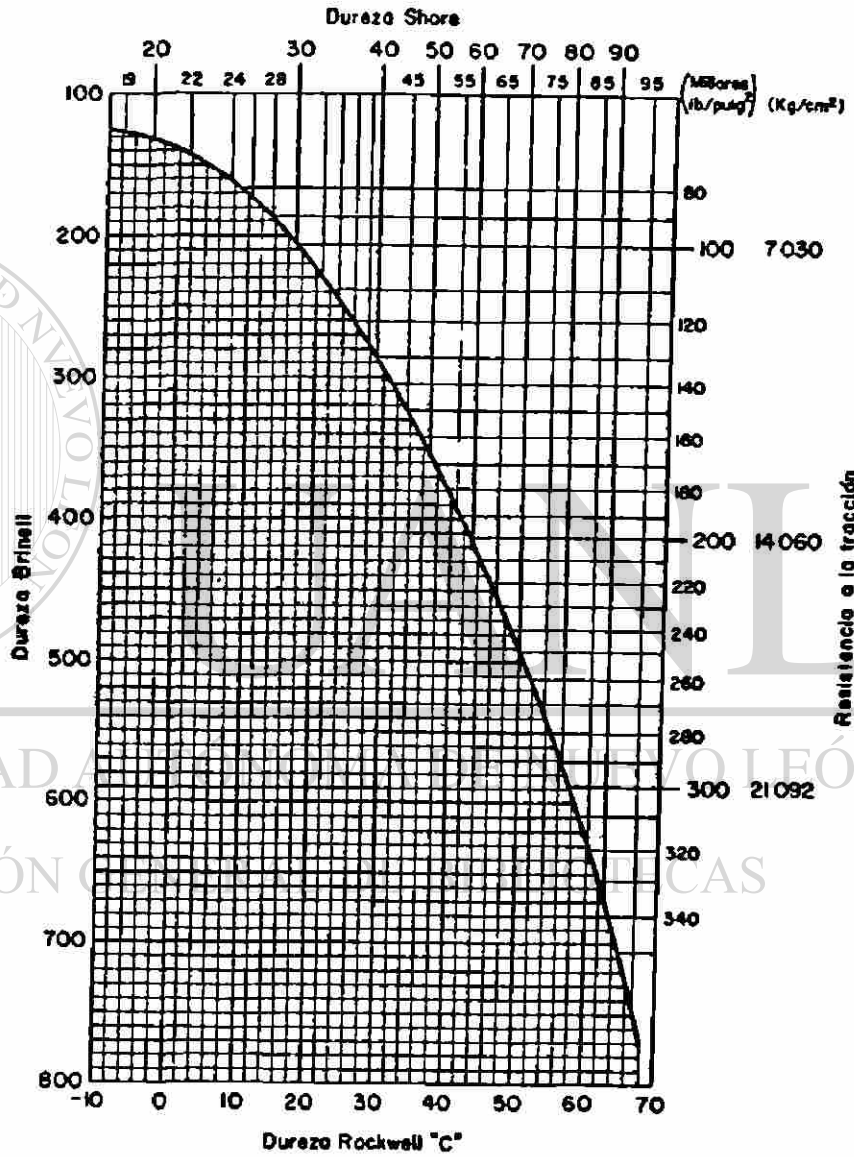
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN 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).

