

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.

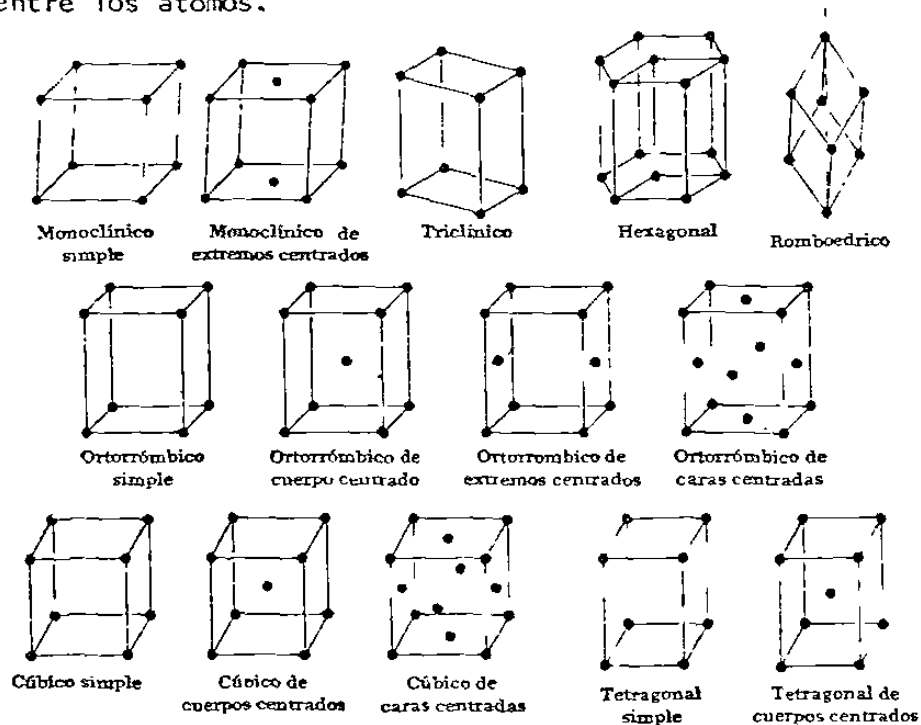


Fig. 1.1.- Retículas espaciales. Hay 14 Retículas típicas continuas en tres dimensiones.

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

Cuando 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.

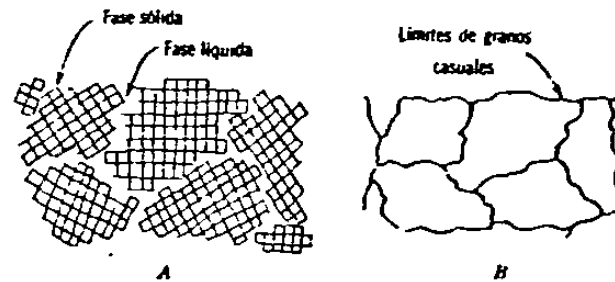


Figura 1.2.- Crecimiento de los cristales para formar granos. A, crecimiento de los cristales. B, granos.

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

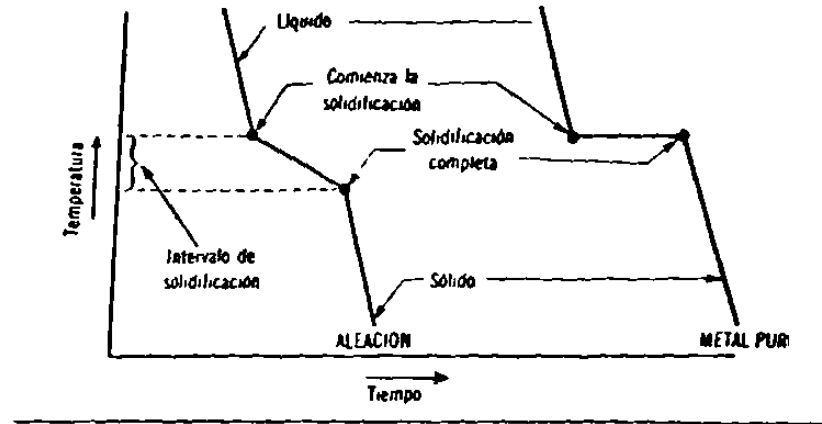


Figura 1.3.- Curva temperatura-tiempo para un metal y aleación.

Cuando 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

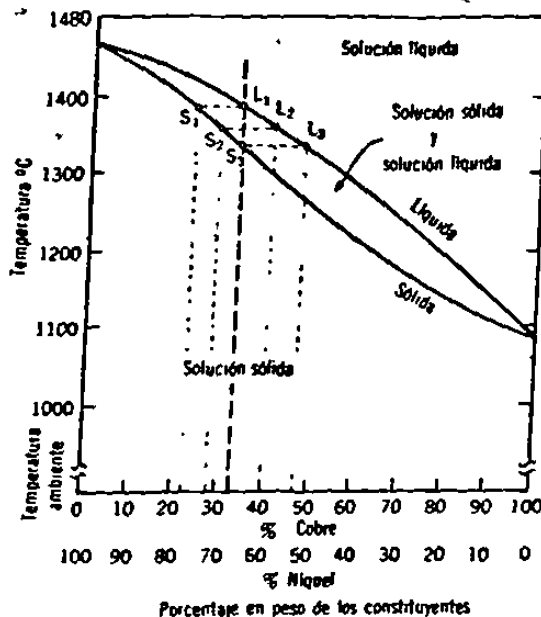


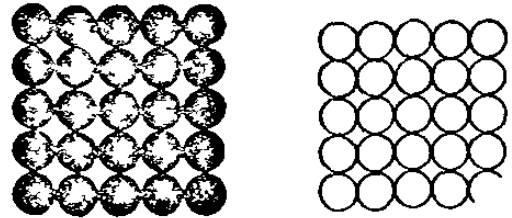
Figura 1.4.- Diagrama de equilibrio para aleaciones cobre-níquel.

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

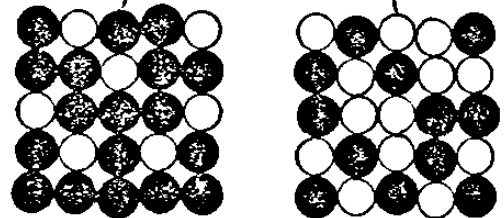
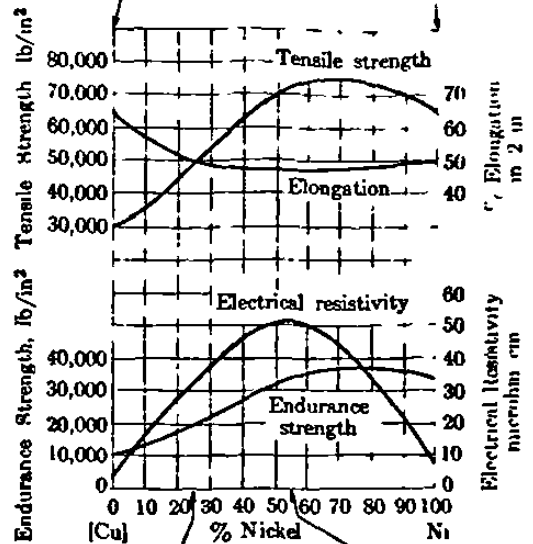
De lo anterior expuesto concluimos que las propiedades de los metales dependen de:

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.



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 -
n --
ción

lo
ia -
- -
ale
de
la
tra

e -
de
p--
a -
s.
ite
sti
ro
u-
.5
-
de
-
in
de
-

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

11.- 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, os 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

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.

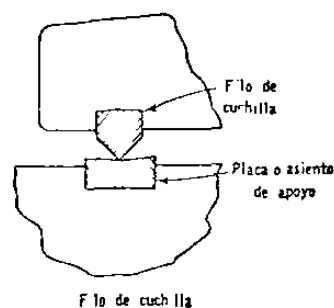
Intimamente relacionadas con la exactitud de un instrumento están la sensibilidad y la lectura mínima del instrumento. La sensibilidad se expresa en términos del menor valor de la cantidad a medir correspondiente al cual hay una respuesta en el dispositivo indicador del instrumento de medición; un instrumento 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 comprensiva 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.

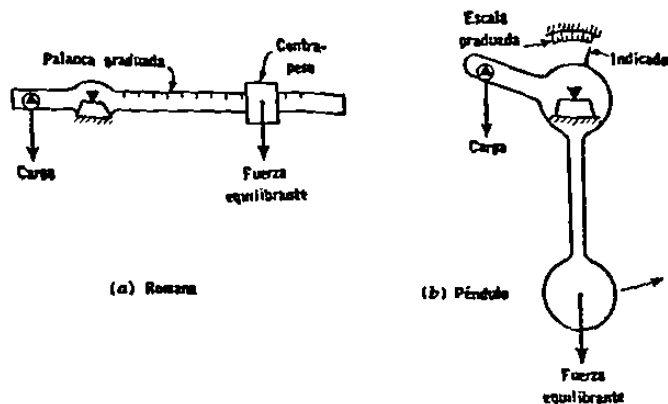


Figura 3.2.- Pesaje con palanca variable

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.

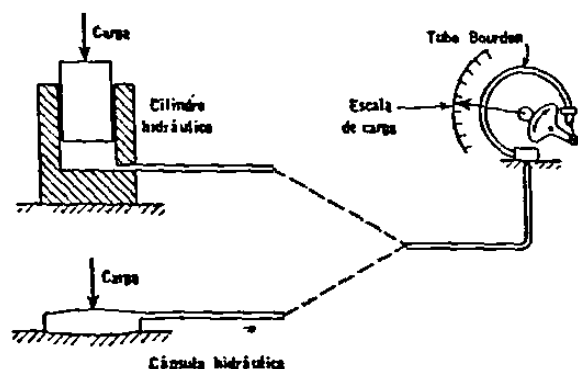


Figura 3.3.- Pesaje por medio de presión hidráulica

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, ~~im~~ pacto, 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.

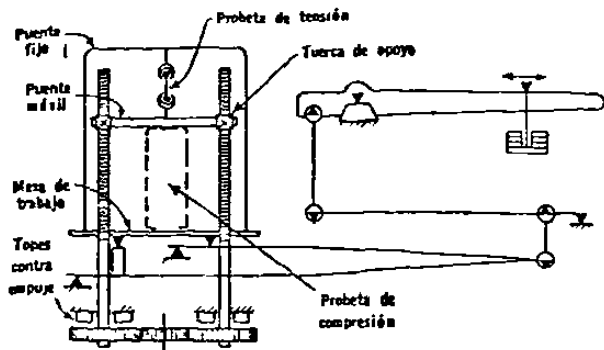


Figura 3.4.- Diagrama esquemático de una máquina de ensayo con engrane y tornillo. El puente móvil siempre desciende durante un ensayo.

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; ordinarily 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.- MÁQUINAS 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.- MAQUINAS 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.

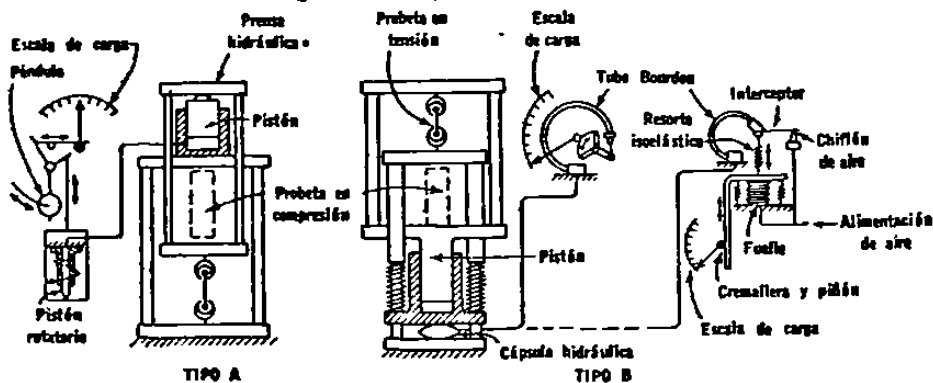


Figura 3.5.- Aspectos esenciales de dos tipos de máquinas de ensaye hidráulicas.

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 interceptar 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.

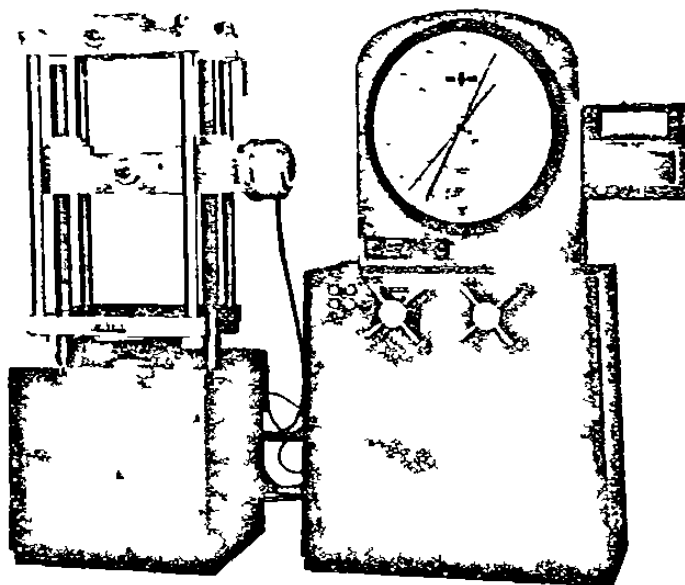


Figura 3.6.- Máquina universal hidráulica con transductor mecánico-eléctrico conectado al extremo de un tubo Bourdon. - Capacidad 60,000 Kg.

