

7-UES
1503
C1982
2000
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA PRUEBAS
DE TENSIÓN Y COMPRESIÓN EN MATERIALES”**

**PRESENTADO POR:
JOSÉ AMILCAR CAMPOS RAMOS
MAURICIO IVAN CHAVEZ FUENTES
CARLOS MANUEL MUÑOZ NAJARRO**

**PARA OPTAR AL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

15100778

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DEL 2000.



4839

Mayo 29 del 2000

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA :
DRA. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL:
LICDA. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

SECRETARIO :
ING. SAUL ALFONSO GRANADOS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :
ING. JOSÉ FRANCISCO ZULETA MORATAYA



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de graduación previo a la opción de:
INGENIERO MECÁNICO**

Título :
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA PRUEBAS
DE TENSIÓN Y COMPRESIÓN EN MATERIALES**

Presentado por:
**JOSÉ AMILCAR CAMPOS RAMOS
MAURICIO IVAN CHAVEZ FUENTES
CARLOS MANUEL MUÑOZ NAJARRO**


Trabajo de graduación aprobado por:

Coordinador :
ING. JOSÉ FRANCISCO ZULETA MORATAYA

Asesor :
ING. SATURNINO GÁMEZ GUADRÓN

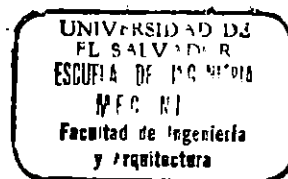
San Salvador, Mayo del 2000

Trabajo de graduación aprobado por:



Coordinador :

ING. JOSE FRANCISCO ZULETA MORATAYA



Asesor



ING. SATURNINO GÁMEZ GUADRÓN

INTRODUCCIÓN	i
OBJETIVOS	1
1.0. ENSAYOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN ESTÁTICA	2
1.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN ESTÁTICA	2
1.1.1 ESFUERZO NOMINAL.....	2
1.1.2. DEFORMACIÓN UNITARIA.....	3
1.2. DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN	5
1.2.1. MATERIALES DÚCTILES.....	5
1.2.2. MATERIALES FRÁGILES.....	9
1.3. DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN VERDADEROS	9
1.4. OTRAS PROPIEDADES DETERMINADAS POR MEDIO DE ENSAYOS	12
1.5 PROPIEDADES DETERMINADAS EN LA PRUEBA DE COMPRESIÓN	16
1.6: INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD	19
1.7. MEDICIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES	21
1.7.1. MEDICIÓN DE LAS CARGAS.....	23
1.7.2. MEDICIÓN DE LAS DEFORMACIONES.....	23
1.8. ASPECTO DE LA FRACTURA	33
1.8.1. EL TIPO DE FRACTURA POR TRACCIÓN INDICADA.....	34
1.8.1.1.MATERIALES DÚCTILES.....	34
1.8.1.2 MATERIALES FRÁGILES.....	36
1.8.2. FRACTURA POR COMPRESIÓN.....	39
2. 0. PROBETAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN ESTÁTICA	40
2.1. PROBETAS PARA ENSAYOS DE TRACCION	40
2.2. PROBETAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL CIRCULAR	42
2.2.1. DIMENSIONES DE LA PROBETA DE SECCIÓN TRANSVERSAL CIRCULAR.....	44
2.2.2. PROBETAS PARA MATERIALES FRÁGILES.....	44
2.3. OTROS TIPOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE PROBETAS	46
2.3.1. MUESTRAS DE TIPO PLACA O TIPO LÁMINA.....	46
2.3.2. MUESTRAS PARA BARRAS RECTANGULARES.....	47
2.4. CALIBRACIÓN DE LA LONGITUD DE PRUEBA EN LAS MUESTRAS	48
2.5. EXTREMOS DE LAS PROBETAS PARA TENSIÓN	48

2.6. DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN DE LA PROBETA.	49
2.7. DETERMINACIÓN DE LA ELONGACIÓN DE LA PROBETA.	52
2.8. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN	52
2.8.1. PROBETAS ESTÁNDAR METÁLICAS PARA COMPRESIÓN.....	53
2.8.2. PROBETAS CERÁMICAS ESTÁNDARES PARA COMPRESIÓN.....	54
2.9 ERRORES COMUNES EN LAS PROBETAS	56
3.0. MÁQUINAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.	57
3.1. GENERALIDADES.	57
3.2. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA LAS MÁQUINAS DE ENSAYO DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN ESTÁTICA.	58
3.3. MÁQUINAS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO.	60
3.4. MÁQUINAS DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO.	62
3.5. COMPARACIÓN ENTRE MÁQUINAS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO.	63
3.6. VELOCIDAD EN LAS MÁQUINAS DE ENSAYO.	64
3.6.1. VELOCIDAD DE LA MÁQUINA EN LA PRUEBA DE TENSIÓN.....	65
3.6.2. VELOCIDAD DE LA MÁQUINA EN LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	67
3.7. ALGUNAS MÁQUINAS DE ENSAYO EN EL PAÍS.	69
3.8. PROBLEMAS COMUNES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA	70
4.0. DISEÑO DE LA MÁQUINA	72
4.1. MODELO A DISEÑAR	72
4.2. DISEÑO DE PROBETAS.	74
4.2.1. SELECCIÓN DE LA PROBETA	75
4.2.1.1. PRUEBA DE TENSIÓN.....	75
4.2.1.2. PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	76
4.3. CARGA DE DISEÑO.	78
4.3.1. CARGA REAL EN LA PRUEBA DE TENSIÓN.....	78
4.3.2. CARGA REAL EN LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	79
4.4. EQUIPO PARA LA APLICACIÓN DE LA CARGA.	80
4.5. SELECCIÓN DEL EQUIPO.	81
4.5.1. CILINDRO HIDRÁULICO.....	81
4.5.2. BOMBA HIDRÁULICA.....	83
4.5.3. MANÓMETRO HIDRÁULICO.....	86

4.5.4. ADAPTADOR DE MANÓMETRO.....	88
4.6.DISEÑO DE ELEMENTOS COMPONENTES DE LA MÁQUINA	89
4.6.1. DISEÑO DE BARRAS DE ACOPLA DE SOPORTES.....	89
4.6.1.2. ANÁLISIS ESTÁTICO.....	90
4.6.1.3. SELECCIÓN DE LA ROSCA.....	93
4.6.1.4. CARGA DE APRIETE DE LA ROSCA.....	94
4.6.1.5. CARGA MÁXIMA QUE SOPORTA LA ROSCA.....	95
4.6.1.6. MOMENTO DE TORSIÓN DE APRIETE.....	98
4.6.2. DISEÑO DE BARRAS DESLIZANTES.....	99
4.6.2.1. ANÁLISIS POR COMPRESIÓN ESTÁTICA.....	100
4.6.2.2. ANÁLISIS POR PANDEO.....	101
4.6.2.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE ROSCA (TORNILLO Y TUERCA).....	104
4.6.2.4. PRE-CARGA DE LOS TORNILLOS.....	105
4.6.2.5. MOMENTO DE TORSIÓN DE APRIETE.....	106
4.6.3. DISEÑO DE LOS PORTAMORDAZAS.....	107
4.6.3.1. PORTAMORDAZA SUPERIOR.....	108
4.6.3.2. PORTAMORDAZA INFERIOR.....	110
4.6.4. DISEÑO DEL SUJETADOR DEL PORTAMORDAZAS INFERIOR.....	112
4.6.4.1. DISEÑO DE TORNILLO DEL SUJETADOR DEL PORTAMORDAZAS INFERIOR.....	114
4.6.4.2. PRECARGA DE CADA TORNILLO (F_i).....	115
4.6.4.3. CARGA QUE SOPORTA LA ROSCA (P).....	115
4.6.4.4. MOMENTO DE TORSIÓN DE APRIETE.....	117
4.6.5. DISEÑO DE MORDAZAS PARA PRUEBAS DE TENSIÓN	118
4.6.6. DISEÑO DE APOYOS PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.....	121
4.6.6.1. APOYO SUPERIOR.....	121
4.6.6.2. SUJETADOR DEL APOYO SUPERIOR.....	123
4.6.6.2.1. TORNILLOS PARA EL SUJETADOR DEL APOYO SUPERIOR.....	123
4.6.6.3. APOYO INFERIOR.....	125
4.6.7. DISEÑO DE PLACAS FIJAS.....	127
4.6.8. DISEÑO DE LAS PLACAS MÓVILES.....	130
4.6.8.1. PLACA MÓVIL SUPERIOR.....	130
4.6.8.2. PLACA MÓVIL INFERIOR.....	134
5.0. MANUAL DE OPERACIÓN.....	136

6.0. MANUAL DE MANTENIMIENTO	143
7.0. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN	152
GUIA DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE TENSION	162
GUIA DE LABORATORIO PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN	169
REFERENCIAS DE LA BIBLIOGRAFÍA	175
ANEXOS.....	178

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el ingeniero involucrado en el diseño y construcción de componentes, cuenta con una diversidad de materiales para seleccionar. Debido a que es necesario conocer algunas de las propiedades en materiales desconocidos y verificarlas en materiales conocidos; por lo tal, es de importancia efectuar ensayos de tensión y compresión en materiales. Este libro describe los pasos a seguir para el diseño y construcción de una máquina para pruebas de tensión y compresión. A continuación se describe brevemente el contenido de cada parte del libro.

El primer capítulo contiene la teoría y los conceptos básicos necesarios sobre ensayos de tensión y compresión en materiales. En el segundo capítulo se describen los diferentes tipos de probetas utilizadas en ensayos de tensión y compresión en materiales, y las diferentes dimensiones de las probetas recomendadas por las normas. Durante el desarrollo del tercer capítulo se describen los tipos de máquinas más utilizadas en ensayos de tensión y compresión, así como los requerimientos que éstas deben cumplir según las normas. En el cuarto capítulo se efectúa los análisis de diseño de cada una de las partes componentes de la máquina, incluyendo la selección del equipo hidráulico.

Al final se incluye los manuales de operación, mantenimiento y construcción, y guías de laboratorio para los ensayos. Además se presentan los resultados de los ensayos efectuados durante las pruebas de la máquina.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ◆ Diseñar y construir una máquina para efectuar pruebas de tensión y compresión en materiales de uso frecuente en el país, además que su construcción sea factible, accesible y que opere bajo condiciones seguras para obtener resultados confiables.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Impulsar la investigación experimental en las áreas de diseño y análisis de elementos de máquinas, materiales y procesos de fabricación.
- Ampliar los recursos materiales del laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador.
- La elaboración de manuales de construcción, operación y mantenimiento de la máquina, así como también guía de laboratorio y caracterización de la misma.
- Facilitar la realización de ensayos de tensión y compresión de materiales de uso frecuente en ingeniería a instituciones educativas y empresas particulares en general.

1.0 ENSAYOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN ESTÁTICA.

1.1. ENSAYOS DE TRACCIÓN ESTÁTICA.

Para comparar la resistencia de diversos materiales es necesario realizar algunas pruebas estándar que nos permita establecer sus propiedades. Pruebas de este tipo son la estándar de tensión y compresión en las cuales una probeta de sección transversal uniforme se somete a una carga de tensión o compresión respectivamente, que se incrementa gradualmente hasta que ocurre la falla. Durante la operación de carga se miden los cambios en la longitud calibrada con un dispositivo de medición. Con los datos obtenidos se puede generar una gráfica de carga contra extensión o bien esfuerzo contra deformación unitaria, dependiendo del material ensayado la gráfica puede variar, pero generalmente son muy semejantes unas con otras.

La probeta a la que se realiza la prueba puede tener varias formas geométricas (cilíndrica, rectangular, etc.), el requisito principal es que la sección transversal se debe conocer con toda precisión y además ser uniforme con respecto a su eje longitudinal.

Cuando se aplica una fuerza a un material éste se deforma; cuando la probeta es estirada, la carga es de tensión y si la probeta es comprimida por la carga es de aplastamiento.

1.1.1 ESFUERZO NOMINAL.

En cualquier mecanismo o estructura de ingeniería, los componentes individuales estarán sometidas a las fuerzas externas que surgen de las circunstancias del servicio o medio en el que trabajan dichos componentes. Si el componente o miembro está en equilibrio, la resultante de las fuerzas externas será nula o cero. Pero de cualquier forma, en conjunto estas fuerzas ejercerán una **carga** o efecto en el miembro que tenderán a deformarlo generando fuerzas internas que soporta el material.

Por ejemplo, como se muestra en la figura 1.1, si una barra cilíndrica está sometida a cargas a lo largo de su eje longitudinal y estas tienden a incrementar o disminuir su longitud, se dice que la barra está sometida a tensión o compresión respectivamente.

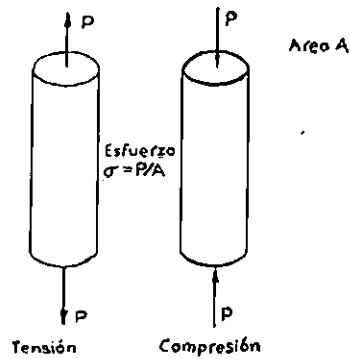


Fig. 1.1 Tipos de esfuerzos directos

$$\text{Esfuerzo} = \sigma = P / A \quad (1)$$

Una aplicación muy usada del concepto de esfuerzo se denomina **esfuerzo nominal** o **esfuerzo técnico**. Esta expresión en particular se usa en muchos cálculos y análisis de diseño y es la siguiente:

$$\sigma = P / A_o \quad (2)$$

La única modificación a la ecuación básica (1) del esfuerzo es A_o , que representa el área original transversal; Por lo tanto, en el esfuerzo de ingeniería se trata al área de la sección transversal como una constante, a pesar de que esto no es exacto por completo. Para deformaciones elásticas en la dirección de las cargas, generalmente son pequeños los cambios correspondientes del área de la sección transversal. Por otra parte, la mayoría de los diseños y de las estructuras se basan en condiciones de servicio en el rango elástico por lo que el esfuerzo de ingeniería es un parámetro muy útil.

1.1.2. DEFORMACIÓN UNITARIA.

La deformación unitaria está asociada con el cambio de longitud que experimenta un cuerpo o material al aplicarle una fuerza en forma axial (tensión o compresión). Por ejemplo, una barra de longitud (L_o), como la que se muestra en la figura 1.2.

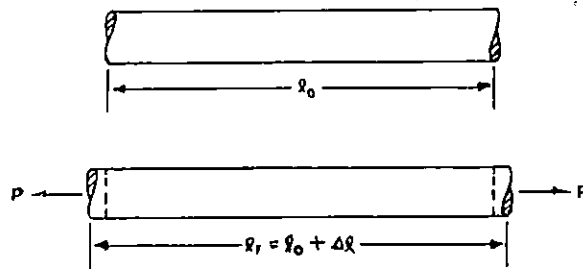


Fig. 1.2. Deformación (alargamiento de una barra redonda producida por una carga axial).

Bajo la acción de una carga aplicada P , esta barra experimenta una deformación y se alarga hasta una longitud nueva L_f .

La relación de este cambio de longitud ΔL con respecto a la longitud original L_0 , es la deformación unitaria ε y se puede expresar como sigue:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 = (L_f - L_0) / L_0 \quad (3)$$

Esta cantidad se conoce como deformación unitaria lineal o deformación técnica unitaria, debido a que solo se toma en cuenta el cambio dimensional en la dirección axial. En las pruebas de tensión estática la probeta se marca para obtener mediciones de las deformaciones producidas por la carga, con ayuda de éstas marcas se calcula la deformación unitaria. En realidad, el diámetro de la barra se reduce pudiéndose formar estricción o no, puesto que su volumen permanece constante cuando la deformación es plástica, lo que provoca una disminución del área de la sección transversal; aunque para deformaciones pequeñas, este fenómeno es por lo regular insignificante. Las unidades de la deformación técnica son la relación de longitudes (in/in, mm/mm); sin embargo, también se puede tratar como adimensional, ya que estas unidades se cancelan.

1.2. DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN.

Es un gráfico que proporciona la relación entre el esfuerzo σ y la deformación ϵ (unitarios); las ordenadas corresponden al esfuerzo y las abscisas a la deformación. La forma de la gráfica obtenida variará de acuerdo con el material, y la curva para la compresión será similar a la de tensión. Para algunos materiales como hierro fundido, concreto y madera de construcción, ninguna parte de la curva es una línea recta.

1.2.1. MATERIALES DÚCTILES.

La ductilidad mide el grado de deformación plástica que un material soporta sin romperse. También se puede considerar como el estado de la materia en que pueden ocurrir esfuerzos o deformaciones permanentes hasta que se produzca la ruptura o fractura. Los materiales dúctiles tienen la característica de presentar una alta deformación antes de fallar.

La ductilidad es una propiedad muy importante que debe tomarse en cuenta en el diseño de elementos mecánicos. El diseñador de un componente preferirá un material dúctil en lugar de un frágil, de manera que si el esfuerzo aplicado sobrepasa la resistencia del material, el componente se deformará plásticamente antes de romperse. Un fabricante deseará un material dúctil de manera que pueda producir piezas de forma complicada sin que el material se rompa durante el proceso.

Existen dos formas para describir la ductilidad; primero, se podría medir la distancia entre las marcas hechas en la probeta antes y después del ensayo. El porcentaje de alargamiento o elongación expresa la distancia que se estira una probeta antes de la ruptura, se determina así:

$$\% \text{ Elongación} = (L_f - L_o) * 100 / L_o. \quad (4)$$

Donde:

L_f : distancia entre las marcas después de romperse la probeta.

L_o : distancia entre las marcas de la probeta antes de la prueba.

El segundo método para medir la ductilidad consiste en determinar el cambio porcentual del área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después de la prueba. El porcentaje de adelgazamiento o reducción de área describe la disminución del área transversal que experimenta la probeta durante la prueba de ruptura, se determina así:

$$\% \text{Reducción de área} = (A_o - A_f) * 100 / A_o. \quad (5)$$

Donde:

A_o : es el área transversal original de la probeta.

A_f : es el área transversal final en la fractura (menor que la original).

La figura 1.3, muestra el diagrama esfuerzo – deformación clásico para materiales dúctiles.

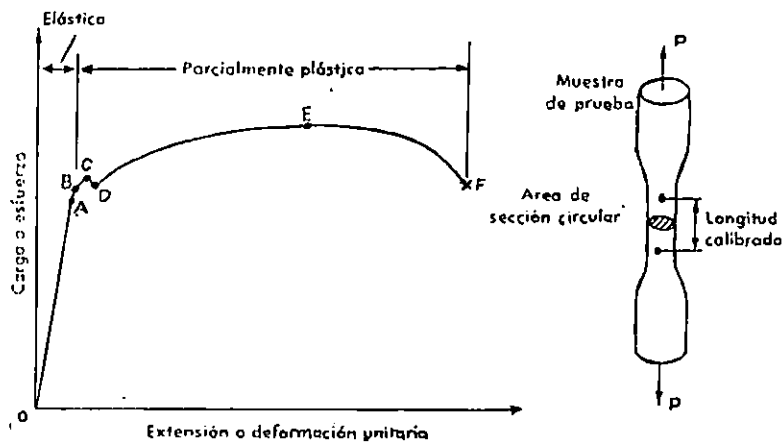


Fig. 1.3. Curva típica de la probeta hecha de acero dulce.

Ley de Hooke: Establece que el esfuerzo a que es sometido un material es directamente proporcional a la deformación unitaria:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$


Donde E: Es el módulo de elasticidad.

ϵ : Es la deformación unitaria.

□ **Análisis de la figura 1.3.**

- En el tramo de cero hasta A se observa que la gráfica presenta una línea recta, esto significa que se satisface **la ley de Hooke**, ya que el material se comporta elásticamente y el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria.
- El esfuerzo correspondiente al punto A, se le conoce como **límite de proporcionalidad**, ya que después de este punto la gráfica ya no es una línea recta.
- El tramo de A hasta B, en este se pierde la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria y no se cumple la ley de Hooke, pero el material no ha sufrido deformación plástica aún.
- El esfuerzo correspondiente al punto B, se conoce como **límite de elasticidad**. Si en este punto se retira la carga, el material recuperará su forma original sin que se produzcan deformaciones permanentes.
- El esfuerzo correspondiente al punto D, se conoce como **límite inferior de fluencia**. De este punto en adelante se presentan incrementos relativamente rápidos en la deformación sin incrementos considerables de la carga o del esfuerzo. De este modo, la gráfica resulta mucho más extendida y abarca una porción mucho mayor del eje de deformación que el rango elástico del material, aquí tiene que ver mucho la ductilidad del material.
- Entre el punto D y E el material estará en un estado elástico-plástico donde algunas de sus características permanecen elásticas, por lo que contribuyen a la recuperación de las dimensiones originales si se suprime la carga mientras que el material restante permanece en estado plástico.
- Del punto E en adelante, el área de la sección transversal de la barra comienza a reducirse rápidamente en una longitud relativamente pequeña y se dice que la barra o probeta comienza a formar "cuello" o a estrangularse. Esta estrangulación se realiza

mientras se reduce la carga; por último ocurrirá la ruptura en el punto F.

 **Relación de poisson:** Cuando una barra prismática se carga a tensión, el alargamiento axial va acompañado de una contracción lateral (perpendicular a la dirección de la carga aplicada). Esta contracción lateral se aprecia fácilmente en una banda o liga de goma al ser estirada, pero en los metales las variaciones en las dimensiones laterales suelen ser muy pequeñas para apreciarse. No obstante, se pueden detectar fácilmente con aparatos de medición.

La deformación (unitaria) lateral es proporcional a la deformación axial en el rango elástico lineal, siempre y cuando el material sea homogéneo e isótropo. Sin embargo, estas propiedades no necesariamente serán las mismas en todas las direcciones solamente porque el material sea homogéneo. Por ejemplo el módulo de elasticidad en materiales dúctiles podría ser diferente en la dirección axial con respecto a la transversal. Los materiales isotropos tienen las mismas propiedades elásticas en todas las direcciones. En consecuencia un material deberá ser homogéneo e isótropo para que las deformaciones laterales y axiales sean las mismas en cualquier punto.

El cociente de la deformación en la dirección lateral y la deformación axial se conoce como *relación de poisson* y se denota por la letra griega ν (nú); entonces:

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

Para una barra a tensión, la deformación lateral representa una reducción en la anchura (deformación negativa) y la deformación axial presenta un aumento en su longitud (deformación positiva). Para la compresión ocurre el caso contrario, la barra se acorta (deformación axial negativa) y se ensancha (deformación lateral positiva). Por lo tanto, la relación de poisson tiene valores positivos.

1.2.2. MATERIALES FRÁGILES.

Los materiales frágiles son aquellos que presentan una alta resistencia, baja ductilidad y baja tenacidad.

Un material frágil es el que presenta alargamientos relativamente pequeños al ser sometido a un tipo de fuerza (comúnmente de tensión o compresión).

La figura 1.4, muestra el gráfico esfuerzo – deformación unitaria típico de los materiales frágiles.

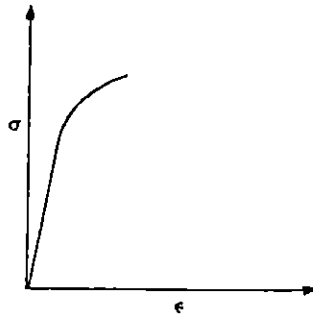


Fig. 1.4. Curva típica de la prueba de tensión hecha a un material frágil

Al observar la figura 1.4 se puede determinar que la zona parcialmente plástica de la gráfica de la prueba de tensión se reduce bastante.

Los materiales frágiles presentan poca o ninguna estrangulación cuando se someten a una prueba de tracción.

1.3. DIAGRAMA ESFUERZO–DEFORMACIÓN VERDADEROS.

La prueba convencional de tensión descrita, 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 en esa intensidad de carga.

La deformación real se determina al dividir el cambio en longitud entre la longitud inmediatamente presente.

El diagrama esfuerzo-deformación verdadero para los materiales frágiles se asemeja mucho al diagrama esfuerzo-deformación técnico ya que el área transversal de éstos no presenta mayor variación antes y después de la falla debido a la deformación mínima en comparación con un material dúctil. El diagrama esfuerzo-deformación verdadero para los materiales dúctiles presenta una diferencia considerable al ser comparado con el ordinario. La figura 1.5, muestra una comparación entre las curvas de esfuerzo-deformación ordinario y real para materiales dúctiles.

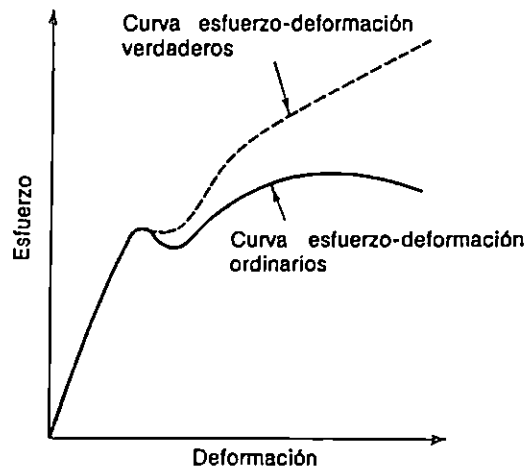


Fig. 1.5. Gráfica esfuerzo-deformación verdaderos y esfuerzo-deformación convencionales para un acero dúctil.

Recordemos que el esfuerzo graficado en las figuras 1.3 y 1.4, se obtuvo dividiendo la carga P por el área original de la sección (A_0) medida antes que la deformación ocurriera. Como dicha área se reduce al crecer P , el esfuerzo graficado en los diagramas no representa el esfuerzo real en la probeta. La diferencia entre el esfuerzo nominal $\sigma = P / A_0$, que se ha calculado y el esfuerzo verdadero $\sigma_v = P / A$, obtenido dividiendo P por el área A de la probeta deformada es considerable en materiales dúctiles, después de iniciada la fluencia. Mientras que el esfuerzo nominal σ , que es directamente proporcional a P , decrece con P durante la fase de adelgazamiento, el esfuerzo verdadero σ_v , que es proporcional a P pero también inversamente proporcional a A , se mantiene creciendo

hasta la ruptura. Muchos científicos usan una definición de deformación diferente de la deformación técnica unitaria

$$\varepsilon = \delta / L_0$$

Donde: $\delta = \Delta L = L_f - L_0$.

Si en lugar de usar la deformación total δ y el valor original L_0 , se usan todos los valores sucesivos de L que se han registrado. Dividiendo cada incremento ΔL de la distancia entre las marcas (donde $\Delta L \rightarrow 0$) por el valor correspondiente de L instantánea, obtienen la deformación elemental $\Delta \varepsilon = \Delta L / L$. Sumando los valores sucesivos de $\Delta \varepsilon$ se obtiene la deformación verdadera ε_v .

$$\varepsilon_v = \sum \Delta \varepsilon_i = \sum (\Delta L_i / L)$$

Haciendo $\varepsilon_v \rightarrow 0$ para reemplazar la suma por una integral, puede expresarse la deformación verdadera como:

$$\varepsilon_v = \int_{L_0}^L dL/L = \ln(L/L_0)$$

Graficando el esfuerzo verdadero σ_v contra deformación verdadera ε_v se obtiene la gráfica antes presentada en la figura 1.5, la cual refleja el comportamiento del material de una forma más precisa. Como se ha notado, no hay disminución del esfuerzo verdadero durante la estricción. También los resultados obtenidos de las pruebas de tensión o compresión producirán esencialmente gráficas similares cuando se usan valores de esfuerzos y deformaciones verdaderas. No sucede lo mismo cuando los esfuerzos ingenieriles se grafican contra las deformaciones ingenieriles y se presentan deformaciones grandes. Sin embargo, los ingenieros, cuya responsabilidad es determinar si una carga P producirá un esfuerzo aceptable y una deformación proporcional en cierto elemento querrá usar un diagrama basado en esfuerzos ingenieriles $\sigma = P / A_0$, y de deformación ingenieriles $\varepsilon = \delta / L_0$, ya que estas expresiones contienen datos disponibles para ellos, como el área de la sección transversal A_0 y la longitud L_0 del elemento no deformado.

1.4. OTRAS PROPIEDADES DETERMINADAS POR MEDIO DE ENSAYOS.

La resistencia de un material se puede expresar en función de la energía mecánica que puede absorber antes de la ruptura, a esto se le llama "tenacidad". Se puede demostrar que el área bajo la curva esfuerzo-deformación unitaria para un material representa la energía de deformación absorbida por unidad de volumen del material antes de la ruptura. El área bajo la curva completa esfuerzo-deformación unitaria se llama "modulo de tenacidad". La figura 1.6, ilustra "el modulo de tenacidad" para materiales frágiles y para materiales dúctiles.

En la figura se observa que los materiales frágiles, aún los de resistencia final más alta generalmente absorben mucho menos energía de las cargas que los materiales dúctiles. El término "resiliencia" también se utiliza en relación con la resistencia a las cargas. La resiliencia se refiere a la capacidad de un material para absorber energía sin sufrir deformación plástica. El área bajo la parte elástica de la curva esfuerzo-deformación unitaria representa la energía de deformación por unidad de volumen que puede absorber un material sin sufrir deformación permanente. Esta área se denomina "modulo de resiliencia".

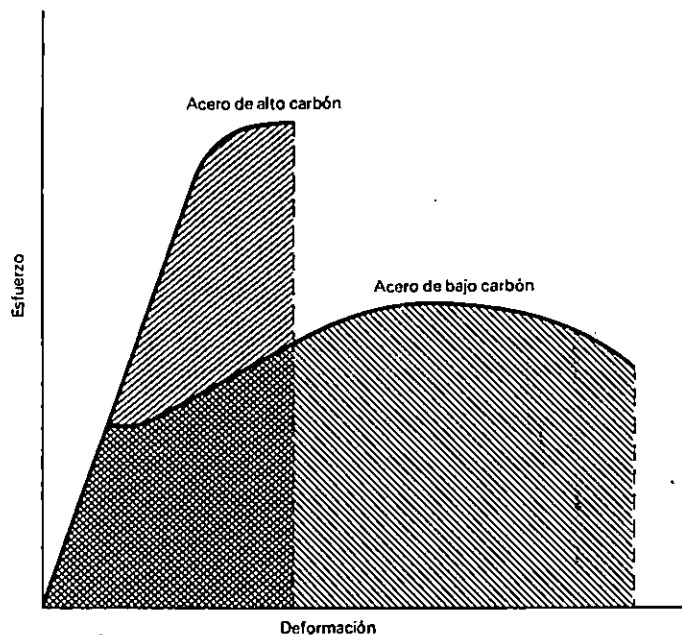


Fig.1.6. Modulo de tenacidad, (a) Materiales frágiles, (b) Materiales dúctiles.

Otro aspecto del comportamiento de los materiales, es el que ocurre bajo cargas prolongadas. Bajo cargas prolongadas a determinadas temperaturas, los materiales pueden exhibir un comportamiento llamado "termofluencia" o "flujo". El flujo consiste en un aumento de la deformación plástica a medida que transcurre el tiempo, mientras el esfuerzo permanece con un valor constante. El flujo puede conducir a deformaciones plásticas apreciables y finalmente a la ruptura. La rapidez del flujo generalmente aumenta con el nivel del esfuerzo y con la temperatura, pero el tiempo para llegar a la ruptura por flujo varía para los diferentes materiales según el nivel de esfuerzo y temperatura.

Otras propiedades que se pueden determinar con la prueba de tensión son:

- **LIMITE 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 figura 1.7 y 1.8. 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".

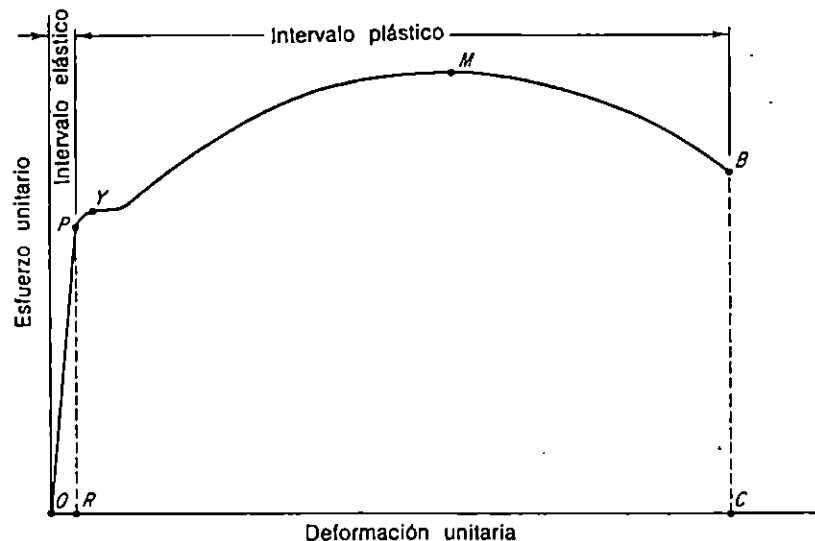


Fig.1.7. Gráfica esfuerzo-deformación para acero dúctil.

- MODULO DE ELASTICIDAD, MODULO ELASTICO O DE YOUNG:** En tensión o compresión es la razón o tasa de cambio del esfuerzo respecto a la deformación, para la condición de esfuerzo uniaxial por debajo del límite de proporcionalidad. Para todos los materiales, el módulo de elasticidad es igual para la tensión y la compresión. En la gráfica 1.7, se puede observar la línea recta desde 0 a P, el valor de la pendiente de esta línea es el módulo de elasticidad.

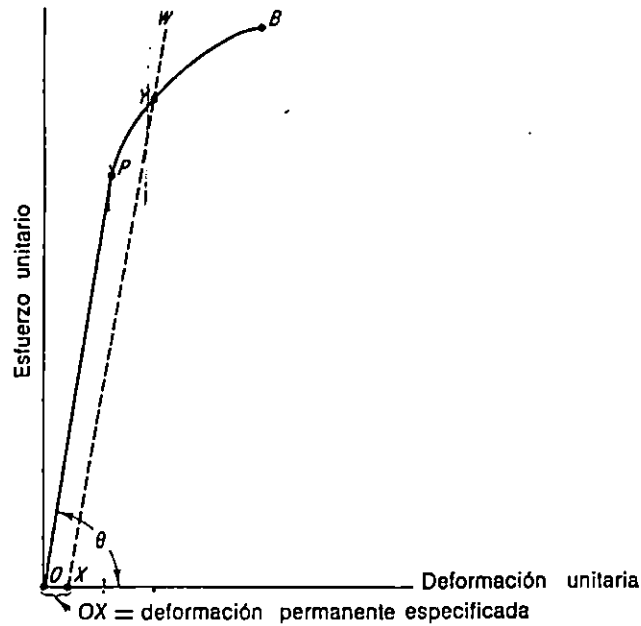


Fig.1.8 Gráfica Esfuerzo-deformación para material Frágil.

- LIMITE ELASTICO O LIMITE DE ELASTICIDAD:** Si la carga se aumenta continuamente se libera después de cada incremento y se revisa el extensómetro, entonces, eventualmente se alcanzará un punto en que la aguja no regresará a cero. Esto indica que ahora el material tiene una deformación permanente; por lo tanto, el límite elástico puede definirse como el esfuerzo mínimo al que ocurre la primera deformación permanente. Para la mayoría de los materiales, el límite elástico tiene casi el mismo valor numérico que el límite de proporcionalidad. En la figura 1.7 se puede observar que el límite elástico se encuentra en el punto P.

- RESISTENCIA DE CENDENCIA O FLUENCIA:** Es el esfuerzo al cual un material presenta una deformación o un estado de deformación específico permanente. Es una medida de la resistencia a ceder o fluir de los materiales, en particular de aquellos cuya gráfica esfuerzo-deformación en la región de fluencia es alisada y gradualmente curva. En la figura 1.7, se puede observar la resistencia de fluencia en el punto Y.

La mayoría de los materiales no ferrosos y los aceros de alta resistencia no tienen un punto de cedencia definido. Por lo general, este valor se determina por el “método de la deformación permanente especificada”. En la figura 1.8, la deformación especificada OX se marca sobre el eje de la deformación. Luego, se traza la línea XW paralela a OP, localizando 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 de cedencia o fluencia. El valor de la deformación permanente especificada está generalmente entre 0.10 y 0.20% de la longitud calibrada.
- RESISTENCIA ULTIMA:** Es el esfuerzo técnico más alto que puede resistir un material en tensión, compresión o corte antes de la ruptura. En la figura 1.7 (ensayo a tensión), se representa con el punto M.

Un material frágil se rompe cuando es llevado hasta la resistencia límite (punto B en figura 1.8), en tanto que el material dúctil continua alargándose.
- RESISTENCIA A LA RUPTURA:** Es el esfuerzo que se produce en el momento en que el material se fractura o se rompe. Se ha observado en pruebas con aceros que es ligeramente menor que la resistencia última, debido a una gran reducción de área antes de la ruptura. La resistencia a la ruptura (punto B, figura 1.7), determinada al dividir la carga de ruptura entre el área transversal original, es siempre menor que la resistencia última. Para un material frágil, la resistencia última y la resistencia de ruptura coinciden.
- DUCTILIDAD:** Es la capacidad de un material para resistir grandes deformaciones permanentes sometidos a una carga axial, por ejemplo como sucede en el estirado

para formar (trefilar) un alambre. Este se determina en una prueba de tensión mediante dos mediciones:

1.5 PROPIEDADES DETERMINADAS EN LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.

Algunos datos obtenidos al realizar la prueba de compresión puede incluir la resistencia a la cedencia, el punto de cedencia, el módulo de elasticidad y para algunos materiales la resistencia a la compresión. En el caso de materiales que fallan en compresión por fractura o desplazamiento, el esfuerzo de compresión tiene un valor definido (materiales frágiles). En el caso de materiales que no presentan fractura o despedazamiento al ser sometidos a la prueba de compresión, el esfuerzo de compresión es arbitrario y depende del grado de distorsión el cual se puede tomar como equivalente de la fractura completa del material (materiales dúctiles).

La resistencia a la compresión de probetas rectangulares puede ser determinada debido a que la rotura ocurre usualmente por pandeo al aplicar un esfuerzo de compresión al material.

A continuación se definen algunos términos usados en la prueba de compresión (debe tenerse en cuenta que algunos términos son usados igualmente para la prueba de tensión):

- Esfuerzo normal de compresión: se dice que un material está sometido a un esfuerzo normal de compresión cuando está sometido a dos fuerzas axiales de empuje.
- Resistencia a la compresión: se refiere al esfuerzo máximo de compresión que un material puede soportar. La resistencia a la compresión es calculada con la fuerza máxima de compresión aplicada en la prueba y el área original de la probeta que se está ensayando, como ya se dijo, los materiales frágiles poseen una resistencia a la compresión conocida, mientras que los dúctiles se determinan dependiendo del grado de distorsión de la probeta.

- Modulo de ruptura: se refiere al valor máximo del esfuerzo en compresión en el cual la probeta se rompe o fractura.

Otros términos usados en la realización de la prueba de compresión ya fueron descritos en la prueba de tensión (se define de igual manera pero aplicados a la prueba de compresión), entre los cuales se pueden mencionar:

- Esfuerzo axial.
- Esfuerzo verdadero.
- Esfuerzo nominal.
- Esfuerzo de fractura.
- Resistencia de fluencia o cedencia (materiales dúctiles)
- Resistencia última (materiales Frágiles)
- Ductilidad.
- Fragilidad.
- Limite elástico.
- Límite plástico.
- Deformación.
- Modulo de elasticidad.
- Limite de proporcionalidad.
- Incremento de área.

En cuanto al diagrama esfuerzo-deformación para la prueba de compresión es similar al presentado en el análisis de materiales sometidos a tensión, es decir, se plotean los valores de esfuerzo contra la deformación correspondiente que éstos provocan. Los valores de esfuerzo usualmente son ploteados en las ordenadas (eje vertical) y los valores de deformación en las abscisas (eje horizontal).

La única diferencia es que se grafican esfuerzos en compresión y deformación de acortamiento de las probetas (ver figura 1.7 y 1.8).

Se ha señalado que, cuando menos en teoría, el ensayo de compresión es meramente lo contrario del de tensión con respecto a la dirección o el sentido del esfuerzo aplicado. Las razones generales para la elección de uno u otro tipo de ensayo se establecieron. Asimismo, un número de principios generales se desarrolló a través de la sección sobre el ensayo de tensión de los cuales son igualmente aplicables al ensayo de compresión. Existen, sin embargo, varias limitaciones especiales del ensayo de compresión a las cuales se debe dirigir la atención:

1. La dificultad de aplicar una carga verdaderamente concéntrica o axial.
2. El carácter relativamente inestable de este tipo de carga en contraste con la carga de tensión. Existe siempre una tendencia al establecimiento de esfuerzos flexionantes y a que el efecto de las irregularidades de alineación accidentales dentro de la probeta se acentúa a medida que la carga prosigue.
3. La fricción entre los puentes de la máquina de ensayo o las placas de apoyo y las superficies de los extremos de la probeta debido a la expansión lateral de ésta. Esto puede alterar considerablemente los resultados que se obtendrían si tal condición de ensayo no estuviera presente.
4. Las áreas seccionales, relativamente grandes de la probeta para ensayo de compresión para obtener un grado apropiado de estabilidad de la pieza. Esto se traduce en la necesidad de una máquina de ensayo de capacidad relativamente grande o probetas tan pequeñas y, por lo tanto, tan cortas que resulta difícil obtener de ellas mediciones de deformación de precisión adecuada.

Se supone que se desean las características simples del material y no la acción de los miembros estructurales como columnas, de modo que la atención se limita aquí al bloque de compresión corto.

1.6. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y VELOCIDAD.

Los diagramas de las figuras 1.3, 1.4 y 1.5, ilustran el comportamiento esfuerzo-deformación unitaria de algunos materiales (dúctiles y frágiles) sometidos a un esfuerzo uniaxial aplicado gradualmente, a la temperatura ambiente. Sin embargo, el comportamiento esfuerzo-deformación unitaria de la mayoría de los materiales cambia con la rapidez de carga y con la temperatura. El comportamiento esfuerzo-deformación de materiales sometidos a cargas prolongadas es diferente al exhibido para cargas graduales. Así mismo, la temperatura afecta el comportamiento esfuerzo-deformación unitaria y las propiedades del material sometido a cargas graduales y a diferente rapidez de carga. Con respecto al efecto de la temperatura sobre las propiedades de un material sometido a carga aplicadas gradualmente, los ensayos realizados a diferentes temperaturas demuestran en general, que el módulo de elasticidad, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo final son afectados por la temperatura. Como ejemplo, la figura 1.9 ilustra la variación con la temperatura del módulo de elasticidad (E) para el acero y el aluminio.

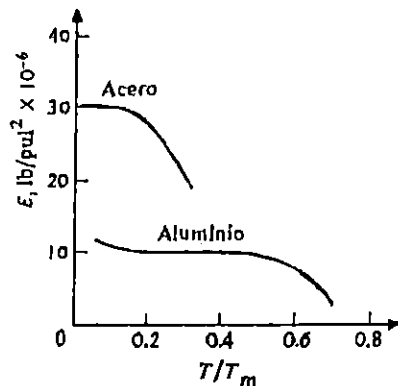


Fig. 1.9. Variación de E con la temperatura para hierro y aluminio. T_m = Temperatura de Fusión.

La curva de la figura 1.9 indica que para estos metales "E" disminuye a altas temperaturas. No obstante, la disminuciones son significativas únicamente a temperatura muy superiores a las temperaturas ambientales máximas. La mayoría de los materiales se reblandecen y tienen valores disminuidos de "E" a temperaturas suficientemente elevadas. Las variaciones de "E" con la temperatura cambian mucho de un material a otro.

La figura 1.10 ilustra la variación del esfuerzo de fluencia con la temperatura para un acero A36.

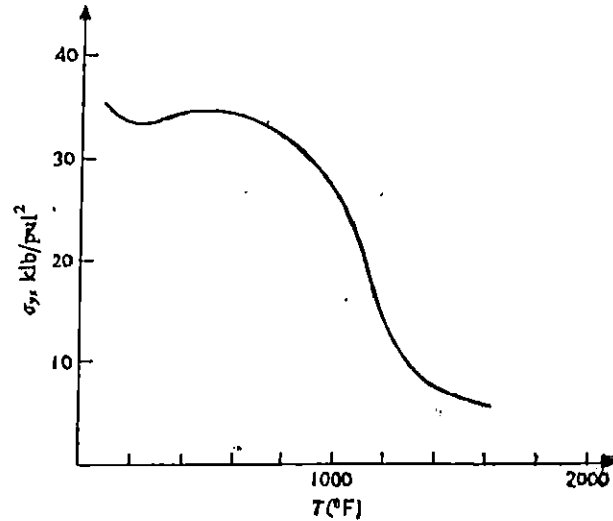


Fig. 1.10. Variación del esfuerzo de fluencia con la temperatura para acero A36

En general, los demás metales (y los no metales) exhiben disminuciones en los esfuerzos de fluencia y final con temperaturas suficientemente elevadas.

En relación con el efecto de la rapidez de la carga bajo una carga rápida se puede presentar un comportamiento dúctil y un aumento de los esfuerzos de fluencia y final, o bien, un comportamiento frágil y una disminución del esfuerzo final. No obstante, por lo general el módulo de elasticidad no se afecta en forma apreciable con la carga rápida. La figura 1.11, ilustra el efecto general de la carga rápida sobre la relación esfuerzo - deformación unitaria para aceros que se comportan en forma dúctil.

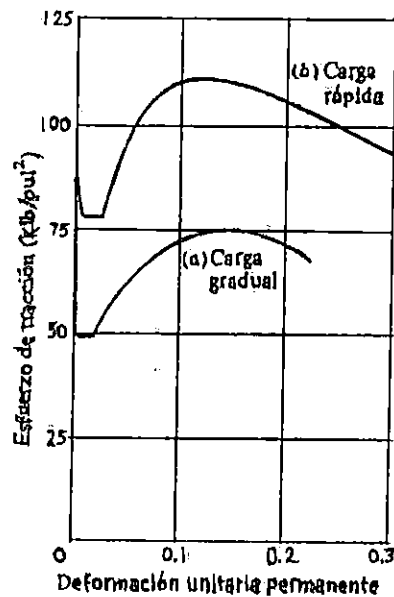


Fig. 1.11. Efecto de la rapidez de carga sobre un diagrama esfuerzo-deformación unitaria para acero estructural dúctil.

La curva "a" representa la deformación unitaria permanente contra el esfuerzo bajo una carga aplicada gradualmente. Mientras que la curva "b" representa la deformación unitaria permanente contra el esfuerzo bajo carga de impacto creciente con un tiempo medio de carga de 400 μ s. El comportamiento de los materiales bajo cargas rápidas aplicadas continuamente es parecido al comportamiento bajo cargas crecientes del tipo de impacto representado por estas curvas.

La figura 1.11, indica que los esfuerzos de fluencia y final para un material pueden ser notablemente más altos bajo una carga rápida. Por otra parte, otros ensayos demuestran que a temperatura baja y/o en presencia de imperfecciones leves en un material, la carga rápida puede producir una fractura frágil con un esfuerzo bajo, precedido por una pequeña o ninguna deformación plástica. Esta misma fractura frágil prematura puede presentarse bajo cargas aplicadas gradualmente en presencia de imperfecciones.

1.7. MEDICIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES.

Aunque la determinación de las medidas cuantitativas de las muchas propiedades de los materiales requiere una gran diversidad de observaciones, las cantidades básicas a medir

en realidad son relativamente pocas; algunas de las más importantes son las longitudes (incluyendo los cambios de longitud), ángulos, volúmenes, fuerzas (incluyendo pesos y presiones), los intervalos de tiempo, las temperaturas, y las corrientes eléctricas, los voltajes y las resistencias.

En el ensayo 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 son usadas 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 la 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. El valor correcto o verdadero se obtiene por medio de algún método de medición más fundamental o por la comparación con las observaciones en aparatos de exactitud conocida.

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. Excepto en instrumentos provistos de una escala vernier, la lectura mínima es aquella fracción de la división más pequeña que pueda convenientemente y confiablemente estimarse; esta fracción es ordinariamente de un quinto o un décimo, excepto cuando las graduaciones llevan un espaciamiento muy estrecho. En los instrumentos con vernier la lectura mínima es la

cuenta más pequeña de éste. Es obvio que la exactitud de un dispositivo medidor está limitada por su sensibilidad y su lectura mínima, aunque un instrumento sensitivo no es necesariamente exacto.

Todas las mediciones están sujetas a la variación accidental, la cual debe controlarse o conocerse si los resultados finales de un ensayo han de ser de precisión conocida.

A continuación se discuten algunos de los instrumentos más comunes para determinar la carga, el largo y la deformación, así como los principios de acuerdo con los cuales operan. La discusión está confinada principalmente al tema de la medición de las propiedades mecánicas, ya que la mayoría de los esfuerzos del laboratorio de ensayo de materiales se concentran en ellas.

1.7.1. MEDICIÓN DE LAS CARGAS.

A continuación se describen algunos de los métodos para medir las cargas en la práctica del ensayo 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 iguales, 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 pasaje 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 en las máquinas de ensayo. 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 figura 1.12a). Otra forma del principio de palanca variable es el péndulo ilustrado en la figura 1.12b.

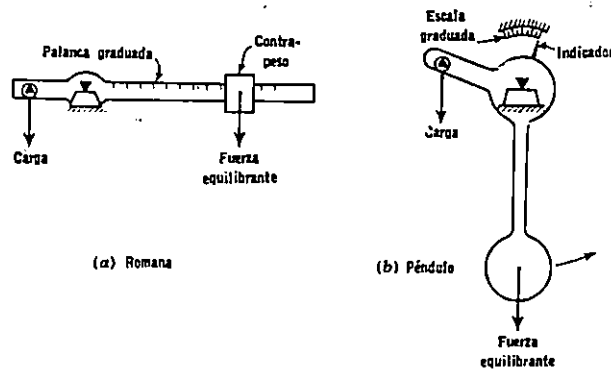


Fig. 1.12. Pesaje con palanca variable.

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.

- *DISPOSITIVOS HIDRAULICOS.*

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 el líquido (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 figura 1.13.

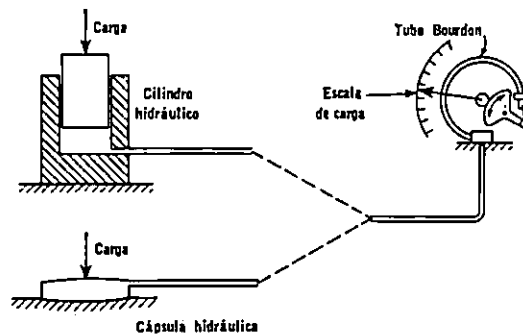


Fig. 1.13. Pesaje por medio de presión hidráulica.

La exactitud del calibrador ordinario de Bourdon puede ser considerablemente afectada por los cambios de temperatura, la histéresis (deformaciones repetidas) y la fricción de sus partes móviles.

La carga a medir, 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 figura 1.13.

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 el sistema de pesaje de cargas: la fuga de líquido en pistones holgadamente ajustados y la variable fricción sobre el pistón cuando 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 se complica la fabricación del aparato.

- *DINAMOMETROS.*

En general, los dinamómetros son 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 estricto 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 ensayo 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. En el otro tipo en lugar de un resorte helicoidal, puede usarse la deflexión clásica de una viga, un marco o un anillo para medir la carga.

1.7.2. MEDICIÓN DE LAS DEFORMACIONES.

□ MEDICION DE LA LONGITUD.

Con pocas excepciones notables, la operación consistente 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 del 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 dispositivos de espejo se muestra en la figura 1.14.

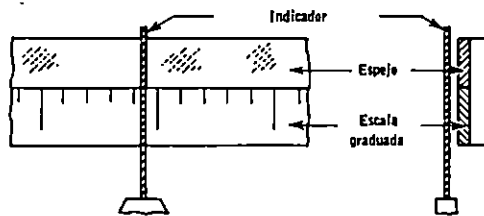


Fig. 1.14. Dispositivos de escala de espejo.

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.

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 1.15.

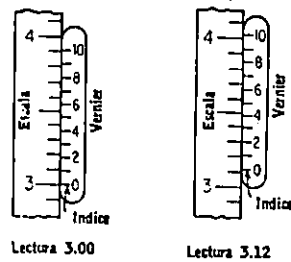


Fig. 1.15. Vernier directo.

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 de la 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 a simple vista es aproximadamente de 0.01 pulgadas. Se recurre entonces a un micrómetro (es decir, un medidor de distancias pequeñas) para realizar mediciones más finas.

□ **MICROMETRO.**

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.

□ **MICROMETRO DE TORNILLO.**

Quizá la forma más simple de micrómetro es de tornillo. Una ilustración común del micrómetro de tornillo se encuentra en el calibrador micrométrico ordinario, mostrado en la figura 1.16.

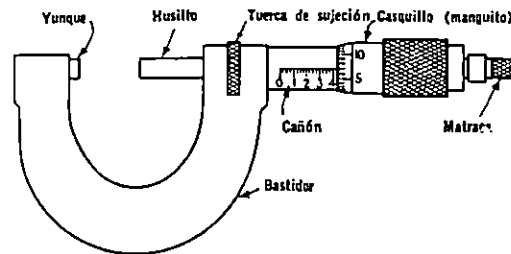


Fig. 1.16. Calibrador micrómetro de tornillo.

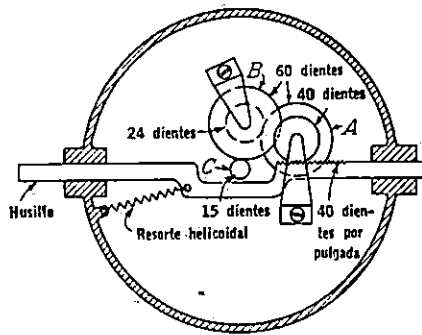
Ahí el tornillo generalmente lleva 40 cuerdas por pulgada (paso de la cuerda = 0.025 pulgada), y el cañón tiene 25 divisiones, de modo que 1/25 de vuelta arroja un movimiento del husillo (y una lectura correspondiente) de 0.001 pulgada. Los micrómetros de tornillo más precisos se hacen graduados hasta 0.0001 pulgadas, para ofrecer una mínima lectura práctica de 0.00001 pulgada, el rango de recorrido del husillo en los calibradores micrómetros es usualmente de no más de 1 pulgada, pero esos dispositivos son adquiribles para medir longitudes de 2 pulgadas o más.

En muchos usos del micrómetro de tornillo, el extremo del husillo o tornillo debe entablar contacto con la pieza con referencia a la cual las mediciones se estén haciendo.

□ MICROMETRO 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 es de la forma de indicador de carátula, el cual utiliza trenes o cadenas de engranes, tal como se muestra en la figura 1.17. Debe advertirse que en este dispositivo la cremallera propulsa un piñón, el cual a su vez acciona un engrane.



Por cada movimiento de una plg del husillo:

A gira una vez

$$B \text{ gira } \frac{60}{24} \text{ de } A$$

$$C \text{ gira } \frac{60}{15} \text{ de } B \text{ o}$$

$$\frac{60}{15} \times \frac{60}{24} = 10A$$

Por eso una revolución de C (unida a la manecilla) = 0.1 plg de movimiento del husillo.

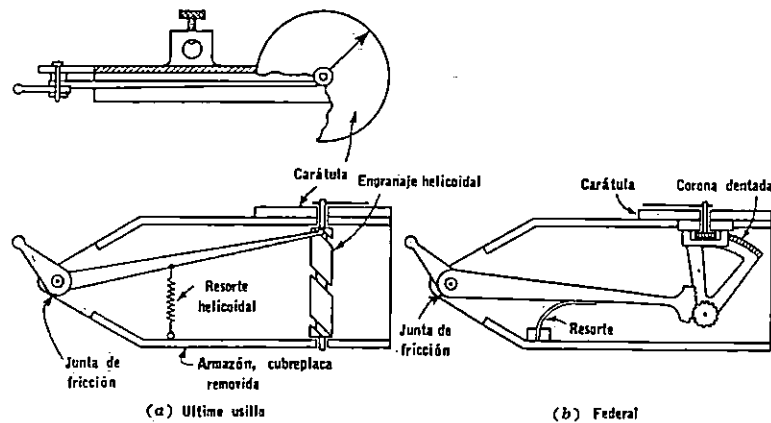
Carátula graduada en 100 partes.

$$\text{División caratular mínima} = 0.1 \div 100 = 0.001 \text{ plg de movimiento del husillo.}$$

Fig. 1.17. Mecanismo típico de indicador de carátula.

En el indicador de carátula ordinario, la división más pequeña de la carátula correspondiente a un movimiento del husillo de 0.001 pulgadas, que arroja una mínima lectura estimada de 0.001 pulgada. Sin embargo, se pueden obtener indicadores graduados a 0.0001 pulgada. 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 pulgada; sin embargo, amplitudes de ½ o hasta 1 pulgada, 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 restricta, sin embargo, o por calibración puede lograrse que arrojen mediciones exactas hasta un valor correspondientes quizás a un quinto de división.

Dos indicadores que usan amplificación a palanca se muestran en la figura 1.18.



(a) Ultimate style

(b) Federal

Fig. 1.18. Indicadores de carátula o palanca.

En uno de ellos (el indicador Starrett Last Word) el movimiento de la palanca es transformado en movimiento rotatorio mediante el uso de una flecha que lleva una ranura helicoidal. En el otro (el indicador Federal), se usa un arreglo de piñones y coronas dentadas. Una división principal de estos indicadores corresponde a 0.001 pulgadas; y arroja una lectura mínima de 0.0001 pulgadas. Poseen una amplitud limitada, usualmente de unas 0.03 pulgadas. Modelos más sensitivos de estos indicadores son adquiribles, los cuales están graduados directamente hasta 0.0001 pulgadas, pero su rango es sólo de 0.016 y 0.008 pulgada respectivamente, para los dos tipos descritos.

□ **DEFORMIMETROS MECANICOS.**

Un deformímetro es cualquier instrumento que mida la deformación.

Para nuestro caso, la deformación de interés es la que presenta carácter lineal, es decir, la muestra de material (probeta) sometida a tensión o compresión.

La mayoría de los instrumentos para medir deformaciones lineales se aplican a la superficie de la pieza de ensayo – deformímetros de superficie. La mayoría de los deformímetros permanecen fijados a la probeta durante el curso de un ensayo, pero ciertos instrumentos portátiles, algunos llamados “calibrados 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”.

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.

□ **EXTENSOMETRO DE COLLARIN DE TIPO DE PROMEDICION.**

Para las mediciones ordinarias de la deformación de probetas axialmente cargadas, quizás el tipo de deformímetro más generalmente útil sea el extensómetro o compresómetro de promediación, mostrado esquemáticamente en la figura 1.19.

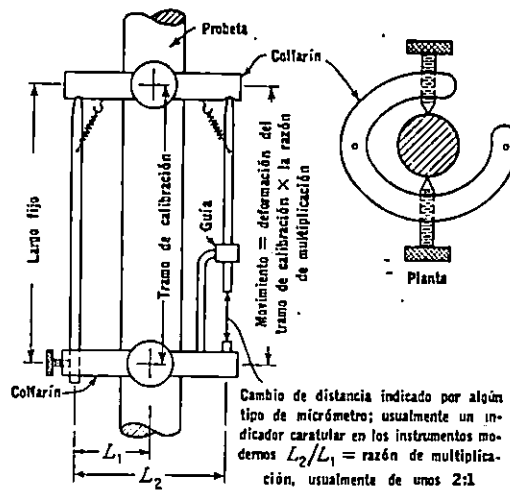


Fig. 1.19. Diagrama esquemático del deformímetro del tipo de "promediación" para medir deformaciones axiales.

Este tipo de instrumento da con mucha exactitud la deformación media en la barra, aun cuando ocurra una flexión ligera. La deformación se amplifica, primeramente (por lo común al doble) por la acción de la palanca de los collarines y luego se mide con algún tipo de micrómetro. En muchos instrumentos de uso actual se utiliza un indicador de carátula. Con un calibrador de 8 pulgadas y el uso de la lectura de un indicador de carátula ordinario hasta 0.0001 pulgada por estimación, este tipo de instrumento es capaz de medir deformaciones hasta aproximadamente 0.000006 pulgadas por pulgada.

Para obtener la deformación promedio en una barra prismática, las deformaciones deben medirse cuando menos sobre dos líneas de calibración, las que deben estar diametralmente opuestas.

□ DEFORMIMETROS ELECTRONICOS

Son muchos los dispositivos electrónicos utilizados para medir deformaciones.

La mayoría de estos instrumentos poseen transductores mediante los cuales una variación

de voltaje o corriente puede ser convertida a un desplazamiento lineal, es decir, una deformación.

Al igual que los instrumentos de medición descritos anteriormente, los medidores electrónicos pueden adaptarse a la probeta a ensayar de muchas formas (dependiendo del fabricante del dispositivo).

La ventaja de estos medidores es la fácil toma de lecturas de las deformaciones generadas ya que la mayoría son digitales.

La desventaja es su alto costo en comparación con otros dispositivos que realizan la misma función.

1.8. ASPECTO DE LA FRACTURA.

Aunque se conozcan las propiedades de los materiales (generalmente proporcionadas por los fabricantes), frecuentemente ocurren fallas. El origen de estas fallas se encuentra en la ineficiente calidad del material, un diseño inadecuado, en una mala selección de materiales, un mal procedimiento o en la aplicación inadecuada. El ingeniero debe anticiparse en el buen diseño, en la selección de los materiales y su procedimiento, en el control de calidad y las pruebas para prevenir fallas.

Cuando ocurren las fallas, el ingeniero debe determinar la causa de modo que las fallas puedan evitarse en lo futuro.

El análisis de la falla requiere de una combinación de conocimientos, técnicas, observaciones meticulosas, labor detectivezca y sentido común. El conocimiento del material usado, el esfuerzo aplicado, el medio ambiente, la temperatura, la estructura, las propiedades y los cambios necesarios en cualquiera de estos factores, sirven para identificar en forma más fácil la causa de la falla.

El conocimiento de los mecanismos de fractura puede también revelar las causas de las fallas.

A continuación se describirán dos de los mecanismos más comunes de factura por los que fallan los metales cuando son sometido a fuerzas, estos son, las fallas dúctiles y frágiles.

1.8.1. EL TIPO DE FRACTURA POR TRACCIÓN INDICADA.

De alguna manera, la calidad del material esta afectado en forma directa en la prueba, la rapidez de la prueba, la forma y el tamaño de la probeta o pieza de prueba y por otras condiciones.

La contracción es máxima en los materiales tenaces y dúctiles, y mínima en los materiales quebradizos. En general, las fracturas son de tipo de "corte" o de "separación" (pérdida de cohesión)

1.8.1.1. MATERIALES DÚCTILES.

La fractura en un material dúctil, ocurre normalmente en forma transgranular (a través de los granos) en los metales que tienen ductilidad y tenacidad satisfactorias. A menudo se observa una buena cantidad de deformación, inclusive con estricción, en la componente que falla (probeta). La deformación ocurre antes de la falla final. Las fracturas en materiales dúctiles se deben normalmente a sobrecarga simple o a la aplicación de un esfuerzo excesivo en el material. Este tipo de fractura en una prueba de tensión simple se inicia con el crecimiento de la nucleación y coalescencia de microhuecos en el centro de la muestra (ver figura 1.20).

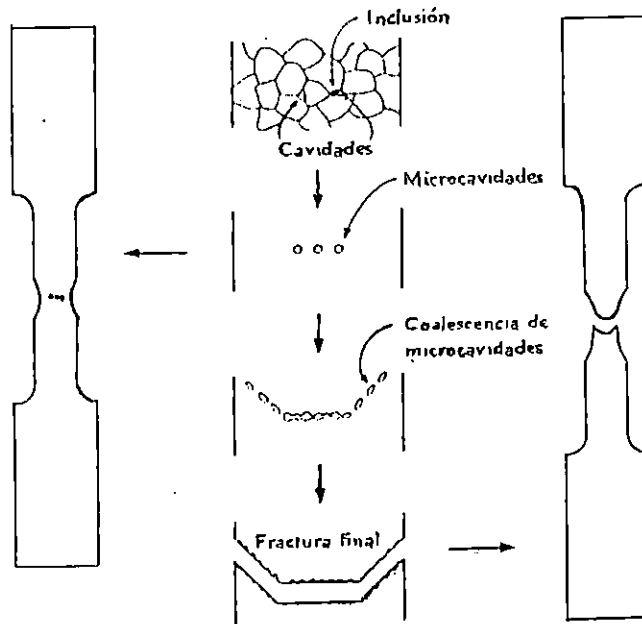


Fig. 1.20. Cuando un material dúctil es sometido a un ensayo de tensión se origina una estricción y se forman microcavidades, iniciándose cerca del centro de la barra por nucleación en los límites de grano o en las inclusiones, conforme la deformación continúa, se pueden formar un borde de 45°, produciéndose una fractura final del tipo copa y cono.

Los microporos se forman cuando un esfuerzo alto provoca la separación del metal en los límites de grano o intersticios entre el metal y las inclusiones. Cuando el esfuerzo local continúa incrementándose, crecen los microporos o microhuecos, se comunican entre sí y producen huecos mayores. Finalmente, el área de contacto metal – metal es demasiado pequeña para soportar la carga y ocurre la fractura final. La deformación por deslizamiento contribuye también a la fractura de un metal dúctil. Se sabe que el deslizamiento ocurre cuando el esfuerzo cortante resultante alcanza el valor del esfuerzo cortante crítico y que los esfuerzos cortantes son mayores a un ángulo de 45° con el esfuerzo de tensión aplicado.

Estos dos aspectos de la fractura dúctil confieren a la superficie de falla cualidades características que sirven para determinar cuando un metal falla por fractura dúctil. En las secciones metálicas gruesas se espera encontrar evidencia de estricción, con una parte

importante de la superficie de la fractura teniendo una cara plana donde nuclean primero los microporos y coalescen, y un pequeño labio de corte donde la superficie de la fractura se encuentra a 45° con respecto al esfuerzo aplicado. El labio de corte, indicando que ocurrió un deslizamiento, confiere a la fractura una apariencia de copa y cono.

Una simple observación macroscópica de una ruptura de un material puede ser suficiente para identificar la falla como fractura dúctil. A veces ocurren las fracturas de doble copa y cono y roseta.

En la figura 1.21, se muestran ilustraciones de un número de fracturas típicas en el ensayo de tensión.

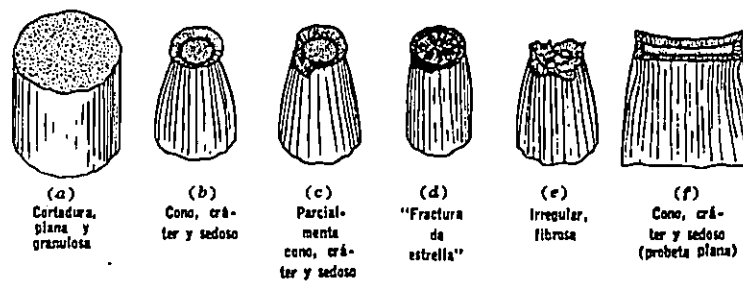


Fig. 1.21. Fracturas típicas por tensión de los metales.

1.8.1.2 MATERIALES FRÁGILES.

La fractura en materiales frágiles, ocurre en los metales de alta resistencia o en los de baja ductilidad y tenacidad. Incluso, los metales fallan de modo frágil a bajas temperaturas, en secciones gruesas, con altas proporciones de deformación (como en un impacto), o cuando las ralladuras desempeñan un papel importante. Las fracturas frágiles se observan con frecuencia cuando la falla es causada por un impacto en lugar de una carga lenta.

En la fractura frágil se presenta poca o ninguna deformación plástica, se inicia con una grieta originada en pequeñas ralladuras que causan una concentración de esfuerzos. La

grieta puede moverse a una velocidad cercana a la del sonido en el metal.

Comúnmente la falla de materiales frágiles ocurre por agrietamiento o clivaje (conjunto de planos cristalográficos sobre los cuales ocurre fácilmente la fractura). En algunos casos, sin embargo, la grieta puede tomar una trayectoria intergranular (a lo largo de los límites de grano), particularmente cuando la segregación o las inclusiones debilitan los límites de grano.

La fractura frágil puede identificarse observando las características de la superficie de falla. Normalmente, la superficie de la fractura es plana y perpendicular al esfuerzo aplicado en una prueba de tensión (figura 1.22).



Fig. 1.22. Fractura de un material frágil.

La figura anterior presenta fractura frágil de una barra de acero 1080 con tratamiento térmico sometida a tensión. Debido a que la microestructura es martensita (frágil y dura) por completo, se obtiene una superficie plana a la fractura.

Si la falla ocurre por clivaje, cada grano fracturado es plano, orientado diferentemente, y proporciona una apariencia cristalina o de "azúcar cristalizada" a la superficie de la fractura (ver figura 1.23).

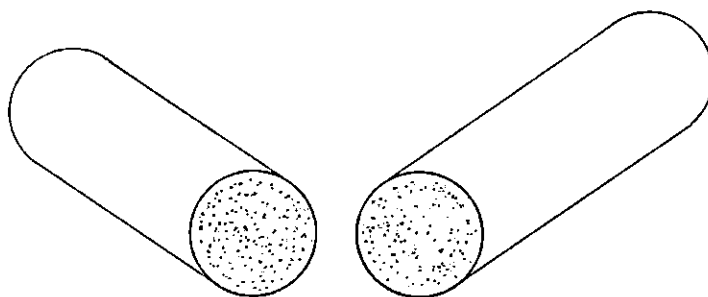


Fig. 1.23. Fractura de la forma "azúcar cristalizada".

Otra característica común de la fractura es el "patrón galoneado", producida por frentes de grietas separados que se propagan en diferentes niveles en el material. Se extiende desde el origen de la grieta un patrón de marcas superficiales radiales (figura 1.24).

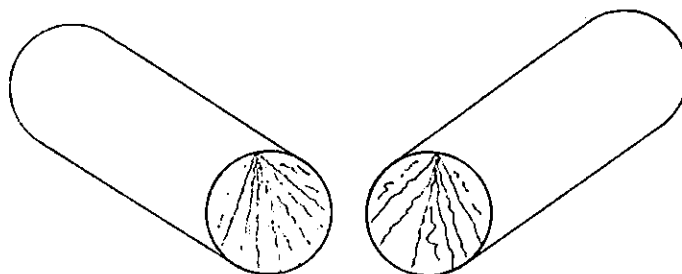


Fig.1.24. Fractura tipo "patrón galoneado".

El patrón galoneado es visible a simple vista o con lentes de aumento, y ayuda a identificar tanto la naturaleza frágil del proceso de falla como el origen de la misma.

NOTA: Se supone que la prueba de tensión se ejecuta a temperaturas normales. Sin embargo, un material dúctil a temperaturas bajas puede presentar la característica de un material frágil, mientras que un material normalmente frágil puede comportarse como dúctil a muy altas temperaturas. A temperaturas distintas de las normales, uno debe referirse a materiales en estado dúctil o en estado frágil, no a materiales dúctiles o frágiles.

1.8.2. FRACTURA POR COMPRESIÓN

La mayor deficiencia en las pruebas estandares es que la resistencia a la compresión esta únicamente definida solo para falla catastrófica (frágil) por aplastamiento o fractura. Sin embargo, en probetas cilíndricas que se prueban, las grietas por falla aparecen primeramente fuera de la superficie de la misma. Tanto que la probeta se encuentra muy deformada cuando se inicia la propagación de la grieta, y aparecen nuevas grietas. Las grietas son visibles cuando la probeta ha sido sustancialmente deformada, y esto no da seguridad de cuando empezó a agrietarse.

ASPECTO DE PIEL DE NARANJA

En algunos materiales se produce una superficie rugosa o arrugada (piel de naranja) antes de la falla por compresión. Este efecto es particularmente observable en algunas aleaciones de aluminio. Un ejemplo extremo es el mostrado por la aleación de aluminio 7075-76.

Primeramente aparecen arrugas mientras la pieza se deforma de 50 a 60%. Un examen microscópico muestra muchas pequeñas grietas en los valles de las arrugas, con mayor concentración en la región ecuatorial.

MACROGRIETAS EN ACEROS.

Un caso en el cual las macrogrietas se observan sin haberse observado antes las microgrietas, se muestra en la figura 1.25. el material es AISI-SAE 4340 acero templado y revenido a 204°C (400°F), produciéndose una dureza de 52 HRC. Las grietas inician una a la vez y se extienden a través de la superficie de la probeta casi instantáneamente. En el ejemplo mostrado la primera grieta apareció cuando la muestra se había deformado un 30% y la segunda cuando se alcanzaba un 70% de deformación, la cual es la condición mostrada en la figura 1.25.

La probeta se muestra intacta, pero por medio de posterior seccionado se observo que las grietas entraban hasta 1/4 del diámetro.



Fig. 1.25. Macro grietas en aceros, deformada 70%

2. 0 PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN ESTÁTICA

2.1. PROBETAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN.

Las muestras de prueba serán de tamaño normalizado o como lo indiquen las especificaciones del material a ser probado.

Es de gran importancia, que la menor sección transversal de la muestra se encuentre en la región central de su longitud, para asegurar que la fractura ocurra dentro de dicha longitud. Esto se logra disminuyendo gradualmente el diámetro en una longitud estandarizada para cada una de las muestras (figura 2.1).

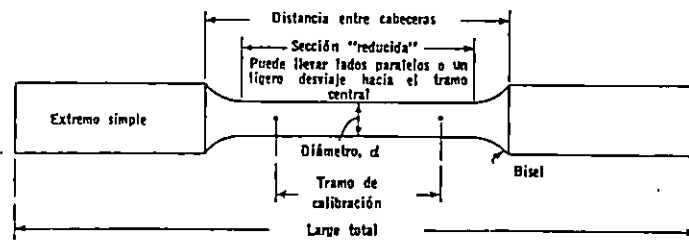


Figura 2.1. Probeta típica de tensión.

La forma y las medidas de las probetas para ensayos de tracción estática, dependen de los productos metálicos cuyas características mecánicas se desean determinar.

La probeta se obtendrá, generalmente, por mecanizado de una muestra formada de un producto determinado o de una muestra moldeada.

La sección transversal de las muestras puede ser circular, cuadrada, rectangular, angular o en ciertos casos particulares de otras formas. Para una pieza de metal, si tiene suficiente espesor puede obtenerse una muestra de tal manera que pueda ser maquinada una probeta de sección transversal circular. Para laminas y placas se emplean probetas planas, en las cuales la porción central, debe ser de ancho menor que en los extremos para provocar que la falla ocurra en una sección donde los esfuerzos no resulten afectados por los dispositivos de sujeción.

2.2. PROBETAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL CIRCULAR.

Para ensayos de tracción estáticas, generalmente se utilizan probetas de sección transversal circular, las cuales son de forma cilíndrica con una reducción del área de la sección transversal en el tramo central de la probeta, según se muestra en la figura 2.1. (Ver Norma E-8 de la ASTM).

La sección reducida puede tener una forma cónica o decrecimiento gradual desde los extremos de calibración hasta el centro de la probeta, no mayor del 1% del diámetro del centro o dimensión controlada.

La reducción es para evitar que la probeta ensayada falle por los esfuerzos generados por el apriete de los elementos de sujeción y la carga aplicada. También es el tramo de calibración para marcar la probeta y con dichas marcas poder obtener el porcentaje de elongación del material al final de la prueba.

La longitud de la sección reducida depende del material a ensayar. Los metales dúctiles por ejemplo, al ser sometidos a la prueba de tensión estática, el alargamiento y la reducción del área donde ocurre la ruptura son considerablemente grandes y deben tener dimensiones suficientes para que no se vean afectados por las dimensiones de los extremos de la probeta. Dicha longitud, también depende del extensómetro que se utilice. Las marcas en la probeta para montar el extensómetro deben ser equidistantes del centro.

Una probeta debe ser simétrica con respecto a su eje longitudinal, para evitar la flexión al aplicar la carga.

Si se utilizan mordazas de tipo acuñado, se debe tener en cuenta que la longitud acuñada de la probeta debe ser mayor o igual a $2/3$ de la longitud de la mordaza.

2.2.1. DIMENSIONES DE LA PROBETA DE SECCIÓN TRANSVERSAL CIRCULAR.

Este tipo de muestras normalizadas de 0.5 plg (12.5 mm) de diámetro máximo se muestra en la figura 2.2, se usan bastante para ensayos de tracción para materiales metálicos.

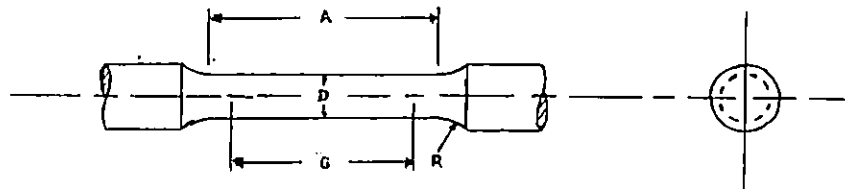


Figura 2.2. Dimensiones normalizadas para probetas sometidas a tensión.

La tabla 2.1¹ y la tabla 2.2² presentan muestras de tamaño pequeño (menores a 0.5 plg de diámetro) proporcionales a las muestras normalizadas. Estas pueden usarse cuando sea necesario ensayar laminas o placas, en las cuales se dificulte la fabricación de la probeta tipo cilíndrico (figura 2.2).

¹ Norma ASTM E8

² Norma UNE

DIMENSIONES PARA PROBETAS CIRCULARES

TIPO DE PROBETA	Diámetro Nominal		Longitud Calibrada (G)		Diámetro (D)		Radio de Acuerdo (R)		Sección Reducida (A)	
	(plg)	(mm)	(plg)	(mm)	(plg)	(mm)	(plg)	(mm)	(plg)	(mm)
Estándar	0.50	12.5	2.0± 0.005	50.0± 0.10	0.50± 0.01	12.5± 0.25	3/8	10	2 1/4	60
	0.35	8.75	1.40± 0.005	35.0± 0.10	0.35± 0.007	8.75± 0.18	1/4	6	1 3/4	45
Menores pero proporcionales a la media Estándar	0.25	6.25	1.00± 0.005	25.0± 0.10	0.25± 0.005	6.25± 0.12	3/16	5	1 1/4	32
	0.16	4.0	0.64± 0.005	16.0± 0.10	0.16± 0.003	4.00± 0.08	5/32	4	3/4	20
	0.113	2.50	0.45± 0.005	10.0± 0.10	0.113± .005	2.50± 0.05	3/32	2	5/8	16

Tabla 2.1. Dimensiones normalizadas de probetas para pruebas de tensión según norma ASTM.

Diámetro D (mm)	Longitud de sección reducida A (mm)	Tramo de calibración G (mm)	Radio de entalle R (mm)
20 ± 0.150	110	100 ± 1.0	10
10 ± 0.075	55	50 ± 0.5	8
5 ± 0.04	30	25 ± 0.25	4

Tabla 2.2. Dimensiones normalizadas en probetas para pruebas de tensión según norma UNE.

Para probetas circulares de diámetros pequeños, es importante tener en cuenta que la longitud de calibración debe ser mayor o igual a cuatro veces el diámetro de la parte media

de la probeta; debe tenerse en cuenta que los valores de elongación no pueden ser comparables con aquellos obtenidos de las muestras estandarizadas.

El uso de muestras menores de 0.25 plg (6.25 mm), de diámetro será restringido para casos en los cuales las dimensiones del material no permita la fabricación de una probeta de mayor diámetro. Conforme se reduce el diámetro de la probeta, se hace necesario utilizar equipo de medición más sofisticado, el ensayo se vuelve más complejo y se requiere mayor habilidad para el maquinado de la probeta.

La forma de la longitud de agarre de las probetas dependerá del material y a la forma de sujeción de la misma en la máquina, de tal manera, que las cargas sean aplicadas axialmente.

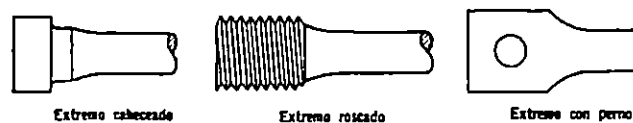


Figura 2.3. Tipos de extremos de probetas para pruebas de tensión.

En la figura 2.3, se presentan muestras con varios tipos de extremos que han dado resultados satisfactorios.

Se aconseja que la toma de dimensiones se haga en superficies pulidas de la muestra. Las superficies rugosas debido a los procesos de manufactura, tales como, laminación en caliente, revestimientos metálicos, etc., pueden conducir a inexactitud en las dimensiones obtenidas. Las medidas pueden ser anotadas con precisiones cercanas a 0.001 plg. (0.025 mm).

2.2.2. PROBETAS PARA MATERIALES FRÁGILES.

Para materiales frágiles, es necesario tener radios de acuerdo de gran dimensión en los cambios de sección de la probeta.

La forma de la probeta ASTM estándar para hierro fundido se muestran en la figura 2.4, se presentan tres tamaños de probetas con sus respectivas dimensiones.

Las probetas de mortero de cemento Portland para ensayos de tensión, bajo normas, se muestran en la figura 2.5.