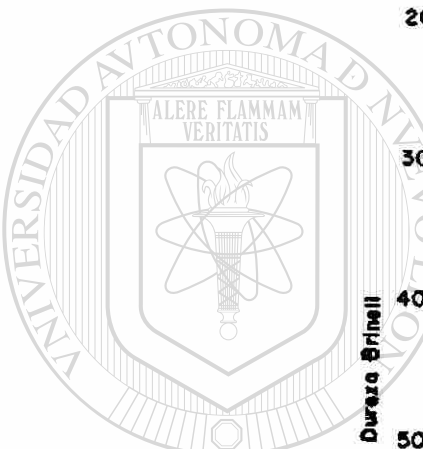
Superficie no descarburada, $s_n = 6257\ \text{kg/cm}^2$ (o bien 89 ksi). Superficie descarburada hasta 0,76 mm (o bien 0,03 pulgada), $s_n = 2812\ \text{kg/cm}^2$ (o bien 40 ksi). Superficie descarburada, granallada, $s_n = 6679\ \text{kg/cm}^2$ (o bien 95 ksi). OQT 1075 (580° C), diámetro 1,58 cm (o 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/cm²	ksi	kg/cm²	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.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIONES

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 %	NOB (BHN)
		s_u kg/cm² ksi	s_d kg/cm² ksi	s_y kg/cm² ksi	s_d 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	364		

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 factoría. (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 ² ksi	s_y kg/cm ² 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	16

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 enfria- miento)	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
4140 Cr-Mo (aceite)	10,16	4	538	1000	7 381	105	5 976	85	207	26	12,02	87
	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
4150 Cr-Mo (aceite)	1,27	½	649	1200	9 140	130	8 085	115	277	21	11,47	83
	1,27	½	649	1200	7 874	112	5 835	83	229	23	12,02	87
	10,16	4	649	1200	7 874	112	5 835	83	229	23	12,02	87
5150 Cromo (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)
	1,27	½	427	800	14 760	210	13 710	195	415	11	2,35(a)	17(a)
6152 Cr-V (aceite)	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
	1,27	½	649	1200	8 929	127	8 226	117	269	21	8,15	59
8630 Ni-Cr-Mo (agua)	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
8742 Ni-Cr-Mo (aceite)	5,08	2	649	1200	8 507	121	6 608	94	241	21	6,22(a)	45(a)
	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
9261 St-Mn (aceite)	10,16	4	593	1100	6 749	96	5 062	72	197	25	14,37	104
	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)
9840 Ni-Cr-Mo (aceite)	10,16	4	649	1200	8 296	118	6 397	91	235	22		
	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
9840 Ni-Cr-Mo (aceite)	1,27	½	649	1200	10 335	147	8 718	124	311	17	4,83(a)	35(a)
	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 s_u 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 s_n NUM DE CICLOS		$\frac{s_n}{s_u}$ (d)	s_y		$\frac{s_r}{s_u}$
		kg/cm ²	ksi		kg/cm ²	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 ⁶	16 en 10 ⁶				
Hierro fundido	ASTM 30	1476 en 10 ⁶	21 en 10 ⁶				
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
Acero forjado 1015							
1015	Estirado en frío (10% trabajo)	2812	40	0,57	4429	63	1,58
1020	Laminado simple	3163 en 10 ⁶	45 en 10 ⁶		3374	48	1,08
1020	Laminado simple	2812 en 10 ⁶	40 en 10 ⁶		3374	48	1,20
1020	Laminado simple	2320 en 10 ⁶	33 en 10 ⁶		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	1,94
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)	2812	40				