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.

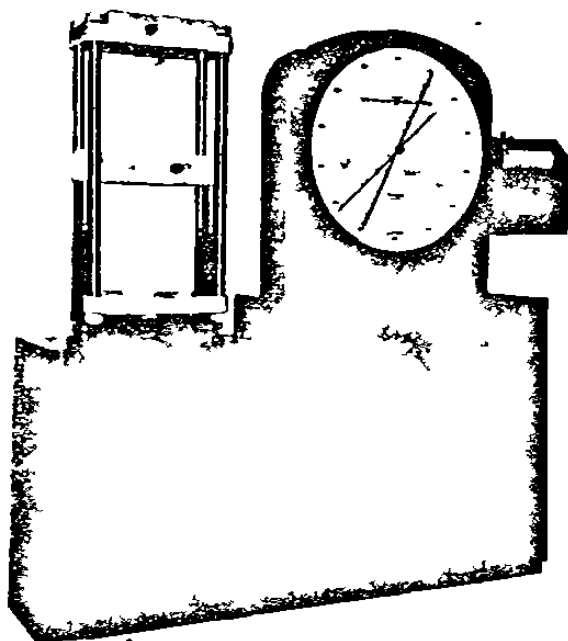


Figura 3.7.- Máquina universal hidráulica - con dispositivo isoelástico para traducción de la presión - capacidad 30,000 Kg.

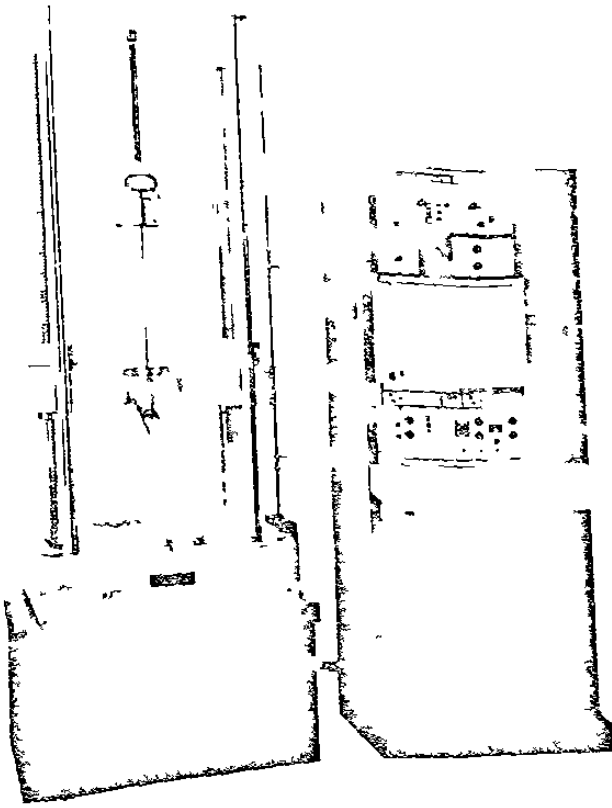


Figura 3.8.- Máquina Universal - con circuitos de estrado sólido, lectura digital, graficador x-y, control de velocidad - capacidad 6,000 Kg.

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.

lar 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.

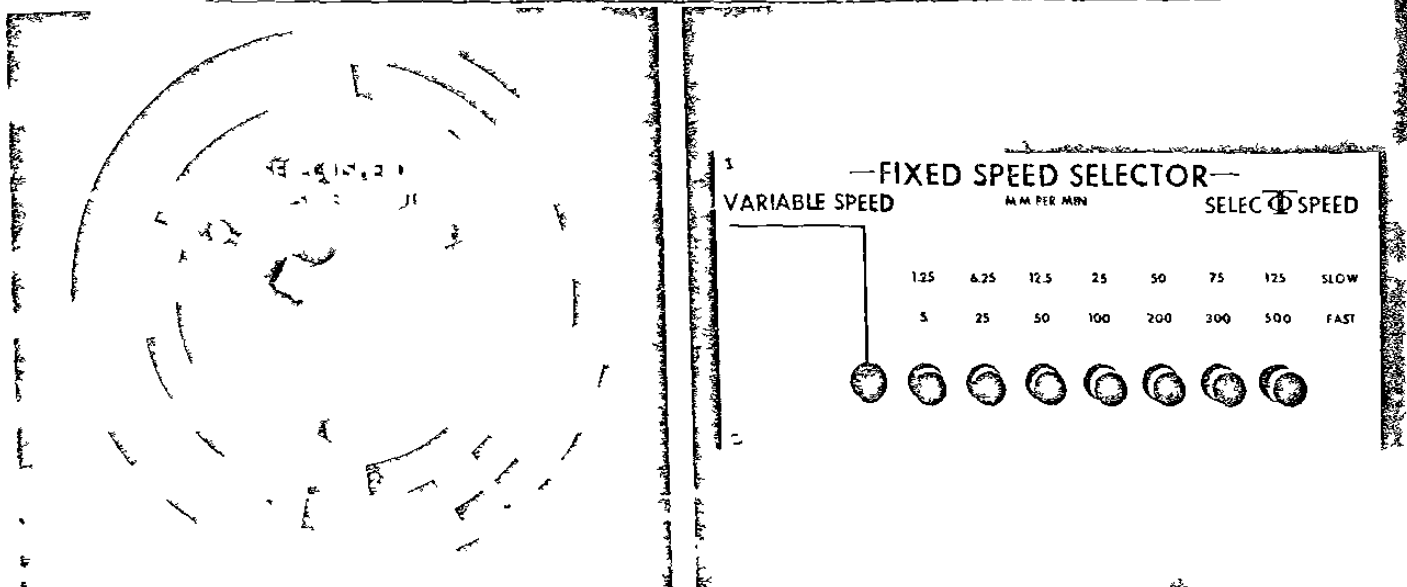
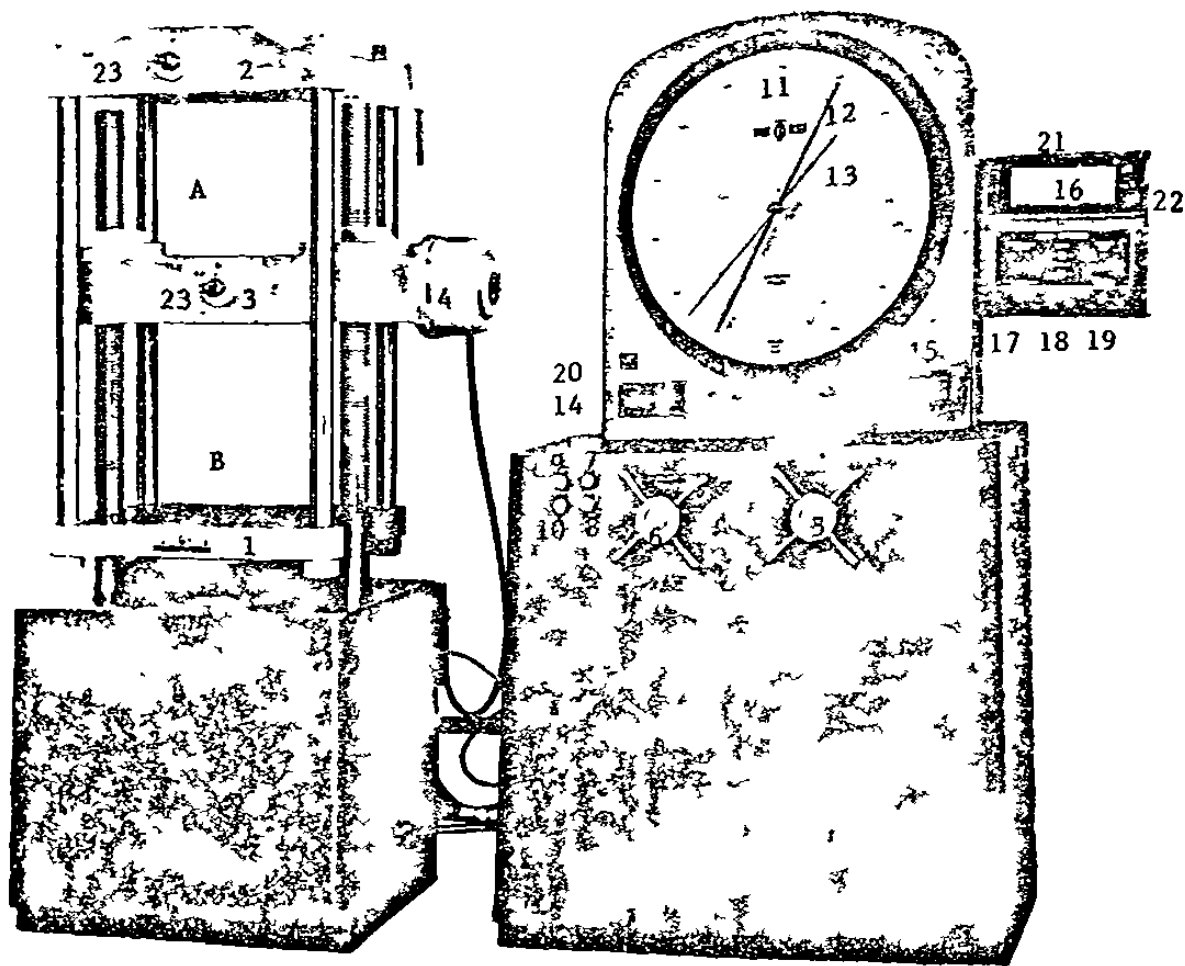


Figura 3.9.- Selector de velocidad de aplicación de carga.



SECCION I

SECCION II

Figúra 3.10.- MAQUINA UNIVERSAL

3.8.- PARTES DE LA MAQUINA UNIVERSAL

Son las que se enuncian en seguida. Ver figúra 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

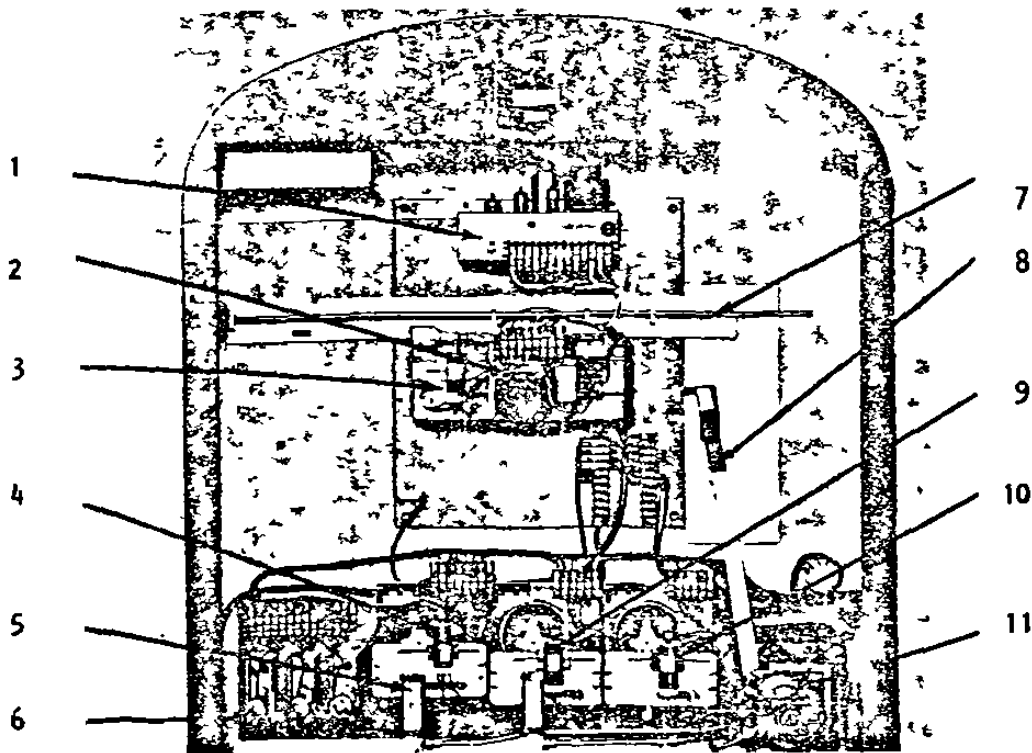


Figura 3.11.- Partes internas de la Sección de Control. (Superior).

- 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.