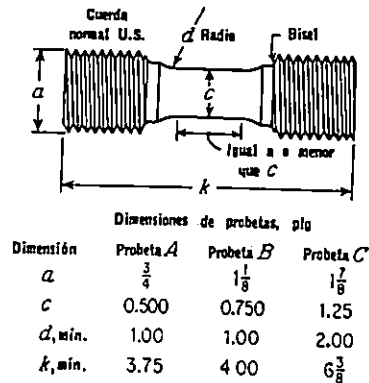


Figura 2.4. Probeta de sección transversal circular para ensayos de tensión ASTM Estándar para hierro fundido (ASTM E 8, A 48).

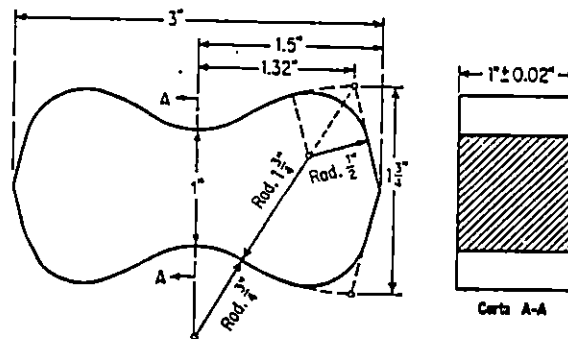


Figura 2.5. Probeta de tensión ASTM Estándar para mortero de cemento Portland (ASTM C 190).

2.3. OTROS TIPOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE PROBETAS.

2.3.1. MUESTRAS DE TIPO PLACA O TIPO LÁMINA.

Las muestras de ensayo normalizado tipo placa se muestra en la figura 2.6. Esta muestra se usa para la prueba de materiales metálicos en forma de placa y material plano que tenga un espesor nominal de 3/16 plg (4.8 mm) o mayor. Cuando las especificaciones del producto lo permitan se pueden usar otros tipos de muestras.

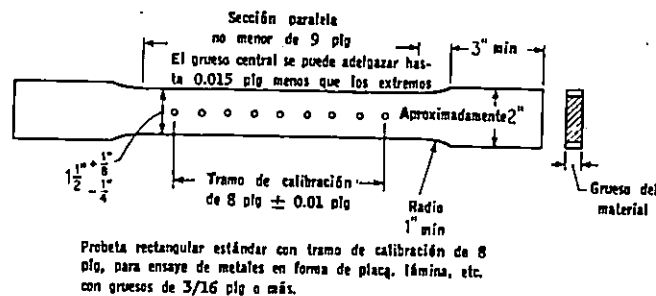


Figura 2.6. Formas normalizadas según la ASTM de probetas para ensayos de tensión de metal (ASTM E 8)

La muestra de ensayo normalizado de tipo lámina se muestra en la figura 2.7. Estas muestra se usa para pruebas de materiales metálicos en forma de lamina, placas, alambres planos, bandas, tira o faja (listón), rectángulos y formas planas dentro de espesores nominales de 0.005 a 5/8 plg (0.13 – 16 mm). Cuando las especificaciones del producto lo permiten se pueden usar otros tipos de muestras.

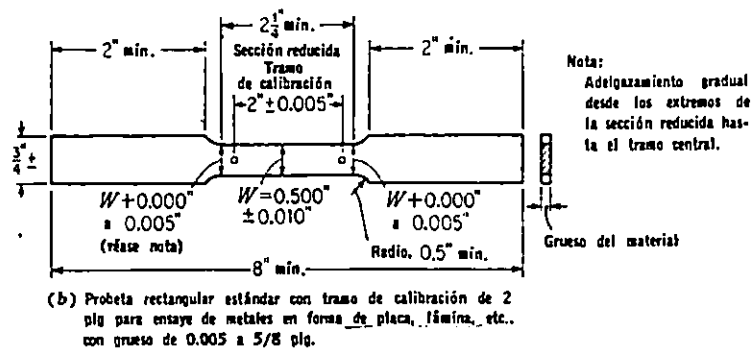


Figura 2.7. Forma normalizada según la ASTM de probetas para tensión (ASTM E8).

Los extremos de pasador, como se muestra en la figura 2.3, pueden ser usados para evitar alabeos en los ensayos de materiales delgados y de alta resistencia, también será necesario asegurar un buen apriete en los extremos.

2.3.2. MUESTRAS PARA BARRAS RECTANGULARES.

En los ensayos con barras rectangulares se utilizará uno de los siguientes tipos de muestras:

- Sección transversal Completa:** es permitido reducir el ancho de la muestra a lo largo de la sección de prueba con lija o maquinando lo suficiente como para facilitar la fractura dentro de las marcas calibradas, pero en ningún caso el ancho reducido será menor que el 90% del original.
- Las barras rectangulares de espesor pequeño y de ancho grande:** para sujetar la muestra a las mordazas de la máquina de ensayo, pueden ser cortadas para reducir su anchura. Las superficies cortadas serán maquinadas o suavizadas (pulidas) para evitar defectos dentro de la sección calibrada. La anchura reducida debe ser mayor que el espesor de la barra original.

2.4. CALIBRACIÓN DE LA LONGITUD DE PRUEBA EN LAS MUESTRAS.

La longitud calibrada para determinar la elongación será según especifique la norma de referencia del material a ensayar. Las marcas de calibración serán impresas ligeramente con un punzón marcador (figura 2.6), si se prefiere se marcarán divisiones con tinta.

Para materiales que sean sensibles al efecto de corte o entalladuras (muescas) y para muestras pequeñas, las marcas de calibración se colocarán con la ayuda de pasta de trazado, esta pasta minimizará la posibilidad de fractura en las marcas de calibración.

2.5. EXTREMOS DE LAS PROBETAS PARA TENSIÓN.

La nomenclatura típica para las probetas de tensión se muestra en la figura 2.1. También se muestra el tramo de calibración sobre el cual se toman las mediciones de alargamiento o extensiones.

Los extremos de la probeta deben ser adecuados al material, tal que ajuste debidamente en el dispositivo de sujeción a emplear. Los extremos de las probetas de sección transversal circular pueden ser simples, con cabeza (tipo perno) o con rosca (figura 2.3). Los extremos simples deben ser suficientemente largos para adaptarse a algún tipo de mordazas cuneiformes.

La relación de los diámetros o ancho de los extremos y de la sección reducida debe ser normalizada, aunque para los materiales frágiles es importante que los extremos sean de gran dimensión para evitar la falla debido a la combinación de esfuerzos axiales y los esfuerzos provocados por las mordazas.

Si una probeta es maquinada y el material se encuentra con muchas irregularidades en la superficie, la reducción debe ser cuanto menos lo suficiente para remover tales irregularidades superficiales. La transición de extremos a la sección reducida debe hacerse por medio de un bisel adecuado para reducir la concentración de esfuerzos, los cuales se presentan en los cambios bruscos de sección. Para los materiales frágiles, esto es particularmente importante. El efecto del cambio de sección sobre la distribución de esfuerzos es prácticamente inapreciable a distancias mayores de más o menos uno o dos diámetros desde el cambio.

Para obtener una distribución uniforme de esfuerzos a través de las secciones críticas, la porción reducida de la pieza debe ser uniforme a ambos lados y no deben quedar gradas o rayaduras en la superficie.

2.6. DISPOSITIVOS DE SUJECIÓN DE LA PROBETA.

La función del dispositivo de montaje es transmitir la carga desde los puentes de la máquina de ensayo 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, torsión o falla por la acción de las mordazas.

Además, el dispositivo de sujeción debe estar adecuadamente diseñado para soportar las cargas y no debe aflojarse durante el ensayo.

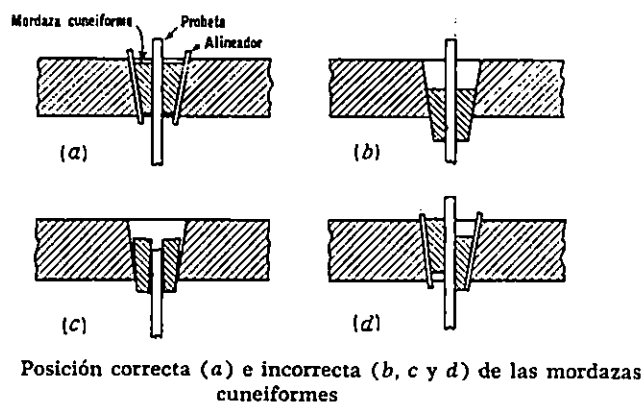


Figura 2.9. Posibles formas en que las mordazas cuneiformes sujetan a una probeta circular.

Las caras de las mordazas que están en contacto con la probeta, deben fabricarse ásperas o estriadas, para reducir el deslizamiento, en el caso de probetas de sección transversal rectangular; para las probetas de sección transversal circular las mordazas llevan una ranura en "V" en relación con el diámetro del extremo de la probeta (figura 2.9). Las normas que reglamentan los métodos de pruebas de tracción, demandan también la

necesidad de un centrado seguro de la muestra en las mordazas de la máquina para pruebas. Si no está bien centrada la muestra, resulta encorvada la dirección de tracción, como resultado de lo cual la muestra se flexiona y el gráfico de tracción axial resulta distorsionado. Las tensiones se distribuyen entonces irregularmente en la sección transversal y la muestra puede destruirse prematuramente debido al encorvamiento cerca de las cabezas. Para evitar estas flexiones de la muestra, sus cabezas (extremos de la probeta) se fijan en las mordazas con una rótula que presente pequeña fricción.

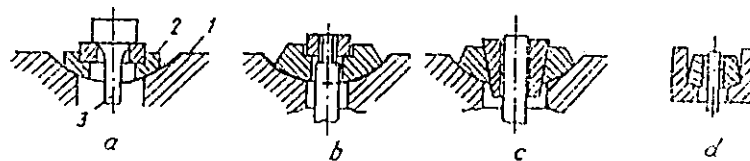


Figura 2.10. Esquemas de sujeción de las muestras en los agarres cilíndricos (a, b) y planos (c, d).

En la figura 2.10, se muestran diferentes esquemas de fijación de muestras cilíndricas (a, b) o planas (c, d).

La influencia de las cabezas, a pesar del paso suave, se refleja el esquema de tracción axial o de tensión en alguna parte en la longitud de trabajo de la muestra. Justamente por eso, las propiedades en la tracción son valores en aquella longitud de trabajo cuyos límites están lejos de las cabezas.

Los dispositivos de sujeción de la probeta, deben estar diseñados adecuadamente para soportar las cargas y no debe aflojarse durante un ensayo.

Otros tipos de mordazas, son mostrados en la figura 2.11.

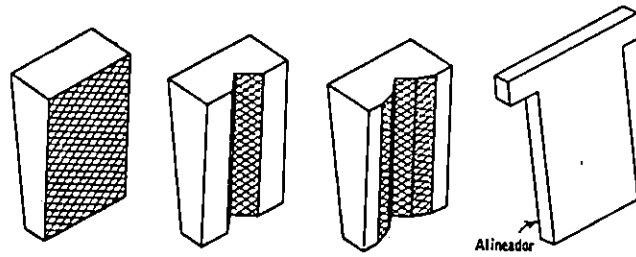


Figura 2.11a. Mordazas cuneiformes para ensayos de tensión de metales.

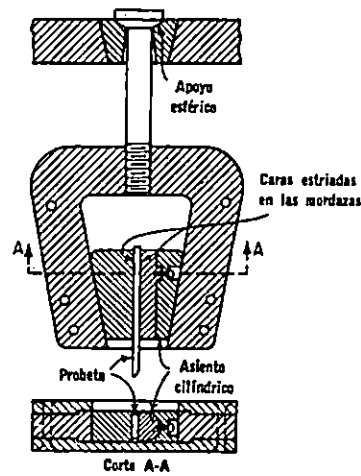


Figura 2.11b. Soportes Templin.

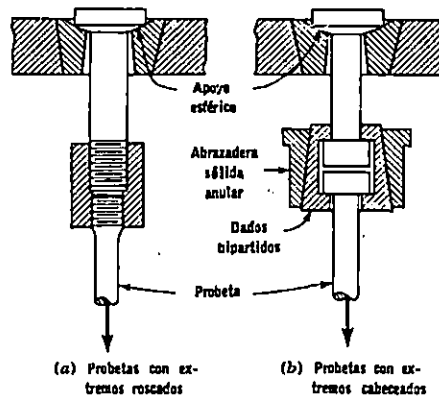


Figura 2.11c. Soportes esféricos asentados (ASTM E 8).

2.7. DETERMINACIÓN DE LA ELONGACIÓN DE LA PROBETA.

La determinación de la elongación de probetas de ensayos a tensión (figura 2.12), se realizará de las siguientes formas³:

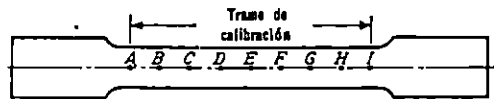


Figura 2.12. Tramo de calibración para probetas normalizadas.

- En los casos que la ruptura ocurra entre C y G del tramo de calibración se utiliza la ecuación:

$$\% \text{ Elongación} = (A l_{\text{final}} - A l_{\text{original}}) * 100 / A l_{\text{original}}$$

- En los casos en que la ruptura ocurra entre A y C, pero más cercanas a B que A, se calculará la elongación con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Elongación} = ((A C + 2 C F)_{\text{final}} - A l_{\text{original}}) * 100 / A l_{\text{original}}$$

- Para los casos, que la ruptura ocurra entre A y B, se calculará la elongación con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Elongación} = (2 A E_{\text{final}} - A l_{\text{original}}) * 100 / A l_{\text{original}}$$

2.8. PROBETAS PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN

Para el esfuerzo uniforme de la probeta de compresión, una sección circular es preferible a otras formas. Sin embargo, la sección cuadrada o rectangular se usan frecuentemente y para piezas manufacturadas, tales como el azulejo, ordinariamente no resulta posible cortar probetas que se ajusten a ninguna forma particular.

La selección de la relación entre la longitud y el diámetro de una probeta de

³ Tomado de la ref. 8

compresión parece ser más o menos un compromiso entre varias condiciones. A medida que la longitud de la probeta se aumenta, se presenta una tendencia creciente hacia la flexión de la pieza, con la consiguiente distribución no uniforme del esfuerzo sobre la sección recta. Se sugiere una relación entre altura y diámetro de 10 como límite superior práctico. A medida que la longitud de la probeta disminuye, el efecto de restricción friccional en los extremos se torna sumamente importante; así mismo, para longitudes menores de aproximadamente 1.5 veces el diámetro, los planos diagonales a lo largo de los cuales la falla se verificaría en una probeta más larga intersectan la base, con el resultado de que la resistencia aparente se aumenta. Comúnmente se emplea una relación entre longitud y diámetro de 2 o más, aunque la relación entre altura y diámetro varíe para materiales diferentes. Para acomodar un compresómetro con la precisión deseada, con frecuencia es necesario usar una probeta relativamente larga.

El tamaño real depende del tipo de material, del tipo de mediciones a realizar, y del aparato de ensaye disponible. Para materiales homogéneos para los cuales se requiera solamente la resistencia última, pueden usarse probetas pequeñas. El tamaño de las probetas de materiales heterogéneos debe ajustarse al tamaño de las partículas componentes o agregados.

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

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

2.8.1. PROBETAS ESTÁNDAR METÁLICAS PARA COMPRESIÓN.

Las probetas para ensayos de compresión de materiales metálicos recomendados por la ASTM (ASTM E 9) se muestran en la figura 2.13. las probetas cortas son para usarse con materiales antifricción, las de longitud medianas para uso general y las largas para ensayos que determinen el módulo de elasticidad.

Dimensiones sugeridas para las probetas

Tipo	Diámetro d, plg	Altura h, plg
Corta	$\frac{1}{8}$	1
Longitud mediana	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$
	0.798	$2\frac{3}{8}$
	1	3
	$1\frac{1}{8}$	$3\frac{3}{8}$
Longitud	0.798	$6\frac{1}{8}$
	$1\frac{1}{4}$	$12\frac{1}{2}$

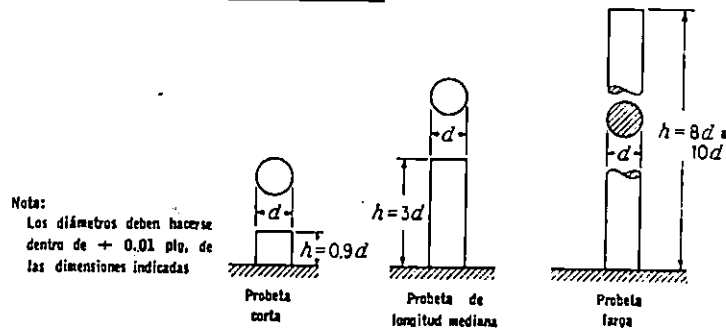


Fig. 2.13. Probetas para ensayos de compresión de materiales metálicos de formas no similares.

2.8.2. PROBETAS CERAMICAS ESTANDARES PARA COMPRESIÓN.

Los materiales cerámicos son compuestos y soluciones complejas que contienen elementos tanto metálicos como no metálicos. Comúnmente los cerámicos son duros y frágiles, con alto punto de fusión y bajas conductividades eléctricas y térmicas, adecuadas estabildades químicas y térmicas, además con alta resistencia a la compresión.

Los materiales cerámicos tienen una gran variedad de aplicaciones que van desde la alfarería, fabricación de ladrillos, azulejos, loza y tubos de albañal hasta materiales refractarios, imanes, piezas dentales, artículos para la industria eléctrica, etc.

Remitimos al interesado a las especificaciones ASTM para el tipo de probetas para ensayos de compresión de materiales metálicos tales como loseta de desagüe (ASTM C4), bloque de barro estructural (ASTM C112), tubo de albañal (ASTM C13, C14), ladrillo refractario (ASTM C133) y materiales aislantes (ASTM 48).

Las tablas 2.3 y 2.4 muestran algunas dimensiones estandares para probetas de materiales cerámicos sometidos a compresión así como también los requerimientos en cuanto a carga de la máquina de ensaye.

Resistencia a la compresión Psi (MPa)	Diámetro de la muestra Pulg. (mm)	Proporción de carga Lbf/min (kN/min)
10000 (69)	1.0 (25.4)	8000 (35)
50000 (345)	0.64 (16.3)	16000 (70)
150000 (1034)	0.45 (11.5)	24000 (105)

Tabla 2.3 Diámetro de la muestra máximo en pulgadas (mm.) para utilizar 89% de la capacidad proporcionada por la máquina de ensayo.

NOTA: La porción de longitud para diámetros de la muestra que varíen entre 1.9 y 2.1 se usarán con una incerteza de 0.001 pulg.

Máxima resistencia de compresión	Capacidad de la máquina de prueba, Lbf (kN)		
	10000 (44)	20000 (89)	30000 (134)
	Pulg. (mm)	Pulg. (mm)	Pulg. (mm)
10000 (69)	1.0 (25.4)	1.43 (36.3)	1.75 (44.4)
50000 (345)	0.45 (11.5)	0.64 (16.3)	0.78 (19.8)
150000 (1034)	0.26 (6.6)	0.37 (9.4)	0.45 (11.5)

Tabla 2.3. Cargas típicas proporcionales para casos de falla en pulgadas en un minuto.

NOTA: Para materiales desconocidos, las tres primeras pruebas se usará a una proporción de carga de 16000 Lbf/min. (70 kN/min). Para determinar la clasificación de resistencia a la que pertenece.

Algunas muestras se agrietan antes de quebrarse; la primera falla que ocurre es audible y se notará, pero solamente la carga de la muestra por falla última será usada para calcular la resistencia del material.

2.9 ERRORES COMUNES EN LAS PROBETAS

La mayoría de los errores presentados por las probetas para ensayos mecánicos comúnmente se deben ya sea a las imperfecciones del mismo material (poros, vacíos, inclusiones gaseosas o no metálicas u otras discontinuidades) o lo que es más común un maquinado inadecuado.

Defectos tales como rayaduras superficiales (como efecto del maquinado), mala simetría (radial o longitudinal) en probetas cilíndricas o la baja calidad de un material son las condiciones que seguramente harán que una probeta falle prematuramente y se que obtengan resultados erróneos.

Una probeta debe ser simétrica con respecto a su eje longitudinal, para evitar la flexión durante la aplicación de la carga. La figura 2.14, ilustra los defectos comunes en la preparación de probetas planas.

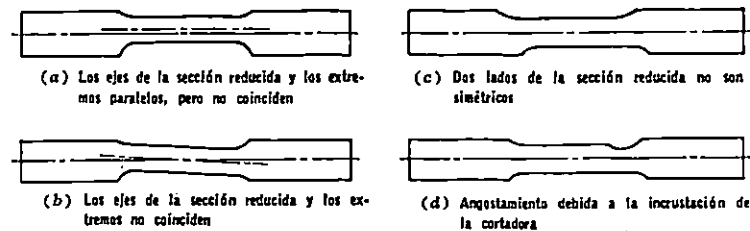


Figura 2.14. Defectos comunes de las probetas planas.

Para evitar los errores en probetas como resultado del maquinado es necesario escoger el proceso de fabricación más adecuado según sea el material que se maquinará y los elementos y condiciones que estarán presentes al realizarlo (Herramienta de corte, velocidad de corte y avance del elemento cortante).

Es necesario que la superficie de las probetas sean debidamente pulidas y simétricas para garantizar así resultados confiables del ensayo.

3.0. MAQUINAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN.

3.1. GENERALIDADES.

Las máquinas para pruebas de tracción y compresión son muy variadas, muchas de ellas son universales y pueden utilizarse para otros ensayos estáticos.

Las máquinas para pruebas estáticas de compresión y tracción comprenden un accionamiento que realiza una deformación regular de la muestra (ver figura 3.1), un mecanismo para medir las fuerzas con la ayuda del cual se determina el esfuerzo y un mecanismo para medir la deformación que experimenta la probeta (como los descritos en el capítulo 1.0). Además de estos dispositivos básicos, hay una variedad de mecanismos o accesorios que debe poseer la máquina, tales como dispositivos para agarrar o apoyar la probeta, la unidad de fuerza, los controles, los registros, los indicadores de velocidad y amortiguadores de choque en la ruptura.

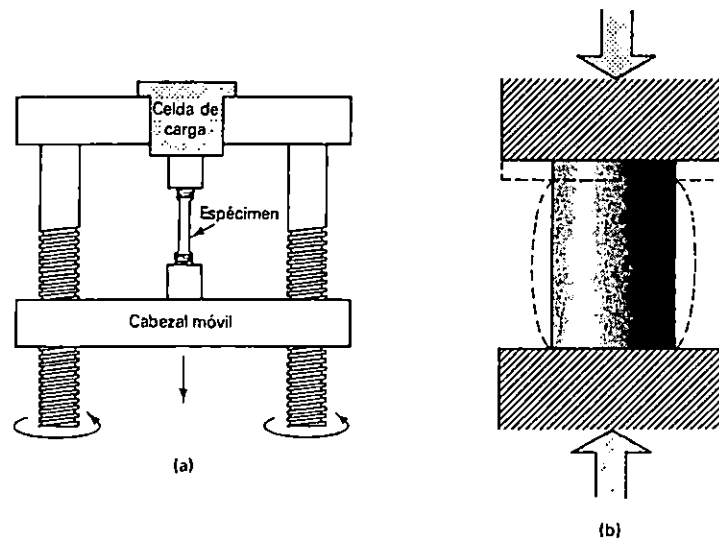


Figura 3.1. Deformación típica de especímenes sometidos a tensión (a) y compresión.

Según el principio de accionamiento, las máquinas de tracción y compresión se dividen en máquinas con accionamiento mecánico y máquinas con accionamiento hidráulico.

La fuerza puede proveerse, manualmente o por medio de alguna máquina motriz (por lo

general un motor eléctrico) acoplado a una bomba o un tren de engranajes, dependiendo del diseño de la máquina y su capacidad.

Las máquinas deben garantizar en determinada longitud de la probeta (longitud de calibración), un estado de esfuerzos lineales de tracción o compresión, los esfuerzos deben ser aplicados uniformemente sobre la sección transversal de la muestra y dirigidos estrictamente en dirección longitudinal.

3.2. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA LAS MÁQUINAS DE ENSAYO DE TRACCIÓN Y COMPRESIÓN ESTÁTICA.

Algunos de los requerimientos más importantes para las máquinas de tracción y compresión son:

- ✉ En todo el rango de aplicación de carga, es decir, desde cero hasta la carga de ruptura, debe garantizarse que las mediciones de la carga y la deformación realizadas sean lo más precisas posibles. Ordinariamente, se consideran aceptables, mediciones con errores menores que un 0.5%.
- ✉ La máquina debe ser sensitiva a cambios ligeros de carga, esto implica que los sistemas de medición de la máquina deben ser de gran precisión y, por tanto, detectar cualquier cambio producido en la carga aplicada a la probeta.
- ✉ Las partes fija y móvil de la máquina deben estar alineadas, con el objeto de poder aplicar una carga axial pura a la probeta y evitar así la destrucción prematura de la misma debido al encorvamiento cerca de las mordazas. Para lograr la aplicación de una carga axial pura se utiliza asientos esféricos en los extremos de una de las mordazas ya sea de tensión o compresión (ver figuras 3.2 y 3.3).

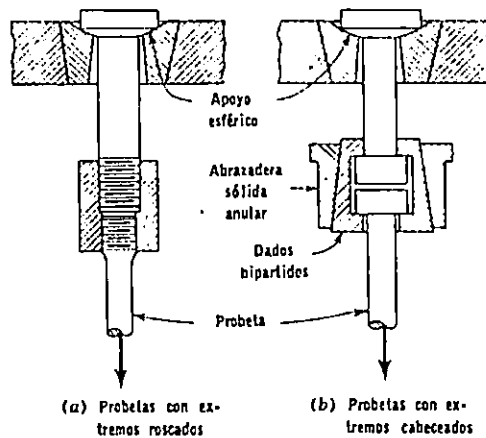


Figura 3.2. Soportes esféricamente asentados (ASTM E 8).

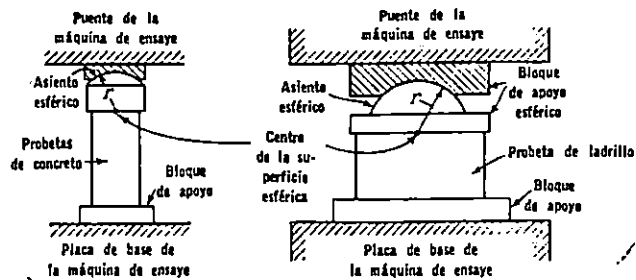


Figura 3.3. Bloques o dados de apoyo esféricos para ensayos de compresión (ASTM E 8).

El mecanismo de la parte móvil de la máquina no debe oscilar, ni torcerse. De ésta forma se garantizará que la carga aplicada a la probeta esté dirigida a lo largo del eje de la misma, también se evitará la falla por esfuerzos cortantes (producidos por esfuerzos de torsión o de flexión).

La aplicación de la carga debe ser uniforme, controlable y de un rango apropiado de velocidades. La aplicación de la carga debe ser uniforme para generar una mejor distribución de esfuerzos en la probeta, controlable de tal forma que se disponga del tiempo necesario para hacer las mediciones respectivas, debe tenerse un rango apropiado de velocidades para poder realizar pruebas a diferentes velocidades de carga aplicada.

- ☞ La máquina debe estar libre de vibraciones excesivas, de ésta forma se minimizará la aplicación de cargas dinámicas a la probeta.
- ☞ El mecanismo de frenado debe ser adecuado para absorber la energía de ruptura de las probetas que se quiebren súbitamente para evitar daños a la máquina.
- ☞ La máquina debe ser susceptible a la manipulación y ajustes fáciles y rápidos, con el objeto de facilitar su manejo.
- ☞ La máquina debe poseer el fácil acceso a la probeta y a los dispositivos de medición de la deformación.
- ☞ La estructura de la máquina para prueba de tensión y compresión debe ser lo suficientemente rígida para evitar flexiones que puedan causar errores en el ensayo.
- ☞ La máquina para pruebas de tensión y compresión debe poder ser utilizada a diferentes velocidades de desplazamientos y de cargas.

3.3. MÁQUINAS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO.

En su forma elemental, las máquinas de ensayo más antiguas consistían de una palanca simple, la cual se usaba tanto para aplicar la carga mediante pesas, como para medir la deformación. En la figura 3.4, se muestran algunas máquinas de palanca simple.

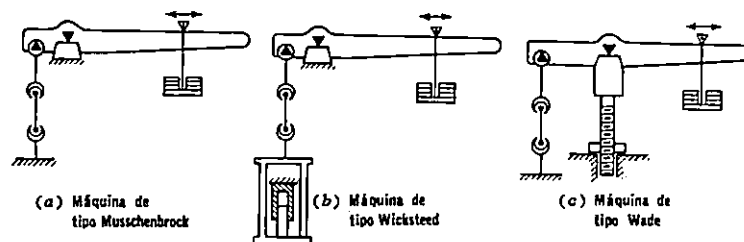


Figura 3.4. Tipos antiguos de máquinas de ensayo.

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 hasta la mesa o al puente fijo y luego a la mesa de trabajo (figura 3.5).

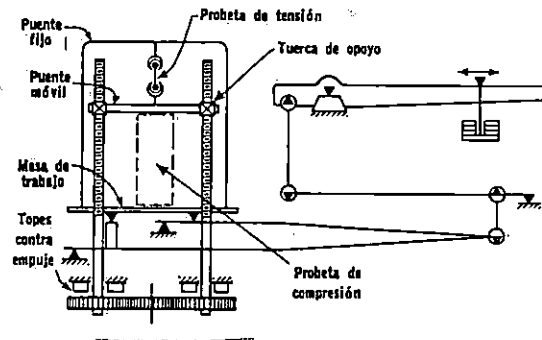


Figura 3.5. Diagrama esquemático de una máquina de ensayo con engrane y tornillo. El puente móvil siempre desciende durante un ensayo.

La carga sobre la mesa puede a su vez equilibrarse por medio de un sistema de palancas múltiples para determinar la carga aplicada. Uno de los tipos más nuevos de máquinas de accionamiento mecánico es la Wiedemann-Baldecin, mostrada en la figura 3.6, en la cual, la carga se mide por medio de una celda de carga universal SR-4 que acciona electrónicamente el indicador de carga.

Las máquinas de accionamiento mecánico pueden ser de 2, 3 o 4 tornillos, dependiendo de la capacidad de carga. Las máquinas de dos tornillos pueden usarse para ensayos de tracción y carga transversal, pero cuando se usan en 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. Para evitar el pandeo de los tornillos en ensayos de compresión, pueden usarse máquinas de 3 o 4 tornillos, aunque la probeta no queda tan accesible.

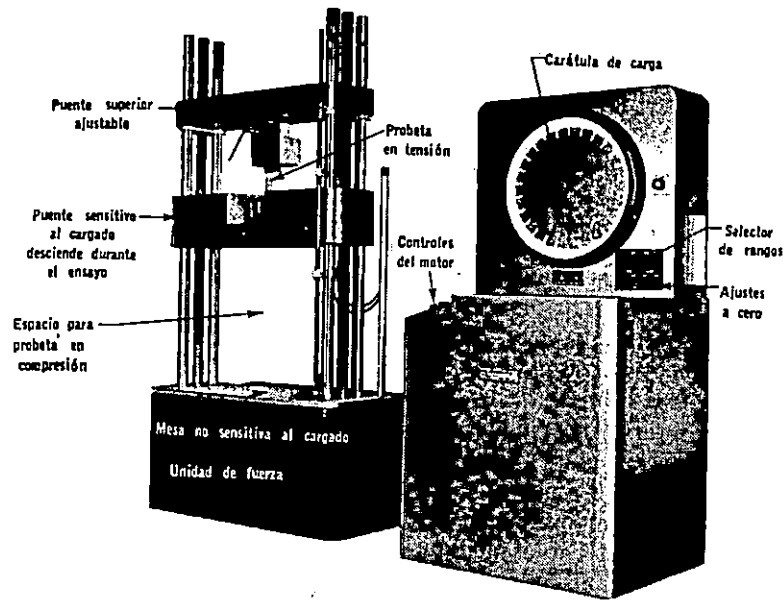


Figura 3.6. Máquina mecánica universal con una celda de carga electrónica universal en el puente móvil.

3.4. MÁQUINAS DE ACCIONAMIENTO HIDRÁULICO.

Los aspectos principales de los tipos de máquinas de accionamiento hidráulico, se muestran en la figura 3.7. En la máquina tipo A, la carga se aplica por una prensa hidráulica y es medida por la presión desarrollada dentro del cilindro hidráulico.

En la máquina tipo B, la carga es aplicada por una prensa hidráulica independientemente del sistema de medición conformado por una cápsula hidráulica.

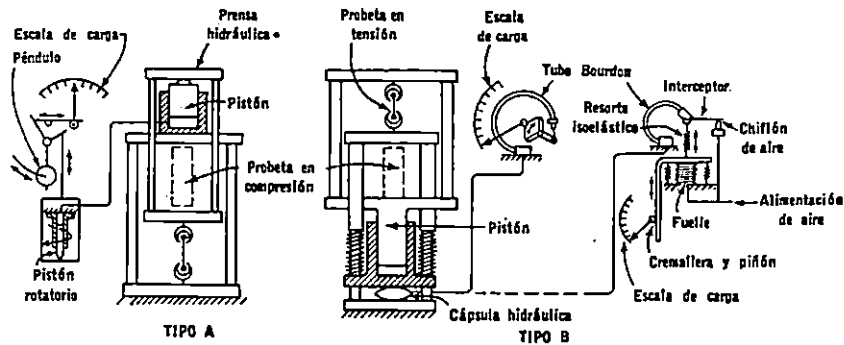


Figura 3.7. Aspectos esenciales de dos tipos de máquinas de ensayo hidráulicas.

En las máquinas de capacidad pequeña o moderada, la energía de choque (en la ruptura de la probeta) puede absorberse por medio de cojinetes de hule, pero en las máquinas hidráulicas grandes se usan cilindros de retroceso.

En un sistema hidráulico cerrado (como el tipo A de la figura 3.7), la indicación de la carga puede resultar errática o inexacta, debido a la presencia de burbujas de aire o fugas en el circuito hidráulico.

La mayoría de las máquinas hidráulicas están equipadas con dos o más carátulas indicadoras de cargas; estas proporcionan lecturas a diferentes rangos de carga o llevan una sola carátula con una máscara que puede hacerse girar para exponer grupos diferentes de cifras y así, permitir que una misma carátula sirva para varios rangos de carga. Se usan mecanismos de medición de carga adecuados para cada rango, de modo que las cargas pequeñas puedan observarse con una precisión comparable a aquella para las cargas grandes.

3.5.COMPARACIÓN ENTRE MÁQUINAS DE ACCIONAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO.

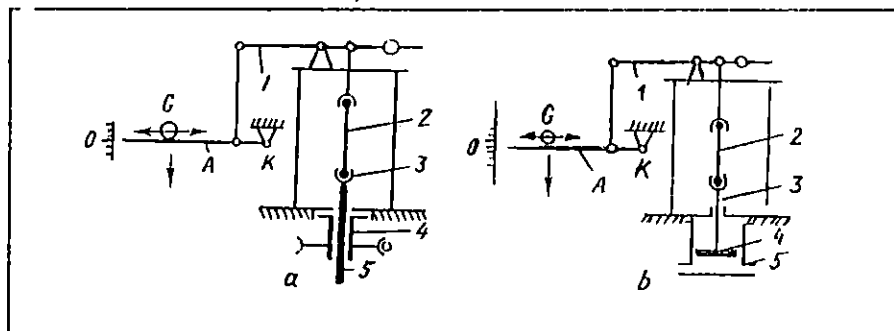


Figura 3.8. Esquemas de las máquinas para pruebas: a) con transmisión mecánica; b) con transmisión hidráulica.

En las máquinas de transmisión mecánica con motor eléctrico (figura 3.8 a), el agarre móvil 3 se une con el tornillo de carga 5, el cual está en contacto con la tuerca 4. El movimiento del motor eléctrico mediante el reductor pasa a la tuerca; esta al girar, mueve el tornillo con

el agarre, aplicando así la tensión a la muestra a ensayar 2. Las máquinas de accionamiento mecánico tienen una potencia relativamente baja, por lo común, están calculadas para una carga destructora no mayor de 5 a 10 toneladas.

Las máquinas de accionamiento hidráulico, se utilizan para transmitir una mayor potencia (5 a 100 toneladas o más). En éstas máquinas (figura 3.8. b), el agarre móvil 3, se une con el émbolo 4, el cual se desplaza por el cilindro de trabajo 5, bajo la presión del líquido (generalmente se usa aceite) creada por una bomba. En las máquinas de transmisión hidráulica, es más difícil mantener la velocidad de deformación de la muestra 2, que en las máquinas de transmisión mecánica. Con el aumento de resistencia del material de la muestra, crece la presión de aceite en el cilindro de trabajo, entonces, el líquido se infiltra por la holgura entre las paredes del cilindro y el émbolo y la velocidad de la acción de deformación disminuye. Para mantener la velocidad constante, se hace necesario aumentar el suministro de líquido al cilindro, proporcionalmente a su fuga. Este defecto de las máquinas con transmisión hidráulica se hace notar cuando las propiedades del material a ensayar dependen considerablemente de la velocidad de deformación, por ejemplo, a elevadas temperaturas.

Las máquinas hidráulicas que utilizan la presión del cilindro de carga como una indicación de la carga sobre la probeta puede resultar susceptible a inexactitudes mayores. Este problema se reduce mucho, con el uso de la cápsula de Emery para la medición de carga. El costo de una buena máquina de accionamiento hidráulico de capacidad ordinaria, no es muy diferente al de una máquina de accionamiento mecánico.

3.6. VELOCIDAD EN LAS MÁQUINAS DE ENSAYO.

Los mecanismos propulsores para las máquinas de accionamiento mecánico (mecanismos de transmisión de potencia por engranes) hacen que el puente móvil se accione a cuatro o más velocidades. Las diversas velocidades pueden obtenerse por medio del uso selectivo de diferentes razones de engranajes.

En la mayoría de las máquinas hidráulicas modernas, cualquier velocidad de aplicación de carga puede obtenerse mediante el uso de una velocidad de bombeo apropiada o un ajuste de válvulas que controlen el flujo de aceite de la bomba al cilindro de carga.

3.6.1. VELOCIDAD DE LA MÁQUINA EN LA PRUEBA DE TENSIÓN.

La velocidad de 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 los límites definidos, aunque los estudios han indicado que pueden ser razonablemente amplios.

Los métodos para especificar las velocidades de ensaye varían. Un número de recomendaciones para velocidades de ensaye han sido hechas y retiradas de las normas ASTM para metales. Las observaciones siguientes tienen objetivo proporcionar la información general hasta el momento en que las bases para consignar las velocidades de ensaye estén disponibles.

Debido al extenso uso anterior de las máquinas de ensaye de propulsión a tornillo, en el pasado se ha acostumbrado indicar la velocidad de ensaye por la velocidad de desplazamiento del puente móvil de la máquina. Sin embargo, durante las dos décadas pasadas se han registrado un marcado aumento en el uso de máquinas de ensaye de tipo hidráulico, en las cuales la velocidad de ensaye se controló en términos de la velocidad de aplicación de carga. Es deseable que los límites en términos de la velocidad del puente y las velocidades de carga, se especifiquen.

Varios requerimientos de la ASTM sobre las velocidades de ensaye, se muestran como una guía general en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Algunos requerimientos de la ASTM sobre la velocidad de ensaye en tensión.

Material de ensaye	Referen de la ASTM	Máxima velocidad de puente plg/min		Velocidad de carga
		A la cedencia	A la resistencia última	
Material metálico	E 8			Máximo de 100 Kips/ min a la aceleración
Producto de acero	A 370	Tramo de calibración de 0.062 por plg.	Tramo de calibración de 0.5 por plg.	
Hierro fundido gris	A 40	.....	0.125 sobre 15Kips/plg ²
		Velocidad de viaje especificado de mordazas cuneiformes de propulsión motorizada		2.9-3.1 lb/min.
Plásticos	D 638	0.05*	0.20-0.25*	
Hule duro	D 530	.....	.....
Hule suave vulcanizado	D 412	.....	20±1
Madera	D143			
Paralela a la fibra	.....	.....	0.05
Perpendicular a la fibra	.....	.....	0.10
Briquetas de mortero de cemento	C 190			600±25 lb/min.

*se permite velocidades más altas para algunos materiales.

Las velocidades mostradas para probetas metálicas son los valores máximos; las velocidades pueden ser más bajas y frecuentemente se utilizan.

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 puede aplicar en incrementos, tomando en cuenta que la carga y la deformación para cada caso se leen al final de cada uno de éstos. Otra forma consiste en la aplicación continua de carga a velocidad lenta (generalmente a velocidades del puente, que varía desde 0.01 hasta 0.05 plg/min) y tanto carga como deformación se observan simultáneamente. El segundo método se considera preferible.

3.6.2. VELOCIDAD DE LA MÁQUINA EN LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.

Para la máquina de engranes de tornillo, la velocidad de ensaye en compresión es todavía comúnmente especificada en términos de la velocidad de marcha del puente movable. En la tabla 3.2 se recomienda las máximas velocidades del puente para usarse con probetas estándar.

Tabla 3.2 Requerimientos de la ASTM sobre la velocidad de ensaye de compresión

Material probado	Referencia	Máxima velocidad del puente plg. Por min.	Velocidad de la carga, lb/plg ² /seg.	Tiempo para aplicar la segunda mitad de la carga, seg.
Materiales metálicos.....	E 9-33 T*			
De 1 a 3 plg de largo.....	.....	0.05		
De 3 plg. o más.....	.....	0.10		
Concreto.....	C 39	0.05	20-50	
Mortero.....	C 109	.....	.....	20-80 ✓
Madera.....	D 143			
Paralela a la fibra.....	.....	0.024		
Perpendicular a la fibra.....	.....	0.012		
Ladrillo.....	C 67	.....	.....	60-120
Loseta de barro.....	C 112	0.05		
Plásticos.....	D 695	0.05 hasta el punto de cedencia entonces 0.2 a 0.25		
	D 653	0.05		

*Los requerimientos aquí consignados han sido retirados de las especificaciones actuales.

✓ Tiempo de carga total si la carga última es menor a 3000 lb.

En muchos casos, velocidades más lentas son deseables. Pero también cualquier velocidad conveniente se permite hasta aproximadamente la mitad de la carga máxima después de la cual la velocidad especificada (usualmente dentro de las tolerancias estipuladas) es requerida.

3.7. ALGUNAS MAQUINAS DE ENSAYO EN EL PAIS.

✓ **Instituto Tecnológico Centro Americano (ITCA)**

Esta institución educativa cuenta con dos máquinas de interés con el tema en análisis, a saber:

a) Una máquina para realizar ensayos de tensión (únicamente) a probetas maquinadas; la aplicación de la carga se hace en forma mecánica (manual). La lectura de la fuerza aplicada se lee por medio de un manómetro que esta graduado en unidades de fuerzas; mientras que la deformación se mide en una rueda graduada en radianes y luego se multiplica por una constante para transformar la lectura a medidas de longitud.

b) Una máquina para efectuar ensayos de tensión y compresión a probetas maquinadas (en ambos casos), en la cual, la aplicación de la carga se hace por medio hidráulicos (una motobomba y un cilindro hidráulico) y la lectura de deformaciones, por medio de un deformímetro analógico.

✓ **Universidad Centro Americana "José Simeón Cañas" (UCA)**

La institución cuenta con una máquina universal para realizar pruebas de tensión y compresión. Las pruebas de tensión son realizadas a materiales ferrosos y no ferrosos, mientras que las de compresión a madera y concreto.

La aplicación de la carga se logra por medios hidráulicos y la lectura de las deformaciones por medio de un deformímetro analógico. Inicialmente esta máquina estaba dotada por un mecanismo adicional para elaborar automáticamente los gráficos esfuerzo-deformación; pero actualmente este mecanismo se encuentra descalibrado.

✓ **Universidad Don Bosco (UDB)**

La Universidad Don Bosco cuenta con una máquina para pruebas de tensión y compresión de materiales (situada en las instalaciones del CITT). La carga y las deformaciones son leídas en una gráfica esfuerzo - deformación presentada en el monitor de una computadora que esta adaptada a la máquina; esto se logra gracias al uso de un software especial y transductores electrónicos.

✓ **Universidad de El Salvador (UES)**

Esta institución Nacional cuenta con dos máquinas de interés, una del tipo universal para pruebas de tensión y compresión ubicada en la Escuela de Ingeniería Civil, similar a la que posee la Universidad Centro Americana "José Simeón Cañas". Posee un mecanismo para elaborar el gráfico esfuerzo-deformación pero se encuentra fuera de servicio a causa de desperfectos; Además se cuenta con una máquina computarizada de tracción y compresión en materiales de empaque ubicada en el laboratorio de empaques y embalaje de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

✓ **CORINCA**

Cuenta una máquina universal para realizar pruebas de tensión y compresión muy moderna y computarizada. Es utilizada para verificar las propiedades mecánicas y comprobar la calidad con que sus productos son suministrados al mercado nacional.

3.8. PROBLEMAS COMUNES EN EL FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA

Con la correcta manipulación y recomendaciones específicas, las máquinas para pruebas mecánicas pueden brindar resultados satisfactorios para el usuario, permitiendo conocer el comportamiento de ciertos materiales bajo cargas determinadas y específicas.

Una máquina proporciona resultados confiables cuando el ensayo se desarrolla sin presentar alguna anomalía durante su realización (falla de un equipo, elemento o del material ensayado).

Es necesario mencionar que los resultados de alguna prueba pueden ser erróneos debido a la inadecuada manipulación del equipo durante la prueba o a la falla de algún dispositivo o componente de la máquina misma.

En general, una máquina para prueba mecánicas puede presentar problemas debido a la

falta de mantenimiento o mal uso de la misma, por lo que es recomendable cumplir el programa de mantenimiento y calibración del equipo propuesto por el fabricante o diseñador del dispositivo (manual de mantenimiento y de operaciones).

Algunos de los problemas comunes presentados por ciertas máquinas durante la realización de una prueba mecánica de tensión o compresión se enlistan a continuación:

- Como resultado de un diseño inadecuado o desgaste de las mordazas se puede presentar deslizamiento de la probeta durante el ensayo.
- Datos erróneos en los ensayos como resultado de la descalibración del equipo medidor de deformaciones debido al mal uso o falta de mantenimiento.
- Resultados erróneos en los ensayos debido al fallo en el equipo por medio del cual se aplica la carga a la probeta, ya sea éste hidráulico o mecánico (fuga de aceite, desgaste en elementos de transmisión de potencia, falta de mantenimiento a dispositivos mecánicos o hidráulicos, etc...).
- Un mal uso y maltrato del equipo produce el deterioro del mismo, y como resultado datos no satisfactorios.

4.0. DISEÑO DE LA MÁQUINA

4.1. MODELO A DISEÑAR

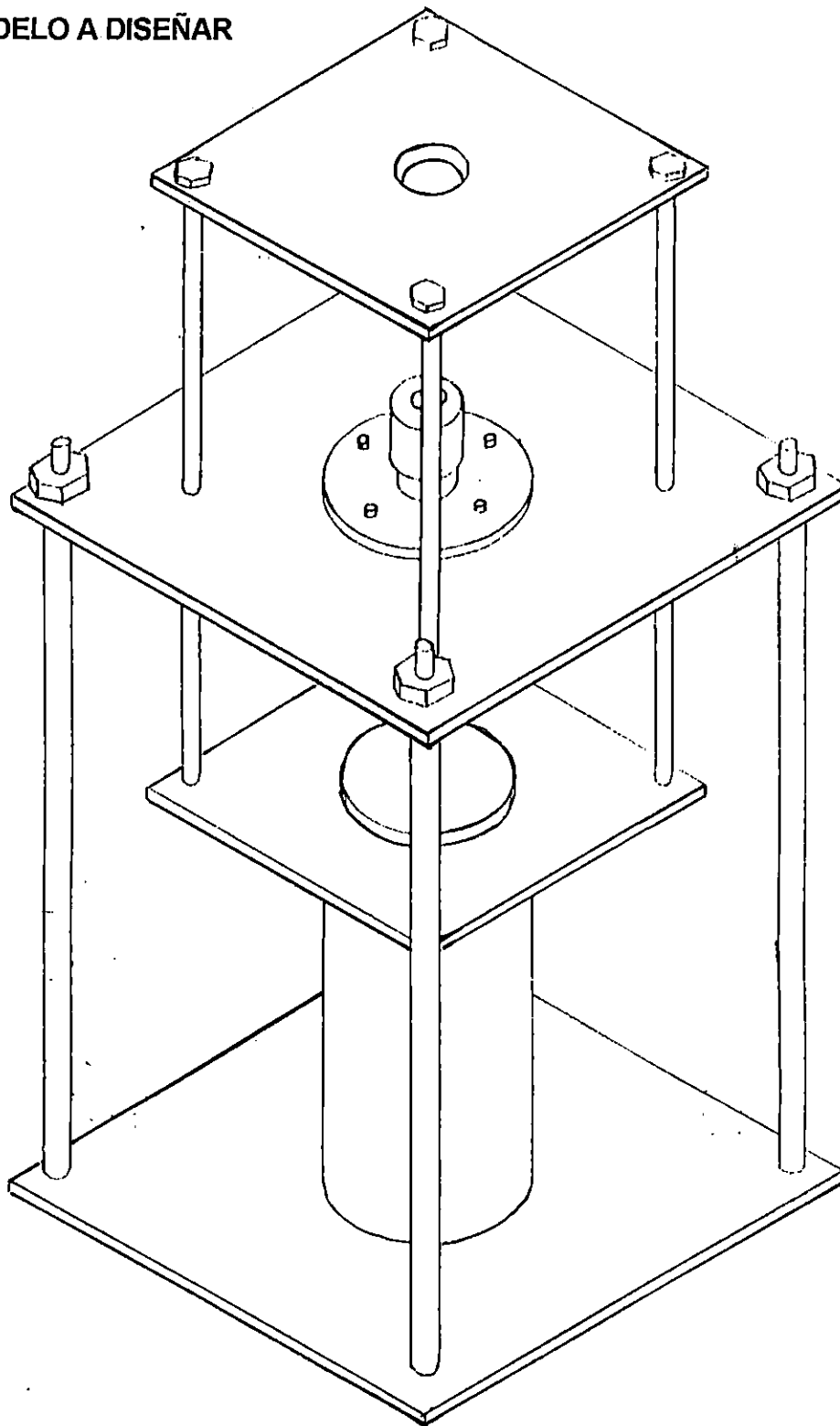


Figura 4.1. Modelo a diseñar de la máquina para pruebas de tensión y compresión.

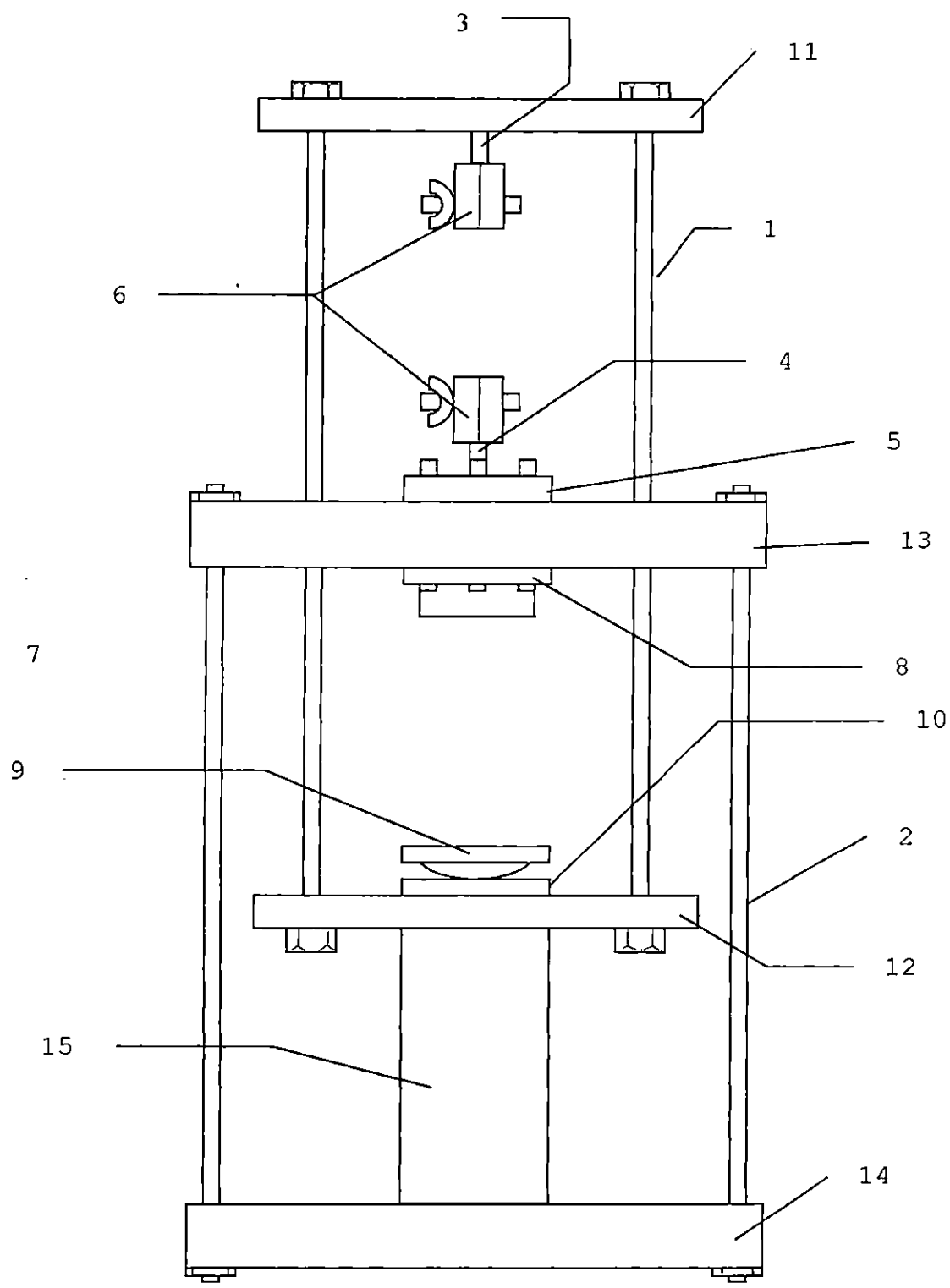


Figura 4.2. Vista frontal del modelo a diseñar.

ELEMENTO	Cant.	DENOMINACIÓN
1	4	Barra deslizante
2	4	Barra de acople
3	1	Portamordaza superior
4	1	Portamordaza inferior
5	1	Sujetador de portamordazas
6	1	Mordazas para la prueba de tensión
7	1	Apoyo superior
8	1	Sujetador del apoyo superior
9	1	Apoyo inferior
10	1	Asiento semiesférico
11	1	Placa móvil superior
12	1	Placa móvil inferior
13	1	Placa fija superior
14	1	Placa fija inferior
15	1	Cilindro hidráulico

Tabla 4.1. Componentes del modelo a diseñar de la máquina para pruebas de tensión y compresión en materiales.

4.2. DISEÑO DE ELEMENTOS.

Como es de suponer, en el diseño de la máquina se parte ya sea de un esfuerzo de diseño o de la carga máxima que se pretende desarrolle la máquina; para esto es necesario tomar en cuenta un factor de sobrecarga con lo que el diseñador asegura el funcionamiento del dispositivo sin falla.

Para el caso en estudio el esfuerzo de diseño y carga máxima lo determina la resistencia de los materiales ensayados y como es de esperarse el análisis se basa en la más crítica, es decir, los materiales que presentan los mayores esfuerzos a tensión y compresión para cada prueba respectivamente según sean los materiales elegidos para las pruebas.

4.2.1. SELECCIÓN DE LA PROBETA

4.2.1.1. PRUEBA DE TENSIÓN.

De las normas UNE⁴ se selecciona la probeta para la prueba de tensión mostrada en la figura 4.3 y tabla 4.2.

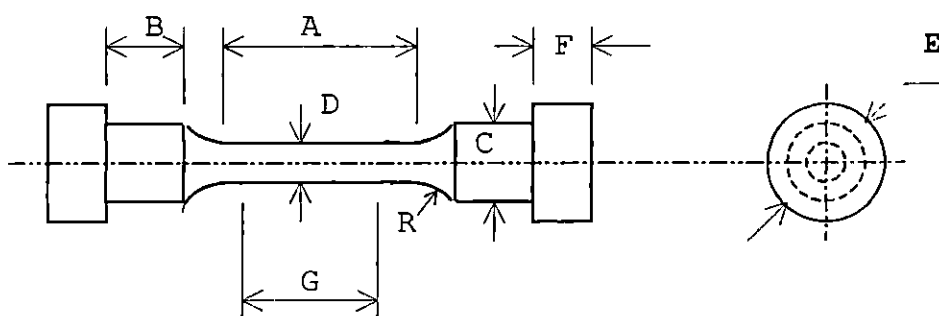


Figura 4.3. Dimensiones de la probeta para la prueba de tensión.

COD.	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN (mm)
A	Longitud de sección reducida	30.0
B	Longitud de prolongación	10.0
C	Diámetro de la longitud de prolongación	8.0
D	Diámetro nominal	5.0
E	Diámetro del agarre	12.0
F	Longitud del agarre	5.0
G	Tramo de calibración	25.0 ± 0.25
R	Radio de entalle	2.0

Tabla 4.2. Dimensiones de la probeta para la prueba de tensión.

⁴ Ref. 18

NOTAS SOBRE LA PROBETA:

- La longitud de sección reducida (A), el tramo de calibración (G), y el diámetro (D) de la probeta son las dimensiones normalizadas por la norma UNE.
- Las dimensiones y la forma de agarre (E y F) pueden ajustarse a los requerimientos de las mordazas en la máquina.
- Si es necesario, la longitud de sección reducida (A) puede aumentarse o modificarse adecuadamente (por lo que surge la dimensión B) con el objeto de acomodar adecuadamente el elemento medidor de deformación en el tramo de calibración.

4.2.1.2. PRUEBA DE COMPRESIÓN.

Tomando en cuenta los requerimientos de las normas ASTM para probetas cilíndricas cortas ($L=3D$). Con la probeta tipo corta el problema de pandeo se disminuye (no se garantiza que no aparezca en algunas situaciones). Por lo que se recomienda, que la probeta de compresión tenga un diámetro de 10 mm. y 30mm. de largo. Así se cumplen los requisitos de la ASTM y se economiza material.

Se probarán probetas de otras dimensiones siempre y cuando se tenga en cuenta que la longitud máxima no exceda los 60 mm y la Fuerza de compresión no sobrepase las 5 toneladas (Fuerza límite de diseño).

Como recomendación a continuación se presentan las tablas 4.3a y 4.3b. En las cuales se proponen diámetros y longitudes máximas para distintos tipos de materiales. Con las dimensiones presentadas en dichas tablas se pretende evitar el pandeo.

MATERIAL	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN MPa (psi)	DIAMETRO MAXIMO mm.	LONGITUD mm.
Bronce Duro	316.828 (45940)	11.8	35.5
Hierro fundido	751.724 (109000)	7.7	23.0
Aluminio	441.407 (64004)	10.0	30.1
Cobre duro	344.828 (50000)	11.3	34.0
Cobre blando	220.690 (32000)	14.2	42.5
Bronce grafitado	274.648 (39824)	12.7	38.1
Latón naval	500.255 (72537)	9.8	28.2

Tabla 4.3a. Probetas a compresión para materiales metálicos no ferrosos

MATERIAL	RESISTENCIA MPa (psi)	DIAMETRO mm	LONGITUD mm
Dentina natural	296552 (43000)	12.2	36.6
Esmalte natural	400000 (58000)	10.6	31.6
Amalgama dental	396551 (57500)	10.6	31.7
Ceramigola ¹	10000 (1450)	66.6	60.0
Hi-temp ¹	10000 (1450)	66.6	60.0
Cera-fina ¹	4000 (580)	105.2	60.0
Plásticos compuestos	234483 (34000)	13.7	41.2
Plásticos acrílicos Resina fenólica	96551 (14000) 189655 (27500)	21.4 15.3	60.0 45.9
Poliuretano	137931 (20000)	17.9	53.8

¹Ver ANEXO 8

Tabla 4.3b. Probetas a compresión para otros materiales



Como se observa en la tabla 4.3 las dimensiones de las probetas no son uniformes, esto como resultado de la marcada diferencia del esfuerzo necesario para hacer fallar un material de una naturaleza determinada (por ejemplo metales) con respecto a otros de diferente naturaleza (como plásticos o cerámicos).

4.3. CARGA DE DISEÑO.

El método para determinar la carga de diseño con la cual se analizan los elementos de la máquina consiste en determinar el material que presente la mayor resistencia a la cedencia y/o ruptura.

Sabiendo que el ensayo de tensión se aplicará a metales (ferrosos y no ferrosos) y la prueba de compresión a diferentes materiales (plásticos, cerámicos y algunos metales no ferrosos) se debe analizar el material que resista más y genere los mayores esfuerzos en la máquina, y determinar así por medios matemáticos la carga de diseño que se busca, teniendo en cuenta la aplicación de un factor de sobrecarga.

4.3.1. CARGA REAL EN LA PRUEBA DE TENSIÓN.

De investigaciones realizadas en el mercado nacional se pudo conocer que una de las empresas distribuidoras de acero (ABASTEINSA) comercializa el acero 4140 bonificado a 650°C (ANEXO 1) presentando una resistencia a la tracción en estado de suministro de 171 Kpsi como límite máximo.

Por otra parte, de investigaciones bibliográficas⁵ se pudo conocer que el acero 4140 con tratamiento térmico de templado en aceite y revenido a 200°C, presenta una resistencia última de 257 Kpsi.

Con el objeto de seleccionar el material crítico para el análisis se elige como esfuerzo de trabajo el último mencionado, es decir:

$$\sigma_T = 257 \text{ Kpsi} \equiv 1772.66 \text{ MPa}$$

El diámetro crítico de la probeta es:

$$D_p = 5 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

⁵ Ref. 13

$$\therefore A_p = \pi D_p^2 / 4 = 1.96 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

La fuerza necesaria para que falle la probeta es:

$$\sigma_T = F/A_p \Rightarrow F = \sigma_T * A_p \Rightarrow \mathbf{F=43.74 \text{ kN.}}$$

Transformando la Fuerza a Toneladas:

$$\mathbf{F = 3.54 \text{ Ton.}}$$

4.3.2. CARGA REAL EN LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.

Al observar la tabla 4.3 se puede determinar el material que presenta una mayor resistencia a fallar, éste es el hierro fundido que presenta un esfuerzo último a la compresión de 109 Kpsi. Por lo que éste se elige como esfuerzo de trabajo:

$$\sigma_T = 109 \text{ Kpsi} \approx 751.53 \text{ MPa}$$

De la misma tabla se puede observar que el diámetro de la probeta es:

$$D_p = 7.7 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

$$\therefore A_p = \frac{\pi D_p^2}{4} = 4.66 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

La fuerza necesaria para que falle la probeta a compresión es:

$$\sigma_T = F/A_p \Rightarrow F = \sigma_T * A_p \Rightarrow \mathbf{F=35.02 \text{ kN.}}$$

Transformando la Fuerza a Toneladas:

$$\mathbf{F = 3.57 \text{ Ton.}}$$

Del análisis realizado en los dos apartados anteriores se pudo determinar que la carga de trabajo crítica es la presentada por la probeta de compresión (3.57 Ton).

Aplicando un factor de sobrecarga de 1.4 se obtiene la carga de diseño:

$$\mathbf{F_d = 5 \text{ Ton.}}$$

NOTA: El factor de sobrecarga involucra los posibles sobreesfuerzos que pudieran generarse durante el ensayo y toma en cuenta el peso de algunos elementos sobre otros.

4.4. EQUIPO PARA LA APLICACIÓN DE LA CARGA.

El equipo a utilizar consiste en los dispositivos necesarios para generar la presión y el movimiento que se requiere en la máquina.

A continuación se da una lista del equipo requerido:

- 1) Un cilindro hidráulico: es el dispositivo que se conecta a un elemento de la máquina con el objeto de generar el movimiento y la fuerza que se desea para ensayar las probetas ya sea a tensión o a compresión.
- 2) Una bomba hidráulica: es el dispositivo encargado de generar la presión necesaria para que el cilindro hidráulico cumpla su objetivo eficazmente.
- 3) Una manguera de alta presión: es el elemento encargado de transportar el aceite a alta presión desde la bomba hasta el cilindro hidráulico.
- 4) Un manómetro: es el elemento encargado de medir la presión de aceite generada por la bomba y poder conocer con esta, la fuerza aplicada a la probeta.
- 5) Un adaptador de manómetro: es el dispositivo que se conecta de forma conveniente en el recorrido del aceite a alta presión (comúnmente entre la salida de la bomba y la entrada de la manguera de alta presión).

NOTA: Los dispositivos anteriormente mencionados se muestran en la figura 4.4.

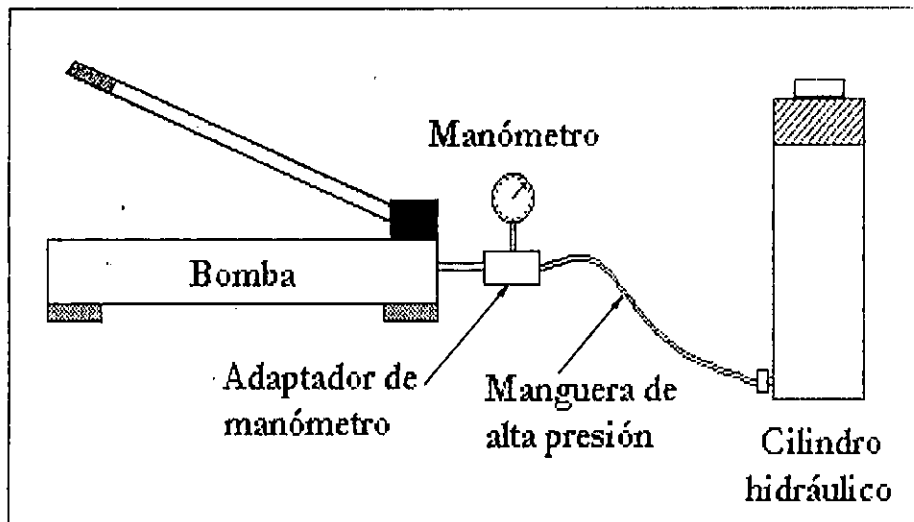


Figura 4.4. Sistema hidráulico de la máquina de pruebas de tensión.

4.5. SELECCIÓN DEL EQUIPO.

El equipo que usará la máquina será de la firma (marca) ENERPAC⁶, ya que este posee una buena calidad y un costo aceptable. Con la ayuda del manual para clientes de la ENERPAC, los dispositivos son seleccionados.

4.5.1. CILINDRO HIDRÁULICO.

Conociendo la carga máxima que maneja la máquina ($F = 5$ toneladas) el cilindro hidráulico puede ser seleccionado. Del manual para clientes de la ENERPAC, se reproducen las figuras 4.5, 4.6 y tabla 4.4 siguientes:

⁶ ref. 10

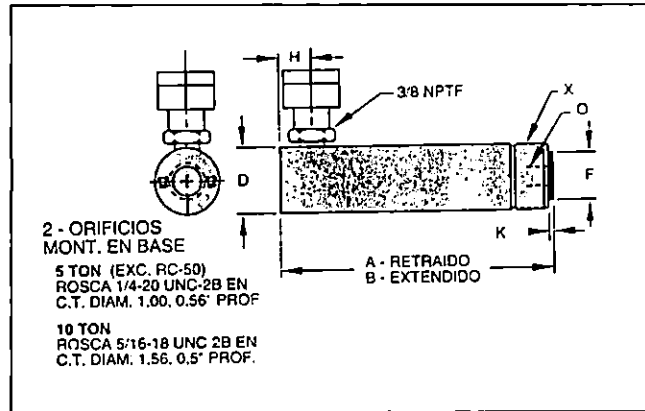


Figura 4.5. Dimensiones de los cilindros hidráulicos.

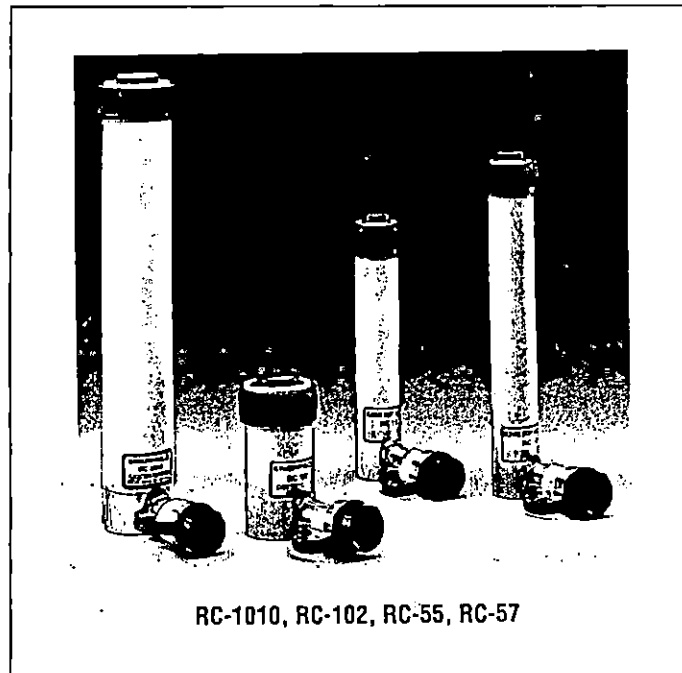


Figura 4.6. Algunos modelos de cilindros hidráulicos.

Modelos N°	Cap. cil. (ton.)	Carrera (pulg.)	Area Efect. cil. (pulg. ²)	Cap. aceite (pulg. ³)	A Alt. ret. (pulg.)	B Alt. ext. (pulg.)	D Diam. ext. (pulg.)	Diam. manga cil. (pulg.)	F Diam. émb. (pulg.)	H Base a abertura de avance (pulg.)	Diam. émb. (pulg.)	K Prof. de silleta desde émb. (pulg.)	O Rosca émb. Int. (pulg.)	Lg. roscas del émb. (pulg.)	Lg. roscas del collar (pulg.)	X Roscas del collar
RC-50	5	0,63	0,99	0,60	1,63	2,25	1,63 x 2,3	11,13	1,00	0,75	-	-	-	-	-	-
RC-51	5	1,00	0,99	1,00	4,34	5,34	1,50	1,13	1,00	0,75	1,00	0,25	½-16	0,56	1,13	1½-16
RC-53	5	3,00	0,99	3,20	6,50	9,50	1,50	1,13	1,00	0,75	1,00	0,25	½-16	0,56	1,13	1½-16
RC-55	5	5,00	0,99	5,20	8,50	13,50	1,50	1,13	1,00	0,75	1,00	0,25	½-16	0,56	1,13	1½-16
RC-57	5	7,00	0,99	7,20	10,75	17,75	1,50	1,13	1,00	0,75	1,00	0,25	½-16	0,63	1,13	1½-16
RC-59	5	9,13	0,99	9,20	12,75	21,88	1,50	1,13	1,00	0,75	1,00	0,25	½-16	0,63	1,13	1½-16
RC-101	10	1,00	2,24	2,20	3,53	4,53	2,25	1,69	1,50	0,75	-	-	-	-	1,06	2½-14
RC-102	10	2,13	2,24	4,80	4,78	6,91	2,25	1,69	1,50	0,75	1,38	0,25	1-8	0,75	1,13	2½-14
RC-104	10	4,13	2,24	9,20	6,75	10,88	2,25	1,69	1,50	0,75	1,38	0,25	1-8	0,75	1,13	2½-14
RC-106	10	6,13	2,24	13,90	9,75	15,88	2,25	1,69	1,50	0,75	1,38	0,25	1-8	0,75	1,13	2½-14
RC-108	10	8,00	2,24	18,00	11,75	19,75	2,25	1,69	1,50	0,75	1,38	0,25	1-8	0,75	1,06	2½-14
RC-1010	10	10,13	2,24	22,90	13,75	23,88	2,25	1,69	1,50	0,75	1,38	0,25	1-8	0,75	1,13	2½-14
RC-1012	10	12,00	2,24	27,00	15,75	27,75	2,25	1,69	1,50	0,75	1,38	0,25	1-8	0,75	1,06	2½-14
RC-1014	10	14,00	2,24	31,50	17,75	31,75	2,25	1,69	1,50	0,75	1,38	0,25	1-8	0,75	1,06	2½-14

Tabla 4.4. Descripción técnica de los modelos de los cilindros hidráulicos.

El modelo del cilindro seleccionado es el RC-55, ya que cumple con las condiciones requeridas y se encuentra en existencia en el mercado (específicamente en OXGASA). Todas las características del cilindro se presentan en la tabla 4.4.

4.5.2. BOMBA HIDRÁULICA.

Todas las bombas hidráulicas de la ENERPAC, son diseñadas para operar a una presión máxima de 10,000 psi. Una forma usual de seleccionar la bomba hidráulica se hace en base al cilindro hidráulico elegido, es decir, a la capacidad de aceite que este presente.

NOTA: La cantidad de aceite a utilizar en la bomba debe ser mucho mayor que el necesario en el cilindro, debido a que el aceite se aloja en la manguera de alta presión. Con el manual para clientes de la ENERPAC, se elige la bomba que cumpla con los requisitos demandados y que exista en el mercado nacional (OXGASA).

Dimensiones (pulgadas)

Modelo N°	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N
P-39	1,28	15,50	1,50	1,38	5,25	22,80	40°	18,25	3/8 NPTF	2,56	4,69	2,13	1,25
P-80	1,00	16,75	1,75	1,19	5,75	23,00	50°	20,75	3/8 NPTF	0,75	6,88	3,75	2,13
P-84	1,00	16,75	1,75	1,19	5,75	28,50	50°	20,75	3/8 NPTF	0,75	6,16	3,75	1,56
P-462	3,13	12,63	3,13	-	12,13	25,31	74°	26,44	3/8 NPTF	3,63	10,63	7,89	-
P-464	3,13	12,63	3,13	-	12,13	25,31	74°	26,44	3/8 NPTF	3,63	10,63	7,89	-

Tabla 4.5. Dimensiones de las bombas hidráulicas.

Tabla de selección

Modelo N°	Velocidad bomba	Clasificación presión máxima (PSI)	Vol. Cap. aceite usable (pulg. ³)	Max. de aceite por carrera (pulg. ³)	Esfuerzo de bomba (lbs.)	Diam. pistón (pulg.)	Carrera pistón (pulg.)	Peso (lbs.)
P-39	Sencilla	10.000	43,00	0,16	111	0,50	0,81	13
P-80	Dns velocidades	1ª etapa	350	140,00	0,99	1,13	1,00	28
		2ª etapa	10.000		0,15				104
P-84	Dns velocidades	1ª etapa	350	140,00	0,99	1,13	1,00	33
		2ª etapa	10.000		0,15				104
P-462	Dns velocidades	1ª etapa	200	462,00	7,69	2,63	1,50	61
		2ª etapa	10.000		0,29				110
P-464	Dns velocidades	1ª etapa	200	462,00	7,69	2,63	1,50	61
		2ª etapa	10.000		0,29				110

Tabla 4.6. Características técnicas de las bombas hidráulicas.

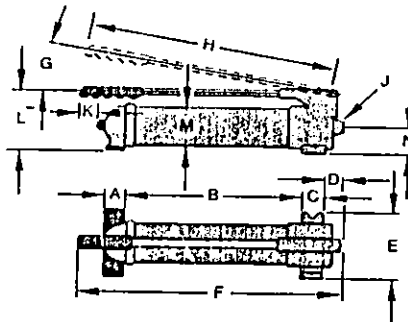
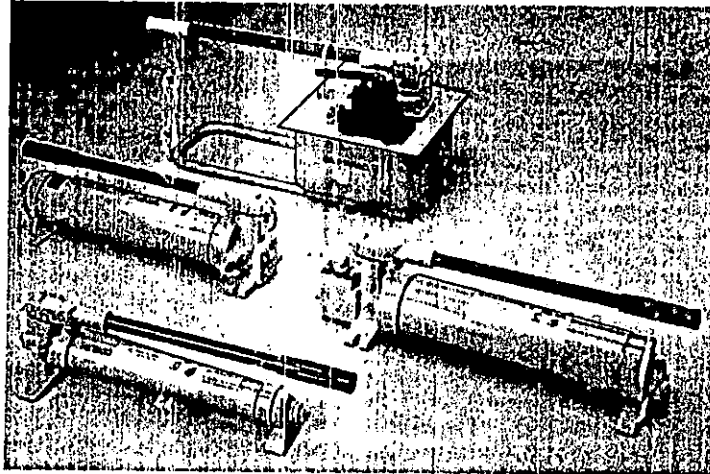


Figura 4.7. Dimensiones de las bombas hidráulicas.



P-39, P-80, P-464, P-84

Figura 4.8. Algunos modelos de bombas hidráulicas.

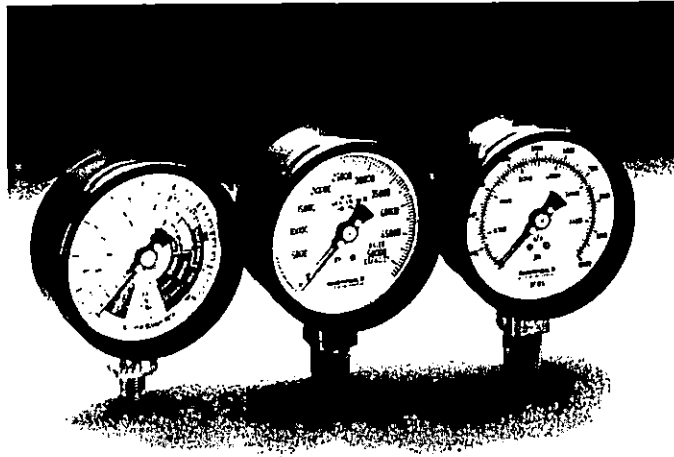
La bomba elegida para utilizarla en la máquina de tensión y compresión es el modelo P-39.

Como puede observarse en la tabla 4.6. la bomba tiene una capacidad de aceite en uso de 43 plg^3 , y el cilindro solo necesita 5.20 plg^3 , por lo que se garantiza una buena elección.

El manual recomienda para este conjunto de bomba y cilindro, una manguera modelo HC-882.

NOTA: *La bomba ya incluye la manguera de alta presión.*

4.5.3. MANÓMETRO HIDRÁULICO.



GF-813S, GF-20S, GP-10S

Figura 4.9. Algunos modelos de manómetros hidráulicos.

Con ayuda del manual para clientes de la ENERPAC, el manómetro elegido (ya que es el que está en el mercado) se muestra en la tabla 4.7.

Tabla de selección

Modelo N°	Usado con cilindros, gatos y prensas	Tipo de manómetro	Cuándo usar	Diam. de la cara del manóm. (pulg.)	Profundidad (pulg.)	Tipo de conexión y rosca	Tipo de adaptador requerido	Calibración	Unidades por división	N° de div.
GF-10S	Todos los cil. de 10 ton.			4,00	2,00	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-20.000 lb	200 lb	100
GF-20L *	Gato JH-20	Manómetros de carga total en libras	Para medir en libras la carga externa que soporta el cilindro o el gato.	4,00	2,00	L-recta ½ NPT	GA-4	0-50.000 lb	500 lb	100
GF-20S	Todos los cil. de 25 ton.		Para presionar piezas en conjunto bajo cargas, pesaje, pruebas, etc ya establecidas.	4,00	2,00	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-50.000 lb	500 lb	100
GF-50S	Cil. RC-502, 506, 5013 RR-5013			4,00	2,00	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-100.000 lb	2.000 lb	50
GF-120	Cil. RCH de 12 ton.			4,00	2,25	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-24.000 lb	200 lb	120
GF-202	Cil. RCH de 20 ton.			4,00	2,25	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-40.000 lb	500 lb	80
GF-230	Cil. RCS-201, 302			4,00	2,25	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-20 ton. 0-30 ton.	1 ton 1 ton	40 60
GF-325	Gato JH-306 Gato JH-506 Gato JH-1006	Manómetros de carga total en ton.	Para medir en libras la carga externa que soporta el cilindro o el gato.	4,00	1,75	Conexión recta ½ NPT	GA-4 (Viene c/manómetro)	0-30 ton. 0-50 ton. 0-100 ton.	0,5 ton 1 ton 2 ton.	60 50 50
GF-350	Gatos hidr. JTA-76, 176, 356		Para presionar piezas en conjunto bajo cargas, pesaje, pruebas, etc ya establecidas.	4,00	2,25	Conexión recta ½ NPT	GA-4 (Viene c/manómetro)	0-7 ton. 0-17 ton. 0-35 ton.	0,2 ton 0,5 ton 1 ton	35 34 35
GF-510	Cil. RCS-502, 1002			4,00	2,25	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-50 ton. 0-100 ton.	1 ton 1 ton	50 50
GF-830-	Gato JHA-356 Gato JHA-756 Gato JHA-1506			4,00	1,25	Conexión recta ½ NPT	GA-4 (Viene c/manómetro)	0-35 ton. 0-75 ton. 0-150 ton.	1 ton 2 ton. 5 ton.	35 38 30
GP-10L *	20 a 100 Ton. Hidr. Gatos de acero, y td. los cil.	Manómetro en libras por pulgada cuadrada	Para medir la presión que entra a los cilindros, gatos o sistemas de alta presión. También para todas las aplicaciones de prueba.	4,00	2,00	L-recta ½ NPT	Ninguno	0-10.000 psi	100 psi	100
GP-10S	Todos los cilindros				4,00	2,00	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-10.000 psi	100 psi	100
GP-15S	Todos los cilindros			4,00	2,63	Conexión recta ½ NPT	GA-1 o GA-2	0-15.000 psi	200 psi	150
GP-200S	Prensa con bastidor en H de 150 a 200 ton.			4,00	2,00	Conexión recta ½ NPT	GA-3	0-10.000 psi 0-150 ton. 0-200 ton.	200 psi 5 ton. 4 ton.	50 30 50

Tabla 4.7. Selección de manómetros hidráulicos.

