



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

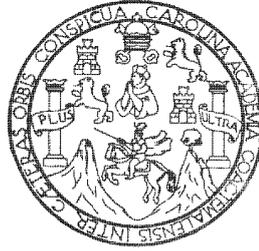
**GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA ESTUDIO DE PRINCIPALES
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS DE MAYOR
COMERCIALIZACIÓN EN GUATEMALA**

BYRON AROLD OROZCO GÓMEZ

Asesorado por Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza

Guatemala, septiembre de 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA ESTUDIO DE PRINCIPALES
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS DE MAYOR
COMERCIALIZACIÓN EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BYRON AROLD OROZCO GÓMEZ

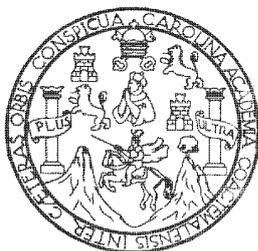
ASESORADO POR ING. GILBERTO ENRIQUE MORALES BAIZA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Víctor Manuel Ruíz Hernández
EXAMINADOR:	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR:	Ing. Eleazar José López Gómez
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO PARA ESTUDIO DE PRINCIPALES PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS DE MAYOR COMERCIALIZACIÓN EN GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 16 de abril de 2002.

Byron Aroldo Orozco Gómez

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE FORMATOS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO	IX
ANTECEDENTES	III
INTRODUCCIÓN	XIV

1. CONOCIMIENTO DE MATERIALES

1.1 Definición de acero SAE 1018 y acero SAE 1045	1
1.2 Propiedades mecánicas más importantes	3

2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPO PARA ENSAYO DE MATERIALES

2.1 Características, funcionamiento y aplicaciones de 25 máquinas de ensayo universal del Centro de Investigaciones de Ingeniería

2.2 Descripción, características, funcionamiento y aplicaciones de 34

horno para tratamientos térmicos de laboratorio de Metalurgia y Metalografía de la escuela de Ingeniería Mecánica

3. PRUEBA DE TENSIÓN EN ACEROS SAE 1018 Y ACEROS SAE 1045

3.1 Modo de efectuar la prueba	45
3.2 Interpretación de resultados	46
3.3 Modelo de hoja de datos	55
3.4 Modelo de hoja de resumen para presentación de resultados	56

4. ESTUDIO DEL TAMAÑO DE GRANO EN ACEROS SAE 1018 Y ACEROS SAE 1045 MEDIANTE PRUEBAS DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE NORMALIZACION, TEMPLE Y REVENIDO

4.1 Procedimiento de ejecución	59
4.2 Interpretación de resultados	62
4.3 Presentación de resultados	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXO	85

ANTECEDENTES

El ensayo en aceros de mayor comercialización en Guatemala, es un campo de estudio que no se encuentra completo en la actualidad, debido al divorcio técnico que se hace de los aceros para herramientas y los aceros para construcción.

El estudio de los aceros para construcción, se efectúa actualmente en el Centro de Investigaciones de Ingeniería en la sección de metales del mismo, realizando una prueba de tensión en los mismos, para lo cual se cuenta con dos máquinas de ensayos universal, una de las cuales es de reciente adquisición, contando la misma con un sistema de aplicación de cargas totalmente automatizado.

En cuanto a los aceros para herramientas se refiere, los estudios para determinar sus propiedades mecánicas más importantes desde el punto de vista del tamaño de grano, se tiene disponible en la Escuela de Ingeniería Mecánica el laboratorio de Metalurgia y Metalografía, el cual cuenta con un horno de fundición, un horno para tratamientos térmicos, como también un microscopio metalográfico.

La finalidad de elaborar una guía de prácticas de laboratorio para estudio de principales propiedades mecánicas de los aceros de mayor comercialización en Guatemala, es establecer una integración conceptual, técnica y científica, que permita al estudiante y profesional, tener un criterio amplio para estudiar, seleccionar y aplicar los aceros de más uso comercial en el país.

Se pretende asimismo con la elaboración de esta guía de prácticas de laboratorio, obtener a un corto plazo la acreditación requerida por normas

internacionales, ofreciendo a la industria guatemalteca actual un servicio profesional debidamente respaldado y garantizado.

El motivo por el cual se decidió estudiar y analizar los aceros SAE 1018 y SAE 1045 se debe a que estos dos tipos de aceros, son los que más se utilizan comercialmente en el país, y por la demanda en cuanto a información técnica se requiere sobre los mismos

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Barra cargada axialmente	008
2. Barra sometida a tensión.....	008
3. Barra sometida a tensión.....	009
4. Probeta de ensayo normalizada.....	011
5. Probeta de ensayo normalizada.....	012
6. Diagrama tensión-deformación del acero estructural de bajo contenido de carbono.....	013
7. Diagrama tensión-deformación de un material frágil.....	014
8. Diagrama tensión-deformación para la goma.....	014
9. Esquema de la máquina de pruebas universal.....	023
10. Diagrama detallado del extensómetro HF. Moore y los controles de la máquina de pruebas universal.....	027
11. Horno de cámara caldeado eléctricamente.....	032

12. Horno de cámara caldeado por gas.....	033
13. Curvas de esfuerzo-deformación, trazadas en dos diferentes escalas de esfuerzo y deformación.....	040
14. Fracturas típicas.....	043
15. Modelo de hoja de datos para pruebas de tensión.....	045
16. Modelo de hoja de resumen para pruebas de tensión.....	046
17. Modelo de hoja de problemas para pruebas de tensión.....	047
18. Montaje para sujeción de muestras metalográficas.....	055
19. Montaje de molde típico para muestras metalográficas.....	056
20. Muestras metalográficas con pulido mediano.....	057
21. Efecto del tiempo sobre el temple.....	061
22. Comparación de dureza Rockwell en Aceros.....	062
23. Pantalla inicial de programa para ensayos de tracción.....	71
24. Pantalla para selección inicial.....	72
25. Búsqueda en menú de inicio.....	73
26. Ejemplos de prueba.....	74

27.Pantalla de selección de archivos.....	75
28.Pantalla de parámetros de inicio.....	76
29.Pantalla de inicio de ensayo.....	77
30.Pantalla para seleccionar sistema de unidades.....	78
31.Tipo de unidades a utilizar.....	79
32.Selección de rango de unidades.....	80
33.Pantalla de ejemplo.....	81
34.Selección de extensómetro.....	82
35.Selección de galga del extensómetro.....	83
36.Valores a graficar y guardar.....	84
37.Selección de rangos para extensión de puntos.....	85

LISTA DE SÍMBOLOS

cm	centímetros
Kg.	kilogramos
pulg.	pulgadas
°F	temperatura expresada en grados Fahrenheit
Rb	dureza Rockwell expresada en escala B
Rc	dureza Rockwell expresada en escala C
°C	temperatura expresada en grados Celsius
lb.	libras
Fe	hierro
C	Carbono

GLOSARIO

ASTM	Sociedad Americana de Ensayo de Materiales.
Dureza	Resistencia que tiene un material a ser rayado por otro y por tanto dificultad de ser trabajado.
Elasticidad	Propiedad que tienen los cuerpos para deformarse bajo la acción de una fuerza y recuperar su forma inicial cuando ésta desaparece.
Electrodeposición	Recubrimiento electrolítico de un metal por una fina película de otro con el fin de mejorar su aspecto o protegerlo contra la corrosión.
Maleabilidad	Propiedad de los metales a ser laminados o transformados en chapas delgadas.