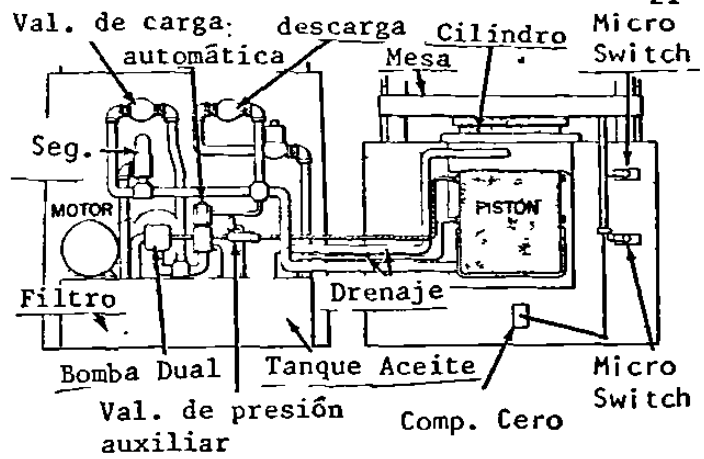
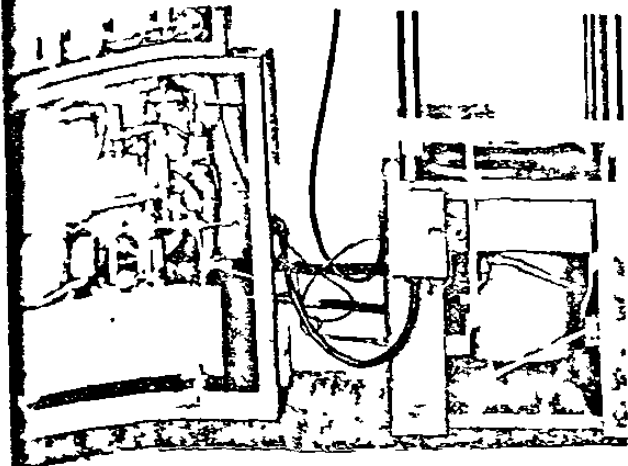


Figura 3.12.- Partes Internas de la Sección de Control. (Inferior).

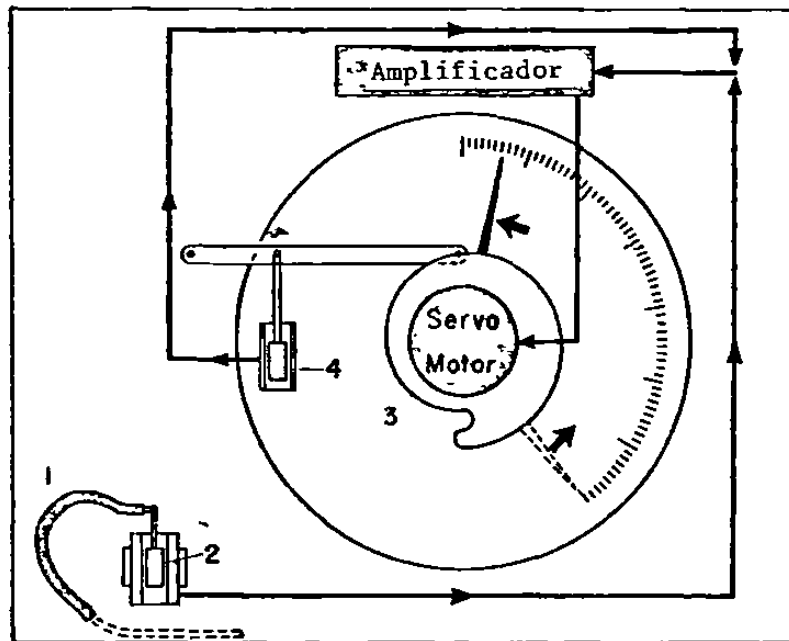


Figura 3.13.- Circuito de las señales hidráulicas hasta el indicador de carga.

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.

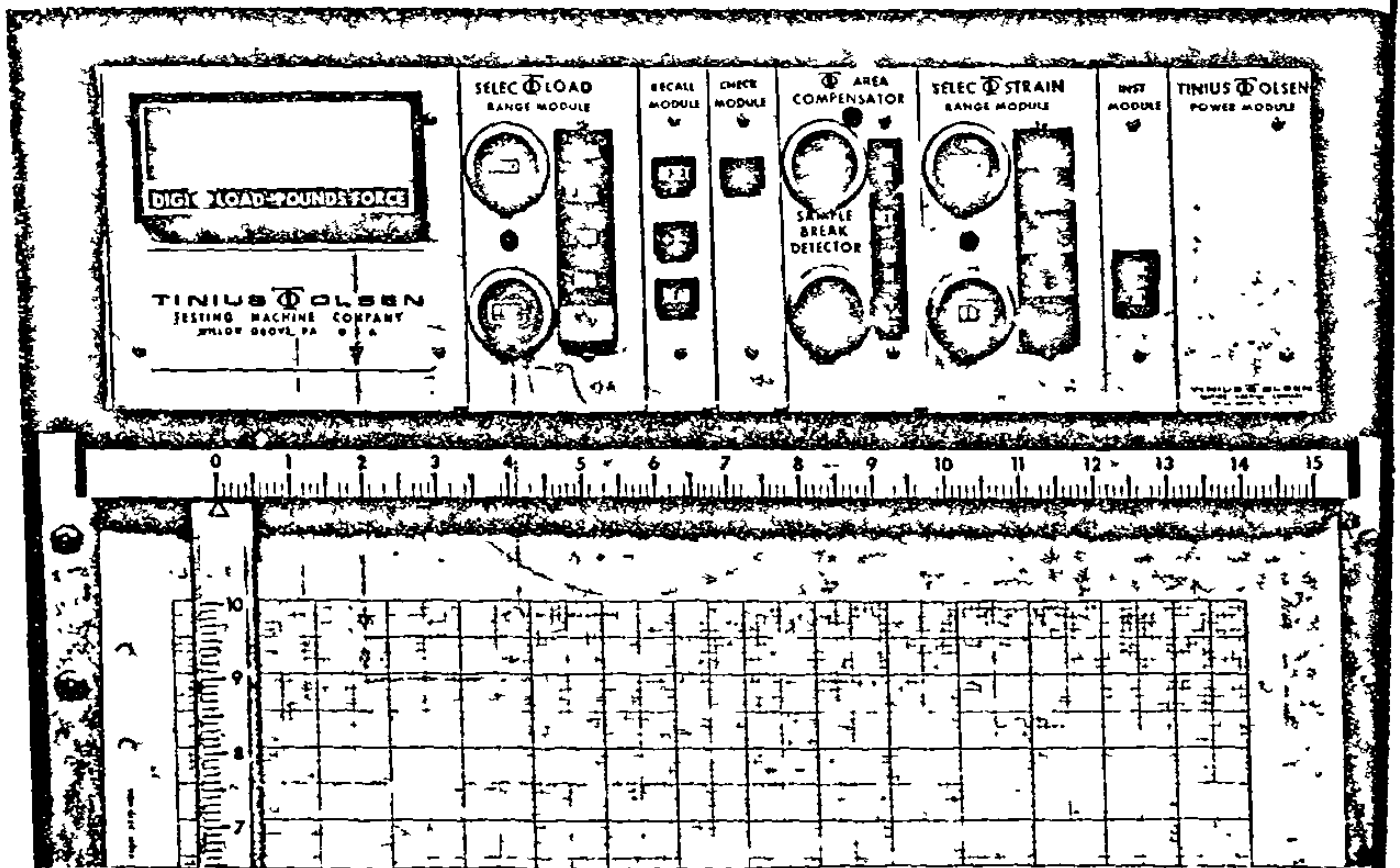


Figura 3.14.- Panel de Control de Estado Sólido

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 "manivela" (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.

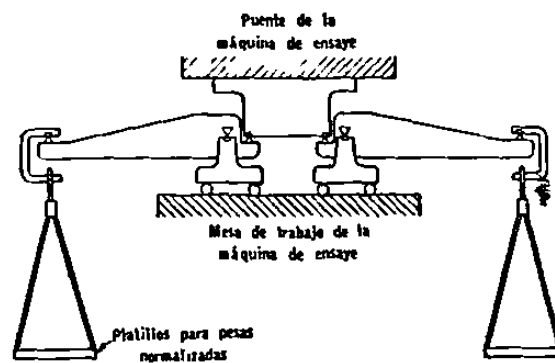


Figura 3.15.- Palancas de comprobación (ASTM E 4).



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 da 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.

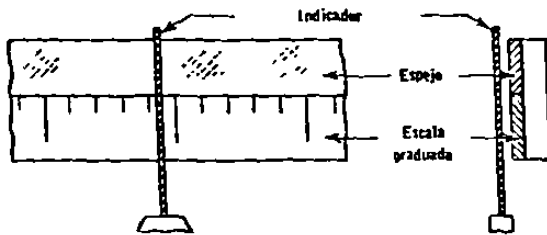


Figura 3.17.- Dispositivo de escala de espejo.

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,

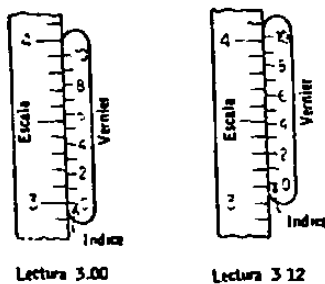


Figura 3.18.- Vernier directo

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.

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.

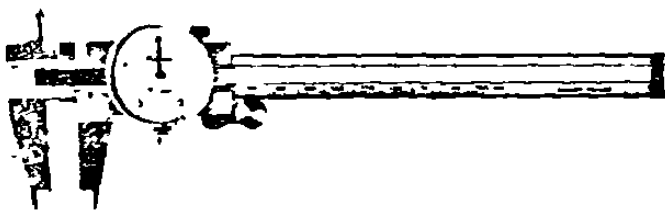


Figura 3.19.- Vernier con carátula integral

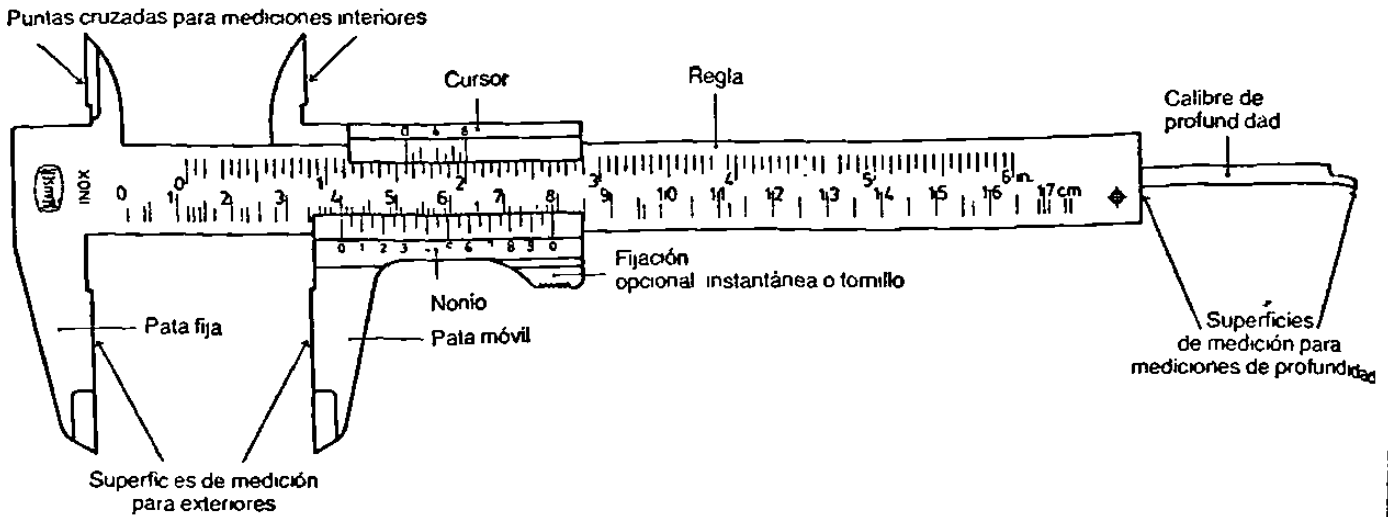


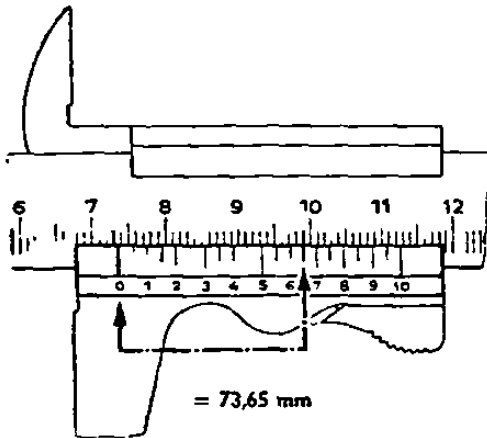
Figura 3.20.- Partes del Vernier.