Se elige el modelo GP-15S que presenta 200 unidades por división, tomando como base la presión máxima de la bomba (10,000 psi).

4.5.4. ADAPTADOR DE MANÓMETRO.

Con ayuda del manual para clientes de la ENERPAC, se escoge el modelo GA-2, cuya forma y características se muestra a continuación (figura 4.10, y tabla 4.8).

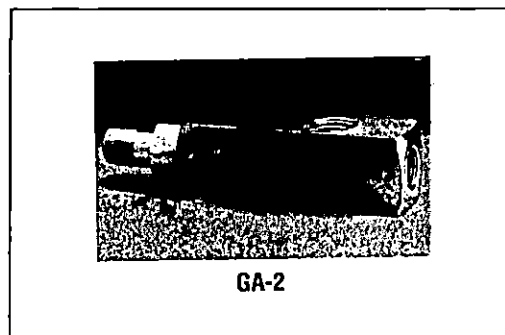


Figura 4.10. Forma del adaptador para manómetro hidráulico.

Tabla de selección				
Modelo N°	Toma para manómetro (NPTF)	Extremo macho (NPTF)	Extremo hembra (NPTF)	Largo (pulg.)
GA-1	½	¾		2,81
GA-2	½	¾	¾	5,50
GA-3	¾	¾		5,25
GA-4	¾	¾		4,38

Tabla 4.8. Características de los adaptadores de los manómetros hidráulicos.

4.6 DISEÑO DE ELEMENTOS.

4.6.1. DISEÑO DE BARRAS DE ACOUPLE DE SOPORTES.

CONSIDERACIONES:

- ♣ Se sabe que las barras trabajan a tensión (carga axial).
- ♣ Se asumirá diámetro (D) de la barra.
- ♣ Se busca material de la barra.
- ♣ Debido a la rigidez de las barras se despreciará las deformaciones elásticas.
- ♣ Ya que la frecuencia de ensayos es baja, se descarta la fatiga en las barras.
- ♣ Se desprecia la descentralización de las barras y la probeta.

El análisis para la selección del material de la barra se hará, basándose en la parte más crítica de la barra, es decir, el cambio de sección; posteriormente se seleccionará el tipo de rosca y tuerca y se comparará si ésta es la adecuada dependiendo de la carga que resista sin fallar.

Para el diseño de las barras de acople es necesario conocer algunos factores importantes con lo son (ver figura 4.11):

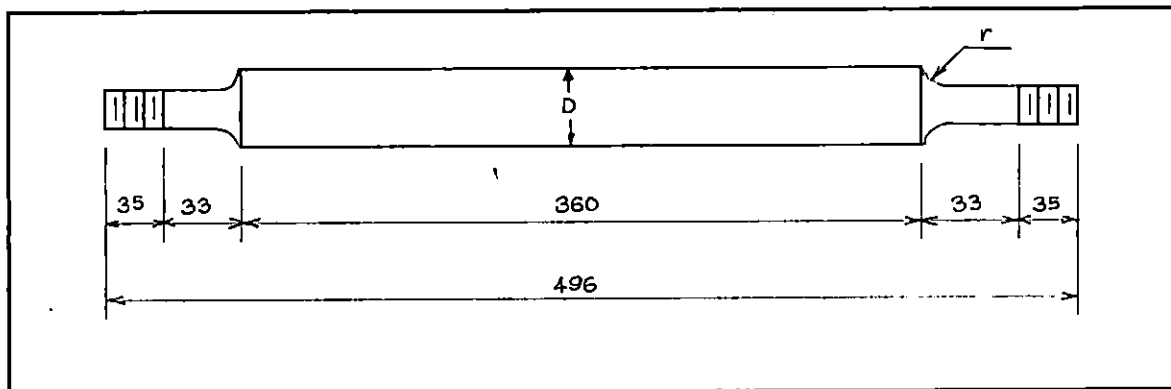


Figura 4.11. Representación de las dimensiones de las barras de acople (dimensiones en mm).

Debido a que son cuatro barras de acople, la carga máxima que la máquina es capaz de suministrar (5 Ton) se distribuyen uniformemente en cada una de ellas, es decir, la fuerza que soporta cada barra es:

$$F = 5 \text{ Ton}/4 = 1.25 \text{ Ton.} \equiv 12,238 \text{ N.}$$

Parámetros asumidos:

$$D = 25 \text{ mm} = 25 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$d = 20 \text{ mm} = 20 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r = 0.8 \text{ mm} = 0.8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Donde :

D : diámetro mayor de la barra.

d : diámetro menor de la barra.

r : radio de entalle del cambio de sección de la barra.

NOTA: Los parámetros asumidos (D, d y r) fueron seleccionados tomando en cuenta las recomendaciones de las normas, las que mencionan que la máquina debe ser altamente rígida para evitar deformaciones en sus elementos y evitar errores en la prueba, además de atenuar los concentradores de esfuerzos en los elementos (en el caso de r).

4.6.1.2. ANÁLISIS ESTÁTICO.

El esfuerzo de diseño buscado se representa así:

$$\sigma_d = K_t \cdot \sigma_{nom.}$$

Ec. 4.1

Donde: σ_d = esfuerzo de diseño

K_t = factor de concentración de esfuerzos a tensión.

σ_{nom} = esfuerzo nominal que soporta el material.

Sabiendo que se necesita:

$$D / d = 25 \times 10^{-3} / 20 \times 10^{-3} = 1.25$$

$$R / d = 0.8 \times 10^{-3} / 20 \times 10^{-3} = 0.04$$

Con ayuda de la figura 4.12⁷, se encuentra el factor de concentración de esfuerzos, el cual es: $K_t = 2.33$.

El esfuerzo nominal para una barra circular se define como:

$$\begin{aligned}\sigma_{nom} &= F / A = 4.F / (\pi.d^2) \\ &= 4 (12,238) / (\pi (20 \times 10^{-3})^2)\end{aligned}$$

$$\sigma_{nom} = 38.95 \text{ Mpa.}$$

Con la ecuación 4.1, se conoce el esfuerzo de diseño:

$$\sigma_d = K_t \cdot \sigma_{nom} .$$

$$\sigma_d = (2.33)(38.95)$$

$$\sigma_d = 90.76 \text{ Mpa. (9.26 Kg/mm}^2\text{).}$$

⁷ Figura obtenida de referencia 14.

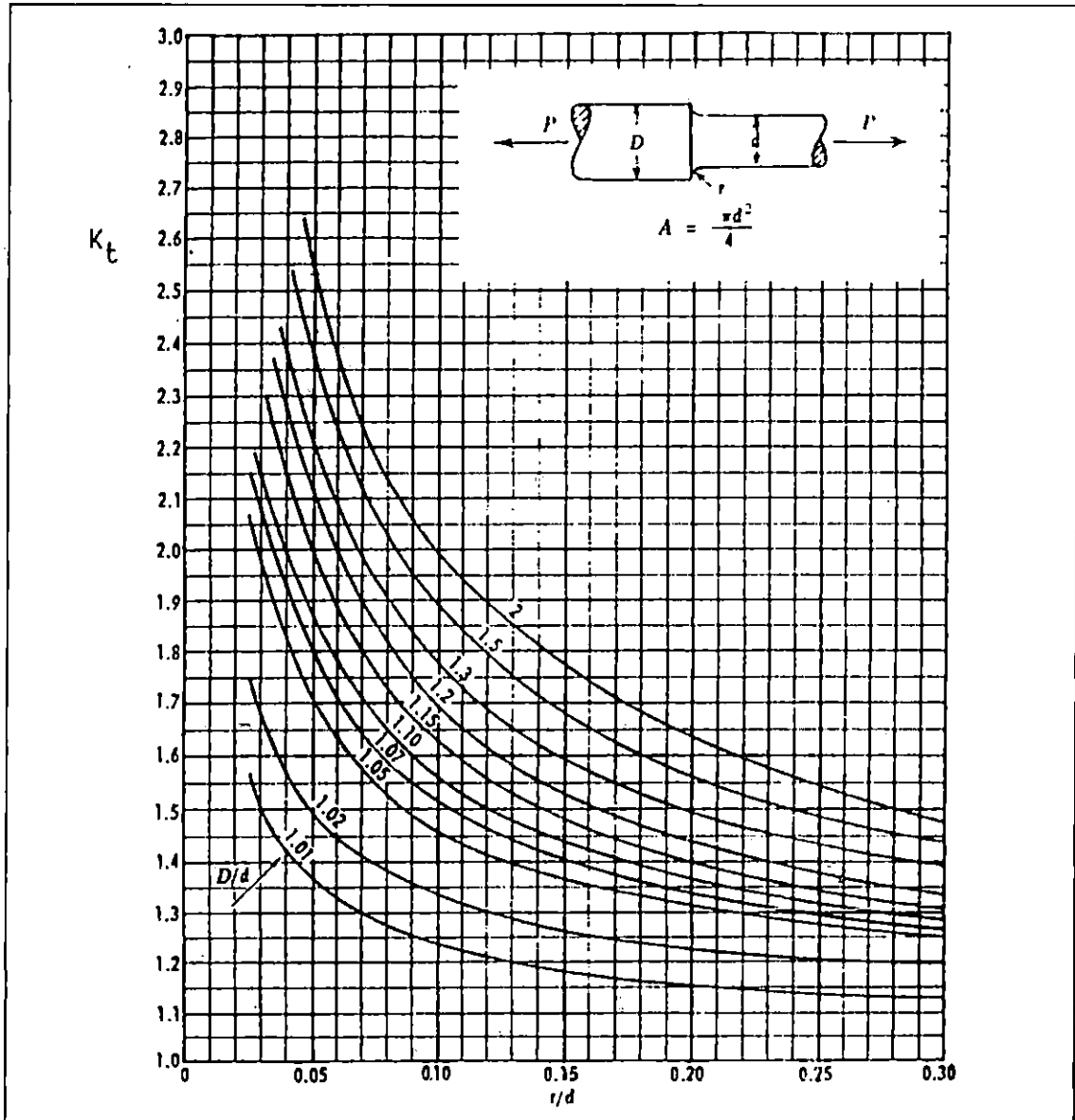


Figura 4.12. Factor de concentración de esfuerzos " K_t " para eje con filete con carga axial.

Con el esfuerzo de diseño y tabla de aceros de ABASTEINSA (anexo 1) se elige el material de la barra.

El material que cumple con el esfuerzo de diseño es un "acero 1020 normalizado", que presenta una resistencia de fluencia a la tensión de 23 Kg/mm^2 , es decir, de 225.40 MPa.

4.6.1.3. SELECCIÓN DE LA ROSCA.

Debe tenerse en cuenta que las cargas que soportarán las barras de acople son relativamente altas por lo que los diseñadores recomiendan una rosca milimétrica fina.

Sabiendo que el diámetro mayor de la rosca (d) es de 20 mm se selecciona del anexo 2 las características de la rosca deseada.

Las características de la rosca seleccionada son las siguientes:

- Diámetro mayor nominal $d = 20$ mm.
- Paso de la rosca $p = 1.5$ mm.
- Area de esfuerzo de tensión $A_t = 272 \text{ mm}^2 = 272 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

La rosca elegida se expresa técnicamente de las siguientes manera:

M20x1.5 (derecha).

Donde:

- M20 : indica que es una rosca milimétrica con diámetro mayor nominal de 20
- 1.5 : indica el paso (distancia entre crestas de los hilos de la rosca adyacente) en milímetros.

Una vez seleccionado el tipo de rosca para los extremos de las barras de acople, se elige el tipo de tuerca a ocupar.

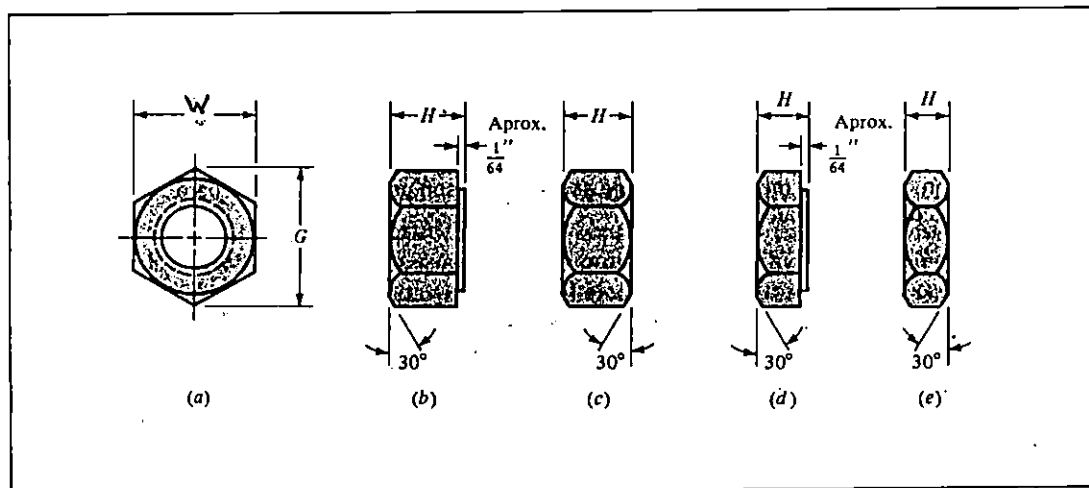


Figura 4.13. Tuercas hexagonales: a) vista de extremo general; b) Tuerca regular con resalto de arandela; c) tuerca regular biselada en ambos lados; d) tuerca de seguridad con resalto de arandela; e) tuerca de seguridad biselada en ambos lados.

Con ayuda de la figura 4.13, y el anexo 3, se escoge la tuerca hexagonal regular con resalto de arandela (4.13b), con las siguientes características:

- Tamaño nominal = M20 = 20 mm
- Ancho W = 30 mm
- Altura H = 18 mm
- Paso P = 1.5 mm

La tuerca será del mismo material del tornillo (acero 1020 normalizado).

El diámetro del resalto de arandela será de 28 mm.

4.6.1.4. CARGA DE APRIETE DE LA ROSCA.

Como ya se sabe, para el montaje de piezas atornilladas (en este caso tuerca y barra de acople roscada en sus extremos) es necesario aplicar una precarga para asegurar la rigidez del sistema⁸; la precarga (F_i) se calcula como:

$$F_i = K \cdot A_t \cdot \delta_p \quad \text{Ec. 4.2.}$$

Donde:

A_t = área de esfuerzo a tensión (de anexo 2, $A_t = 272 \text{ mm}^2 = 272 \times 10^{-6} \text{ m}^2$).

δ_p = Resistencia permisible a la tensión $\approx 0.85 \delta_y$ (δ_y es el esfuerzo de fluencia del material seleccionado, es decir acero 1020 normalizado con un $\delta_y = 225.17 \text{ MPa} = 23 \text{ Kg/mm}^2$).

K = constante de aplicación para sistemas desmontables (K = 0.75).

La ecuación 4.2, queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} F_i &= K \cdot A_t (0.85 \cdot \delta_y) \\ &= (0.75)(272 \times 10^{-6})(0.85)(225.17 \times 10^6) \\ F_i &= 39.04 \text{ KN} \end{aligned}$$

⁸ Referencia 13, pag. 395, ecuación 8-25 y 8-26.

4.6.1.5. CARGA MÁXIMA QUE SOPORTA LA ROSCA.

La carga máxima (P) que soporta la rosca, viene dada por⁹:

$$P = (\delta_p \cdot A_t - F_i) / n \cdot c \quad \text{Ec. 4.3.}$$

Donde:

c = constante de la unión.

n = factor de carga (cuando n=1 la carga es crítica)

La constante de la unión se define como¹⁰:

$$c = K_b / (K_b + K_m) \quad \text{Ec. 4.4.}$$

Donde:

K_b : rigidez efectiva estimada del tornillo en la zona de sujeción.

K_m : depende del factor de rigidez de los elementos sujetadores entre el tornillo y la tuerca.

$$K_b = A_d \cdot A_t \cdot E / (A_d \cdot L_t + A_t \cdot L_d) \quad \text{Ec. 4.5.}^{11}$$

$$K_m = 1 / (1/K_1 + 1/K_2 + 1/K_3 + \dots) \quad \text{Ec. 4.6.}^{12}$$

Donde:

A_t : área transversal del esfuerzo de tensión.

L_t : longitud de la porción roscada del agarre.

A_d : área transversal del diámetro mayor del sujetador.

L_d : longitud de la porción no roscada del sujetador.

K₁, K₂, K₃,...: factores de rigidez de los elementos sujetos entre el tornillo y la tuerca.

⁹ Referencia 13, pag. 393, ecuación 8-23.

¹⁰ Referencia 13, pag. 393, ecuación 8-21.

¹¹ Referencia 13, pag. 381 y 382, ecuación 8-11

¹² Referencia 13, pag. 382, ecuación 8-12

A continuación se analizará la rosca de la barra del acople (figura 4.11). Se sabe que:

$$\begin{aligned}A_d &= \pi \cdot d^2 / 4 \\ &= \pi (20 \times 10^{-3})^2 / 4 \\ A_d &= 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ L_t &= 35 \times 10^{-3} \text{ m} \\ L_d &= 33 \times 10^{-3} \text{ m}\end{aligned}$$

De anexo 2, $A_t = 272 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

Para los aceros el módulo de elasticidad (E) es: $E = 200 \text{ GPa}$. (anexo 4).

Sustituyendo valores en la ecuación 4.5, se tiene:

$$\begin{aligned}K_b &= A_d \cdot A_t \cdot E / (A_d \cdot L_t + A_t \cdot L_d) \\ &= [(3.14 \times 10^{-4})(272 \times 10^{-6})(200 \times 10^9)] / [(3.14 \times 10^{-4})(35 \times 10^{-3}) + (272 \times 10^{-6})(33 \times 10^{-3})] \\ K_b &= 855.53 \text{ MN/m}\end{aligned}$$

Debe tomarse en cuenta que el elemento que sujetará el tornillo y tuerca solo es uno en cada extremo (placa fija superior o placa fija inferior, arriba o abajo respectivamente), por lo que la ecuación 4.6, se modifica de la siguiente forma:

$$K_m = 1/(1/K_1) \Rightarrow K_m = K_1 \quad \text{Ec. 4.7.}$$

Para calcular la rigidez del material sujetado se usa el método del cono¹³, llegando a una ecuación de la forma siguiente:

$$K_t = 0.577 \cdot \pi \cdot E / \ln((1.15t + D - d)(D + d) / ((1.15t + D + d)(D - d))) \quad \text{Ec. 4.8.}^{14}$$

Donde:

D = diámetro del resalto de arandela de la tuerca.

d = diámetro mayor de la longitud roscada.

t = espesor de la placa sujetada.

¹³ Descrito en referencia 13, pag. 383 y 384.

¹⁴ Referencia 13, pag. 384, ecuación 8-14

Anteriormente se obtuvo:

$$D = 28 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$d = 20 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$t = 38 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$E = 200 \text{ GPa.}$$

Sustituyendo en la ecuación 4.8, se tiene:

$$K_1 = \frac{(0.577)(\pi)(200 \times 10^9)(20 \times 10^{-3})}{\ln \left(\frac{(1.15 \times 38 \times 10^{-3} + 28 \times 10^{-3} - 20 \times 10^{-3})(28 \times 10^{-3} + 20 \times 10^{-3})}{(1.15 \times 38 \times 10^{-3} + 28 \times 10^{-3} + 20 \times 10^{-3})(28 \times 10^{-3} - 20 \times 10^{-3})} \right)}$$

$$K_1 = 5,949.64 \text{ MN/m.}$$

Sabiendo que $K_1 = K_m$ y conociendo K_b , se sustituyen en la ecuación 4.4, y se determina la constante de unión:

$$C = K_b / (K_b + K_m)$$

$$C = 855.53 / (855.53 + 5949.64)$$

$$C = 0.13$$

Sabiendo que:

$$\delta_p = 0.85\delta_y = 0.85(225.17 \times 10^6) = 191,394,500 \text{ N/m}^2$$

$$A_t = 272 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_i = 39.04 \text{ N}$$

$$n = 1$$

$$C = 0.13$$

Se sustituyen valores en la ecuación 4.3, y se encuentra la carga máxima que soporta el conjunto tornillo–tuerca.

$$P = (\delta_p \cdot A_t - F_i) / n \cdot C$$

$$= ((191,394,500)(272 \times 10^{-6}) - 39.04 \times 10^3) / (1)(0.13)$$

$$P = 100.15 \text{ kN.}$$

Ahora debe tenerse en cuenta que la carga que soporta cada barra de acople es de 12,238 N y la rosca resiste una carga máxima de 100,150 N. Por lo que se puede asegurar que la selección es la correcta.

4.6.1.6. MOMENTO DE TORSIÓN DE APRIETE.

Después de haber considerado que una precarga es muy deseable en uniones roscadas, es necesario considerar como se aplicará ésta precarga para que las piezas desarrollen eficazmente la función para las que han sido diseñados.

Por lo general se utiliza una llave torsiométrica en la cual se indica el momento de torsión necesario para aplicar una precarga determinada.

El torque necesario para aplicar una pre-carga¹⁵ se define como:

$$T = K.F_i.d \quad \text{Ec.4.9}$$

Donde:

T : torque aplicado necesario.

K : coeficiente de función (por lo general 0.2)

F_i : pre-carga a aplicar.

d : diámetro mayor del tornillo.

$$T = 0.2(39.04 \times 10^3)(20 \times 10^{-3})$$

$$T = 156.16 \text{ N-m} \approx 160 \text{ N-m.}$$

NOTA: El torque debe aplicarse en forma cuidadosa (En tramos de carga y alternado entre ambas tuercas) para evitar dañar las piezas que se sujetan.

¹⁵ Referencia 13, pag. 391, ecuación 8-20.

4.6.2. DISEÑO DE BARRAS DESLIZANTES.

CONSIDERACIONES:

- ♣ Se sabe que las barras trabajan a compresión.
- ♣ Se asumirá diámetro mayor de la barra (D).
- ♣ Se busca el material de la barra.
- ♣ Debe tenerse en cuenta que se está trabajando con materiales dúctiles, por lo que la resistencia que ofrece el material en compresión es la misma para tensión.
- ♣ El diámetro nominal del tornillo y rosca interna serán escogidos por los diseñadores.
- ♣ Se despreciará la fricción entre los elementos debido a la lubricación de los mismos.
- ♣ Debido a la rigidez de las barras se despreciará su deformación elástica.
- ♣ Se asumirá buena centralización de los elementos de la máquina.
- ♣ Debido a la naturaleza de la prueba (lenta y discontinua), las barras no se analizarán por fatiga.

El análisis para la selección del material de la barra se hará en dos pasos:

- a) *Por compresión estática.*
- b) *Por pandeo.*

Para el diseño de las barras deslizantes de la máquina es necesario conocer algunos factores importantes como lo son los que se presentan en la figura 4.14.

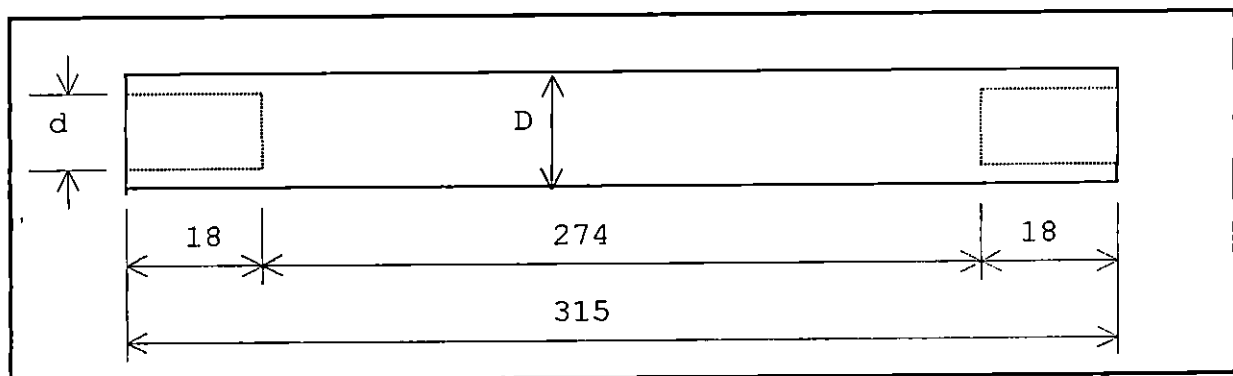


Figura 4.14. Representación de las dimensiones de las barras deslizantes de la máquina
(dimensiones en mm)

$$F = 1.25 \text{ ton.} = 12,238 \text{ N.}$$

$$D = 20 \text{ mm} = 20 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$d = 10 \text{ mm} = 10 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

Donde:

F : es la fuerza máxima que puede aplicar el cilindro hidráulico a una de las 4 barras deslizantes.

D : diámetro de la barra (asumido por los diseñadores tomando en cuenta la recomendación de las normas ASTM en cuanto a la alta rigidez que debe tener la máquina).

d : diámetro nominal para el conjunto rosca-tornillo.

4.6.2.1. ANÁLISIS POR COMPRESIÓN ESTÁTICA.

Para el análisis por compresión estática se usará el área efectiva que en realidad soporta la carga, esta es:

$$A = 0.25 (\pi)(D^2 - d^2)$$

$$A = 0.25 (\pi)[(25 \times 10^{-3})^2 - (10 \times 10^{-3})^2]$$

$$A = 2.36 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

De la definición de esfuerzo:

$$\sigma = F / A$$

$$= 12,238 / 2.36 \times 10^{-4}$$

$$\sigma = 51.94 \text{ Mpa.} \approx (5.30 \text{ Kg/mm}^2)$$

Ya que la resistencia (de fluencia) a la tensión para el acero 1020 (anexo 1), es de 23 Kg/mm^2 (225.40 MPa), se elige este material para las barras de deslizantes de la máquina.

4.6.2.2. ANÁLISIS POR PANDEO.

La figura 4.15, muestra las diferentes formas de pandeo que pueden ocurrir a una columna en compresión dependiendo de la sujeción de los extremos de dicho elemento.

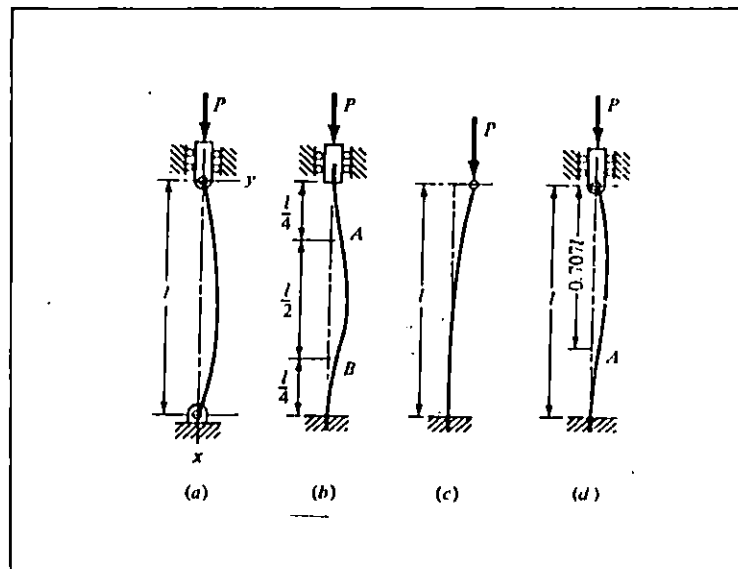


Figura 4.15. (a) Columna con extremos redondeados o articulados; (b) con ambos extremos empotrados; (c) con un extremo libre y otro empotrado; (d) con extremos redondeados y dirigidos, y el otro empotrado.

Para el caso de nuestro sistema, las barras deslizantes de la máquina se sujetan de acuerdo a la figura 4.15b.

Para este sistema la carga crítica que haría fallar al material viene dado por la expresión^a:

$$P_{cr} = 4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I / L^2 \quad \text{Ec. 4.10}$$

Donde:

E : es el módulo de elasticidad para el acero.

I : es el momento de inercia de una barra circular.

L : longitud de la barra (figura 4.14).

^a Referencia 13, pag. 135, ecuación 3-52.

Del anexo 4, se puede observar que para los aceros el módulo de elasticidad es:

$$E = 200 \text{ GPa.}$$

Se sabe que para una barra circular el momento de inercia se define como:

$$I = 0.25 \pi r^4$$

En nuestro caso, el momento de inercia (tomando en cuenta el área de trabajo) será:

$$I = 0.25\pi(R^4 - r^4)$$

Donde:

R: es el radio de la barra. ($R = 10 \text{ mm} = 10 \times 10^{-3} \text{ m}$)

r: radio nominal del conjunto rosca-tornillo ($r = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$)

Sustituyendo "I" en la ecuación 4.10, se tiene:

$$\begin{aligned} P_{\text{cri}} &= \pi^3 \cdot E \cdot (R^4 - r^4) / L^2 \\ &= \pi^3 (200 \times 10^9) [(10 \times 10^{-3})^4 - (5 \times 10^{-3})^4] / (315 \times 10^{-3})^2 \\ P_{\text{cri}} &= 585,908.48 \text{ N (59.79 ton)}. \end{aligned}$$

Se deduce que la carga que puede resistir cada barra de acople de la máquina (59.79 ton.), es mucho mayor que la que se aplica en realidad (1.25 ton.); por lo que se puede concluir que el material seleccionado es correcto.

4.6.2.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE ROSCA (TORNILLO Y TUERCA)

Debe mencionarse que los tornillos usados para la unión, ya sean, de las barras deslizantes con la placa móvil superior (figura 4.16) o con placa móvil inferior (figura 4.17) son utilizados simplemente para mantener ensamblada la estructura móvil de la máquina, ya que la placa móvil superior ejerce una fuerza hacia abajo (de compresión) a las barras deslizantes; y la placa móvil inferior ejerce otra fuerza igual hacia arriba (siempre de compresión) a las mismas, por lo que el tornillo únicamente mantiene unido el sistema y no permite su separación, es decir, el tornillo no soporta más que la pre-carga aplicada.

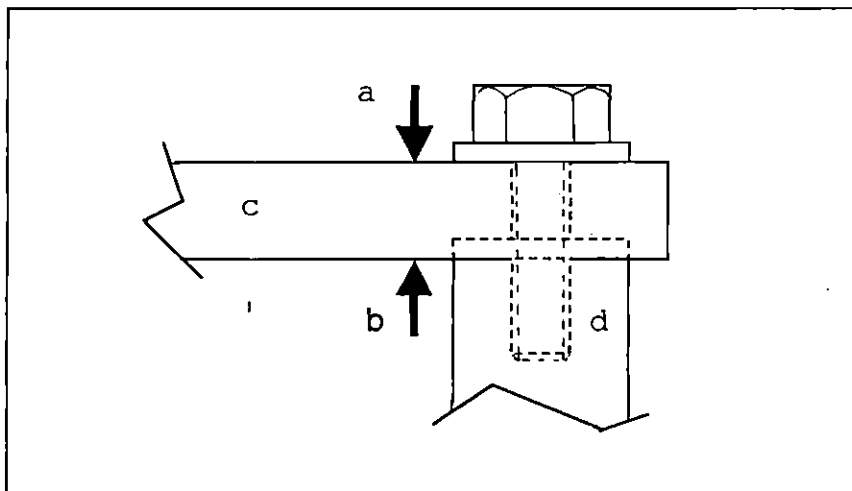


Figura 4.16. Modo de sujeción de la parte superior de las barras deslizantes y la placa móvil superior.

- a) Dirección de la fuerza como efecto de la carga que aplica el cilindro hidráulico al sistema.
- b) Fuerza de reacción que ejercen las barras deslizantes a la placa móvil superior.
- c) Placa móvil superior.
- d) Barra deslizante de la máquina (parte superior).

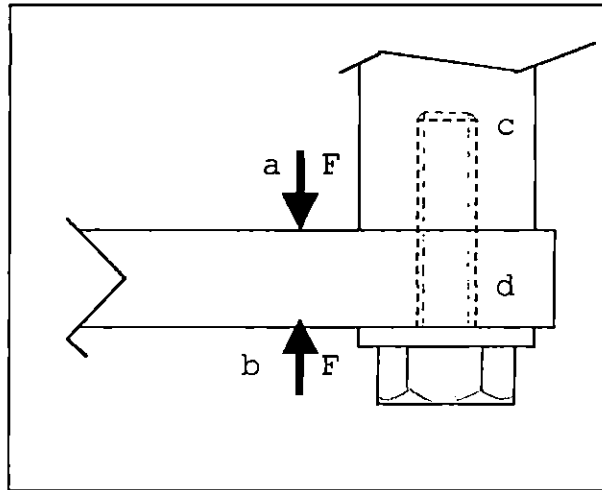


Figura 4.17. Modo de sujeción de la parte inferior de las barras deslizantes de la máquina con la placa móvil inferior, donde:

- a) Fuerza de reacción que ejercen las barras deslizantes de la máquina a la placa móvil inferior.
- b) Dirección de la fuerza como efecto de la carga que aplica el cilindro hidráulico al sistema.
- c) Barra deslizante de la máquina (parte inferior).
- d) Placa móvil inferior (la cual descansa sobre el cilindro hidráulico)

Tanto la rosca interna de las barras deslizantes de la máquina como la rosca externa del tornillo deberán tener las siguientes características:

Rosca M10x1.25 (derecha).

La rosca interna deberá tener una profundidad de 18 mm (figura 4.14).

Los tornillos deberán ser dos (superior e inferior) por cada barra deslizante con la característica presentada en la figura 4.18.

Los tornillos serán del mismo material de las barras deslizantes de la máquina (acero 1020 normalizado).

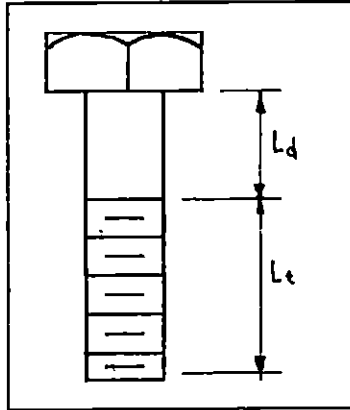


Figura 4.18. Tornillos de sujeción para las barras de acople de la máquina.

Donde: L_d : longitud no roscada.

L_t : longitud roscada.

Características del tornillo: $L_d = 19 \text{ mm.}$
 $L_t = 19 \text{ mm.}$

Para mayor información del tornillo, ver anexos 5 y 6.

4.6.2.4. PRE-CARGA DE LOS TORNILLOS.

Usando la ecuación 4.2, se tiene:

$$F_i = K.A_t.\delta_p$$

Donde:

K : constante de aplicación para sistemas desmontable ($K=0.75$).

A_t : área del tornillo que estará a tensión debido a la pre-carga (de anexo 2, para un diámetro de 10mm, $A_t = 58 \text{ mm}^2 = 58 \times 10^{-6} \text{ m}^2$).

δ_p : resistencia permisible a la tensión del material del tornillo ($\approx 0.85\delta_y$) de anexo 1, $\delta_{y1020} = 23 \text{ Kg/mm}^2 \approx 225.40 \text{ Mpa}$.

Entonces la ecuación 4.2, queda:

$$\begin{aligned}F_i &= K.A_t.(0.85.\delta_y) \\ &= (0.75)(58 \times 10^{-6})(0.85)(225.40 \times 10^6) \\ F_i &= 8,334.17 \text{ N.}\end{aligned}$$

4.6.2.5. MOMENTO DE TORSIÓN DE APRIETE.

El momento de torsión de apriete se define como se muestra en la ecuación 4.9.

$$T = K.F_i.d$$

Donde:

T : Torque aplicado necesario.

K : Coeficiente de fricción (por lo general 0.2).

F_i : Precarga a aplicar

d : Diámetro mayor del tornillo.

$$T = 0.2(8,334.17)(10 \times 10^{-3})$$

$$T = 16.67 \text{ N-m.}$$

NOTA: El torque debe aplicarse cuidadosamente en tramos de carga y alternando en cada tornillo, es secuencia de cruzada.

4.6.3. DISEÑO DE LOS PORTAMORDAZAS.

Los portamordazas son los elementos de la máquina que sujetan en uno de sus extremos a una de las mordazas para la prueba de tensión de materiales.

La figura 4.19 muestra la forma y dimensiones nominales de los portamordazas.

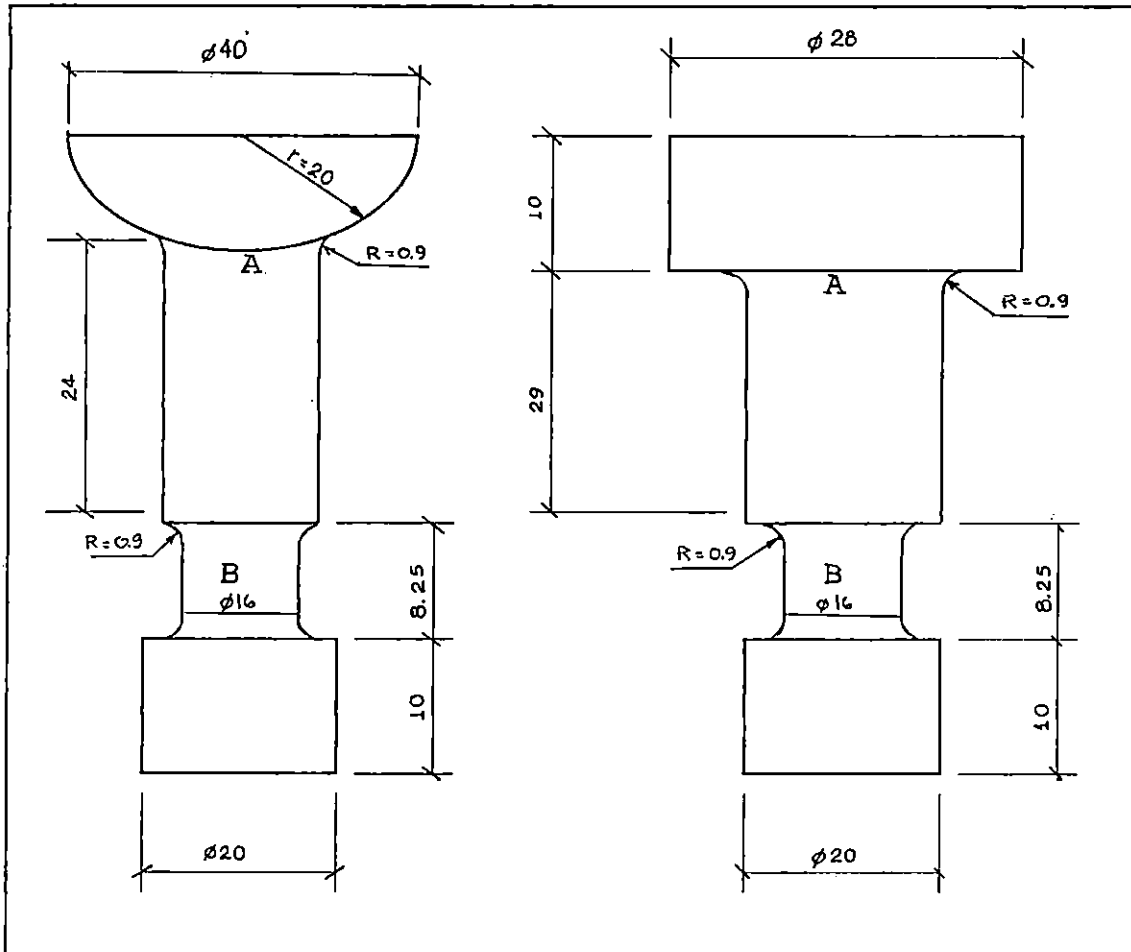


Fig. 4.19. a) Portamordaza superior; b) portamordaza inferior; ambos para la prueba de tensión (cotas en mm.).

Para la selección del material de los portamordazas se deben analizar las partes del elemento donde se produzcan los mayores esfuerzos como resultado de la carga aplicada, es decir:

- Reducción del área de la base A (figura 4.19).
- Reducción del área del brazo B (figura 4.19).

4.6.3.1. PORTAMORDAZA SUPERIOR.

A) Análisis en sección reducida de la base.

Para determinar el esfuerzo generado en la reducción de área de la base del portamordaza, se hará la suposición que no existe la sección semiesférica y se tratará al elemento como un eje de doble sección sometido a tensión.

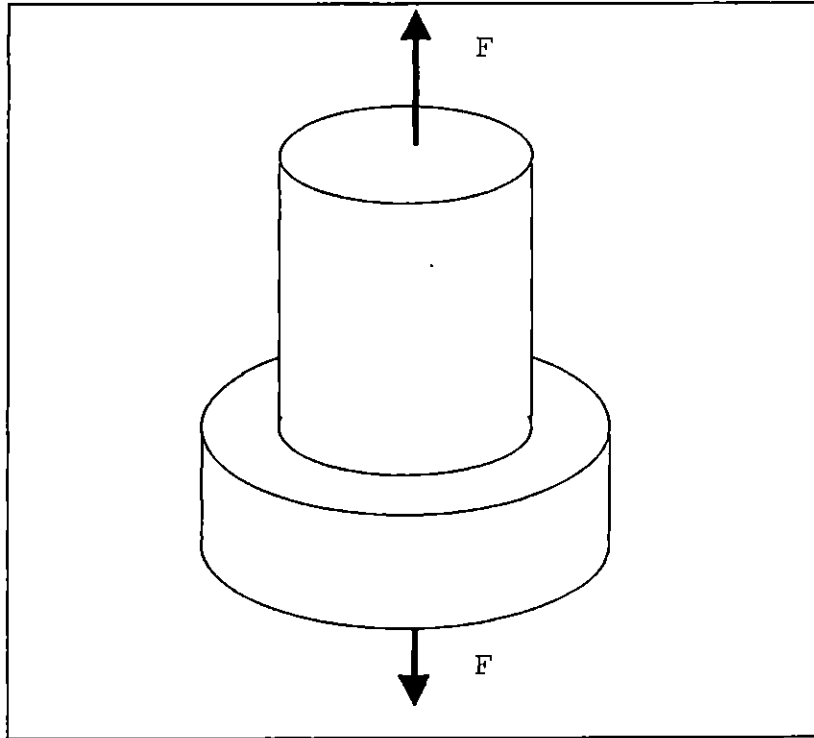


Fig. 4.20. Forma de aplicación de la carga en la sección reducida.

La carga se aplica a la sección reducida como muestra la figura 4.20; analizando esta porción del elemento se tiene:

$$\sigma_A = K_t \cdot \sigma_{nom.} = K_t (4F) / \pi d^2$$

Donde:

σ_A : Esfuerzo de la reducción de área.

K_t : Factor de concentración de esfuerzo a tensión.

F : Fuerza aplicada al elemento.

d : Diámetro menor del elemento(20mm).

D : Diámetro mayor del elemento (30 mm. diámetro medio del asiento semiesférico).

r : Radio de acuerdo.

$$D/d = 30/20 = 1.50$$

$$r/d = 0.9/20 = 0.05$$

Con ayuda de la figura 4.12 se obtiene el factor de concentración de esfuerzo:

$$K_t = 2.37$$

$$\sigma_A = (2.42 \cdot 4 \cdot 49000) / (\pi \cdot 20^2)$$

$$\sigma_A = 369.65 \text{ Mpa.} \approx (37.72 \text{ kg/mm}^2)$$

B) Análisis en la sección reducida del brazo.

La forma en que se aplica la carga en la reducción de área del brazo del portamordaza es como se muestra en la figura 4.20; la ecuación para determinar el esfuerzo generado es la misma utilizada en el análisis anterior (ecuación 4.1).

$$\sigma_B = K_t \cdot \sigma_{nom.} = K_t (4F) / \pi d^2$$

son conocidos:

$$F = 49000 \text{ N}$$

$$d = 16 \text{ mm.}$$

$$D = 20 \text{ mm.}$$

$$r = 0.9 \text{ mm}$$

$$D/d = 20/16 = 1.25$$

$$r/d = 0.9/16 = 0.06$$

Con ayuda de la figura 4.12 se obtiene el factor de concentración de esfuerzo:

$$K_t = 2.05$$

$$\sigma_B = (2.05 \cdot 4 \cdot 49000) / (\pi \cdot 16^2)$$

$$\sigma_B = 499.60 \text{ MPa} \approx (50.98 \text{ kg/mm}^2)$$

De los análisis realizados anteriormente se puede observar que el esfuerzo crítico se produce en la reducción de área del brazo del portamordaza (499.6 MPa o 50.98 kg/mm²) con el cual será seleccionado el material del mismo.

Con ayuda del anexo 1 el material es seleccionado según el esfuerzo menor de fluencia:

Acero 3115 (RECOCIDO).

El cual posee una resistencia a la fluencia es de 55 kg/mm² (539 MPa).

4.6.3.2. PORTAMORDAZA INFERIOR.

A) Análisis en sección reducida de la base.

Para determinar el esfuerzo generado en la reducción de área de la base del portamordaza inferior, se ejecuta el mismo procedimiento seguido para el portamordaza superior.

Datos conocidos:

$$F = 49000 \text{ N.}$$

$$D = 28 \text{ mm.}$$

$$d = 20 \text{ mm.}$$

$$r = 0.9 \text{ mm.}$$

$$D/d = 28/20 = 1.40$$

$$r/d = 0.9/20 = 0.05$$

Con ayuda de la figura 4.12 se obtiene el factor de concentración de esfuerzos:

$$K_t = 2.29$$

Por medio de la ecuación 4.1 el esfuerzo que debe soportar el material del portamordaza inferior se puede conocer:

$$\sigma_A = (2.29 \cdot 4 \cdot 49000) / (\pi \cdot 20^2)$$

$$\sigma_A = 357.18 \text{ Mpa} \quad (36.45 \text{ kg/mm}^2)$$

B) Análisis en la sección reducida del brazo.

Es de mencionar que el análisis realizado en la reducción de área del brazo de portamordaza inferior es exactamente el mismo que para el portamordaza superior en la misma sección, esto debido a que las dimensiones para ambos son iguales. Por lo anterior se puede deducir que se obtendría el mismo esfuerzo en ambos, por lo que el esfuerzo buscado es:

$$\sigma_B = 499.6 \text{ Mpa.} \approx (50.98 \text{ kg/mm}^2)$$

Entonces el material seleccionado en base a éste último esfuerzo (anexo 1):

Acero 3115 (RECOCIDO)

El cual posee una resistencia a la fluencia es de 55 kg/mm^2 (539 MPa).

4.6.4. DISEÑO DEL SUJETADOR DEL PORTAMORDAZAS INFERIOR.

La forma y dimensiones del sujetador del portamordazas inferior se muestra en la figura 4.21.

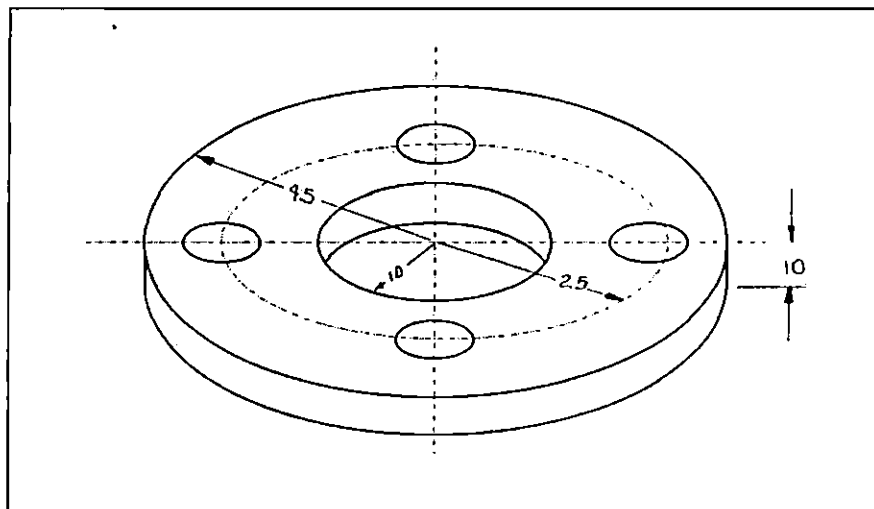


Figura 4.21. Dimensiones del sujetador del portamordazas inferior (cotas en mm).

Puede observarse que la placa es prácticamente un anillo, por lo que se hará el análisis de aplicación de carga en anillos^b. Ya que el sujetador del portamordazas inferior estará sujeto por medio de tornillos a la base de la máquina, el análisis se hará en base a la suposición de que el anillo está empotrado en sus extremos.

NOTA: El elemento en cuestión sirve solamente para mantener en la posición requerida al portamordaza inferior por lo que puede asegurarse que está sometido a una carga distribuida, no sufre rozamiento con ningún otro elemento (ya que está fijo) y por lo tanto no existe desgaste en el mismo.

^b Referencia 4, pag. 585 y 586.

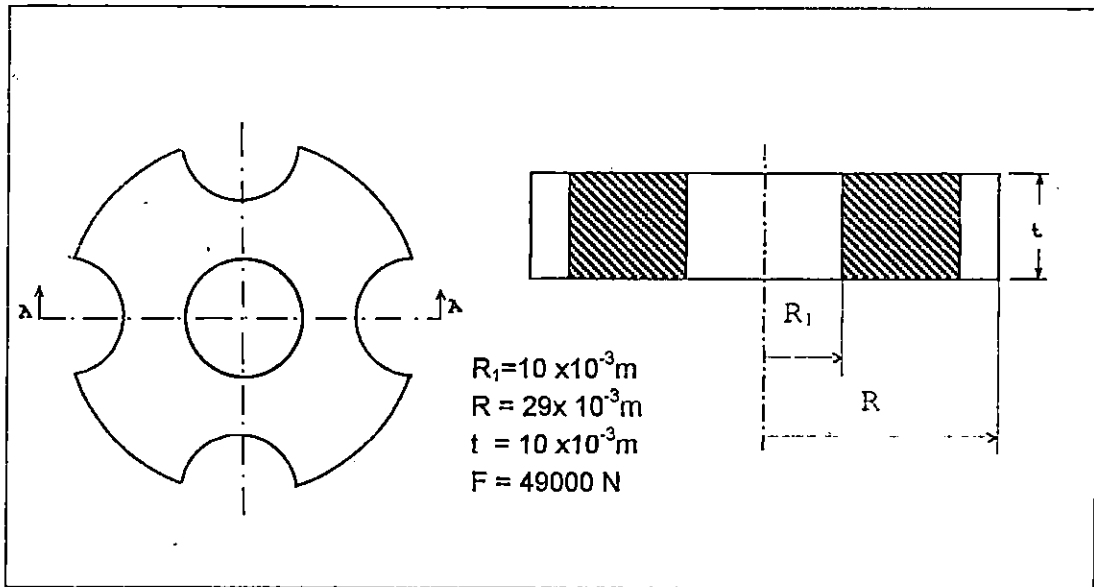


Figura 4.22. a) Area efectiva del cilindro para el diseño; b) radios del anillo interno (R_1) y externo (R), sección A-A.

El esfuerzo máximo para este caso se define como:

$$\sigma_{\max} = (3.F / (2 \cdot \pi \cdot t^2)) \cdot ((R^2 - R_1^2) / R^2) \quad \text{Ec. 4.11.}$$

Aplicando la ecuación anterior, tenemos:

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot (49000)}{(2 \cdot \pi \cdot (10 \times 10^{-3})^2)} \cdot \frac{((29 \times 10^{-3})^2 - (10 \times 10^{-3})^2)}{(29 \times 10^{-3})^2}$$

$$\sigma_{\max} = 206.14 \text{ Mpa. } (21.03 \text{ Kg/mm}^2)$$

Con ayuda del anexo 1, se elige el material que se adecuía a las condiciones requeridas:

Acero 1020 (NORMALIZADO).

El cual presenta una resistencia a la fluencia de $23 \text{ Kg/mm}^2 \approx 225.40 \text{ Mpa}$.

σ_t : esfuerzo de cada tornillo.

F_t : fuerza de tensión aplicada a cada tornillo.

A_t : área de tensión del tornillo.

$$\begin{aligned}\therefore \sigma_t &= 12250/61.2 \times 10^{-6} \\ &= 200.16 \text{ Mpa } (20.42 \text{ Kg/mm}^2).\end{aligned}$$

Con ayuda del anexo 1, se selecciona el material de tornillos:

Acero 1020 (NORMALIZADO).

El cual presenta una resistencia de fluencia de $23 \text{ Kg/mm}^2 \approx 225.40 \text{ Mpa}$.

4.6.4.2. PRECARGA DE CADA TORNILLO (F_i).

La precarga de cada tornillo esta define por la ecuación 4.2.

$$\begin{aligned}F_i &= K.A_t.\delta_p = K.A_t.(0.85\delta_y) \\ &= 0.75(61.2 \times 10^{-6})(0.85)(225.40 \times 10^6)\end{aligned}$$

$$F_i = 8.79 \text{ kN.}$$

4.6.4.3. CARGA QUE SOPORTA LA ROSCA (P).

La carga que soporta la rosca debe ser mayor que la aplicada a cada tornillo. El análisis a aplicar es el mismo desarrollo en el apartado 4.6.1.2.

Se sabe que:

$$D = 14 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$d = 10 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$t = 10 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$E = 200 \text{ GPa.}$$

$$L_d = 8 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$L_t = 22 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$A_t = 61.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2.$$

$$A_d = \pi(10 \times 10^{-3})^2 = 7.85 \times 10^{-5} \text{ m}^2.$$

Recordando:

D : diámetro del resalto de arandela.

d : diámetro nominal del tornillo.

t : espesor de la placa que sujeta los tornillos (sujetador de portamordazas inferior).

L_d : longitud no roscada del tornillo.

L_t : longitud roscada del tornillo.

A_t : área de tensión de la rosca.

A_d : área de la sección no roscada.

E : Módulo de elasticidad para aceros.

De ecuación 4.5:

$$K_d = A_d A_t E / (A_d L_t + A_t L_d).$$

$$K_d = \frac{(7.85 \times 10^{-5})(61.2 \times 10^{-6})(200 \times 10^9)}{(7.85 \times 10^{-5})(22 \times 10^{-3}) + (61.2 \times 10^{-6})(8 \times 10^{-3})}$$

$$K_d = 433.47 \times 10^6$$

De la ecuación 4.7 y la ecuación 4.8, tenemos:

$$K_m = K_1 = \frac{0.577 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{\ln[(1.15t + D - d)(D + d) / (1.15t + D + d)(D - d)]}$$

$$K_m = \frac{0.577\pi (200 \times 10^9)(10 \times 10^{-3})}{\ln \left[\frac{(1.15(10 \times 10^{-3}) + 14 \times 10^{-3} - 10 \times 10^{-3})(14 \times 10^{-3} + 10 \times 10^{-3})}{(1.15(10 \times 10^{-3}) + 14 \times 10^{-3} + 10 \times 10^{-3})(14 \times 10^{-3} - 10 \times 10^{-3})} \right]}$$

$$K_m = 3,764.43 \times 10^6$$

De la ecuación 4.4, tenemos:

$$C = K_b / (K_b + K_m) = \frac{433.47 \times 10^6}{(433.47 \times 10^6 + 3,764.43 \times 10^6)}$$

$$C = 0.10$$

De la ecuación 7.3, tenemos:

$$\begin{aligned} P &= (\delta_p A_t - F_i) / n.C = (0.85 \delta_y A_t - F_i) / n.C \\ &= [(0.85)(225.40 \times 10^6)(61.2 \times 10^{-6}) - 8.79 \times 10^3] / (1(0.1)) \\ P &= 29.35 \text{ kN.} \end{aligned}$$

Puede notarse que la carga que soporta la rosca (29.35 kN) es mucho mayor que la que se aplica en realidad (12.25 kN), por lo que se concluye que el material seleccionado es el adecuado.

4.6.4.4. MOMENTO DE TORSIÓN DE APRIETE.

El momento de torsión de apriete se define como muestra en la ecuación 4.9, en el apartado 4.6.1.5.

$$\begin{aligned} T &= K.F_i.d \\ &= 0.2(8.79 \times 10^3)(10 \times 10^{-3}) \\ T &= 17.58 \text{ N-m.} \end{aligned}$$

NOTA: El torque debe aplicarse cuidadosamente y en orden cruzado. A cada tornillo, debe hacerse en varias pasadas incrementando el torque en cada una hasta llegar al deseado.

4.6.5. DISEÑO DE MORDAZAS PARA PRUEBAS DE TENSION.

Cada mordaza utilizada por la sujeción de la probeta de tensión, estará conformada por tres elementos: dos semicilindros maquinados en su interior y un elemento roscado para la unión de las dos primeras (ver figura 4.24).

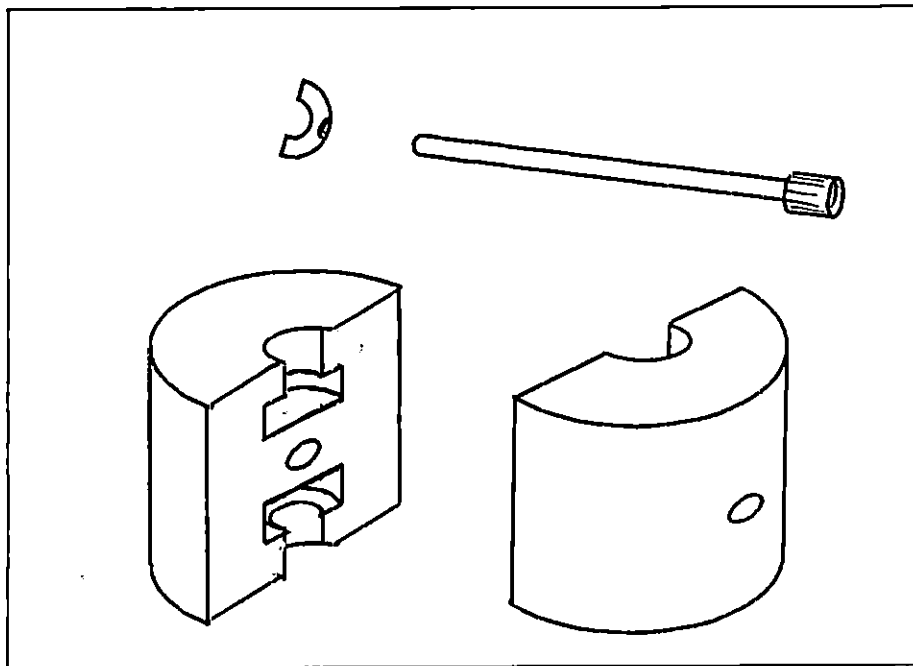


Fig. 4.23. componentes de las mordazas para el ensayo de tensión de materiales.

La mordaza alojará en uno de sus extremos al portamordaza y en el otro la probeta a ensayar.

Una vez armada la mordaza se pretende obtener un cilindro de 40 mm. de diámetro y 45mm de altura.

La figura 4.25. muestra el lado frontal de una porción de la mordaza a diseñar.

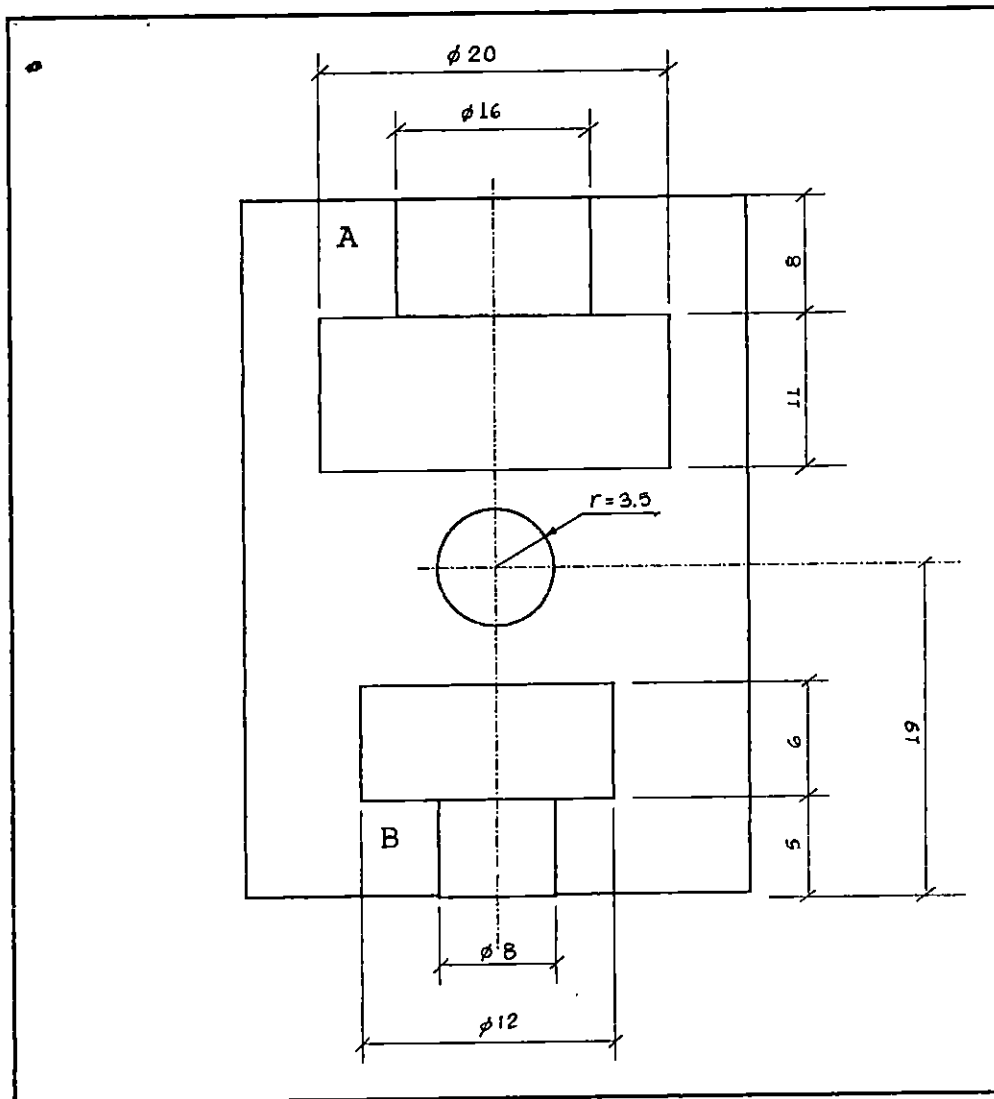


Fig. 4.25. Maquinado interior de una porción de la mordaza a diseñar.

Es de mencionar que el área crítica donde recae toda la carga aplicada por la máquina es en el asiento del portamordaza y en el asiento de la probeta (sección A y B respectivamente, figura 4.25).

Para determinar las fuerzas generadas en las secciones críticas se analizará a cada una como un anillo empotrado en sus extremos y con una carga uniforme distribuida¹⁶ (ver figura 4.26), ya que es una especie de disco sobre el que recae toda la carga aplicada.

¹⁶ Ref. 4, pag. 585 y 586.

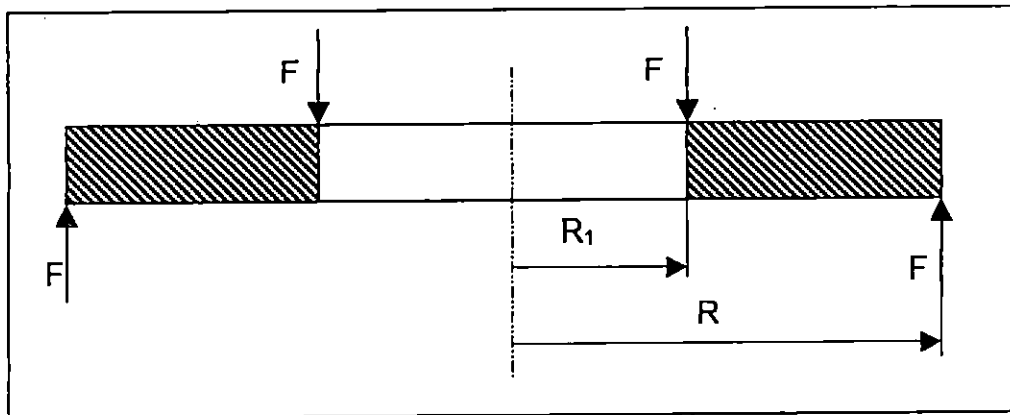


Figura 4.26. Anillo con carga distribuida F alrededor del radio interno.

El esfuerzo generado en un anillo de éste tipo se definió en la ecuación 4.11:

$$\sigma_{\max} = \frac{3F}{2\pi t^2} \left(\frac{R^2 - R_1^2}{R^2} \right)$$

Donde:

F : Carga aplicada al elemento (49000 N).

t : Espesor del anillo.

R : Radio externo del anillo.

R₁ : Radio interno del anillo.

Para la sección donde se aloja el portamordaza (sección A, figura 4.25) se tiene que:

$$R = 10.0 \text{ mm} = 10.0 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

$$R_1 = 8.0 \text{ mm} = 8.0 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

$$t = 8 \text{ mm} = 8 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

El esfuerzo generado es entonces:

$$\sigma_{\max A} = \frac{3(49000)}{2\pi(8 \times 10^{-3})^2} \left(\frac{(10.0 \times 10^{-3})^2 - (8.0 \times 10^{-3})^2}{(10.0 \times 10^{-3})^2} \right)$$

$$\sigma_{\max A} = 131.60 \text{ Mpa. } (13.43 \text{ kg/mm}^2)$$

Ahora analizaremos la sección donde se aloja la cabeza de la probeta (sección B, figura 4.24) se tiene que:

$$R = 6.0 \text{ mm} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

$$R_1 = 4.0 \text{ mm} = 4.0 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

$$t = 5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-3} \text{ mts.}$$

El esfuerzo generado es entonces:

$$\sigma_{\max B} = \frac{3(49000)}{2\pi(5 \times 10^{-3})^2} \left(\frac{(6.0 \times 10^{-3})^2 - (4.0 \times 10^{-3})^2}{(6.0 \times 10^{-3})^2} \right)$$

$$\sigma_{\max B} = 519.91 \text{ Mpa. (53.05 kg/mm}^2\text{)}$$

Habiendo analizado las dos porciones críticas anteriores se puede observar que el mayor esfuerzo se da en la sección B, es decir donde se aloja la probeta, obteniéndose 519.91 MPa. (53.05 kg/mm²).

Con el esfuerzo anterior y el anexo 1, procedemos a seleccionar el material para la mordaza:

Acero 3115 (RECOCIDO)

El cual posee una resistencia de fluencia de 55 kg/mm² ≈ 539 MPa.

4.6.6. DISEÑO DE APOYOS PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN.

4.6.6.1. APOYO SUPERIOR.

El apoyo superior es prácticamente un disco de acero (ver figura 4.27) que posee un resalte en uno de sus extremos con el objeto de facilitar la sujeción del mismo a la parte inferior de la placa fija superior de la máquina.

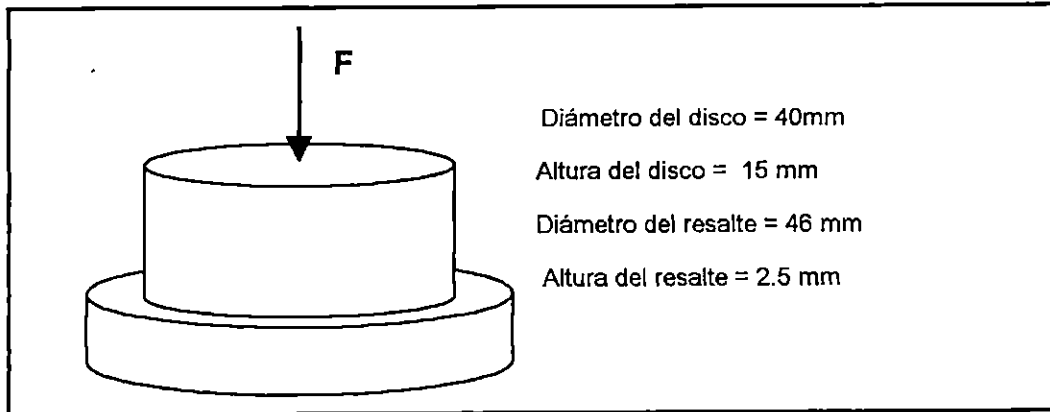


Figura 4.27. Apoyo superior para la prueba de compresión de materiales.

Tanto el apoyo superior como el inferior están sometidos a una carga de empuje (figura 4.27) que ejerce la probeta como reacción a la carga aplicada por la máquina; esta carga puede ascender hasta 49000 N. como máximo.

Debido a que en el diseño se están utilizando materiales dúctiles es de hacer notar que los esfuerzos generados en los elementos debido a una carga de tensión o compresión son similares.

El esfuerzo generado en el elemento debido a la carga de compresión aplicada es:

$$\sigma = F/A = 4F/\pi d^2$$

Donde:

F : Carga aplicada al disco.

d : Diámetro del disco.

$$\sigma = \frac{4(49000)}{\pi(40 \times 10^{-3})^2}$$

$$\sigma = 38.99 \text{ Mpa. } (3.98 \text{ kg/mm}^2)$$

Con ayuda del anexo 1, el material para el apoyo superior es seleccionado:

ACERO 1020 (NORMALIZADO).

Que presenta una resistencia a la fluencia de 23 kg/mm² (225.40 Mpa)

4.4.6.2. SUJETADOR DEL APOYO SUPERIOR.

Este elemento, como su nombre lo indica es utilizado para mantener en su lugar al apoyo superior (unido a la placa fija superior) por medio de tres elementos roscados (pernos).

Es notorio que el elemento en cuestión no soporta ningún tipo de carga (excepto la precarga de los tornillos) por lo que no es necesario aplicar ningún análisis de diseño.

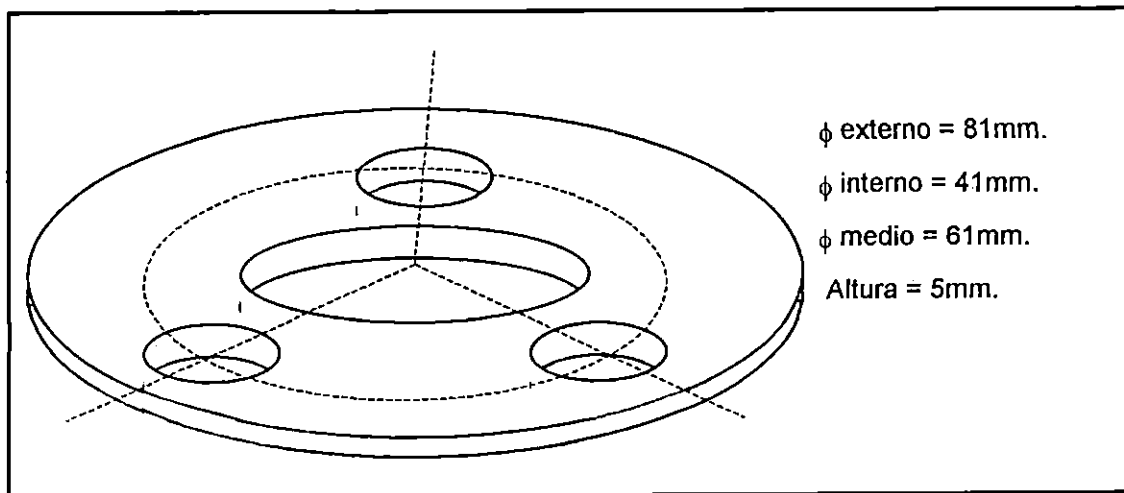


Fig. 4.28. sujetador del apoyo superior.

La figura 4.28 muestra la forma y dimensiones del sujetador de apoyo superior.

4.6.6.2.1. TORNILLOS PARA EL SUJETADOR DEL APOYO SUPERIOR.

En el apartado anterior se menciono que el sujetador del apoyo superior no soporta carga alguna; esto implica que los tornillos no soportan ninguna carga externa, por lo que únicamente se calculara la precarga y el torque para cada uno de éstos.

De ecuación 4.2 se puede conocer la precarga:

$$F_i = K.A_t \delta_p = K.A_t(0.85\delta_y)$$

El material de los tornillos será acero 1020 ($\delta_y = 225.40 \text{ Mpa}$) y sus características se encuentran en la figura 4.29.

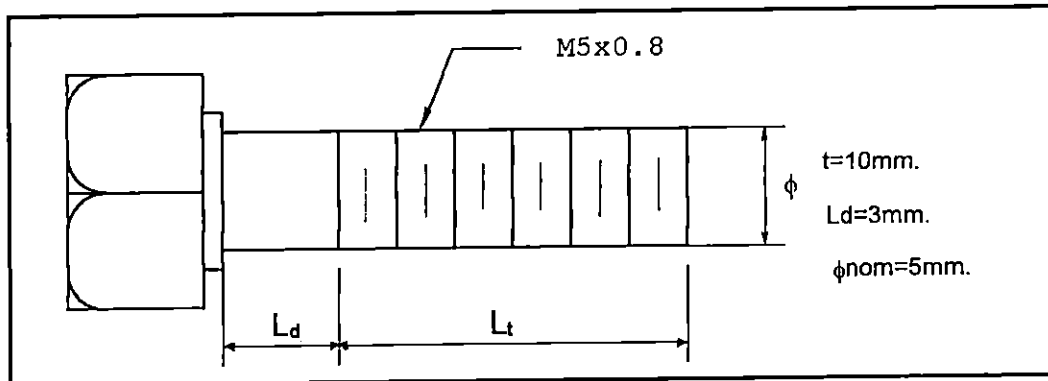


Fig. 4.28. Tornillos para el sujetador de apoyo superior.

Considerando que el sistema es desmontable, $K = 0.75$.

De anexo 2, para $d = 5\text{mm}$:

$$A_t = 14.2 \text{ mm}^2 = 14.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F_i = 0.75(14.2 \times 10^{-6})(0.85)(225.40 \times 10^6)$$

$$F_i = 2.04 \text{ kN.}$$

De acuerdo a la ecuación 4.9:

$$T = k.F_i.d$$

Donde:

K : Coeficiente de fricción (generalmente 0.2).

D : Diámetro nominal del tornillo (5×10^{-3})

Por lo tanto:

$$T = (0.2)(2.04 \times 10^3)(5 \times 10^{-3})$$

$$T = 2.04 \text{ N-m.}$$

NOTA: El torque debe aplicarse lo mas cuidadosamente posible.

4.6.6.3. APOYO INFERIOR.

El apoyo inferior está compuesto por dos elementos:

- ◆ Base de la probeta: Es el elemento donde se apoya la parte inferior de la probeta a ensayar bajo compresión (figura 4.30).
- ◆ Asiento semiesférico: Es el elemento donde descansa la base de la probeta (ver figura 4.31).

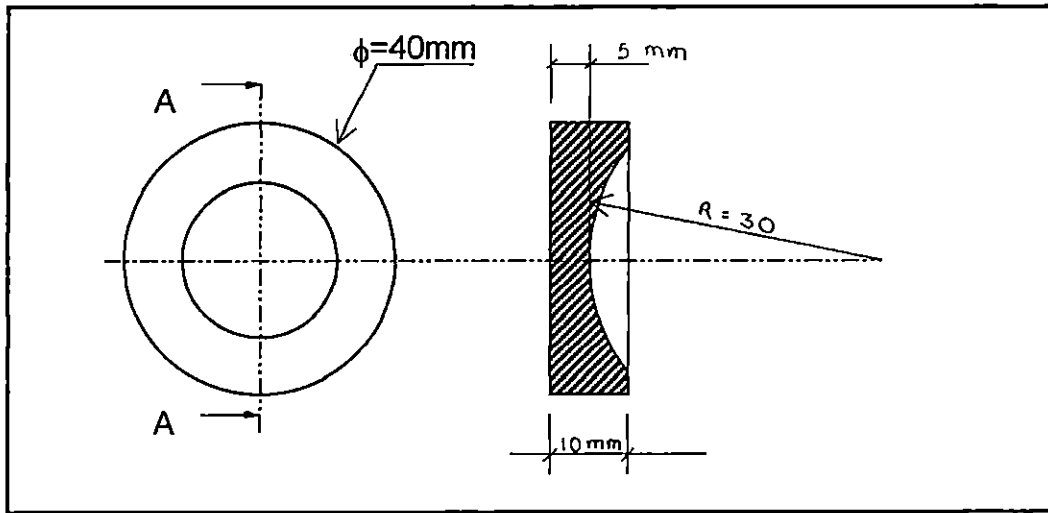


Fig. 4.30. Base de la probeta en el ensayo de compresión (cotas en mm.).

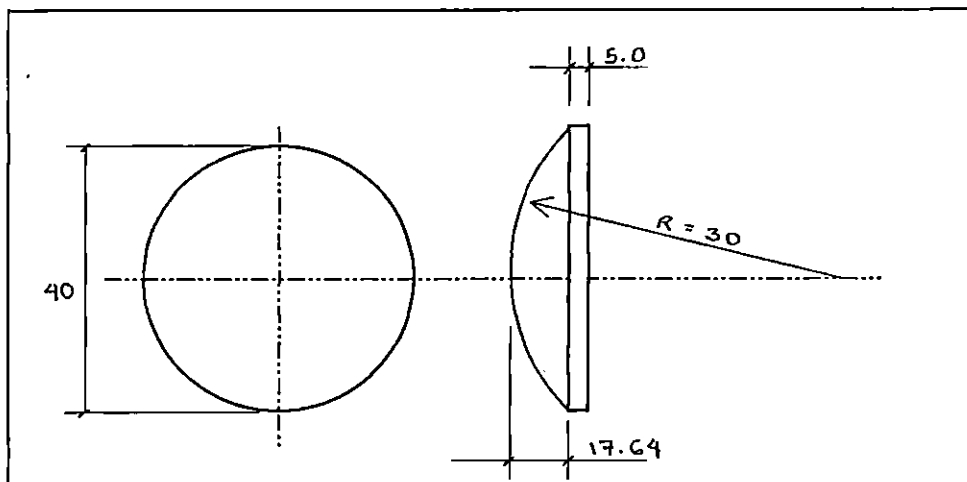


Figura 4.31. Asiento semiesférico(cotas en mm.)

Trabajando juntos los dos elementos anteriores se obtiene una carga axial de compresión pura en la probeta.

Ambos elementos trabajan a compresión, por lo que el esfuerzo al que se someterán cada uno se puede calcular de la forma siguiente:

$$\sigma = F/A = 4F/\pi d^2$$

Donde:

F : Carga aplicada por la máquina.

d : Diámetro de la base de la probeta o diámetro proyectado por el asiento semiesférico sobre el elemento que lo soporta ($40 \text{ mm} = 40 \times 10^{-3} \text{ m}$), entonces:

$$\sigma = \frac{4 (49000)}{\pi(40 \times 10^{-3})^2}$$

$$\sigma = 38.99 \text{ MPa. (3.98 kg/mm}^2\text{)}$$

Conociendo el esfuerzo generado, el material de ambos elementos es seleccionado con ayuda del anexo 1.

Acero 1020 (NORMALIZADO).

El cual soporta un esfuerzo de fluencia de 225.40 MPa.

4.6.7. DISEÑO DE PLACAS FIJAS.

Es importante hacer notar que la placa fija superior e inferior (figura 4.32) están sometidas a las mismas cargas y prácticamente poseen las mismas dimensiones, por lo que al diseñar una de éstas, se está diseñando la otra.

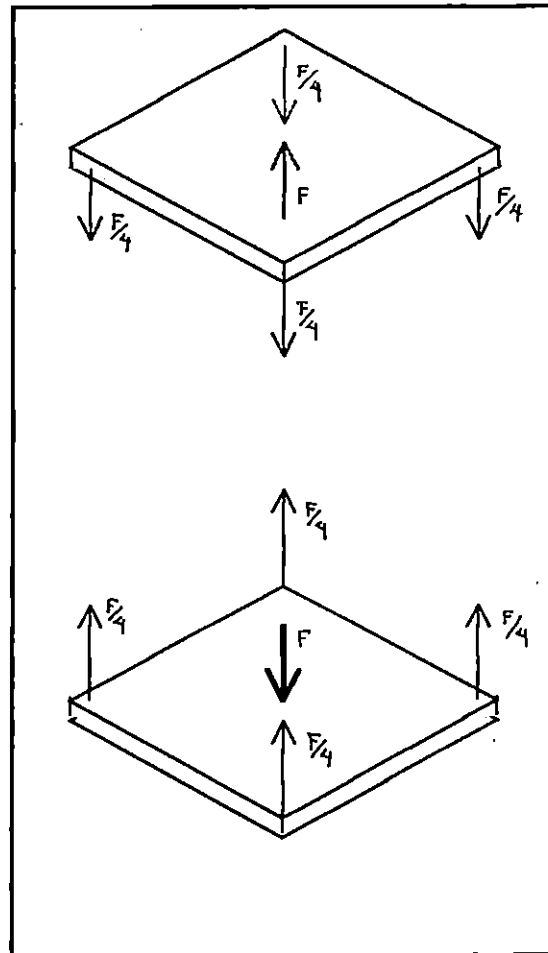


Figura 4.32. Representación de las fuerzas aplicadas a las placas.