Resina Epóxica

Poliéster de tres componentes que curan a temperatura ambiente y proporcionan adhesivos a prueba de agua, duros y firmes.

Resinas Termoplásticas

Sustancias parecidas a la cera, porque pueden reblandecerse en el momento requerido mediante la acción de calor, ya sea durante el proceso de fabricación o después; son casi siempre solubles en solventes orgánicos. Las resinas o plásticos termofijos resisten mejor las tensiones e impactos.

SAE

Abreviatura de Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices), cuyas normas para la clasificación de aceros y aceites lubricantes han tenido gran aceptación

Templado

Operación a la que se somete el acero (y otros materiales) para aumentar su dureza; consiste en un tratamiento térmico seguido de un enfriamiento brusco, con la finalidad de cambiar la celda unitaria a otra de mejor factor de empaquetamiento.

Tenacidad

Resistencia que ofrece la materia a la fractura por flexión o por torsión. Se practica frecuentemente un ensayo en los alambres observando el número de veces que se pueden torcer sin romperse y el ángulo según el cual puede doblarse sin llegar a la rotura.

1. CONOCIMIENTO DE MATERIALES

1.1 Definición de acero SAE 1018 y acero SAE 1045:

La definición básica de lo que es el acero se describe a continuación:

- Aleación de hierro con una pequeña cantidad de carbono. Las otras sustancias que se encuentran en el acero se consideran impurezas. El carbono difundido modifica algunas propiedades del hierro tales como maleabilidad, tenacidad, dureza, elasticidad, etc. Los hierros cuyo contenido de carbono está entre 0.5 y 2 se llaman aceros y adquieren gran dureza al enfriarse bruscamente; a la operación se le da el nombre de templado.
- Son aleaciones de hierro-carbono aptas para ser deformadas en frío y en caliente y en las cuales el porcentaje de carbono no excede de 1.76%, aunque en algunos casos especiales se puede superar dicho límite, como sucede en ciertos aceros con un elevado contenido de carbono.

Partiendo de estas definiciones tenemos entonces la siguiente definición:

1.1.1 Acero SAE

Sistema de numeración para clasificar aceros, especialmente los de medio y bajo contenido en aleación, que se emplea principalmente en piezas de maquinaria.

Los dos primeros números sirven para indicar el carbono o el grupo de aleación y la cantidad y los dos últimos el contenido medio de carbono en centésimas.

Así 10 señala los aceros al carbono, 13 aceros al manganeso, 40 y 44 aceros al molibdeno, 50 y 51 al cromo, 61 cromo vanadio, 92 silicio, 46 y 48 níquel molibdeno, etc.

Ejemplos:

SAE 1018	Porcentaje de carbono 0.18% Acero al carbono
SAE 1045	Porcentaje de carbono 0.45% Acero al carbono
SAE 1055	Porcentaje de carbono 0.55% Acero no aleado Acero al carbono
SAE 2345	Porcentaje de carbono = 0.45% Elemento predominante: níquel 3% Acero al níquel
SAE 3310	Porcentaje de carbono = 0.10% Elemento predominante: níquel 3%

SAE 52100
Acero al cromo
Porcentaje de carbono = 1.00%
Elemento predominante: cromo 2%
Acero al cromo

1.2 Propiedades mecánicas mas importantes

1.2.1 Visión panorámica

Los metales tienen un conjunto común de propiedades que hacen que sean los más útiles de los materiales de ingeniería. No todos los metales tienen las mismas propiedades o propiedades al mismo grado. La mayor parte son sólidos a la temperatura ambiente, pero el mercurio es una excepción.

La resistencia, dureza, resistencia al desgaste, resistencia al choque y la conductividad eléctrica y térmica son propiedades importantes de los metales. La mayoría de los metales son elásticos hasta cierto límite; se deforman en proporción al esfuerzo y regresan a su estado original cuando se elimina el esfuerzo. A esfuerzos elevados, se deforman de manera plástica. Algunos metales aceptarán una deformación plástica de alto grado antes de que fallen y otros muy poco.

Estructura cristalina y propiedades mecánicas.- El tipo de estructura cristalina y el grado de perfección de la estructura cristalina tienen mucho que ver con las propiedades físicas de un metal.

La estructura cristalina cúbica de cara centrada es en general más dúctil y maleable que el tipo de cuerpo centrado. El tipo de cuerpo centrado por lo común es el más duro y fuerte de los dos.

El tipo con arreglo hexagonal, en paquete compacto, carece de ductilidad y acepta poco trabajo en frío sin falla. Existen excepciones para estas reglas.

Se ha descubierto que el esfuerzo real requerido para deformar un cristal es solo una fracción pequeña de lo que es necesario en forma teórica para desplazar todos los átomos implicados al mismo tiempo. Por tanto, es obvio que todos los átomos no se muevan al mismo tiempo, sino en secuencias.

Los experimentos han indicado que esos movimientos atómicos son aceptados y emanan de las imperfecciones en los cristales.

Hay varias clases de imperfecciones cristalinas. El lugar donde debe estar un átomo puede estar vacío y este se denomina vacancia. En otro caso, un plano entero de átomos adicionales puede aparecer en una malla para formar una dislocación de borde. Parte de los planos de una malla deben desviarse en una dislocación helicoidal. También, hay falta de emparejamiento en las estructuras cristalinas entre los cristales en los límites de los granos. Los átomos grandes o pequeños distorsionan la estructura. Muchos átomos intersticiales pequeños pueden abultar la estructura. Es probable que existan otras clases de imperfecciones que todavía no se han reconocido, cuya investigación dista de ser completa.

El número y distribuciones de las imperfecciones tienen gran efecto en las propiedades de un metal.

La deformación plástica tiene lugar cuando parte de un cristal se desliza en la otra. Es aparente que el deslizamiento sucede entre los planos atómicos en la malla que están más separados, y que tienen la más alta población atómica.

Estos se denominan planos de deslizamiento y, por lo común, no son los planos que limitan las formas geométricas regulares de las celdas.

Conforme se aplica un esfuerzo cortante entre dos planos, se empieza a formar una dislocación hasta que se mueve al siguiente plano transversal y así sucesivamente. Con una cantidad de átomos tan grande en un cristal aún pequeño, existe un gran número de dislocaciones.

También algunos tipos de dislocaciones denominadas fuentes, que regeneran y crean nuevas dislocaciones. De modo que cuando se eleva o continúa un esfuerzo, se mueven más y más dislocaciones para provocar mayor deformación plástica.