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 calibrador, 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.

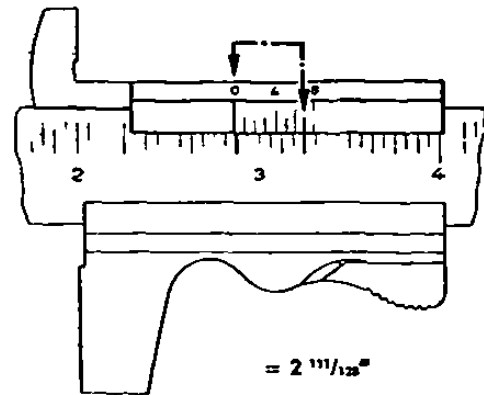
Nonio de 1/20 mm ampliado a 39 mm



- 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 = $6 \cdot 10 + \frac{1}{20}$
Resultado total = $73 + 0,6 + 0,05$
= 73,65 mm

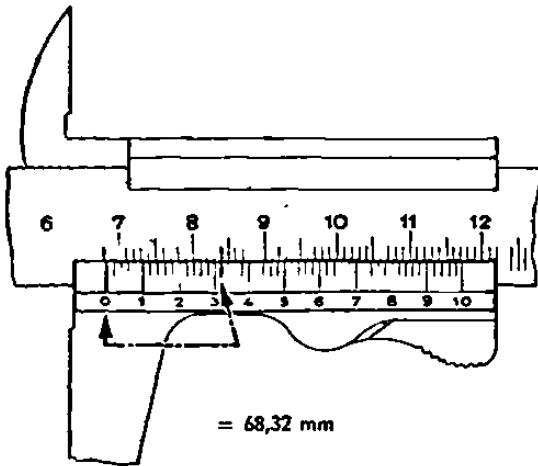
Nonio de 1/128"

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



- a) División principal:
La raya del nonio marcada con 0 se encuentra entre $2\frac{13}{16}"$ y $2\frac{14}{16}"$
Lectura = $2\frac{13}{16}"$
- b) División del nonio:
La séptima raya coincide con una raya de la división principal
Lectura = $\frac{7}{128}"$
Resultado total = $2\frac{13}{16}" + \frac{7}{128}"$
= $2\frac{111}{128}"$

Nonio de $1/50$ 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 = $\frac{3}{10} + \frac{1}{50}$
- 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

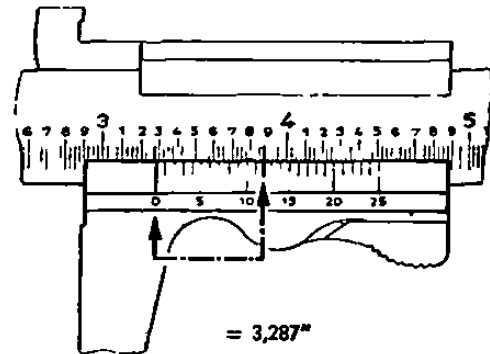
Se cuenta: $\frac{25}{1000}''$, $\frac{50}{1000}''$, $\frac{75}{1000}''$ etc.

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



- 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''

3.11.- MICROMETROS

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

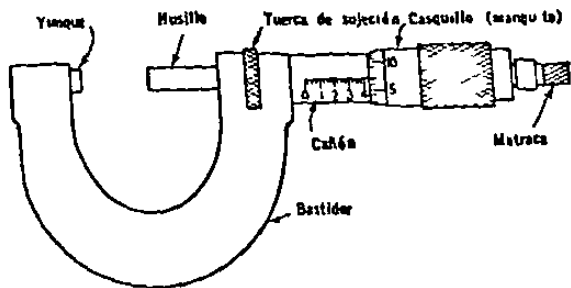


Figura 3.21.- Calibrador micrómetro de tornillo.

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.

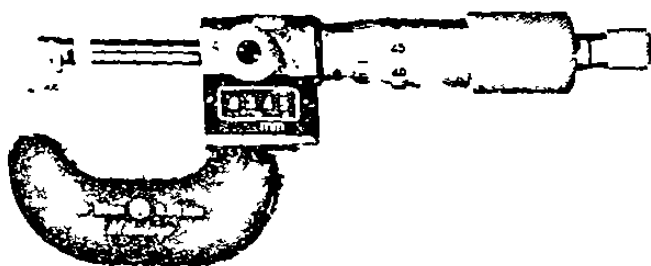


Figura 3.22.- Micrómetro con indicador de medida digital.

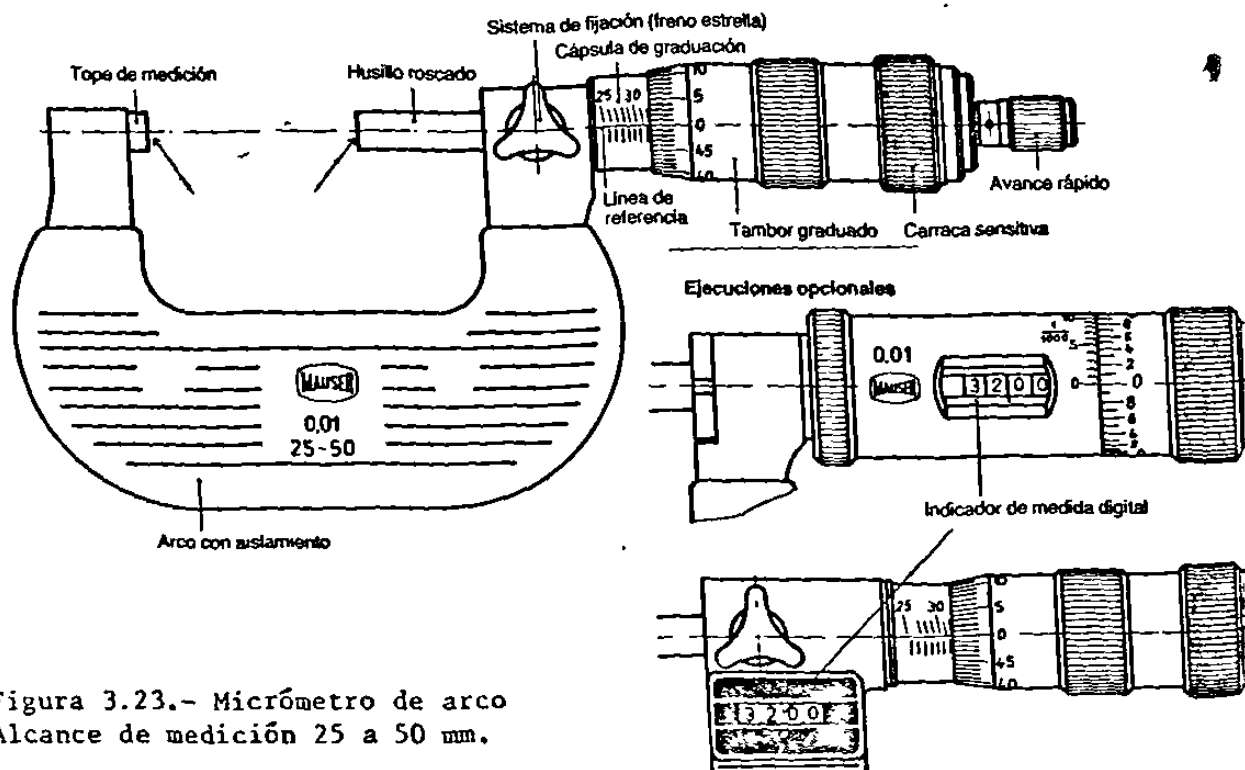
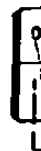


Figura 3.23.- Micrómetro de arco Alcance de medición 25 a 50 mm.

N d le Ex : La ay reh AU AU ind Se



Ejen inden 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

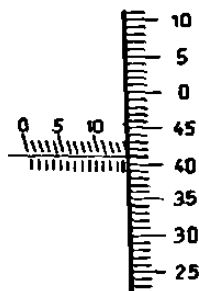
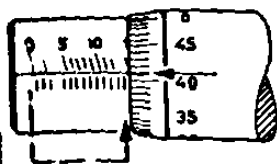
Explicación: Una vuelta del husillo varía el resultado de medición en 0,5 mm ó 0,100 mm ó 0,5 mm.

La cápsula interior (cápsula 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.	

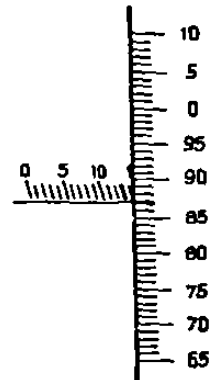
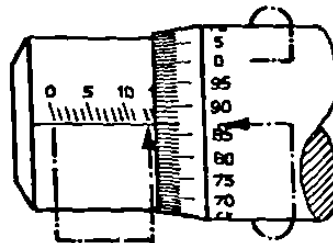


Ejemplo de lectura: El tambor exterior ha dejado pasar una raya inferior después de la 13ª raya superior, en el mismo tambor exterior la 41ª raya coincide con la línea cero.

Resultado:		
Medida en la cápsula 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.

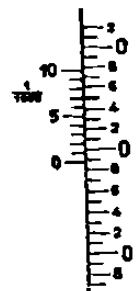
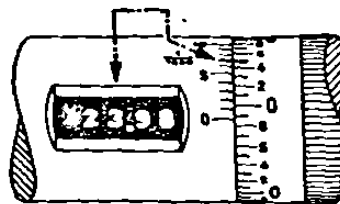


Ejemplo de lectura: El tambor avanzó hasta la raya 13ª de la cápsula de división, en ese punto la raya 87ª del tambor graduado coincide con la línea de referencia cero.

Resultado:	Medida en la cápsula 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 séptima 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

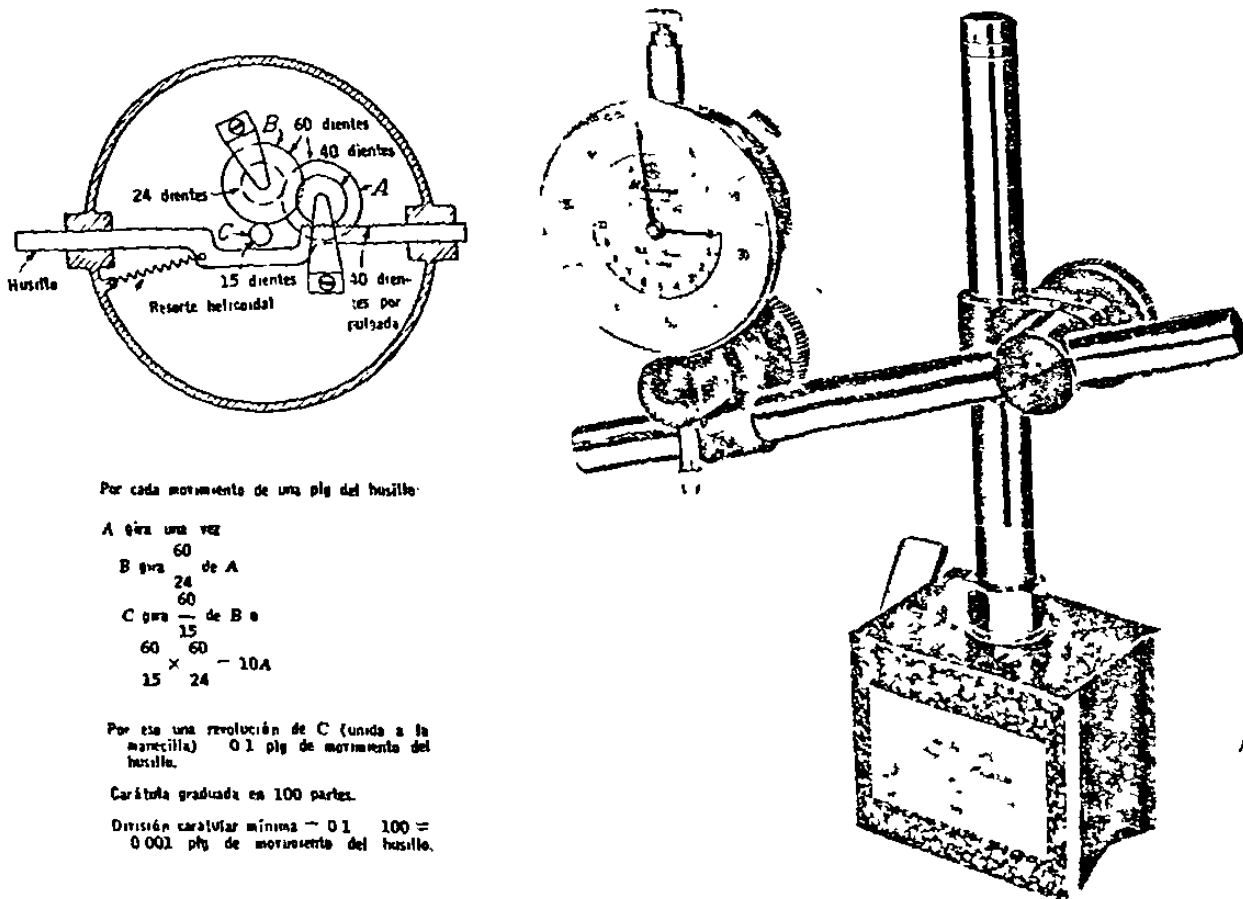


Figura 3.24.- Vista exterior e interior del micrómetro de carátula. Mecanismo típico de indicador de carátula. (Amex, Federla, Starrett).