El área efectiva para el análisis de ambos elementos es la que se muestra en la figura 4.33.

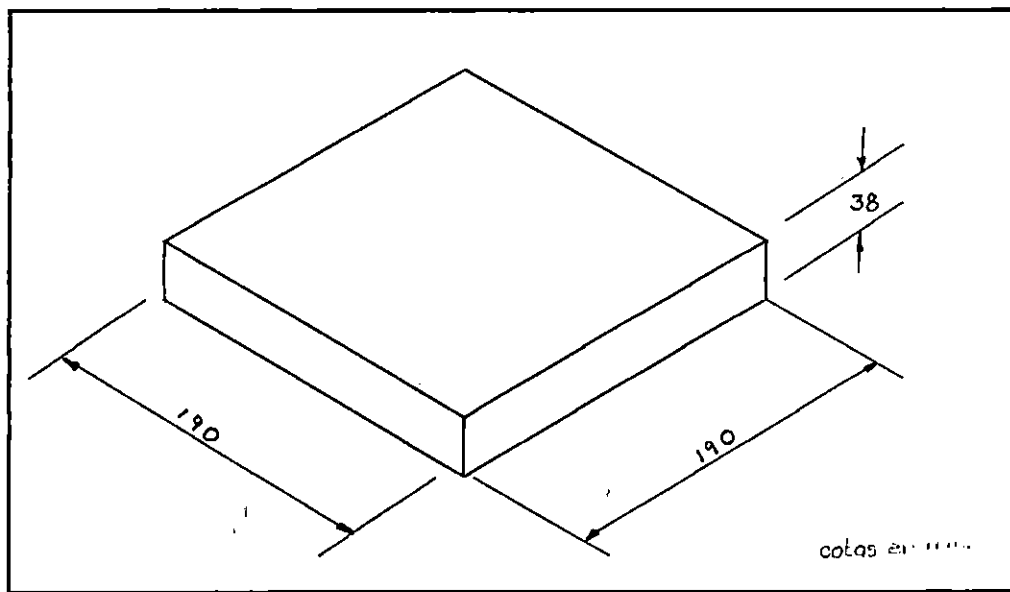


Figura 4.33. Dimensiones de las placas fijas de la máquina.

Haciendo la similitud del análisis para placas rectangulares con bordes simplemente apoyados que soportan cargas distribuidas ^a, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$Y_{\max} = \alpha \cdot q \cdot b^4 / E \cdot t^3 \quad \text{Ec. 4.13.}$$

$$M_{xy_{\max}} = \beta_1 \cdot q \cdot b^2 \quad \text{Ec. 4.14.}$$

Donde:

q : Es la presión aplicada al área de la placa ($q = F/A$).

b : Longitud del lado más corto de la placa.

t : Espesor de la placa.

E : Módulo de elasticidad del acero (200 GPa).

α, β_1 : Factores que dependen de la relación d/b .

d : Longitud del otro extremo de la placa.

Y_{\max} : Longitud máxima que se puede flexionar la placa en la parte más crítica (su centro).

$M_{xy_{\max}}$: Momento flector máximo en el centro de la placa.

^a Referencia 4, pag. 590 y 591.

Se debe notar que:

- F : carga máxima a la que se somete la placa (49,000 N).
- A : área de la placa.
- d/b = 1.

Sabiendo que las dos longitudes de las placas son iguales ($d = b$) la relación entre ellas es igual a 1.

Con ayuda del anexo 7 y sabiendo que $d/b=1$ se determina α y β_1 :

$$\alpha = 0.0443$$

$$\beta_1 = 0.0479.$$

además:

$$q = F/A = 49000 / (190 \times 10^{-3})^2$$

$$q = 1.36 \text{ MPa.}$$

$$b = 190 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$t = 38 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

Evaluando en ecuaciones 4.13 y 4.14, se tiene:

$$Y_{\max} = 0.0443(1.36 \times 10^6)(190 \times 10^{-3})^4 / ((200 \times 10^9)(38 \times 10^{-3})^3)$$

$$Y_{\max} = 1.45 \times 10^{-5} \text{ m.}$$

$$M_{xy_{\max}} = M = 0.0479(1.36 \times 10^6)(190 \times 10^{-3})^2.$$

$$M = 2351.70 \text{ N-m.}$$

En flexión el esfuerzo máximo se calcula así:

$$\sigma = Mc/I$$

Donde:

M : Momento flector máximo generado.

c : Posición del eje neutro ($t/2$).

I : Momento de inercia ($(1/12)bt^3$).

Al sustituir se llega a:

$$\sigma = 6M/bt^2$$

Ec. 4.16

Por lo que el esfuerzo generado se calcula así:

$$\sigma = 6.M/b.t^2 = 6(2351.70)/(190 \times 10^{-3})(38 \times 10^{-3})^2$$

$$\sigma = 51.43 \text{ Mpa } (5.25 \text{ Kg/mm}^2)$$

Con ayuda del anexo 1, se elige el material para la base del cilindro y de la máquina:

Acero 1020 (NORMALIZADO).

Que posee una resistencia a la fluencia de $23 \text{ Kg/mm}^2 \approx 225.4 \text{ MPa}$.

4.6.8. DISEÑO DE LAS PLACAS MÓVILES.

4.6.8.1. PLACA MÓVIL SUPERIOR.

Para el análisis de la placa móvil superior es necesario tomar en cuenta el concentrador de esfuerzo crítico que posee el elemento, el cual se encuentra en la parte central del mismo (ver figura 4.34).

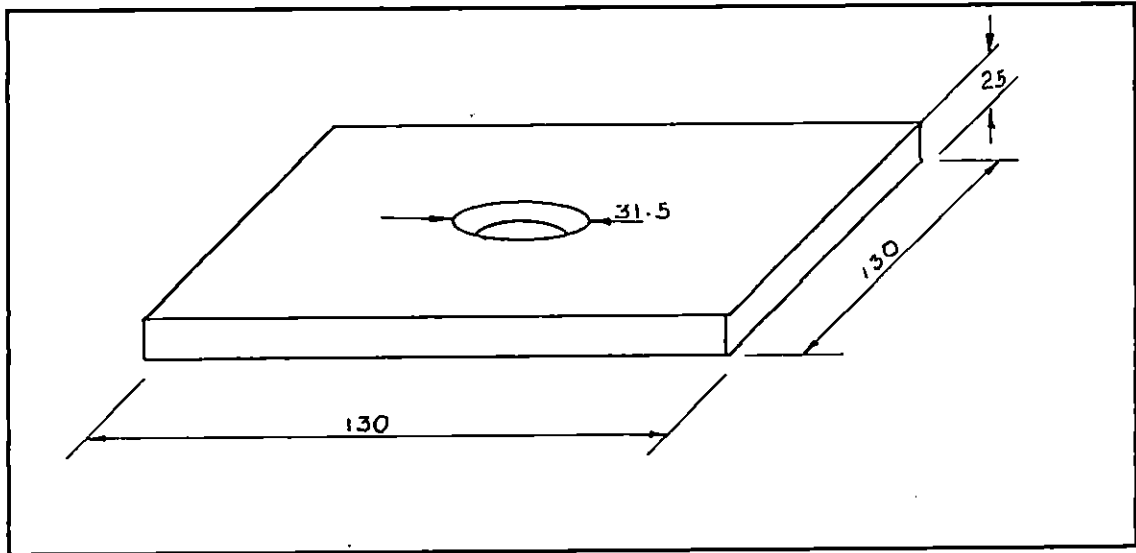


Fig. 4.34. Placa móvil superior (cotas en milímetros).

Las dimensiones presentadas en la figura 4.34 representan el área efectiva de la placa en la que actúa la carga, además, para el análisis se supone un diámetro medio para el agujero central que en realidad es una semiesfera.

El análisis para el diseño del elemento en cuestión se basará en que tiene una placa sometida a flexión con un concentrador de esfuerzos en su parte central; para este caso el esfuerzo se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma = K_f \left(\frac{6M}{(w-a)t^2} \right) \quad \text{Ec. 4.17.}$$

Donde :

K_f : Factor de esfuerzo para flexión.

M : Momento máximo de flexión generado.

w : Ancho de la placa.

a : diámetro del concentrador de esfuerzos (31.5×10^{-3} m).

t : Espesor de la placa (25×10^{-3} m).

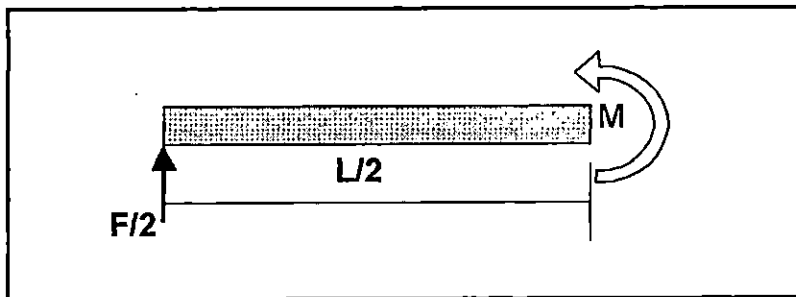


Figura 4.35. Momento máximo generado por la placa.

El momento máximo de flexión se encuentra en el centro de la placa (ver figura 4.35) y se calcula así:

$$M = (F/2) \cdot (L/2) = FL/4$$

Donde:

F : Fuerza generada (49000 N).

L : Longitud transversal de la placa (183.85×10^{-3} m).

El momento máximo generado es entonces:

$$M = \frac{(49000) (212.13 \times 10^{-3})}{4}$$

$$M = 2598.59 \text{ N-m.}$$

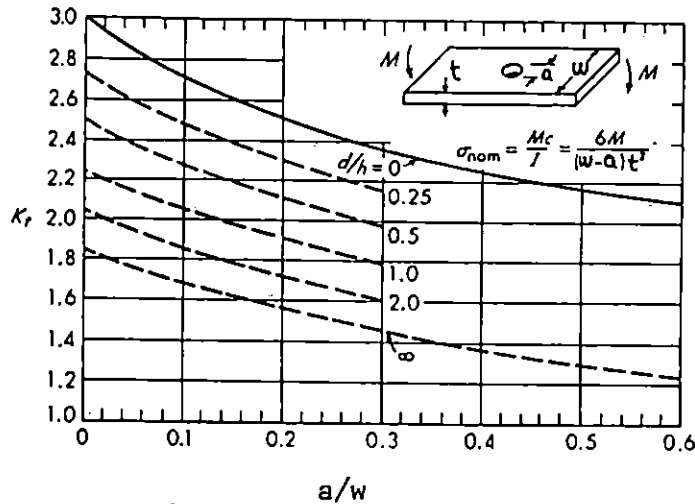


Figura 4.36. Gráfica del factor de concentrador de esfuerzo en flexión (K_t)¹⁷

Podemos obtener las relaciones:

$$a/w = 31.5/130 = 0.24$$

$$a/t = 31.5/25 = 1.26$$

Con ayuda de las anteriores relaciones y de la figura 4.36, se calcula el factor de concentración para esfuerzo de tensión:

$$K_t = 1.80$$

Utilizando la ecuación 4.17 el esfuerzo aplicado se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma = 1.80 \left[\frac{6(2252.14)}{(130 \times 10^{-3} - 31.5 \times 10^{-3})(25 \times 10^{-3})^2} \right]$$

$$\sigma = 395.10 \text{ MPa. (40.32 kg/mm}^2\text{)}$$

Conociendo el esfuerzo generado se puede seleccionar el material el material requerido en el anexo 1.

Acero 3115 (NORMALIZADO).

Que soporta un esfuerzo máximo de 55 kg/mm^2 (539 MPa)

¹⁷ Referencia 14

4.6.8.2. PLACA MÓVIL INFERIOR.

El análisis a realizar en la placa móvil inferior es similar al realizado en el apartado anterior, pero con la diferencia que no existe un concentrador de esfuerzo crítico que se deba considerar.

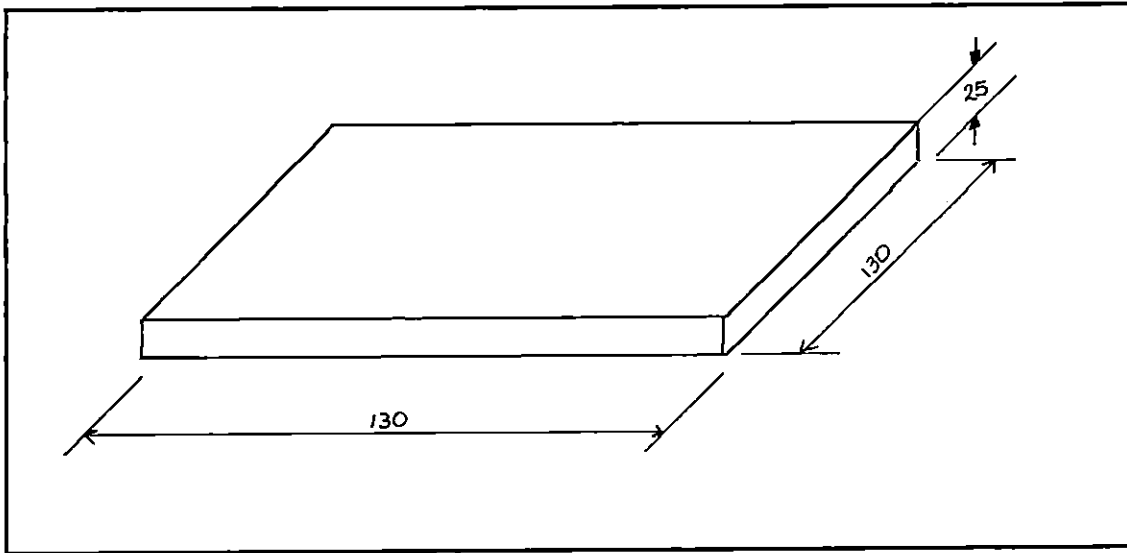


Figura 4.37. Area de trabajo en la placa móvil inferior (cotas en mm).

Es de notar que el área de trabajo es similar al de la placa móvil superior por lo que el momento de flexión máximo es igual.

$$M = 2252.14 \text{ N-m.}$$

El esfuerzo generado se calcula por medio de la ecuación 4.16:

$$\sigma = 6M/bt^2$$

$$\therefore \sigma = \frac{6(2252.14)}{(130 \times 10^{-3})(25 \times 10^{-3})^2}$$

$$\sigma = 166.31 \text{ MPa (16.97 kg/mm}^2\text{)}$$

conociendo el esfuerzo generado y con ayuda de anexo 1 el material seleccionado es:

Acero 1020 (NORMALIZADO)

Que presenta un esfuerzo de fluencia de 23 kg/mm² (225.90MPa).

5.0. MANUAL DE OPERACIÓN.

Antes de efectuar el ensayo de un material, es necesario revisar que las barras móviles de la maquina estén debidamente lubricadas y que en las conexiones del sistema hidráulico no exista derrame de aceite.

En la máquina se efectúan ensayos de materiales sometidos a esfuerzos de tensión y de compresión, a continuación se describen por separado los pasos a seguir en la operación de la máquina en cada ensayo.

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE TENSIÓN.

- Accionando la bomba hidráulica ajustar la altura del cilindro hidráulico de tal forma que se pueda colocar apropiadamente la probeta a ensayar.
- Determinar las dimensiones de interés en la probeta antes del ensayo.
- Montar el adaptador del deformímetro en la probeta a ensayar. Luego montar la probeta en la máquina.
- Ubicar la probeta a ensayar entre la mordaza superior de la placa móvil superior y la mordaza inferior de la placa fija superior. Esto se hace desmontando la tuerca del perno de cada mordaza, y luego se separan las mordazas e introduce la probeta, procediendo a unir las mordazas apretando la tuerca de cada perno.
- Montar el deformímetro.
- Verificar que el manómetro y el medidor de deformación se encuentren instalados adecuadamente y en sus posiciones iniciales antes de iniciar la prueba.
- El ensayo se efectúa cuando es accionada la bomba hidráulica y el cilindro hidráulico transmite el movimiento a las placas móviles. La rapidez con la cual se acciona la bomba hidráulica dependerá de la facilidad con la cual se puedan tomar las lecturas de presión en el cilindro y deformación de la probeta.
- Cuando el material ha fluido es recomendable retirar el instrumento de medición

con el objeto de evitar daños al mismo.

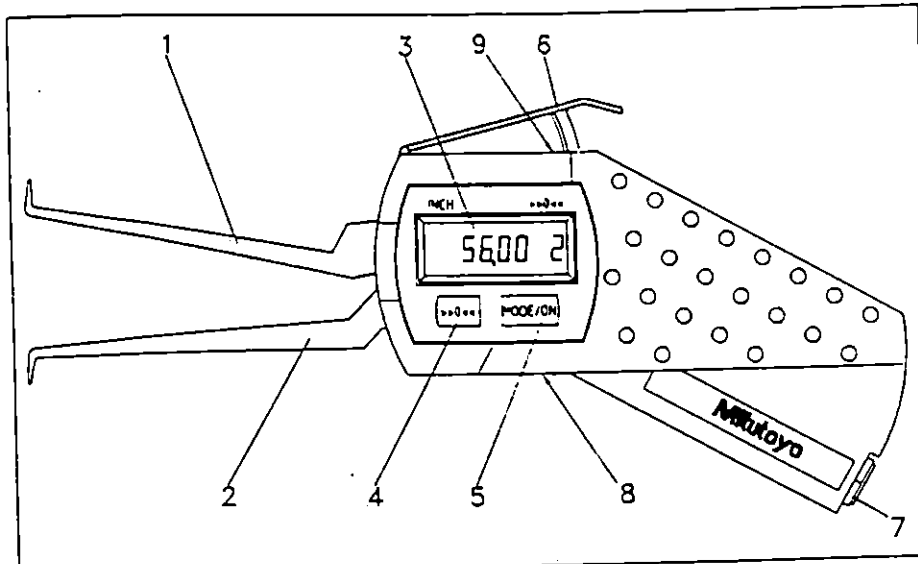
- Liberar la presión en el cilindro hidráulico por medio de la manecilla ubicada en la bomba hidráulica.
- Retirar la probeta ensayada.
- Determinar las dimensiones de interés después del ensayo.

PROCEDIMIENTO PARA EL ENSAYO DE COMPRESIÓN.

- Verificar que la base esférica del apoyo inferior en la placa móvil inferior esté debidamente lubricada.
- Determinar las dimensiones de interés en la probeta antes del ensayo.
- Montar la muestra de material a ensayar (probeta) entre el apoyo de la placa móvil y el apoyo de la placa fija superior de la máquina.
- Accionar la bomba hidráulica para desplazar el cilindro hidráulico hasta que la muestra de material roce ligeramente con ambos apoyos.
- Montar el medidor de deformación.
- Verificar que el manómetro y el deformímetro estén en sus posiciones iniciales antes de empezar el ensayo. La rapidez de accionamiento de la bomba hidráulica dependerá de la facilidad con la cual se puedan tomar las lecturas de esfuerzo y deformación.
- Cuando el material ha fallado y se han tomado las lecturas finales se desmonta el medidor de deformación, se libera la presión del cilindro por medio de la manecilla ubicada en la bomba hidráulica y se retira la probeta.
- Se determinan las dimensiones de interés posteriores al ensayo.

FUNCIONAMIENTO DEL APARATO DE MEDICIÓN.

Elementos funcionales de mando



1. Brazo palpador móvil.
2. Brazo palpador fijo.
3. Pantalla LCD.
4. Tecla de valores absolutos/relativos.
5. Tecla MODE/ON.
6. Accionamiento del brazo palpador.
7. Interface.
8. Tornillo de tope (máximo).
9. Tornillo de tope (mínimo).

Características técnicas:

			209-832 (209-632)	209-833 (209-633)	209-834 (209-634)	209-835 (209-635)	209-836 (209-636)	209-637	209-638	209-639
Campo de aplicación	Awb	[mm]	5-17,5	10-35	30-55	50-75	70-95	15-65	40-90	70-120
Alcance de medición	Meb	[mm]	12,5	25	25	25	25	50	50	121
Valor inicial	Stw	[mm]	18,0	36	56	76	96	66	91	121
Valor numérico	Zw	[mm]	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Desviación del alcance de medición	I M	[mm]	±0,02	±0,03	±0,03	±0,03	±0,03	±0,04	±0,04	±0,04
Repetibilidad	I w	[mm]	0,015	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Profundidad de medición	L	[mm]	20	80	80	80	80	175	175	175
Profundidad de la ranura	A	[mm]	1,5	4,5	6	8	8	4,5	8	8
Anchura de la ranura	B	[mm]	1,3	1,7	2,5	3	4,5	2,5	3,3	3,3
Tipo de contacto de medición	D	[mm]	K \varnothing 0,8	K \varnothing 1	K \varnothing 1	K \varnothing 1	K \varnothing 1	K \varnothing 1,5	K \varnothing 2	K \varnothing 2
Longitud del contacto de medición (móvil)	Hb	[mm]	2,5	5	7	10	10	5,3	10,5	10,5
Longitud del contacto de medición (fijo)	Hf	[mm]	2,5	5	7	20	20	5,3	10,5	40,5
Contactador de medición - espesor	S	[mm]	1,2	1,2	1,9	2,5/4	2,5/4	1,8	2,5	2,5/5
Fuerza de medición mínima *)	Fmin	N	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,2	1,2	1,2
Fuerza de medición máxima *)	Fmax	N	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0
Salida de datos			RS 232 (3V) Mitutoyo -Selección a través de cable conector -Transferencia de datos por petición externa							
Temperatura de referencia			20 °C ±1 °C							
Gama de temperaturas de servicio			10 °C bis 30°C							
Gama de temperaturas de almacenamiento			-10 °C bis 50°C							
Principio de medición			magnético incremental							
Alimentación de corriente			interna: litio 3V (vida útil aprox. 350h) -CR 123A (Varta) -DL 123A (Duracell) externa: fuente de alimentación 6 V (accesorio)							
Pantalla			pantalla LCD de 7 segmentos (altura de las cifras 7mm)							
Protección			IP 52 (protegido contra polvo y agua de goteo)							

*) para brazo palpador cerrándose
Se reserva el derecho a efectuar cambios por motivos técnicos

1. El aparato se utilizará en el código del MODE 1. Para encender el aparato se pulsa brevemente la tecla MODE/ON. El aparato indica la disponibilidad al servicio mediante una señal acústica. Al conectar el dispositivo el brazo palpador debe encontrarse en posición de partida.
2. Para la desconexión del modo encendido, solamente se deja pasar un minuto sin accionar ninguna de sus funciones y el instrumento de medición se desconecta automáticamente (auto power off).
3. Si se desea cambiar el sistema de unidades (de milímetros a pulgadas o viceversa), se pulsa prolongadamente (mas de 3 segundos) la tecla MODE/ON.

INSTRUCCIONES ACERCA DE LA MEDICIÓN.

- Para no gastar los contactos del aparato de medición, éste debe colocarse en una posición tal que se evite el rozamiento entre las superficies del elemento a medir y los contactos de los brazos palpadores. Para esto la palanca del brazo palpador móvil se debe de accionar a fondo y soltarla hasta que ya se encuentre en la posición adecuada.
- Al efectuar la medición se debe soltar la palanca accionadora del brazo palpador.
- Solamente son correctos los valores medidos dentro del campo de aplicación del aparato. Fuera de este campo no deben realizarse mediciones.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

Antes de usar la bomba:

1. Revisar todos los acoples y las conexiones del sistema para asegurar que estén apretados y sin fugas.
2. Revisar el nivel de aceite en el depósito antes de hacer funcionar la bomba. Vea el manual de mantenimiento.

CUIDADO

- *Nunca añadir extensiones a la palanca de la bomba. Las extensiones causan un funcionamiento inestable en la bomba.*
- *En ciertas situaciones la palanca de la bomba puede dar un "contragolpe". Siempre mantenga el cuerpo a un lado de la bomba, lejos de la línea de acción de la palanca.*

NOTA: Para reducir el esfuerzo de la palanca a alta presión, acci6nela en tramos c6rtos. Se obtiene m6xima fuerza en los 6ltimos 5 grados de la carrera.

La figura 1. Muestra los componentes principales del modelo de bomba manual que se utiliza para proporcionar potencia (modelo P-39)

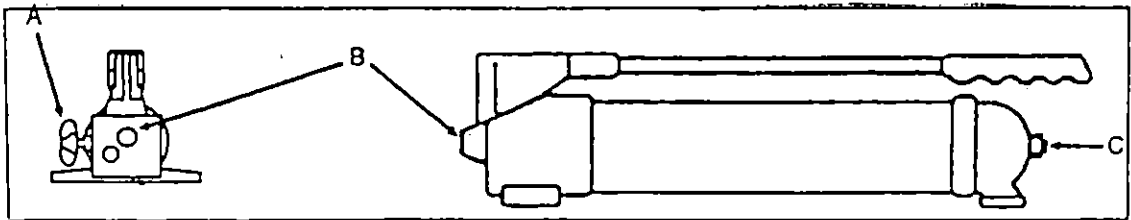


Fig. 1. Bomba manual P-39

Donde: A: V6lvula de alivio

B: Conexi6n de salida 3/8 NPTF.

C: Tap6n de llenado.

Aplicaciones de simple efecto con válvula de alivio:

1. Cerrar la válvula de alivio girándola en sentido horario, como se muestra en la figura 2.

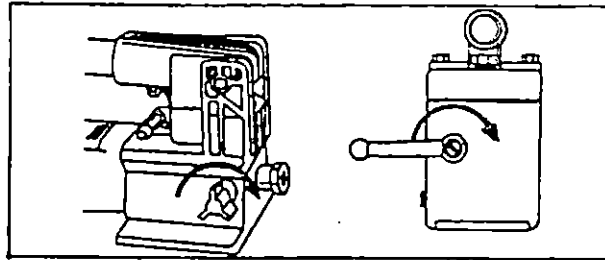


Fig. 2. Válvula de alivio.

ATENCIÓN

- *Cerrar la válvula de alivio apretándola a mano solamente. El uso de herramientas puede dañar la válvula y averiar la bomba.*

2. Accionar la palanca de la bomba para alimentar potencia hidráulica al sistema. Se mantendrá la presión hasta que se abra la válvula de alivio.
3. Abrir la válvula de alivio (en sentido antihorario) para quitar presión, dejando que el aceite fluya de vuelta al depósito.

Ajuste de la válvula de alivio:

Todas las bombas tienen una válvula de alivio ajustada en la fábrica para impedir la sobrepresurización del sistema. Se pueden obtener ajustes de presión más bajas, pero nunca se debe ajustar la válvula a presiones más altas, esto podría causar daños a la bomba.

Purga del aire:

Purgar el aire del sistema hidráulico permitirá que el cilindro se extienda y se retraiga suavemente. Para la bomba con cilindro de simple efecto purgar el aire como sigue:

1. Desmontar el cilindro y la bomba de la máquina.
2. Abrir el respiradero del depósito de la bomba y cerrar la válvula de alivio.
3. Colocar la bomba más elevada que el cilindro.
4. Colocar el cilindro con el extremo del émbolo hacia abajo.
5. Hacer funcionar la bomba para extender totalmente el cilindro.
6. Abrir la válvula de alivio para retraer el cilindro. Esto empujará el aire retenido hacia el depósito de la bomba.
7. Repetir los pasos anteriores según sea necesario.
8. Añadir el aceite si es necesario. Ver manual de mantenimiento.
9. Volver a poner la tapa de llenado en posición de funcionamiento.

6.0. MANUAL DE MANTENIMIENTO

FUNDAMENTOS TEORICOS

En su forma mas general, el mantenimiento se refiere a una cantidad determinada de actividad o trabajo que hay que realizar con el objeto de conservar el servicio para el que fue diseñado un aparato o estructura.

Con el cumplimiento de las recomendaciones para el mantenimiento de un equipo se puede disminuir y hasta evitar la falla del mismo.

Comúnmente las fallas que se producen en un equipo o maquinaria son ocasionadas por:

- ✓ La maquinaria o el equipo mismo.
- ✓ El ambiente circundante.
- ✓ El personal que interviene en su operación.

La maquinaria o equipo es fuente de fallas cuando presenta deficiencia propia, por ejemplo la calidad de material del que está construido y/o un mal diseño.

Otra fuente de falla lo determina el ambiente que existe en un lugar donde la maquinaria o equipo presta su servicio, por ejemplo la alta humedad, temperaturas fuera de las recomendadas, polvo, salinidad o acidez, humo y otras; minimizando todo lo anterior se puede garantizar un largo tiempo de operación del sistema.

Las personas que intervienen en la construcción, montaje, operación y mantenimiento pueden convertirse en una causa de falla, cuando su forma de actuar no es la apropiada.

TIPOS DE MANTENIMIENTO A IMPLEMENTAR

Se pretende es mantener en servicio la máquina el mayor tiempo que sea posible, por lo que como prioridad se implementará el mantenimiento preventivo, pero si la falla se presenta por alguna de las fuentes descritas en el apartado anterior, se implementará el mantenimiento correctivo.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

El mantenimiento preventivo se refiere a la serie de trabajos que es necesario realizar en una maquinaria o equipo con el objeto de evitar que se interrumpa inesperadamente el servicio que proporciona.

El mantenimiento preventivo consiste en operaciones de rutina, tales como limpieza, lubricación, observación del funcionamiento y otros ajustes menores para la buena operación de la máquina o equipo durante un largo período de tiempo.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO.

El mantenimiento correctivo se refiere a la serie de actividades a realizar una vez se haya presentado una falla en la maquinaria o equipo.

El mantenimiento correctivo, como su nombre lo indica es hacer correcciones a los elementos componentes de la máquina o equipo, por ejemplo cambio de bujes o tornillos, cambio de algún elemento si éste falla durante la operación, desairado del sistema hidráulico, calibración del deformímetro.

FRECUENCIAS DE INTERVENCIONES PARA EL MANTENIMIENTO.

La frecuencia de intervenciones para el mantenimiento preventivo de la máquina se refiere a cuantas veces en cierto tiempo se ejecuta el trabajo con el objeto de mantener en condiciones óptimas de funcionamiento a la misma.

El período de tiempo para las intervenciones de mantenimiento preventivo puede ser diario, semanal, mensual, trimestral y anual dependiendo del elemento o equipo en el que se trabaja.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

A continuación se presenta una tabla en donde se describe el período y la actividad a realizar para el mantenimiento preventivo de la máquina

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LA MÁQUINA

PERIODO	ACTIVIDAD
SEMANTAL	<ul style="list-style-type: none">• Mantener lubricadas las partes móviles y elementos que lo necesitan en la máquina (barras deslizantes, asiento esférico del portamordaza y asiento esférico de apoyo inferior).• Mantener libre de polvo u otro material extraño a la máquina, especialmente de las partes móviles.
MENSUAL	<ul style="list-style-type: none">• Observar el funcionamiento del sistema hidráulico durante la operación de la máquina y verificar que no existan fugas de aceite ni presencia de aire en el sistema.• Verificar que los elementos componentes de la máquina se encuentran libres de oxido y corrosión.
TRIMESTRAL	<ul style="list-style-type: none">• Verificar el nivel de aceite en la bomba hidráulica y reponerlo si es necesario.• Verificar los aprietes de tornillos o tuercas en la máquina.
ANUAL	<ul style="list-style-type: none">• Vaciar todo el aceite del sistema hidráulico y volver a llenar con aceite (marca ENERPAC). Si la bomba trabaja en ambientes sucios se deberá hacer los cambios con mayor frecuencia.• Verificar la exactitud del medidor de deformaciones y calibrarlo si fuera necesario.• Comprobar que entre las piezas móviles no exista juego excesivo, especialmente entre las barras deslizantes y los bujes donde deslizan; de ser necesario habrá que cambiar estos últimos.

NOTAS SOBRE EL MANTENIMIENTO

EQUIPO HIDRÁULICO.

Usar únicamente aceite ENERPAC en la bomba para prolongar la vida de ésta y proteger su garantía.

- **Adición de aceite a la bomba**

!! ADVERTENCIA !!

Siempre añada el aceite con el cilindro totalmente retraído, de lo contrario el sistema sobrepasará la capacidad de aceite del depósito.

1. Quitar el tapón de llenado del depósito (C en la figura A.1).
2. Llenar el depósito solamente hasta la marca del nivel indicada en la bomba.
3. Purgar el aire del sistema si es necesario (Ver procedimiento en el manual de operación). Vuelva a revisar el nivel de aceite después de purgar el aire.
4. Colocar de nuevo la tapa de llenado en la posición apropiada.

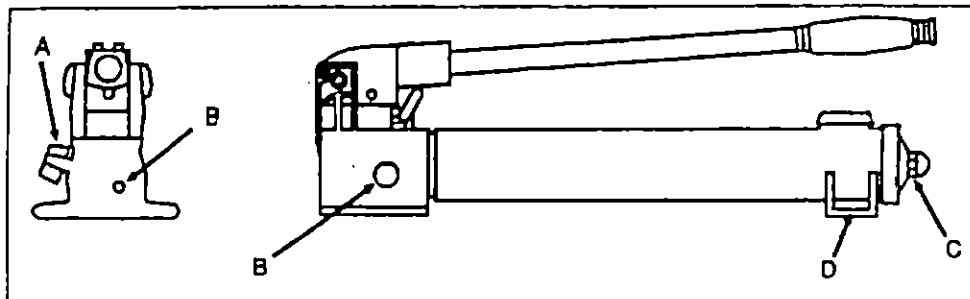


Figura A.1

NOTA: Las bombas manuales requieren de aire en el depósito para funcionar correctamente. Si el depósito está totalmente lleno de aceite, al operar la bomba se formará un vacío que impedirá la salida del aceite.

- **Limpieza de las líneas de aceite.**

Cuando se desconecten las mitades del acoplador entre los elementos hidráulicos, siempre debe colocarse las tapas guardapolvo. Tomar todas las precauciones debidas para proteger la bomba contra la entrada de suciedad. La materia extraña puede causar la falla de la bomba, en el cilindro o la válvula.

- **Lubricación de la bomba.**

Para prolongar la vida de la bomba y mejorar su rendimiento, se debe lubricar el pasador del soporte (A), pasador transversal (B) y la cabeza del pistón (C) regularmente con grasa para cojinetes de rodillos. Vea figura A.2.

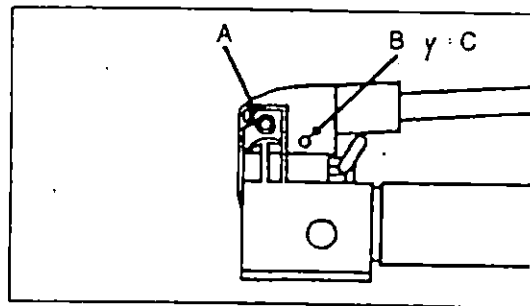


Figura A.2.

- **Cambio de aceite.**

Cada año, vaciar el aceite y volver a llenar con aceite ENERPAC. Si la bomba funciona en ambientes sucios, cambiar el aceite con mas frecuencia.

1. Quitar la tapa del llenado del depósito.
2. Inclinar la bomba para vaciar el aceite viejo.
3. Llenar el depósito solamente hasta la marca de nivel indicada en la bomba.
4. Volver a poner el tapón de llenado.
5. Desechar el aceite usado como es debido.

- **Notas sobre el cilindro hidráulico.**



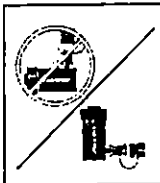
Los cilindros son con retorno de resorte y las reparaciones deberán realizarse exclusivamente en centros de asistencia técnica autorizados por ENERPAC.



Utilizar con estos cilindros aceite hidráulico ENERPAC exclusivamente. El empleo de cualquier otro aceite puede invalidar su garantía.



Utilizar tapas guardapolvo cuando los cilindros estén desconectados de las mangueras. Mantenga limpio el cilindro en su totalidad, para prolongar la vida útil del mismo.

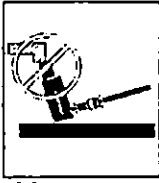


Almacenar los cilindros en posición vertical para evitar la distorsión de las juntas.

- **Notas sobre seguridad.**



NO SOBRECARGAR EL CILINDRO. No intentar nunca levantar una carga que exceda la capacidad de un cilindro. La sobrecarga causa fallos en el equipo y posibles daños personales.



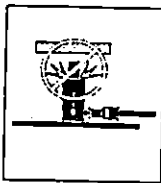
CARGA DESCENTRADA. Evitar las situaciones en que la carga no esté directamente centrada sobre el émbolo del cilindro. Las cargas descentradas someten a un gran esfuerzo al émbolo del cilindro, y pueden resbalar o caerse, resultando en daños potencialmente peligrosos.



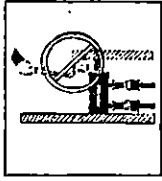
EVITAR CURVAS PRONUNCIADAS Y DEFORMACIONES DE LA MANGUERA. Evite las curvas excesivamente pronunciadas en el recorrido de la manguera hidráulica. Si se aplica presión a una manguera doblada o deformada, el caudal de aceite se reduce causando una fuerte contrapresión. Además, las curvas pronunciadas de la manguera causarán daños en el interior de la misma, con lo que se produce rotura.



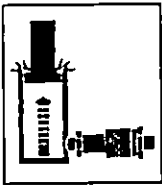
NO DEJAR CAER OBJETOS PESADOS SOBRE LA MANGUERA. Un fuerte impacto puede hacer que se doble o rompa el alambre trenzado en el interior de la manguera. Aplicar presión a una manguera dañada causará la flexión interna, que a la larga produce la rotura de los cables, y consecuentemente de la manguera.



NO EXTENDER DEMASIADO EL CILINDRO. El cilindro admitirá la carga completa sobre el casquillo tope del recorrido. Sin embargo, la utilización de toda la carrera no proporciona potencia y solamente somete a un esfuerzo innecesario al cilindro.



MANTENER EL EQUIPO ALEJADO DEL CALOR. El calor excesivo (temperatura superior a 65° C) tiende a reblandecer las empaquetaduras y juntas del sistema hidráulico, que como resultado se tendrán pérdidas de aceite. Además el calor debilita la manguera y el aparato de medición.



El casquillo del cilindro está diseñado para aceptar toda la carga. Sin embargo, para reducir el desgaste del cilindro emplear, siempre que sea posible, menos del total de la carrera.

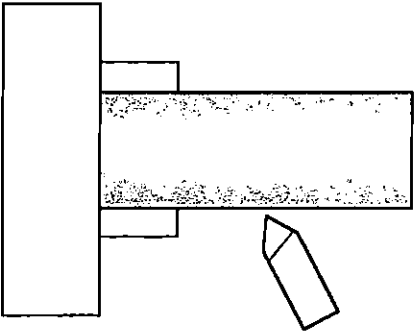
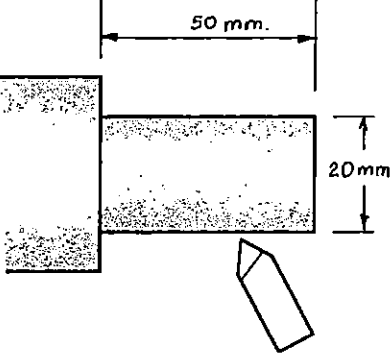
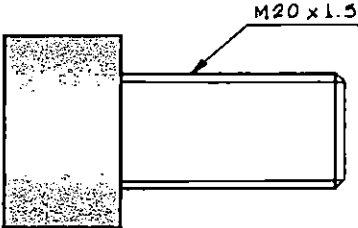
LOCALIZACIÓN Y REPARACIÓN DE AVERIAS EN EL SISTEMA HIDRÁULICO.

PROBLEMA	CAUSA POSIBLE	SOLUCIÓN
El cilindro no se extiende, lo hace lentamente o irregularmente.	Bajo nivel de aceite en la bomba	Añadir aceite de acuerdo a las instrucciones de mantenimiento.
	La válvula de alivio está abierta.	Cerrar la válvula de alivio.
	El acoplador hidráulico está abierto.	Revisar que todos los acopladores estén totalmente apretados.
	La carga es demasiado pesada.	No tratar de levantar mas de 5 Toneladas
	Aire retenido en el sistema.	Purgar el aire.
	Atascamiento del émbolo de cilindro.	Revisar si el cilindro está dañado. Pedir que lo repare un experto.
El cilindro se extiende, pero no mantiene la presión.	Fuga en las conexiones.	Revisar que todas las conexiones estén apretadas y sin fugas.
	Fugas en los sellos	Ubicar la fuga y hacer reparar el equipo por un técnico experto.
	Fuga interna en la bomba.	Hacer reparar la fuga por un técnico experto en sistemas hidráulicos.
El cilindro no se retrae, lo hace parcialmente o más lentamente que lo normal.	Válvula de alivio cerrada	Abrir la válvula de alivio.
	El depósito de la bomba está lleno en exceso.	Vaciar el aceite hasta la marca "full"
	El acoplador hidráulico está suelto	Revisar que todos los acopladores estén totalmente apretados.
	Aire retenido en el sistema.	Purgar el aire del sistema.
	Diámetro interno de la manguera demasiado estrecho.	Usar una manguera de mayor diámetro
	El resorte de retracción del cilindro está roto o existe otro daño en el cilindro.	Hacer reparar el cilindro por un técnico experto en sistemas hidráulicos.

7.0. MANUAL DE CONSTRUCCIÓN.

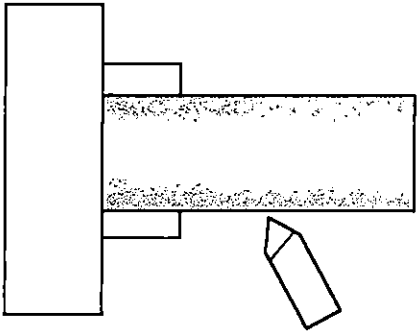
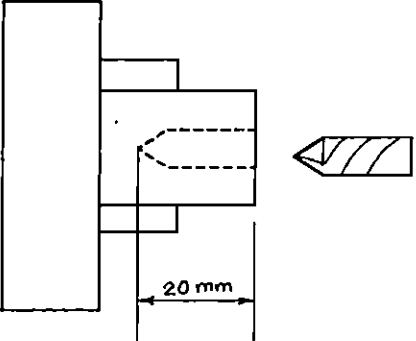
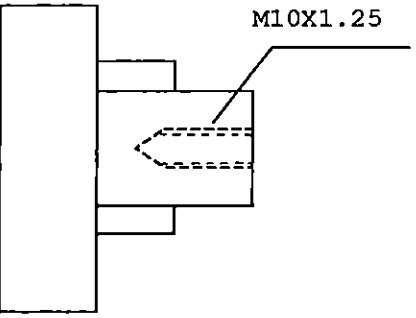
HOJA DE PROCESO: BARRA DESLIZANTE
MATERIAL: ACERO 1020 NORMALIZADO.

CANTIDAD: 4

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en el torno. - Refrentar un extremo del material. - Cilindrar a 25 mm de diámetro X 496 mm de largo. 		<ul style="list-style-type: none"> - Barra de acero 1020 normalizada de $\varnothing 1"$. - Calibrador. - Torno. - Butil.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindrar ambos extremo a 20 mm de diámetro X 50 mm de longitud. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil para cilindrar. - Calibrador. - Sierra.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Roscar cada uno de los extremos con paso 1.5 y diámetro 20mm. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador - Gage de paso métrico. - Manteca - Butil para rosca de 60°.

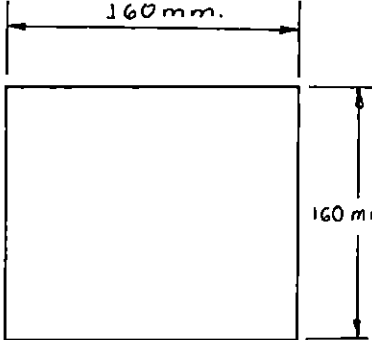
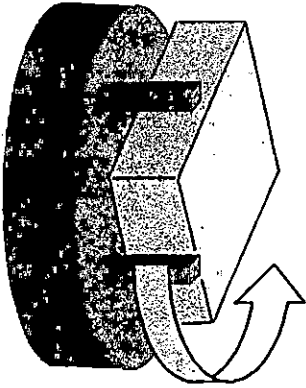
HOJA DE PROCESO: BARRAS DE ACOPLE.
MATERIAL: ACERO 1020 NORMALIZADO

CANTIDAD: 4

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en el torno. - Refrentar uno de los extremos de el material. - Cilindrar la pieza hasta obtener un diámetro de Ø20 mm X 312 mm de largo. - Cortar y refrentar el otro extremo. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Calibrador. - Herramienta de acero rápido para cilindrar. - Sierra.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Taladrar uno de los extremos con una broca de 9 mm. 		<ul style="list-style-type: none"> - Calibrador. - Taladro. - Broca de 9 mm.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Roscar los dos extremos con rosca paso 1.25. - Repetir los pasos de taladrado y roscado en el otro extremo. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Calibrador. - Buril para roscar. - Manteca. - Gramil.

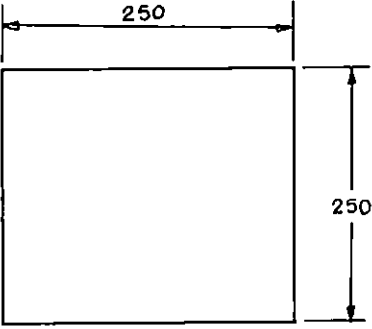
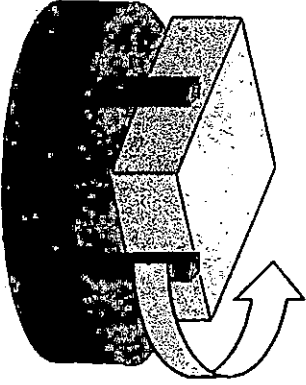
HOJA DE PROCESO: PLACA MOVIL .
MATERIAL: ACERO 1020 NORMALIZADO.

CANTIDAD:2

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la placa en la fresadora con ayuda del comparador de reloj. - Fresar todas las placas para dejarlas cuadradas como se especifica en los planos 160X160 mm, 	 <p>El diagrama muestra un rectángulo que representa una placa cuadrada. Una línea horizontal superior indica una longitud de 160 mm. Una línea vertical a la derecha indica una anchura de 160 mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora - Comparador de reloj. - Fresa - Calibrador
2	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en el torno. - Refrentar una pequeña capa de cada cara. 	 <p>El diagrama ilustra un proceso de refrentado. Se muestra un cilindro de material montado en un torno. Una herramienta de corte está en contacto con la superficie del cilindro, eliminando una capa de material. Una flecha curva indica la dirección de rotación del cilindro.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Gramil. - Buril
3	<ul style="list-style-type: none"> - Los agujeros que se indican en los planos no se deben taladrar en cada una de las placas por separado. Se deben unir primero. 		<ul style="list-style-type: none"> - Taladro - Calibrador - Centro punto - Martillo


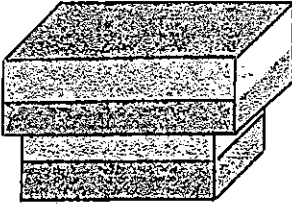
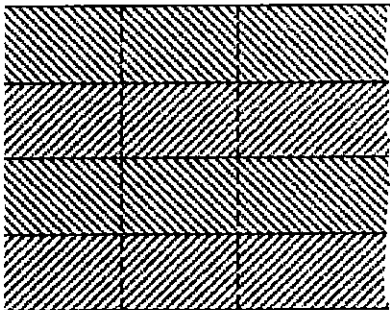
HOJA DE PROCESO: PLACA FIJA .
MATERIAL: ACERO 1020 NORMALIZADO.

CANTIDAD: 2

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la placa en la fresadora con ayuda del comparador de reloj. - Fresar todas las placas para dejarlas cuadradas como se especifica en los planos 250X250 mm, 	 <p style="text-align: center;">250</p> <p style="text-align: right;">250</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora - Comparador de reloj. - Fresa - Calibrador
2	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en el torno. - Refrentar una pequeña capa de cada cara. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Gramil. - Buril
3	<ul style="list-style-type: none"> - Solo se taladrarán los agujeros para las barras de acople con 20 mm de diámetro. - Los agujeros para las placas deslizantes no se deben taladrar en cada una de las placas por separado. Se deben de unir primero. 		<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de banco. - Broca de 20mm. - Calibrador - Centro punto - Martillo

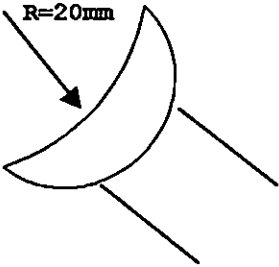
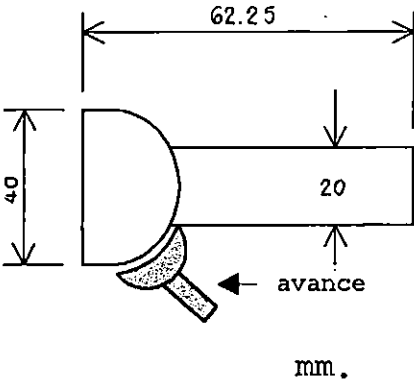
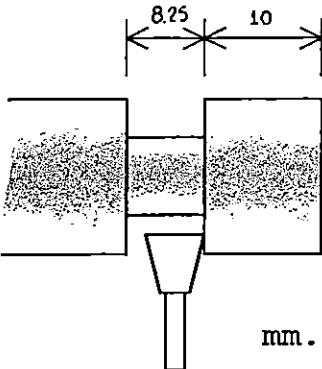
HOJA DE PROCESO: AGUJERO DE LAS PLACAS.
MATERIAL: ACERO 1020 NORMALIZADO

CANTIDAD: 1

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en la fresadora. - Fresar dos piezas hasta dejar las dimensiones de 250X250X38mm. - Fresar las otras dos piezas hasta dejar las dimensiones a 160x160X25 mm. 		<ul style="list-style-type: none"> - Calibrador. - Fresadora. - Fresa.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Soldar firmemente todas las placas con el menor numero de puntos de soldadura posible. - Lo anterior es para que las placas se mantengan fijas durante el taladrado de los agujeros para las barras deslizantes. 		<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de soldadura - Electrodo.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Taladrar agujeros de diámetro 20 mm. distribuidos como se muestra en los planos pero con las placas aún soldadas. - Separar las placas con ayuda de esmeril. 		<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de banco. - Broca de 20 mm. - Esmeriladora. - Disco para esmeril.

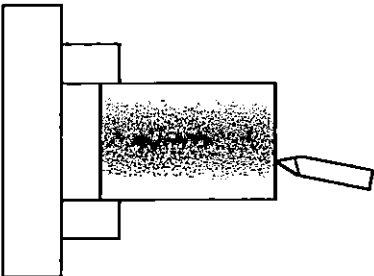
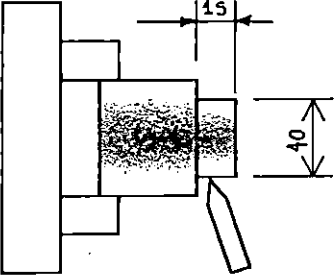
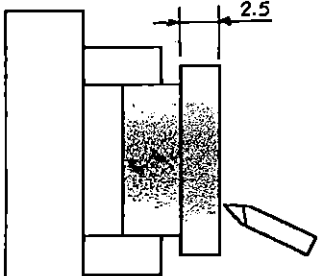
HOJA DE PROCESO: PORTAMORDAZA SUPERIOR.
MATERIAL: ACERO 1020 NORMALIZADO

CANTIDAD: 1

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar la herramienta de corte con ayuda del esmeril y lámina previamente trazada y cortada. La herramienta debe tener la forma que se muestra en la figura 	 <p style="text-align: center;">R=20mm</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Herramienta de acero rápido - Esmeril - Calibrador - Compás de trazar. - Lámina
2	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en el torno. - Cilindrar a \varnothing 20mm x mm. - Construir la parte semiesférica como se muestra en la figura. 	 <p style="text-align: center;">mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Calibrador. - Taladro. - Butil especial de radio 20mm. - Barra de acero 3115 de \varnothing 1 1/4"
3	<ul style="list-style-type: none"> - Construir el cuello como se muestra en la figura. Con el debido cuidado de dejar los aliviadores de esfuerzo (0.9 mm). - Darle el acabado de con ayuda de lija. 	 <p style="text-align: center;">mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador - Herramienta de acero rápido. - Lija.

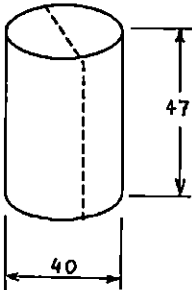
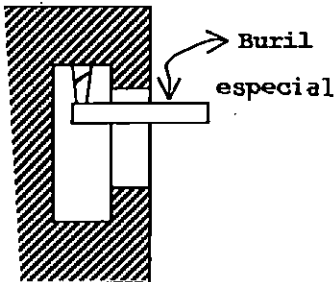
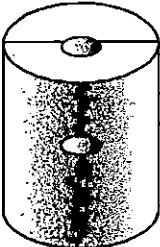
HOJA DE PROCESO: BASE SUPERIOR (PRUEBA DE COMPRESIÓN).
MATERIAL: ACERO 4140 TEMPLADO

CANTIDAD: 1

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en el torno. - Refrentar. - Cilindrar la pieza hasta dejar la dimensión de 46 mm x 18.5 mm 		<ul style="list-style-type: none"> - Barra de acero 3115 de 1 3/4" Ø X 25 mm de largo. - Torno - Calibrador. - Butil.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Ahora cilindrar en el extremo hasta 40 mm X 15 mm. 	 <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador. - Butil
3	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar la sección de Ø 46 mm hasta unos 3.5 mm. - Luego se sujeta la pieza del otro extremo y se refrenta a 2.5mm. - Pulir. - Templar. 	 <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Calibrador. - Butil - Gramil. - Lija. - Sierra. - Marco de sierra.

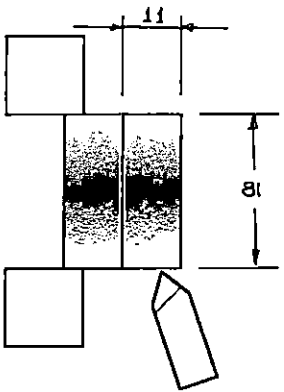
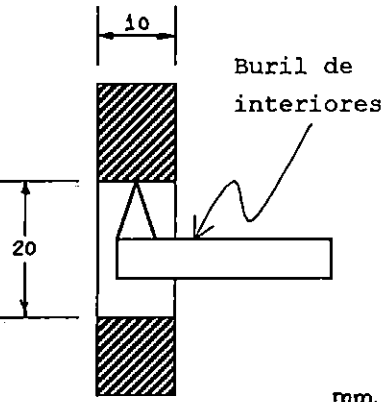
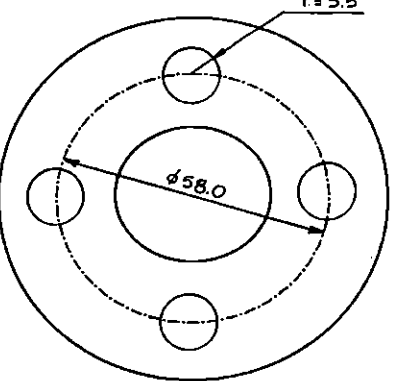
HOJA DE PROCESO: MORDAZA.
MATERIAL: ACERO 3115 RECOCIDO.

CANTIDAD: 4

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar las pieza por la mitad. - Fresar las caras cortadas para eliminar imperfecciones. - Unir las mitades y montarlas en el torno. - Cilindrar hasta dejar las dimensiones de $\varnothing 40 \times 47$ mm de largo. 	 <p style="text-align: right; margin-right: 50px;">mm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Calibrador. - Fresadora. - Fresa. - Cierra.
2	<ul style="list-style-type: none"> - En el torno taladrar un agujero de 6 mm. Y luego agrandarlo hasta $\varnothing 8$ mm \times 11 mm de largo. - La parte interna del agujero se ensanchará hasta $\varnothing 12$ mm \times 6 mm de largo. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Calibrador. - Taladro. - Broca de 6 mm. - Butil para agujeros internos.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Se monta la pieza del otro extremo. - Y se repite el procedimiento anterior pero esta vez se dejan la parte interna de $\varnothing 20$ mm \times 11 mm y la parte externa de $\varnothing 16$ mm \times 8 mm. - Al final se taladra el agujero para el pasador. 		<ul style="list-style-type: none"> - Prensa. - Talador. - Calibrador - Broca de 14 mm. - Torno. - Butil especial. - Butil de agujeros internos. - Gramil.

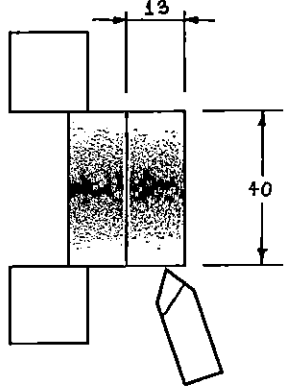
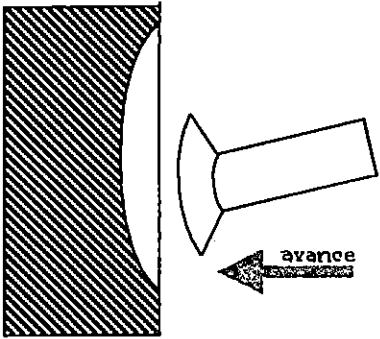
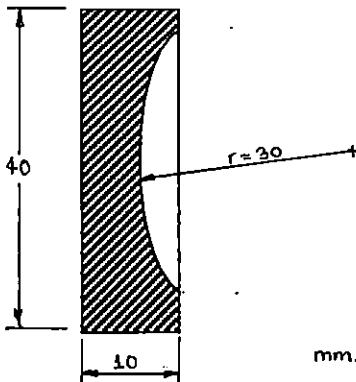
HOJA DE PROCESO: SUJETADOR DEL PORTAMORDAZA INFERIOR.
MATERIAL: ACERO 1020 NORMALIZADO.

CANTIDAD:1

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en el torno. - Refrentar y cilindrar hasta dejar la pieza de $\varnothing 81 \times 11$ mm. - Con ayuda de la broca taladrar un agujero no menor de 1/4" en el centro. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil. - Calibrador - Plato de centrar. - Broca no menor de 1" .
2	<ul style="list-style-type: none"> - Agrandar el agujero del centro hasta llegar a $\varnothing 20$ mm. - Cortar el material para obtener una arandela de 10mm de ancho. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil - Calibrador. - Plato de centrar. - Butil para cilindrado interno.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Taladrar cuatro agujeros de $\varnothing 11$ mm. distribuidos en una circunferencia de $\varnothing 58$ mm. 		<ul style="list-style-type: none"> - Taladro - Broca de 11mm - Centro punto - Martillo.

HOJA DE PROCESO: APOYO DE PROBETA DE COMPRESIÓN.
MATERIAL: ACERO 4140 TEMPLADO.

CANTIDAD: 1

No	OPERACIÓN	ESQUEMA	HERRAM. Y EQUIPO
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar el material en el torno. - Refrentar la pieza. - Cilindrar hasta $\varnothing 40 \times 13$ mm. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril. - Calibrador - Plato de centrar.
2	<ul style="list-style-type: none"> - En el esmeril construir un buril de radio 30mm. - Con ayuda del buril especial de radio 30mm elaborar la concavidad. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril especial de 30mm de radio. - Calibrador
3	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar el material para que la pieza quede a 12 mm. - Refrentar hasta dejar a 10mm. - Pulir con lija. - Templar. 		<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Sierra de acero plata. - Marco de sierra. - Buril para refrentar - Calibrador - Gramil.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.
DEPARTAMENTO DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.

ENSAYO DE TENSIÓN.

I.- OBJETIVO GENERAL:

- *Estudia el comportamiento de un material cuando es sometido a esfuerzos de tracción, progresivamente crecientes, en dirección axial hasta provocar su ruptura.*

II.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- *Efectuar un ensayo de tracción en un material utilizando la máquina adecuada.*
- *Extraer datos durante un ensayo un ensayo de tracción.*
- *Comprender, procesar y analizar el significado de los resultados obtenidos en el ensayo.*
- *Comparar resultados con los especificados para el material, y si hay diferencias determinar las causas*

III. MATERIALES Y EQUIPO

1. Máquina para ensayos tracción y compresión.
2. Calibrador pie de rey.
3. Probetas para tensión.
4. Aceitera.

IV.- MARCO TEÓRICO

Simbología: L_0 : Distancia inicial entre puntos.

L_f : Distancia final entre puntos.

A_0 : Area transversal inicial de la probeta.

A_f : Area final después de la ruptura.

F : Carga total instantánea.

σ : Esfuerzo técnico.

e : Deformación técnica.

ε : Elongación.

Z : Estricción.

E : Módulo de Young.

Por ensayo para metales se entiende un conjunto de pruebas las cuales permite el estudio del comportamiento de los materiales a fin de:

- Determinar sus características para una posible utilización.
- Comprobar o determinar la calidad de un material.

Específicamente el ensayo de tensión consiste en *someter una probeta a un esfuerzo axial de tracción gradualmente creciente, generalmente hasta generar la ruptura.*

LA PROBETA

De las normas UNE¹⁸ se selecciona la probeta para la prueba de tensión mostrada en la figura A y tabla A.

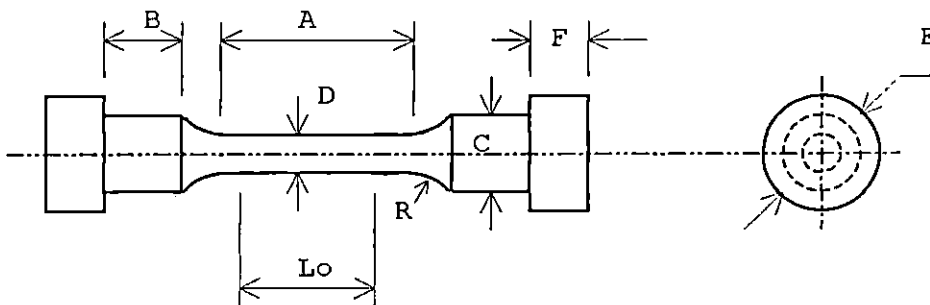


Figura A. Dimensiones de la probeta para la prueba de tensión.

¹⁸ Referencia 18.

COD.	DESCRIPCIÓN	DIMENSIÓN (mm)
A	Longitud de sección reducida	30.0
B	Longitud de prolongación	10.0
C	Diámetro de la longitud de prolongación	8.0
D	Diámetro nominal	5.0
E	Diámetro del agarre	12.0
F	Longitud del agarre	5.0
Lo	Distancia entre puntos	25.0 ± 0.25
R	Radio de entalle	2.0

Tabla A. Dimensiones de la probeta para la prueba de tensión.

- **Esfuerzo técnico:** Es la carga por unidad de área que soporta la sección reducida de la probeta, y se enuncia así:

$$\sigma = F/A_0$$

- **Límite elástico:** Es la carga Unitaria que corresponde al punto, a partir del cual, las deformaciones que sufre la probeta dejan de ser proporcionales a los esfuerzos a que se somete.
- **Límite de proporcionalidad:** Es el esfuerzo máximo en que el esfuerzo y la deformación permanecen proporcionales.
- **Resistencia a la tracción:** Es la carga unitaria máxima soportada por la probeta durante el ensayo.
- **Deformación técnica:** Este viene expresado por la fórmula:

$$e = 100 \left(\frac{L - L_0}{L_0} \right)$$

Que se expresa en tanto por ciento de la longitud (L_0), siendo L la longitud entre puntos medida en cualquier momento del ensayo, una vez descargada la probeta.

- **Estricción:** Es la diferencia entre el área de la sección inicial (A_0) y el área de la sección mínima (A_f) de la probeta después de la ruptura, expresada en tanto por ciento de A_0 según la fórmula que sigue:

$$Z = 100 \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right)$$

- **Módulo de elasticidad o módulo de Young:** Es la constantes de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación a esfuerzos inferiores al límite de proporcionalidad.

$$\sigma = Ee$$

El módulo de Young se encuentra midiendo la pendiente de la porción recta de la curva esfuerzo-deformación.

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{e_1 - e_2}$$

FRACTURAS TÍPICAS

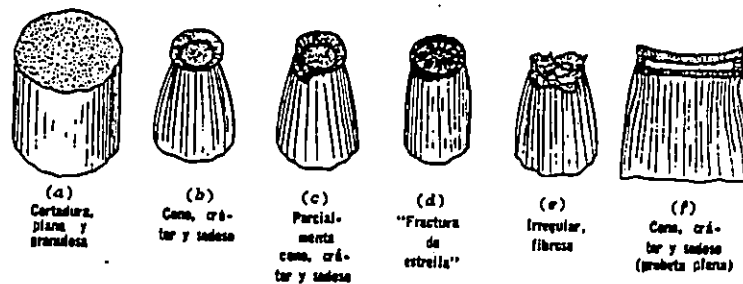


Figura B. Ejemplo de tipos de fracturas.

NOTA : El ensayo será válido si la ruptura se produce dentro del tramo de calibración.

NOTA : El ensayo será válido si la ruptura se produce dentro del tramo de calibración.

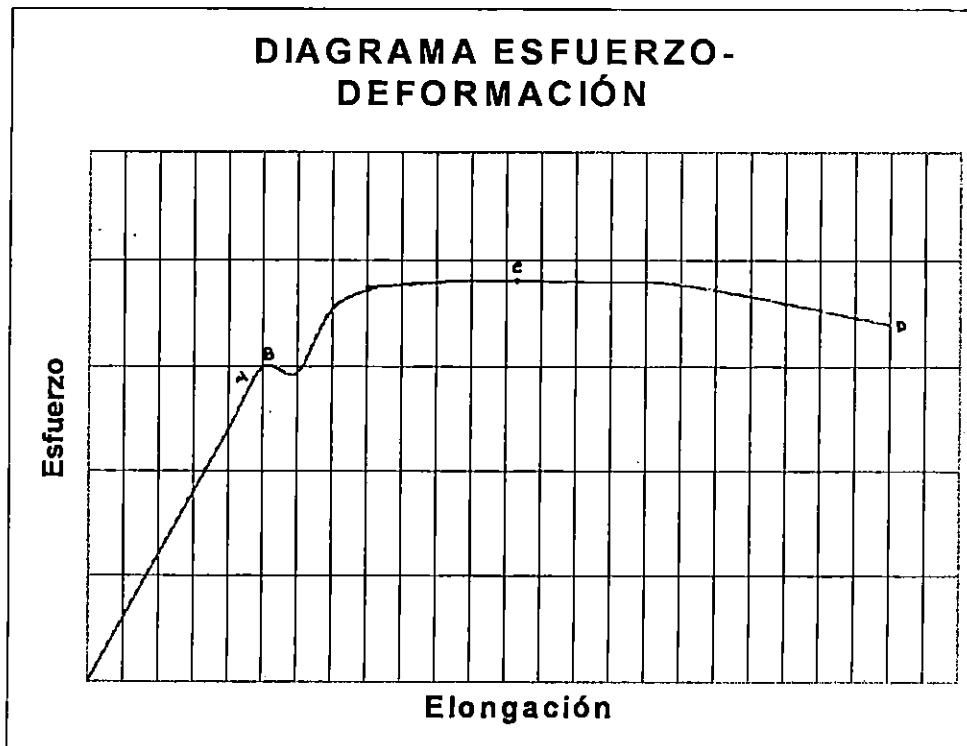


Figura C. Gráfico esfuerzo-deformación típico para materiales ensayados a tensión.

Punto	Interpretación
A	Limite elástico.
B	Resistencia a la fluencia.
C	Esfuerzo de tracción.
D	Esfuerzo de ruptura.

V.- REQUISITOS PARA EL INFORME

- Tablas de datos.
- Resúmenes de resultados numéricos.
- Gráficas de esfuerzo-deformación.
- Determinar: *Limite elástico, Resistencia a la tracción, Elongación, Módulo de elasticidad y la estricción.*

VI.- PROCEDIMIENTO.

- Tomar las medidas de la probeta.
- Montar en la probeta los adaptadores para el deformímetro.
- Accionando la bomba hidráulica ajustar la altura adecuada del cilindro hidráulico de tal forma que se pueda colocar la probeta a ensayar.
- Ubicar la probeta a ensayar entre la mordaza de la placa móvil superior y la mordaza de la placa fija superior. Esto se hace desmontando la tuerca del perno de cada mordaza, y luego se separan las mordazas e introduce la probeta, procediendo a unir las mordazas apretando la tuerca de cada perno.
- Montar el medidor de deformación en la probeta a ensayar. Se debe tener cuidado de no permitir que la pata fija del deformímetro quede esforzada.
- Verificar que el manómetro y el medidor de deformación se encuentren en sus posiciones iniciales (ambos en cero) antes de iniciar la prueba.
- El ensayo se efectúa cuando es accionada la bomba hidráulica y el cilindro hidráulico transmite el movimiento a las placas móviles. La rapidez con la cual se acciona la bomba hidráulica dependerá de la facilidad con la cual se puedan tomar las lecturas de presión en el cilindro y deformación de la probeta.
- Cuando se logra ver el cuello en la muestra del material se retira el instrumento medidor de deformación o simplemente se inmoviliza con dos dedos.
- Luego se accionando la bomba hasta que la probeta se rompa.
- Retirar la probeta ensayada.
- Liberar la presión en el cilindro hidráulico por medio de la manecilla ubicada en la bomba hidráulica.
- Tomar las medidas diámetro final y longitud entre puntos de la muestra ensayada.

HOJA DE DATOS PARA LA PRUEBA

R E S U L T A D O S	
Tipo de material	
Diámetro nominal (mm)	
Longitud entre puntos (mm)	
Diámetro inicial D_o (mm)	
Diámetro final D_r (mm)	
Area transversal nominal (mm ²)	
Estricción (%)	
Longitud inicial L_o (mm)	
Longitud final L_r (mm)	
Elongación (%)	
Carga de fluencia (N)	
Esfuerzo de fluencia (N/mm ²)	
Carga máxima (N)	
Esfuerzo último (N/mm ²)	
Tipo de fractura	
Módulo de elasticidad	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA.
DEPTO. DE MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.

ENSAYO DE COMPRESIÓN.

I.- OBJETIVO GENERAL

- ***Estudiar el comportamiento de un material cuando es sometido a esfuerzos de compresión, progresivamente crecientes, en dirección axial hasta provocar la falla***

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ***Efectuar un ensayo de compresión en un material utilizando la máquina adecuada.***
- ***Extraer datos durante un ensayo de tracción.***
- ***Comprender, procesar y analizar el significado de los resultados obtenidos durante el ensayo.***
- ***Comparar los resultados con los especificados del material y si hay diferencias determinar las causas.***

II.- MATERIALES Y EQUIPO

- 1) Máquina para ensayos de compresión y tensión.
- 2) Calibrador pie de rey.
- 3) Probetas para compresión.
- 4) Aceitera.

III.- MARCO TEÓRICO

En la prueba de compresión se comprime la muestra en sentido vertical hasta que falla. En otras palabras en la prueba de compresión la muestra se somete a pruebas exactamente opuestas a las de la prueba de tensión.

Debido a las dificultades para obtener información precisa a partir de ensayos de compresión en material dúctil, se hacen muy pocos ensayos de compresión en metales. Estas dificultades se deben a:

- *Inestabilidad en la compresión*
- *El efecto de fricción entre la probeta y la superficie de contacto.*

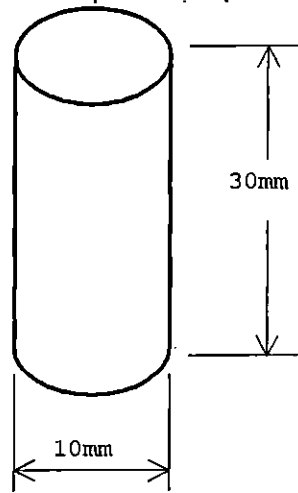
NOTA: Los materiales dúctiles en la realidad muestran un comportamiento semejante a los materiales frágiles al ser sometidos a esfuerzos de compresión.

LA PROBETA

El tamaño de la probeta podría cambiarse, pero no es adecuado alargar demasiado la probeta, pues ocasionaría pandeo. El pandeo tiende a comenzar en el instante en que se produce cualquier deformación plástica.

Para evita el pando el largo de la probeta no deberá exceder en tres a uno el diámetro de la misma. Para este ensayo se usará la probeta que se muestra en la figura A.

FIGURA A. Probeta para ensayos de compresión.



IV.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

- **Esfuerzo técnico:** Es la carga por unidad de área que soporta la sección transversal de la probeta, y se enuncia así:

$$\sigma = F/A_0$$

- **Límite elástico:** Es la carga Unitaria que corresponde al punto, a partir del cual, las deformaciones que sufre la probeta dejan de ser proporcionales a los esfuerzos a que se somete.

- **Límite de proporcionalidad:** Es el esfuerzo máximo en que el esfuerzo y la deformación permanecen proporcionales.

- **Deformación técnica:** Este viene expresado por la fórmula:

$$e = 100 \left(\frac{L_0 - L}{L_0} \right)$$

Que se expresa en tanto por ciento de la longitud (L_0), siendo L la longitud entre puntos medida en cualquier momento del ensayo, una vez descargada la probeta.

- **Estricción:** Es la diferencia entre el área de la sección transversal final (A_f) después de la falla y el área de la sección transversal inicial (A_0), expresada en tanto por ciento de A_0 según la fórmula que sigue:

$$Z = 100 \left(\frac{A_f - A_0}{A_0} \right)$$

- **Módulo de elasticidad o módulo de Young:** Es la constantes de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación a esfuerzos inferiores al límite de proporcionalidad.

$$\sigma = Ee$$

El módulo de Young se encuentra midiendo la pendiente de la porción recta de la curva esfuerzo-deformación.

$$E = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{e_1 - e_2}$$

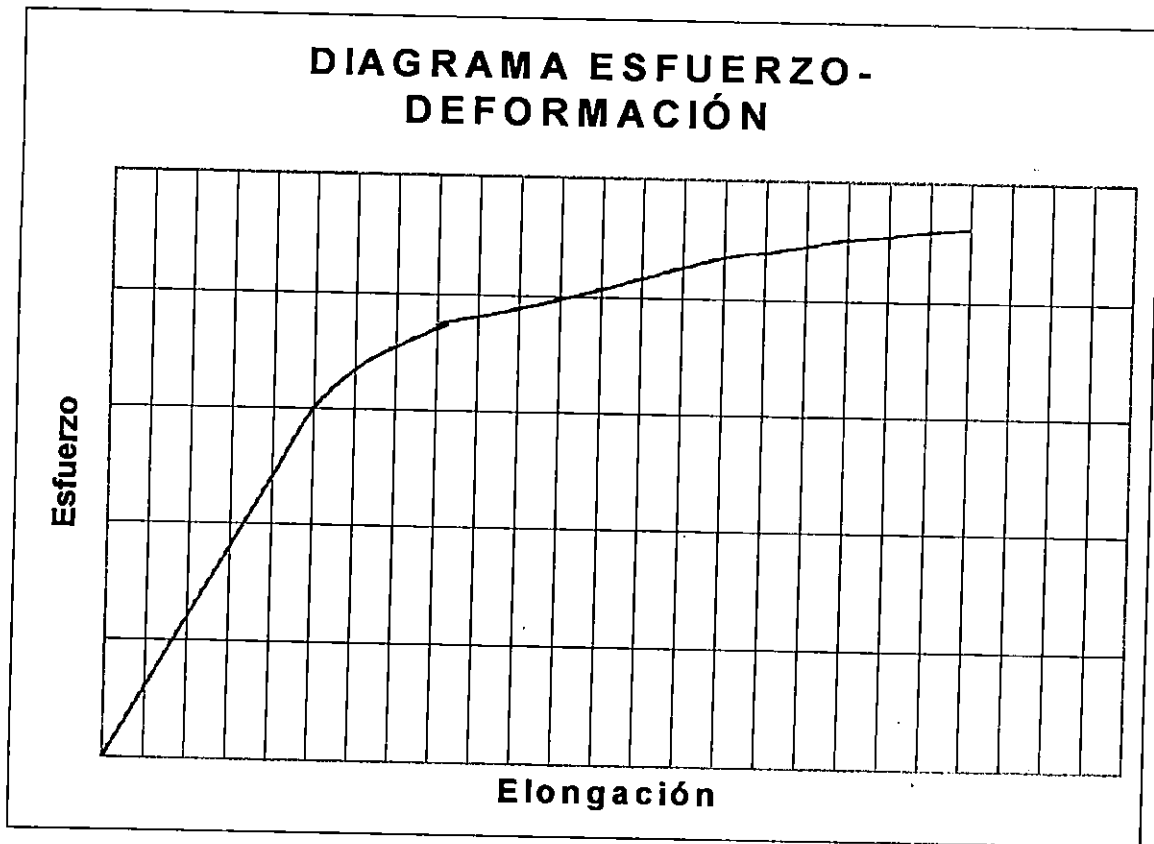
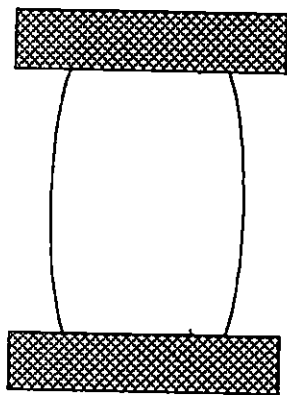
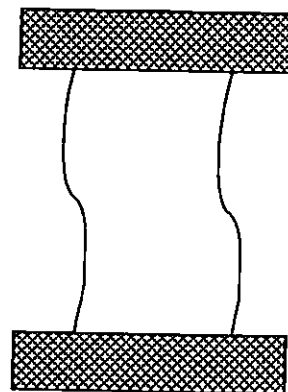


Figura B. Diagrama esfuerzo-deformación típico de materiales ensayados a compresión

TIPOS DE FALLAS TÍPICAS PARA PROBETAS A COMPRESIÓN:



Falla por barrilado



Falla por pandeo

IV.- REQUISITOS PARA EL INFORME

- Tablas de toma de datos.
- Resúmenes de resultados numéricos.
- Gráficas de esfuerzo-deformación.
- Determinar: *Limite elástico, Resistencia a la compresión, Deformación unitaria y la estricción.*

V.- PROCEDIMIENTO.

- Tomar las medidas de la probeta, con ayuda de un calibrador.
- Verificar que la base semiesférica del apoyo inferior y ambos apoyos estén debidamente lubricado.
- Montar la muestra de material a ensayar (probeta) entre la base para la probeta de la placa móvil inferior y la base de la placa fija superior de la máquina. Se debe colocar la probeta en el centro de los apoyos.
- Accionar la bomba hidráulica para desplazar el cilindro hidráulico hasta que la muestra de material roce ligeramente con ambos apoyos.
- Montar el medidor de deformación.
- Verificar que el manómetro y el deformímetro estén en sus posiciones iniciales antes de empezar el ensayo. La rapidez de accionamiento de la bomba hidráulica dependerá de la facilidad con la cual se puedan tomar las lecturas de esfuerzo y deformación.
- Manipular la bomba hasta provocar que la probeta falle. La falla de la probeta tendrá que ser apreciable a simple vista.
- Cuando el material falle y se han tomado las lecturas finales se procede a:
 - 1) Desmontar el medidor de deformación.
 - 2) Liberar la presión del cilindro por medio de la manecilla ubicada en la bomba hidráulica.
 - 3) Retirar la probeta. (los incisos anteriores deberán hacerse precisamente en ese orden).
- Se toman las medidas de la probeta ya deformada.

HOJA DE DATOS PARA LA PRUEBA

R E S U L T A D O S	
Tipo de material	
Diámetro nominal (mm)	
Longitud de la muestra (mm)	
Diámetro inicial D_o (mm)	
Diámetro final D_f (mm)	
Area nominal (mm^2)	
Estricción (%)	
Longitud inicial L_o (mm)	
Longitud final L_f (mm)	
Deformación (%)	
Carga de fluencia (N)	
Esfuerzo de fluencia (N/mm^2)	
Esfuerzo último (MPa).	
Tipo de falla	
Módulo de elasticidad	

REFERENCIAS DE LA BIBLIOGRAFÍA.

1. Ciencia de materiales para ingeniería.
Peter A. Thornton.
Vito J. Colangelo.
Prentice-Hall hispanoamericana S.A.
2. Introducción a la metalurgia física.
Sydney H. Avner.
Mc. Graw-Hill.
3. La ciencia e ingeniería de los materiales.
Donald R. Askeland.
Grupo Editorial Iberoamericana.
4. Resistencia de materiales – Diseño y construcción de máquinas.
E. J. Hearn.
Interamericana S.A. de C.V.
5. Resistencia de materiales.
Nicholas Willems
John T. Easley.
Stanley T. Rolfe.
Mc. Graw-Hill.
6. Análisis químicos y ensayos para la siderurgia y sus materias primas.
2ª edición.
Recopilación de normas UNE.
AENOR.