Las dislocaciones viajan a través de un cristal en muchos planos hasta que alcanzan los límites de granos e imperfecciones en la malla que las detienen. Las dislocaciones que vienen atrás interaccionan con las que se han detenido adelante, y el movimiento se vuelve más difícil. El metal que se ha trabajado en frío se dice que está endurecido por el trabajo o endurecido por la deformación, ya que es necesario un esfuerzo más alto para mover las enmarañadas y tupidas dislocaciones. Conforme las dislocaciones se acumulan en maraña bajo esfuerzos siempre mayores, se ven forzadas a combinarse en grietas pequeñas que crecen por último, formando fracturas en el metal.

Las propiedades de un metal se afectan mucho por los tamaños y orientaciones diversas de los granos. Un metal de grano fino es probable que tenga una mejor distribución de los granos, orientada a responder a los esfuerzos en cualquier dirección que un metal de grano grueso.

De más importancia, los granos finos presentan más límites de grano para inhibir la propagación de las dislocaciones.

Por estas razones, un metal de grano fino, como regla, tiene una resistencia mayor a la cedencia (el nivel de esfuerzo requerido para iniciar la deformación plástica), resistencia final (nivel de esfuerzo a la falla), dureza, resistencia a la fatiga y resistencia de impacto.

Fractura.- Una pieza de metal se rompe en una o dos formas generales después de la deformación por esfuerzos suficientes. Una forma de fractura se denomina dúctil, y las caras de la rotura pueden describirse como grises, fibrosas y sedosas. Las superficies de partición se barren entre sí por esfuerzos cortantes, y la rotura se da después de una gran cantidad de deformación.

Se clasifica esto como fracturas principales a través de los granos (transgranular).

La otra clase es la fractura frágil, donde el material en realidad queda arrancado a través de planos atómicos dentro de los cristales o siguiendo las fronteras de los granos. El metal puede deformarse primero plásticamente hasta cierto grado, hasta que se vencen las fuerzas que lo mantienen unido. Entonces se quiebra en dos en forma brusca, dejando una superficie áspera, granular, en lugar de una fractura brillante.

La relación entre las fallas dúctil y frágil es de grado. El hierro nodular fundido falla en forma dúctil en comparación con el hierro fundido gris, pero se considera frágil en contraste con el acero.

Con frecuencia existen los dos tipos en la misma rotura, debido al endurecimiento progresivo conforme tiene lugar la falla. La zona externa

de una rotura puede partirse en forma dúctil, en tanto que el centro puede fallar como una sección frágil. Muchos aceros fallan por fractura dúctil a temperaturas altas y por fractura frágil a bajas temperaturas.

1.2.2 Efectos internos de las fuerzas

Barra cargada axialmente.- Probablemente, el caso más sencillo que se puede considerar para empezar es el de una barra metálica inicialmente recta, de sección constante, sometida en sus extremos a dos fuerzas colineales dirigidas en sentidos opuestos y que actúan en el centro de las secciones. Para que haya equilibrio estático, las magnitudes de las fuerzas deben ser iguales. Si están dirigidas en sentido de alejarse de la barra, se dice que ésta está sometida a tracción, mientras que si actúan hacia la barra, existe un estado de compresión. En la figura 1 están representados los dos casos. Bajo la acción de estas dos fuerzas aplicadas se originan otras fuerzas internas dentro de la barra, que pueden estudiarse imaginando un plano que la corte en un punto cualquiera y sea perpendicular a su eje longitudinal. En la figura 2 se designa este plano por a-a.

Figura 1. Barra cargada axialmente

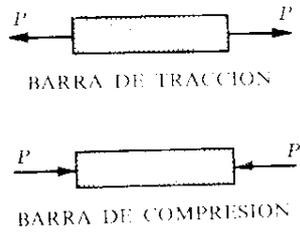


Fig. 1

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 5

Figura 2. Barra sometida a tensión

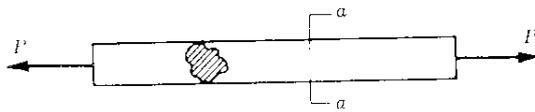


Fig. 2a

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 6

Figura 3. Barra sometida a tensión

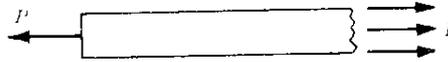


Fig. 2b

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 6

Si suponemos, para el estudio, que se quita la parte de barra situada a la derecha del plano, como en la figura 3, deberá sustituirse por el efecto que ejerce sobre la parte izquierda. Por este procedimiento de considerar el corte por un plano, las fuerzas que eran internas originalmente se convierten en externas respecto a la parte de cuerpo que queda. Para que exista equilibrio en la parte de la izquierda, este efecto debe ser una fuerza horizontal de magnitud P , aunque esta fuerza que actúa normalmente a la sección a-a es, en realidad, la resultante de las fuerzas repartidas que actúan en dicha sección en sentido perpendicular a ella.

Distribución de las fuerzas resistentes.- Llegados a este punto, es necesario hacer alguna hipótesis sobre el modo en que varían estas fuerzas repartidas, y como la fuerza aplicada P actúa en el centro, se suele admitir que son uniformes en toda la sección.

Esta distribución probablemente no se dará nunca exactamente, a consecuencia de la orientación caprichosa de los granos cristalinos de que está compuesta la barra; el valor exacto de la fuerza que actúa en cada elemento de la sección transversal es función de la naturaleza y la orientación de la estructura cristalina en ese punto, pero para el conjunto de la sección la hipótesis de una distribución uniforme da una exactitud aceptable desde el punto de vista de la ingeniería.

Tensión normal.- En lugar de hablar de la fuerza interna que actúa sobre un elemento de superficie, probablemente es más significativo y más útil para la comparación considerar la fuerza normal que actúa sobre una superficie unidad de la sección transversal. La intensidad de la fuerza normal por unidad de superficie se llama tensión normal y se mide en unidades de fuerza por unidad de superficie, kg/cm^2 . A veces se usa la expresión tensión total para expresar la fuerza resultante axial total, en kilogramos. Si las fuerzas aplicadas a los extremos de la barra son tales que está sometida a tracción, se establecen tensiones de tracción en la misma; si está sometida a compresión, tenemos tensiones de compresión.

Es esencial que la línea de aplicación de las fuerzas pase por el centro de cada sección transversal de la barra.

Probetas de ensayo. La carga axial representada en la figura 2 es frecuente en los problemas de diseño de estructuras y de máquinas.

Para simular esta carga en el laboratorio se coloca una probeta entre las mordazas de una máquina de ensayos del tipo accionado eléctricamente o de una hidráulica, máquinas usadas corrientemente en los laboratorios de ensayo de materiales para aplicar una tensión axial.

En un intento de tipificar los métodos de ensayo, la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales, comúnmente conocida por A.S.T.M., ha redactado especificaciones que son de uso común en Estados Unidos y numerosos países de América y Europa. Se prescriben varios tipos de probetas para materiales metálicos y no metálicos, tanto para ensayos de tracción como de compresión, pero solo se mencionarán dos de ellos utilizados por la industria guatemalteca, uno para chapas metálicas de espesor mayor de $3/16$ pulgadas (unos 47 mm), que aparece en la figura 4, y otro para metales de espesor mayor de 1.5 pulgadas y que tiene el aspecto que aparece en la figura 5. Las dimensiones

indicadas son las especificadas por la A.S.T.M., pero los extremos de las probetas pueden tener cualquier forma que se adapte a las mordazas de la máquina de ensayo que aplique la carga axial. Como se puede ver en las figuras, la parte central de la probeta es algo más delgada que las extremas para que no se produzca el fallo en la parte de las mordazas. Los chaflanes redondeados que se observan tienen por objeto evitar que se produzcan las llamadas concentraciones de esfuerzos en la transición entre las dos anchuras diferentes. De ordinario, se marca una longitud standard patrón en la que se miden los alargamientos, perforando dos pequeños orificios en la superficie de la barra con una separación de 2 o de 8 pulgadas.