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 enjoyados. 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.

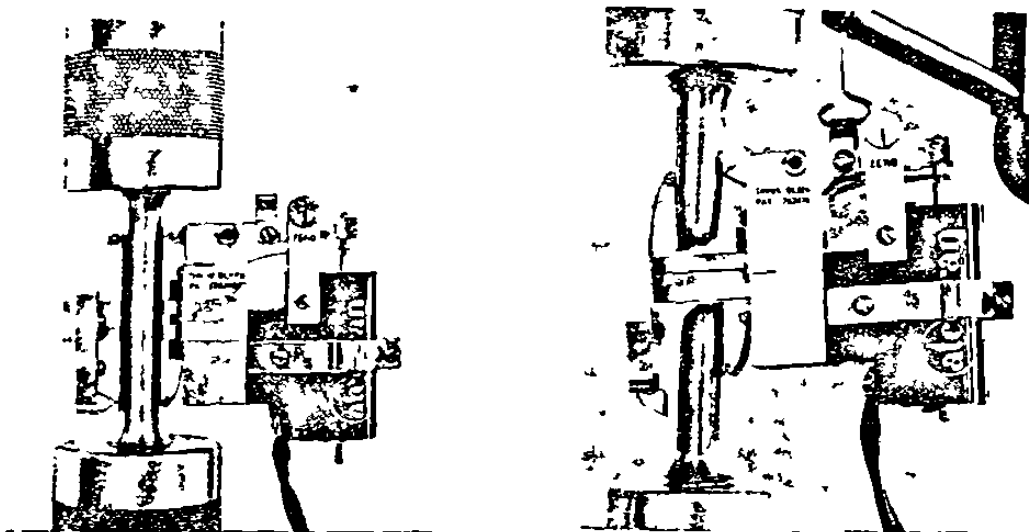


Figura 3.25.- Deformímetro mecánico eléctrico

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.

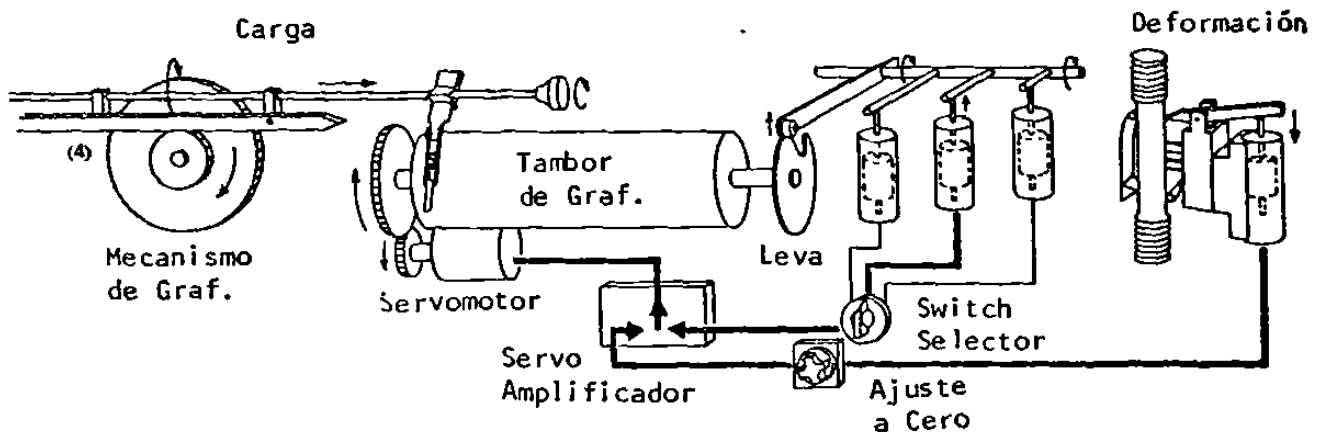


Figura 3.26.- Circuito del graficador de esfuerzo-deformación.

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
Galvina	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 sensitivo 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.- Sensitividad 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.

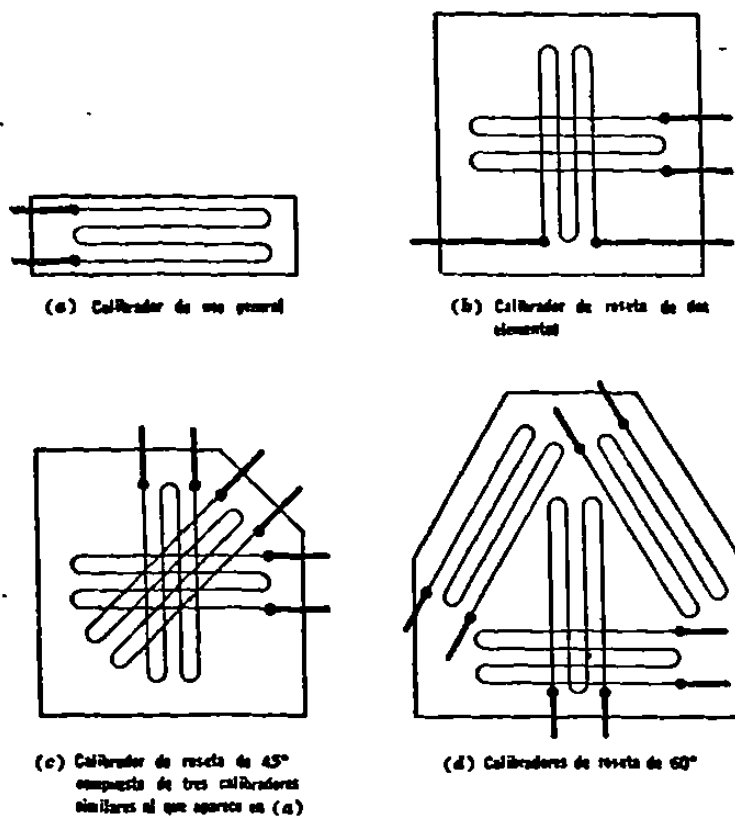


Figura 3.27.- Tipos principales de calibradores con alambres de resistencia eléctrica.

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.

V.- ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION

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 TENSION

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 so bre 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

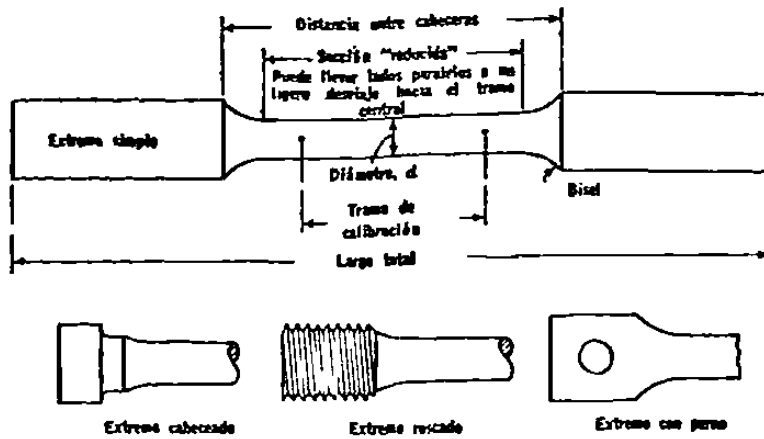


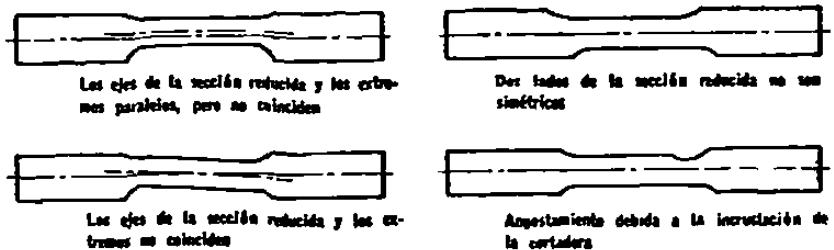
Figura 5.1.- Probeta típica de tensión.

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.



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.

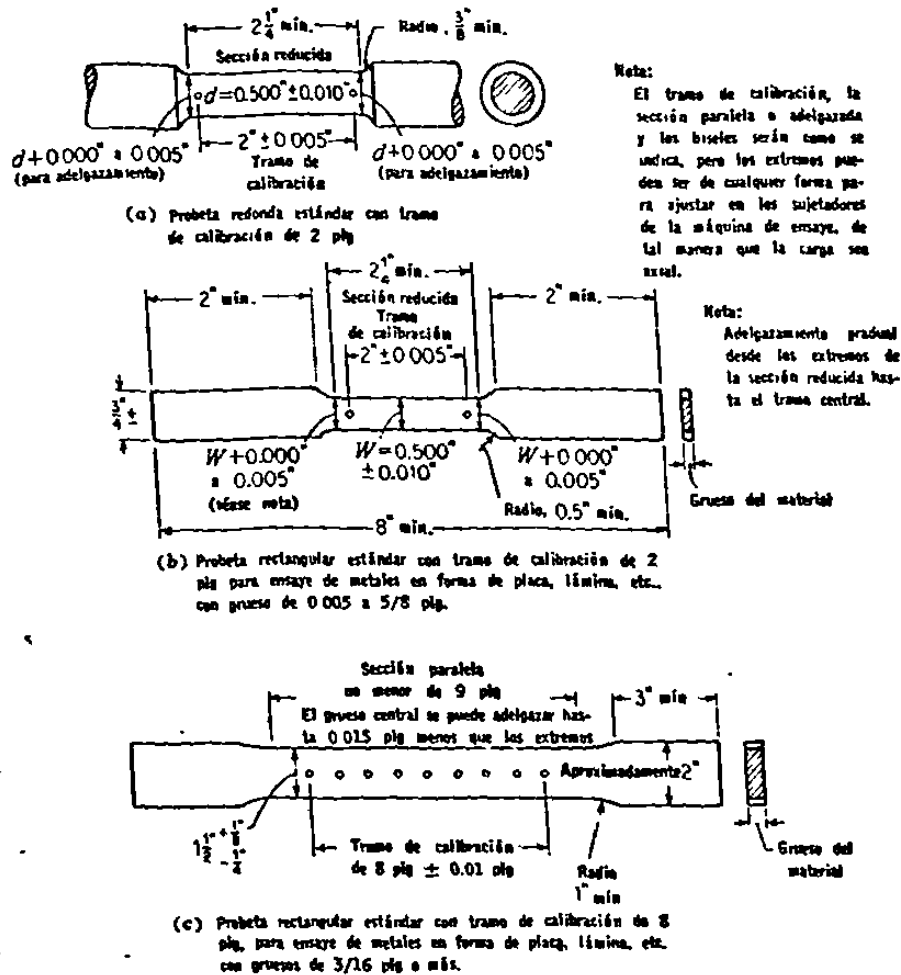


Figura 5.3.- Formas normalizadas según la ASTM de probetas para ensayos de tensión de metal - (dúctil) (ASTM E 8).

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

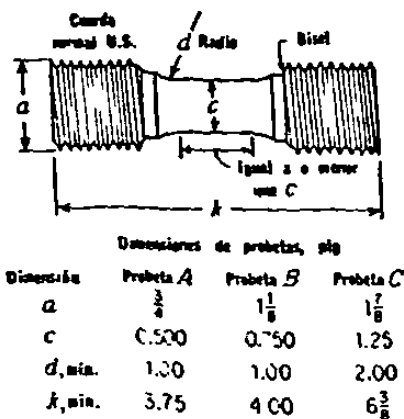


Figura 5.4.- Probeta redonda para ensayos de tensión ASTM Estándar para hierro fundido (ASTM E 8, A 48).

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).



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

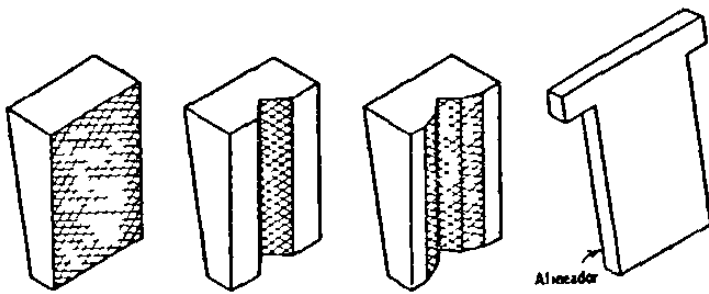
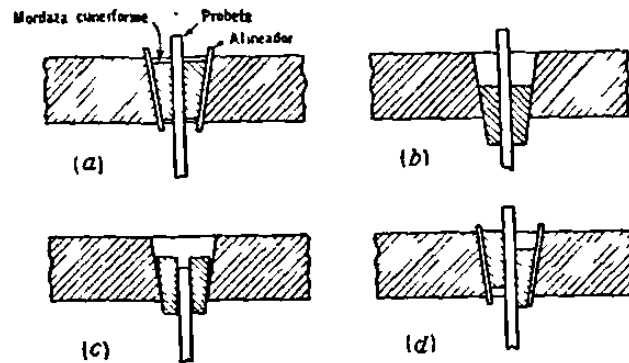


Figura 5.6.- Mordazas cuneiformes para ensayos de tensión de metales.