7. Manual de ingeniero mecánico.
8ª edición.
Theodore Baumeister.
Eugene A. Avallone.
Mc. Graw-Hill.

8. Ensaye e inspección de los materiales de ingeniería.
3ª edición.
Harmer E. Davis.
George Earl Troxell
Clement T. Wiskocil.
CECSA.

9. Mecánica de materiales.
2ª edición.
Ferdinand P. Beer.
E. Russell Johnston Jr.
Mc. Graw-Hill.

10. Manual para clientes de la ENERPAC.
"Tecnología hidráulica mundial".
Distribuido por OXGASA.

11. Prontuario de técnica mecánica.
Jimenez Balboa.
Marcombo.

12. Catalogo 101.
Mc Master-Carr.

13. Diseño en ingeniería mecánica.
5ª edición.
Joseph Ewards Shigley.
Charles R. Mischke.
Mc. Graw-Hill.

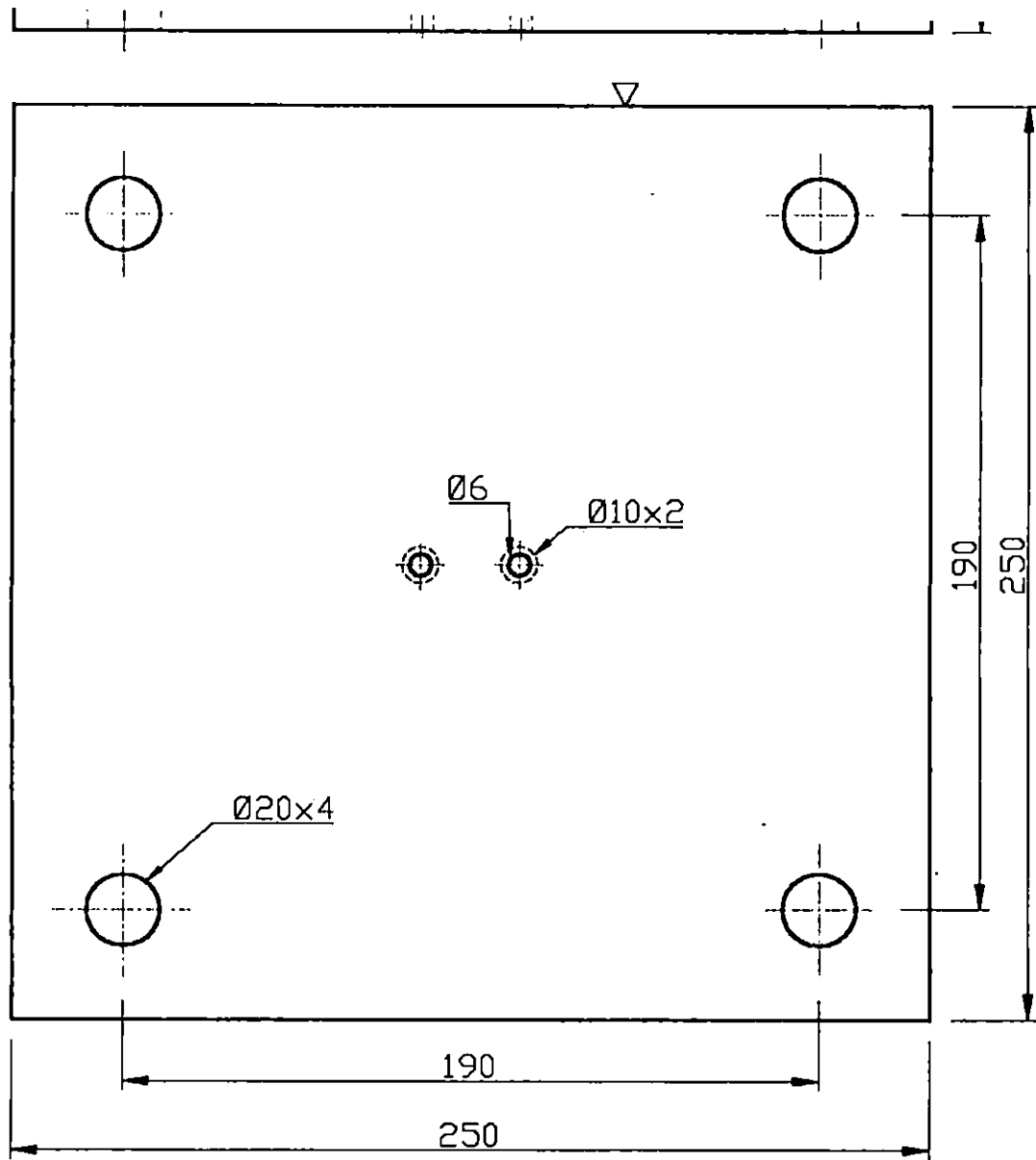
14. Stress – Concentration Design Factors.
R. E. Peterson
Editorial John Wiley & Sons, Inc. New York 1953.

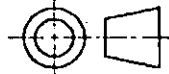
15. NORMAS ASTM.
Año 1996.
VOLUMEN 10,13 y 23.

16. Pruebas mecánicas y propiedades de los materiales.
V. Zolotorevski.
Editorial Mir, Moscú.

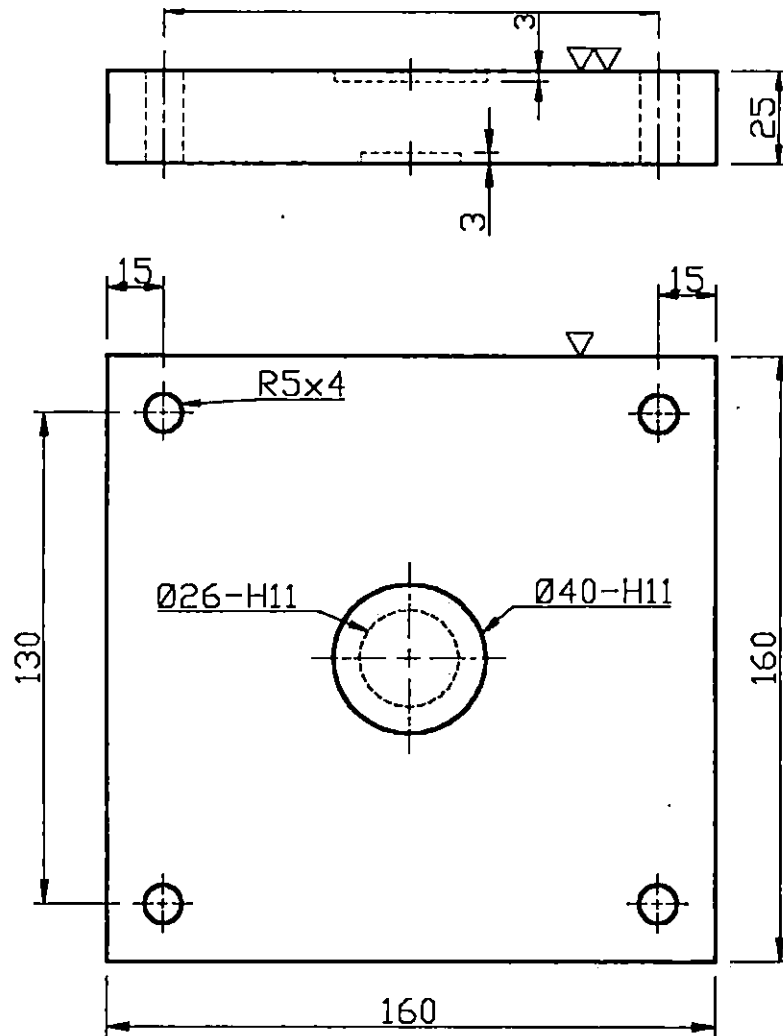
17. Maquinas – prontuario.
“Técnicas – maquinas – herramientas”.
N. Larburn Arrizabalaga.
Editorial PARANINFO, Madrid 1989.

18. Análisis químicos y ensayos para siderurgia y sus materias primas.
2ª Edición.
Parte 1.
Recopilación de las normas UNE.



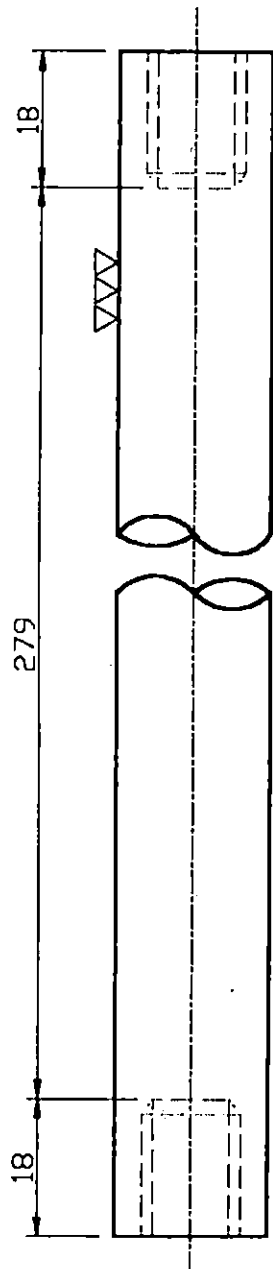

 ISO-A
 COTAS EN MILIMETROS

1	1	PLACA FIJA INFERIOR	AISI 1020	1:2
N _o	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES	
				PLANO N _o 1

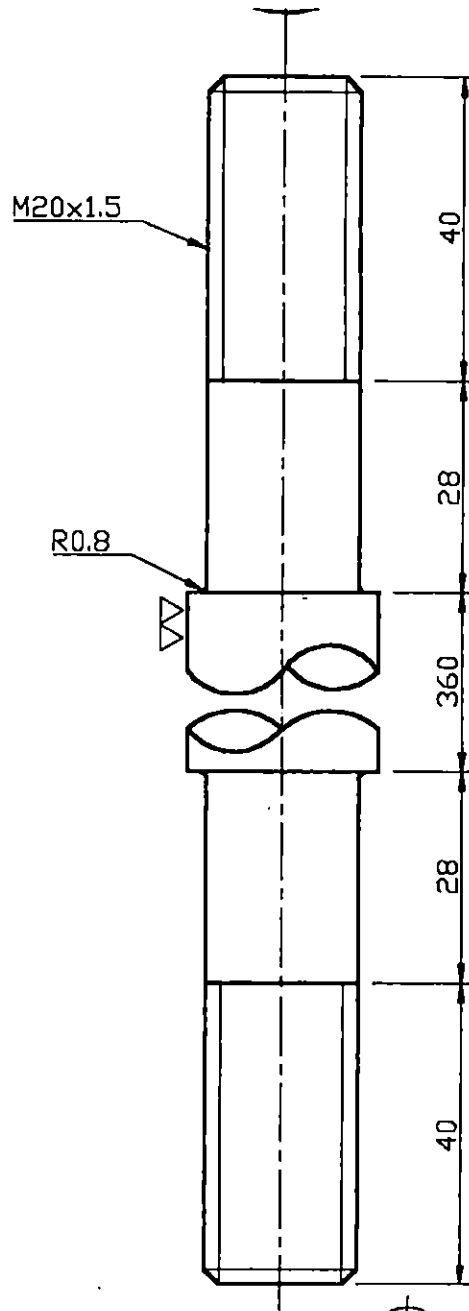



 ISO-A
 COTAS EN MILIMETROS

2	1	PLACA MOVIL INFERIOR	AISI 1020	1:2
N _o	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES	
				PLANO N _o 2



No 10

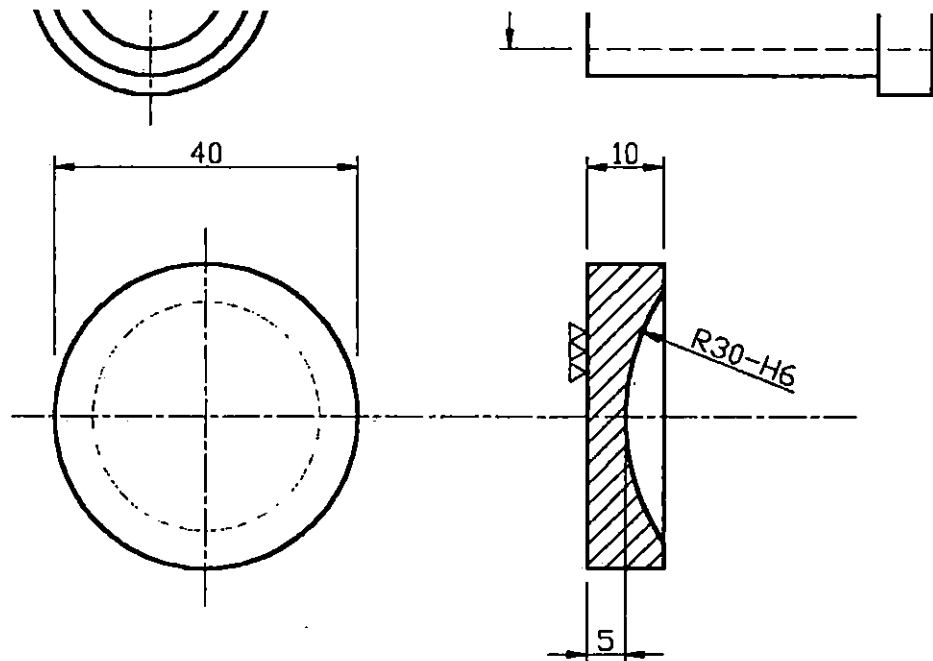


No 3

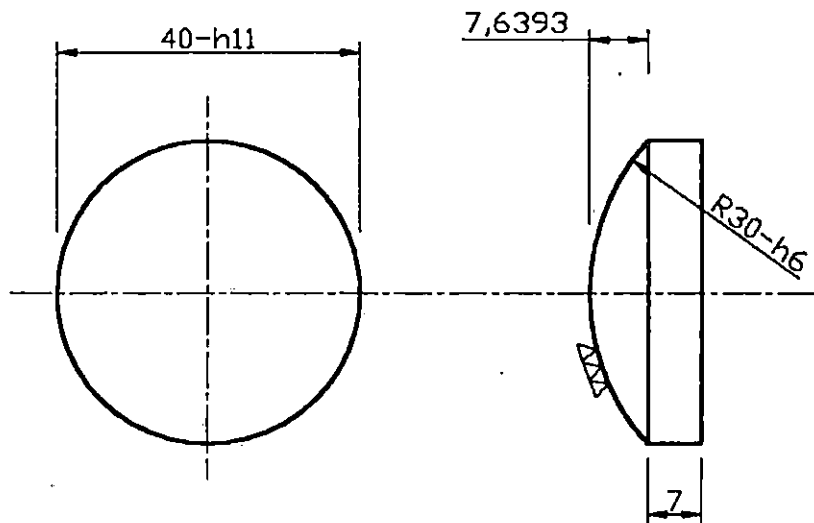
ISO-A
COTAS EN MILIMETROS

10	4	BARRA DESLIZANTE	AIISI 1020	1:1
3	4	BARRA DE ACOPLE	AIISI 1020	1:1
No	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES		PLANO No 3

No 5



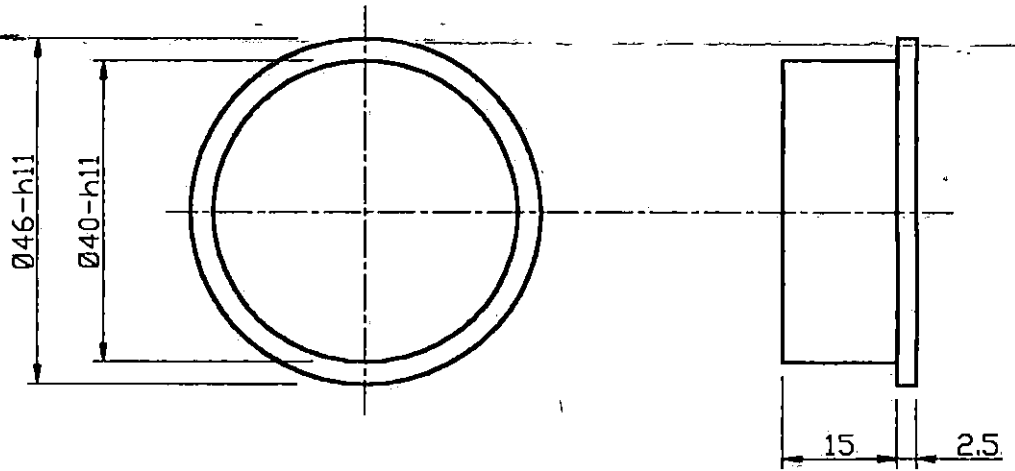
No 4



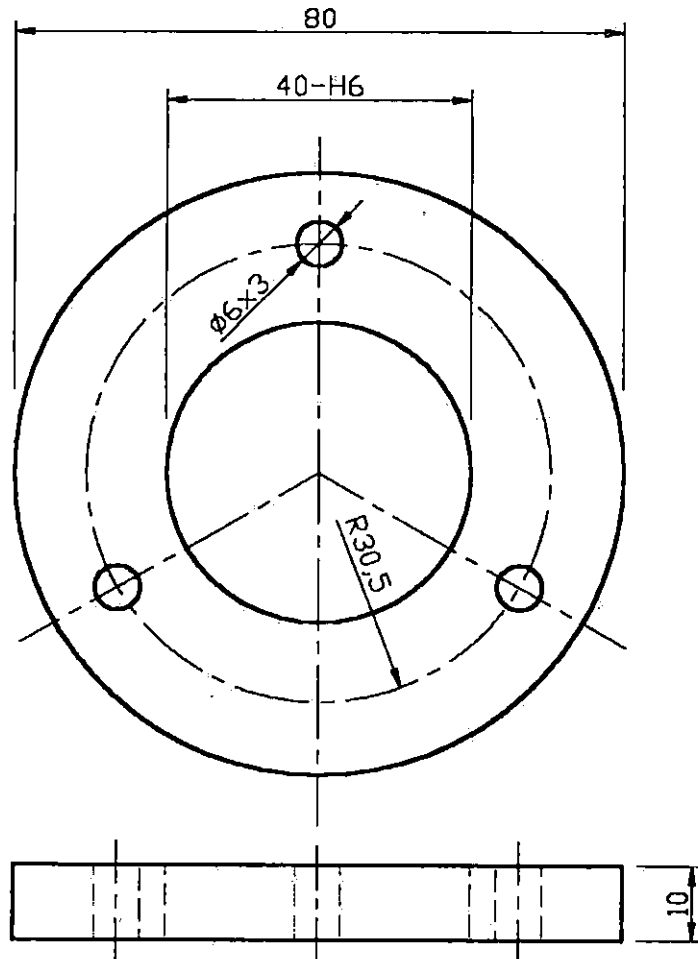
ISO-A
COTAS EN MILIMETROS

8	4	BUJE	BRONCE GRAF.	1:1
5	1	APOYO INFERIOR DE PROBETA DE COMP.	AISI 4140	1:1
4	1	ASIENTO SEMIESFERICO	AISI 4140	1:1
No	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES	
			PLANO No 4	

Nº 7



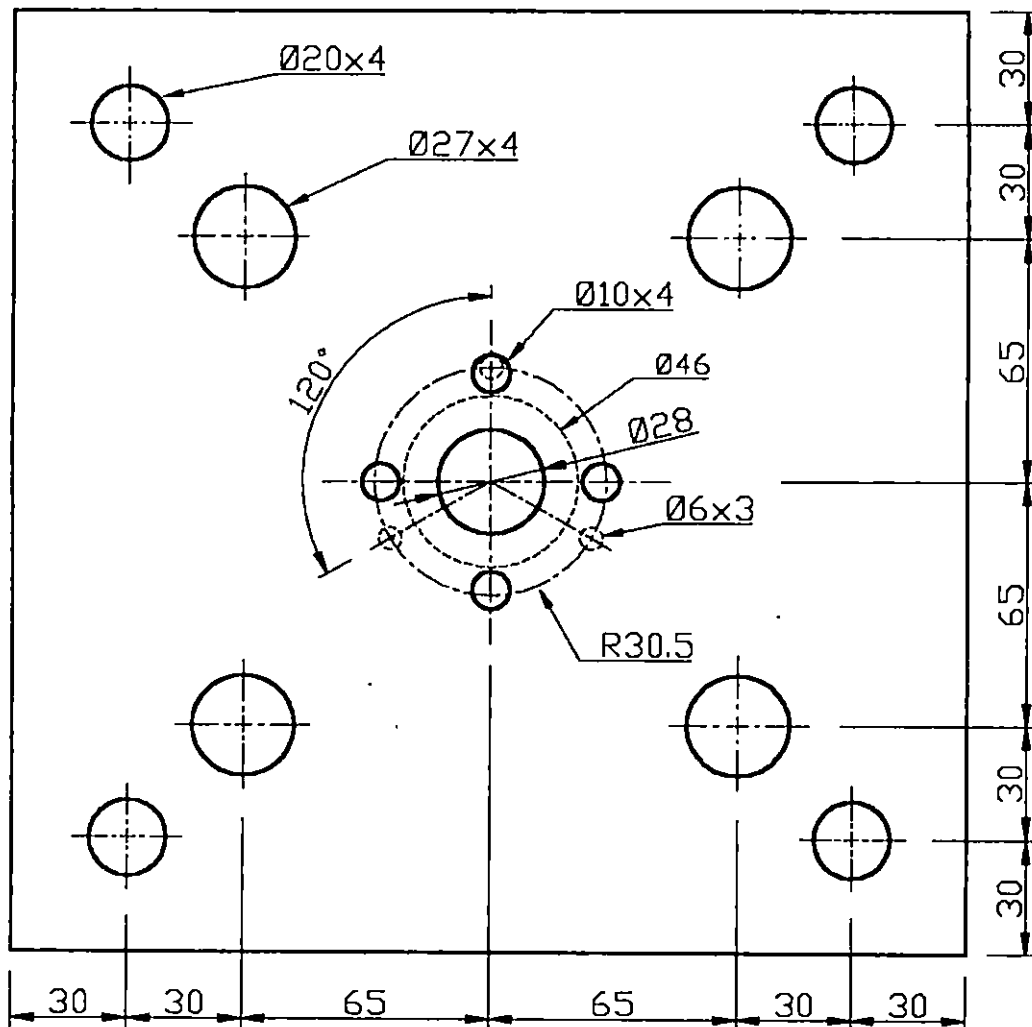
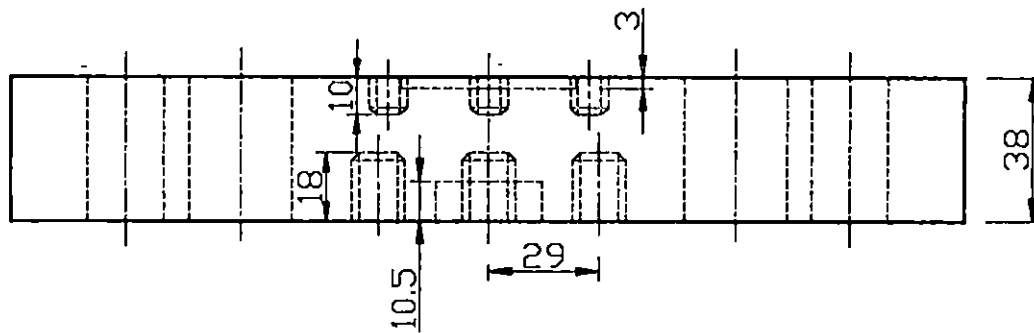
Nº 6



ISO-A
COTAS EN MILIMETROS

7	1	APOYO SUPERIOR DE PROBETA DE COMP.	AISI 4140	1:1
6	1	SUJETADOR DEL APOYO SUPERIOR	AISI 1020	1:1
Nº	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES	
				PLANO Nº 5

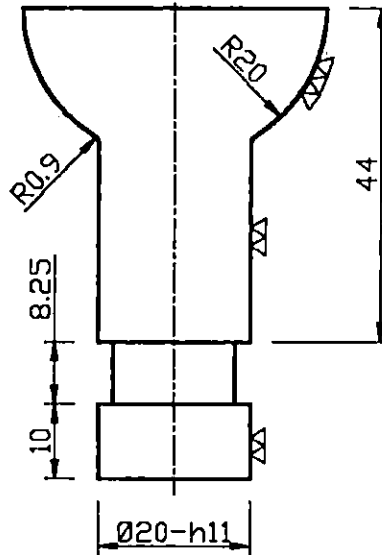
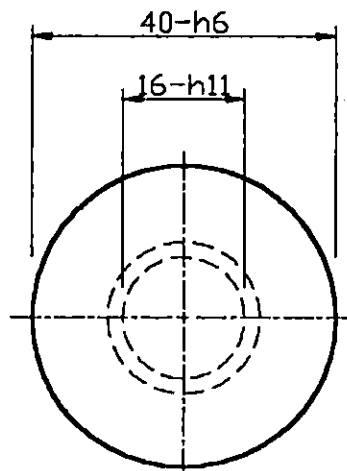




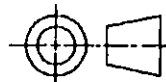
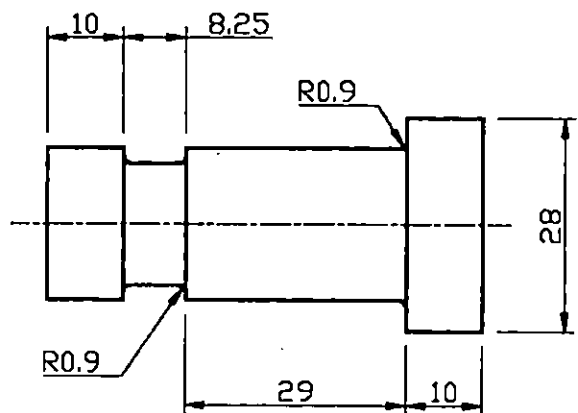
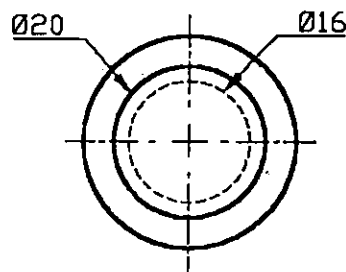
ISO-A
COTAS EN MILIMETROS

9	1	PLACA FIJA SUPERIOR	AISI 1020	1:2
Nº	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES		PLANO Nº 6

No 14



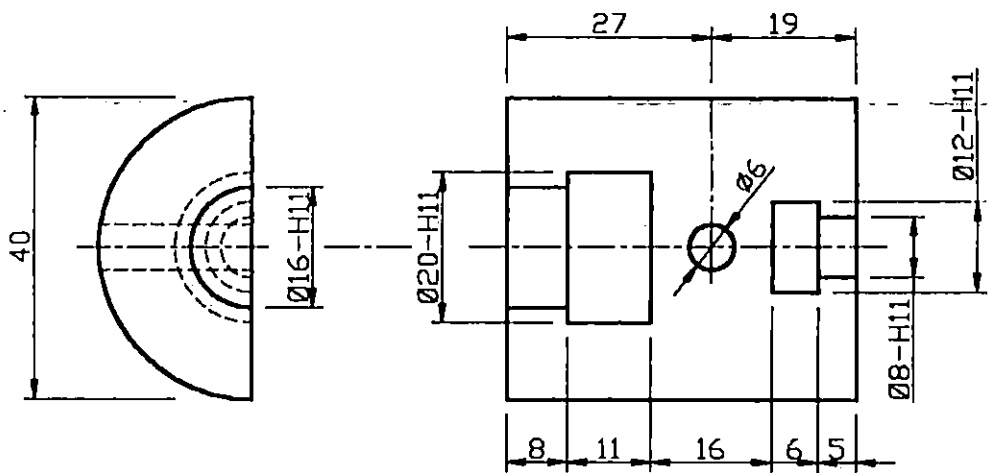
No 11



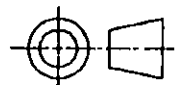
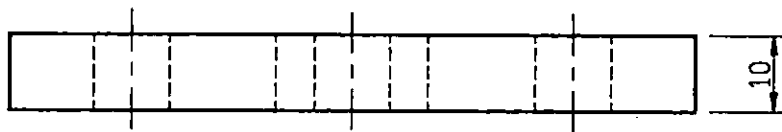
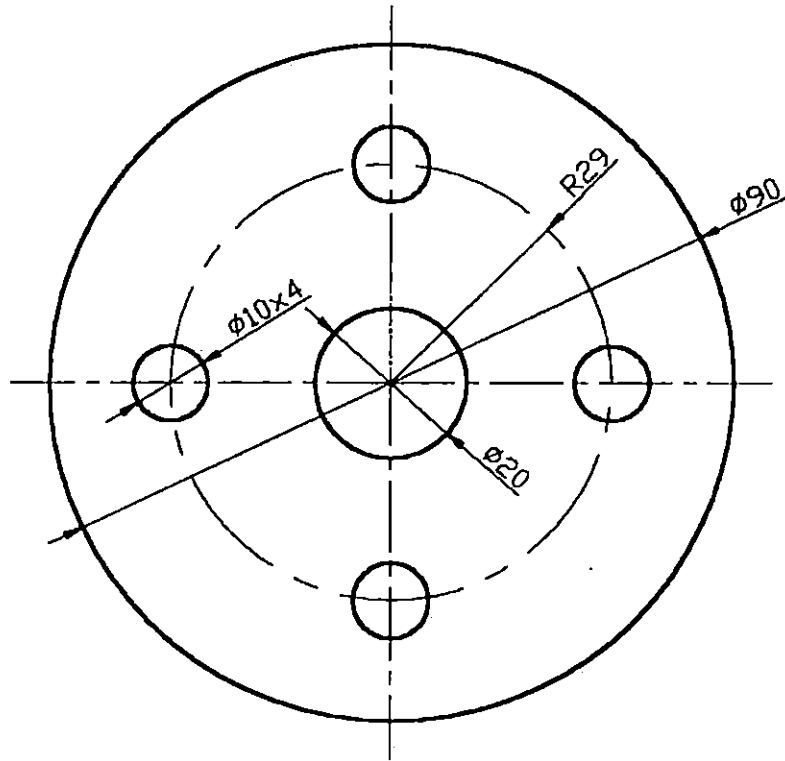
ISO-A
COTAS EN MILIMETROS

14	1	PORTAMORDAZA SUPERIOR	AISI 3115	1:1
11	1	PORTAMORDAZA INFERIOR	AISI 3115	1:1
No	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES	
				PLANO No 7

Nº 13

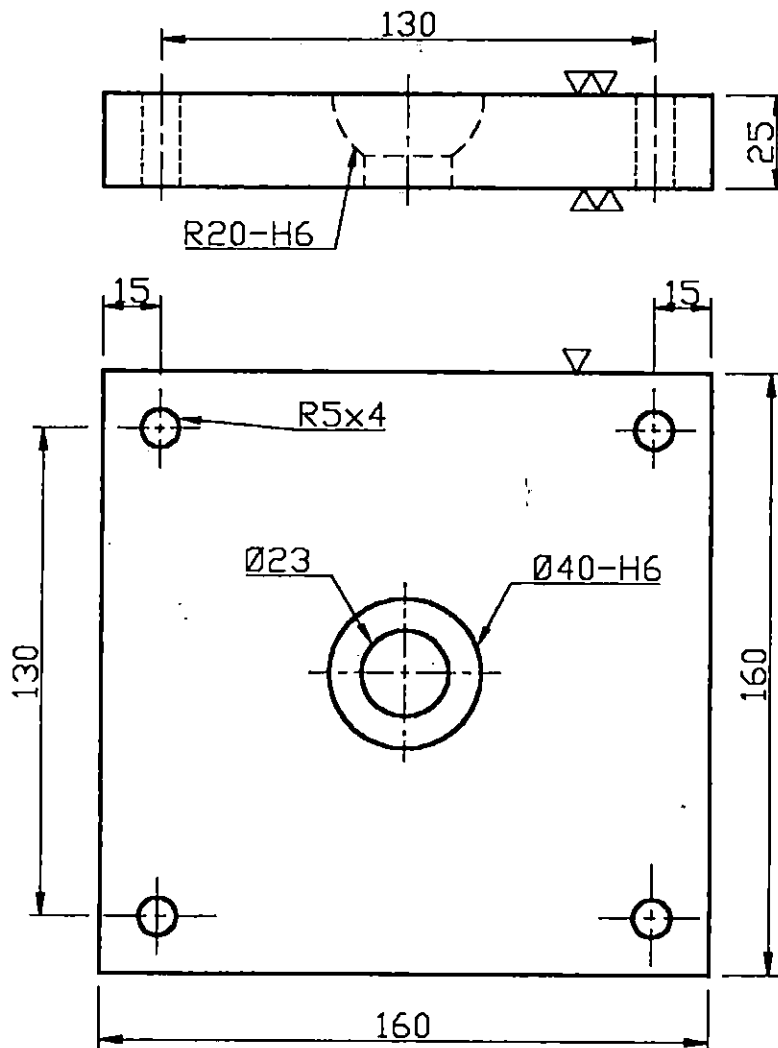


Nº 12



ISO-A
COTAS EN MILIMETROS

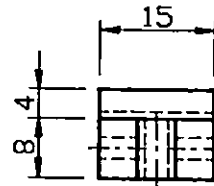
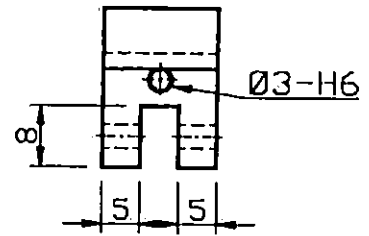
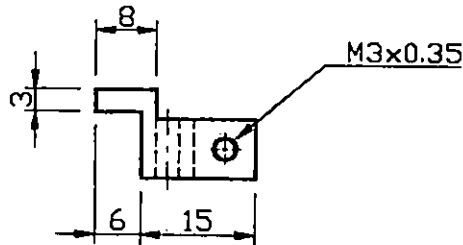
13	2	MORDAZA	AISI 3115	1:1
12	1	SUJETADOR DEL PORTAMORDAZA INFERIOR	AISI 1020	1:1
Nº	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES	
				PLANO Nº 8



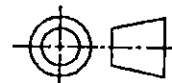
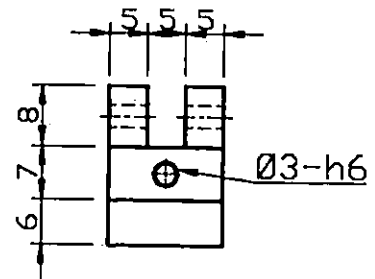
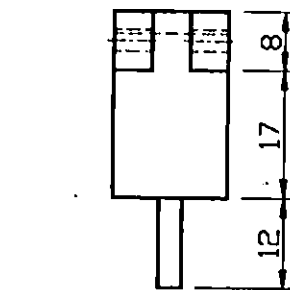
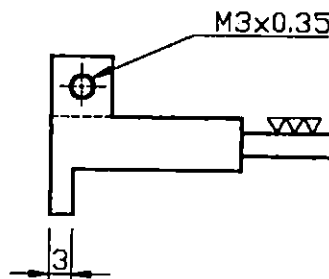

 ISO-A
 COTAS EN MILIMETROS

15	1	PLACA MOVIL SUPERIOR	AISI 1020	1:2
Nº	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA			DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION Y COMPRESION EN MATERIALES	
				PLANO Nº 9

No 17



No 16



ISO-A
COTAS EN MILIMETROS

17	1	ADAPTADOR SUPERIOR	AISI 1020	1:1
16	1	ADAPTADOR INFERIOR	AISI 1020	1:1
No	CANTIDAD	DENOMINACION	MATERIAL	ESCALA
	FECHA	NOMBRES		FIRMA
DIBUJADO	19-11-99	CAMPOS R. - CHAVEZ F. - MUÑOZ N.		
COMPROBADO	26-11-99	ING. J. F. ZULETA M. - ING. S. GAMEZ G.		
NORMA		ICAITI		
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR		DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA		PLANO No 10
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		MAQUINA PARA PRUEBAS DE TENSION		
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA		Y COMPRESION EN MATERIALES		

ANEXOS

ANEXO 1.

TABLA DE MATERIALES DE ABASTEINSA.

<i>Denominación Comercial</i>	<i>Norma Internacional AISI-SAE</i>	<i>Tratamiento Térmico de Suministro</i>	<i>Resistencia A la Tracción (Kg/mm²)</i>	<i>Resistencia De Fluencia (Kg/mm²)</i>
Acero de transmisión	1020	Normalizado	32 – 37	23 – 27
Acero para temple 1045	1045	Recocido	70 – 90	38 - 49
Barra perforada	1518	Recocido	50 – 60	35 - 34
Acero para cementación ECN 150	3115	Recocido	75 - 100	55 - 70
VCL 140	4140	Bonificación 650°C	80 – 120	55 - 100
VCN 150	4340 H	Bonificación 650°C	90 – 130	60 - 100

AISI 1020.

Es un acero que posee bajo contenido de carbono, por eso es fácil su cementación. Es altamente tenaz, resistencia media a la tracción. Se usa para ejes de transmisión y de fuerza.

Sus características son:

- Calibrado a la medida. Acabado Brillante.
- Cementable a 900°C y templado en agua.
- Dureza obtenible: 60 R.C.
- Es de usos múltiples. Fácil de Soldar.

AISI 1045.

Acero fino al carbono de alta calidad y pureza lograda con un proceso especial de fabricación y estricto control de calidad usado para repuestos bonificados, tales como:

ejes, tuercas, pernos, ganchos, pines, pasadores, chavetas, estribos y piezas en donde se requiere buen rango de elasticidad.

Templable en agua a 850°C y en aceite a 860°C.

Para soldar consulte un técnico.

BARRA PERFORADA AISI 1518.

Acero especial laminado en caliente con mínima tolerancia, grandes ventajas por ahorro de costo en el material, es cementable y puede soldarse, es aceptada por Lloyd's Register Shipping para construcciones navales.

Aplicación: Anillos separadores, casquillos, columnas de taladro, placas de respaldo, ejes, rodillos, bujes, etc.

Cementable a 900°C.

Enfriado al agua o aceite.

ACERO AISI 3115.

Acero especial para cementación aleado al cromo níquel. Adquiere excelente dureza superficial en el temple por cementación, insuperable tenacidad y resistencia en el núcleo.

Aplicaciones: Repuestos de grandes dimensiones en las cuales exija dureza superficial; piñones, cigueñales, ejes, caja velocidad y engranajes sinfines, transportadores, palancas, piezas de dirección, vástagos, bulas, etc.

AISI 4142 VCL 140.

Acero especial bonificado con aleación de cromo y molibdeno muy resistente a la tracción y a la tensión, como también a los cambios de flexión.

Se suministra en estado bonificado por lo cual, puede ser usado sin necesidad de tratamiento térmico adicional, ciertos elementos de construcción de motores, engranajes, pernos, tuercas, árboles de transmisión, ejes cardan, ejes de transmisión. Para soldar consulte un técnico.

Temple: al agua 820-850°C al aceite 830-860°C; revenido 520-680°C.

AISI 4340 H.

Acero especial bonificado al cromo níquel y molibdeno altamente resistente a la tracción y a la torsión, como también al cambio de flexión. No es propenso a roturas en el revenido. Es aplicable sin tratamiento térmico adicional.

Aplicaciones: repuestos de mayores dimensiones, sometidos a altos esfuerzos dinámicos, tales como ejes de leva, árboles de transmisión, pernos, tuercas, rodillos transportadores, vástagos, pines, muñones, engranajes, discos de embrague, flechas, ejes de turbinas, ejes de trituradoras de piedra resistentes al impacto.

Temperatura de temple solo al aceite 830-860°C; revenido a 520-680°C.

ANEXO 2

DIÁMETRO MAYOR NOMINAL d	SERIE DE PASO BASTO			SERIE DE PASO FINO		
	PASO p	ÁREA DE ESFUERZO DE TENSIÓN A_t	ÁREA AL DIÁMETRO MENOR A_r	PASO p	ÁREA DE ESFUERZO DE TENSIÓN A_t	ÁREA AL DIÁMETRO MENOR A_r
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

Anexo 2. Características de roscas métricas de paso fino y de paso basto (dimensiones en milímetros).

- Las ecuaciones y datos utilizados para elaborar esta tabla se han obtenido de ANSI B1.1974 y B18.3.1-978. El diámetro menor se determinó con la ecuación $d_r = d - 1.226869 p$, y el diámetro de paso a partir de $d_m = d - 0.649 p$. El valor medio del diámetro de paso y del diámetro menor se utilizaron para evaluar el área de esfuerzo de tensión.

ANEXO 3

TAMAÑO NOMINAL, in	ANCHO W	ALTURA H		
		HEXAGONAL REGULAR	GRUESA O CONTRA- RANURADA	TUERCA
1/8	7/16	7/16	3/8	3/8
1/4	1/2	1/2	3/4	3/4
3/8	5/8	5/8	7/8	7/8
1/2	3/4	3/4	1 1/8	1 1/8
5/8	7/8	7/8	1 1/4	1 1/4
3/4	1 1/8	1 1/8	1 3/4	1 3/4
7/8	1 1/4	1 1/4	1 7/8	1 7/8
1	1 1/2	1 1/2	2 1/8	2 1/8
1 1/8	1 3/4	1 3/4	2 1/4	2 1/4
1 1/4	2	2	2 3/4	2 3/4
1 1/2	2 1/4	2 1/4	3 1/8	3 1/8
1 3/4	2 3/4	2 3/4	3 1/4	3 1/4
2	3	3	3 3/4	3 3/4

TAMAÑO NOMINAL, mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

ANEXO 3. Dimensiones de tuercas hexagonales.

ANEXO 4^ψ

Material	Densidad kg/m ³	Resistencia última			Fluencia [*]		Módulo de elasticidad GPa	Módulo de rigidez GPa	Coeficiente de expansión térmica 10 ⁻⁶ /°F	Distribución de tensiones en 50 mm
		Tensión, MPa	Compresión, MPa	Cortante, MPa	Tensión, MPa	Cortante, MPa				
ACERO:										
Estructural (ASTM-A36)	7860	400			250	145	200	77	11.7	23
Alta resistencia										
ASTM-A242	7860	480			345	205	200	77	11.7	22
ASTM-A441	7860	460			320		200	77	11.7	21
ASTM-A572	7860	415			290		200	77	11.7	24
Templado										
ASTM A-514	7860	760			690	380	200	77	11.7	18
AISI 302										
Laminado en frío	7820	880			520		190	75	17.3	12
Recocido	7920	655			260	150	190	75	17.3	15
Acero de refuerzo										
Resistencia media	7860	480			275		200	77	11.7	8
Alta resistencia	7860	620			415		200	77	11.7	
FUNDICIÓN:										
Fundición gris										
4.5% C, ASTM A-48	7200	170	655	240			69	28	12.1	0.5
Hierro fundido										
2% C, 1% Si, ASTM A-47	7300	345	620	330	230		165	65	12.1	10
ALUMINIO										
Aleación 1100-H14 (99% Al)	2710	110		70	100	55	70	28	23.6	15
Aleación 2014-T6	2800	455		275	400	230	75	27	23.0	12
Aleación 2024-T4	2800	470		280	325		73		25.2	12
Aleación 5456-H118	2630	320		185	230	130	72		23.9	12
Aleación 6061-T6	2710	260		165	240	140	70	29	23.6	12
Aleación 7075-T6	2800	670		330	500		72	25	23.5	12
COBRE										
Libre de oxígeno (99.9% Cu)										
Recocido	8910	220		150	70		120	44	16.9	15
Endurecido	8910	390		200	265		120	44	16.9	15
Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn)										
Laminado en frío	8470	510		300	410	250	105	38	21.9	12
Recocido	8470	320		220	100	60	105	38	21.9	12
Latón rojo (85% Cu, 15% Zn)										
Laminado en frío	8740	585		320	435		120	44	16.9	12
Recocido	8740	270		210	70		120	44	16.9	12
Estaño bronce (88 Cu, 8Sn, 4Zn)	8800	310			145		95		18.0	10
Manganeso bronce (63 Cu, 25 Zn, 6 Al, 3 Mn, 3 Fe)	8360	655			330		105		21.6	10
Aluminio bronce (81 Cu, 4 Ni, 4 Fe, 11 Al)	8330	620	900		275		110	42	16.2	10

ANEXO 4. Propiedades típicas de los materiales seleccionados usados en ingeniería

^ψ Tabla tomada de la ref. 9, pag. 699

ANEXO 5

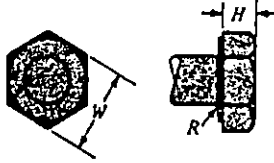
TAMAÑO NOMINAL, In	RADIO MÍNIMO DE ENTALLE	TIPO DE TORNILLO		ALTURA H
		COMÚN W	PESADO W	
$\frac{1}{8}$	0.015	$\frac{7}{8}$		$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{16}$	0.015	$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$
$\frac{1}{4}$	0.015	$\frac{3}{8}$		$\frac{1}{2}$
$\frac{5}{16}$	0.015	$\frac{3}{8}$		$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{8}$	0.020	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{3}{4}$
$\frac{7}{8}$	0.020	1A	1A	$\frac{3}{4}$
1	0.040	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$
$1\frac{1}{8}$	0.060	1A	1B	$\frac{3}{4}$
$1\frac{1}{4}$	0.060	1A	2	$\frac{3}{4}$
$1\frac{1}{2}$	0.060	$2\frac{1}{8}$	$2\frac{3}{8}$	$\frac{3}{4}$
$1\frac{3}{4}$	0.060	2A	2B	1B

TAMAÑO NOMINAL, mm				
M5	0.2	8		3.65
M6	0.3	10		4.15
M8	0.4	13		5.50
M10	0.4	16		6.63
M12	0.6	18	21	7.76
M14	0.6	21	24	9.09
M16	0.6	24	27	10.32
M20	0.8	30	34	12.88
M24	0.8	36	41	15.44
M30	1.0	46	50	19.48
M36	1.0	55	60	23.38

Dimensiones de Tornillos de maquinaria de cabeza hexagonal común y pesada (W = ancho entre caras planas; H = altura de la cabeza; véase la figura del anexo 6)*

* Tabla tomada de la ref. 13, pag. 867.

ANEXO 6



TAMAÑO NOMINAL, in	TIPO DE CABEZA										
	CUADRADA		HEXAGONAL REGULAR			HEXAGONAL PESADA			HEXAGONAL ESTRUCTURAL		
	W	H	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}	W	H	R _{min}
1/8	3/16	5/16	7/16	5/16	0.01						
1/4	1/2	5/8	1	3/4	0.01						
3/8	7/8	1	1 1/8	1	0.01						
1/2	1 1/8	1 1/4	1 3/4	1 1/2	0.01						
5/8	1 3/8	1 3/4	1 7/8	1 5/8	0.02	1 1/8	1 1/4	0.01	1 1/8	1 1/4	0.009
3/4	1 5/8	1 7/8	2	1 7/8	0.02	1 3/8	1 3/4	0.02	1 3/8	1 3/4	0.021
7/8	1 7/8	2 1/8	2 1/4	2	0.02	1 5/8	1 7/8	0.02	1 5/8	1 7/8	0.021
1	2	2 1/4	2 3/4	2 1/4	0.03	1 7/8	2	0.03	1 7/8	2	0.062
1 1/8	2 1/8	2 3/4	3	2 3/4	0.03	2	2 1/4	0.03	2	2 1/4	0.062
1 1/4	2 1/4	2 7/8	3 1/4	3	0.03	2 1/8	2 3/4	0.03	2 1/8	2 3/4	0.062
1 1/2	2 3/4	3	3 3/4	3 1/2	0.03	2 3/8	3	0.03	2 3/8	3	0.062
1 3/4	3	3 1/2	4	3 3/4	0.03	2 5/8	3 1/4	0.03	2 5/8	3 1/4	0.062
2	3 1/2	4	4 3/4	4	0.03	3	3 1/2	0.03	3	3 1/2	0.062
2 1/4	4	4 1/2	5 1/4	4 3/4	0.03	3 1/8	4	0.03	3 1/8	4	0.062
2 1/2	4 1/4	4 3/4	5 3/4	5 1/2	0.03	3 3/8	4 1/4	0.03	3 3/8	4 1/4	0.062
2 3/4	4 3/4	5	6	5 1/2	0.03	3 5/8	4 3/4	0.03	3 5/8	4 3/4	0.062
3	5	5 1/2	6 1/4	6	0.03	4	5	0.03	4	5	0.062
3 1/4	5 1/4	5 3/4	6 3/4	6 1/2	0.03	4 1/8	5 1/4	0.03	4 1/8	5 1/4	0.062
3 1/2	5 1/2	6	7	6 3/4	0.03	4 3/8	5 3/4	0.03	4 3/8	5 3/4	0.062
3 3/4	5 3/4	6 1/4	7 1/4	7	0.03	4 5/8	6	0.03	4 5/8	6	0.062
4	6	6 1/2	7 3/4	7 1/2	0.03	4 7/8	6 1/4	0.03	4 7/8	6 1/4	0.062
4 1/4	6 1/4	6 3/4	8 1/4	7 3/4	0.03	5	6 3/4	0.03	5	6 3/4	0.062
4 1/2	6 1/2	7	8 1/2	8	0.03	5 1/8	7	0.03	5 1/8	7	0.062
4 3/4	6 3/4	7 1/4	9 1/4	8 1/2	0.03	5 3/8	7 1/4	0.03	5 3/8	7 1/4	0.062
5	7	7 1/2	9 3/4	9	0.03	5 5/8	7 3/4	0.03	5 5/8	7 3/4	0.062
5 1/4	7 1/4	7 3/4	10 1/4	9 1/2	0.03	5 7/8	8	0.03	5 7/8	8	0.062
5 1/2	7 1/2	8	10 1/2	9 3/4	0.03	6	8 1/4	0.03	6	8 1/4	0.062
5 3/4	7 3/4	8 1/4	11 1/4	10 1/2	0.03	6 1/8	8 3/4	0.03	6 1/8	8 3/4	0.062
6	8	8 1/2	11 3/4	11	0.03	6 3/8	9	0.03	6 3/8	9	0.062
6 1/4	8 1/4	8 3/4	12 1/4	11 1/2	0.03	6 5/8	9 1/4	0.03	6 5/8	9 1/4	0.062
6 1/2	8 1/2	9	12 1/2	11 3/4	0.03	6 7/8	9 3/4	0.03	6 7/8	9 3/4	0.062
6 3/4	8 3/4	9 1/4	13 1/4	12 1/2	0.03	7	10	0.03	7	10	0.062
7	9	9 1/2	13 3/4	13	0.03	7 1/8	10 1/4	0.03	7 1/8	10 1/4	0.062
7 1/4	9 1/4	9 3/4	14 1/4	13 1/2	0.03	7 3/8	10 3/4	0.03	7 3/8	10 3/4	0.062
7 1/2	9 1/2	10	14 1/2	13 3/4	0.03	7 5/8	11	0.03	7 5/8	11	0.062
7 3/4	9 3/4	10 1/4	15 1/4	14 1/2	0.03	7 7/8	11 1/4	0.03	7 7/8	11 1/4	0.062
8	10	10 1/2	15 3/4	15	0.03	8	11 3/4	0.03	8	11 3/4	0.062
8 1/4	10 1/4	10 3/4	16 1/4	15 1/2	0.03	8 1/8	12	0.03	8 1/8	12	0.062
8 1/2	10 1/2	11	16 1/2	15 3/4	0.03	8 3/8	12 1/4	0.03	8 3/8	12 1/4	0.062
8 3/4	10 3/4	11 1/4	17 1/4	16 1/2	0.03	8 5/8	12 3/4	0.03	8 5/8	12 3/4	0.062
9	11	11 1/2	17 3/4	17	0.03	8 7/8	13	0.03	8 7/8	13	0.062
9 1/4	11 1/4	11 3/4	18 1/4	17 1/2	0.03	9	13 1/4	0.03	9	13 1/4	0.062
9 1/2	11 1/2	12	18 1/2	17 3/4	0.03	9 1/8	13 1/2	0.03	9 1/8	13 1/2	0.062
9 3/4	11 3/4	12 1/4	19 1/4	18 1/2	0.03	9 3/8	13 3/4	0.03	9 3/8	13 3/4	0.062
10	12	12 1/2	19 3/4	19	0.03	9 5/8	14	0.03	9 5/8	14	0.062
10 1/4	12 1/4	12 3/4	20 1/4	19 1/2	0.03	9 7/8	14 1/4	0.03	9 7/8	14 1/4	0.062
10 1/2	12 1/2	13	20 1/2	19 3/4	0.03	10	14 1/2	0.03	10	14 1/2	0.062
10 3/4	12 3/4	13 1/4	21 1/4	20 1/2	0.03	10 1/8	14 3/4	0.03	10 1/8	14 3/4	0.062
11	13	13 1/2	21 3/4	21	0.03	10 3/8	15	0.03	10 3/8	15	0.062
11 1/4	13 1/4	13 3/4	22 1/4	21 1/2	0.03	10 5/8	15 1/4	0.03	10 5/8	15 1/4	0.062
11 1/2	13 1/2	14	22 1/2	21 3/4	0.03	10 7/8	15 1/2	0.03	10 7/8	15 1/2	0.062
11 3/4	13 3/4	14 1/4	23 1/4	22 1/2	0.03	11	15 3/4	0.03	11	15 3/4	0.062
12	14	14 1/2	23 3/4	23	0.03	11 1/8	16	0.03	11 1/8	16	0.062
12 1/4	14 1/4	14 3/4	24 1/4	23 1/2	0.03	11 3/8	16 1/4	0.03	11 3/8	16 1/4	0.062
12 1/2	14 1/2	15	24 1/2	23 3/4	0.03	11 5/8	16 1/2	0.03	11 5/8	16 1/2	0.062
12 3/4	14 3/4	15 1/4	25 1/4	24 1/2	0.03	11 7/8	16 3/4	0.03	11 7/8	16 3/4	0.062
13	15	15 1/2	25 3/4	25	0.03	12	17	0.03	12	17	0.062
13 1/4	15 1/4	15 3/4	26 1/4	25 1/2	0.03	12 1/8	17 1/4	0.03	12 1/8	17 1/4	0.062
13 1/2	15 1/2	16	26 1/2	25 3/4	0.03	12 3/8	17 1/2	0.03	12 3/8	17 1/2	0.062
13 3/4	15 3/4	16 1/4	27 1/4	26 1/2	0.03	12 5/8	17 3/4	0.03	12 5/8	17 3/4	0.062
14	16	16 1/2	27 3/4	27	0.03	12 7/8	18	0.03	12 7/8	18	0.062
14 1/4	16 1/4	16 3/4	28 1/4	27 1/2	0.03	13	18 1/4	0.03	13	18 1/4	0.062
14 1/2	16 1/2	17	28 1/2	27 3/4	0.03	13 1/8	18 1/2	0.03	13 1/8	18 1/2	0.062
14 3/4	16 3/4	17 1/4	29 1/4	28 1/2	0.03	13 3/8	18 3/4	0.03	13 3/8	18 3/4	0.062
15	17	17 1/2	29 3/4	29	0.03	13 5/8	19	0.03	13 5/8	19	0.062
15 1/4	17 1/4	17 3/4	30 1/4	29 1/2	0.03	13 7/8	19 1/4	0.03	13 7/8	19 1/4	0.062
15 1/2	17 1/2	18	30 1/2	29 3/4	0.03	14	19 1/2	0.03	14	19 1/2	0.062
15 3/4	17 3/4	18 1/4	31 1/4	30 1/2	0.03	14 1/8	19 3/4	0.03	14 1/8	19 3/4	0.062
16	18	18 1/2	31 3/4	31	0.03	14 3/8	20	0.03	14 3/8	20	0.062
16 1/4	18 1/4	18 3/4	32 1/4	31 1/2	0.03	14 5/8	20 1/4	0.03	14 5/8	20 1/4	0.062
16 1/2	18 1/2	19	32 1/2	31 3/4	0.03	14 7/8	20 1/2	0.03	14 7/8	20 1/2	0.062
16 3/4	18 3/4	19 1/4	33 1/4	32 1/2	0.03	15	20 3/4	0.03	15	20 3/4	0.062
17	19	19 1/2	33 3/4	33	0.03	15 1/8	21	0.03	15 1/8	21	0.062
17 1/4	19 1/4	19 3/4	34 1/4	33 1/2	0.03	15 3/8	21 1/4	0.03	15 3/8	21 1/4	0.062
17 1/2	19 1/2	20	34 1/2	33 3/4	0.03	15 5/8	21 1/2	0.03	15 5/8	21 1/2	0.062
17 3/4	19 3/4	20 1/4	35 1/4	34 1/2	0.03	15 7/8	21 3/4	0.03	15 7/8	21 3/4	0.062
18	20	20 1/2	35 3/4	35	0.03	16	22	0.03	16	22	0.062
18 1/4	20 1/4	20 3/4	36 1/4	35 1/2	0.03	16 1/8	22 1/4	0.03	16 1/8	22 1/4	0.062
18 1/2	20 1/2	21	36 1/2	35 3/4	0.03	16 3/8	22 1/2	0.03	16 3/8	22 1/2	0.062
18 3/4	20 3/4	21 1/4	37 1/4	36 1/2	0.03	16 5/8	22 3/4	0.03	16 5/8	22 3/4	0.062
19	21	21 1/2	37 3/4	37	0.03	16 7/8	23	0.03	16 7/8	23	0.062
19 1/4	21 1/4	21 3/4	38 1/4	37 1/2	0.03	17	23 1/4	0.03	17	23 1/4	0.062
19 1/2	21 1/2	22	38 1/2	37 3/4	0.03	17 1/8	23 1/2	0.03	17 1/8	23 1/2	0.062
19 3/4	21 3/4	22 1/4	39 1/4	38 1/2	0.03	17 3/8	23 3/4	0.03	17 3/8	23 3/4	0.062
20	22	22 1/2	39 3/4	39	0.03	17 5/8	24	0.03	17 5/8	24	0.062
20 1/4	22 1/4	22 3/4	40 1/4	39 1/2	0.03	17 7/8	24 1/4	0.03	17 7/8	24 1/4	0.062
20 1/2	22 1/2	23	40 1/2	39 3/4	0.03	18	24 1/2	0.03	18	24 1/2	0.062
20 3/4	22 3/4	23 1/4	41 1/4	40 1/2	0.03	18 1/8	24 3/4	0.03	18 1/8	24 3/4	0.062
21	23	23 1/2	41 3/4	41	0.03	18 3/8	25	0.03	18 3/8	25	0.062
21 1/4	23 1/4	23 3/4	42 1/4	41 1/2	0.03	18 5/8	25 1/4	0.03	18 5/8	25 1/4	0.062
21 1/2	23 1/										

ANEXO 7

d/b	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
α	0.0443	0.0530	0.0616	0.0697	0.0770	0.0843	0.0906	0.0964
β_1	0.0479	0.0553	0.0626	0.0693	0.0753	0.0812	0.0862	0.0908
β_2	0.0479	0.0494	0.0501	0.0504	0.0506	0.0500	0.0493	0.0486
d/h	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	5.0	∞	
α	0.1017	0.1064	0.1106	0.1336	0.1400	0.1416	0.1422	
β_1	0.0948	0.0985	0.1017	0.1189	0.1235	0.1246	0.1250	
β_2	0.0479	0.0471	0.0464	0.0404	0.0384	0.0375	0.0375	

ANEXO 7. Constantes para placas rectangulares con carga uniformemente distribuida y bordes simplemente apoyados*.

* Tabla tomada de la ref. 17, pag. 500.

ANEXO 8

REVESTIMIENTOS DE FOSFATO LIGADO PARA MECÁNICA DENTAL.

CERAMIGOL: Revestimiento con carbón para aleaciones de oro cerámico, coronas y puentes.

Hi-Temp: Revestimiento sin carbón para aleaciones de alto grado de fusión.

Cera-Fina: Revestimiento de grano fino sin carbón para aleaciones de alto grado de fusión.

PROPIEDADES	CERAMIGOL	HI-TEMP	CERA-FINA
Tiempo de trabajo	6-7 minutos	7-8 minutos	8-10 minutos
Expansión de fraguado	0.7 %	0.7 %	0.25 %
Expansión térmica	1.2 %	1.2 %	1.3 %
Resistencia compresiva	10 MPa	10 MPa	4 MPa.

ANEXO 8. Propiedades de los cerámicos dentales distribuidos por PhosPhate Bonded Investments.

ANEXO 11

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

PROCEDIMIENTO:

- **Toma de lecturas:**

Durante la prueba se procederá a tomar las siguientes:

- Tipo de material
- Diámetro nominal (mm)
- Longitud entre puntos (mm)
- Presión en el manómetro (kPa)
- Deformaciones de la probeta durante la prueba (mm)
- Tipo de ruptura
- Diámetro final (mm)

Obtención de esfuerzo en la probeta:

La presión (en kPa) deberá transformarse a fuerza que ejerce el cilindro a la probeta, para lo cual se multiplicará por el área del pistón (0,99 pulg² aproximadamente 638.7 mm²).

Luego, la fuerza que se obtuvo en el paso anterior se deberá transformar a esfuerzo en la probeta para lo cual se dividirá entre el área de la probeta, así

$$\sigma = \frac{4 F}{\pi D^2}$$

Donde: F: Fuerza ejercida por el cilindro hidráulico.

D: Diámetro de la probeta.

Obtención de la elongación:

La deformación de la probeta se lee directamente en el deformímetro; pero para obtener la deformación porcentual se hace de la siguiente manera:

$$e = \frac{\text{deformación} * 100}{L_0}$$

Donde: e : porcentaje de elongación.

L₀ : Longitud inicial.

Gráfica Esfuerzo-Deformación:

La gráfica esfuerzo deformación se obtiene de graficar los esfuerzo de la probeta como la ordenada y los porcentaje de elongación como la abscisa.

Del gráfico se obtendrá como se explico en el capitulo 1.0 la siguiente información:

- Límite de proporcionalidad.
- Esfuerzo de fluencia.
- Esfuerzo a la tracción o máximo.
- Esfuerzo a la ruptura.
- Modulo de Young.

Tabulación de datos:

Todos los ensayos se deben procesar estadísticamente como se explica:

Promedio:
$$X = \frac{\sum x_i}{n}$$

Varianza:
$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - X)^2}{n}$$

Desviación típica:
$$S = \sigma$$

Coefficiente de Variación:
$$C.V. = \frac{S}{X}$$

Dato del proveedor : D.P.

Coefficiente de error:
$$C.E. = \frac{(X - D.P.)}{D.P.}$$

RESULTADOS DE ENSAYOS DE TENSION

Bronce 87.5 Cu, 1 C.	Esfuerzo de fluencia(MPa)	Resistencia Ultima (Mpa)	Modulo de Young E (GPa)	Reducción de area %	Elongación %
	195.01	260.00	27.84	19.00	8.80
	260.01	308.70	31.00	7.84	16.40
	195.01	292.50	94.70	26.04	12.00
Promedio (MPa)	216.68	287.07	51.18	17.63	12.40
Datos proveedor (MPa)	274.60	411.00	98.00	.....	.....
varianza	1408.33	615.06	1422.99	84.22	14.56
Desviación típica	37.53	24.80	37.72	9.18	3.82
coeficiente de variación	0.17	0.09	0.74	0.52	0.31
coeficiente de error	0.21	0.30	0.48		

Latón Naval 0.6 Si	Esfuerzo de fluencia(MPa)	Resistencia Ultima (Mpa)	Modulo de Young E (GPa)	Reducción de area %	Elongación %
	390.02	438.77	72.16	3.00	29.35
	406.27	422.58	36.63	3.00	18.40
	400.27	422.58	72.88	3.20	15.20
	357.00	390.00	81.25	20.00	32.50
	121.80	390.00	50.78	18.00	42.40
Promedio (MPa)	335.07	412.79	62.74	9.44	27.57
Datos proveedor (MPa)	410.00	586.00	100.00	.....	.....
varianza	14576.25	476.35	339.74	76.67	121.13
Desviación típica	120.73	21.83	18.43	8.76	11.01
coeficiente de variación	0.36	0.05	0.29	0.93	0.40
coeficiente de error	0.18	0.30	0.37		

Aluminio 99 Al, 0.6 Mn, 0.25 Cr.	Esfuerzo de fluencia(MPa)	Resistencia Ultima (Mpa)	Modulo de Young E (GPa)	Reducción de area %	Elongación %
	357.50	325.00	62.56	53.76	16.00
	357.50	390.00	81.25	66.36	9.20
	325.00	373.80	57.70	53.76	8.00
	357.00	390.00	81.20	53.76	11.00
Promedio (MPa)	349.25	369.70	70.68	56.91	11.05
Datos proveedor (MPa)	262.00	302.00	70.00	....	.....
varianza	261.42	946.36	152.27	39.69	12.41
Desviación típica	16.17	30.76	12.34	6.30	3.52
coeficiente de variación	0.05	0.08	0.17	0.11	0.32
coeficiente de error	0.25	0.18	0.01		

* Pruebas efectuadas con el adaptador para el deformimetro reconstruido.

	Esfuerzo de fluencia(MPa)	Resistencia Última (Mpa)	Modulo Young E (GPa)	Reducción de area %	Elongación %
Acero 1020 0.2 C, 0.2 Si, 0.60 Mn, 0.022 S, 0.011 Cr.	552.50	715.00	127.30	53.76	30.40
	520.00	682.50	255.10	53.76	11.00
	520.50	731.30	278.30	55.11	13.80
	520.50	715.00	278.30	53.76	13.20
	487.50	898.70	113.50	48.16	11.60
	520.50	715.00	233.10	53.21	15.20
	487.50	698.70	233.10	56.44	12.00
	422.50	698.70	477.36	53.76	12.33
	603.10	666.00	170.00	32.00	11.00
Promedio (MPa)	514.96	724.54	240.67	51.11	14.50
Datos proveedor (MPa)	264.80	400.00	200.00	.....	.....
varianza	2419.04	4647.52	11649.53	56.35	37.42
Desviación típica	49.18	68.17	107.93	7.51	6.12
coeficiente de variación	0.10	0.09	0.45	0.15	0.42
coeficiente de error	0.49	0.45	0.17		

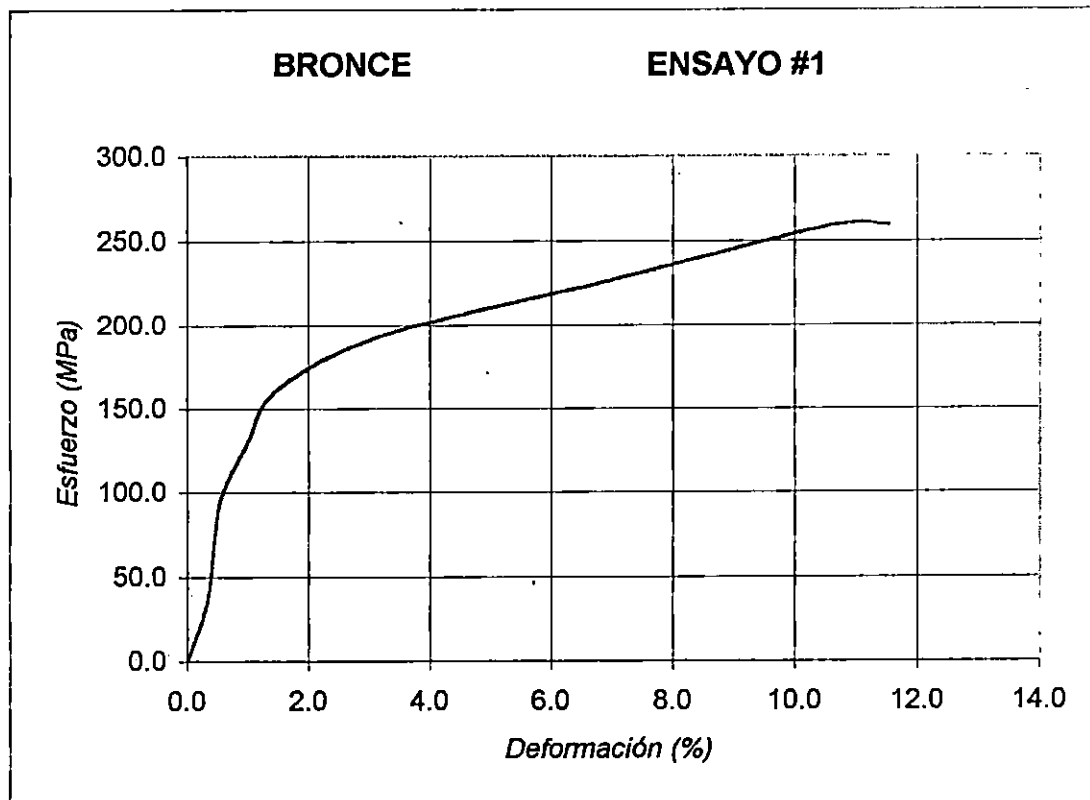
	Esfuerzo de fluencia(MPa)	Resistencia Última (Mpa)	Modulo Young E (GPa)	Reducción de area %	Elongación %
Acero 1045 0.45 C, 0.3 Cu, 0.75 Si, 0.035 Mn, 0.035 S	830.03	942.50	172.05	39.85	2.40
	780.03	991.29	203.30	39.16	5.60
	780.03	975.03	203.30	38.20	4.60
Promedio (MPa)	796.70	969.61	192.88	39.07	4.20
Datos proveedor (MPa)	480.00	882.60	200.00	.....	.....
varianza	833.33	617.18	325.52	0.69	2.68
Desviación típica	28.87	24.84	18.04	0.83	1.64
coeficiente de variación	0.04	0.03	0.09	0.02	0.39
coeficiente de error	0.40	0.09	0.04		

* Pruebas efectuadas con el adaptador para el deformimetro reconstruido.