6150	Tratado térmicamente	6749	96	0,46	13350	190	1,98
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 _B - 97	1866	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		$\frac{S_u}{S_m}$ (d)	S_y		$\frac{S_y}{S_u}$
		kg/cm ²	ksi		kg/cm ²	ksi	
Acero inoxidable 410	Barra OQT, para R ₁₀ y F	4077	58	0,52	5976	85	1,47
Acero inoxidable 410	Barra OQT, para R ₁₀ y F	3023	43				
Acero inoxidable 410	OQT, 2"	5273	75	0,54	7592	108	1,43
Acero inoxidable 410	Recocido en agua salobre						
Aluminio 2011	Forjado T5	3234	46	0,61	3515	50	1,09
Aluminio 2014	Forjado T6	1265 en 5 × 10 ⁴	18 en 5 × 10 ⁴	0,33	3023	43	2,39
Aluminio 2014	Forjado T6	1406 en 5 × 10 ⁴	20 en 5 × 10 ⁴	0,32	2952	42	2,10
Aluminio 2014	Forjado T6	1265 en 5 × 10 ⁴	18 en 5 × 10 ⁴	0,26	4218	60	3,33
Aluminio 2014	Forjado T6	2109 en 10 ⁴	30 en 10 ⁴	0,43	4218	60	2,00
Aluminio 2014	Forjado T6	351 en 5 × 10 ⁴	5 en 5 × 10 ⁴	0,45	597	8,5	1,70
Aluminio 2014	Tratado en H ₁₂	1054 en 5 × 10 ⁴	15 en 5 × 10 ⁴	0,21	4218	60	4,00
Aluminio 5052	Tratado en H ₁₂	1195 en 5 × 10 ⁴	17 en 5 × 10 ⁴	0,51	1968	28	1,65
Aluminio 5052	Tratado en H ₁₂	1335 en 5 × 10 ⁴	19 en 5 × 10 ⁴	0,47	2460	35	1,84
Aluminio 6063	Forjado T5	703 en 5 × 10 ⁴	10 en 5 × 10 ⁴	0,37	1476	21	2,1
Aluminio 7079	Forjado T6	1617 en 5 × 10 ⁴	23 en 5 × 10 ⁴	0,30	4780	68	2,96
Aluminio, aleac. 142	Fundido en arena, T7	738 en 5 × 10 ⁴	10,5 en 5 × 10 ⁴	0,35	1617	23	2,19
Aluminio, aleac. 142	Fundido, T61(e)	667 en 5 × 10 ⁴	9,5 en 5 × 10 ⁴	0,20	2952	42	4,42
Bronce de alum (10)	Extruido, tratam térmico	2390 en 7 × 10 ⁴	34 en 7 × 10 ⁴	0,44	3515(c)	50(c)	1,47
Bronce de alum (10)	Fund en arena, recocido	1968 en 8 × 10 ⁴	28 en 8 × 10 ⁴	0,34	2812	40	1,43
Latón cartuch. (70-30)	Alambre de resorte de 2 mm (0,08 pulg)	1546 en 10 ⁴	22 en 10 ⁴	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 ⁴	25 en 5 × 10 ⁴	0,31	3656	52	2,36
Latón de fácil mecan	Dureza media, barra 50,8 mm (2 pulg), SAE 72	984 en 3 × 10 ⁴	14 en 3 × 10 ⁴	0,25	3093	44	3,14
Bronce comercial	Alambre duro de 2 mm (0,08 pulg)	1617 en 10 ⁴	23 en 10 ⁴	0,31	4218(c)	60(c)	2,61
Bronce de estaño y plomo	Fundido en arena, aleación 2A (Navy M)	773 en 10 ⁴	11 en 10 ⁴	0,29	1265	18	1,64
Latón pobre (80-20)	Dureza de resorte, cinta 1 mm (0,04 pulg)	1687 en 2 × 10 ⁷	24 en 2 × 10 ⁷	0,26	4570	65	2,70
Latón pobre (80-20)	Alambre de resorte de 2 mm (0,08 pulg)	1828 en 10 ⁴	26 en 10 ⁴	0,21	6187(c)	88(c)	3,38
Bronce al manganeso	Fund. en arena, aleac 8A	1490 en 10 ⁴	21,2 en 10 ⁴	0,30	1968	28	1,32
Bronce al manganeso	Fund. en arena, aleac 8C	1757 en 10 ⁴	25 en 10 ⁴	0,24	4921	70	2,8
Bronce de silic., tipo A	Barra dureza media	2109 en 3 × 10 ⁴	30 en 3 × 10 ⁴	0,39	3163	45	1,50
Bronce de silic., tipo B	Laminado en caliente	1335 en 5 × 10 ⁴	19 en 5 × 10 ⁴				
Bronce de silic., tipo B	Extruido	1406 en 5 × 10 ⁴	20 en 5 × 10 ⁴	0,29	3867(c)	55(c)	2,75