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.

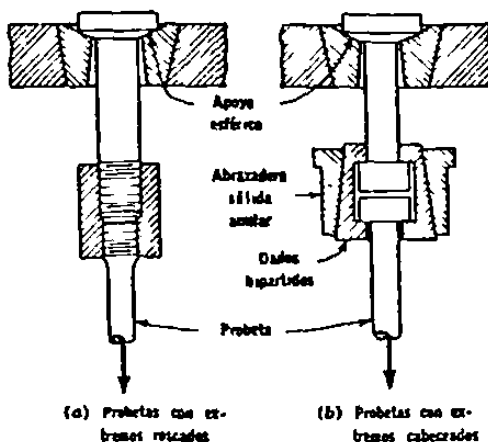


Figura 5.8.- Soportes esféricamente asentados (ASTM E 8).

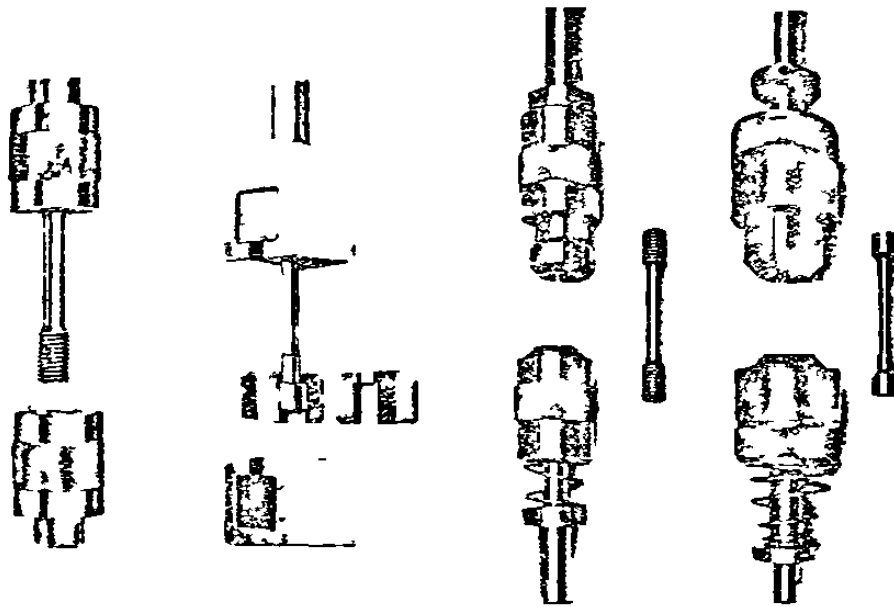


Figura 5.9.- Diferentes tipos de conectores entre probeta y aditamento.

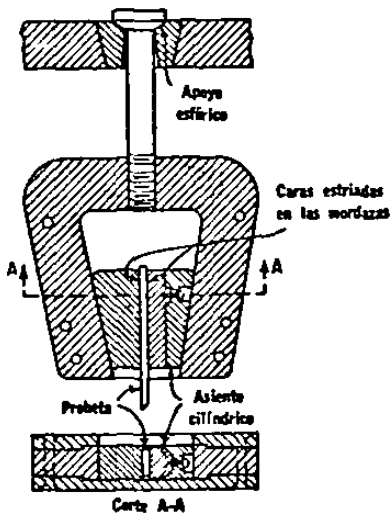


Figura 5.10.- Soportes Templin.

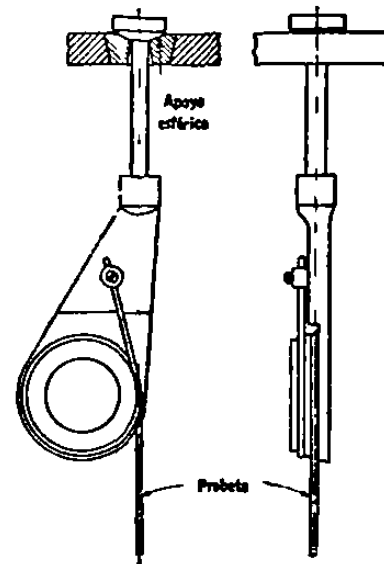


Figura 5.11.- Dispositivo de control para el ensayo de alambre.

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 p_g. satisfacen este -

requerimiento. En las probetas cilíndricas, las mediciones deben hacerse sobre 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 material quebradizo, deben usarse rayas finas. En cualquier caso, las marcas deben 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 redondas 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 una máquina de ensaye por primera vez, el operador debe familiarizarse 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 dispositivo de carga de la máquina dé la indicación de carga cero y se hagan los ajustes si fuere necesario.

Cuando se coloca una probeta en una máquina, el dispositivo de sujeción debe revisarse para cerciorarse de que funcione debidamente. Si se usan topes 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 observaciones en las líneas de calibración.

Si se ha de utilizar un extensómetro, el valor de las divisiones del indicador 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 inicial 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 lecturas de carga y otras pueden tomarse con el grado de exactitud deseado, y si la velocidad de ensaye ejerce una influencia apreciable sobre las propiedades del material, el ritmo de deformación de la pieza de ensayo debe quedar dentro de límites definidos, aunque los estudios han indicado que pueden ser razonablemente amplios.

Con frecuencia la carga se aplica rápidamente a cualquier velocidad conveniente, hasta la mitad de la resistencia a la cedencia o el punto de cedencia 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 velocidades 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 aplica 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 carga y la deformación se observan simultáneamente. El segundo método se considera 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 caratular, plg (2)	Esfuerzo, lb/plg ²	Deformación, plg/plg	Carga, lb	Lectura escalar, plg	Esfuerzo, 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	66 300	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 cedencia, % 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 Oisen de 60 000 lb (No. 12)			31 710	0 023	40 300	0 00144	52 000	2 10	66 100	0 2625
(2) Extensómetro caratular 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 de grano fino al centro, pedoso en el borde.			31 390	0 030	39 900	0 00188	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				

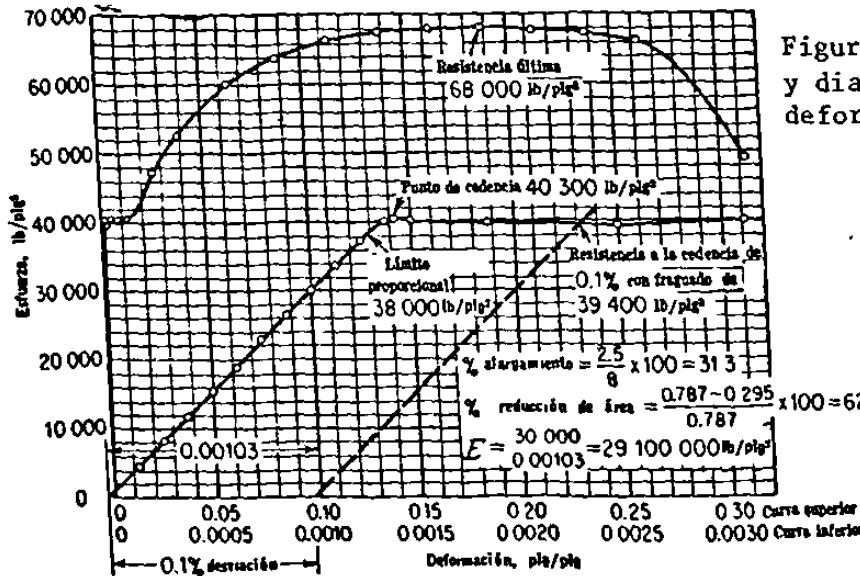


Figura 5.12.- Bitácora y diagrama, esfuerzo-deformación

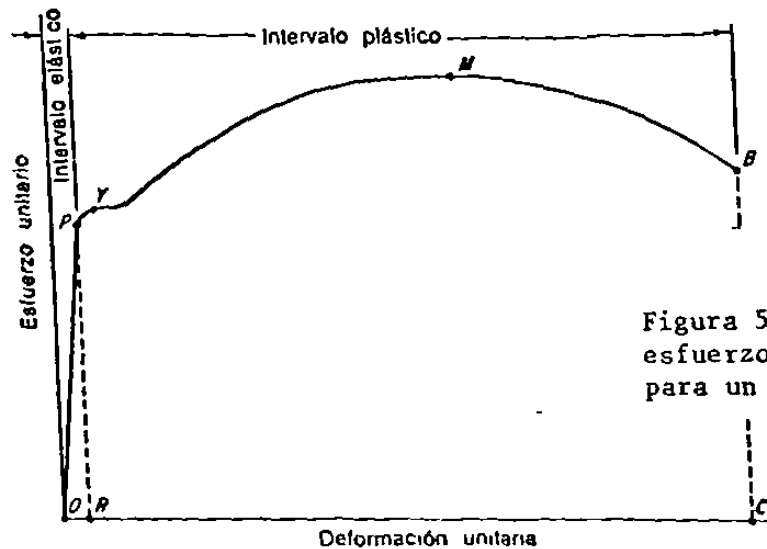


Figura 5.13.- Gráfica esfuerzo-deformación para un acero dúctil.

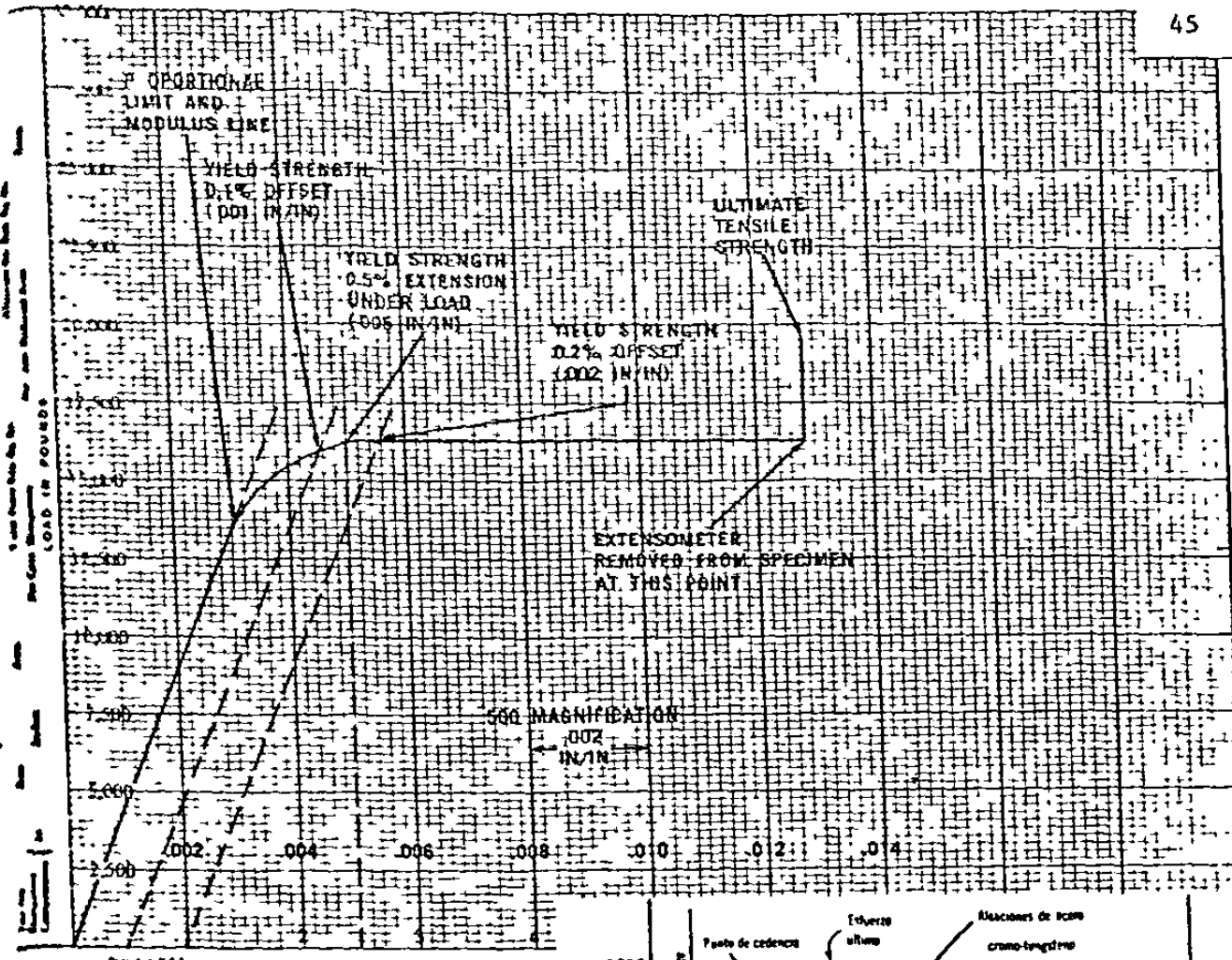


Figura 5.14.- Diagrama esfuerzo contra deformación tomada del graficador de la máquina.