ENSAYO DE TENSION PARA BRONCE

Deform	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.00
0.08	1000	6.380	0.32	32.50
0.11	2000	12.760	0.44	65.00
0.14	3000	19.140	0.56	97.50
0.25	4000	25.520	1.00	130.01
0.38	5000	31.900	1.52	162.51
0.83	6000	38.280	3.32	195.01
1.75	7000	44.660	7.00	227.51
2.67	8000	51.040	10.68	260.01
2.89	8000	51.040	11.56	260.01

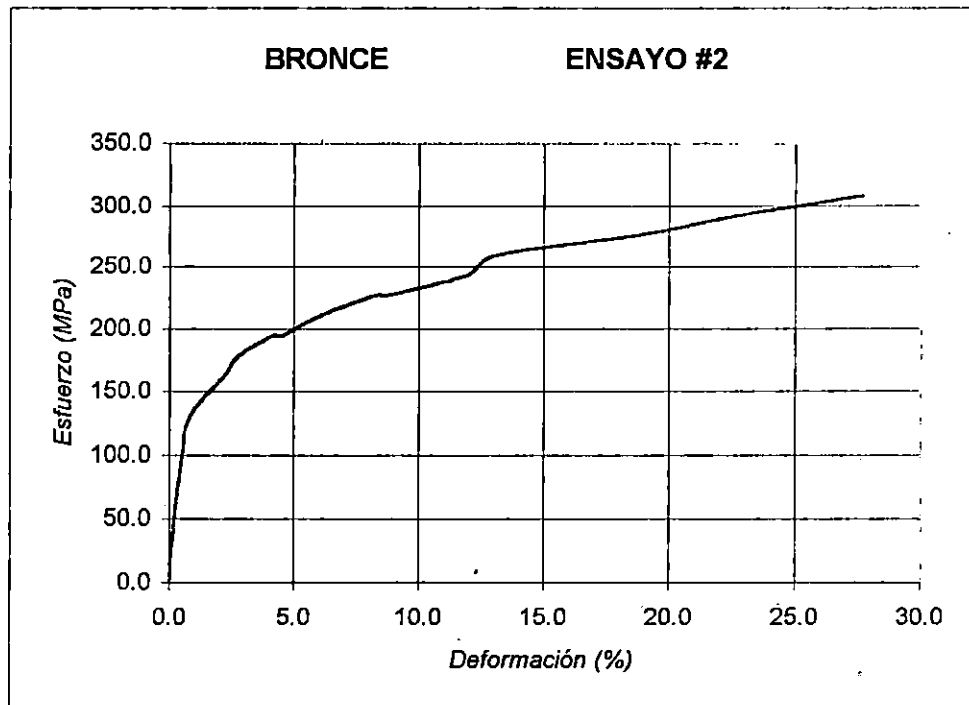
Módulo de Young = 17.9 GPa
 Esfuerzo máximo = 260 MPa
 Esfuerzo de fluencia = 195.50 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 4.5 mm
 Estricción = 19.0 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27.2 mm
 Elongación = 8.8 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN PARA BRONCE

Deform	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	%deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.00
0.03	1000	6.380	0.12	32.50
0.07	2000	12.760	0.28	65.00
0.13	3000	19.140	0.52	97.50
0.21	4000	25.520	0.84	130.01
0.55	5000	31.900	2.20	162.51
0.70	5500	35.090	2.80	178.76
1.04	6000	38.280	4.16	195.01
1.14	6000	38.280	4.56	195.01
1.52	6500	41.470	6.08	211.26
2.08	7000	44.660	8.32	227.51
2.20	7000	44.660	8.80	227.51
2.99	7500	47.850	11.96	243.76
3.27	8000	51.040	13.08	260.01
4.69	8500	54.230	18.76	276.26
5.74	9000	57.420	22.96	292.51
6.92	9500	60.610	27.68	308.76

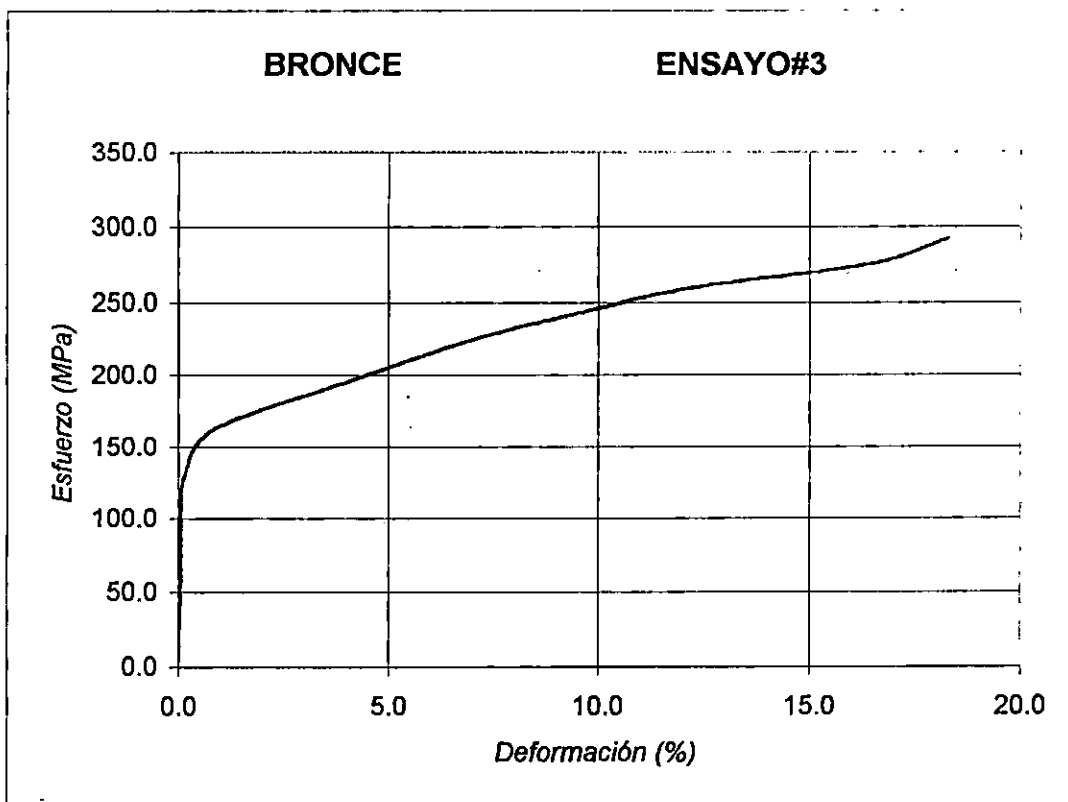
Módulo de Young = 23.01 GPa
 Esfuerzo máximo = 308.7 MPa
 Esfuerzo de fluencia = 260.01 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 4.5 mm
 Estricción = 7.84 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 29.1 mm
 Elongación = 16.4 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN PARA BRONCE

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.00
0.01	1000	6.380	0.04	32.50
0.02	2000	12.760	0.08	65.00
0.02	3000	19.140	0.08	97.50
0.04	4000	25.520	0.16	130.01
0.21	5000	31.900	0.84	162.51
1.00	6000	38.280	4.00	195.01
1.83	7000	44.660	7.32	227.51
2.41	7500	47.850	9.64	243.76
3.04	8000	51.040	12.16	260.01
4.12	8500	54.230	16.48	276.26
4.57	9000	57.420	18.28	292.51

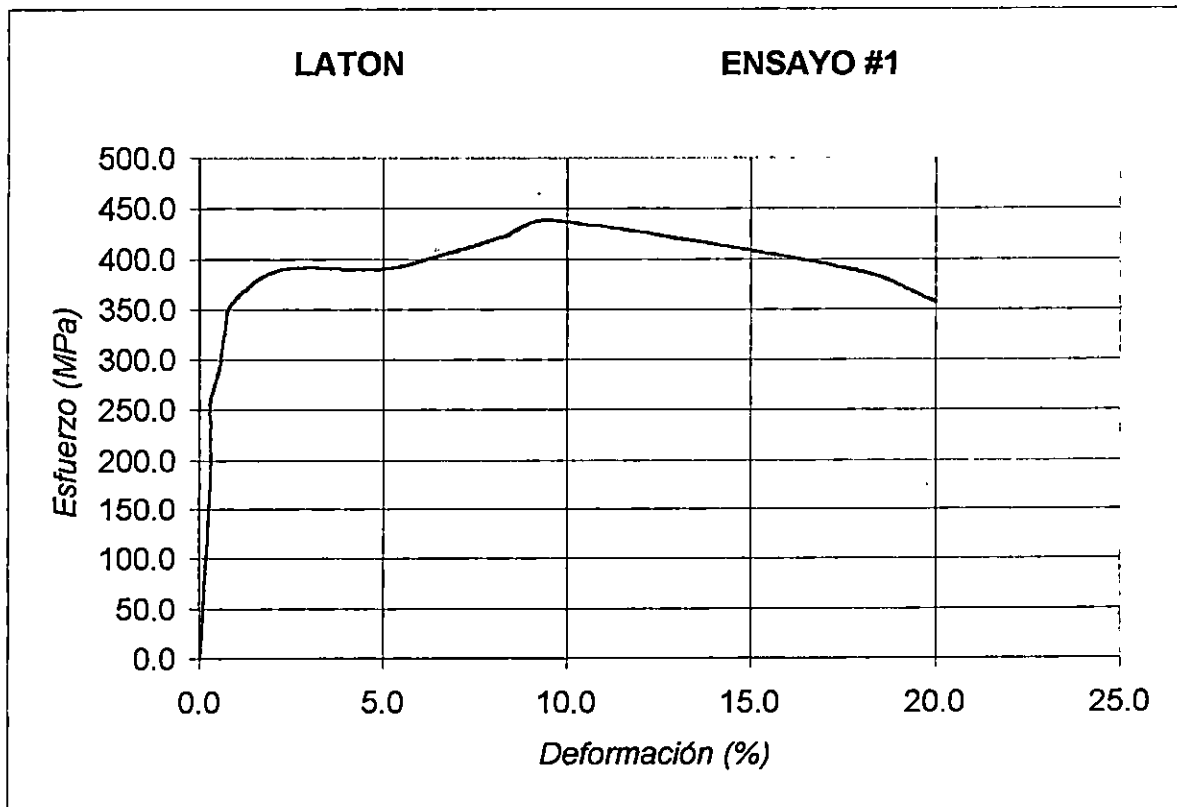
Módulo de Young = 94.7 Gpa
 Esfuerzo máximo = 292.5 MPa
 Esfuerzo de fluencia = 162.5 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 4.30 mm
 Estricción = 26.04 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 28 mm
 Elongación = 12 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE LATON

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.02	1000	6.380	0.08	32.501
0.03	2000	12.760	0.12	65.003
0.05	3000	19.140	0.20	97.504
0.06	4000	25.520	0.24	130.005
0.07	5000	31.900	0.28	162.506
0.08	6000	38.280	0.32	195.008
0.08	7000	44.660	0.32	227.509
0.08	8000	51.040	0.32	260.010
0.14	9000	57.420	0.56	292.511
0.17	10000	63.800	0.68	325.013
0.23	11000	70.180	0.92	357.514
0.57	12000	76.560	2.28	390.015
1.23	12000	76.560	4.92	390.015
1.69	12500	79.750	6.76	406.266
2.08	13000	82.940	8.32	422.517
2.40	13500	86.130	9.60	438.767
4.43	12000	76.560	17.72	390.015
5.00	11000	70.180	20.00	357.514

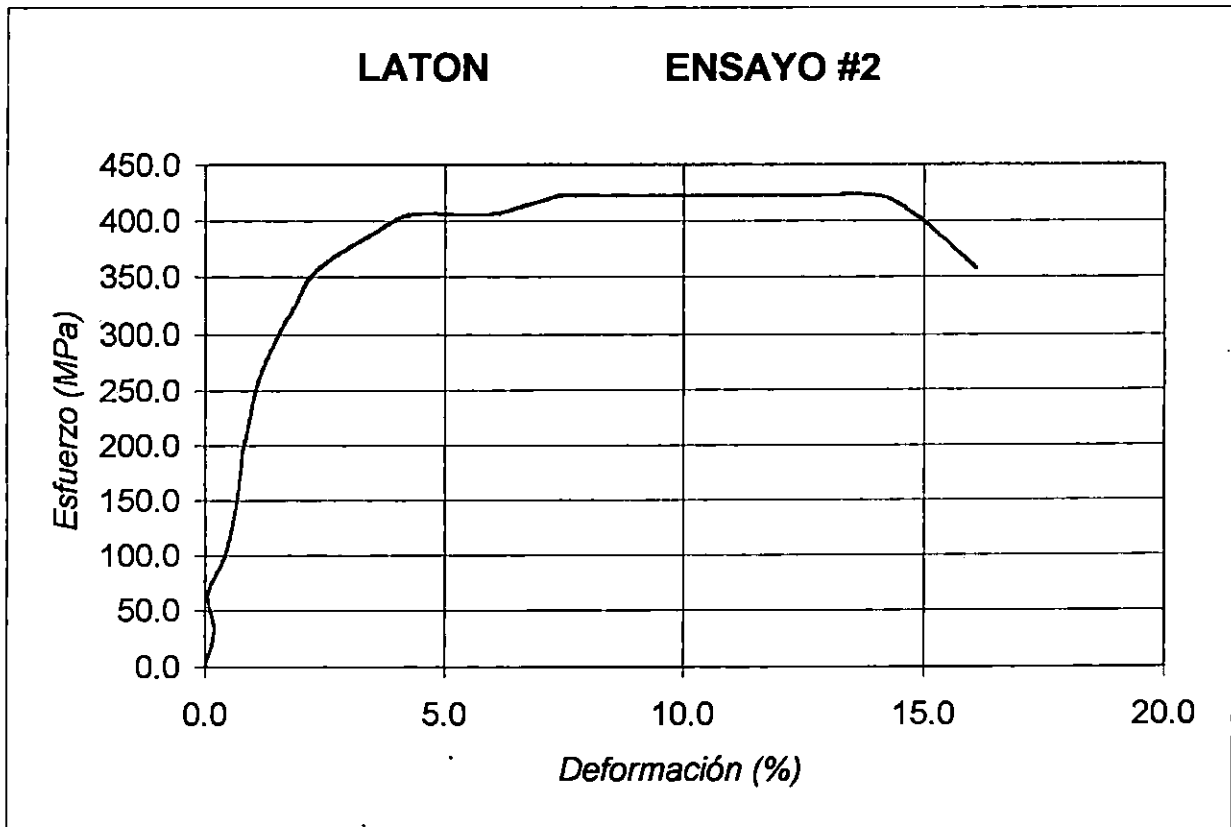
módulo de Young = 72.16 GPa
 Esfuerzo fluencia = 390.0 MPa
 Esfuerzo Maximo = 438.76 MPa
 Diámetro inicial = 5.00mm
 Diámetro final = 3.5 mm
 Estricción = 3.0 %
 Longitud inicial = 25.0 mm
 Longitud final = 29.35 mm
 Elongación = 17.4 %
 Tipo de falla = copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE LATON

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.05	1000	6.380	0.20	32.501
0.02	2000	12.760	0.07	65.003
0.10	3000	19.140	0.40	97.504
0.15	4000	25.520	0.60	130.005
0.18	5000	31.900	0.72	162.506
0.20	6000	38.280	0.80	195.008
0.24	7000	44.660	0.96	227.509
0.28	8000	51.040	1.12	260.010
0.36	9000	57.420	1.44	292.511
0.47	10000	63.800	1.88	325.013
0.59	11000	70.180	2.36	357.514
0.89	12000	76.560	3.56	390.015
1.09	12500	79.750	4.36	406.266
1.49	12500	79.750	5.96	406.266
1.86	13000	82.940	7.44	422.517
1.98	13000	82.940	7.92	422.517
1.99	13000	82.940	7.96	422.517
3.06	13000	82.940	12.24	422.517
3.51	13000	82.940	14.04	422.517
3.7	12500	79.750	14.80	406.266
3.82	12000	76.560	15.28	390.015
4.03	11000	70.180	16.12	357.514

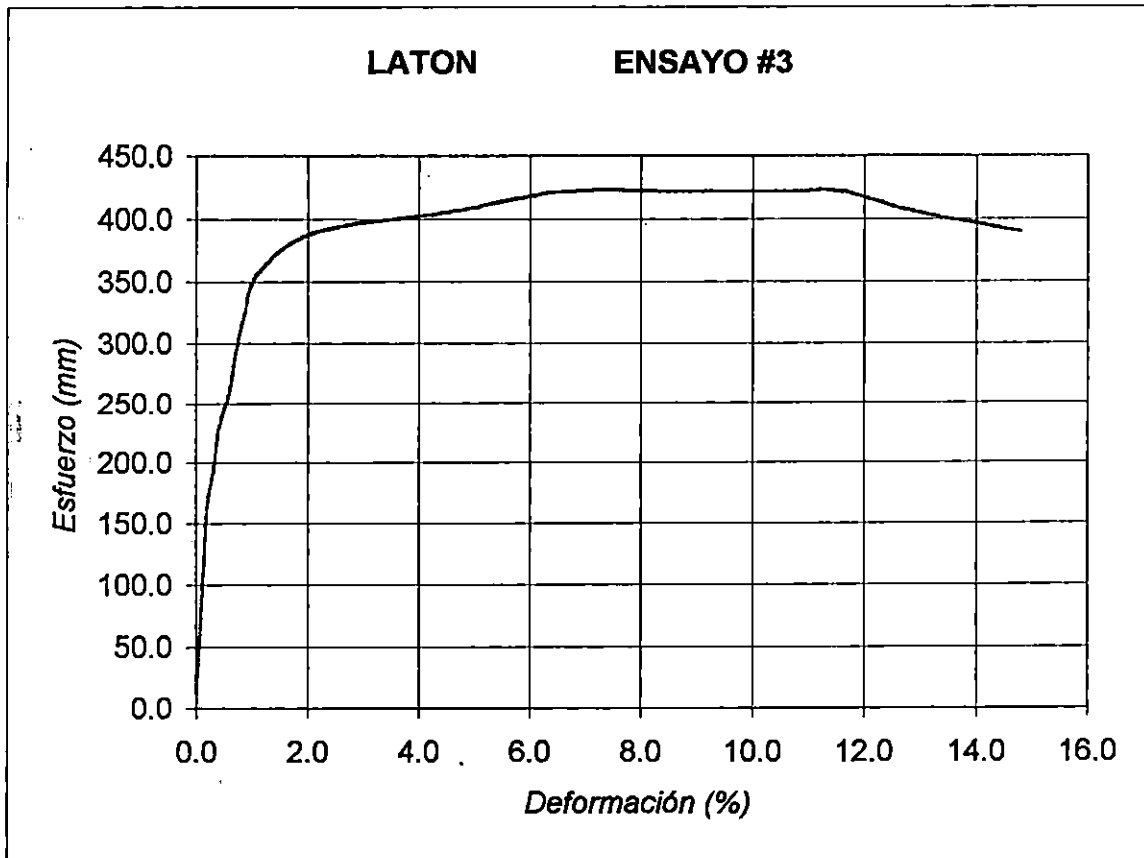
modulo de Young = 36.63 GPa
 Esfuerzo fluencia = 406.26 MPa
 Esfuerzo Maximo = 422.51 MPa
 Diámetro inicial = 5.00mm
 Diámetro final = 3.5 mm
 Estricción = 3.0 %
 Longitud inicial = 25.0 mm
 Longitud final = 29.6 mm
 Elongación = 18.4 %
 Tipo de falla = copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE LATON

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.381	0.04	32.506
0.02	2000	12.762	0.08	65.013
0.03	3000	19.143	0.12	97.519
0.04	4000	25.524	0.16	130.025
0.05	5000	31.905	0.20	162.532
0.08	6000	38.286	0.32	195.038
0.10	7000	44.667	0.40	227.545
0.15	8000	51.048	0.60	260.051
0.18	9000	57.429	0.72	292.557
0.22	10000	63.810	0.88	325.064
0.28	11000	70.191	1.12	357.570
0.54	12000	76.572	2.16	390.076
1.14	12500	79.763	4.56	406.330
1.65	13000	82.953	6.60	422.583
2.18	13000	82.953	8.72	422.583
2.46	13000	82.953	9.84	422.583
2.70	13000	82.953	10.80	422.583
2.90	13000	82.953	11.60	422.583
3.23	12500	79.763	12.92	406.330
3.70	12000	76.572	14.80	390.076

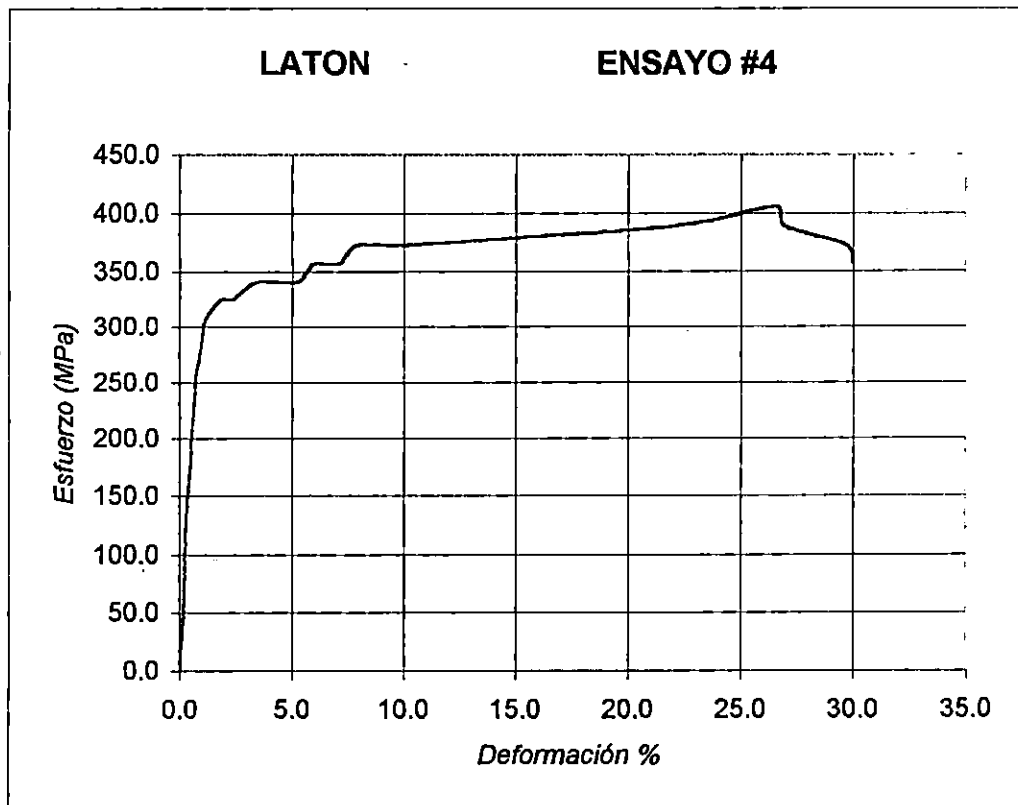
modulo de Young =44.13 GPa
 Esfuerzo fluencia =400.0 MPa
 Esfuerzo Maximo = 422.52 MPa
 Diámetro inicial = 5.00mm
 Diámetro final =3.4 mm
 Estricción = 3.2 %
 Longitud inicial = 25.0 mm
 Longitud final = 28.8 mm
 Elongación =15.2 %
 Tipo de falla = copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE LATON

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.03	1000	6.380	0.12	32.501
0.05	2000	12.760	0.20	65.003
0.06	3000	19.140	0.24	97.504
0.07	4000	25.520	0.28	130.005
0.11	5000	31.900	0.44	162.506
0.13	6000	38.280	0.52	195.008
0.16	7000	44.660	0.64	227.509
0.17	7500	47.850	0.68	243.760
0.19	8000	51.040	0.76	260.010
0.23	8500	54.230	0.92	276.261
0.26	9000	57.420	1.04	292.511
0.30	9500	60.610	1.20	308.762
0.47	10000	63.800	1.88	325.013
0.59	10000	63.800	2.36	325.013
0.86	10500	66.990	3.44	341.263
1.31	10500	66.990	5.24	341.263
1.50	11000	70.180	6.00	357.514
1.77	11000	70.180	7.08	357.514
1.99	11500	73.370	7.96	373.765
2.54	11500	73.370	10.16	373.765
5.53	12000	76.560	22.12	390.015
6.63	12500	79.750	26.52	406.266
6.73	12000	76.560	26.92	390.015
7.41	11500	73.370	29.64	373.765
7.49	11000	70.180	29.96	357.514

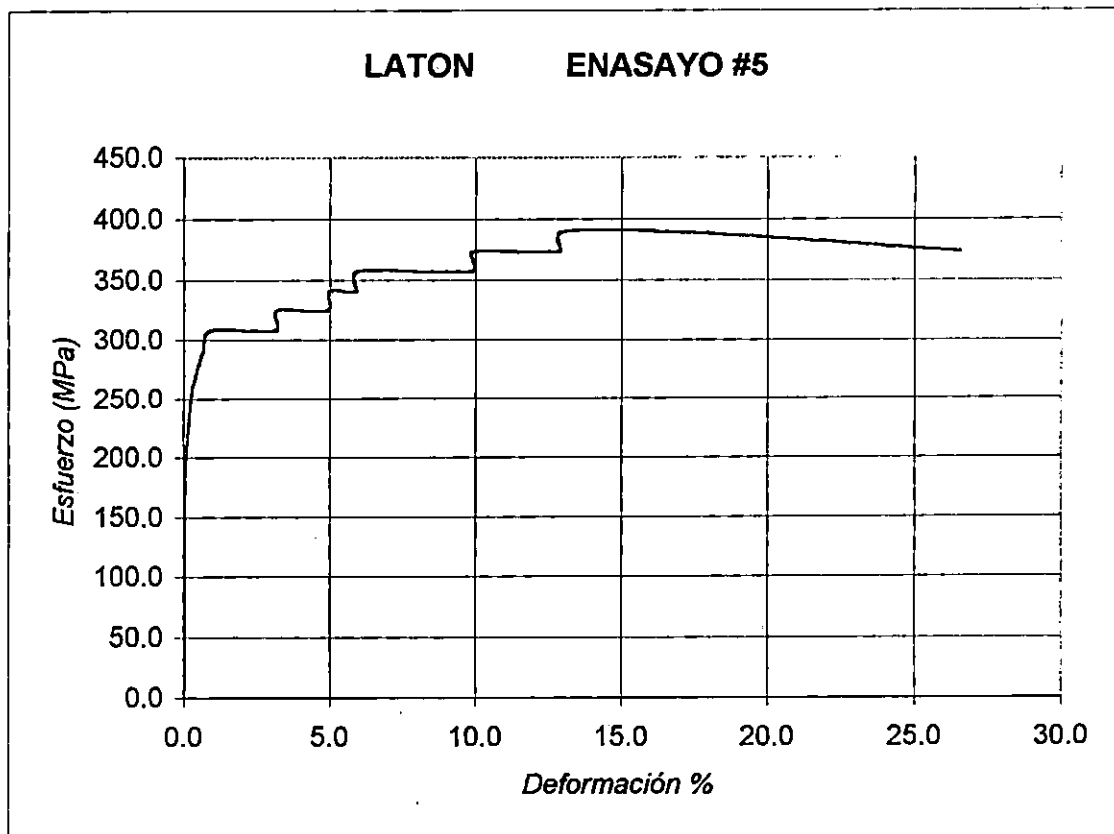
modulo de Young = 81.25 GPa
 Esfuerzo fluencia = 357.0 MPa
 Esfuerzo Maximo = 390.0 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 4 mm
 Estricción = 20 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 32.5 mm
 Elongación = 30 %
 Tipo de fractura: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE LATON

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.01	2000	12.760	0.04	65.003
0.01	3000	19.140	0.04	97.504
0.01	4000	25.520	0.04	130.005
0.01	5000	31.900	0.04	162.506
0.02	6000	38.280	0.08	195.008
0.05	7000	44.660	0.20	227.509
0.08	8000	51.040	0.32	260.010
0.17	9000	57.420	0.68	292.511
0.24	9500	60.610	0.96	308.762
0.78	9500	60.610	3.12	308.762
0.80	10000	63.800	3.20	325.013
1.23	10000	63.800	4.92	325.013
1.25	10500	66.990	5.00	341.263
1.48	10500	66.990	5.92	341.263
1.49	11000	70.180	5.96	357.514
2.47	11000	70.180	9.88	357.514
2.48	11500	73.370	9.92	373.765
3.21	11500	73.370	12.84	373.765
3.23	12000	76.560	12.92	390.015
4.27	12000	76.560	17.08	390.015
6.63	11500	73.370	26.52	373.765

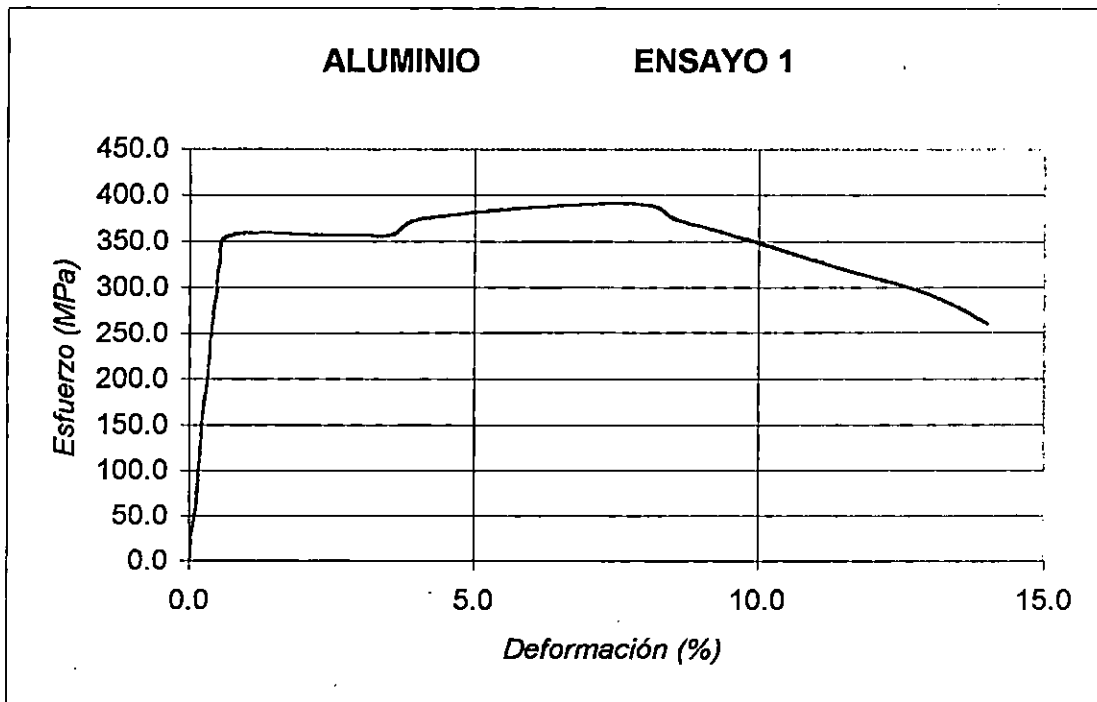
modulo de Young = 50.78 GPa
 Esfuerzo fluencia = 121.8 MPa
 Esfuerzo Maximo = 390.0 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 4.1 mm
 Estricción = 18.0 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 35.6 mm
 Elongación = 42.4 %
 Tipo de fractura: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE ALUMINIO

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.03	2000	12.760	0.12	65.003
0.04	3000	19.140	0.16	97.504
0.05	4000	25.520	0.20	130.005
0.06	5000	31.900	0.24	162.506
0.08	6000	38.280	0.32	195.008
0.09	7000	44.660	0.36	227.509
0.10	8000	51.040	0.40	260.010
0.12	9000	57.420	0.48	292.511
0.13	10000	63.800	0.52	325.013
0.18	11000	70.180	0.72	357.514
0.59	11000	70.180	2.36	357.514
0.71	11000	70.180	2.84	357.514
0.89	11000	70.180	3.56	357.514
1.00	11500	73.370	4.00	373.765
1.65	12000	76.560	6.60	390.015
2.02	12000	76.560	8.08	390.015
2.14	11500	73.370	8.56	373.765
2.38	11000	70.180	9.52	357.514
2.81	10000	63.800	11.24	325.013
3.25	9000	57.420	13.00	292.511
3.50	8000	51.040	14.00	260.010

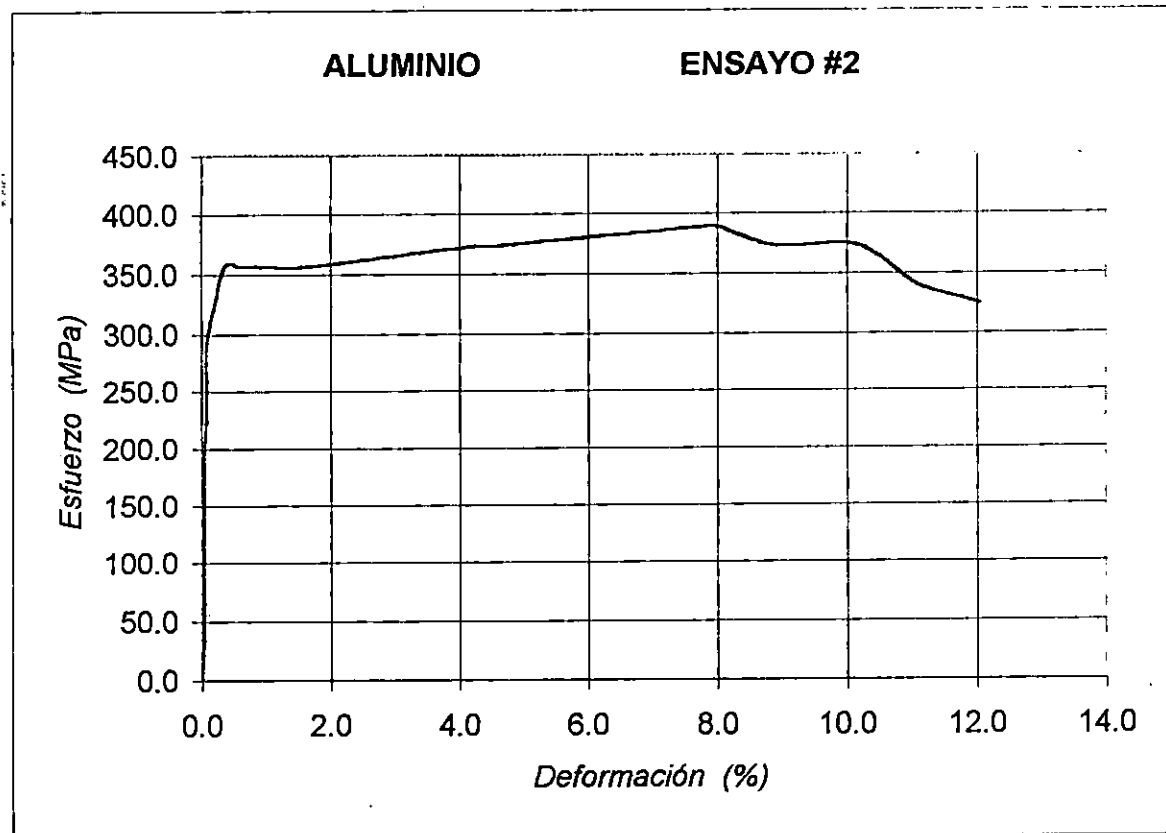
modulo de Young =62.564 GPa
 Esfuerzo fluencia =357.5 MPa
 Esfuerzo Maximo = 325.0 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 3.4 mm
 Estricción = 53.76 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 29 mm
 Elongación = 16 %
 Tipo de fractura: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE ALUMINIO

Defor(mm)	P (kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.01	2000	12.760	0.04	65.003
0.01	3000	19.140	0.04	97.504
0.01	4000	25.520	0.04	130.005
0.01	5000	31.900	0.04	162.506
0.01	6000	38.280	0.04	195.008
0.02	7000	44.660	0.08	227.509
0.02	8000	51.040	0.08	260.010
0.02	9000	57.420	0.08	292.511
0.05	10000	63.800	0.20	325.013
0.09	11000	70.180	0.36	357.514
0.15	11000	70.180	0.60	357.514
0.21	11000	70.180	0.84	357.514
0.42	11000	70.180	1.68	357.514
1.06	11500	73.370	4.24	373.765
1.13	11500	73.370	4.52	373.765
1.95	12000	76.560	7.80	390.015
2.00	12000	76.560	8.00	390.015
2.22	11500	73.370	8.88	373.765
2.54	11500	73.370	10.16	373.765
2.77	10500	66.990	11.08	341.263
3.01	10000	63.800	12.04	325.013

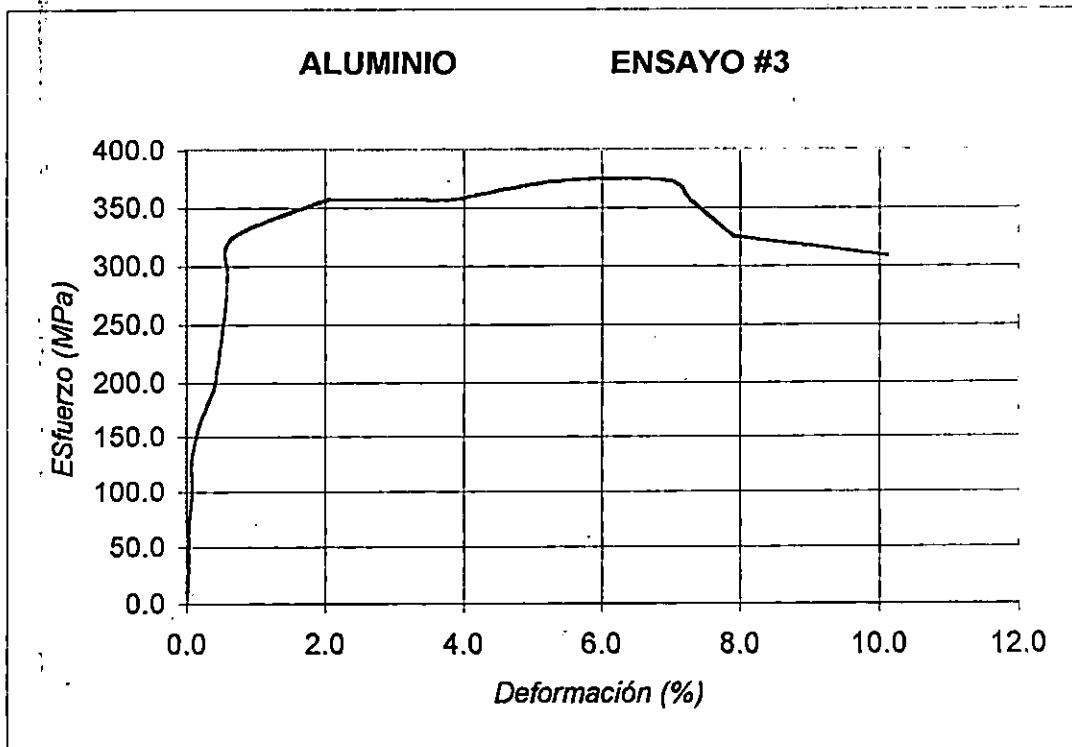
modulo de Young = 81.25 GPa
 Esfuerzo fluencia = 357.5 MPa
 Esfuerzo Maximo = 390.0 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 2.9 mm
 Estricción = 66.36 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27.3 mm
 Elongación = 9.2 %
 Tipo de fractura: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE ALUMINIO

Deform(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.01	2000	12.760	0.04	65.003
0.02	3000	19.140	0.08	97.504
0.02	4000	25.520	0.08	130.005
0.05	5000	31.900	0.20	162.506
0.10	6000	38.280	0.40	195.008
0.12	7000	44.660	0.48	227.509
0.14	8000	51.040	0.56	260.010
0.15	9000	57.420	0.60	292.511
0.17	10000	63.800	0.68	325.013
0.51	11000	70.180	2.04	357.514
0.53	11000	70.180	2.12	357.514
0.84	11000	70.180	3.36	357.514
0.96	11000	70.180	3.84	357.514
1.35	11500	73.370	5.40	373.765
1.75	11500	73.370	7.00	373.765
1.82	11000	70.180	7.28	357.514
1.98	10000	63.800	7.92	325.013
2.00	10000	63.800	8.00	325.013
2.53	9500	60.610	10.12	308.762

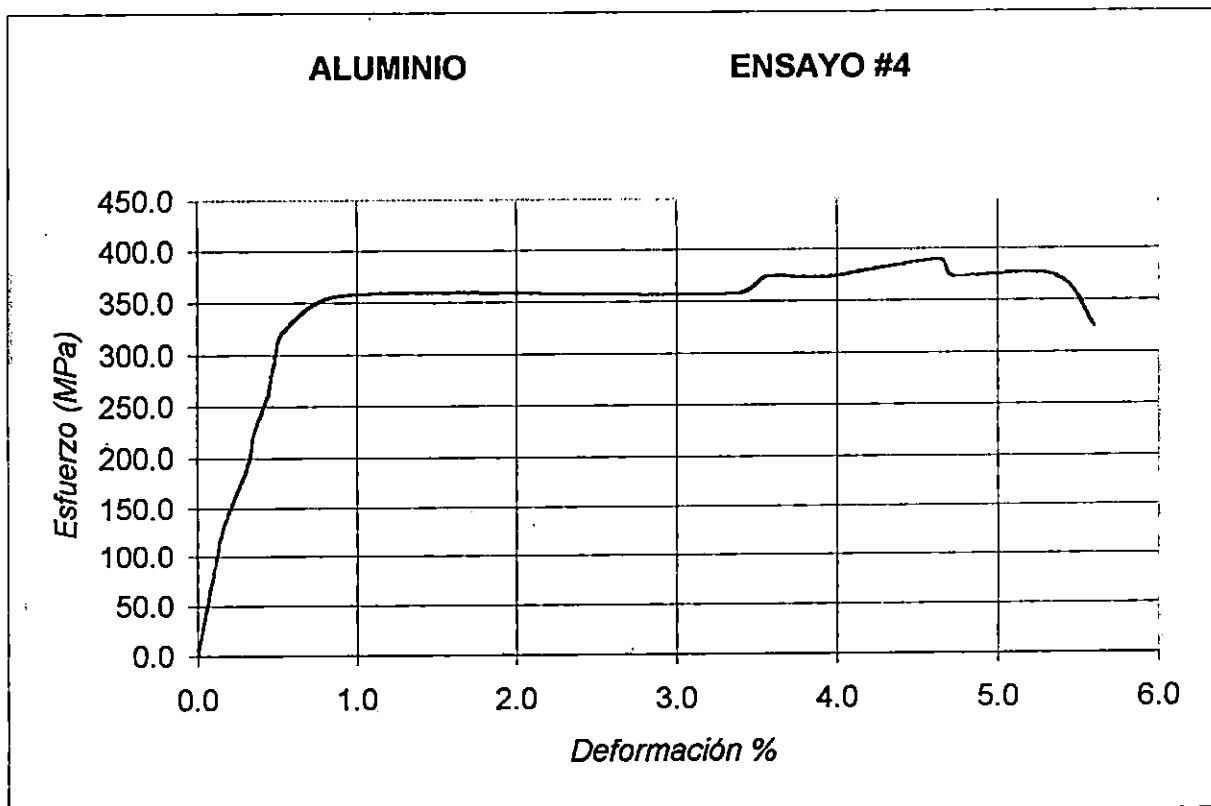
modulo de Young = 57.7 GPa
 Esfuerzo fluencia = 325.0 MPa
 Esfuerzo Maximo = 373.8 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 3.4 mm
 Estricción = 53.76 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27 mm
 Elongación = 8.0 %
 Tipo de fractura: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ALUMINIO

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.02	2000	12.760	0.08	65.003
0.03	3000	19.140	0.12	97.504
0.04	4000	25.520	0.16	130.005
0.06	5000	31.900	0.24	162.506
0.08	6000	38.280	0.32	195.008
0.09	7000	44.660	0.36	227.509
0.11	8000	51.040	0.44	260.010
0.12	9000	57.420	0.48	292.511
0.14	10000	63.800	0.56	325.013
0.23	11000	70.180	0.92	357.514
0.84	11000	70.180	3.36	357.514
0.89	11500	73.370	3.56	373.765
0.99	11500	73.370	3.96	373.765
1.16	12000	76.560	4.64	390.015
1.18	11500	73.370	4.72	373.765
1.34	11500	73.370	5.36	373.765
1.40	10000	63.800	5.60	325.013

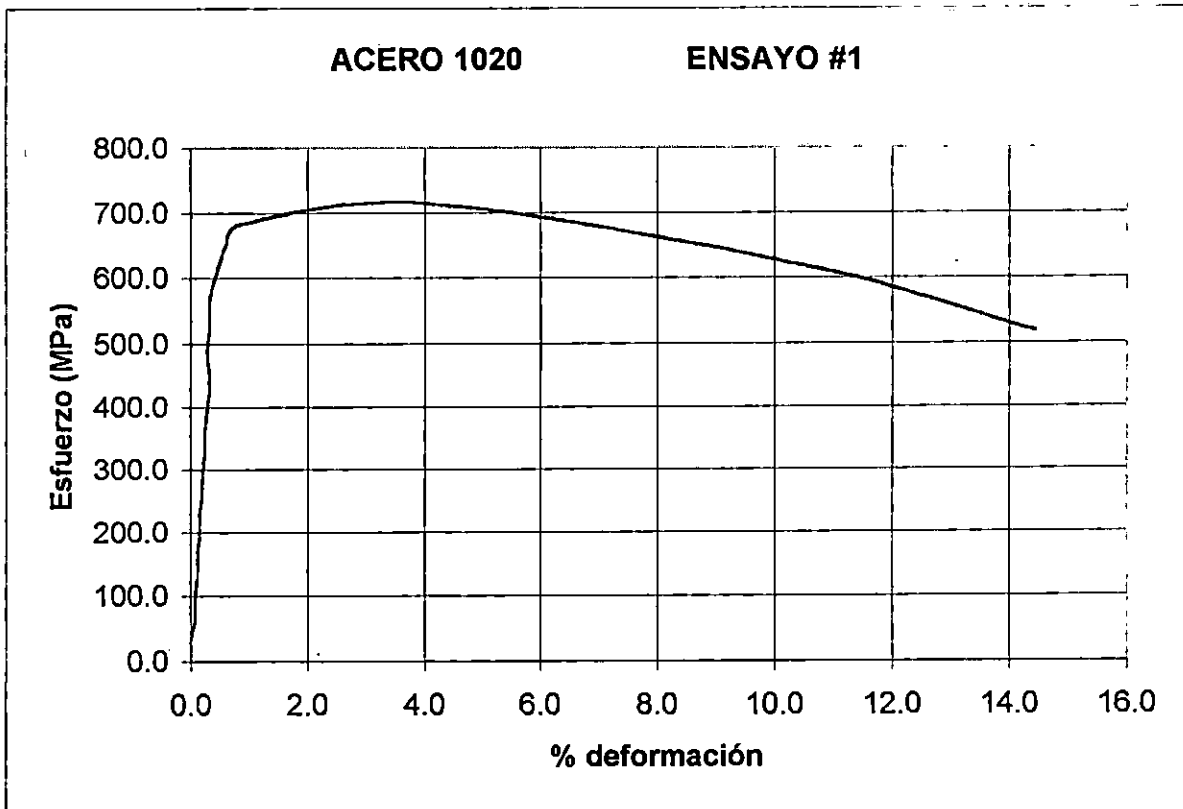
modulo de Young =81.2 Gpa
 Esfuerzo fluencia =357.0 MPa
 Esfuerzo Maximo = 390.0 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 3.4 mm
 Estricción = 53.76 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27.75 mm
 Elongación = 11.0 %
 Tipo de fractura: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1020

Defor	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	32.501
0.02	2000	12.760	0.08	65.003
0.02	3000	19.140	0.08	97.504
0.03	4000	25.520	0.12	130.005
0.03	5000	31.900	0.12	162.506
0.04	6000	38.280	0.16	195.008
0.04	7000	44.660	0.16	227.509
0.05	8000	51.040	0.20	260.010
0.05	9000	57.420	0.20	292.511
0.06	10000	63.800	0.24	325.013
0.06	11000	70.180	0.24	357.514
0.07	12000	76.560	0.28	390.015
0.08	13000	82.940	0.32	422.517
0.08	14000	89.320	0.32	455.018
0.07	15000	95.700	0.28	487.519
0.08	16000	102.080	0.32	520.020
0.08	17000	108.460	0.32	552.522
0.09	18000	114.840	0.36	585.023
0.12	19000	121.220	0.48	617.524
0.15	20000	127.600	0.60	650.025
0.21	21000	133.980	0.84	682.527
1.03	22000	140.360	4.12	715.028
2.65	19000	121.220	10.60	617.524
3.61	16000	102.080	14.44	520.020

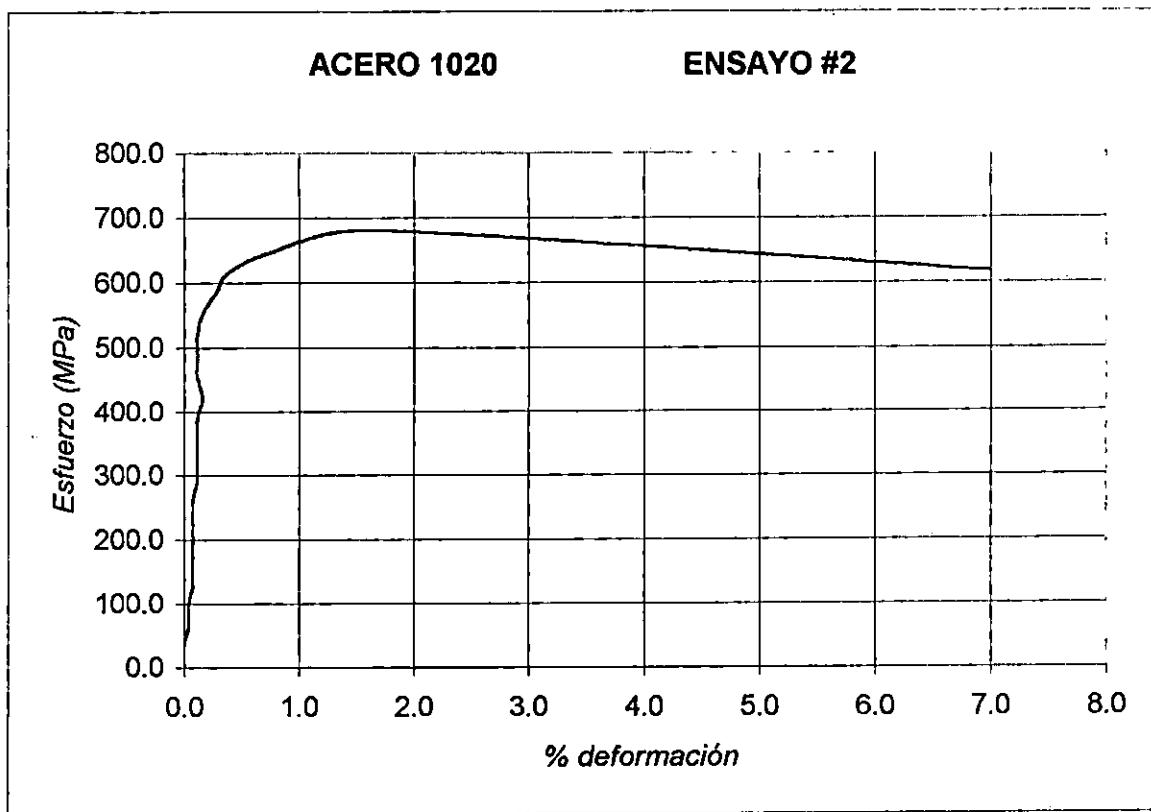
modulo de Young =127.3 Gpa
 Esfuerzo fluencia =552.5 Mpa
 Esfuerzo Maximo = 715.0 Mpa
 Diámetro inicial =5.00 mm
 Diámetro inicial =3.4 mm
 Estricción = 53.76 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 32.6 mm
 Elongación =30.4 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE ACERO 1020

Defor (mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	32.501
0.01	2000	12.760	0.04	65.003
0.01	3000	19.140	0.04	97.504
0.02	4000	25.520	0.08	130.005
0.02	5000	31.900	0.08	162.506
0.02	6000	38.280	0.08	195.008
0.02	7000	44.660	0.08	227.509
0.02	8000	51.040	0.08	260.010
0.03	9000	57.420	0.12	292.511
0.03	10000	63.800	0.12	325.013
0.03	11000	70.180	0.12	357.514
0.03	12000	76.560	0.12	390.015
0.04	13000	82.940	0.16	422.517
0.03	14000	89.320	0.12	455.018
0.03	15000	95.700	0.12	487.519
0.03	16000	102.080	0.12	520.020
0.04	17000	108.460	0.16	552.522
0.07	18000	114.840	0.28	585.023
0.10	19000	121.220	0.40	617.524
0.20	20000	127.600	0.80	650.025
0.40	21000	133.980	1.60	682.527
1.75	19000	121.220	7.00	617.524

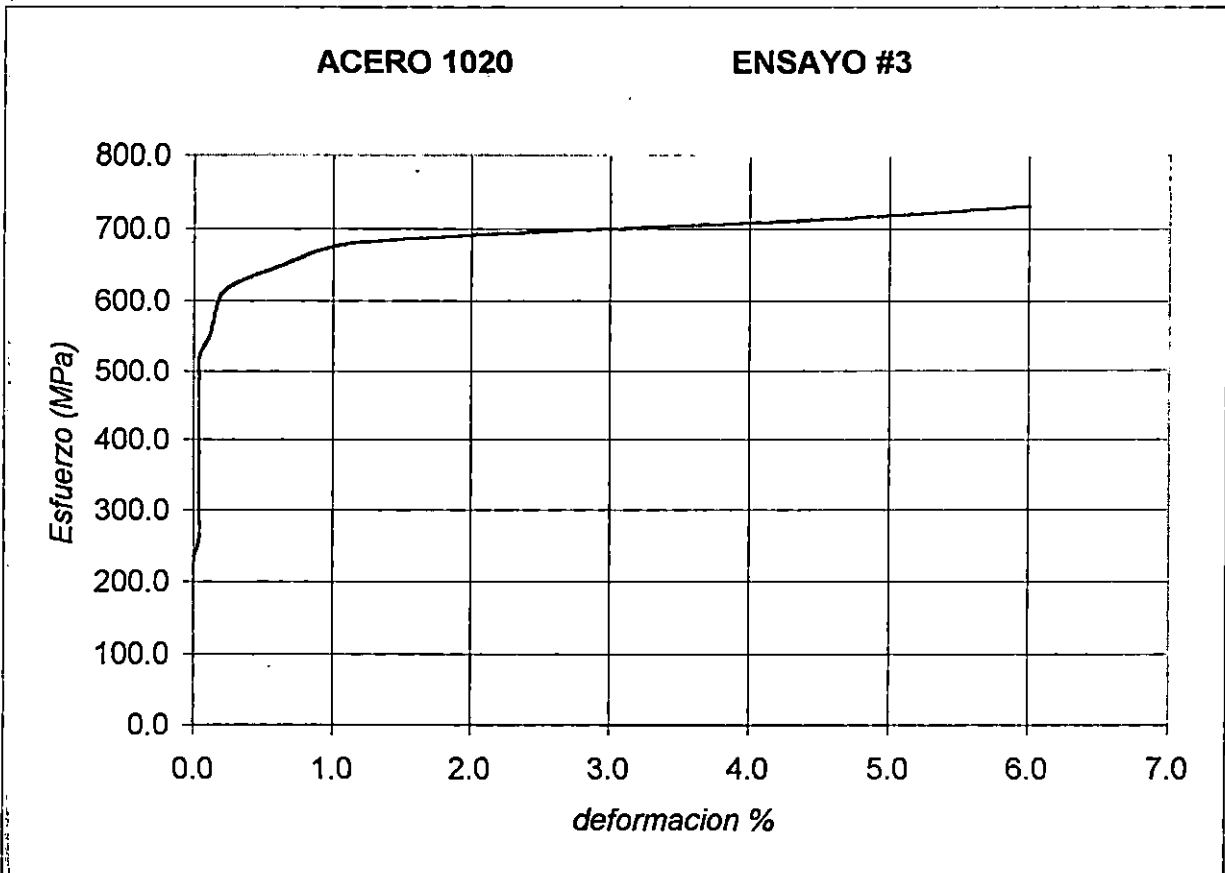
modulo de Young =255.1 Gpa
 Esfuerzo fluencia =520.0 MPa
 Esfuerzo Maximo = 682.5 MPa
 Diámetro inicial =5.00 mm
 Diámetro inicial =3.4 mm
 Estricción = 53.76 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27.75 mm
 Elongación = 11.0 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE ACERO 1020

Deform (mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	32.501
0.00	2000	12.760	0.00	65.003
0.00	3000	19.140	0.00	97.504
0.00	4000	25.520	0.00	130.005
0.00	5000	31.900	0.00	162.506
0.00	6000	38.280	0.00	195.008
0.00	7000	44.660	0.00	227.509
0.01	8000	51.040	0.04	260.010
0.01	9000	57.420	0.04	292.511
0.01	10000	63.800	0.04	325.013
0.01	11000	70.180	0.04	357.514
0.01	12000	76.560	0.04	390.015
0.01	13000	82.940	0.04	422.517
0.01	14000	89.320	0.04	455.018
0.01	15000	95.700	0.04	487.519
0.01	16000	102.080	0.04	520.020
0.03	17000	108.460	0.12	552.522
0.04	18000	114.840	0.16	585.023
0.06	19000	121.220	0.24	617.524
0.16	20000	127.600	0.64	650.025
0.30	21000	133.980	1.20	682.527
1.15	22000	140.360	4.60	715.028
1.50	22500	143.550	6.00	731.279

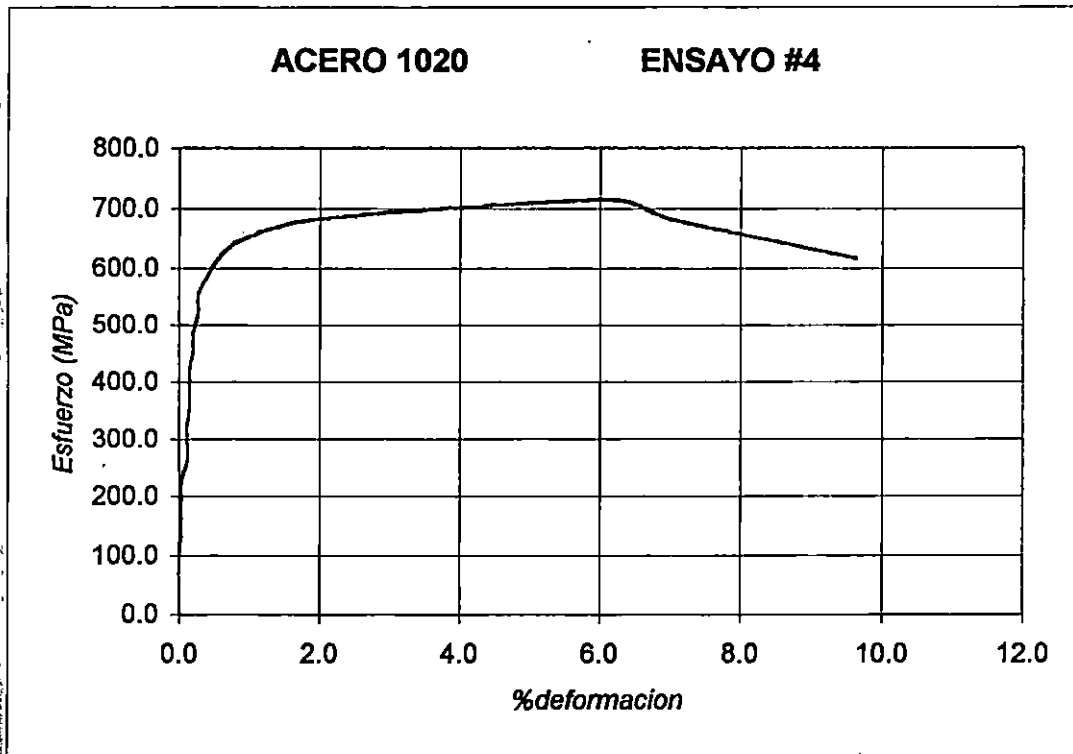
modulo de Young = 771.9 GPa
 Esfuerzo fluencia = 520.5 MPa
 Esfuerzo Maximo = 731.3 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro inicial = 3.35 mm
 Estricción = 55.11 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 28.45 mm
 Elongación = 13.8 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1020

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	32.501
0.00	2000	12.760	0.00	65.003
0.00	3000	19.140	0.00	97.504
0.01	4000	25.520	0.04	130.005
0.01	5000	31.900	0.04	162.506
0.01	6000	38.280	0.04	195.008
0.01	7000	44.660	0.04	227.509
0.03	8000	51.040	0.12	260.010
0.03	9000	57.420	0.12	292.511
0.03	10000	63.800	0.12	325.013
0.04	11000	70.180	0.16	357.514
0.04	12000	76.560	0.16	390.015
0.04	13000	82.940	0.16	422.517
0.05	14000	89.320	0.20	455.018
0.05	15000	95.700	0.20	487.519
0.07	16000	102.080	0.28	520.020
0.07	17000	108.460	0.28	552.522
0.10	18000	114.840	0.40	585.023
0.14	19000	121.220	0.56	617.524
0.23	20000	127.600	0.92	650.025
0.49	21000	133.980	1.96	682.527
1.53	22000	140.360	6.12	715.028
1.75	21000	133.980	7.00	682.527
2.41	19000	121.220	9.64	617.524

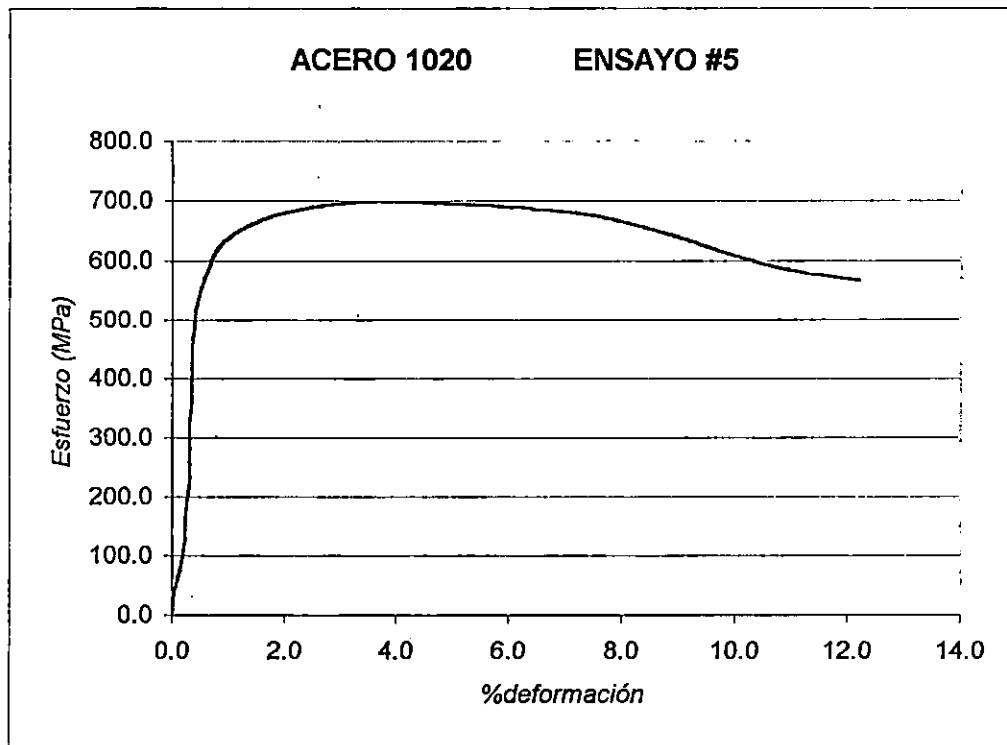
modulo de Young =278.3 GPa
 Esfuerzo fluencia =520.5 Mpa
 Esfuerzo Maximo = 715.0 Mpa
 Diámetro inicial =5.00 mm
 Diámetro inicial =3.4 mm
 Estricción = 53.76 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 28.30 mm
 Elongación =13.2 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1020

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.03	2000	12.760	0.12	65.003
0.05	3000	19.140	0.20	97.504
0.06	4000	25.520	0.24	130.005
0.06	5000	31.900	0.24	162.506
0.07	6000	38.280	0.28	195.008
0.08	7000	44.660	0.32	227.509
0.08	8000	51.040	0.32	260.010
0.08	9000	57.420	0.32	292.511
0.08	10000	63.800	0.32	325.013
0.09	11000	70.180	0.36	357.514
0.09	12000	76.560	0.36	390.015
0.09	13000	82.940	0.36	422.517
0.09	14000	89.320	0.36	455.018
0.10	15000	95.700	0.40	487.519
0.11	16000	102.080	0.44	520.020
0.13	17000	108.460	0.52	552.522
0.16	18000	114.840	0.64	585.023
0.20	19000	121.220	0.80	617.524
0.30	20000	127.600	1.20	650.025
0.53	21000	133.980	2.12	682.527
0.94	21500	137.170	3.76	698.777
1.74	21000	133.980	6.96	682.527
2.16	20000	127.600	8.64	650.025
2.43	19000	121.220	9.72	617.524
2.75	18000	114.840	11.00	585.023
3.05	17500	111.650	12.20	568.772

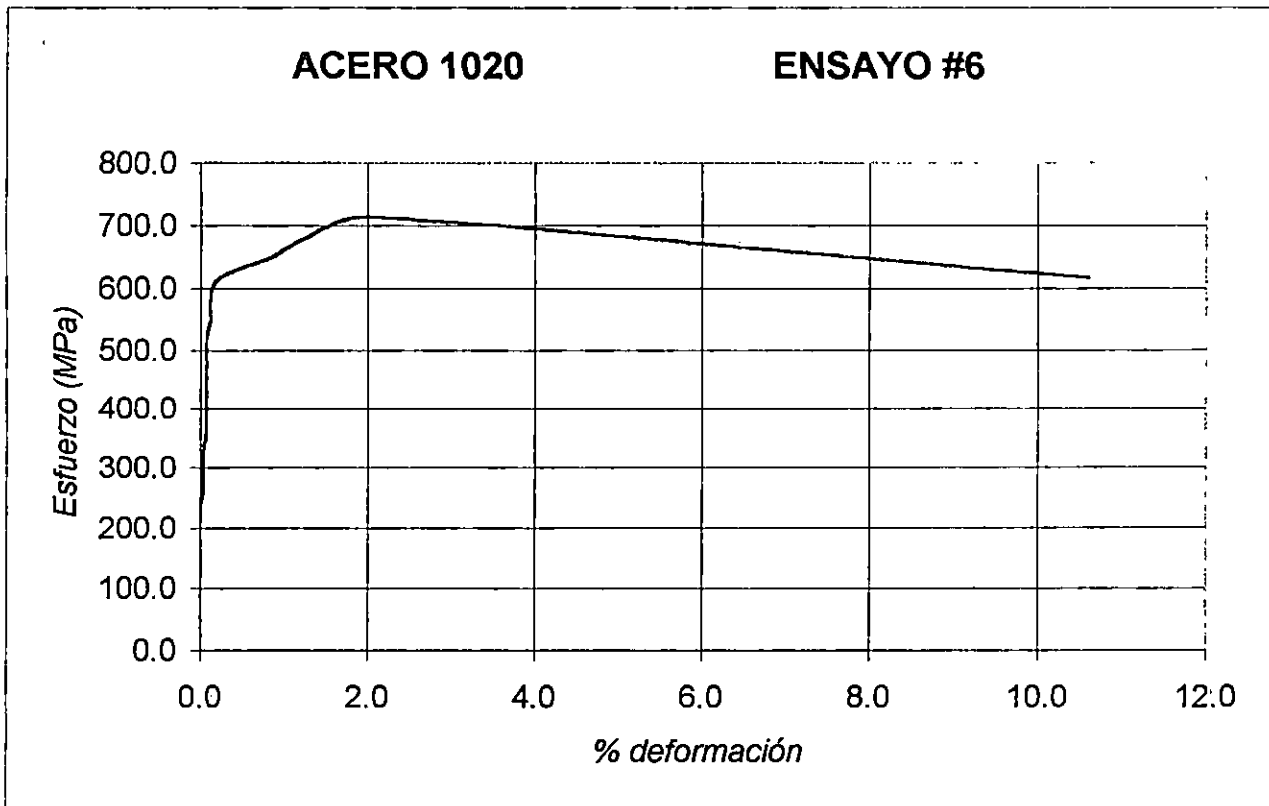
modulo de Young =113.5 MPa
 Esfuerzo fluencia =487.5 Mpa
 Esfuerzo Maximo = 698.7 Mpa
 Diámetro inicial =5.00 mm
 Diámetro inicial =3.6 mm
 Estricción = 48.16 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27.9 mm
 Elongación =11.6 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1020

Defor(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% deform.	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	32.501
0.00	2000	12.760	0.00	65.003
0.00	3000	19.140	0.00	97.504
0.00	4000	25.520	0.00	130.005
0.00	5000	31.900	0.00	162.506
0.00	6000	38.280	0.00	195.008
0.00	7000	44.660	0.00	227.509
0.01	8000	51.040	0.04	260.010
0.01	9000	57.420	0.04	292.511
0.01	10000	63.800	0.04	325.013
0.02	11000	70.180	0.08	357.514
0.02	12000	76.560	0.08	390.015
0.02	13000	82.940	0.08	422.517
0.02	14000	89.320	0.08	455.018
0.02	15000	95.700	0.08	487.519
0.02	16000	102.080	0.08	520.020
0.03	17000	108.460	0.12	552.522
0.03	18000	114.840	0.12	585.023
0.06	19000	121.220	0.24	617.524
0.21	20000	127.600	0.84	650.025
0.32	21000	133.980	1.28	682.527
0.51	22000	140.360	2.04	715.028
2.65	19000	121.220	10.60	617.524

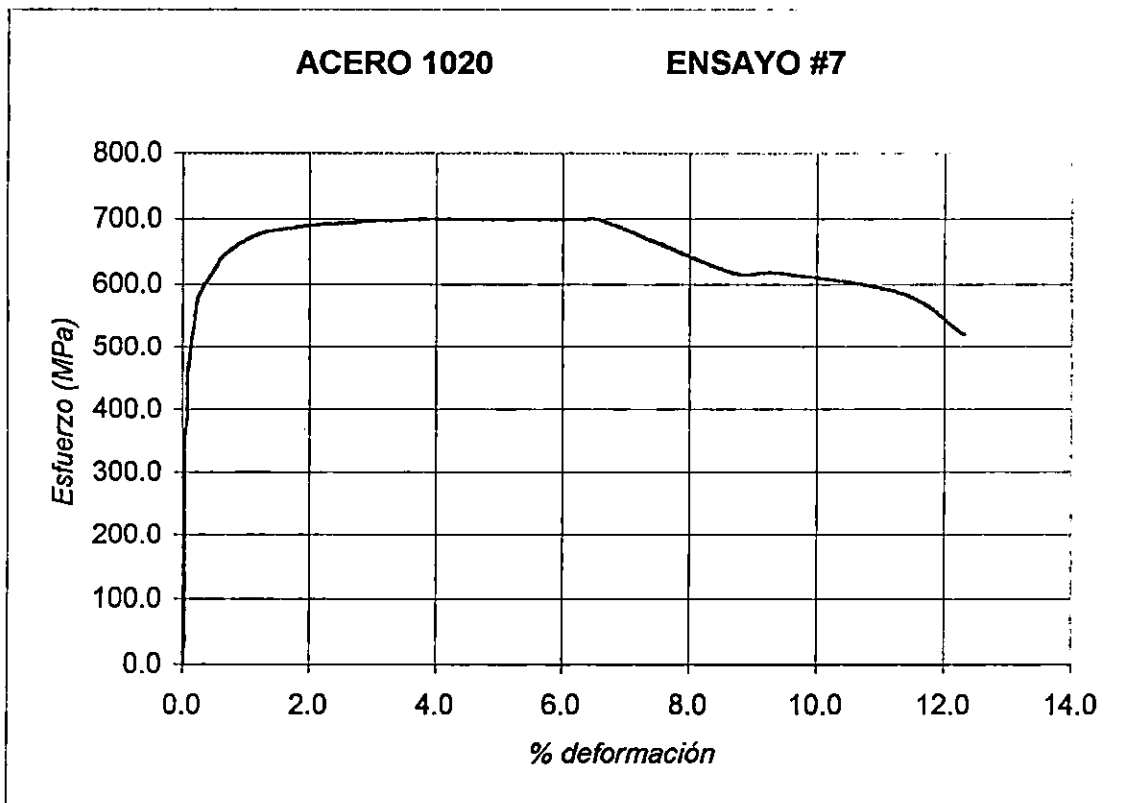
modulo de Young =511.9 GPa
 Esfuerzo fluencia =520.0 MPa
 Esfuerzo Maximo = 715.0 MPa
 Diámetro inicial =5.00 mm
 Diámetro inicial =3.42 mm
 Estricción = 53.21 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 28.8 mm
 Elongación =15.2 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1020

Deform (mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.01	2000	12.760	0.04	65.003
0.01	3000	19.140	0.04	97.504
0.01	4000	25.520	0.04	130.005
0.01	5000	31.900	0.04	162.506
0.01	6000	38.280	0.04	195.008
0.01	7000	44.660	0.04	227.509
0.01	8000	51.040	0.04	260.010
0.01	9000	57.420	0.04	292.511
0.01	10000	63.800	0.04	325.013
0.01	11000	70.180	0.04	357.514
0.02	12000	76.560	0.08	390.015
0.02	13000	82.940	0.08	422.517
0.02	14000	89.320	0.08	455.018
0.03	15000	95.700	0.12	487.519
0.04	16000	102.080	0.16	520.020
0.05	17000	108.460	0.20	552.522
0.07	18000	114.840	0.28	585.023
0.12	19000	121.220	0.48	617.524
0.18	20000	127.600	0.72	650.025
0.36	21000	133.980	1.44	682.527
0.88	21500	137.170	3.52	698.777
1.24	21500	137.170	4.96	698.777
1.57	21500	137.170	6.28	698.777
1.65	21500	137.170	6.60	698.777
2.17	19000	121.220	8.68	617.524
2.34	19000	121.220	9.36	617.524
2.84	18000	114.840	11.36	585.023
3.08	16000	102.080	12.32	520.020

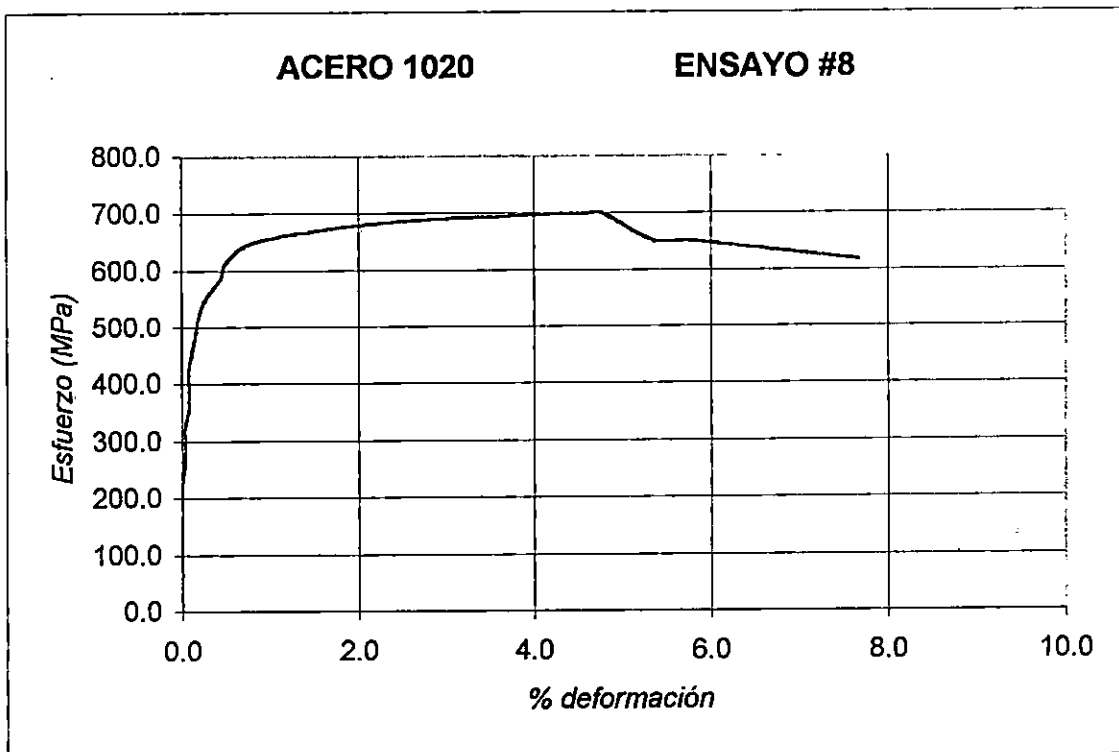
modulo de Young =243.76 GPa
 Esfuerzo fluencia =487.51 MPa
 Esfuerzo Maximo = 698.7 MPa
 Diámetro inicial =5.00 mm
 Diámetro inicial =3.3 mm
 Estricción = 56.44 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 28 mm
 Elongación = 12.0 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1020

Defor (mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% deform.	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	32.501
0.00	2000	12.760	0.00	65.003
0.00	3000	19.140	0.00	97.504
0.00	4000	25.520	0.00	130.005
0.00	5000	31.900	0.00	162.506
0.00	6000	38.280	0.00	195.008
0.00	7000	44.660	0.00	227.509
0.01	8000	51.040	0.04	260.010
0.01	9000	57.420	0.04	292.511
0.01	10000	63.800	0.04	325.013
0.02	11000	70.180	0.08	357.514
0.02	12000	76.560	0.08	390.015
0.02	13000	82.940	0.08	422.517
0.03	14000	89.320	0.12	455.018
0.04	15000	95.700	0.16	487.519
0.05	16000	102.080	0.20	520.020
0.07	17000	108.460	0.28	552.522
0.11	18000	114.840	0.44	585.023
0.13	19000	121.220	0.52	617.524
0.21	20000	127.600	0.84	650.025
0.56	21000	133.980	2.24	682.527
1.06	21500	137.170	4.24	698.777
1.14	21500	137.170	4.56	698.777
1.20	21500	137.170	4.80	698.777
1.34	20000	127.600	5.36	650.025
1.46	20000	127.600	5.84	650.025
1.92	19000	121.220	7.68	617.524

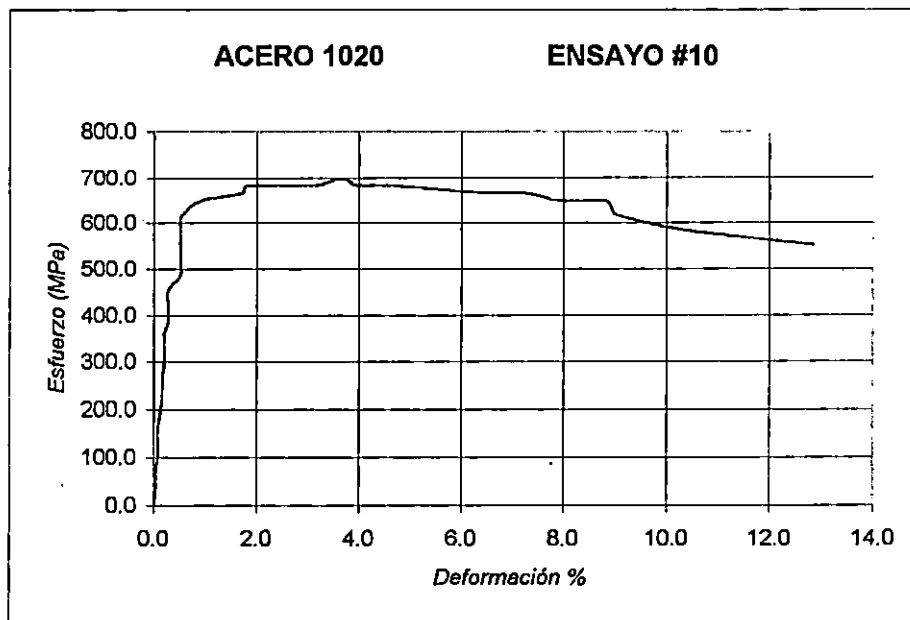
modulo de Young =477.36 GPa
 Esfuerzo fluencia =422.5 MPa
 Esfuerzo Maximo = 698.7 MPa
 Diámetro inicial =5.00 mm
 Diámetro inicial =3.4 mm
 Estricción = 53.76 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27.9 mm
 Elongación =12.33 %
 Tipo de falla: copa y cono



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1020

Deform(mm)	P(kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.01	2000	12.760	0.04	65.003
0.02	3000	19.140	0.08	97.504
0.02	4000	25.520	0.08	130.005
0.02	5000	31.900	0.08	162.506
0.03	6000	38.280	0.12	195.008
0.04	7000	44.660	0.16	227.509
0.04	8000	51.040	0.16	260.010
0.05	9000	57.420	0.20	292.511
0.05	10000	63.800	0.20	325.013
0.05	11000	70.180	0.20	357.514
0.07	12000	76.560	0.28	390.015
0.07	13000	82.940	0.28	422.517
0.07	14000	89.320	0.28	455.018
0.13	15000	95.700	0.52	487.519
0.13	16000	102.080	0.52	520.020
0.13	17000	108.460	0.52	552.522
0.13	18000	114.840	0.52	585.023
0.14	19000	121.220	0.56	617.524
0.23	20000	127.600	0.92	650.025
0.43	20500	130.790	1.72	666.276
0.45	21000	133.980	1.80	682.527
0.78	21000	133.980	3.12	682.527
0.89	21500	137.170	3.56	698.777
0.94	21500	137.170	3.76	698.777
0.99	21000	133.980	3.96	682.527
1.16	21000	133.980	4.64	682.527
1.63	20500	130.790	6.52	666.276
1.81	20500	130.790	7.24	666.276
1.98	20000	127.600	7.92	650.025
2.20	20000	127.600	8.80	650.025
2.23	19500	124.410	8.92	633.775
2.26	19000	121.220	9.04	617.524
2.59	18000	114.840	10.36	585.023
3.21	17000	108.460	12.84	552.522

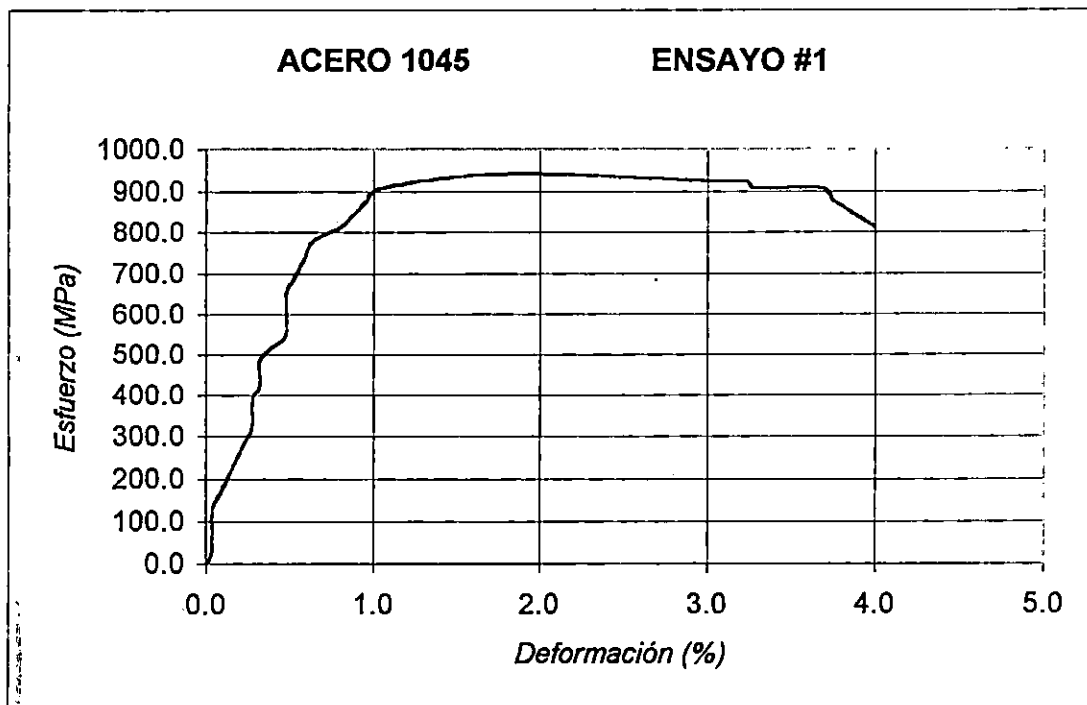
modulo de Young =170 GPa
 Esfuerzo fluencia =603.1 MPa
 Esfuerzo Maximo = 666.0 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 3.4 mm
 Estricción = 32.0 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 27.75 mm
 Elongación = 11.0 %
 Tipo de fractura: copa y cono



ENSAYO DE TENSIÓN DE ACERO 1045

Deform(mm)	P (kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.01	4000	25.520	0.04	130.005
0.02	5000	31.900	0.08	162.506
0.03	6000	38.280	0.12	195.008
0.04	7000	44.660	0.16	227.509
0.05	8000	51.040	0.20	260.010
0.06	9000	57.420	0.24	292.511
0.07	10000	63.800	0.28	325.013
0.07	12000	76.560	0.28	390.015
0.08	13000	82.940	0.32	422.517
0.08	14000	89.320	0.32	455.018
0.08	15000	95.700	0.32	487.519
0.10	16000	102.080	0.40	520.020
0.12	17000	108.460	0.48	552.522
0.12	20000	127.600	0.48	650.025
0.13	21000	133.980	0.52	682.527
0.14	22000	140.360	0.56	715.028
0.15	23000	146.740	0.60	747.529
0.16	24000	153.120	0.64	780.031
0.20	25000	159.500	0.80	812.532
0.22	26000	165.880	0.88	845.033
0.24	27000	172.260	0.96	877.534
0.26	28000	178.640	1.04	910.036
0.45	29000	185.020	1.80	942.537
0.77	28500	181.830	3.08	926.286
0.81	28500	181.830	3.24	926.286
0.82	28000	178.640	3.28	910.036
0.92	28000	178.640	3.68	910.036
0.94	27000	172.260	3.76	877.534
1.00	25000	159.500	4.00	812.532

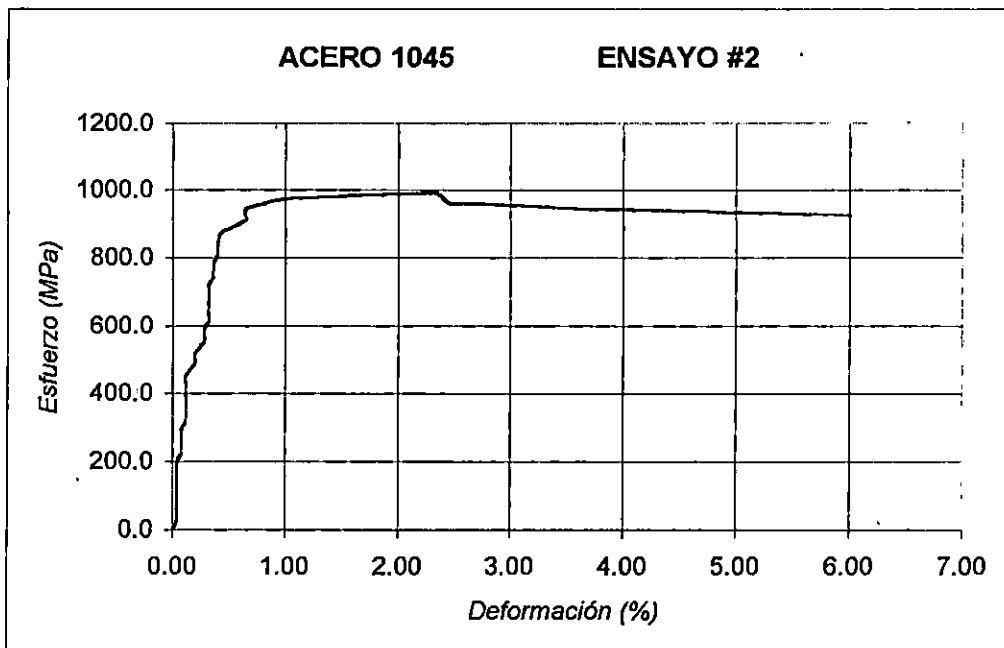
modulo de Young = 172.05 GPa
 Esfuerzo fluencia = 830.03 MPa
 Esfuerzo Maximo = 942.5 MPa
 Diámetro inicial = 4.9 mm
 Diámetro final = 3.8 mm
 Estricción = 39.85 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 25.6 mm
 Elongación = 2.4 %
 Tipo de falla : plana y granulosa



ENSAYO DE TENSION DE ACERO 1045

Defor(mm)	P (kPa)	F=P*Ac(kN)	% defor	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.04	32.501
0.01	4000	25.520	0.04	130.005
0.01	5000	31.900	0.04	162.506
0.01	6000	38.280	0.04	195.008
0.02	7000	44.660	0.08	227.509
0.02	8000	51.040	0.08	260.010
0.02	9000	57.420	0.08	292.511
0.03	10000	63.800	0.12	325.013
0.03	12000	76.560	0.12	390.015
0.03	13000	82.940	0.12	422.517
0.03	14000	89.320	0.12	455.018
0.05	15000	95.700	0.20	487.519
0.05	16000	102.080	0.20	520.020
0.07	17000	108.460	0.28	552.522
0.07	18000	114.840	0.28	585.023
0.08	19000	121.220	0.32	617.524
0.08	20000	127.600	0.32	650.025
0.08	21000	133.980	0.32	682.527
0.08	22000	140.360	0.32	715.028
0.09	23000	146.740	0.36	747.529
0.09	24000	153.120	0.36	780.031
0.10	25000	159.500	0.40	812.532
0.10	26000	165.880	0.40	845.033
0.11	27000	172.260	0.44	877.534
0.16	28000	178.640	0.64	910.036
0.16	29000	185.020	0.64	942.537
0.20	29500	188.210	0.80	958.788
0.25	30000	191.400	1.00	975.038
0.58	30500	194.590	2.32	991.289
0.60	30000	191.400	2.40	975.038
0.62	29500	188.210	2.48	958.788
0.68	29500	188.210	2.72	958.788
0.95	29000	185.020	3.80	942.537
1.00	29000	185.020	4.00	942.537
1.50	28500	181.830	6.00	926.286

modulo de Young =203.3 GPa
 Esfuerzo fluencia =910.5 MPa
 Esfuerzo Maximo = 991.29 MPa
 Diámetro inicial = 5.00 mm
 Diámetro final = 3.9 mm
 Estricción = 39.16 %
 Longitud inicial = 25 mm
 Longitud final = 26.4 mm
 Elongación = 5.6 %
 Tipo de falla : plana y granulosa



RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN

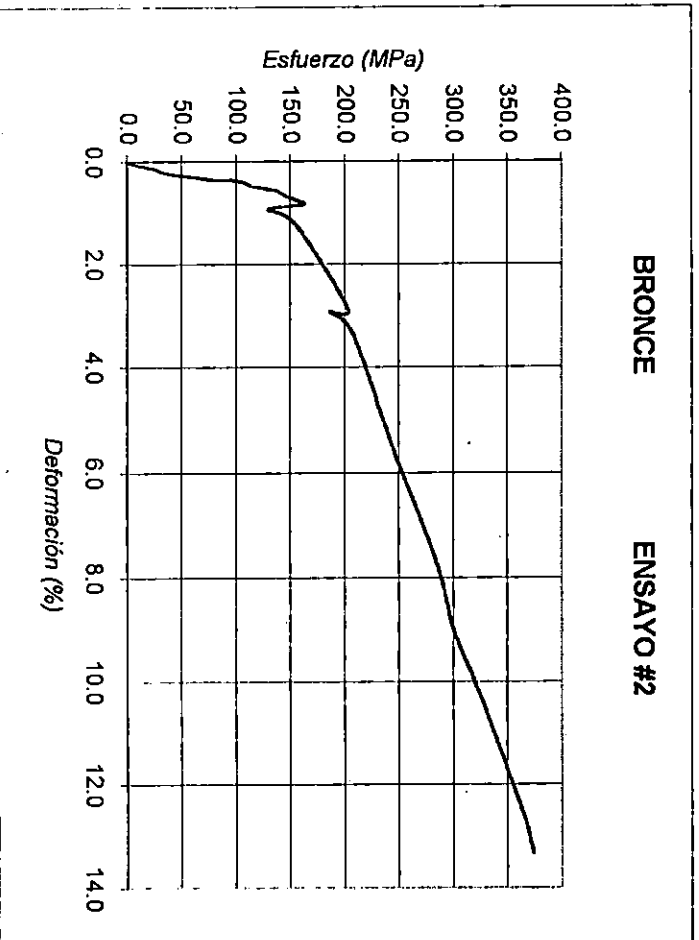
Bronce 87.5 Cu, 1 C.	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Young E (GPa)	Estricción %	Deformación %
	187.00	21.20	15.56	13.12
	187.03	25.56	17.72	12.00
	178.90	27.33	16.64	12.60
	187.03	24.40	15.65	13.30
	178.90	27.84	16.64	10.46
Promedio (MPa)	183.77	25.27	16.44	12.30
Datos proveedor (MPa)	274.59	111.00	....	.....
varianza	19.78	7.06	0.78	1.31
Desviación típica	4.45	2.66	0.88	1.14
coeficiente de variación	0.02	0.11	0.05	0.09
coeficiente de error	0.33	0.77		

Aluminio 99 Al, 0.6 Mn, 0.25 Cr.	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Young E (GPa)	Estricción %	Deformación %
	260.24	13.37	3.02	1.50
	279.20	20.30	4.04	3.00
	260.22	25.50	16.64	10.00
	300.56	20.30	10.25	4.67
Promedio (MPa)	275.06	19.87	8.49	4.79
Datos proveedor (MPa)	262.00	70.00	....	....
varianza	369.08	24.77	39.75	13.73
Desviación típica	19.21	4.98	6.30	3.71
coeficiente de variación	0.07	0.25	0.74	0.77
coeficiente de error	0.05	0.72		

Cobre 99.99 Cu, 0.2 P, 0.2 S.	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Young E (GPa)	Estricción %	Deformación %
	309.02	24.40	5.50	10.50
	333.40	24.40	27.69	21.60
	309.02	24.40	2.00	3.33
	309.02	34.70	1.00	2.00
	317.15	24.40	11.30	13.00
	309.88	24.40	8.16	6.00
Promedio (MPa)	314.58	26.12	9.28	9.41
Datos proveedor (MPa)	344.70	119.00	....	.....
varianza	95.13	17.68	96.02	53.23
Desviación típica	10.47	4.61	10.76	8.14
coeficiente de variación	0.03	0.18	0.86	0.87
coeficiente de error	0.10	0.78		

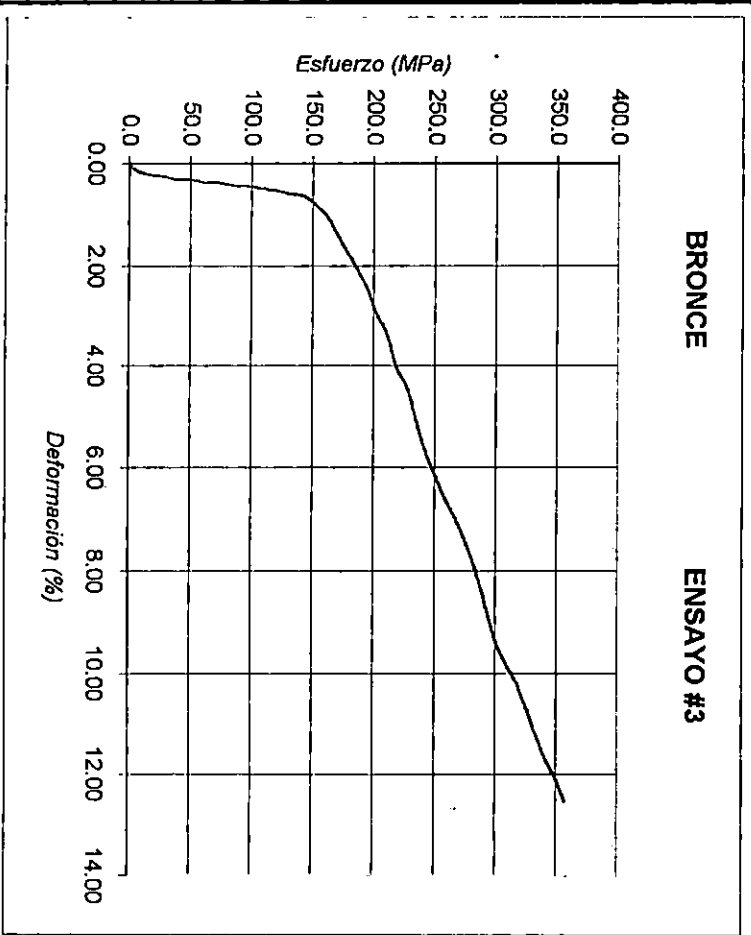
ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA BRONCE

Deform(mm)	P(kPa)	F=P*A (kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.02	1000	6.380	0.07	8.132
0.04	3000	19.140	0.13	24.396
0.06	4000	25.520	0.20	32.528
0.07	5000	31.900	0.23	40.660
0.10	9000	57.420	0.33	73.188
0.11	10000	63.800	0.37	81.320
0.11	11000	70.180	0.37	89.452
0.11	12000	76.560	0.37	97.584
0.12	13000	82.940	0.40	105.716
0.14	14000	89.320	0.47	113.848
0.15	15000	95.700	0.50	121.980
0.16	16000	102.080	0.53	130.112
0.17	17000	108.460	0.57	138.244
0.20	18000	114.840	0.67	146.376
0.22	19000	121.220	0.73	154.508
0.25	20000	127.600	0.83	162.640
0.28	16000	102.080	0.93	130.112
0.36	19000	121.220	1.20	154.508
0.87	25000	159.500	2.90	203.300
0.88	23000	146.740	2.93	187.036
0.88	23000	146.740	2.93	187.036
0.96	25000	159.500	3.20	203.300
1.20	27000	172.260	4.00	219.564
1.64	30000	191.400	5.47	243.960
2.30	35000	223.300	7.67	284.620
2.70	37000	236.060	9.00	300.884
3.08	40000	255.200	10.27	325.280
3.79	45000	287.100	12.63	365.940
4.00	46000	293.480	13.33	374.072



Deform(mm)	P(kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Estf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.04	1000	6.390	0.13	8.132
0.06	2000	12.760	0.20	16.264
0.07	3000	19.140	0.23	24.396
0.08	4000	25.520	0.27	32.528
0.09	5000	31.900	0.30	40.660
0.09	6000	38.280	0.30	48.792
0.10	7000	44.660	0.33	56.924
0.11	8000	51.040	0.37	65.056
0.11	9000	57.420	0.37	73.188
0.12	10000	63.800	0.40	81.320
0.13	11000	70.180	0.43	89.452
0.13	12000	76.560	0.43	97.584
0.14	13000	82.940	0.47	105.716
0.15	14000	89.320	0.50	113.848
0.16	15000	95.700	0.53	121.980
0.17	16000	102.080	0.57	130.112
0.18	17000	108.460	0.60	138.244
0.20	18000	114.840	0.67	146.376
0.25	19000	121.220	0.83	154.508
0.31	20000	127.600	1.03	162.640
0.41	21000	133.980	1.37	170.772
0.52	22000	140.360	1.73	178.904
0.62	23000	146.740	2.07	187.036
0.73	24000	153.120	2.43	195.168
0.90	25000	159.500	3.00	203.300
1.01	26000	165.880	3.37	211.432
1.21	27000	172.260	4.03	219.564
1.33	28000	178.640	4.43	227.696
1.54	29000	185.020	5.13	235.828
1.72	30000	191.400	5.73	243.960
1.87	31000	197.780	6.23	252.092
2.00	32000	204.160	6.67	260.224
2.10	33000	210.540	7.00	268.356
2.23	34000	216.920	7.43	276.488
2.40	35000	223.300	8.00	284.620
2.60	36000	229.680	8.67	292.752
2.80	37000	236.060	9.33	300.884
2.94	38000	242.440	9.80	309.016
3.04	39000	248.820	10.13	317.148
3.18	40000	255.200	10.60	325.280
3.35	41000	261.580	11.17	333.412
3.50	42000	267.960	11.67	341.544
3.61	43000	274.340	12.03	349.676
3.76	44000	280.720	12.53	357.808

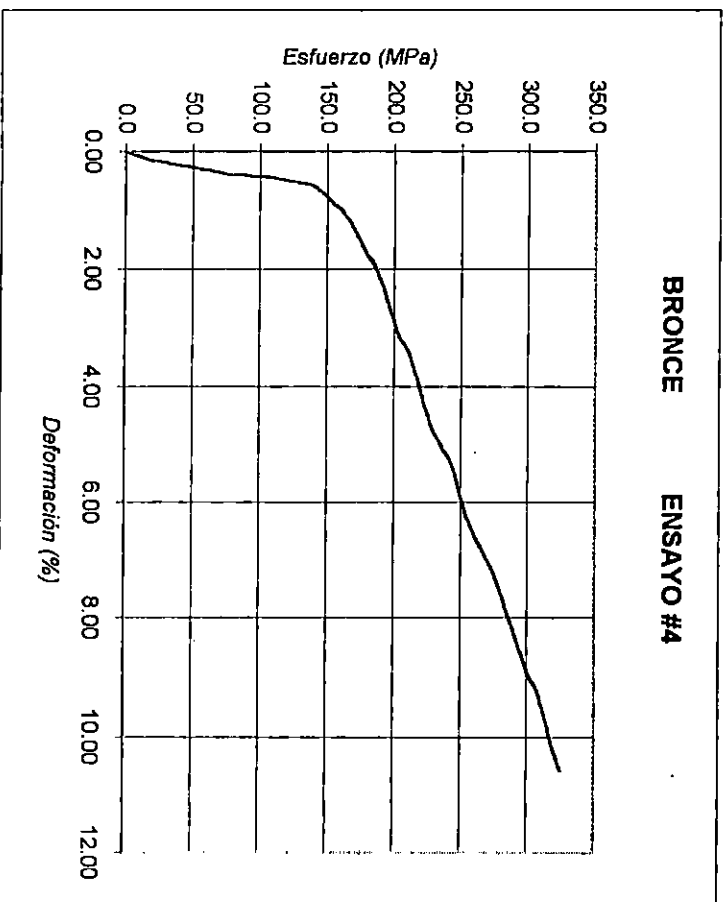
módulo de Young = 27.33 GPa
 Esfuerzo de fluencia = 178.9 Mpa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.80 mm
 Estricción = 16.64 %
 Longitud inicial = 30 mm
 Longitud final = 26.2 mm
 Elongación = 12.6 %
 Tipo de falla: barrilado con superficie corrugada.



ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA BRONCE

Deform(mm)	P(kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.02	1000	6.380	0.07	8.132
0.04	2000	12.760	0.13	16.264
0.05	3000	19.140	0.17	24.396
0.06	4000	25.520	0.20	32.528
0.07	5000	31.900	0.23	40.660
0.08	6000	38.280	0.27	48.792
0.09	7000	44.660	0.30	56.924
0.10	8000	51.040	0.33	65.056
0.11	9000	57.420	0.37	73.188
0.12	10000	63.800	0.40	81.320
0.12	11000	70.180	0.40	89.452
0.13	12000	76.560	0.43	97.584
0.13	13000	82.940	0.43	105.716
0.14	14000	89.320	0.47	113.848
0.15	15000	95.700	0.50	121.980
0.16	16000	102.080	0.53	130.112
0.17	17000	108.460	0.57	138.244
0.21	18000	114.840	0.70	146.376
0.26	19000	121.220	0.87	154.508
0.31	20000	127.600	1.03	162.640
0.40	21000	133.980	1.33	170.772
0.51	22000	140.360	1.70	178.904
0.60	23000	146.740	2.00	187.036
0.76	24000	153.120	2.53	195.168
0.93	25000	159.500	3.10	203.300
1.03	26000	165.880	3.43	211.432
1.20	27000	172.260	4.00	219.564
1.39	28000	178.640	4.63	227.696
1.51	29000	185.020	5.03	235.828
1.61	30000	191.400	5.37	243.960
1.82	31000	197.780	6.07	252.092
1.97	32000	204.160	6.57	260.224
2.08	33000	210.540	6.93	268.356
2.20	34000	216.920	7.33	276.488
2.36	35000	223.300	7.87	284.620
2.52	36000	229.680	8.40	292.752
2.68	37000	236.060	8.93	300.884
2.79	38000	242.440	9.30	309.016
3.00	39000	248.820	10.00	317.148
3.17	40000	255.200	10.57	325.280

módulo de Young = 24.4 GPa
 Esfuerzo de fluencia = 187.03 MPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.75 mm
 Estricción = 15.56 %
 Longitud inicial = 30 mm
 Longitud final = 26 mm
 Elongación = 13.3 %
 Tipo de falla: barrilado con superficie corrugada.

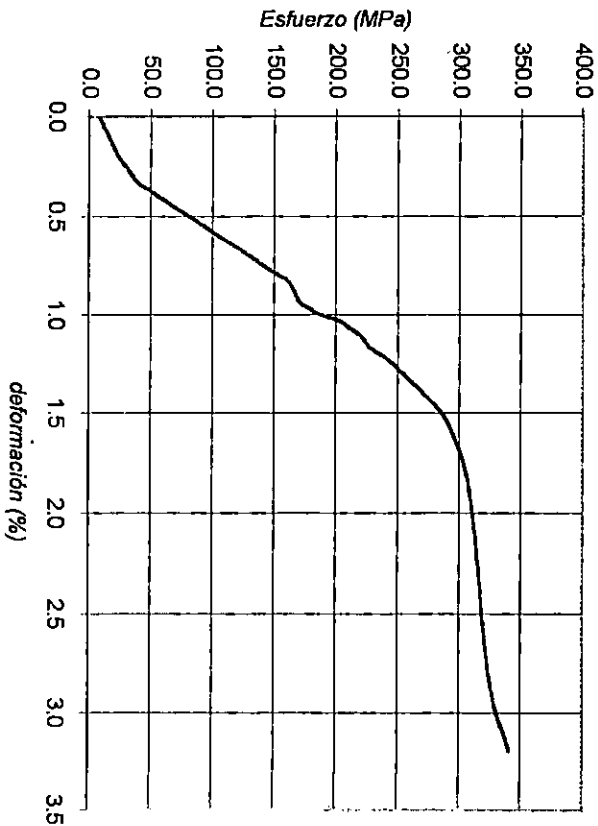


ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA ALUMINIO

Deform(mm)	P(kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Est (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	8.132
0.03	2000	12.760	0.10	16.264
0.06	3000	19.140	0.20	24.396
0.08	4000	25.520	0.27	32.528
0.10	5000	31.900	0.33	40.660
0.11	6000	38.280	0.37	48.792
0.12	7000	44.660	0.40	56.924
0.13	8000	51.040	0.43	65.056
0.14	9000	57.420	0.47	73.188
0.15	10000	63.800	0.50	81.320
0.16	11000	70.180	0.53	89.452
0.17	12000	76.560	0.57	97.584
0.18	13000	82.940	0.60	105.716
0.19	14000	89.320	0.63	113.848
0.20	15000	95.700	0.67	121.980
0.21	16000	102.080	0.70	130.112
0.22	17000	108.460	0.73	138.244
0.23	18000	114.840	0.77	146.376
0.24	19000	121.220	0.80	154.508
0.25	20000	127.600	0.83	162.640
0.28	21000	133.980	0.93	170.772
0.29	22000	140.360	0.97	178.904
0.30	23000	146.740	1.00	187.036
0.31	25000	159.500	1.03	203.300
0.32	26000	165.880	1.07	211.432
0.33	27000	172.260	1.10	219.564
0.35	28000	178.640	1.17	227.696
0.36	29000	185.020	1.20	235.828
0.37	30000	191.400	1.23	243.960
0.40	32000	204.160	1.33	260.224
0.43	34000	216.920	1.43	276.488
0.47	36000	229.680	1.57	292.752
0.57	38000	242.440	1.90	309.016
0.85	40000	255.200	2.83	325.280
0.96	42000	267.960	3.20	341.544

Esfuerzo de fluencia = 260.24 MPa
Modulo de Young = 13.37 GPa
Diámetro inicial = 10.00 mm
Diámetro final = 10.15 mm
Estricción = 3.02 %
Longitud inicial = 30.0 mm
Longitud final = 29.55 mm
Elongación = 1.5 %
Tipo de falla = pandeo

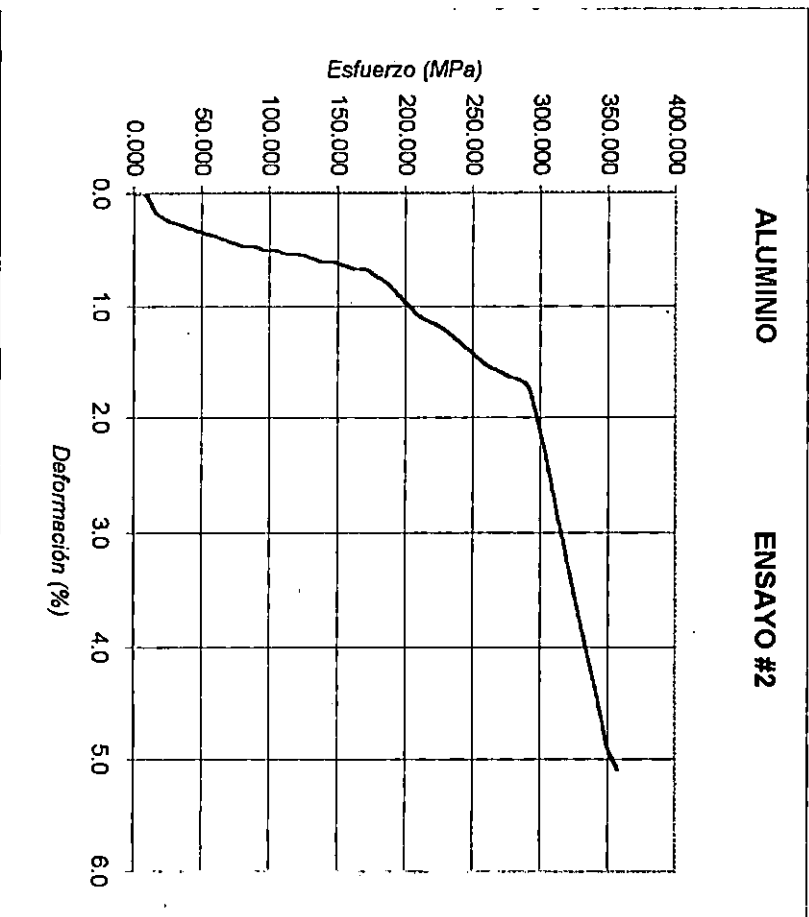
ALUMINIO ENSAYO #1



ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA ALUMINIO

Deform(mn)	P(kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Estf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.00	1000	6.380	0.00	8.132
0.05	2000	12.760	0.17	16.264
0.07	3000	19.140	0.23	24.396
0.08	4000	25.520	0.27	32.528
0.09	5000	31.900	0.30	40.660
0.10	6000	38.280	0.33	48.792
0.11	7000	44.660	0.37	56.924
0.12	8000	51.040	0.40	65.056
0.13	9000	57.420	0.43	73.188
0.14	10000	63.800	0.47	81.320
0.14	11000	70.180	0.47	89.452
0.15	12000	76.560	0.50	97.584
0.15	13000	82.940	0.50	105.716
0.16	14000	89.320	0.53	113.848
0.16	15000	95.700	0.53	121.980
0.17	16000	102.080	0.57	130.112
0.18	17000	108.460	0.60	138.244
0.18	18000	114.840	0.60	146.376
0.19	19000	121.220	0.63	154.508
0.20	20000	127.600	0.67	162.640
0.20	21000	133.980	0.67	170.772
0.22	22000	140.360	0.73	178.904
0.24	23000	146.740	0.80	187.036
0.30	25000	159.500	1.00	203.300
0.33	26000	165.880	1.10	211.432
0.36	28000	178.640	1.20	227.696
0.41	30000	191.400	1.37	243.960
0.46	32000	204.160	1.53	260.224
0.49	34000	216.920	1.63	276.488
0.53	36000	229.680	1.77	292.752
1.06	40000	255.200	3.53	325.280
1.32	42000	267.960	4.40	341.544
1.46	43000	274.340	4.87	349.676
1.53	44000	280.720	5.10	357.808

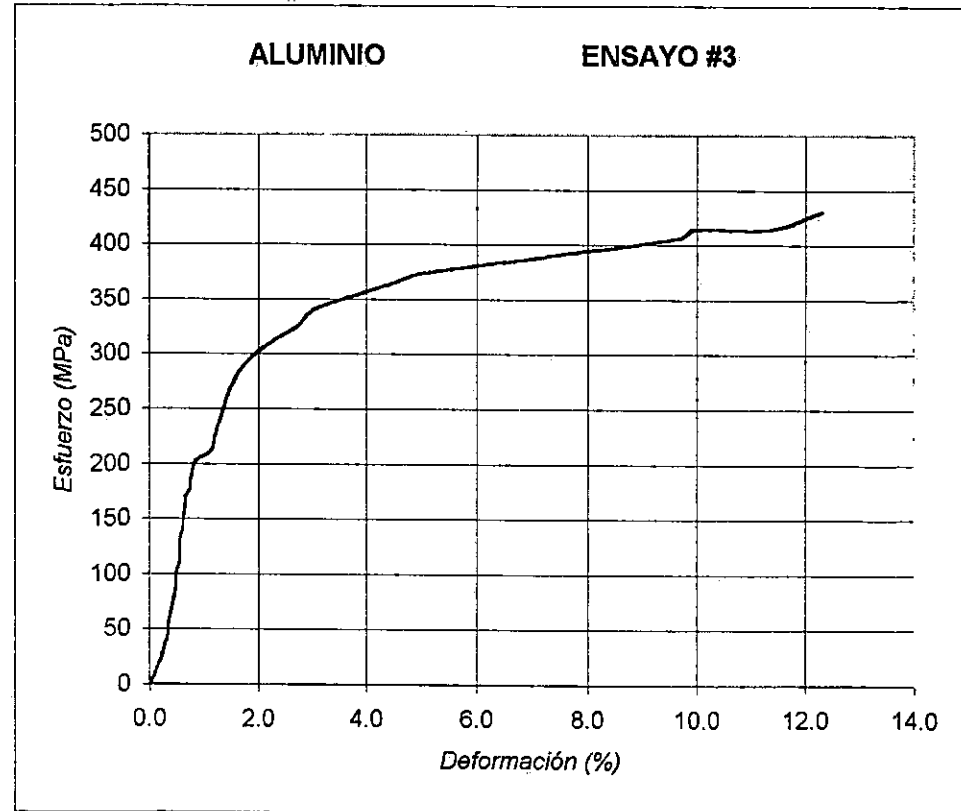
Esfuerzo de fluencia = 279.2 MPa
 Modulo de Young = 20.3 GPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.20 mm
 Estricción = 4.04 %
 Longitud inicial = 30.0 mm
 Longitud final = 29.1 mm
 Elongación = 3.0 %
 Tipo de falla: pandeo



ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA ALUMINIO

Defor(mm)	P(kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.02	1000	6.380	0.07	8.132
0.04	2000	12.760	0.13	16.264
0.06	3000	19.140	0.20	24.396
0.07	4000	25.520	0.23	32.528
0.09	5000	31.900	0.30	40.660
0.10	6000	38.280	0.33	48.792
0.10	7000	44.660	0.33	56.924
0.11	8000	51.040	0.37	65.056
0.12	9000	57.420	0.40	73.188
0.13	10000	63.800	0.43	81.320
0.14	11000	70.180	0.47	89.452
0.14	12000	76.560	0.47	97.584
0.15	13000	82.940	0.50	105.716
0.16	14000	89.320	0.53	113.848
0.16	15000	95.700	0.53	121.980
0.16	16000	102.080	0.53	130.112
0.17	17000	108.460	0.57	138.244
0.18	18000	114.840	0.60	146.376
0.18	19000	121.220	0.60	154.508
0.19	20000	127.600	0.63	162.640
0.19	21000	133.980	0.63	170.772
0.22	22000	140.360	0.73	178.904
0.22	23000	146.740	0.73	187.036
0.25	25000	159.500	0.83	203.300
0.33	26000	165.880	1.10	211.432
0.36	28000	178.640	1.20	227.696
0.39	30000	191.400	1.30	243.960
0.42	32000	204.160	1.40	260.224
0.46	34000	216.920	1.53	276.488
0.53	36000	229.680	1.77	292.752
0.65	38000	242.440	2.17	309.016
0.81	40000	255.200	2.70	325.280
0.92	42000	267.960	3.07	341.544
1.20	44000	280.720	4.00	357.808
1.36	45000	287.100	4.53	365.940
1.50	46000	293.480	5.00	374.072
2.90	50000	319.000	9.67	406.600
2.98	51000	325.380	9.93	414.732
3.41	51000	325.380	11.37	414.732
3.69	53000	338.140	12.30	430.996

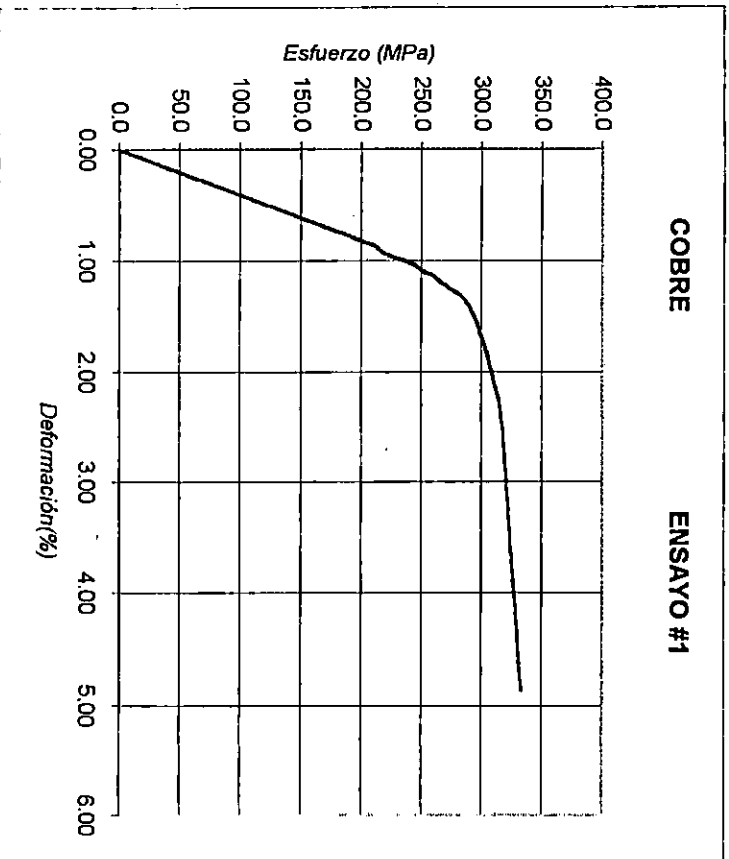
Esfuerzo de fluencia = 260.22 MPa
 Modulo de Young = 25.5 GPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.80 mm
 Estricción = 16.64 %
 Longitud inicial = 30.05 mm
 Longitud final = 26.6 mm
 Elongación = 10 %
 Tipo de falla : pandeo



ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA COBRE

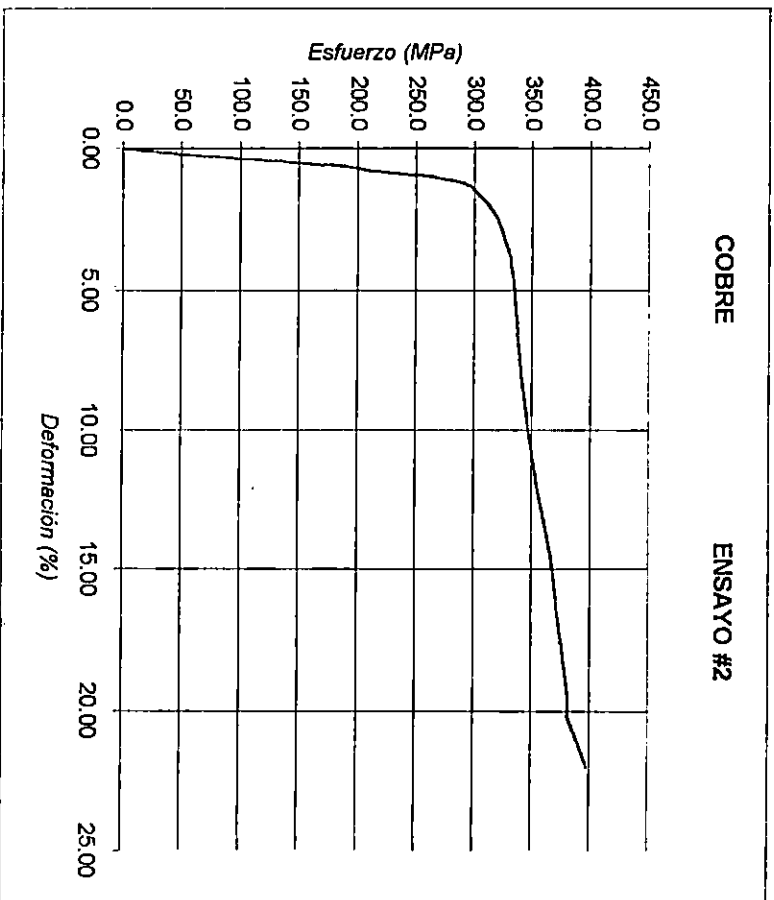
Deform(mn)	P(kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Est (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.03	8.132
0.02	2000	12.760	0.07	16.264
0.03	3000	19.140	0.10	24.396
0.04	4000	25.520	0.13	32.528
0.05	5000	31.900	0.17	40.660
0.06	6000	38.280	0.20	48.792
0.07	7000	44.660	0.23	56.924
0.08	8000	51.040	0.27	65.056
0.09	9000	57.420	0.30	73.188
0.10	10000	63.800	0.33	81.320
0.11	11000	70.180	0.37	89.452
0.12	12000	76.560	0.40	97.584
0.13	13000	82.940	0.43	105.716
0.14	14000	89.320	0.47	113.848
0.15	15000	95.700	0.50	121.980
0.16	16000	102.080	0.53	130.112
0.17	17000	108.460	0.57	138.244
0.18	18000	114.840	0.60	146.376
0.19	19000	121.220	0.63	154.508
0.20	20000	127.600	0.67	162.640
0.21	21000	133.980	0.70	170.772
0.22	22000	140.360	0.73	178.904
0.23	23000	146.740	0.77	187.036
0.24	24000	153.120	0.80	195.168
0.25	25000	159.500	0.83	203.300
0.26	26000	165.880	0.87	211.432
0.28	27000	172.260	0.93	219.564
0.29	28000	178.640	0.97	227.696
0.30	29000	185.020	1.00	235.828
0.31	30000	191.400	1.03	243.960
0.33	31000	197.780	1.10	252.092
0.34	32000	204.160	1.13	260.224
0.36	33000	210.540	1.20	268.356
0.38	34000	216.920	1.27	276.488
0.40	35000	223.300	1.33	284.620
0.44	36000	229.680	1.47	292.752
0.51	37000	236.060	1.70	300.884
0.60	38000	242.440	2.00	309.016
0.73	39000	248.820	2.43	317.148
1.11	40000	255.200	3.70	325.280
1.46	41000	261.580	4.87	333.412

Esfuerzo de fluencia = 309.02 MPa
 Modulo de Young = 24.4 GPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.55 mm
 Estricción = 5.5 %
 Longitud inicial = 30.05 mm
 Longitud final = 26.9 mm
 Elongación = 10.5 %



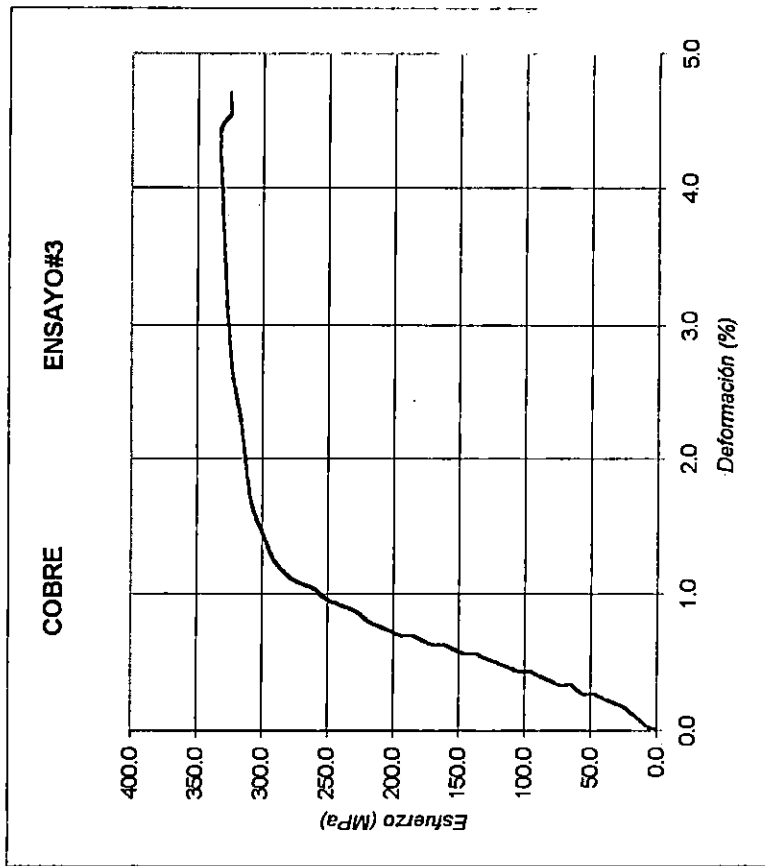
Esfuerzo de fluencia = 333.4 MPa
 Modulo de Young = 24.40 GPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 13.0 mm
 Estricción = 27.69 %
 Longitud inicial = 30 mm
 Longitud final = 23.5 mm
 Elongación = 21.6 %

Deform(mn)	Fuerza	Esfuerzo (MPa)	Elongación	Esf. (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.03	8.132
0.02	2000	12.760	0.07	16.264
0.03	3000	19.140	0.10	24.396
0.04	4000	25.520	0.13	32.528
0.05	5000	31.900	0.17	40.660
0.06	6000	38.280	0.20	48.792
0.07	7000	44.660	0.23	56.924
0.08	8000	51.040	0.27	65.056
0.09	9000	57.420	0.30	73.188
0.09	10000	63.800	0.30	81.320
0.10	11000	70.180	0.33	89.452
0.11	12000	76.560	0.37	97.584
0.12	13000	82.940	0.40	105.716
0.12	14000	89.320	0.40	113.848
0.13	15000	95.700	0.43	121.980
0.14	16000	102.080	0.47	130.112
0.14	17000	108.460	0.47	138.244
0.15	18000	114.840	0.50	146.376
0.16	19000	121.220	0.53	154.508
0.17	20000	127.600	0.57	162.640
0.18	21000	133.980	0.60	170.772
0.18	22000	140.360	0.60	178.904
0.19	23000	146.740	0.63	187.036
0.21	24000	153.120	0.70	195.168
0.22	25000	159.500	0.73	203.300
0.24	26000	165.880	0.80	211.432
0.25	27000	172.260	0.83	219.564
0.26	28000	178.640	0.87	227.696
0.27	29000	185.020	0.90	235.828
0.28	30000	191.400	0.93	243.960
0.29	31000	197.780	0.97	252.092
0.30	32000	204.160	1.00	260.224
0.32	33000	210.540	1.07	268.356
0.34	34000	216.920	1.13	276.488
0.35	35000	223.300	1.17	284.620
0.38	36000	229.680	1.27	292.752
0.45	37000	236.060	1.50	300.884
0.55	38000	242.440	1.83	309.016
0.68	39000	248.820	2.27	317.148
0.88	40000	255.200	2.93	325.280
1.28	41000	261.580	4.27	333.412
2.40	42000	267.960	8.00	341.544
3.19	43000	274.340	10.63	349.676
3.76	44000	280.720	12.53	357.808
4.28	45000	287.100	14.27	365.940
5.10	46000	293.480	17.00	374.072
5.84	47000	299.860	19.47	382.204
6.05	47000	299.860	20.17	382.204
6.31	48000	306.240	21.03	390.336
6.59	49000	312.620	21.97	398.468



ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA CORRE

Esfuerzo de fluencia = 309.0 MPa
 Modulo de Young = 24.4 GPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.20 mm
 Estricción = 2.0 %
 Longitud inicial = 30 mm
 Longitud final = 29 mm
 Elongación = 3.33 %

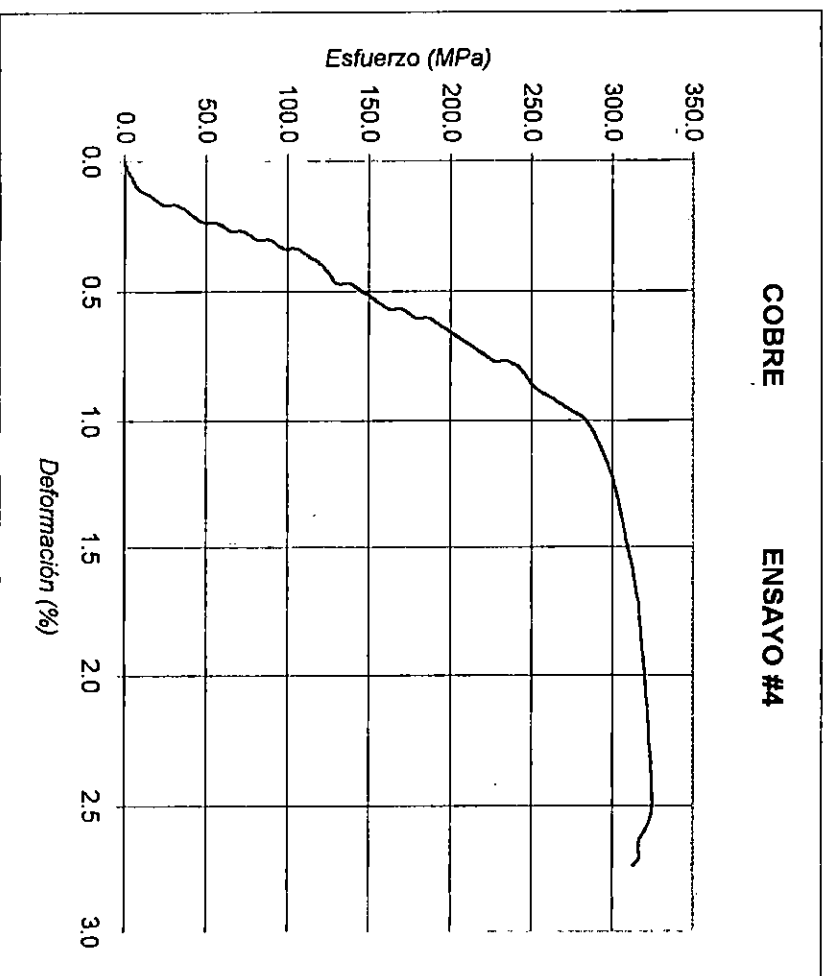


Deform(mm)	P (kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.03	8.132
0.03	2000	12.760	0.10	16.264
0.05	3000	19.140	0.17	24.396
0.06	4000	25.520	0.20	32.528
0.07	5000	31.900	0.23	40.660
0.08	6000	38.280	0.27	48.792
0.08	7000	44.660	0.27	56.924
0.10	8000	51.040	0.33	65.056
0.10	9000	57.420	0.33	73.188
0.11	10000	63.800	0.37	81.320
0.12	11000	70.180	0.40	89.452
0.13	12000	76.560	0.43	97.584
0.13	13000	82.940	0.43	105.716
0.14	14000	89.320	0.47	113.848
0.15	15000	95.700	0.50	121.980
0.16	16000	102.080	0.53	130.112
0.17	17000	108.460	0.57	138.244
0.17	18000	114.840	0.57	146.376
0.18	19000	121.220	0.60	154.508
0.19	20000	127.600	0.63	162.640
0.19	21000	133.980	0.63	170.772
0.20	22000	140.360	0.67	178.904
0.21	23000	146.740	0.70	187.036
0.21	24000	153.120	0.70	195.168
0.22	25000	159.500	0.73	203.300
0.23	26000	165.880	0.77	211.432
0.24	27000	172.260	0.80	219.564
0.26	28000	178.640	0.87	227.696
0.27	29000	185.020	0.90	235.828
0.28	30000	191.400	0.93	243.960
0.29	31000	197.780	0.97	252.092
0.31	32000	204.160	1.03	260.224
0.32	33000	210.540	1.07	268.356
0.33	34000	216.920	1.10	276.488
0.35	35000	223.300	1.17	284.620
0.38	36000	229.680	1.27	292.752
0.44	37000	236.060	1.47	300.884
0.51	38000	242.440	1.70	309.016
0.69	39000	248.820	2.30	317.148
0.85	40000	255.200	2.83	325.280
1.32	41000	261.580	4.40	333.412
1.36	40000	255.200	4.53	325.280
1.40	40000	255.200	4.67	325.280
1.41	40000	255.200	4.70	325.280

ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA COBRE

Deform(mm)	P(KPa)	F = P·A(KN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.03	1000	6.380	0.10	8.132
0.04	2000	12.760	0.13	16.264
0.05	3000	19.140	0.17	24.396
0.05	4000	25.520	0.17	32.528
0.06	5000	31.900	0.20	40.660
0.07	6000	38.280	0.23	48.792
0.07	7000	44.660	0.23	56.924
0.08	8000	51.040	0.27	65.056
0.08	9000	57.420	0.27	73.188
0.09	10000	63.800	0.30	81.320
0.09	11000	70.180	0.30	89.452
0.10	12000	76.560	0.33	97.584
0.10	13000	82.940	0.33	105.716
0.11	14000	89.320	0.37	113.848
0.12	15000	95.700	0.40	121.980
0.14	16000	102.080	0.47	130.112
0.14	17000	108.460	0.47	138.244
0.15	18000	114.840	0.50	146.376
0.16	19000	121.220	0.53	154.508
0.17	20000	127.600	0.57	162.640
0.17	21000	133.980	0.57	170.772
0.18	22000	140.360	0.60	178.904
0.18	23000	146.740	0.60	187.036
0.19	24000	153.120	0.63	195.168
0.20	25000	159.500	0.67	203.300
0.21	26000	165.880	0.70	211.432
0.22	27000	172.260	0.73	219.564
0.23	28000	178.640	0.77	227.696
0.23	29000	185.020	0.77	235.828
0.24	30000	191.400	0.80	243.960
0.26	31000	197.780	0.87	252.092
0.27	32000	204.160	0.90	260.224
0.28	33000	210.540	0.93	268.356
0.29	34000	216.920	0.97	276.488
0.30	35000	223.300	1.00	284.620
0.33	36000	229.680	1.10	292.752
0.37	37000	236.060	1.23	300.884
0.44	38000	242.440	1.47	309.016
0.53	39000	248.820	1.77	317.148
0.75	40000	255.200	2.50	325.280
0.79	39000	248.820	2.63	317.148
0.81	39000	248.820	2.70	317.148
0.82	38500	245.630	2.73	313.082

Esfuerzo de fluencia = 317.15 MPa
 Modulo de Young = 34.7 GPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.10 mm
 Estricción = 1.0 %
 Longitud inicial = 30 mm
 Longitud final = 29.4mm
 Elongación = 2.0 %

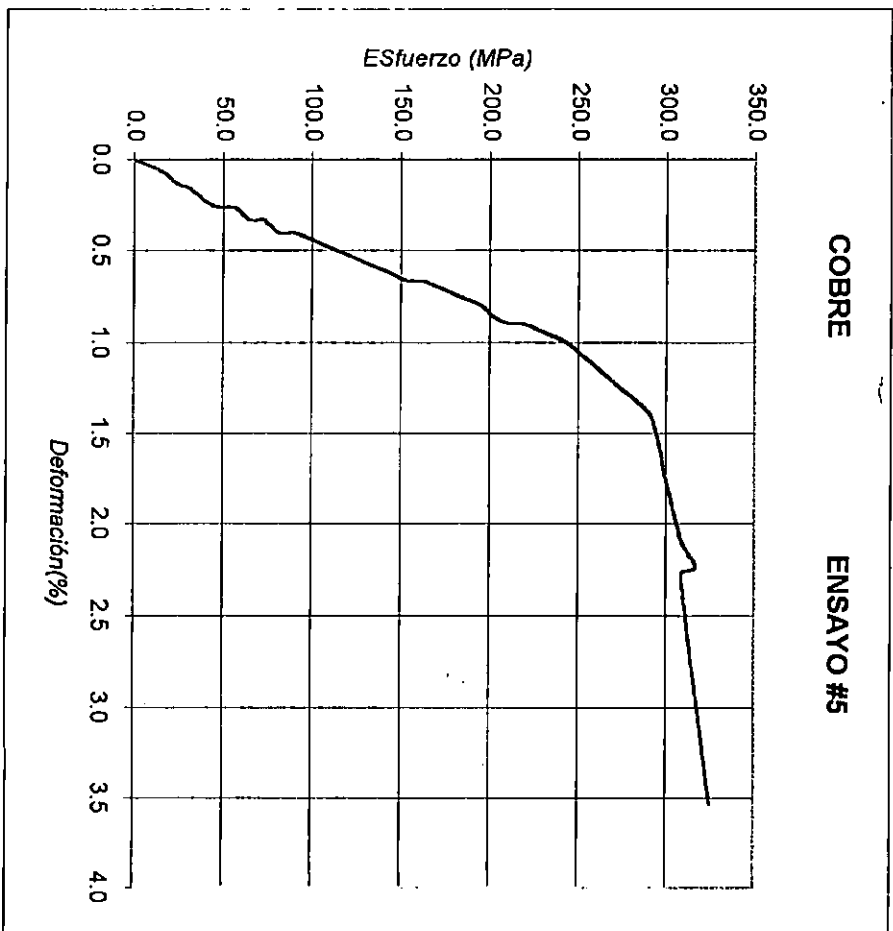


ENSAYO DE COMPRESIÓN PARA COBRE

Esfuerzo de fluencia = 300.6 MPa
 Modulo de Young = 24.4 GPa
 Diámetro inicial = 10.00 mm
 Diámetro final = 10.55 mm
 Estricción = 5.5 %
 Longitud inicial = 30 mm
 Longitud final = 26.1 mm
 Elongación = 13.0 %

COBRE

ENSAYO #5



Deform(m)	P(kPa)	F = P*A(kN)	% deform	Esf (MPa)
0.00	0	0.000	0.00	0.000
0.01	1000	6.380	0.03	8.132
0.02	2000	12.760	0.07	16.264
0.04	3000	19.140	0.13	24.396
0.05	4000	25.520	0.17	32.528
0.07	5000	31.900	0.23	40.660
0.08	6000	38.280	0.27	48.792
0.10	7000	44.660	0.27	56.924
0.10	8000	51.040	0.33	65.056
0.10	9000	57.420	0.33	73.188
0.12	10000	63.800	0.40	81.320
0.12	11000	70.180	0.40	89.452
0.13	12000	76.560	0.43	97.584
0.14	13000	82.940	0.47	105.716
0.15	14000	89.320	0.50	113.848
0.16	15000	95.700	0.53	121.980
0.17	16000	102.080	0.57	130.112
0.18	17000	108.460	0.60	138.244
0.19	18000	114.840	0.63	146.376
0.20	19000	121.220	0.67	154.508
0.20	20000	127.600	0.67	162.640
0.21	21000	133.980	0.70	170.772
0.22	22000	140.360	0.73	178.904
0.23	23000	146.740	0.77	187.036
0.24	24000	153.120	0.80	195.168
0.26	25000	159.500	0.87	203.300
0.27	26000	165.880	0.90	211.432
0.27	27000	172.260	0.90	219.564
0.28	28000	178.640	0.93	227.696
0.29	29000	185.020	0.97	235.828
0.30	30000	191.400	1.00	243.960
0.32	31000	197.780	1.07	252.092
0.34	32000	204.160	1.13	260.224
0.36	33000	210.540	1.20	268.356
0.38	34000	216.920	1.27	276.488
0.40	35000	223.300	1.33	284.620
0.43	36000	229.680	1.43	292.752
0.54	37000	236.060	1.80	300.884
0.63	38000	242.440	2.10	309.016
0.67	39000	248.820	2.23	317.148
0.68	38000	242.440	2.27	309.016
0.69	38000	242.440	2.30	309.016
0.70	38000	242.440	2.33	309.016
1.06	40000	255.200	3.53	325.280

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta que las condiciones de producción de materiales varían de una muestra a otra, es de esperar que los resultados que se obtienen en un ensayo difieran en cierto grado con los proporcionados por el proveedor.

- El módulo de young obtenido durante los ensayos de tensión varían con respecto al del proveedor en menos del 0.20 de error, en la mayoría de los ensayos. No así en los ensayos de compresión, donde se obtuvieron coeficiente de errores mayores al 0.7. Por lo tanto, podemos concluir que la información que proporciona el proveedor es un dato obtenido por medio de ensayo de tensión y no de compresión.
- Durante los ensayos de compresión y de tensión se obtuvo coeficientes de error menores al 0.25, excepto en los aceros donde variaron en 0.49 y 0.40. Por lo tanto, si eliminamos la posibilidad de que los materiales proporcionados por el proveedor no tengan las características esperadas, podemos concluir que la máquina es más confiable cuanto mas dúctil es el material ensayado.
- A no ser por los resultados obtenidos de los ensayos del acero 1020 y los módulos de elasticidad que se determinaron para compresión consideramos que los resultados están dentro del rango esperado (en promedio abajo del 20% de error).
- Es evidente que una de las situaciones más críticas en el desarrollo de un ensayo de materiales (tensión y compresión) en nuestra máquina es medir las deformaciones generadas en la probeta. Entre las principales causas que pueden generar datos imprecisos tenemos:
 - La velocidad con que se realice el ensayo.
 - La precisión y sensibilidad del equipo de medición.
 - El funcionamiento del adaptador para el deformímetro que se monta en la probeta para el ensayo de tensión.
- Con equipos de medición más precisos y si es necesario un nuevo diseño del adaptador del deformímetro se podría reducir el coeficiente de error de los resultados obtenidos en las pruebas.

RECOMENDACIONES

- Consideramos que el numero de pruebas que se efectuaron durante la elaboración del trabajo de graduación no son las suficientes para determinar resultados confiables. Por lo cual, incitamos a que se continúen haciendo pruebas para los materiales que ya se ensayaron así como también a materiales que aún no se han ensayado.
- Recomendamos hacer pruebas de distintos distribuidores de materiales. Con esto se podrá determinar diferencias entre materiales de diferentes fabricantes y se podrá hacer comparaciones.
- Para obtener mejores resultados, recomendamos que en lo posible se eviten esfuerzos residuales en la probeta. Las probetas que se ensayen deberían pasar antes por un tratamiento térmico para eliminar dichos esfuerzos.
- Si no existe manera de garantizar que el material a ensayar tiene las propiedades que indica la carta técnica, es recomendable verificar sus propiedades por medio de otros ensayos (de composición química, metalografía, dureza, etc).



Standard Practices for Force Verification of Testing Machines¹

This standard is issued under the fixed designation E 4; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These practices cover procedures for the force verification, by means of standard calibration devices, of tension or compression, or both, static or quasi-static testing machines (which may, or may not, have force-indicating systems). These practices are not intended to be complete purchase specifications for testing machines. Testing machines may be verified by one of the three following methods or combination thereof:

- 1.1.1 Use of standard weights,
- 1.1.2 Use of equal-arm balances and standard weights, or
- 1.1.3 Use of elastic calibration devices.

NOTE 1—These practices do not cover the verification of all types of testing machines designed to measure forces, for example, the constant-rate-of-loading type which operates on the inclined-plane principle. This type of machine may be verified as directed in the applicable appendix of Specification D 76.

1.2 The procedures of 1.1.1 through 1.1.3 apply to the verification of the force-indicating systems associated with the testing machine, such as a scale, dial, marked or unmarked recorder chart, digital display, etc. *In all cases the buyer/owner/user must designate the force-indicating system(s) to be verified and included in the report.*

1.3 Since conversion factors are not required in this practice, either inch-pound units, SI units, or metric values can be used as the standard.

1.4 Forces indicated on displays/printouts of testing machine data systems—be they instantaneous, delayed, stored, or retransmitted—which are verified with provisions of 1.1.1, 1.1.2, or 1.1.3, and are within the $\pm 1\%$ accuracy requirement, comply with Practices E 4.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles²

¹ These practices are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.01 on Calibration of Mechanical Testing Machines and Apparatus.

Current edition approved Feb. 10, 1996. Published April 1996. Originally published as E 4 - 23 T. Last previous edition E 4 - 95a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

E 74 Practice for Calibration of Force Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines³

E 467 Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Loads in an Axial Load Fatigue Testing System³

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *testing machine (force-measuring type)*—a mechanical device for applying a force to a specimen.

3.1.1.1 *portable testing machine (force-measuring type)*—a device specifically designed to be moved from place to place and for applying a force (load) to a specimen.

3.1.2 *tension testing machine, CRT (constant-rate-of-traverse)*—a mechanical device for applying a load (force) to a specimen and in which the force is measured by means of a pendulum.

3.1.3 *force*—in the case of testing machines, a force measured in units such as pound-force, newton, or kilogram-force.

3.1.3.1 *Discussion*—The pound-force is that force which acting on a 1-lb mass will give to it an acceleration of 9.80665 m/s² (32.1740 ft/s²). The newton is that force which acting on a 1-kg mass will give to it an acceleration of 1 m/s².

3.1.4 *accuracy*—the specified permissible variation from the correct value. A testing machine is said to be accurate if the indicated force is within the specified permissible variation from the actual force.

3.1.4.1 *Discussion*—In these methods the word “accurate” applied to a testing machine is used without numerical values, for example, “An accurate testing machine was used for the investigation.” The accuracy of a testing machine should not be confused with sensitivity. For example, a testing machine might be very sensitive; that is, it might indicate quickly and definitely small changes in force, but nevertheless, be very inaccurate. On the other hand, the accuracy of the results is in general limited by the sensitivity.

3.1.5 *error (or the deviation from the correct value)*—in the case of a testing machine, the difference obtained by subtracting the force indicated by the calibration device from the force indicated by the testing machine.

3.1.5.1 *Discussion*—The word “error” shall be used with numerical values, for example, “At a force of 30 000 lbf (133 kN), the error of the testing machine was + 15 lbf (67 N).”

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

3.1.6 *percent error*—in the case of a testing machine, the ratio, expressed as a percent, of the error to the correct value of the applied force.

3.1.6.1 *Discussion*—The test force, as indicated by the testing machine, and the applied force, as computed from the readings of the verification device, shall be recorded at each test point. The error, E , and the percent error, E_p , shall be calculated from these data as follows:

$$E = A - B$$

$$E_p = [(A - B)/B] \times 100$$

where:

A = force indicated by machine being verified, lbf (or N), and

B = correct value of the applied force, lbf (or N), as determined by the calibration device.

3.1.7 *correction*—in the case of a testing machine, the difference obtained by subtracting the indicated force from the correct value of the applied force.

3.1.8 *permissible variation (or tolerance)*—in the case of testing machines, the maximum allowable error in the value of the quantity indicated.

3.1.8.1 *Discussion*—It is convenient to express permissible variation in terms of percentage of error. The numerical value of the permissible variation for a testing machine is so stated hereafter in these practices.

3.1.9 *capacity range*—in the case of testing machines, the range of forces for which it is designed. Some testing machines have more than one capacity range, that is, multiple ranges.

3.1.10 *verified range of forces*—in the case of testing machines, the range of indicated forces for which the testing machine gives results within the permissible variations specified.

3.1.11 *elastic calibration device*—a device for use in verifying the force readings of a testing machine consisting of an elastic member(s) to which forces may be applied, combined with a mechanism or device for indicating the magnitude (or a quantity proportional to the magnitude) of deformation under force.

3.1.12 *resolution of the force indicator*—smallest change of force that can be estimated or ascertained on the force indicating apparatus of the testing machine, at any applied force. Appendix X1. describes a method for determining resolution.

3.1.12.1 *resolution of analog type force indicators (scales, dials, recorders, etc.)*—the resolution is the smallest change in force indicated by a displacement of a pointer, or pen line. The resolution is calculated by multiplying the force corresponding to one graduation by the ratio of the width of the pointer or pen line to the center to center distance between two adjacent graduation marks. The typical ratios used are 1:1, 1:2, 1:5, or 1:10. A spacing of 0.10 in. (2.5 mm) or greater is recommended for the ratio of 1:10. A ratio less than 1:10 should not be used.

(1) *Discussion*—If a force indicating dial has graduations spaced every 0.080 in. (2.0 mm), the width of the pointer is approximately 0.040 in. (1.0 mm), and one graduation represent 5 lbf (25N). The ratio used would be 1:2 and the resolution would be equal to 2-1/2 lbf (12-1/2 N).

3.1.12.2 *resolution of digital type force indicators (numeric, displays, printouts, etc.)*—the resolution is the smallest

change in force that can be displayed on the force indicator, at any applied force.

(1) *Discussion*—A single digit or a combination of digits may be the smallest change in force that can be indicated.

3.1.12.3 If the force indication, for either type of force indicator, fluctuates by more than twice the resolution, as described in 3.1.12.1 or 3.1.12.2, the resolution, expressed as a force, shall be equal to one-half the range of the fluctuation.

4. Significance and Use

4.1 Testing machines that apply and indicate force are used in many industries, in many ways. They may be used in a research laboratory to measure material properties, and in a production line to qualify a product for shipment. No matter what the end use of the machine may be, it is necessary for users to know the amount of force that is applied and indicated, and that the accuracy of the force is traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), formerly NBS. Practices E 4 provides a procedure to verify these machines, in order that the indicated forces may be traceable. A key element to this NIST traceability is that the devices used in the verification have known force characteristics, and have been calibrated in accordance with Practice E 74.

4.2 The procedures in Practices E 4 may be used by those using, manufacturing, and providing calibration service for testing machines and related instrumentation.

5. Calibration Devices

5.1 When verifying testing machines, use calibration devices only over their Class A force ranges as determined by Practice E 74.

6. Advantages and Limitations of Methods

6.1 *Verification by Standard Weights*—Verification by the direct application of standard weights to the weighing mechanism of the testing machine, where practicable, is the most accurate method. Its limitations are: (1) the small range of forces that can be verified, (2) the nonportability of any large amount of standards weights, and (3) its nonapplicability to horizontal testing machines or vertical testing machines having weighing mechanisms that are not designed to be actuated by a downward force.

6.2 *Verification by Equal-Arm Balance and Standard Weights*—The second method of verification of testing machines involves measurement of the force by means of an equal-arm balance and standard weights. This method is limited to a still smaller range of forces than the foregoing method, and is generally applicable only to certain types of hardness testing machines in which the force is applied through an internal lever system.

6.3 *Verification by Elastic Calibration Devices*—The third method of verification of testing machines involves measurement of the elastic strain or deflection under force of a ring, loop, tension or compression bar, or other elastic device. The elastic calibration device is free from the limitations referred to in 6.1 and 6.2.

7. System Calibration

7.1 A testing machine must be calibrated as a system with

TABLE 1 Unit Force Exerted by a Unit Mass in Air at Various Latitudes

Latitude, °	Elevation Above Sea Level, ft(m)					
	-100 to 500 (-30.5 to 152)	500 to 1500 (152 to 457)	1500 to 2500 (457 to 762)	2500 to 3500 (762 to 1067)	3500 to 4500 (1067 to 1372)	4500 to 5500 (1372 to 1676)
20	0.9978	0.9977	0.9976	0.9975	0.9975	0.9974
25	0.9981	0.9980	0.9979	0.9979	0.9978	0.9977
30	0.9985	0.9984	0.9983	0.9982	0.9982	0.9981
35	0.9989	0.9988	0.9987	0.9987	0.9986	0.9985
40	0.9993	0.9993	0.9992	0.9991	0.9990	0.9989
45	0.9998	0.9997	0.9996	0.9996	0.9995	0.9994
50	1.0003	1.0002	1.0001	1.0000	0.9999	0.9999
55	1.0007	1.0006	1.0005	1.0005	1.0004	1.0003

the force sensing and indicating devices (see 1.2 and 1.4) in place and operating as in actual use.

7.2 System calibration is invalid if the devices are removed and checked independently of the testing machine.

8. Gravity and Air Buoyancy Corrections

8.1 In the verification of testing machines, where standard weights are used for applying forces directly or through lever or balance-arm systems, correct the force for the local value of gravity and for air buoyancy.

8.2 Calculate the force exerted by a weight in air as follows:

$$\text{Force} = \frac{Mg}{9.80665} \left(1 - \frac{d}{D} \right)$$

where:

M = mass of the weight,

g = local acceleration due to gravity, m/s^2 ,

d = air density ($0.0012 \text{ Mg}/m^3$), and

D = density of the weight in the same units as d .

For use in verifying testing machines, corrections for local values of gravity and air buoyancy can be made with sufficient accuracy using the multiplying factors from Table 1.

NOTE 2—If M , the mass of the weight is in pounds, the force will be in pounds-force units. If M is in kilograms, the force will be in kilogram-force units. These customary force units are related to the newton, the SI unit of force, by the following relationships:

$$1 \text{ lbf} = 4.448222 \text{ N}$$

$$1 \text{ kgf} = 9.80665 \text{ N (exact)}$$

9. Application of Force

9.1 In the verification of a testing machine, approach the force by increasing the force from a lower force.

NOTE 3—For any testing machine the errors observed at corresponding forces taken first by increasing the force to any given test force and then by decreasing the force to that test force, may not agree. Testing machines are usually used under increasing forces, but if a testing machine is to be used under decreasing forces, it should be calibrated under decreasing forces as well as under increasing forces.

9.2 Testing machines that contain a single test area and possess a bidirectional loading and weighing system must be verified separately in both modes of weighing.

9.3 High-speed machines used for static testing must be verified in accordance with Practices E 4.

NOTE 4: Caution—Practices E 4 verification values are not to be assumed valid for high-speed or dynamic testing applications (see Practice E 467).

NOTE 5—The error of a testing machine of the hydraulic-ram type, in which the ram hydraulic pressure is measured, may vary significantly with ram position. To the extent possible such machines should be verified at the ram positions used.

10. Selection of Verification Forces

10.1 For any force range, verify the testing machine by applying at least five test forces, at least two times, with the difference between any two successive force applications being no larger than one-third the difference between the selected maximum and minimum test forces. Minimum may be one-tenth the maximum force. Applied forces on second run are to be approximately the same as those on the first run. Report all values, including the indicator reading, after removal of forces. Include indicator resolution for the minimum force. (Fewer test force applications are required for testing machines designed to measure only a smaller number of discrete forces, such as certain hardness testers, creep testers, etc.)

10.2 If it is desired to establish the lower limit of a verified force range lower than 10 % of the capacity of the range, verify the lower limit by five successive applications of force, none of which may differ from the lower limit force by more than ± 2.5 % of this force (only three successive force applications are required for creep machines with fixed lever ratios of 20:1, nominal, or less). The lower force limit must be at least 100 times the indicator resolution, see 3.1.12. Report all values, including the indicator reading after removal of forces, and the indicator resolution at the lowest force limit.

10.3 For force ranges of testing machines, where the resolution of the force indicator changes automatically and extends or selects ranges without the influence of an operator, verify the force range by applying at least two successive series of forces, arranged in overlapping decade groups, such that the maximum force in one decade is the minimum force in the next higher decade. Starting with the selected minimal force in each decade, there are to be at least five force applications, in an approximate ratio of 1:1, 2:1, 4:1, 7:1, and 10:1, unless the maximum force is reached prior to completing all force application ratios. The resolution of the force indicator in each decade must be a force 200 or more times smaller than the decade's minimum force. Report all force values, their percent errors, and the indicator reading after removal of forces. Include the resolution of the force indicator for each decade. See 3.1.12.2 and Appendix X1, which contains a non-mandatory method for determining resolution.

NOTE 6—Example: If full scale is 5000 lbf and the minimal force resolution is 0.04 lbf, the minimum verified force would be 8 lbf ($0.04 \times$

200). Instead of decades of 8, 80 and 800 lbf, three decades of 10, 100 and 1000 lbf could be selected to cover the force application range. Suitable verification test forces would then be approximately 10, 20, 40, 70, 100, 200, 400, 700, 1000, 2000, 4000, 5000 lbf. Note that the uppermost decade would not be a complete decade and would be terminated with the maximum force in the range. Report the resolution of each decade and the percent error for each test force of the two runs. The largest reported error of the two sets of the test runs is the maximum error for the force range.

11. Eccentricity of Force

11.1 For the purpose of determining the verified force range of a testing machine, apply all calibration forces so that the resultant force is as nearly along the axis of a testing machine as is possible.

NOTE 7—The effect of eccentric force on the accuracy of a testing machine may be determined by verification readings taken with calibration devices placed so that the resultant force is applied at definite distances from the axis of the machine, and the verified force range determined for a series of eccentricities.

A. VERIFICATION BY STANDARD WEIGHTS

12. Procedure

12.1 Place standard metal weights of suitable design, finish, and adjustment on the weighing platform of the testing machine or on trays or other supports suspended from the force measuring mechanism in place of the specimen. Use weights certified within five years to be correct within a limit of error of 0.1 %. Apply the weights in increments and remove in the reverse order. Arrange the weights symmetrically with respect to the weighing platform, so that the center of gravity of the force lies in the vertical line through the center of the platform. Record the applied force and the indicated force for each test load applied, and the error and the percent error calculated from these data.

NOTE 8—The method of verification by direct application of standard weights can be used only on vertical testing machines in which the force on the weighing table, hydraulic support, or other weighing device is downward. The total force is limited by the size of the platform and the number of weights available. Fifty-pound (22.7-kg) weights are usually convenient to use. This method of verification is confined to small testing machines and is rarely used above 1000 or 2000 lb.

NOTE 9—In connection with the required limit of error of 0.1 % it may be noted that, in addition to the National Institute for Standards and Technology, many of the states, some counties, and some universities have departments or offices of weights and measures equipped and staffed to certify weights to tolerances closer than the requirement of a limit of error of 0.1 %.

B. VERIFICATION OF HARDNESS TESTING MACHINES BY EQUAL-ARM BALANCE AND STANDARD WEIGHTS

13. Procedure

13.1 Position the balance so that the indenter of the testing machine being calibrated bears against a block centered on one pan of the equal-arm balance, the balance being in its equilibrium position when the indenter is in that portion of its travel normally occupied when making an impression. Place standard weights complying with the requirements of Section 12 on the opposite pan to balance the load exerted by the indenter.

NOTE 10—This method may be used for the verification of testing machines other than hardness-testing machines by positioning the

force-applying member of the testing machine in the same way that the indenter of a hardness-testing machine is positioned. For other methods of verifying hardness testing machines see the applicable ASTM test method.

13.2 Since the permissible travel of the indenter of a hardness-testing machine is usually very small, do not allow the balance to oscillate or swing. Instead, maintain the balance in its equilibrium position through the use of an indicator such as an electric contact, which shall be arranged to indicate when the reaction of the indenter force is sufficient to lift the pan containing the standard weights.

13.3 Using combinations of fractional weights, determine both the maximum value of the dead-weight force that can be lifted by the testing machine indenter force during each of ten successive trials, and the minimum value that cannot be lifted during any one of ten successive trials. Take the correct value of the indenting force as the average of these two values. The difference between the two values shall not exceed 0.5 % of the average value.

C. VERIFICATION BY ELASTIC-CALIBRATION DEVICE

14. Temperature Equalization

14.1 When using an elastic calibration device to verify the readings of a testing machine, place the device near to, or preferably in, the testing machine a sufficient length of time before the test to assure that the response of device is stable.

14.2 During the verification, measure the temperature of the elastic device within $\pm 2^\circ\text{F}$ or $\pm 1^\circ\text{C}$ by placing a calibrated thermometer as close to the device as possible.

14.3 Elastic calibration devices not having an inherent temperature-compensating feature must be corrected mathematically for the difference between ambient temperature and the temperature to which its calibration is referenced. Temperature-correction coefficients should be furnished (if applicable) by the manufacturer of the calibration device. Refer to Practice E 74 for further information.

15. Procedure

15.1 Place the elastic device in the testing machine so that its center line coincides with the center line of the heads of the testing machine. Record the Practice E 74 Class A verification value which establishes the lowest limit, or force level, allowable for the calibration device's loading range (see Practice E 74). Each elastic calibration device is to be used only within its Class A force range and identified with the verification readings for which it is used.

15.2 To ensure a stable zero, flex the elastic device from no force to the maximum force at which the device will be used. Repeat as necessary, allowing sufficient time for stability.

15.3 There are two methods for using elastic calibration devices:

15.3.1 *Follow-the-Force Method*—The force on the elastic calibration device is followed until the force reaches a nominal graduation on the force-readout scale of the testing machine. Record the force on the elastic calibration device.

15.3.2 *Set-the-Force Method*—The nominal force is preset on the elastic calibration device, and the testing machine force readout is read when the nominal force on the elastic calibration device is achieved.

15.4 After selecting suitable test force increments, obtain zero readings for both machine and elastic device, and apply forces slowly and smoothly during all verification measurements.

15.5 The calibration procedure must ensure that use of the maximum force indicator, recorder, or other accessory force devices does not cause testing machine errors to exceed the acceptable tolerances of 18.1.

15.6 Record the indicated force of the testing machine and the applied force from the elastic calibration device (temperature corrected as necessary), as well as the error and percentage of error calculated from the readings.

15.7 Under certain conditions, multi-device setups may be used in compression loading. All devices to be loaded in parallel should be the same height (shims may be used) and the machine's load axis should be coincidental with the force axis of the device setup. This is necessary so that a net moment is not applied to the testing machine loading member. Multi-device setups are not recommended unless the use of a single calibration device is not practical.

16. Constant-Rate-of-Traverse CRT-Type Testing Machines

16.1 In the verification of pendulum-type testing machines having capacities of 2000 lbf or 10 kN or less, special procedures must be followed in order to properly account for the effects of friction, inertia, etc. These machines are usually of the vertical type and usually can be verified by standard weights. For pendulum-type tension-testing machines in which the forces act in a horizontal direction or when verification by standard weights is not practical, other methods of verification may be used. In such cases, devices similar to the equal-arm balances, or the elastic calibrating devices may be used, provided precautions as set forth herein are taken.

16.2 Either or both of two alternative procedures (see 16.5 and 16.6) may be used, depending on the requirements of specifications of materials to be tested, recommendations of the testing machine manufacturer, or other pertinent consideration.

16.3 For any range of forces, verify the tension-testing machine with at least five test forces. Each successive test load shall differ from the previous test force by not more than one third of the difference between the maximum and minimum test forces.

16.3.1 For CRT machines, the verified range of force shall in no case include forces below 15 % of the capacity range.

16.4 Except as set forth in Section 16, other requirements of Practices E 4 shall be applicable.

16.5 Procedure 1 (Pawls Inoperative):

16.5.1 Verify the machine in the condition under which it is to be used, with all attachments and recording mechanisms in operation as they are to be used in actual testing, except that any pawls or other detents in the weighing mechanism shall have been rendered inoperative. In verification, apply the test force and minimize the effect of friction by gently oscillating the pendulum to ensure that the force of the applied test force is in equilibrium with the force exerted by the pendulum.

16.5.2 Examine the machine to detect any friction or slack in the weighing, indicating, or recording mechanisms

and estimate the actual effect in terms of units in which the machine is calibrated.

16.5.3 Follow 16.6 to determine the effects described in 16.5.2.

16.6 Procedure 2 (Pawls Operating):

16.6.1 Verify the machine in the condition under which it is to be used with all attachments and recording mechanisms in operation as they are to be used in actual testing. In verification, apply the test force with the pawls or other detents in the normal operating position. After the pendulum has come to rest, disengage the pawls or detents, if any, and depress the pendulum slightly as if the force were decreased (approximately 5 % of the capacity range). Next, with the pawls or detents engaged, release the pendulum smoothly and at a rate approximately the rate of movement of the pendulum during an actual test. The point at which the system comes to rest under these conditions shall be taken as the indicated force on the machine.

17. Lever-Type Creep-Rupture Testing Machines

17.1 Lever-type creep-rupture machines, which do not have a force-indicating device, may be verified using standard weights or elastic calibration device(s), or both. Weights used for verification should conform to the requirements of 12.1. In using an elastic calibration device, the requirements of Sections 14 and 15 must be met as applicable.

17.2 Procedure:

17.2.1 Place the calibration device in the testing machine and adjust the counterbalance (if the machine is so equipped) to compensate for the weight of the calibration device.

17.2.2 Connect the lower crosshead of the machine to the calibration device, and apply forces using standard weights in increments conforming to the provisions of 10.1.

17.2.3 Since many lever-type creep-rupture machines do not have a provision for adjustment of the lever ratio or tare, or both, it may be necessary to determine the "best fit" straight line through the calibration data, using the least squares method. By doing this, the actual lever ratio and tare of each machine can be determined, and thus reduce force errors due to small variations of lever ratios. Maximum errors should not exceed the requirements stated in 18.1 and 18.2.

CALCULATION AND REPORT

18. Basis of Verification

18.1 The percent error for forces within the range of forces of the testing machine shall not exceed ± 1.0 %. The algebraic difference between errors of two applications of same force (repeatability) shall not exceed 1.0 % (see 10.1 and 10.3).

NOTE 11—This means that the report of the verification of a testing machine will state within what verified range of forces it may be used, rather than reporting a blanket acceptance or rejection of the machine. In machines that possess multiple-capacity ranges, the verified range of forces of each must be stated.

18.2 In establishing the lower limit of a verified force application range below 10 % of the range capacity, repeated applications of force are required (see 10.2). The algebraic difference between the highest and lowest percent error at

force test levels shall not exceed 1.0 %.

NOTE 12—This means that to establish the lower limit of a verified force range at less than 10 % of the capacity of that range, the errors of the readings taken at each test force shall not only not exceed ± 1.0 %, but also shall not differ by more than 1.0 %. If the minimum error is -1.0 %, the maximum error cannot exceed 0.0 %; if the minimum error is -0.5 %, the maximum error cannot exceed $+0.5$ %; if the minimum error is 0.0 %, the maximum error cannot exceed $+1.0$ %, etc.

18.3 In no case shall the verified force range be stated as including forces below 100 multiplied by the resolution of the force indicator (see 3.1.12).

18.4 In no case shall the verified range of forces be stated as including forces outside the range of forces applied during the verification test.

18.5 Testing machines may be more or less accurate than the allowable ± 1.0 % error, or more or less repeatable than 1.0 %, which are the Practices E 4 verification basis. Buyers/owners/users or product specification groups might require or allow larger or smaller error systems. Systems with accuracy errors larger than ± 1.0 % or repeatability errors larger than 1.0 % do not comply with Practices E 4.

19. Corrections

19.1 The indicated force of a testing machine that exceeds the permissible variation shall not be corrected either by calculation or by the use of a calibration diagram in order to obtain values within the required permissible variation.

20. Time Interval Between Verifications

20.1 It is recommended that testing machines be verified annually or more frequently if required. In no case shall the time interval between verifications exceed 18 months (except for machines in which a long-time test runs beyond the 18-month period). In such cases, the machine shall be verified after completion of the test.

20.2 Testing machines shall be verified immediately after repairs (this includes new or replacement parts, or mechanical or electrical adjustments) that may in any way affect the operation of the weighing system or the values displayed.

20.2.1 Examples of new or replacement parts which may not effect the operation of the weighing system are: printers, computer monitors, keyboards, and modems.

20.3 Verification is required immediately after a testing machine is relocated (except for machines designed to be moved from place to place in normal use), and whenever there is a reason to doubt the accuracy of the force indicating system, regardless of the time interval since the last verification.

21. Accuracy Assurance Between Verifications

21.1 Some product-testing procedures may require daily, weekly, or monthly spot checks to ascertain that a testing machine is capable of producing accurate force values between the testing machine verifications specified in Section 20.

21.2 Spot checks may be performed on ranges of interest or at force levels of interest utilizing a calibration device that complies with Methods A, B, and C as applicable. Elastic calibration devices must meet Class A requirements of Practice E 74 for the force level(s) at which the spot checks are made.

21.3 Make spot checks at approximately 20 % and 80 % of a range unless otherwise agreed upon or stipulated by the material supplier/user.

21.4 Testing machine error shall not exceed ± 1.0 % of the spot check applied forces. Should errors be greater than ± 1.0 % at any of the spot check force levels, verify the testing machine immediately (see 20.3).

21.5 Maintain a record of the spot check tests which shall include the name, serial number, verification date, verification agency, and the minimum Class A, Practice E 74 value of the calibrating device(s) used to make spot checks; also include the name of person making the spot checks.

21.6 The testing machine shall be considered verified up to the date of the last successful spot check verification (see 21.4), provided that the testing machine is verified in accordance with Section 20 on a regular schedule. Otherwise spot checks are not permitted.

21.7 When spot checks are made, a clear, concise record must be maintained as agreed upon between the supplier and the user. The record must also contain documentation of the regular verification data and schedule.

22. Report

22.1 Prepare a clear and complete report of each verification of a testing machine which shall include the following:

22.1.1 Name of the calibrating agency,

22.1.2 Date of verification,

22.1.3 Testing machine description, serial number, and location,

22.1.4 Method of verification used,

22.1.5 Serial number and manufacturer of all devices used for verification,

22.1.6 Statement of how, by whom, and when the calibration of the apparatus used in verifying the testing machine was made,

22.1.7 Class A range of forces, in accordance with Practice E 74, for each calibration device,

22.1.8 Temperature of the calibration device and a statement that computed forces have been temperature corrected as necessary,

22.1.9 Statement identifying the force-indicating systems that were verified (for testing machines having more than one type of indicating system),

22.1.10 Testing machine error, percent error, and algebraic error difference (repeatability) for each force-indicating system at each force point,

22.1.11 Verified range of forces of each force-indicating system of the testing machine and associated resolutions(s).

22.1.12 Statement that verification has been performed in accordance with Practice E 4 - XX. It is recommended that verification be performed in accordance with the latest published issue of Practice E 4, and

22.1.13 Names of calibration personnel and witnesses (if required).

23. Certificate

23.1 A certificate shall be prepared and signed by the person in responsible charge of the verification which shall include the following:

23.1.1 Name of calibrating agency,

23.1.2 Testing machine description and serial number,

- 23.1.3 Date of certification,
- 23.1.4 Identification of verified force-indicating systems,
- 23.1.5 Verified range(s) of force for each force-indicating system of the testing machine,
- 23.1.6 Maximum verified range tolerance in percent, and
- 23.1.7 Serial number, verified range of force, and calibration date of testing devices used for verification.

23.2 The certificate shall be error-free, and contain no alteration of data, dates, etc.

23.2.1 The certificate shall clearly reference associated report(s), when supplied.

24. Keywords

24.1 calibration; force range; resolution; verification

APPENDIX

(Non-mandatory Information)

X1. DETERMINING RESOLUTION OF THE FORCE INDICATOR

X1.1 The resolution of a testing machine in general is a complex function of many variables including applied force, force range, electrical and mechanical components, electrical and mechanical noise, and software employed, to name a few.

X1.2 A variety of methods may be used to check the resolution of the system. Some suggested procedures are as follows.

X1.3 Procedure for Analog Type Force Indicators:

X1.3.1 Typically these devices are not auto-ranging. The resolution should be checked at the lowest verified force in each force range (typically 10 % of the force range).

X1.3.2 Divide the pointer width by the distance between two adjacent graduation marks at the force where the resolution is to be ascertained to determine the pointer to graduation ratio. If the distance between the two adjacent graduation marks is less than 0.10 in. (2.5 mm) and the ratio is less than 1:5, use 1:5 for the ratio. If the distance between the two adjacent graduation marks is greater than or equal to 0.10 in. (2.5 mm) and the ratio is less than 1:10, use 1:10 for the ratio. If the ratio is greater than those given in these exceptions, use the ratio determined. Typical ratios in common usage are 1:1, 1:2, 1:5, and 1:10.

X1.3.3 Multiply the ratio determined above by the force represented by one graduation to determine the resolution.

X1.3.4 Apply as constant a force as possible where the resolution is to be ascertained to minimize the fluctuation of the force indicator. It is recommended that the fluctuation be no more than twice the resolution determined in the previous step.

X1.4 Procedure for Non-Auto-Ranging Digital Type Force Indicators:

X1.4.1 The resolution should be checked at the lowest verified force in each force range (typically 10% of the force range).

X1.4.2 Apply a tension or compression force to a specimen approximately equal to that at which the resolution is to be ascertained, and slowly change the applied force. Record the smallest change in force that can be ascertained as the resolution. Applying the force to a flexible element

such as a spring or an elastomer makes it easier to change the force slowly.

X1.4.3 Next apply as constant a force as possible at the force where the resolution is to be ascertained to ensure that the force indicator does not fluctuate by more than twice the resolution determined in the previous step. If the indicator fluctuates by more than twice the resolution, the resolution shall be equal to one-half the range of the fluctuation.

X1.5 Procedure for Auto-Ranging Digital Type Force Indicators:

X1.5.1 This procedure is the same as that for non-auto-ranging digital force indicators except that the resolution is checked at the lowest verified force in each decade or at other forces to ensure that the indicator resolution is 200 times smaller than the forces. Some examples are as follows.