Figura 4. Probeta de ensayo normalizada

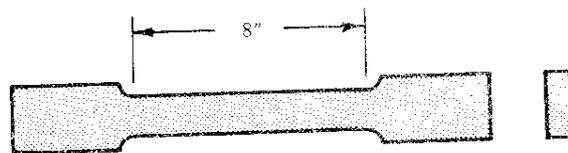


Fig. 3

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 8

Figura 5. Probeta de ensayo normalizada

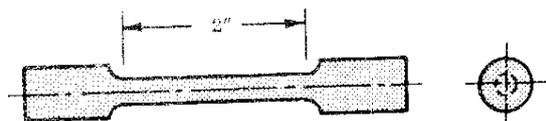


Fig. 4

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 8

Deformación Normal.- Supongamos que se ha colocado una de estas probetas de tracción en una máquina de ensayos de tracción y compresión, y se aplican gradualmente en los extremos fuerzas de tracción. Se puede medir el alargamiento total en la longitud patrón para cualquier incremento predeterminado de la carga axial por medio de un aparato de medida mecánico y hallar, a partir de estos valores, el alargamiento por unidad de longitud llamado deformación normal.

Generalmente se expresa la deformación en centímetros por centímetros, por que es adimensional. A veces se usa la expresión deformación total para indicar el alargamiento en centímetros.

Curva Tensión-Deformación.- Cuando se aumenta gradualmente la carga axial por incrementos de carga, se mide el alargamiento de la longitud patrón para cada incremento, continuando de este modo hasta que se produce la rotura de la probeta. Conociendo el área original de la sección transversal de la probeta puede obtenerse la tensión normal, para cada valor de la carga axial, simplemente utilizando la relación

$$\sigma := \frac{P}{A}$$

donde P representa la carga axial en kilogramos y A el área primitiva de la sección transversal. Con varios pares de valores de la tensión normal y de la deformación normal podemos representar gráficamente los datos experimentales tomando estas cantidades como ordenadas y abscisas, respectivamente. Así se obtiene un diagrama tensión-deformación del material para este tipo de carga. Este diagrama puede adoptar numerosas formas; en las figuras 6, 7 y 8 se representan varios gráficos típicos de materiales usados normalmente en Ingeniería. Para un metal como el acero estructural de bajo contenido de carbono, los datos se agrupan aproximadamente como se indica en la figura 6; para un material

de los llamados frágiles como la fundición, el gráfico aparece como en la figura 7, mientras que para la goma es típico el diagrama de la figura 8.

Figura 6. Diagrama tensión-deformación del acero estructural de bajo contenido de carbono

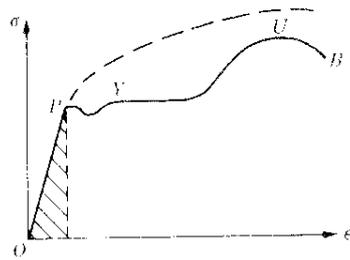


Fig. 5a

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 10

Figura 7. Diagrama tensión-deformación de un material frágil

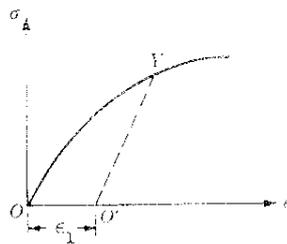


Fig. 5b

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 10

Figura 8. Diagrama tensión-deformación para la goma

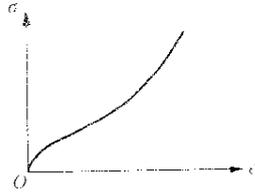


Fig. 5c

Fuente: Nash, Resistencia de Materiales. Pág. 11

Materiales dúctiles y frágiles.- Los materiales metálicos usados en la Ingeniería se clasifican generalmente en dúctiles y frágiles. Un material dúctil es el que tiene un alargamiento a tracción relativamente grande hasta llegar al punto de rotura (por ejemplo, el acero estructural o el aluminio), mientras que un material frágil tiene una deformación relativamente pequeña hasta el mismo punto. Frecuentemente se toma como línea divisoria entre las dos clases de materiales un alargamiento arbitrario de 0.05 cm de deformación /cm de longitud. La fundición y el hormigón son ejemplos de materiales frágiles.

Ley de Hooke.- Para un material cuya curva tensión-deformación es similar a la de la figura 6 resulta evidente que la relación entre tensión y deformación es lineal para los valores relativamente bajos de deformación.

Esta relación lineal entre el alargamiento y la fuerza axial que lo produce (pues cada una de estas cantidades difiere solo en una constante de la deformación y la tensión, respectivamente) fue observada por primera vez por *Sir Robert Hooke* en 1678 y lleva el nombre de ley de *Hooke*.

Por tanto para describir esta zona inicial del comportamiento del material, podemos escribir

$$\sigma := E\varepsilon$$

donde E representa la pendiente de la parte recta (OP) de la curva tensión-deformación de la figura 6.

Módulo de elasticidad.- La cantidad E, es decir, la relación de la tensión unitaria a la deformación unitaria se suele llamar módulo de elasticidad del material en tracción o, a veces, módulo de *Young*. En los manuales aparecen tabulados los valores de E para diversos materiales usados en la ingeniería. Como la deformación unitaria es un número abstracto (relación entre dos longitudes) es evidente que E tiene las mismas unidades que la tensión, por ejemplo, kg/cm^2 . Para muchos de los materiales usados en la ingeniería el módulo de elasticidad en compresión es casi igual al encontrado en tracción.

Propiedades mecánicas de los aceros SAE 1018 y SAE 1045

La curva tensión-deformación de la figura 6 se puede usar para determinar varias características de resistencia de material. Estas son:

Límite de proporcionalidad.- A la ordenada del punto P figura 6 se le conoce por límite de proporcionalidad, esto es, la máxima tensión que se puede producir durante un ensayo de tracción simple de modo que la tensión sea función lineal de la deformación. Para un material que tenga la curva tensión-deformación como la representada en la figura 7 no existe límite de proporcionalidad.

Límite elástico.- La ordenada de un punto que casi coincide con P se conoce por límite elástico, esto es, la tensión máxima que puede producirse durante un ensayo de tracción simple de modo que no haya deformación permanente o residual cuando se suprime totalmente la carga.

Para muchos materiales son casi idénticos los valores numéricos del límite elástico y del límite de proporcionalidad, por lo que a veces se consideran sinónimos.

En los casos en que es notoria la diferencia, el límite elástico es casi siempre mayor que el de proporcionalidad.