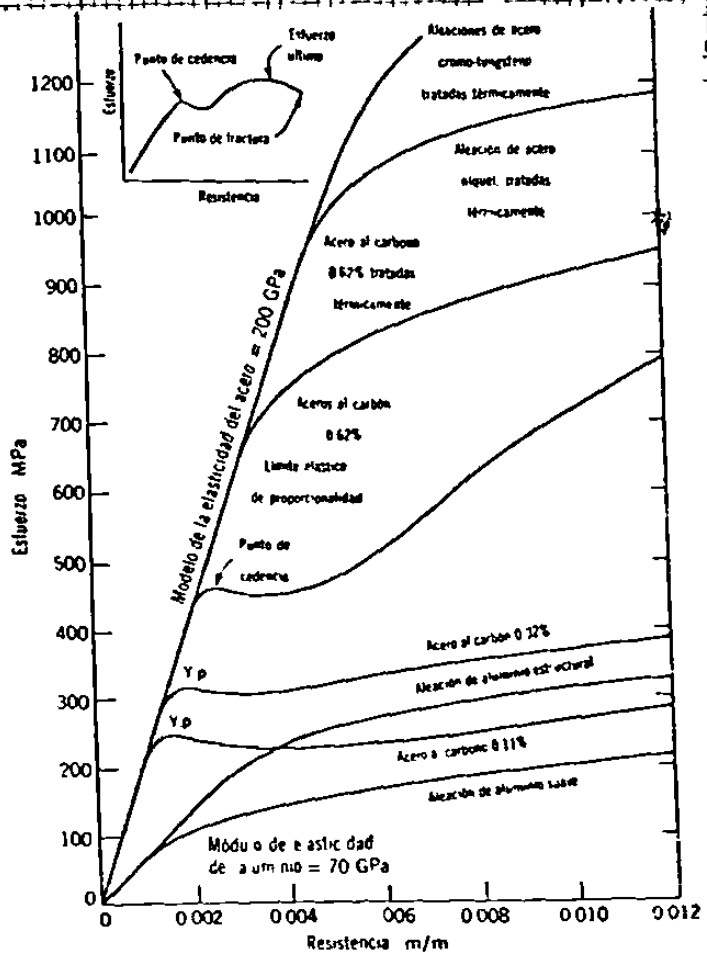


Figura 5.15.- Curva esfuerzo-deformación para varios materiales.

ica
ón
il.

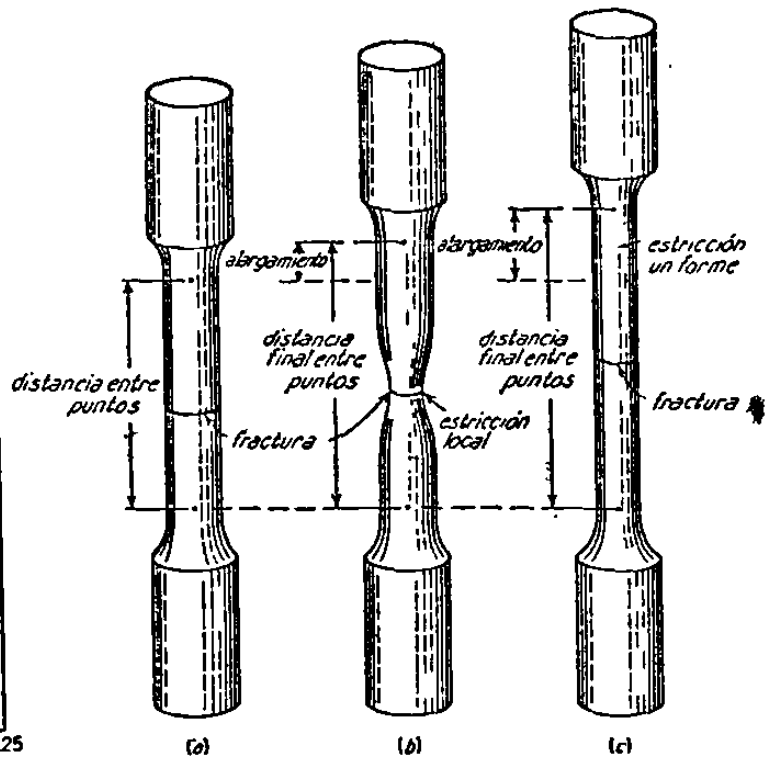
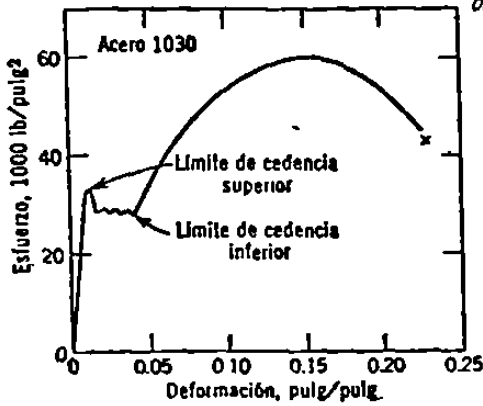
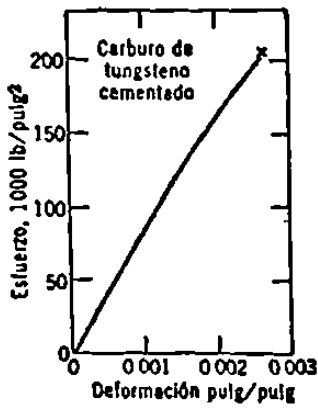
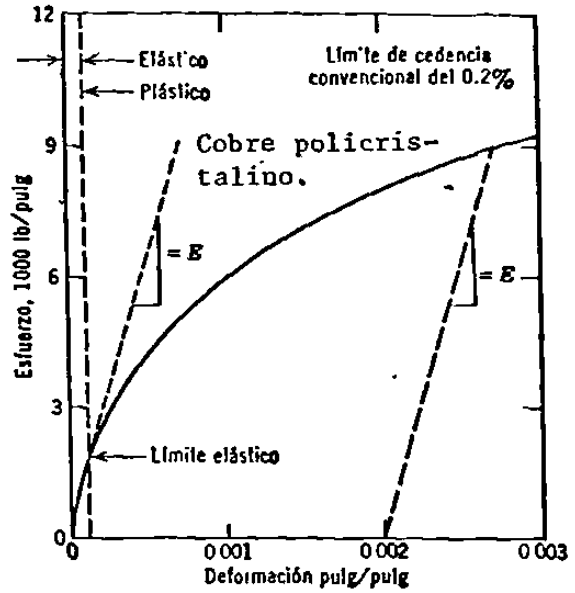
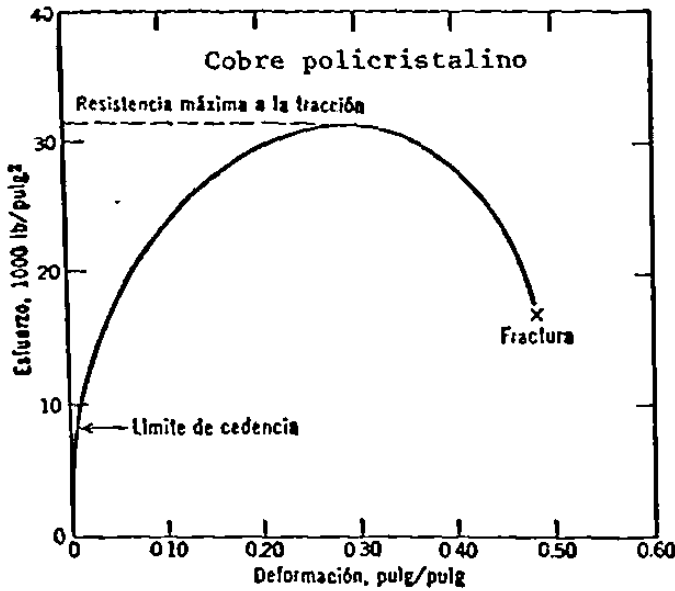


Figura 5.15.- (Continuación). Diagramas de esfuerzo contra deformación para el cobre policristalino, Carburo de Tungsteno Cementado, Acero 1030. Tipos de rotura por tracción: a) material frágil, con estricción y alargamiento prácticamente nulos; b) material dúctil, con estricción localizada antes de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

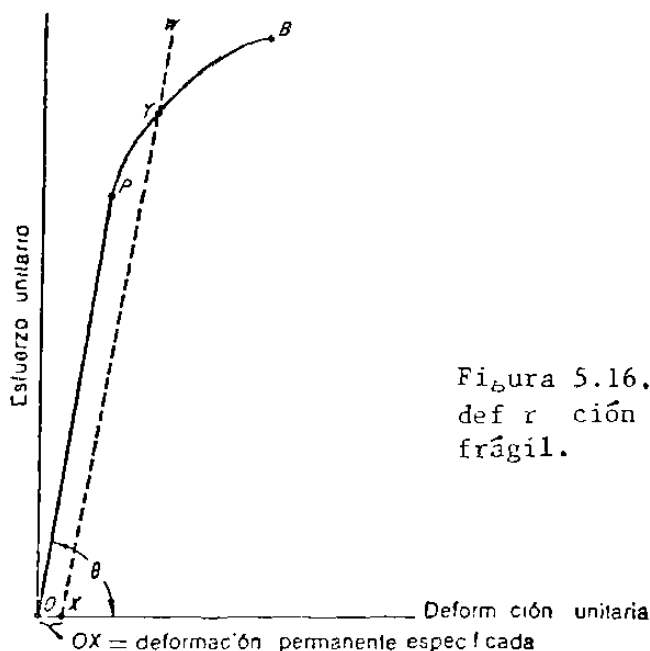


Figura 5.16.- Gráfica esfuerzo-deformación para un material frágil.

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.

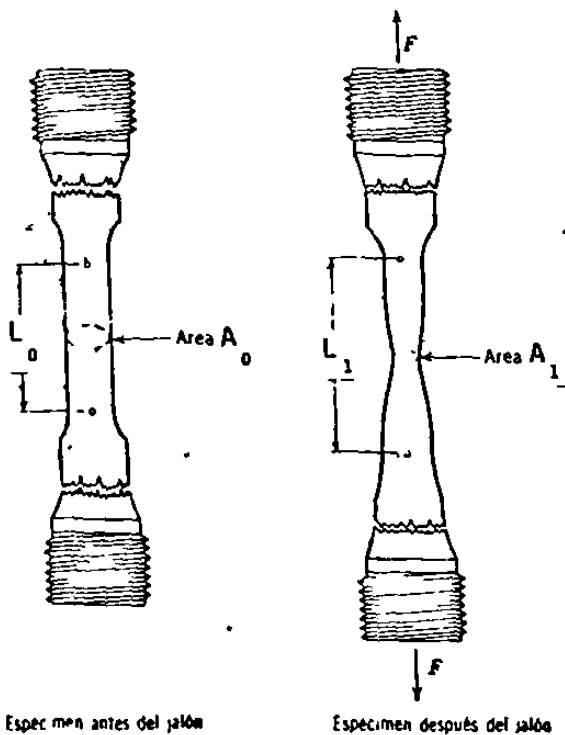


Figura 5.17.- Muestra tensión antes y después de que el material falle.

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 intersección 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 5.15), 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) da 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 resilencia*. 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.

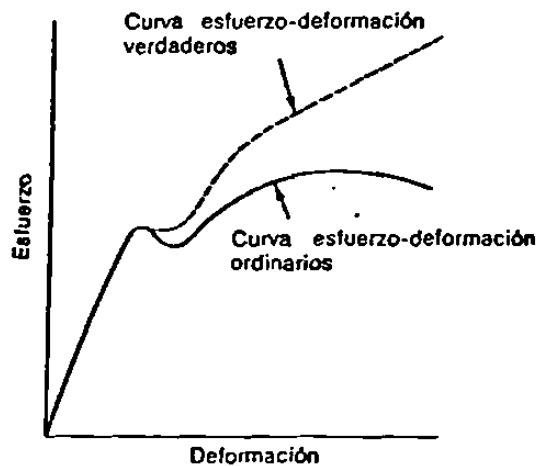


Figura 5.18.- Gráfica esfuerzo-deformación verdaderos y esfuerzo-deformación convencionales para un acero dúctil.

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.