X1.5.1.1 A 60 000 lbf capacity machine is to be verified from 240 lbf up to 60 000 lbf. The resolution should be determined at 240, 2400, and 24 000 lbf.

X1.5.1.2 A 150 000 N capacity machine is to be verified from 300 N up to 150 000 N. The resolution should be determined at 300, 3000, and 30 000 N.

X1.5.1.3 A 1000 lbf. capacity machine is to be verified from 5 lbf. up to 1000 lbf. The resolution should be determined at 5, 50, and 500 lbf.

X1.6 Procedure for Machines with Discrete Forces Such as Certain Hardness Testers and Creep Testers:

X1.6.1 These machines generally incorporate fixed lever ratios to apply force. The force applied is determined by the poise applied on the lever multiplied by the lever ratio. They do not have a resolution as described in the standard. This procedure ensures that the sensitivity of the machine is sufficient to apply accurate forces at the lowest verified force and may be substituted for reporting resolution.

X1.6.2 With an elastic calibration device mounted in the machine, apply the appropriate poise for the lowest verified force.

X1.6.3 Gently add weight to the poise approximately equal to 1/200 of the weight of the poise.

X1.6.4 Ensure that at least one-half of the appropriate change in force is detected by the elastic calibration device when the weight is added and when it is gently removed.



Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]¹

This standard is issued under the fixed designation E 8M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 211.1 of Federal Test Method Standard No. 151b. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

NOTE 1—These test methods are the metric companion of Test Methods E 8.

NOTE 2—These metric test methods are essentially the same as those in Test Methods E 8, and are compatible in technical content except that gage lengths are required to be 5D for most round specimens rather than 4D as specified in Test Methods E 8. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

NOTE 3—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Methods B 557M.

NOTE 4—Room temperature shall be considered to be 10 to 38°C unless otherwise specified.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 356/A 356M Specification for Heavy-Walled, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel Castings for Steam Turbines²
- A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³
- B 557M Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products [Metric]⁴
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved March 10, 1996. Published May 1996. Originally published as E 8M - 84. Last previous edition E 8M - 95a¹.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.02.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials⁵

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁶

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil⁵

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *lower yield strength, LYS [FL⁻²]*—the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS [FL⁻²]*—the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding.

3.1.4 *yield point elongation, YPE*—the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0 % YPE.

4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

* A Summary of Changes section appears at the end of these test methods.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E 4. The forces used in determining tensile strength, and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E 4.

5.2 Gripping Devices:

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

NOTE 5—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 12.5-mm diameter specimen, the stress increase is 1.5 % for each 0.025 mm of eccentricity. This error increases to about 2.5 %/0.025 mm for a 9-mm diameter specimen and to about 3.2 %/0.025 mm for a 6-mm diameter specimen.

NOTE 6—Alignment methods are given in Practice E 1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials, it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 *Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials*—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 *Grips for Sheet Materials*—The self-adjusting grips

shown in Fig. 5 have proved satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 *Grips for Wire*—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Figs. 5 and 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 *Dimension-Measuring Devices*—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

6. Test Specimens

6.1 General:

6.1.1 Test specimens shall be either substantially full-size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

6.1.2 Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to assure the desired precision and bias in test results.

6.1.3 It is desirable to have the cross-sectional area of the specimen smallest at the center of the reduced section to ensure fracture within the gage length. For this reason, a small taper is permitted in the reduced section of each of the specimens described in the following sections.

6.1.4 For brittle materials it is desirable to have fillets of large radius at the ends of the gage length.

6.2 *Plate-Type Specimens*—The standard plate-type specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of plate, shapes, and flat material having a nominal thickness of 5 mm or over. When product specifications so permit, other types of specimens may be used, as provided in 6.3, 6.4, and 6.5.

6.3 Sheet-Type Specimens:

6.3.1 The standard sheet-type test specimen is shown in Fig. 1. This specimen is used for testing metallic materials in the form of sheet, plate, flat wire, strip, band, hoop, rectangles, and shapes ranging in nominal thickness from 0.13 to 16 mm. When product specifications so permit, other types of specimens may be used as provided in 6.2, 6.4, and 6.5.

NOTE 7—Test Methods E 345 may be used for tension testing of materials in thicknesses up to 0.150 mm.

6.3.2 Pin ends as shown in Fig. 7 may be used. In order to avoid buckling in tests of thin- and high-strength materials, it may be necessary to use stiffening plates at the grip ends.

6.4 Round Specimens:

6.4.1 The standard 12.5-mm diameter round test specimen shown in Fig. 8 is used quite generally for testing metallic materials, both cast and wrought.

6.4.2 Figure 8 also shows small-size specimens proportional to the standard specimen. These may be used when it is necessary to test material from which the standard specimen or specimens shown in Fig. 1 cannot be prepared. Other sizes of small, round specimens may be used. In any such small-size specimen, it is important that the gage length for measurement of elongation be five times the diameter of the specimen.

6.4.3 The shape of the ends of the specimen outside of the gage length shall be suitable to the material and of a shape to fit the holders or grips of the testing machine so that the

forces may be applied axially. Figure 9 shows specimens with various types of ends that have given satisfactory results.

6.5 *Specimens for Sheet, Plate, Flat Wire, and Strip*—In testing sheet, plate, flat wire, and strip one of the following types of specimens shall be used:

6.5.1 For material ranging in nominal thickness from 0.13 to 16 mm, use the sheet-type specimen described in 6.3.

NOTE 8—Attention is called to the fact that either of the flat specimens described in 6.2 and 6.3 may be used for material from 5 to 16 mm in thickness, and one of the round specimens described in 6.4 may also be used for material 12.5 mm or more in thickness.

6.5.2 For material having a nominal thickness of 5 mm or over (Note 8), use the plate-type specimen described in 6.2.

6.5.3 For material having a nominal thickness of 12.5 mm or over (Note 8), use the largest practical size of specimen described in 6.4.

6.6 *Specimens for Wire, Rod, and Bar*:

6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than 4 mm in diameter shall be as prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 4 mm or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to five times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 *Full Cross Section* (Note 9)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 5 mm in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 5 mm in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.25 mm without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 5 mm between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 10 mm, but not less than 3 mm, shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 5 mm between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.25 mm less than the original distance between flats.

NOTE 9—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in

the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 *Specimens for Rectangular Bar*—In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

6.7.1 *Full Cross Section*—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gage marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 20 mm in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.05 mm. Fillets, preferably with a radius of 10 mm but not less than 3 mm, shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bars of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure failure within the desired section. The reduced width shall be not less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 *Shapes, Structural and Other*—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 *Specimens for Pipe and Tube* (Note 10):

6.9.1 For all small tube (Note 10), particularly sizes 25 mm and under in nominal outside diameter, and frequently for larger sizes, except as limited by the testing equipment, it is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections. Snug-fitting metal plugs shall be inserted far enough into the ends of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly. The plugs shall not extend into that part of the specimen on which the elongation is measured. Elongation is measured over a length of 5D unless otherwise stated in the product specification. Figure 11 shows a suitable form of plug, the location of the plugs in the specimen, and the location of the specimen in the grips of the testing machine.

NOTE 10—The term "tube" is used to indicate tubular products in general, and includes pipe, tube, and tubing.

6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 20 mm, either a specimen of the form and dimensions shown in Fig. 13 or one of the small-size specimens proportional to the standard 12.5-mm specimen, as mentioned in 6.4.2 and shown in Fig. 8, shall be used. Specimens of the type shown in Fig. 13 may be tested with grips having a surface contour corresponding to the curvature of the tube. When grips with curved faces are not available, the ends of the specimens may be flattened without heating. If the tube-wall thickness is 20 mm or over, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used.

NOTE 11—In clamping of specimens from pipe and tube (as may be done during machining) or in flattening specimen ends (for gripping), care must be taken so as not to subject the reduced section to any deformation or cold work, as this would alter the mechanical properties.

TABLE 1 Details of Test Coupon Design for Castings (See Fig. 16)

NOTE 1—*Test Coupons for Large and Heavy Steel Castings:* The test coupons in Fig. 16 are to be used for large and heavy steel castings. However, at the option of the foundry the cross-sectional area and length of the standard coupon may be increased as desired. This provision does not apply to Specification A 356/A 356M.

NOTE 2—*Bend Bar:* If a bend bar is required, an alternate design (as shown by dotted lines in Fig. 16) is indicated.

Log Design (125 mm)		Riser Design	
1. L (length)	A 125-mm minimum length will be used. This length may be increased at the option of the foundry to accommodate additional test bars (see Note 1).	1. L (length)	The length of the riser at the base will be the same as the top length of the leg. The length of the riser at the top therefore depends on the amount of taper added to the riser.
2. End taper	Use of and size of end taper is at the option of the foundry.	2. Width	The width of the riser at the base of a multiple-leg coupon shall be $n(57 \text{ mm}) - 16 \text{ mm}$ where n equals the number of legs attached to the coupon. The width of the riser at the top is therefore dependent on the amount of taper added to the riser.
3. Height	32 mm		
4. Width (at top)	32 mm (see Note 1).		
5. Radius (at bottom)	13 mm max		
6. Spacing between legs	A 13-mm radius will be used between the legs.		
7. Location of test bars	The tensile, bend, and impact bars will be taken from the lower portion of the leg (see Note 2).		
8. Number of legs	The number of legs attached to the coupon is at the option of the foundry providing they are equispaced according to item 6.	3. T (riser taper) Height	Use of and size is at the option of the foundry. The minimum height of the riser shall be 51 mm. The maximum height is at the option of the foundry for the following reasons: (a) many risers are cast open, (b) different compositions may require variation in risering for soundness, or (c) different pouring temperatures may require variation in risering for soundness.
9. R_s	Radius from 0 to approximately 2 mm		

6.9.3 Transverse tension test specimens for tube may be taken from rings cut from the ends of the tube as shown in Fig. 14. Flattening of the specimen may be either after separating as in *A*, or before separating as in *B*. Transverse tension test specimens for large tube under 20 mm in wall thickness shall be either of the small-size specimens shown in Fig. 8 or of the form and dimensions shown for Specimen 2 in Fig. 13. When using the latter specimen, either or both surfaces of the specimen may be machined to secure a uniform thickness, provided not more than 15 % of the normal wall thickness is removed from each surface. For large tube 20 mm and over in wall thickness, the standard specimen shown in Fig. 8 shall be used for transverse tension tests. Specimens for transverse tension tests on large welded tube to determine the strength of welds shall be located perpendicular to the welded seams, with the welds at about the middle of their lengths.

6.10 *Specimens for Forgings*—For testing forgings, the largest round specimen described in 6.4 shall be used. If round specimens are not feasible, then the largest specimen described in 6.5 shall be used.

6.11 *Specimens for Castings*—In testing castings either the standard specimen shown in Fig. 8 or the specimen shown in Fig. 15 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

6.11.1 Test coupons for castings shall be made as shown in Fig. 16 and Table 1.

6.12 *Specimen for Malleable Iron*—For testing malleable iron the test specimen shown in Fig. 17 shall be used, unless otherwise provided in the product specifications.

6.13 *Specimen for Die Castings*—For testing die castings the test specimen shown in Fig. 18 shall be used unless otherwise provided in the product specifications.

6.14 *Specimens for Powder Metallurgy (P/M) Materials*—For testing powder metallurgy (P/M) materials the test specimens shown in Figs. 19 and 20 shall be used, unless

otherwise provided in the product specifications. When making test specimens in accordance with Fig. 19, shallow transverse grooves, or ridges, may be pressed in the ends to allow gripping by jaws machined to fit the grooves or ridges. Because of shape and other factors, the flat unmachined tensile test specimen (Fig. 19) in the heat-treated condition will have an ultimate tensile strength of 50 % to 85 % of that determined in a machined round tensile test specimen (Fig. 20) of like composition and processing.

6.15 Gage Length of Test Specimens:

6.15.1 The gage length for the determination of elongation shall be in accordance with the product specifications for the material being tested. Gage marks shall be stamped lightly with a punch, scribed lightly with dividers or drawn with ink as preferred. For material that is sensitive to the effect of slight notches and for small specimens, the use of layout ink will aid in locating the original gage marks after fracture.

6.15.2 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length (dimension shown as "G-Gage Length" in the accompanying figures) of the specimen may be used to determine the yield phenomenon.

6.16 Location of Test Specimens:

6.16.1 Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located as follows:

6.16.1.1 At the center for products 40 mm or less in thickness, diameter, or distance between flats.

6.16.1.2 Midway from the center to the surface for products over 40 mm in thickness, diameter, or distance between flats.

6.16.2 For forgings, specimens shall be taken as provided in the applicable product specifications, either from the predominant or thickest part of the forging from which a coupon can be obtained, or from a prolongation of the forging, or from separately forged coupons representative of the forging. When not otherwise specified, the axis of the

specimen shall be parallel to the direction of grain flow.

6.17 *Surface Finish of Specimens*—When materials are tested with surface conditions other than as manufactured, the surface finish of the test specimens shall be as provided in the applicable product specifications.

NOTE 12—Particular attention should be given to the uniformity and quality of surface finishes of specimens for high strength and very low ductility materials since this has been shown to be a factor in the variability of test results.

7. Procedures

7.1 *Measurement of Dimensions of Test Specimens:*

7.1.1 To determine the cross-sectional area of a test specimen, measure the dimensions of the cross section at the center of the reduced section. For referee testing of specimens under 5 mm in their least dimension, measure the dimensions where the least cross-sectional area is found. Measure and record the cross-sectional dimensions of tension test specimens 5 mm and over to the nearest 0.02 mm; the cross-sectional dimensions less than 5 mm and not less than 2.5 mm to the nearest 0.01 mm; the cross-sectional dimensions less than 2.5 mm and not less than 0.50 mm to the nearest 0.002 mm; and when practical, the cross-sectional dimensions less than 0.50 mm to at least the nearest 1 % but in all cases to at least the nearest 0.002 mm.

NOTE 13—Accurate and precise measurement of specimen dimensions can be one of the most critical aspects of tension testing, depending on specimen geometry. See Appendix X2 for additional information.

NOTE 14—Rough surfaces due to the manufacturing process such as hot rolling, metallic coating, etc., may lead to inaccuracy of the computed areas greater than the measured dimensions would indicate. Therefore, cross-sectional dimensions of tension test specimens with rough surfaces due to processing may be measured and recorded to the nearest 0.02 mm.

7.1.2 Determine cross-sectional areas of full-size test specimens of nonsymmetrical cross sections by weighing a length not less than 20 times the largest cross-sectional dimension and using the value of density of the material. Determine the weight to the nearest 0.5 % or less.

7.1.3 When using specimens of the type shown in Fig. 13 taken from tubes, the cross-sectional area shall be determined as follows:

If $D/W \leq 6$:

$$A = \left[\left(\frac{W}{4} \right) \times (D^2 - W^2)^{1/2} \right] + \left[\frac{D^2}{4} \right] \\ \times \arcsin(W/D) - \left[\left(\frac{W}{4} \right) \times ((D - 2T)^2 - W^2)^{1/2} \right] \\ - \left[\frac{(D - 2T)^2}{4} \times \arcsin(W/(D - 2T)) \right]$$

where:

A = exact cross-sectional area, mm²,
 W = width of the specimen in the reduced section, mm,
 D = measured outside diameter of the tube, mm, and
 T = measured wall thickness of the specimen, mm.
 arcsin values to be in radians

If $D/W > 6$, the exact equation or the following equation may be used:

$$A = W \times T$$

where:

A = approximate cross-sectional area, mm²,
 W = width of the specimen in the reduced section, mm,
 and
 T = measured wall thickness of the specimen, mm.

NOTE 15—See X2.8 for cautionary information on measurements and calculations for specimens taken from large-diameter tubing.

7.2 *Zeroing of the Testing Machine:*

7.2.1 The testing machine shall be set up in such a manner that zero force indication signifies a state of zero force on the specimen. Any force (or preload) imparted by the gripping of the specimen (see Note 16) must be indicated by the force measuring system unless the preload is physically removed prior to testing. Artificial methods of removing the preload on the specimen, such as taring it out by a zero adjust pot or removing it mathematically by software, are prohibited because these would affect the accuracy of the test results.

NOTE 16—Preloads generated by gripping of specimens may be either tensile or compressive in nature and may be the result of such things as:

- grip design
- malfunction of gripping apparatus (sticking, binding, etc.)
- excessive gripping force
- sensitivity of the control loop

NOTE 17—It is the operator's responsibility to verify that an observed preload is acceptable and to ensure that grips operate in a smooth manner. Unless otherwise specified, it is recommended that momentary (dynamic) forces due to gripping not exceed 20 % of the material's nominal yield strength and that static preloads not exceed 10 % of the material's nominal yield strength.

7.3 *Gripping of the Test Specimen:*

7.3.1 For specimens with reduced sections, gripping of the specimen shall be restricted to the grip section, because gripping in the reduced section or in the fillet can significantly affect test results.

7.4 *Speed of Testing:*

7.4.1 Speed of testing may be defined in terms of (a) rate of straining of the specimen, (b) rate of stressing of the specimen, (c) rate of separation of the two heads of the testing machine during a test, (d) the elapsed time for completing part or all of the test, or (e) free-running crosshead speed (rate of movement of the crosshead of the testing machine when not under load).

7.4.2 Specifying suitable numerical limits for speed and selection of the method are the responsibilities of the product committees. Suitable limits for speed of testing should be specified for materials for which the differences resulting from the use of different speeds are of such magnitude that the test results are unsatisfactory for determining the acceptability of the material. In such instances, depending upon the material and the use for which the test results are intended, one or more of the methods described in the following paragraphs is recommended for specifying speed of testing.

NOTE 18—Speed of testing can affect test values because of the rate sensitivity of materials and the temperature-time effects.

7.4.2.1 *Rate of Straining*—The allowable limits for rate of straining shall be specified in metres per metre per second. Some testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of rate of straining, but in the absence of such a device the average rate of straining can be determined with a timing device by observing the time required to effect a known increment of strain.

7.4.2.2 *Rate of Stressing*—The allowable limits for rate of stressing shall be specified in megapascals per second. Many testing machines are equipped with pacing or indicating

devices for the measurement and control of the rate of stressing, but in the absence of such a device the average rate of stressing can be determined with a timing device by observing the time required to apply a known increment of stress.

7.4.2.3 Rate of Separation of Heads During Tests—The allowable limits for rate of separation of the heads of the testing machine, during a test, shall be specified in metres per metre of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per second. The limits for the rate of separation may be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. Many testing machines are equipped with pacing or indicating devices for the measurement and control of the rate of separation of the heads of the machine during a test, but in the absence of such a device the average rate of separation of the heads can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

7.4.2.4 Elapsed Time—The allowable limits for the elapsed time from the beginning of force application (or from some specified stress) to the instant of fracture, to the maximum force, or to some other stated stress, shall be specified in minutes or seconds. The elapsed time can be determined with a timing device.

7.4.2.5 Free-Running Crosshead Speed—The allowable limits for the rate of movement of the crosshead of the testing machine, with no force applied by the testing machine, shall be specified in metres per metre of length of reduced section (or distance between grips for specimens not having reduced sections) per second. The limits for the crosshead speed may be further qualified by specifying different limits for various types and sizes of specimens. The average crosshead speed can be experimentally determined by using suitable length-measuring and timing devices.

NOTE 19—For machines not having crossheads or having stationary crossheads, the phrase "free-running crosshead speed" may be interpreted to mean the free-running rate of grip separation.

7.4.3 Speed of Testing When Determining Yield Properties—Unless otherwise specified, any convenient speed of testing may be used up to one half the specified yield strength or up to one quarter the specified tensile strength, whichever is smaller. The speed above this point shall be within the limits specified. If different speed limitations are required for use in determining yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area, they should be stated in the product specifications. In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply:

NOTE 20—In the previous and following paragraphs, the yield properties referred to include yield strength and yield point elongation.

7.4.3.1 The speed of testing shall be such that the forces and strains used in obtaining the test results are accurately indicated.

7.4.3.2 When performing a test to determine yield properties, the rate of stress application shall be between 1.15 and 11.5 MPa/s.

NOTE 21—When a specimen being tested begins to yield, the stressing rate decreases and may even become negative in the case of a specimen with discontinuous yielding. To maintain a constant stressing rate in this case would require the testing machine to operate at extremely high speeds and, in many cases, this is not practical. The speed of the testing machine shall not be increased in order to maintain

a stressing rate when the specimen begins to yield. In practice, it is simpler to use either a strain rate, a rate of separation of the heads, or a free-running crosshead speed which approximates the desired stressing rate. As an example, use a strain rate that is less than 11.5 MPa/s divided by the nominal Young's Modulus of the material being tested. As another example, find a rate of separation of the heads through experimentation which would approximate the desired stressing rate prior to the onset of yielding, and maintain that rate of separation of the heads through the region that yield properties are determined. While both of these methods will provide similar rates of stressing and straining prior to the onset of yielding, the rates of stressing and straining may be different in the region where yield properties are determined. This difference is due to the change in the rate of elastic deformation of the testing machine, before and after the onset of yielding. In addition, the use of any of the methods other than rate of straining may result in different stressing and straining rates when using different testing machines, due to differences in the stiffness of the testing machines used.

7.4.4 Speed of Testing When Determining Tensile Strength—In the absence of any specified limitations on speed of testing, the following general rules shall apply. When determining only the tensile strength, or after the yield properties have been determined, the speed of the testing machine may be increased to correspond to a strain rate between 0.05 and 0.5 m/m/min. An extensometer and strain rate indicator may be used to set the strain rate. If an extensometer and strain rate indicator are not used to set this strain rate, the speed of the testing machine shall be set between 0.05 and 0.5 m/m of the length of the reduced section (or distance between the grips for specimens not having reduced sections) per minute.

7.5 Determination of Yield Strength—Determine yield strength by any of the methods described in 7.5.1 to 7.5.5.

7.5.1 Offset Method—To determine the yield strength by the offset method, it is necessary to secure data (autographic or numerical) from which a stress-strain diagram may be drawn. Then on the stress-strain diagram (Fig. 21) lay off Om equal to the specified value of the offset, draw mn parallel to OA , and thus locate r , the intersection of mn with the stress-strain diagram (Note 27). In reporting values of yield strength obtained by this method, the specified value of offset used should be stated in parentheses after the term yield strength, as follows:

$$\text{yield strength (offset = 0.2 \%)} = 360 \text{ MPa}$$

In using this method, a Class B2 or better extensometer (see Practice E 83) shall be used.

NOTE 22—There are two general types of extensometers, averaging and non-averaging, the use of which is dependent on the product tested. For most machined specimens, there are minimal differences. However, for some forgings and tube sections, significant differences in measured yield strength can occur. For these cases, it is recommended that the averaging type be used.

NOTE 23—When there is a disagreement over yield properties, the offset method for determining yield strength is recommended as the referee method.

7.5.2 Extension-Under-Load Method—Yield strength by the extension-under-load method may be determined by: (1) using autographic or numerical devices to secure stress-strain data, and then analyzing this data (graphically or using automated methods) to determine the stress value at the specified value of extension, or (2) using devices that indicate when the specified extension occurs, so that the stress then occurring may be ascertained (Note 27). Any of these devices

may be automatic. This method is illustrated in Fig. 22. The stress at the specified extension shall be reported as follows:

$$\text{yield strength (EUL} = 0.5\%) = 360 \text{ MPa}$$

Extensometers and other devices used in determination of the extension shall meet Class B2 requirements (see Practice E 83) at the strain of interest, except where use of low-magnification Class C devices is helpful, such as in facilitating measurement of YPE if observed. If Class C devices are used, this must be reported along with the results.

NOTE 24—The appropriate value of the total extension must be specified. For steels with nominal yield strengths of less than 550 MPa, an appropriate value is 0.005 mm/mm (0.5 %) of the gage length. For higher strength steels, a greater extension or the offset method should be used.

NOTE 25—When no other means of measuring elongation are available, a pair of dividers or similar device can be used to determine a point of detectable elongation between two gage marks on the specimen. The gage length shall be 50 mm. The stress corresponding to the load at the instant of detectable elongation may be recorded as the *approximate extension-under-load yield strength*.

7.5.3 Autographic Diagram Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Obtain stress-strain (or force-elongation) data or construct a stress-strain (or load-elongation) diagram using an autographic device. Determine the upper or lower yield strength as follows:

7.5.3.1 Record the stress corresponding to the maximum force at the onset of discontinuous yielding as the upper yield strength. This is illustrated in Figs. 23 and 24.

NOTE 26—If multiple peaks are observed at the onset of discontinuous yielding, the first is considered the upper yield strength. (See Fig. 24.)

7.5.3.2 Record the minimum stress observed during discontinuous yielding (ignoring transient effects) as the lower yield strength. This is illustrated in Fig. 24.

NOTE 27—Yield properties of materials exhibiting yield point elongation are often less repeatable and less reproducible than those of similar materials having no YPE. Offset and EUL yield strengths may be significantly affected by force fluctuations occurring in the region where the offset or extension intersects the stress-strain curve. Determination of upper or lower yield strengths (or both) may therefore be preferable for such materials, although these properties are dependent on variables such as test machine stiffness and alignment. Speed of testing may also have a significant effect, regardless of the method employed.

NOTE 28—Where low-magnification autographic recordings are needed to facilitate measurement of yield point elongation for materials which may have discontinuous yielding, Class C extensometers may be employed. When this is done but the material exhibits no discontinuous yielding, the extension-under-load yield strength may be determined instead, using the autographic recording (see Extension-Under-Load Method).

7.5.4 Halt-of-the-Force Method (for materials exhibiting discontinuous yielding)—Apply an increasing force to the specimen at a uniform deformation rate. When the force hesitates, record the corresponding stress as the upper yield strength.

NOTE 29—The Halt-of-the-Force Method was formerly known as the Halt-of-the-Pointer Method, the Drop-of-the-Beam Method, and the Halt-of-the-Load Method.

7.5.5 Strain Rate Method (for materials that do not exhibit well-defined discontinuous yielding)—Attach a Class B2, or better, extensometer to the specimen at the gage marks. Increase the force at a reasonably uniform rate and

watch the elongation of the specimen as indicated by the extensometer. Note the force at which the rate of elongation shows a sudden increase.

7.6 Yield Point Elongation—Calculate the yield point elongation from the stress-strain diagram or data by determining the difference in strain between the upper yield strength (first zero slope) and the onset of uniform strain hardening (see definition of YPE and Fig. 24).

NOTE 30—The stress-strain curve of a material exhibiting only a hint of the behavior causing YPE may have an inflection at the onset of yielding with no point where the slope reaches zero (Fig. 25). Such a material has no YPE, but may be characterized as exhibiting an *inflection*. Materials exhibiting inflections, like those with measurable YPE, may, in certain applications, acquire an unacceptable surface appearance during forming.

7.7 Tensile Strength—Calculate the tensile strength by dividing the maximum force carried by the specimen during the tension test by the original cross-sectional area of the specimen.

NOTE 31—If the upper yield strength is the maximum stress recorded, and if the stress-strain curve resembles that of Fig. 26, it is recommended that the maximum stress *after discontinuous yielding* be reported as the tensile strength. Where this may occur, determination of the tensile strength should be in accordance with the agreement between the parties involved.

7.8 Elongation:

7.8.1 In reporting values of elongation, give both the original gage length and the percentage increase. If any device other than an extensometer is placed in contact with the specimen's reduced section during the test, this shall also be noted.

Example: elongation = 30 % increase (50-mm gage length)

NOTE 32—Elongation results are very sensitive to variables such as (a) speed of testing, (b) specimen geometry (gage length, diameter, width, and thickness), (c) heat dissipation (through grips, extensometers, or other devices in contact with the reduced section), (d) surface finish in reduced section (especially burrs or notches), (e) alignment, and (f) fillets and tapers. Parties involved in comparison or conformance testing should standardize the above items, and it is recommended that use of ancillary devices (such as extensometer supports) which may remove heat from specimens be avoided. See Appendix X1. for additional information on the effects of these variables:

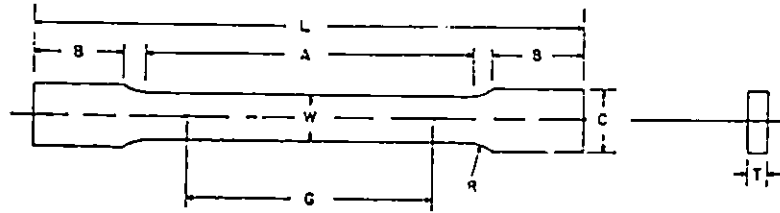
7.8.2 When the specified elongation is greater than 3 %, fit ends of the fractured specimen together carefully and measure the distance between the gage marks to the nearest 0.25 mm for gage lengths of 50 mm and under, and to at least the nearest 0.5 % of the gage length for gage lengths over 50 mm. A percentage scale reading to 0.5 % of the gage length may be used.

7.8.3 When the *specified* elongation is 3 % or less, determine the elongation of standard round specimens (see Fig. 8) using the following procedure, except that the procedure given in 7.8.2 may be used instead when the *measured* elongation is greater than 3 %.

7.8.3.1 Measure the original gage length of the specimen to the nearest 0.05 mm.

7.8.3.2 Remove partly torn fragments that will interfere with fitting together the ends of the fractured specimen or with making the final measurement.

7.8.3.3 Fit the fractured ends together with matched surfaces and apply a force along the axis of the specimen sufficient to close the fractured ends together. If desired, this



Nominal Width	Standard Specimens			Subsize Specimen 6 mm
	Plate-Type 40 mm	Sheet-Type 12.5 mm		
G—Gage length (Notes 1 and 2)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1		25.0 ± 0.1
W—Width (Notes 3 and 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2		6.0 ± 0.1
T—Thickness (Note 5)		thickness of material		
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25	12.5		6
L—Overall length, min (Notes 2 and 7)	450	200		100
A—Length of reduced section, min	225	57		32
B—Length of grip section, min (Note 8)	75	50		30
C—Width of grip section, approximate (Notes 4 and 9)	50	20		10

NOTE 1—For the 40-mm wide specimen, punch marks for measuring elongation after fracture shall be made on the flat or on the edge of the specimen and within the reduced section. Either a set of nine or more punch marks 25 mm apart, or one or more pairs of punch marks 200 mm apart, may be used.

NOTE 2—When elongation measurements of 40-mm wide specimens are not required, a minimum length of reduced section (A) of 75 mm may be used with all other dimensions similar to the plate-type specimen.

NOTE 3—For the three sizes of specimens, the ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.10, 0.05 or 0.02 mm, respectively. Also, there may be a gradual decrease in width from the ends to the center, but the width at each end shall not be more than 1 % larger than the width at the center.

NOTE 4—For each of the three sizes of specimens, narrower widths (W and C) may be used when necessary. In such cases the width of the reduced section should be as large as the width of the material being tested permits; however, unless stated specifically, the requirements for elongation in a product specification shall not apply when these narrower specimens are used.

NOTE 5—The dimension T is the thickness of the test specimen as provided for in the applicable material specifications. Minimum thickness of 40-mm wide specimens shall be 5 mm. Maximum thickness of 12.5-mm and 6-mm wide specimens shall be 19 mm and 6 mm, respectively.

NOTE 6—For the 40-mm wide specimen, a 13-mm minimum radius at the ends of the reduced section is permitted for steel specimens under 690 MPa in tensile strength when a profile cutter is used to machine the reduced section.

NOTE 7—To aid in obtaining axial force application during testing of 6-mm wide specimens, the overall length should be as large as the material will permit, up to 200 mm.

NOTE 8—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section large enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips. If the thickness of 12.5-mm wide specimens is over 10 mm, longer grips and correspondingly longer grip sections of the specimen may be necessary to prevent failure in the grip section.

NOTE 9—For the three sizes of specimens, the ends of the specimen shall be symmetrical in width with the center line of the reduced section within 2.5, 0.25, and 0.13 mm, respectively. However, for referee testing and when required by product specifications, the ends of the 12.5-mm wide specimen shall be symmetrical within 0.2 mm.

NOTE 10—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm, and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 2.5 mm.

NOTE 11—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than 2W from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. In acceptance testing, if the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 1 Rectangular Tension Test Specimens

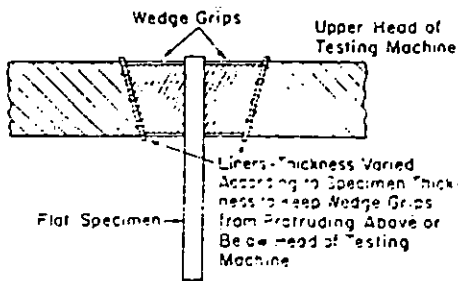


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

force may then be removed carefully, provided the specimen remains intact.

NOTE 33—The use of a force of approximately 15 MPa has been found to give satisfactory results on test specimens of aluminum alloy.

7.8.3.4 Measure the final gage length to the nearest 0.05 mm and report the elongation to the nearest 0.2 %.

7.8.4 Specimens other than the standard specimen described in Fig. 8 are exempt from the requirements of 7.8.3 except as required by the applicable product specification.

7.8.5 If any part of the fracture takes place outside of the middle half of the gage length or in a punched or scribed mark within the reduced section, the elongation value obtained may not be representative of the material. In acceptance testing, if the elongation so measured meets the minimum requirements specified, no further testing is required, but if the elongation is less than the minimum requirements, discard the test and retest.

7.8.6 Elongation at fracture is defined as the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture. For many ductile materials not exhibiting a sudden decrease in force, the elongation at fracture can be taken as the strain measured just prior to when the force falls below 10 % of the maximum force encountered during the test.

7.8.6.1 Elongation at fracture shall include elastic and plastic elongation and may be determined with autographic or automated methods using extensometers. Use a class B2 or better extensometer for materials having less than 5 % elongation, a class C or better extensometer for materials having elongation greater than or equal to 5 % but less than 50 %.

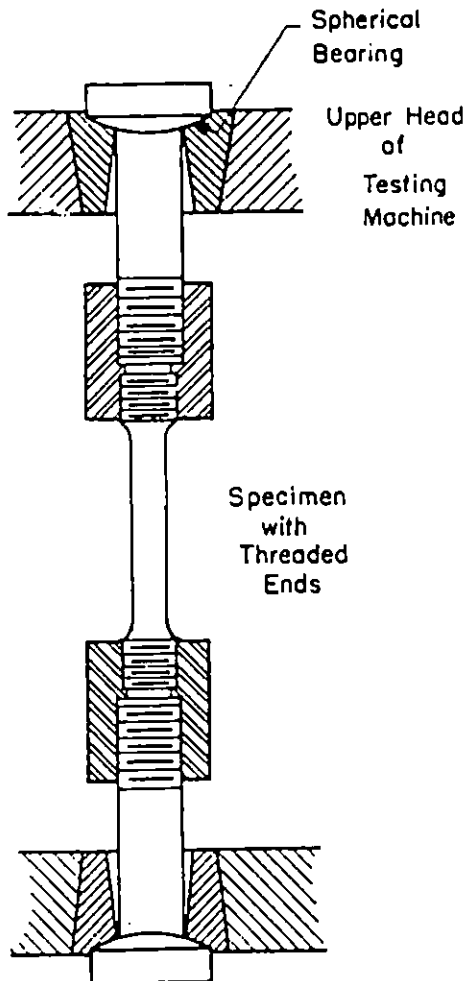


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

and a class D or better extensometer for materials having 50 % or greater elongation. In all cases, the extensometer gage length shall be the nominal gage length required for the specimen being tested. Due to the lack of precision in fitting fractured ends together, the elongation after fracture using the manual methods of the preceding paragraphs may differ from the elongation at fracture determined with extensometers.

7.8.6.2 Percent elongation at fracture may be calculated directly from elongation at fracture data and be reported instead of percent elongation as calculated in paragraphs 7.8.2 to 7.8.3. However, these two parameters are not interchangeable. Use of the elongation at fracture method generally provides more repeatable results.

NOTE 34—When disagreements arise over the percent elongation results, agreement must be reached on which method to use to obtain the results.

7.9 Reduction of Area:

7.9.1 The reduced area used to calculate reduction of area (see 7.9.2 and 7.9.3) shall be the minimum cross section at the location of fracture.

7.9.2 *Specimens With Originally Circular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the reduced diameter to the same accuracy as the original measurement.

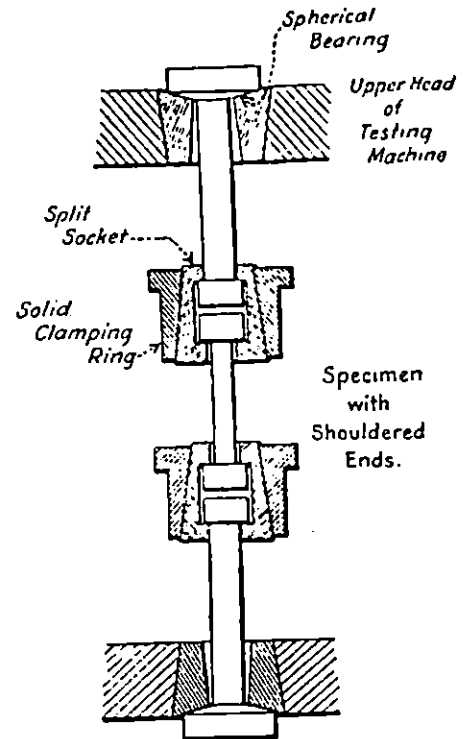


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

NOTE 35—Because of anisotropy, circular cross sections often do not remain circular during straining in tension. The shape is usually elliptical, thus, the area may be calculated by $\pi \cdot d_1 \cdot d_2 / 4$, where d_1 and d_2 are the major and minor diameters, respectively.

7.9.3 *Specimens With Originally Rectangular Cross Sections*—Fit the ends of the fractured specimen together and measure the thickness and width at the minimum cross section to the same accuracy as the original measurements.

NOTE 36—Because of the constraint to deformation that occurs at the corners of rectangular specimens, the dimensions at the center of the original flat surfaces are less than those at the corners. The shapes of these surfaces are often assumed to be parabolic. When this assumption is made, an effective thickness, t_e , may be calculated by: $(t_1 + 4t_2 + t_3) / 6$, where t_1 and t_3 are the thicknesses at the corners, and t_2 is the thickness at the mid-width. An effective width may be similarly calculated.

7.9.4 Calculate the reduced area based upon the dimensions determined in 7.9.2 or 7.9.3. The difference between the area thus found and the area of the original cross section expressed as a percentage of the original area is the reduction of area.

7.9.5 If any part of the fracture takes place outside the middle half of the reduced section or in a punched or scribed gage mark within the reduced section, the reduction of area value obtained may not be representative of the material. In acceptance testing, if the reduction of area so calculated meets the minimum requirements specified, no further testing is required, but if the reduction of area is less than the minimum requirements, discard the test results and retest.

7.9.6 Results of measurements of reduction of area shall be rounded using the procedures of Practice E 29 and any specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure, it is recommended that reduction of area test values in the range from 0 to 10 % be

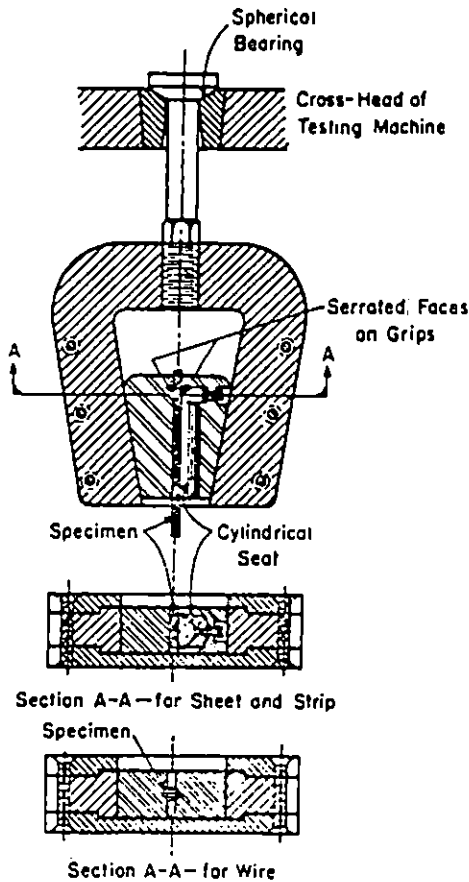


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

rounded to the nearest 0.5 % and test values of 10 % and greater to the nearest 1 %.

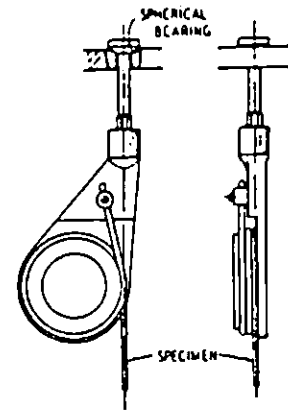


FIG. 6 Snubbing Device for Testing Wire

7.10 Rounding Reported Test Data for Yield Strength and Tensile Strength—Test data should be rounded using the procedures of Practice E 29 and the specific procedures in the product specifications. In the absence of a specified procedure for rounding the test data, one of the procedures described in the following paragraphs is recommended.

7.10.1 For test values up to 500 MPa, round to the nearest 1 MPa; for test values of 500 MPa and up to 1000 MPa, round to the nearest 5 MPa; for test values of 1000 MPa and greater, round to the nearest 10 MPa.

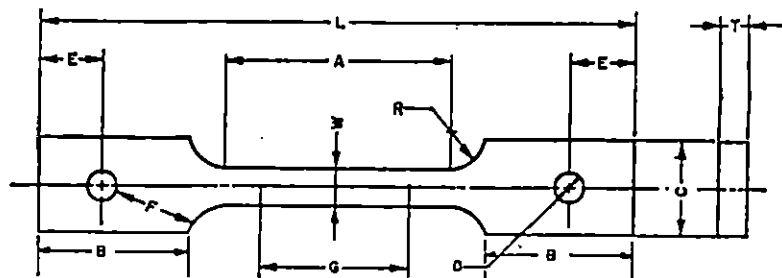
NOTE 37—For steel products, see Test Methods and Definitions A 370.

7.10.2 For all test values, round to the nearest 1 MPa.

NOTE 38—For aluminum- and magnesium-alloy products, see Methods B 557M.

7.10.3 For all test values, round to the nearest 5 MPa.

7.11 Replacement of Specimens—A test specimen may be



Dimensions, mm

G—Gage length	50.0 ± 0.1
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2
T—Thickness, max (Note 2)	12.5
R—Radius of fillet, min (Note 3)	13
L—Overall length, min	200
A—Length of reduced section, min	57
B—Length of grip section, min	50
C—Width of grip section, approximate	50
D—Diameter of hole for pin, min (Note 4)	13
E—Edge distance from pin, approximate	40
F—Distance from hole to fillet, min	15

NOTE 1—The ends of the reduced section shall differ in width by not more than 0.1 mm. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1 % greater than the width at the center.

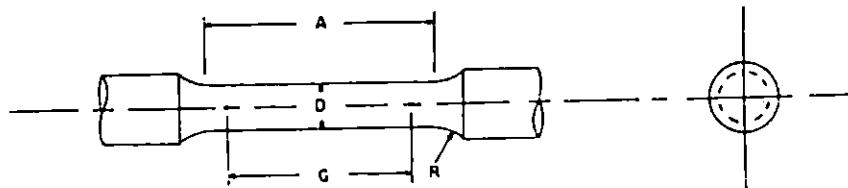
NOTE 2—The dimension T is the thickness of the test specimen as stated in the applicable product specifications.

NOTE 3—For some materials, a fillet radius R larger than 13 mm may be needed.

NOTE 4—Holes must be on center line of reduced section, within ± 0.1 mm.

NOTE 5—Variations of dimensions C, D, E, F, and L may be used that will permit failure within the gage length.

FIG. 7 Pin-Loaded Tension Test Specimen with 50-mm Gage Length



	Dimensions, mm				
	Standard Specimen	Small-Size Specimens Proportional To Standard			
		12.5	9	6	4	2.5
G—Gage length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1
R—Radius of fillet, min	10	8	6	4	2
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75	54	36	24	20

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load may be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to five times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but the 5-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 6 mm in diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

FIG. 8 Standard 12.5-mm Round Tension Test Specimen with Gage Lengths Five Times the Diameters (5D), and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

discarded and a replacement specimen selected from the same lot of material in the following cases:

- 7.11.1 The original specimen had a poorly machined surface,
- 7.11.2 The original specimen had the wrong dimensions,
- 7.11.3 The specimen's properties were changed because of poor machining practice,
- 7.11.4 The test procedure was incorrect.
- 7.11.5 The fracture was outside the gage length,
- 7.11.6 For elongation determinations, the fracture was outside the middle half of the gage length, or
- 7.11.7 There was a malfunction of the testing equipment.

NOTE 39—The tension specimen is inappropriate for assessing some types of imperfections in a material. Other methods and specimens employing ultrasonics, dye penetrants, radiography, etc., may be considered when flaws such as cracks, flakes, porosity, etc., are revealed during a test and soundness is a condition of acceptance.

8. Report

8.1 Test information on materials not covered by a product specification should be reported in accordance with 8.2 or both 8.2 and 8.3.

8.2 Test information to be reported shall include the following when applicable:

- 8.2.1 Material and sample identification.
- 8.2.2 Specimen type (Section 6).
- 8.2.3 Yield strength and the method used to determine yield strength (see 7.5).
- 8.2.4 Yield point elongation (see 7.6).
- 8.2.5 Tensile strength (see 7.7).
- 8.2.6 Elongation (report original gage length, percentage increase, and method used to determine elongation) (see 7.8).
- 8.2.7 Reduction of area (see 7.9).

8.3 Test information to be available on request shall include:

8.3.1 Specimen test section dimension(s).

8.3.2 Formula used to calculate cross-sectional area of specimens taken from large-diameter tubular products.

8.3.3 Speed and method used to determine speed of testing (see 7.4).

8.3.4 Method used for rounding of test results (see 7.10).

8.3.5 Reasons for replacement specimens (see 7.11).

9. Precision and Bias⁷

9.1 *Precision*—An interlaboratory test program⁷ gave the following values for coefficients of variation for the most commonly measured tensile properties:

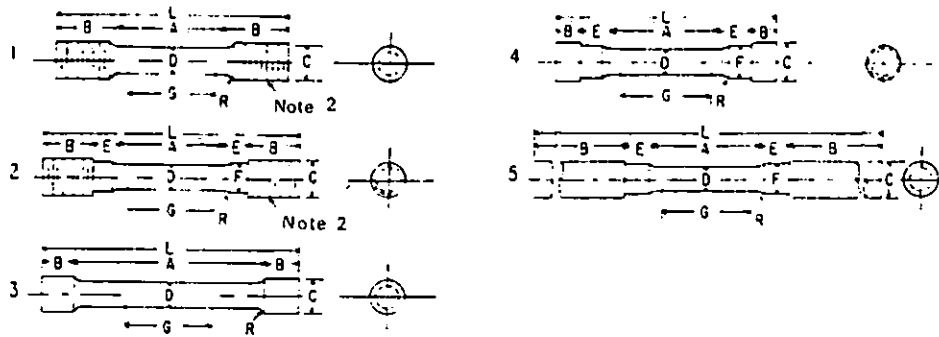
	Coefficient of Variation, %				
	Tensile Strength	Yield Strength Offset = 0.02 %	Yield Strength Offset = 0.2 %	Elongation Gage Length = 5 Diameters	Reduction of Area
CV % _r	0.9	2.7	1.4	3.0	2.8
CV % _R	1.3	4.5	2.3	6.4	4.6

CV %_r = repeatability coefficient of variation in percent within a laboratory
 CV %_R = repeatability coefficient of variation in percent between laboratories

9.1.1 The values shown are the averages from tests on six frequently tested metals, selected to include most of the normal range for each property listed above. When these materials are compared, a large difference in coefficient of variation is found. Therefore, the values above should not be used to judge whether the difference between duplicate tests of a specific material is larger than expected. The values are provided to allow potential users of this test method to assess, in general terms, its usefulness for a proposed application.

9.2 *Bias*—The procedures in Test Methods E 8M for

⁷ Supporting data can be found in Appendix I and additional data are available from ASTM Headquarters. Request RR: E28-1004 and E28-1006.



	Dimensions, mm				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2
R—Radius of fillet, min	10	10	2	10	10
A—Length of reduced section	75, min	75, min	100, approximately	75, min	75, min
L—Overall length, approximate	145	155	140	140	255
B—Length of end section (Note 3)	35, approximately	25, approximately	20, approximately	15, approximately	75, min
C—Diameter of end section	20	20	20	22	20
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	....	15	....	20	15
F—Diameter of shoulder	....	15	....	15	15

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 1% larger in diameter than the center.
 NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.
 NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

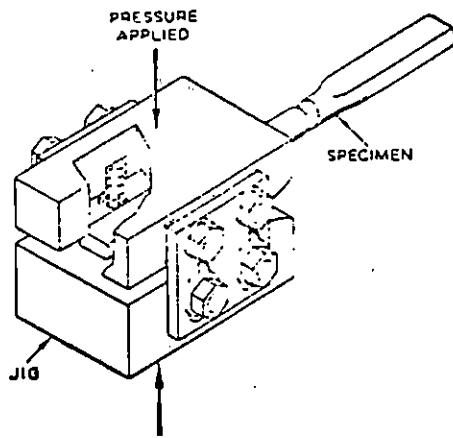
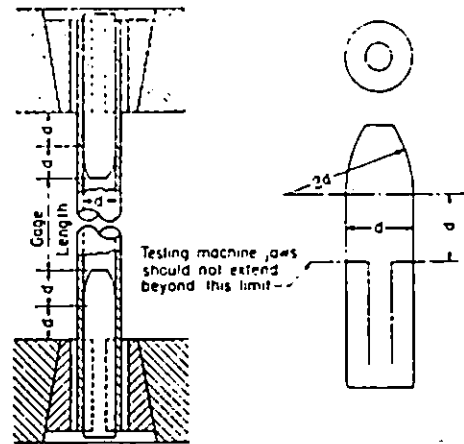
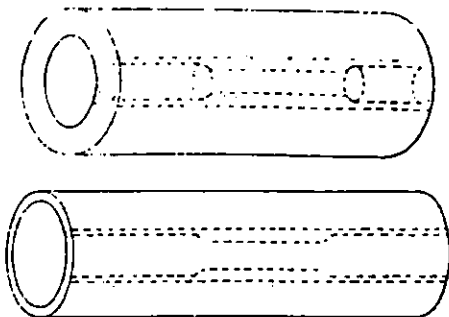


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens



NOTE—The diameter of the plug shall have a slight taper from the line limiting the testing machine jaws to the curved section.

FIG. 11 Metal Plugs for Testing Tubular Specimens, Proper Location of Plugs in Specimen and of Specimen in Heads of Testing Machine



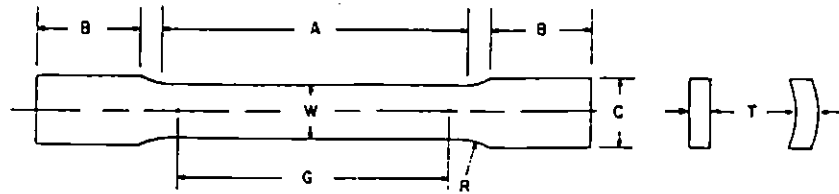
NOTE—The edges of the blank for the specimen shall be cut parallel to each other.

FIG. 12 Location from Which Longitudinal Tension Test Specimens Are to Be Cut from Large-Diameter Tube

measuring tensile properties have no bias because these properties can only be defined in terms of a test method.

10. Keywords

10.1 accuracy; bending stress; discontinuous yielding; drop-of-the-beam; eccentric force application; elastic extension; elongation; extension-under-load; extensometer; force; free-running crosshead speed; gage length; half-of-the force; percent elongation; plastic extension; preload; rate of stressing; rate of straining; reduced section; reduction of area; sensitivity; strain; stress; taring; tensile strength; tension testing; yield point elongation; yield strength



Nominal Width	Dimensions, mm						
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
G—Gage length	50.0 ± 0.1	50.0 ± 0.1	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	100.0 ± 0.1	50.0 ± 0.1	100.0 ± 0.1
W—Width (Note 1)	12.5 ± 0.2	40.0 ± 2.0	40.0 ± 2.0	20.0 ± 0.7	20.0 ± 0.7	25.0 ± 1.5	25.0 ± 1.5
T—Thickness	measured thickness of specimen						
R—Radius of fillet, min	12.5	25	25	25	25	25	25
A—Length of reduced section, min	60	60	230	60	120	60	120
B—Length of grip section, min (Note 2)	75	75	75	75	75	75	75
C—Width of grip section, approximate (Note 3)	20	50	50	25	25	40	40

NOTE 1—The ends of the reduced section shall not differ in width by more than 0.1 mm for specimens 1–7. There may be a gradual taper in width from the ends to the center, but the width at each end shall be not more than 1% greater than the width at the center.

NOTE 2—It is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 3—The ends of the specimen shall be symmetrical with the center line of the reduced section within 1.0 mm for specimens 1, 4, and 5 and 2.5 mm for specimens 2, 3, 6, and 7.

NOTE 4—For circular segments, the cross-sectional area may be calculated by multiplying W and T . If the ratio of the dimension W to the diameter of the tubular section is larger than about $1/6$, the error in using this method to calculate cross-sectional area may be appreciable. In this case, the exact equation (see 7.1.3) must be used to determine the area.

NOTE 5—For each specimen type, the radii of all fillets shall be equal to each other within a tolerance of 1.25 mm, and the centers of curvature of the two fillets at a particular end shall be located across from each other (on a line perpendicular to the centerline) within a tolerance of 2.5 mm.

NOTE 6—Specimens with sides parallel throughout their length are permitted, except for referee testing and where prohibited by product specification, provided: (a) the above tolerances are used; (b) an adequate number of marks are provided for determination of elongation; and (c) when yield strength is determined, a suitable extensometer is used. If the fracture occurs at a distance of less than $2W$ from the edge of the gripping device, the tensile properties determined may not be representative of the material. If the properties meet the minimum requirements specified, no further testing is required, but if they are less than the minimum requirements, discard the test and retest.

FIG. 13 Tension Test Specimens for Large-Diameter Tubular Products

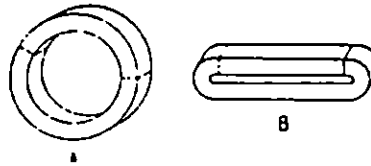
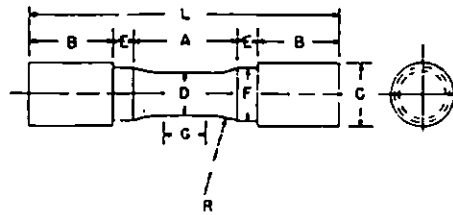


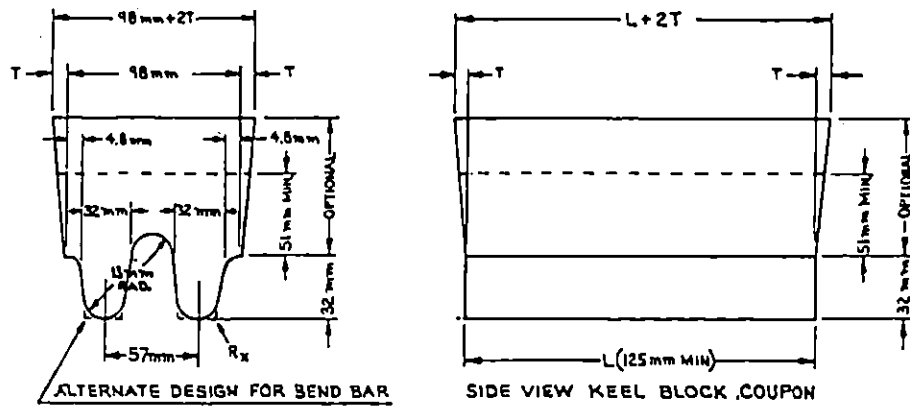
FIG. 14 Location of Transverse Tension Test Specimen in Ring Cut from Tubular Products



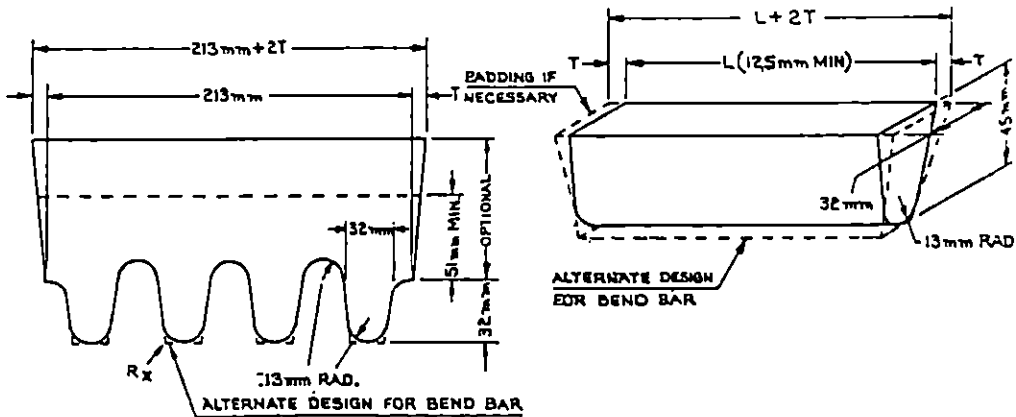
Nominal Diameter	Dimensions, mm		
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
	12.5	20	30
G—Length of parallel	Shall be equal to or greater than diameter D		
D—Diameter	12.5 ± 0.2	20.0 ± 0.4	30.0 ± 0.6
R—Radius of fillet, min	25	25	50
A—Length of reduced section, min	32	38	60
L—Overall length, min	95	100	160
B—Length of end section, approximate	25	25	45
C—Diameter of end section, approximate	20	30	48
E—Length of shoulder, min	6	6	8
F—Diameter of shoulder	16.0 ± 0.4	24.0 ± 0.4	36.5 ± 0.4

NOTE—The reduced section and shoulders (dimensions A , D , E , F , G , and R) shall be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the force shall be axial. Commonly the ends are threaded and have the dimensions B and C given above.

FIG. 15. Standard Tension Test Specimen for Cast Iron



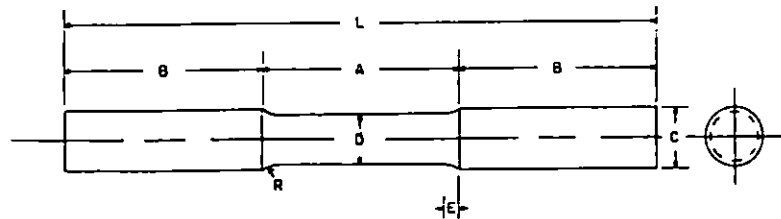
(a) Design for Double Keel Block Coupon



(b) Design for Multiple Keel Block Coupon (4 Legs)

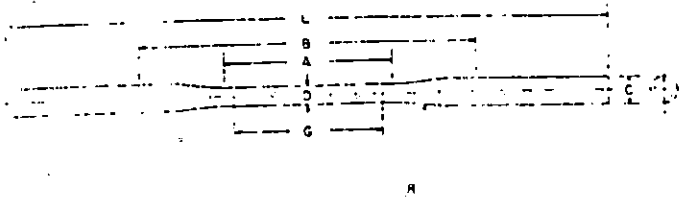
(c) Design for "Attached" Coupon

FIG. 16 Test Coupons for Castings (see Table 1 for Details of Design)



Dimensions, mm	
D—Diameter	16
R—Radius of fillet	8
A—Length of reduced section	64
L—Overall length	190
B—Length of end section	64
C—Diameter of end section	20
E—Length of fillet	5

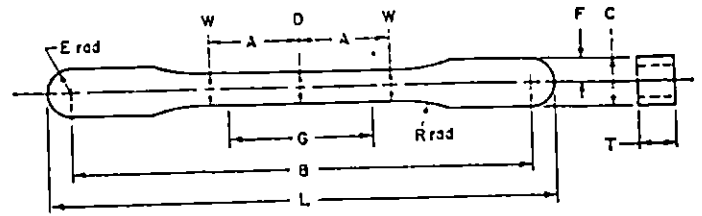
FIG. 17 Standard Tension Test Specimen for Malleable Iron



Dimensions, mm	
G—Gage length	50.0 ± 0.1
C—Diameter (see Note)	6.4 ± 0.1
R—Radius of fillet, min	75
A—Length of reduced section, min	60
L—Overall length, min	230
F—Distance between grips, min	115
D—Diameter of end section, approximate	10

NOTE—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward center, with the ends not more than 0.1 mm larger in diameter than the center.

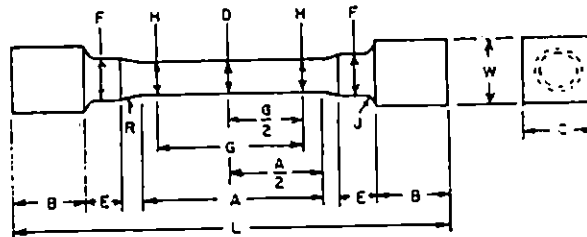
FIG. 18 Standard Tension Test Specimen for Die Castings



Pressing Area = 645 mm²
NOTE—Dimensions specified, except G and T, are those of the die.

Dimensions, mm	
G—Gage length	25.40 ± 0.8
D—Width at center	5.72 ± 0.03
W—Width at end of reduced section	5.97 ± 0.03
T—Compact to this thickness	3.56 to 6.35
R—Radius of fillet	25.4
A—Half-length of reduced section	15.88
B—Grip length	80.95 ± 0.03
L—Overall length	89.64 ± 0.03
C—Width of grip section	8.71 ± 0.03
F—Half-width of grip section	4.34 ± 0.03
E—End radius	4.34 ± 0.03

FIG. 19 Standard Flat Unmachined Tension Test Specimen for Powder Metallurgy (P/M) Products



Approximate Pressing Area of Unmachined Compact = 752 mm²
Machining Recommendations

1. Rough machine reduced section to 6.35 mm diameter
2. Finish turn 4.75/4.85 mm diameter with radii and taper
3. Polish with 00 emery cloth
4. Lap with crocus cloth

Dimensions, mm	
G—Gage length	25.40 ± 0.8
D—Diameter at center of reduced section	4.75 ± 0.03
H—Diameter at ends of gage length	4.85 ± 0.03
R—Radius of fillet	6.35 ± 0.13
A—Length of reduced section	47.63 ± 0.13
L—Overall length (die cavity length)	75, nominal
B—Length of end section	7.88 ± 0.13
C—Compact to this end thickness	10.03 ± 0.13
W—Die cavity width	10.03 ± 0.08
E—Length of shoulder	6.35 ± 0.13
F—Diameter of shoulder	7.88 ± 0.03
J—End fillet radius	1.27 ± 0.13

NOTE 1—The gage length and fillets of the specimen shall be as shown. The ends as shown are designed to provide a practical minimum pressing area. Other end designs are acceptable, and in some cases are required for high-strength sintered materials.

NOTE 2—It is recommended that the test specimen be gripped with a split collet and supported under the shoulders. The radius of the collet support circular edges to be not less than the end fillet radius of the test specimen.

NOTE 3—Diameters D and H are to be concentric within 0.03 mm total indicator runoff (T.I.R.), and free of scratches and tool marks.

FIG. 20 Standard Round Machined Tension Test Specimen for Powder Metallurgy (P/M) Products

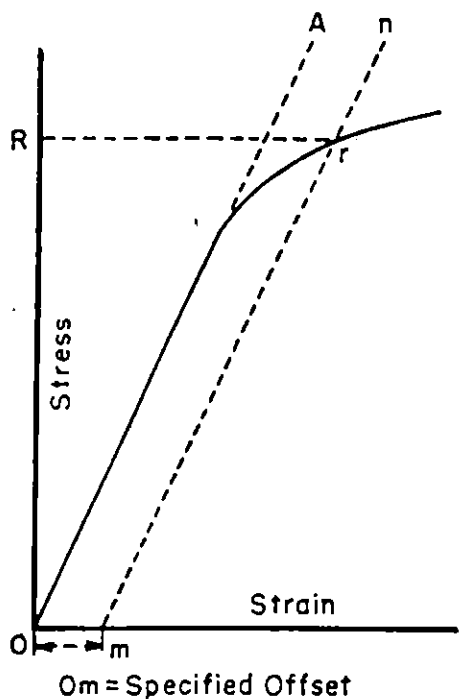


FIG. 21 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Offset Method

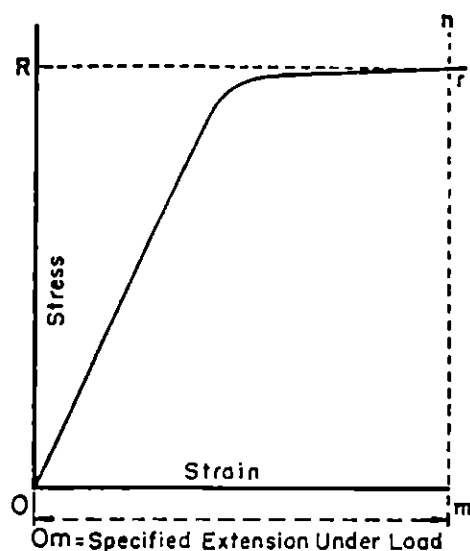


FIG. 22 Stress-Strain Diagram for Determination of Yield Strength by the Extension-Under-Load Method

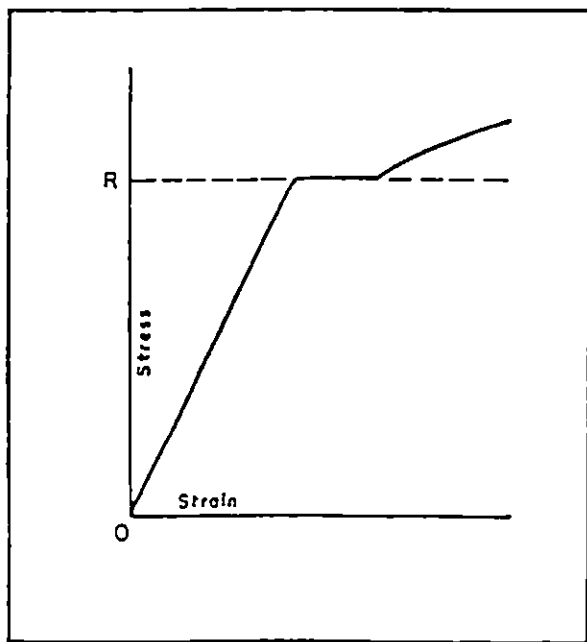


FIG. 23 Stress-Strain Diagram Showing Upper Yield Strength Corresponding with Top of Knee

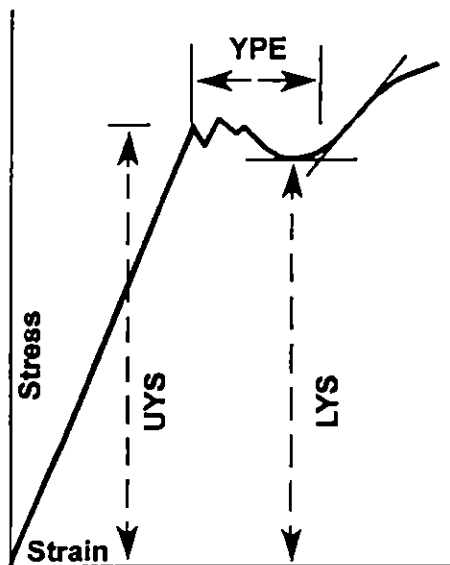


FIG. 24 Stress-Strain Diagram Showing Yield Point Elongation and Upper and Lower Yield Strengths

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

XI. FACTORS AFFECTING TENSION TEST RESULTS

X1.1 The precision and bias of tension test strength and ductility measurements depend on strict adherence to the stated test procedure and are influenced by instrumental and material factors, specimen preparation, and measurement/testing errors.

X1.2 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on the homogeneity of the material, and the repeatability of specimen preparation, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

X1.3 Instrumental factors that can affect test results include: the stiffness, damping capacity, natural frequency, and mass of moving parts of the tensile test machine; accuracy of force indication and use of forces within the verified range of the machine; rate of force application, alignment of the test specimen with the applied force, parallelness of the grips, grip pressure, nature of the force control used, appropriateness and calibration of extensometers, heat dissipation (by grips, extensometers, or ancillary devices), and so forth.

X1.4 Material factors that can affect test results include: representativeness and homogeneity of the test material, sampling scheme, and specimen preparation (surface finish, dimensional accuracy, fillets at the ends of the gage length, taper in the gage length, bent specimens, thread quality, and so forth).

X1.4.1 Some materials are very sensitive to the quality of the surface finish of the test specimen (see Note 12) and must be ground to a fine finish, or polished to obtain correct results.

X1.4.2 Test results for specimens with as-cast, as-rolled, as-forged, or other non-machined surface conditions can be affected by the nature of the surface (see Note 14).

X1.4.3 Test specimens taken from appendages to the part or component, such as prolongs or risers, or from separately produced castings (for example, keel blocks) may produce test results that are not representative of the part or component.

X1.4.4 Test specimen dimensions can influence test results. For cylindrical or rectangular specimens, changing the test specimen size generally has a negligible effect on the yield and tensile strength but may influence the upper yield strength, if one is present, and elongation and reduction of area values. Comparison of elongation values determined using different specimens requires that the following ratio be controlled:

$$L_0 / (A_0)^{1/2}$$

where: L_0 = original gage length of specimen, and
 A_0 = original cross-sectional area of specimen.

X1.4.4.1 Specimens with smaller $L_0 / (A_0)^{1/2}$ ratios generally give greater elongation and reduction in area values. This is the case, for example, when the width or thickness of a rectangular tensile test specimen is increased.

X1.4.4.2 Holding the $L_0 / (A_0)^{1/2}$ ratio constant minimizes, but does not necessarily eliminate, differences. Depending on material and test conditions, increasing the size of the proportional specimen of Fig. 8 may be found to increase or decrease elongation and reduction in area values somewhat.

X1.4.5 Use of a taper in the gage length, up to the allowed 1 % limit, can result in lower elongation values. Reductions of as much as 15 % have been reported for a 1 % taper.

X1.4.6 Some materials are highly strain-rate sensitive. Changes in the strain rate can affect the yield strength and elongation values, especially for strain-rate sensitive materials. In general, the yield strength and elongation will increase as the strain rate increases.

X1.4.7 Brittle materials require careful specimen preparation, high quality surface finishes, large fillets at the ends of the gage length, oversize threaded grip sections, and cannot tolerate punch or scribe marks as gage length indicators.

X1.4.8 Flattening of tubular products to permit testing does alter the material properties, generally nonuniformity, in the flattened region which may affect test results.

X1.5 Measurement errors that can affect test results include: verification of the test force, extensometers, micrometers, dividers, and other measurement devices, alignment and zeroing of chart recording devices, and so forth.

X1.5.1 Measurement of the dimensions of as-cast, as-rolled, as-forged, and other test specimens with non-machined surfaces may be imprecise due to the irregularity of the surface flatness.

X1.5.2 Materials with anisotropic flow characteristics may exhibit non-circular cross sections after fracture and measurement precision may be affected, as a result (see Note 35).

X1.5.3 The corners of rectangular test specimens are subject to constraint during deformation and the originally flat surfaces may be parabolic in shape after testing which will affect the precision of final cross-sectional area measurements (see Note 36).

X1.5.4 If any portion of the fracture occurs outside of the middle of the gage length, or in a punch or scribe mark within the gage length, the elongation and reduction of area values may not be representative of the material. Wire specimens that break at or within the grips may not produce test results representative of the material.

X1.5.5 Use of specimens with shouldered ends ("button-head" tensiles) will produce lower 0.02 % offset yield strength values than threaded specimens.

X1.6 Because standard reference materials with certified tensile property values are not available, it is not possible to rigorously define the bias of tension tests. However, by the use of carefully designed and controlled interlaboratory studies, a reasonable definition of the precision of tension test results can be obtained.

X1.6.1 An interlaboratory test program⁷ was conducted

in which six specimens each, of six different materials were prepared and tested by each of six different laboratories. Tables X1.1 to X1.5 present the precision statistics, as defined in Practice E 691, for: tensile strength, 0.02 % yield strength, 0.2 % yield strength, % elongation in 5D, and % reduction in area. In each table, the first column lists the six materials tested, the second column lists the average of the average results obtained by the laboratories, the third and fifth columns list the repeatability and reproducibility standard deviations, the fourth and sixth columns list the coefficients of variation for these standard deviations, and the seventh and eighth columns list the 95 % repeatability and reproducibility limits.

X1.6.2 The averages (below columns four and six in each table) of the coefficients of variation permit a relative comparison of the repeatability (within-laboratory precision) and reproducibility (between-laboratory precision) of the tension test parameters. This shows that the ductility mea-

surements exhibit less repeatability and reproducibility than the strength measurements. The overall ranking from the least to the most repeatable and reproducible is: % elongation in 5D, % reduction in area, 0.02 % offset yield strength, 0.2 % offset yield strength, and tensile strength. Note that the rankings are in the same order for the repeatability and reproducibility average coefficients of variation and that the reproducibility (between-laboratory precision) is poorer than the repeatability (within-laboratory precision), as would be expected.

X1.6.3 No comments about bias can be made for the interlaboratory study due to the lack of certified test results for these specimens. However, examination of the test results showed that one laboratory consistently exhibited higher than average strength values and lower than average ductility values for most of the specimens. One other laboratory had consistently lower than average tensile strength results for all specimens.

TABLE X1.1 Precision Statistics—Tensile Strength, MPa

Material	X	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	177.5	0.63	2.45	0.63	2.45	1.76	1.76
2024-T351	492.9	0.88	1.24	0.96	1.34	2.47	2.68
ASTM A105	598.8	0.60	0.70	1.27	1.46	1.68	3.55
AISI 316	696.9	0.39	0.39	1.21	1.20	1.09	3.39
Inconel 600	688.1	0.42	0.43	0.72	0.72	1.19	2.02
SAE 51410	1257.0	0.46	0.25	1.14	0.63	1.29	3.20
Averages:			0.91		1.30		

NOTE: X is the average of the cell averages, that is, the grand mean for the test parameter.
 s_r is the repeatability standard deviation (within-laboratory precision).
 s_r/X is the coefficient of variation in %,
 s_R is the reproducibility standard deviation (between-laboratory precision).
 s_R/X is the coefficient of variation, %.
 r is the 95 % repeatability limits.
 R is the 95 % reproducibility limits.

TABLE X1.2 Precision Statistics—0.02 % Yield Strength, MPa

Material	X	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	111.8	0.65	3.99	1.19	7.36	1.81	3.33
2024-T351	355.4	0.84	1.64	0.89	1.73	2.36	2.49
ASTM A105	412.7	1.20	2.02	1.89	3.18	3.37	5.31
AISI 316	336.3	2.39	4.91	4.61	9.49	6.68	12.91
Inconel 600	268.0	0.46	1.18	0.76	1.96	1.28	2.13
SAE 15410	725.6	2.40	2.29	3.17	3.02	6.73	8.88
Averages:			2.67		4.46		

TABLE X1.3 Precision Statistics—0.2 % Yield Strength, MPa

Material	X	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	159.0	0.47	2.06	0.48	2.07	1.33	1.33
2024-T351	364.1	0.74	1.41	0.79	1.49	2.08	2.20
ASTM A105	403.7	0.83	1.42	1.44	2.47	2.31	4.03
AISI 316	481.6	0.94	1.35	2.83	4.07	2.63	7.93
Inconel 600	269.1	0.36	0.93	0.85	2.18	1.01	2.37
SAE 51410	970.7	1.29	0.92	2.30	1.64	3.60	6.45
Averages:			1.35		2.32		

TABLE X1.4 Precision Statistics—% Elongation in 5D

Material	X	s_r	$s_r/X, \%$	s_R	$s_R/X, \%$	r	R
EC-H19	14.61	0.59	4.03	0.66	4.52	1.65	1.85
2024-T351	18.04	0.64	3.57	1.72	9.53	1.31	4.81
ASTM A105	25.63	0.77	2.99	1.30	5.06	2.15	3.63
AISI 316	35.93	0.71	1.98	2.68	7.45	2.00	7.49
Inconel 600	41.58	0.67	1.61	1.60	3.86	1.88	4.49
SAE 51410	12.39	0.45	3.61	0.96	7.75	1.25	2.69
Averages:			2.97		6.38		

NOTE A1—Length of reduced section = 6D.

TABLE X1.5 Precision Statistics—% Reduction in Area

Material	\bar{X}	s_r	$s_r/\bar{X}, \%$	s_m	$s_m/\bar{X}, \%$	r	R
EC-H19	79.14	1.94	2.45	2.02	2.56	5.44	5.67
2024-T351	30.31	2.07	6.82	3.58	11.80	5.79	10.01
ASTM A105	65.59	0.84	1.28	1.26	1.92	2.35	3.53
AISI 316	71.49	0.99	1.39	1.61	2.25	2.78	4.50
Inconel 600	59.34	0.67	1.14	0.70	1.18	1.89	1.97
SAE 51410	50.49	1.86	3.69	3.95	7.81	5.21	11.05
		Averages:	2.80		4.59		

X2. MEASUREMENT OF SPECIMEN DIMENSIONS

X2.1 Measurement of specimen dimensions is critical in tension testing, and it becomes more critical with decreasing specimen size, as a given absolute error becomes a larger relative (percent) error. Measuring devices and procedures should be selected carefully, so as to minimize measurement error and provide good repeatability and reproducibility.

X2.2 Relative measurement error should be kept at or below 1 %, where possible. Ideally, this 1 % error should include not only the resolution of the measuring device but also the variability commonly referred to as repeatability and reproducibility. (Repeatability is the ability of any operator to obtain similar measurements in repeated trials. Reproducibility is the ability of multiple operators to obtain similar measurements.)

X2.3 Formal evaluation of gage repeatability and reproducibility (GR and R) by way of a GR and R study is highly recommended. A GR and R study involves having multiple operators each take two or three measurements of a number of parts—in this case, test specimens. Analysis, usually done by computer, involves comparing the observed measurement variations to a tolerance the procedure is to determine conformance to. High GR and R percentages (more than 20 %) indicate much variability relative to the tolerance, whereas low percentages (10 % or lower) indicate the opposite. The analysis also estimates, independently, the repeatability and reproducibility.

X2.4 GR and R studies in which nontechnical personnel used different brands and models of hand-held micrometers have given results varying from about 10 % (excellent) to nearly 100 % (essentially useless), relative to a dimensional tolerance of 0.075 mm. The user is, therefore, advised to be very careful in selecting devices, setting up measurement procedures, and training personnel.

X2.5 With a 0.075 mm tolerance, a 10 % GR and R result (exceptionally good, even for digital hand-held micrometers reading to 0.001 mm) indicates that the total variation due to repeatability and reproducibility is around 0.0075 mm. This is less than or equal to 1 %, only if all dimensions to be measured are greater than or equal to 0.75 mm. The relative error in using this device to measure thickness of a 0.25 mm flat tensile specimen would be 3 %, which is considerably more than that allowed for load or strain measurement.

X2.6 Dimensional measurement errors can be identified as the cause of many *out-of-control* signals, as indicated by statistical process control (SPC) charts used to monitor tension testing procedures. This has been the experience of a production laboratory employing SPC methodology and the best hand-held micrometers available (from a GR and R standpoint) in testing of 0.45 mm to 6.35 mm flat-rolled steel products.

X2.7 Factors which affect GR and R, sometimes dramatically, and which should be considered in the selection and evaluation of hardware and procedures include:

X2.7.1 Resolution.

X2.7.2 Verification.

X2.7.3 Zeroing.

X2.7.4 Type of anvil (flat, rounded, or pointed).

X2.7.5 Cleanliness of part and anvil surfaces.

X2.7.6 User-friendliness of measuring device.

X2.7.7 Stability/temperature variations.

X2.7.8 Coating removal.

X2.7.9 Operator technique, and

X2.7.10 Ratchets or other features used to regulate the clamping force.

X2.8 Flat anvils are generally preferred for measuring the dimensions of round or flat specimens which have relatively smooth surfaces. One exception is that rounded or pointed anvils must be used in measuring the thickness of curved specimens taken from large-diameter tubing (see Fig. 13), to prevent overstating the thickness. (Another concern for these curved specimens is the error that can be introduced through use of the equation $A = W \times T$; see 7.1.3)

X2.9 Heavy coatings should generally be removed from at least one grip end of flat specimens taken from coated products to permit accurate measurement of base metal thickness, assuming (a) the base metal properties are what are desired, (b) the coating does not contribute significantly to the strength of the product, and (c) coating removal can be easily accomplished. Otherwise, it may be advisable to leave the coating intact. Where this issue may arise, all parties involved in comparison or conformance testing should agree as to whether or not coatings are to be removed before measurement.

X2.10 As an example of how the considerations identified above affect dimensional measurement procedures, consider the case of measuring the thickness of 0.40 mm painted, flat rolled steel specimens. The paint should be removed prior to measurement, if possible. The measurement device used should have flat anvils, must read to 0.001 mm or better, and must have excellent repeatability and reproducibility. Since GR and R is a significant concern, it will be best to use a device which has a feature for regulating the clamping force used, and devices without digital displays should be avoided to prevent reading errors. Before use of the device, and periodically during use, the anvils should be cleaned, and the device should be verified or zeroed (if an electronic display is used) or both. Finally, training and auditing of personnel should be done to ensure that the measuring device is being used correctly and similarly by all.