Bronce de silic., tipo B	Estirado frío, reduc. 72%	2109 en 3 × 10 ⁴	30 en 3 × 10 ⁴	0,32	4851(c)	69(c)	2,30
Bronce de silic., tipo B	Alambre duro de 2 mm (0,08 pulg)	1757 en 10 ⁴	25 en 10 ⁴	0,28	4710	67	2,68
Magnesio (AZ63A)	Fundido, T5	773 en 5 × 10 ⁴	11 en 5 × 10 ⁴	0,38	1054	15	1,36
Magnesio (AZ31B)	Barra extruida	1054 en 5 × 10 ⁴	15 en 5 × 10 ⁴	0,41	1546	22	1,47
Inconel (Ni-Cr)	Estirado en frío	2812 en 10 ⁴	40 en 10 ⁴	0,38	5624	80	2,00
Inconel	Forjado simple o laminado en caliente	2671 en 10 ⁴	38 en 10 ⁴	0,42	2460	35	0,92
Monel (67 Ni, 30 Cu)	Barra recocida	2179 en 10 ⁴	31 en 10 ⁴	0,41	2109	30	0,97
Monel	Barra estirada en frío	2952 en 10 ⁴	42 en 10 ⁴	0,42	5273	75	1,78
Monel	Recocido En agua salobre	1476 en 10 ⁴	21 en 10 ⁴	0,28	2109	30	1,43
K Monel (3 Al)	Esurado en frío, endurecido por envejecimiento	3163 en 10 ⁴	45 en 10 ⁴	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 350° 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: «SQQT 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 ²	ksi		kg/cm ²	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	300	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) α 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°C (1200°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°C (975°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		ASISTENCIA A LA ROTA		MÓDULO DE ELASTICIDAD E kg/cm ² $\times 10^{-5}$	MÓDULO DE ELASTICIDAD TRANSV. G kg/cm ² $\times 10^{-5}$	MÓDULO DE ALARGAMIENTO EN 50 mm (2 pulg) (ϵ)	DUREZA ROCKWELL	DENSIDAD		PORCENTAJES DE ELEMENTOS
		f_u kg/cm ²	f_{ms} kg/cm ²	f_y kg/cm ²	f_u kg/cm ²	ϵ en %	ϵ en %					kg/cm ³	$\times 10^3$ cm/cm ³	
ALEACIONES DE COBRE														
Latón del Almirante (B111)	Recocido	3 726	1 546(e)	1 265	10 ¹	0,407	65	8,53	20,2	71 Cu, 28 Zn, 1 Sn				
Bronce de aluminio (B130-2)	Verrilla extruida (b)	8 430	4 921(e)	2 249	3 $\times 10^4$	0,457	12	7,59	16,2	81,5 Cu, 9,5 Al, 5 Ni, 2,5 Fe, 1 Mn				
Bronce de aluminio (B130-1)	Recocido a 427°C	7 030	4 921(e)	1 968	8 $\times 10^4$	0,457	25	7,59	16,5	91 Cu, 9 Al				
Cobre al berilio (B194)	HT	12 303	9 140	2 460	10 ¹ (h)	0,513	5	8,22	16,7	1,9 Be, 0,2 Ni o Co				
Latón de cartúchera (B134-6)	1/2H, varilla	4 921	3 656(e)	1 546	5 $\times 10^4$	0,421	30	8,80	20,00	70 Cu, 30 Zn				
Bronce cooperal (1342)	Flexible H(g)	5 062	3 656(e)	1 476	15 $\times 10^4$	0,450	3	8,80	18,3	90 Cu, 10 Zn				
Latón de fácil mecanización (B16)	Barra 30 mm	3 867	3 093(a)	1 406	10 ¹	0,984	32	8,36	20,5	61,5 Cu, 35,3 Zn, 3 Pb				
Bronce al manganeso (B136-A)	1/2H, barra	5 273	3 374	2 109	10 ¹ (g)(k)	1,124	25	8,42	21,2	58 Cu, 39 Zn, más				
Latón naval (B124-3)	1/4H, barra	4 921	3 374(a)	2 109	3 $\times 10^4$ (b)	1,054	25	8,42	21,2	60 Cu, 39,25 Zn, 0,75 Sn				
Plata-níquel B	H(g)	7 030	5 976(e)	1 335	10 ¹ (f)	1,265	3	8,69	16,7	55 Cu, 27 Zn, 18 Ni				