Zona elástica.- La región de la curva tensión-deformación que va desde el origen hasta el límite de proporcionalidad.

Zona plástica.- La región de la curva tensión-deformación que va desde el límite de proporcionalidad hasta el punto de rotura.

Límite elástico aparente o de fluencia.- A la ordenada del punto Y en el que se produce un aumento de deformación sin aumento de tensión se le conoce por límite elástico aparente o límite de fluencia del material.

Cuando la carga ha aumentado hasta el punto Y, se dice que se produce fluencia. Algunos materiales presentan en la curva tensión-deformación dos puntos en los que hay aumento de deformación sin que aumente la tensión. Se les conoce por límites de fluencia superior e inferior.

Resistencia a tracción.- La ordenada del punto U, máxima de la curva, se llama resistencia a tracción o, a veces, resistencia última del material.

Resistencia de rotura.- La ordenada del punto B se llama resistencia de rotura del material.

Módulo de resiliencia.- El trabajo realizado en un volumen unidad de material, cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente

desde cero hasta un valor tal que se alcance el límite de proporcionalidad del material, se define como módulo de resiliencia.

Puede calcularse por el área bajo la curva tensión-deformación desde el origen hasta el límite de proporcionalidad y se representa por la superficie rayada en la figura 6. Las unidades en que se mide son kg/cm^3 . Así, pues, la resiliencia de un material es su capacidad de absorber energía en la zona elástica.

Módulo de tenacidad.- El trabajo realizado en un volumen unidad de material, cuando se aumenta una fuerza de tracción simple gradualmente desde cero hasta el valor que produce la rotura, se define como módulo de tenacidad. Puede calcularse por el área total bajo la curva tensión-deformación desde el origen hasta la rotura. La tenacidad de un material es su capacidad de absorber energía en la zona plástica del material.

Estricción.- La relación entre la disminución del área de la sección transversal respecto a la primitiva en la fractura, dividida por el área primitiva y multiplicada por 100, se llama estricción. Hay que observar que cuando actúan fuerzas de tracción en una barra disminuye el área de la sección transversal, pero generalmente se hacen los cálculos de las tensiones en función del área primitiva, como en el caso de la figura 6.

Cuando las deformaciones se hacen cada vez mayores, es más interesante considerar los valores instantáneos del área de la sección transversal (que son decrecientes), con lo cual se obtiene la curva tensión-deformación verdadera, que tiene el aspecto de la línea de trazos de la figura 6.

Alargamiento de rotura.- La relación entre el aumento de longitud (de la longitud patrón) después de la fractura y la longitud inicial, multiplicada por

100, es el alargamiento de rotura. Se considera que tanto la estricción como el alargamiento de rotura son medidas de la ductilidad del material.

Tensión de trabajo.- Se pueden usar las características de resistencia que se acaban de mencionar para elegir la llamada tensión de trabajo. Frecuentemente, esta tensión se determina simplemente dividiendo la tensión en la fluencia o rotura por un número llamado coeficiente de seguridad. La elección del coeficiente de seguridad se basa en el buen juicio y la experiencia del proyectista.

A veces se especifican en los reglamentos de la construcción valores de determinados coeficientes de seguridad.

La curva tensión-deformación no lineal de un material frágil, representada en la figura 7, caracteriza otras varias medidas de la resistencia que no se pueden definir si la mencionada curva tiene una zona lineal. Estas son:

Límite elástico convencional.- La ordenada de la curva tensión-deformación para la cual el material tiene una deformación permanente predeterminada cuando se suprime la carga se llama límite elástico convencional del material. Se suele tomar como deformación permanente 0.002 o 0.0035 cm por cm; pero estos valores son totalmente arbitrarios.

En la figura 7 se ha representado una deformación permanente e_1 en el eje de deformaciones y se ha trazado la recta O'Y paralela a la tangente inicial a la curva. La ordenada Y representa el límite elástico convencional del material, llamado a veces tensión de prueba.

Módulo tangente.- A la pendiente de la tangente a la curva tensión-deformación en el origen se la conoce por módulo tangente del material.

Hay otras características de un material que son útiles para los proyectos, que son los siguientes:

Coefficiente de dilatación lineal.- Se define como la variación por unidad de longitud de una barra recta sometida a un cambio de temperatura de un grado.

El valor de este coeficiente es independiente de la unidad de longitud, pero depende de la escala de temperatura empleada.

Relación de *Poisson*.- Cuando una barra está sometida a una carga de tracción simple se produce en ella un aumento de longitud en la dirección de la carga, así como una disminución de las dimensiones laterales perpendiculares a ésta. La relación entre la deformación en la dirección lateral y la de la dirección axial se define como relación de *Poisson*.

2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPO PARA ENSAYO DE MATERIALES

2.1 Características, funcionamiento y aplicaciones de máquinas de ensayos universal del Centro De Investigaciones De Ingeniería

Aplicación de la carga y mediciones.- Las cargas se aplican ya sea mecánica o bien hidráulicamente en los dos tipos de maquinaria de pruebas existentes. El método mecánico de aplicar cargas tiene la ventaja de proporcionar un medio conveniente para controlar la velocidad de deformación aunque por lo general se prefieren usar los sistemas hidráulicos, debido a sus capacidades mayores y a su costo más bajo.

Existen muchas marcas distintas de maquinaria de pruebas; pero una de las más conocidas es la universal *Baldwin-Tate-Emery*, que se describe a continuación y que se ilustra en la figura 9. Se usa el término universal porque la máquina se puede adaptar a pruebas de compresión, de curvatura y flexión, así como a las de tensión.

La carga se aplica mediante una bomba hidráulica que hace pasar el aceite a presión en un cilindro, lo cual eleva el pistón; luego éste empuja hacia arriba la cabeza móvil del émbolo de tensión y la mesa. La muestra se sujeta por medio de soportes colocados en la cabeza del émbolo de tensión y la del ajustable. (Si se va a usar una muestra de compresión, se la puede colocar entre la mesa y la cabeza del émbolo ajustable).

La altura de la cabeza del émbolo móvil se ajusta antes de la prueba según las dimensiones de la muestra, y no se modifica durante la prueba.

El aceite del cilindro no sólo ejerce una presión ascendente sobre el pistón, sino también una presión descendente e igual sobre una cápsula sensora.

El fluido que contiene la cápsula se expelle y desenrolla el tubo de un manómetro de Bourdon (figura 9), que está calibrado para indicar la carga.

La velocidad de aplicación o eliminación de la carga se controla mediante válvulas de aproximación y precisión, tanto de carga, como de descarga.

Los dispositivos de soporte están ajustados esféricamente, o bien están provistos de plaquitas que permiten alinear la muestra con exactitud.

La alineación correcta elimina cargas de curvatura y asegura que la muestra esté sometida sólo a cargas axiales. Si hay cargas de curvatura, los esfuerzos no se ejercerán de modo uniforme sobre la pieza.

Medición de la deformación.- Las deformaciones se pueden medir en forma mecánica, eléctrica, electromecánica u óptica. En este experimento se usa un método mecánico basado en el extensómetro H.F. Moore, cuyo diagrama se muestra en la figura 10.