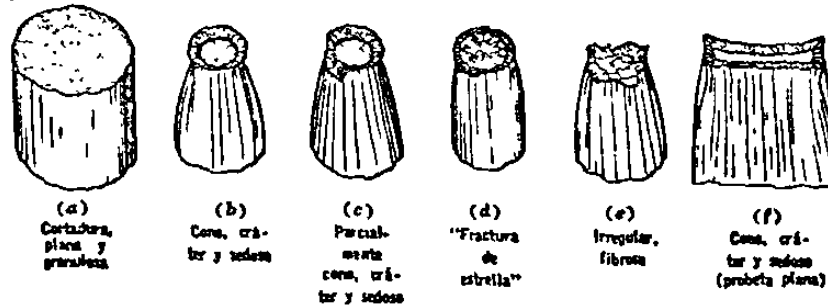
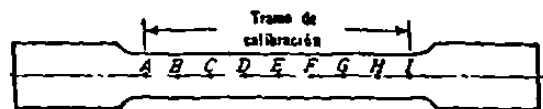


Figura 5.19.- Fracturas típicas por tensión de los metales.

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 = $AI_{\text{final}} - AI_{\text{original}}$

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

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

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

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

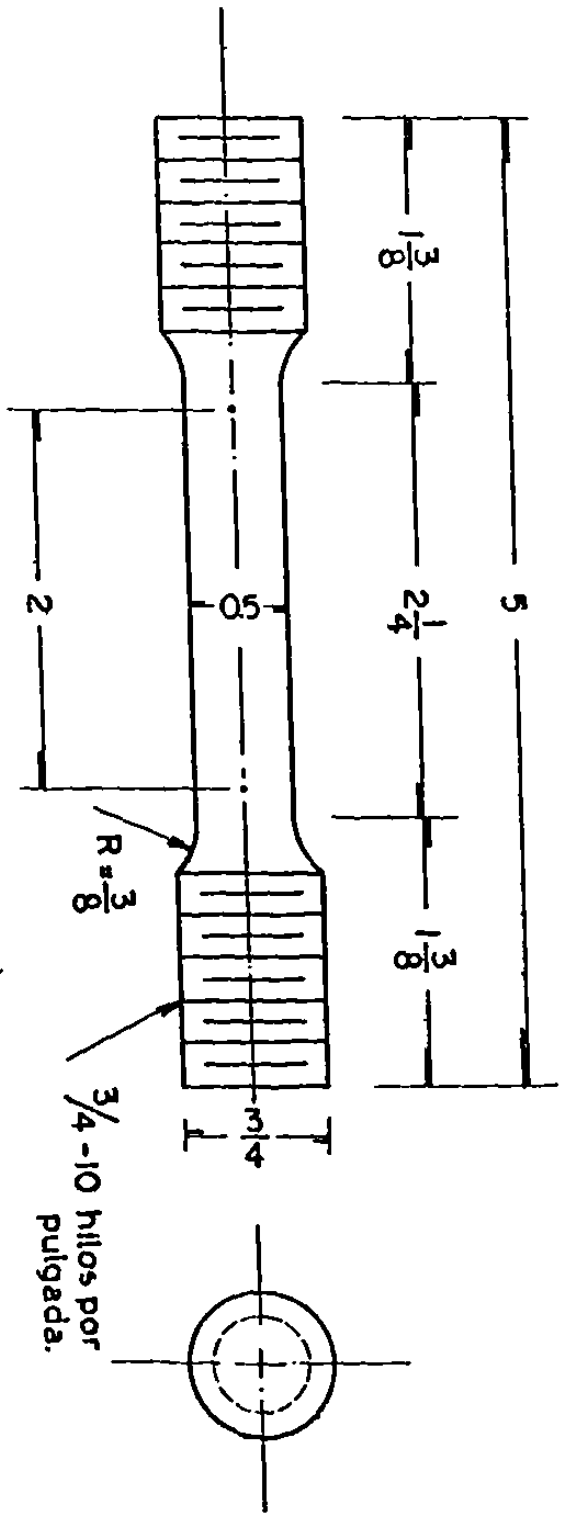
LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.

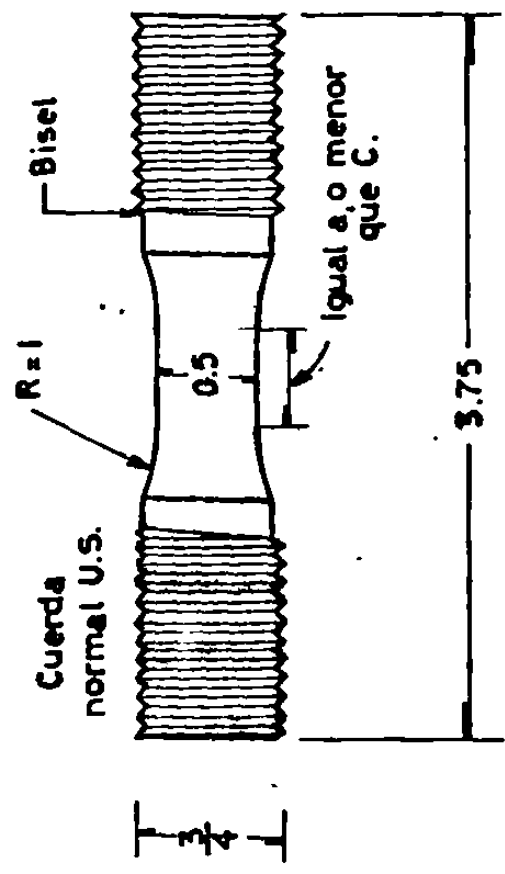
ENSAYO: TENSION

MATERIAL: METAL

EST: ASTM A-370

COTAS: PULGADAS.





EN HIERRO FUNDIDO, SECCION CIRCULAR.

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

UANL
FIME

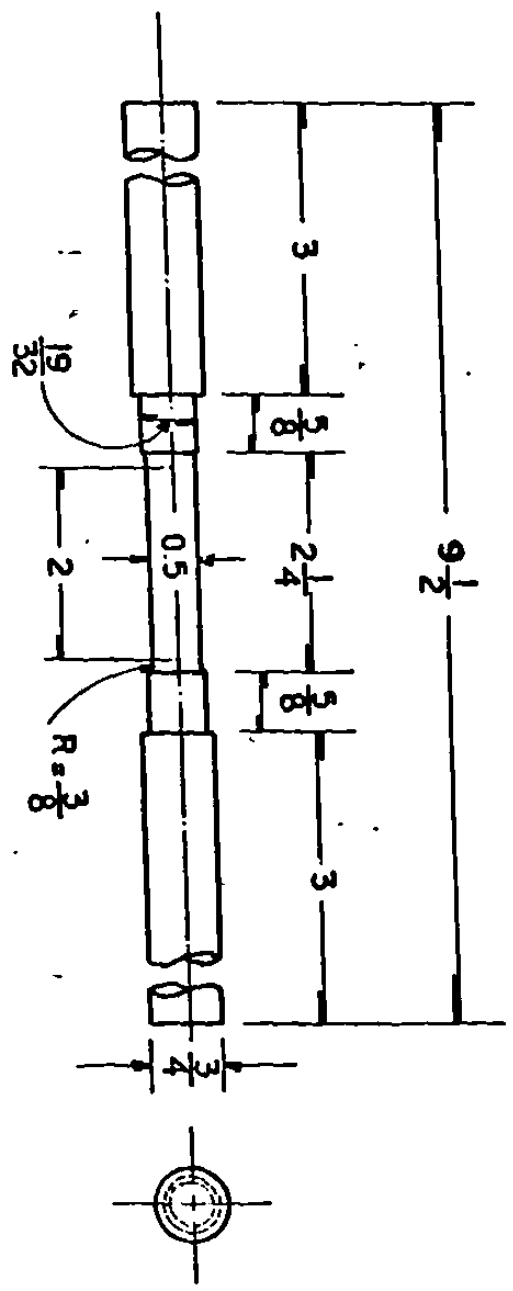
LAB. DE MEC. DE LOS MTLS.

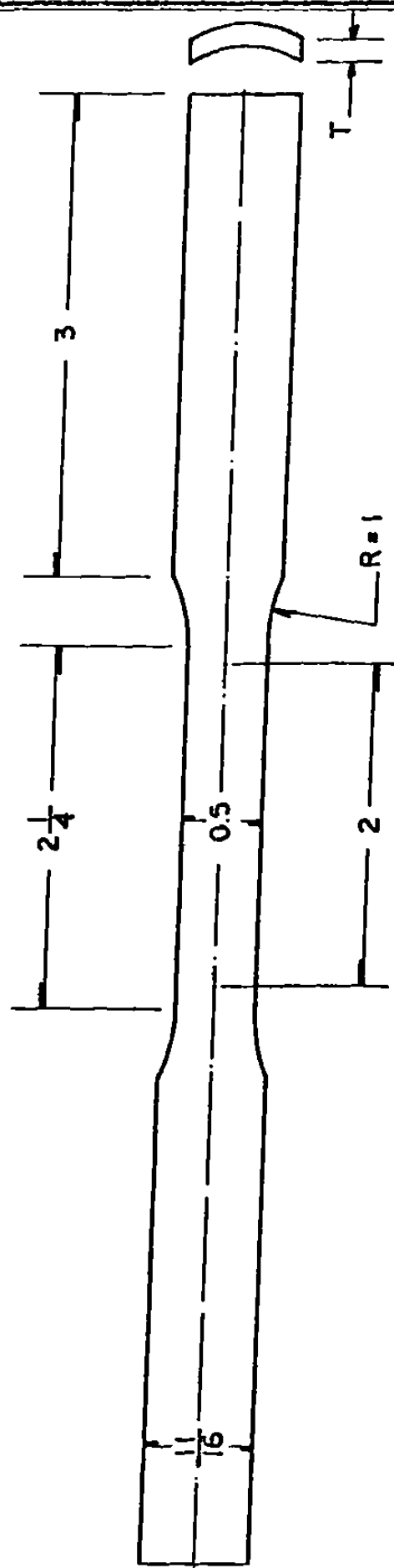
ENSAYO: TENSION
MATERIAL: METAL

EST: ASTM A-370
COTAS: PULGADAS

EN PROBETAS DE SECCION CIRCULAR.

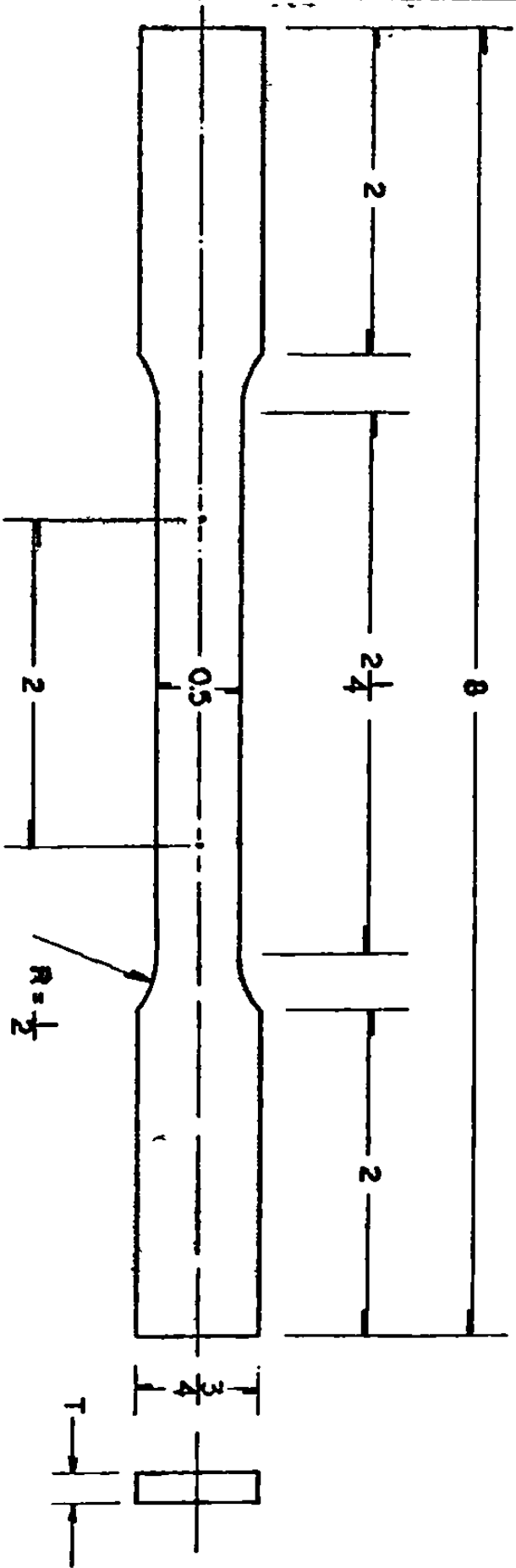
ESCALA: 1=2





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

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



EN PROBETAS PLANAS CORTAS.

JUAN L
FIME

LAB. DE MEC. DE LOS MTL.

ENSAYO: TENSION

MATERIAL: METAL

EST: ASTM A-370

COTAS: PULGADAS