Bronce fosforoso (B139-C)	1/2H, barra	5 624	4 570(a)	2 179	10 ¹ (f)	1,124	33	8,80	18,2	92 Cu, 1,5 Si, más				
Bronce al selenio (B98-B)	H, varilla 25 mm	4 570	2 460(e)	1 757	10 ¹	1,195	10	8,75	17,8	97,7 Cu, 1,5 Si, más				
Latón amarillo (B36-8)	1/8H, var. 25 mm	3 867	2 812(a)	773	10 ¹ (e)	1,054	48	8,48	20,3	65 Cu, 35 Zn				
Latón amarillo (B36-8)	1/2H (g)	4 288	3 515(a)	773	10 ¹ (e)	1,054	23	8,48	20,3	65 Cu, 35 Zn				
ALEACIONES DE ALUMINIO														
303-H14 (M1A)	Estirido duro	1 546	984	632	5 $\times 10^4$	0,703	16	2,74	23,2	1,0 Mn, otros				
2014-T6 (C94A)	HT, envejecido	4 921	2 952	1 265	5 $\times 10^4$	0,745	13	2,80	23,0	3,9 Cu, 0,5 Si, 0,4 Mn, 0,2 Mg				
2024-T4 (CG42A)	HT, envejecido	4 780	2 882	1 406	5 $\times 10^4$	0,745	20	2,71	23,4	3,8 Cu, 1,2 Mg, 0,3 Mn				
6061-T6 (p) (GS11A)	HT, envejecido	3 163	2 109	984	5 $\times 10^4$	0,703	17	2,77	22,8	0,15 Cu, 0,8 Mg, 0,4 Si				
7075-T6 (CG62A)	HT, envejecido	5 765	3 374	1 617	5 $\times 10^4$	0,731	10	2,80	23,2	5,1 Zn, 2,1 Mg, 1,2 Cu				
360	Fund. a presión en molde metálico	2 812	1 898	1 195	5 $\times 10^4$	0,724	1,8	2,63	21,1	9 Si, 0,4 Mg				
355-T6	Fundido en arena	2 460	1 968	632	5 $\times 10^4$	0,724	3	2,71	21,1	1 Cu, 4,5 Si, 0,4 Mg				
ALEACIONES DE MAGNESIO														
AZ61A-F	Barra extruida	3 163	1 406	1 195	5 $\times 10^4$	0,457	16	1,80	25,9	6 Al, 1 Z, 0,2 Mn				
AZ80A-T5	Forj., envejecido	3 315	1 617	1 125	5 $\times 10^4$	0,457	6	1,80	25,9	8,5 Al, 0,5 Zn, 0,15 Mn				
AZ91C-T6	Fundido en arena	2 812	1 335	984	5 $\times 10^4$ (c)	0,457	5	1,82	25,9	9 Al, 0,7 Zn, 0,2 Mn				
ALEACIONES DE PLOMO Y ESTAÑO (antirradiación)														
Pabbitt (B23-46T-8)	A 20° C (l)	703	$f_{pr} = 239$ (m)	274	2 $\times 10^4$	0,295	5	9,97	23,9	80 Pb, 15 Sb, 5 Sn				
Pabbitt (B23-46T-8)	A 100° C (l)	380	$f_{pr} = 119$ (m)	267	2 $\times 10^4$	0,513	27	9,97	23,9	80 Pb, 15 Sb, 5 Sn				
Pabbitt de estaño (B23-49-1)	A 20° C (l)	654	$f_{pr} = 309$ (m)	267	2 $\times 10^4$	0,513	2	7,35	23,9	91 Sn, 4,5 Sb, 4,5 Cu				
DIVERSAS														
Hastelloy B	Fundido en arena	6 327	3 515(c)	4 640	10 ¹ (n)	1,863	10	9,25	10,0	62 Ni, 28 Mo, 5 Fe				
Monel K	Estir. en frío, env.	9 483	7 030(c)	2 952	10 ¹	1,828	20	8,48	14,0	66 Ni, 29 Cu, 3 Al				
Aleación de platino	Recocido	3 163	9 140(c)	2 952	10 ¹	1,054	35	20,0	9,0(f)	10 Rodio				
Titanio (B265, g 5) (l)	Recocido (s)	9 386	11 100(c)	2 952	10 ¹	1,054	12	4,43	10,4	6 Al, 4 V				
Titanio (B265, g 5) (l)	Endurecido (s)(v)	11 952	11 100(c)	4 288(f)	10 ¹	1,054	7	4,43	10,4	{ Servicio aeron. temp. elevada				
Zinc (AC41A)	Fund. a presión en molde metálico (w)	3 346	2 671	54	54	1,054	7	6,63	27,4	4 Al, 1 Cu, 0,04 Mg				

BIBLIOGRAFIA

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

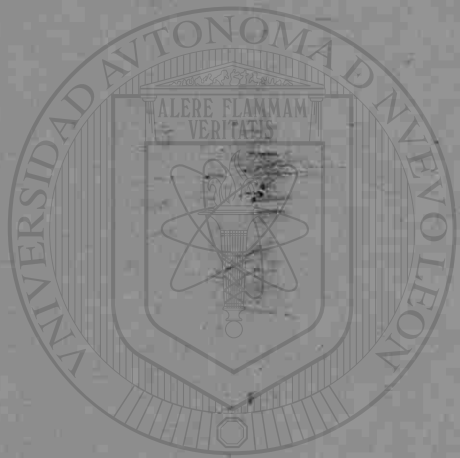
5.- METALS PROGRESS - MATERIALS & PROCESSING
DATABOOK' 81
AMERICAN SOCIETY FOR METALS

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®