Cuando se trata de una muestra estándar de dos pulgadas, los pares de puntos con los que se sujeta al extensómetro tienen

Figura 9. Esquema de la máquina de pruebas universal

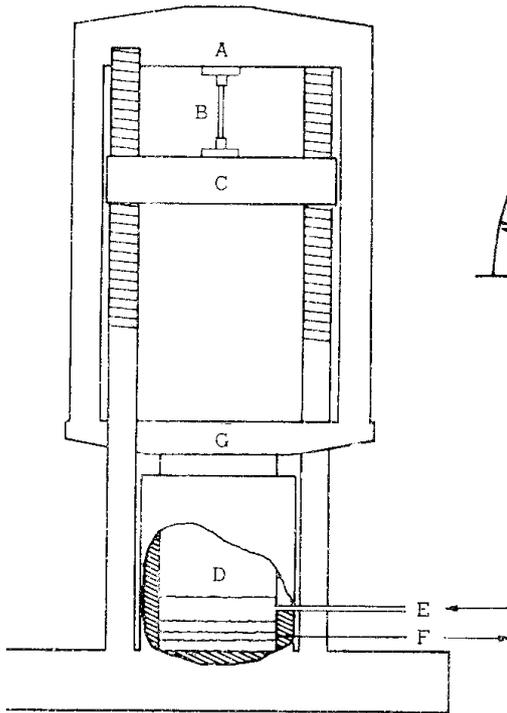


Figura 2 Esquema de la máquina de pruebas universal.
 A. Cabeza del émbolo de tensión.
 B. Muestra para la prueba de tensión.
 C. Cabeza del émbolo ajustable.
 D. Pistón hidráulico.
 E. Línea hidráulica de la bomba.
 F. Línea hidráulica al manómetro de Bourdon.
 G. Mesa.

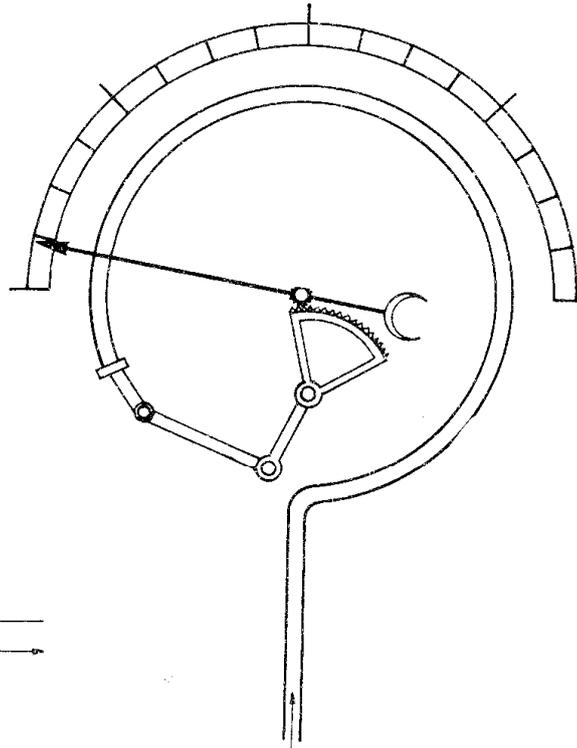


Figura 3 Manómetro de Bourdon. Cuando el fluido pasa a presión al interior del tubo circular, hace girar la aguja indicadora.

Fuente: Keyser, Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales. Pág. 10

una separación de 2.0 pulgadas, lo cual da una longitud de escala de 2.0 pulgadas.

Los puntos del medidor están a una pulgada del punto de apoyo y éste, a su vez, se encuentra a cinco pulgadas de la carátula del medidor.

Si la longitud de escala del extensómetro aumenta 0.0003 pulg., la aguja indicadora de la carátula, se mueve 0.0015 pulg. La deformación, definida como un cambio en longitud por unidad de longitud, es decir, dL/L , es $0.0003/2 = 0.00015$ pulgadas. En otras palabras, la deformación es igual a la lectura indicada en la carátula, dividida entre 10.

Como efectuar la prueba.- Debe seleccionarse un equipo de operación compuesto de un lector del extensómetro, un operador para la carga, un lector para la carga, un registrador (que debe medir también la muestra) y un encargado de las gráficas.

El primer paso de la prueba es anotar el diámetro de la muestra después de medirlo con un micrómetro. Luego, se arranca el motor de la máquina de pruebas y se conecta el aire a presión (figura 10). Se abre la válvula de carga y se eleva el pistón una pulgada más o menos, después de lo cual se cierra dicha válvula.

El siguiente paso de la prueba es sujetar el extensómetro, que ilustra detalladamente en la figura 10. Los cuatro tornillos de ajuste puntiagudos, A, B, C y D, se desatornillan lo suficiente para que la muestra quepa entre ellos. La barra de espaciamento, G, se aprieta mediante la perilla moleteada H, para marcar una distancia de dos pulgadas entre los pares de puntas del manómetro. Se suelta el tornillo de ajuste del collar F y el resorte E se distiende a su máxima longitud, luego se aprieta el tornillo de ajuste F. Esto acomoda la bola en su recipiente, estableciendo un punto de apoyo en V.

La muestra se coloca en un dispositivo que la sujeta en tal forma, que las puntas de los pares de tornillos de ajuste en A y C, así como en B y D, hagan contacto con los diámetros de la muestra.

Si los brazos del extensómetro se presionan suave pero firmemente contra la barra espaciadora, en la dirección marcada por las flechas I y J, la distancia entre los diámetros (es decir, la longitud de la escala) será de 2.0 pulgadas. Entonces, los tornillos de ajuste A, B, C y D, se aprietan firmemente siguiendo el orden de los números grabados en sus respectivas cabezas.

La cabeza del émbolo se ajusta, ahora, hacia arriba o hacia abajo, de acuerdo con el espaciamiento correcto correspondiente al tamaño de la muestra en cuestión. El extensómetro, junto con la muestra, se monta en los sujetadores, a fin de que tenga una holgura vertical de aproximadamente 1/8 de pulgada; deben sujetarse aproximadamente $\frac{3}{4}$ de la rosca de la muestra. Es posible que se requiera un reajuste preciso de la cabeza del émbolo móvil. (Esto supone que se usa una muestra con extremos fileteados.)

Luego,

- a) Coloque en cero la aguja indicadora de la carga, utilizando la correspondiente perilla de ajuste a cero, como se ilustra en la figura
- b) Ajuste los sujetadores de la muestra hasta que en la carátula del medidor de carga observe una carga apenas perceptible (menos de 25 libras).
- c) Libere el tornillo de cierre del medidor de deformación (M de la figura 5) y gire la carátula graduada hasta que el cero coincida con la aguja. Apriete M y el extensómetro quedará listo para usarlo.

d) El operador de la carga abre cuidadosamente la válvula de carga (la de ajuste preciso) hasta que la aguja se mueve con lentitud. Cuando la aguja del extensómetro se acerque al incremento de deformación predeterminado, el lector del extensómetro debe advertir: "Listo".

Cuando la aguja del extensómetro indique la lectura exacta del incremento, el lector debe anunciar: "Lectura". El operador de la carga cierra la válvula de carga en ese mismo instante, mientras que el lector de carga (supervisado por el operador de carga) dice en voz alta la lectura de carga; el registrador la anota en el pizarrón, y el encargado de las gráficas marca el punto.

Figura 10. Diagrama detallado del extensómetro H.F. Moore y los controles de la máquina de pruebas

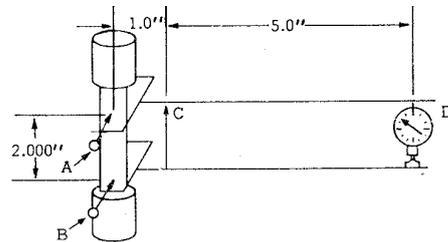


Figura 4 Diagrama del extensómetro H. F. Moore. A y B son los tornillos de ajuste para las puntas del medidor. La distancia entre A y B es de 2.000 pulgadas. C es el punto de apoyo y D es el medidor. La distancia entre el eje de la muestra y el punto de apoyo es de 1.0 plg, y la comprendida entre el punto de apoyo y el medidor es de 5.0 pulgadas.

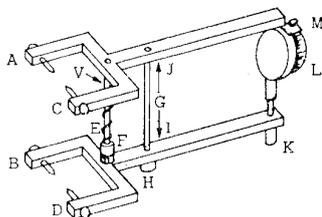
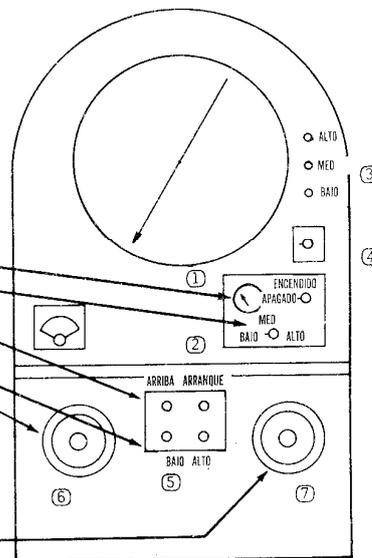


Figura 5 Diagrama detallado del extensómetro H. F. Moore.

Figura 6 Controles de la máquina de pruebas.

1. Presión de aire (25 lb./plg²)
 2. Selector del intervalo de presiones
 3. Ajuste a cero del indicador de carga
 4. Interruptor del registrador
 5. Interruptor para subir o bajar la cabeza del émbolo
- Bomba hidráulica (arranque o pare)
 Válvula de descarga; ajuste aproximado, preciso
 Válvula de carga; ajuste aproximado, preciso



Fuente: Keyser, Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales. Pág. 12

e) Si sigue con cuidado este mismo procedimiento hasta que se alcanza el punto de cedencia o se esté a 0.2% del esfuerzo de cedencia; en este punto debe cerrarse la válvula de carga.

f) El extensómetro se saca cuidadosamente antes de que se rompa o se dañe.

g) Después de quitar el extensómetro se abre de nuevo la válvula de carga y se aumenta lentamente la carga hasta que se produce una fractura, mientras que se toman varias medidas de longitud de la escala con un par de divisiones. Observe el retroceso de la aguja de carga a la ruptura, dejando que la aguja-guía indique la carga máxima (carga de resistencia a la tensión). Presione el botón de finalizar cuando la muestra se fractura.

h) Después de retirar la muestra, abra la válvula de descarga de ajuste aproximado, más o menos a la mitad de su giro y deje que salga el aceite del cilindro de operación. Cuando esté hecho, la placa inferior (la móvil) debe bajarse tanto como sea posible; luego se cierra la válvula de descarga. Cierre las válvulas con firmeza; pero sin forzarlas.

Deben medirse y registrarse la longitud final de la escala y el diámetro final de la muestra. Se observa y anota el tipo de fractura producida.

2.2 Descripción, características, funcionamiento y aplicaciones de horno para tratamientos térmicos de laboratorio de metalurgia y metalografía de la Escuela De Ingeniería Mecánica

Para realizar los tratamientos térmicos, se utilizan hornos de especial diseño, que permiten calentar los materiales, a las temperaturas necesarias por cada tratamiento.

La fuente de calor está alimentada con energía eléctrica o por combustible, el control y la regulación de las temperaturas, se realiza mediante pirómetros y llaves que se hallan acoplados al horno.

Los principales tipos de hornos son:

Hornos eléctricos: Están constituidos por una cámara de calentamiento, alrededor de la cual se hallan instaladas varias resistencias eléctricas, que suministran el calor necesario para realizar los tratamientos térmicos.

Existen dos clases de hornos eléctricos: de cámara o mufla y de baño con crisol.

En los hornos de cámara, las piezas se colocan directamente dentro de ésta, en los hornos de crisol se sumergen en el baño de sales fundidas, contenidas por el crisol.

Generalmente en los hornos de mufla, la misma es rectangular o abovedada y está construida con material refractario altamente resistente al fuego: grafito, carburo de silicio y otros de tipo cerámico.

En los hornos de baño, el crisol es de acero especial para alta temperatura, denominado acero refractario, o de fundición de hierro para crisoles y tienen generalmente una sección circular o elíptica.

Las partes principales que constituyen los hornos eléctricos son:

Carcaza: Es la parte exterior del horno que está construida en chapa de acero. Interiormente lleva un revestimiento de material refractario que sirve para evitar pérdidas de calor en el medio ambiente.

Fuente de calor: En los hornos de cámara y en los de baño, la fuente de calor está constituida por una resistencia alimentada por energía eléctrica.

Las resistencias se construyen en alambre, o cinta con una aleación de cromo níquel, resistentes a las altas temperaturas, o varillas refractarias a base de silicio o carburo de silicio y se hallan ubicadas en el interior de la carcaza, rodeando el crisol, o cubriendo la superficie interna de la cámara.

Cámara de calentamiento: Es el lugar donde se colocan las piezas que van a tratarse térmicamente. La cámara suele denominarse mufla y se fabrica en material refractario. Las resistencias eléctricas están instaladas en las paredes laterales.

Generalmente tienen forma rectangular, frecuentemente con el techo abovedado y sus dimensiones son variables, según la capacidad del horno y la finalidad para la que fue construida (figura 11).

En los hornos de baño esta cámara se denomina crisol, el cual se halla ubicado en la zona central del horno.

Se fabrica en acero refractario o fundición especial y en la mayoría de los casos tiene forma cilíndrica (figura 12).

Control de temperatura: Para controlar la temperatura de la cámara de calentamiento, se utiliza un pirómetro. El termopar de éste, está situado dentro de la mufla o crisol.

En los hornos de cámara es fijo y se halla ubicado en la parte posterior o superior de la mufla, en un alojamiento especial; cuando el horno es de gran longitud, puede tener más de un termopar.

En los hornos de baño, el termopar se coloca dentro del crisol apoyándolo en un dispositivo de sujeción.

Hornos eléctricos (tipos y características):

Están provistos estos hornos de un sistema de calefacción eléctrico incorporado a la cámara, donde se colocan las piezas que van a calentarse.

Son muy usados en los talleres de tratamientos térmicos, debido a la facilidad de su manejo, a la uniformidad de calentamiento y a la precisión de las temperaturas, que se desean alcanzar y el mantenimiento constante de las mismas.

Los más comunes son los denominados: de cámara y de baños de sales.

Hornos de cámara

Se emplean principalmente para realizar las operaciones de recocido, temple y normalizado, siendo necesario proteger las piezas contra la descarburación, usando cajas especiales.

Hornos de baños de sales

Se usan para efectuar tratamientos donde se requiere uniformidad en el calentamiento. En este tipo de hornos, las sales fundidas protegen directamente a la pieza, contra la descarburación.

En las figuras 11 y 12 se muestran dos tipos de hornos de uso común en el tratamiento térmico de los aceros.

Figura 11. Horno de cámara caldeado eléctricamente

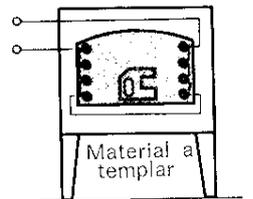


Fig. 2.67 Horno de cámara caldeado eléctricamente con espacio para el calentamiento abierto.

Fuente: Leyensetter, Tecnología de los oficios metalúrgicos. Pág. 156

Figura 12. Horno de cámara caldeado por gas

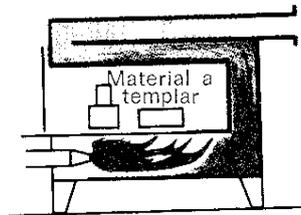


Fig. 2.68. Horno de cámara caldeado por gas con espacio para el caldeo cerrado.

Fuente: Leyensetter, Tecnología de los oficios metalúrgicos. Pág. 157

Hornos de combustión: El calor en este tipo de hornos, se consigue mediante la combustión de una mezcla de aire y combustible, la cual se efectúa mediante un dispositivo especial denominado quemador.

El aire se suministra a presión por un ventilador, y el combustible se inyecta por gravedad o por bombeo desde un depósito. Los combustibles más usados son: el fuel oil, el gas oil y el gas natural.

También son muy usados tres tipos de hornos de combustión: de mufla, de semi-mufla y verticales de crisol para baños de sales.

En los hornos de mufla la calefacción es indirecta, y los productos de la combustión, no entran en contacto con las piezas y su atmósfera es poco oxidante; se mejora esta condición si se coloca dentro de la mufla, junto o debajo de las piezas a tratar, bloques o sustancias carbonáceas.

En los hornos de semi-mufla la llama no debe tocar a las piezas, pero si los productos de la combustión, por este motivo la atmósfera de éstos hornos es oxidante, en especial a temperaturas elevadas.

En los hornos verticales de crisol para baño, el calor es entregado de la fuente calorífica a las piezas sumergidas en las sales fundidas, a través de éstas y del crisol, por este motivo el rendimiento de éstos hornos, es inferior a los de semi-mufla, pero en cambio su atmósfera se puede controlar químicamente con cierta precisión.

Tanto los hornos de mufla y semi-mufla como los de baño, están provistos de dos cámaras: una denominada cámara de combustión, donde se inflama la mezcla de aire y combustible, y otra que recibe el nombre de cámara de calentamiento, porque en ésta son calentadas la piezas que se van a tratar.

Hornos especiales: Para realizar algunos tratamientos térmicos, se utilizan hornos equipados con dispositivos especiales, siendo las más

empleados los siguientes: hornos de electrodos, hornos para tratamientos termoquímicos con gas y hornos de circulación forzada.

Hornos de electrodos: Sirven para hacer tratamientos en baños de sales, a temperaturas medias y elevadas.

Están dotados de tres electrodos, entre los cuales se hace circular una corriente eléctrica, a través de las sales fundidas que contiene el crisol del horno, este baño desempeña la función de una resistencia eléctrica.

Los electrodos están sumergidos dentro del baño y se hallan conectados a un transformador.

Hornos para tratamientos termoquímicos con gas: Sirven para efectuar algunos tratamientos termoquímicos tales como: nitruración, carbonitruración, cementación con sustancias gaseosas.

Están provistos de un sistema de preparación, control, inyección y circulación de los gases, generalmente la calefacción se consigue por medio de resistencias eléctricas. En ciertos hornos el calor se obtiene por medio de la combustión de gas.

Hornos de circulación forzada: Están equipados con un ventilador equipado en la parte superior o inferior de la cámara de calentamiento, que sirve para hacer circular la atmósfera caliente, alrededor de las piezas que se están tratando, lográndose de este modo que la temperatura sea uniforme, en todas las zonas del horno.

El calor se proporciona por medio de resistencias eléctricas, aunque últimamente se está empleando combustible gaseoso en algunos tipos de hornos modificando para esto, ciertas características del mismo.

3. PRUEBAS DE TENSIÓN EN ACEROS SAE 1018 Y ACEROS SAE 1045

3.1 Modo de efectuar la prueba

Exposición.- La prueba de tensión es uno de los medios más útiles que se emplean para determinar las propiedades mecánicas más importantes de materiales de Ingeniería. Los detalles de procedimiento de la prueba varían de acuerdo con los diferentes tipos de material, sin embargo, en la prueba de tensión ordinaria, aun cuando se trata de distintas clases de materiales, el procedimiento es el siguiente:

- a) Se efectúa a la temperatura ambiente o próxima a ésta, y
- b) La carga de tracción se aplica lentamente

También, hay pruebas que se llevan a cabo a otras temperaturas y a niveles muy elevados de carga, así como con cargas estáticas que se aplican durante largo tiempo; pero ninguna de éstas se considera como una prueba de tensión ordinaria. La exposición siguiente se refiere a las pruebas de tensión de materiales metálicos hechas, conforme a las especificaciones de la ASTM E8-61T.

Muestra.- En las figuras 3 y 4 se ilustra una muestra cilíndrica estándar que se usa para una prueba de tensión.

Los extremos de esta muestra, que se sujeta con soportes aserrados, tiene un acabado liso; para otros tipos de soportes se usan muestras con bordo o rosca en los extremos.

La muestra debe labrarse simétricamente a lo largo de su eje longitudinal, para que la carga esté distribuida uniformemente en el corte transversal.

1.2 Interpretación de los resultados

Los datos consisten en las longitudes inicial y final, L_0 y L_f , los diámetros inicial y final, D_0 y D_f , y una serie de lecturas del extensómetro, en pulgadas y las lecturas de carga correspondientes, en libras. Las lecturas del extensómetro se convierten en lecturas de deformación, dividiéndolas entre 10, y las de carga se reducen a esfuerzos, dividiéndolas entre el área del corte transversal original; luego, se hace una gráfica del esfuerzo, en función de la deformación.

El límite proporcional es el esfuerzo máximo en que el esfuerzo y la deformación permanecen directamente proporcionales. El límite proporcional se determina mediante la curva esfuerzo-deformación, trazando una línea recta tangente a la curva, en el origen, y anotando la primera desviación que tenga la curva de su linealidad. El valor obtenido para el límite proporcional, depende de la precisión de las mediciones de esfuerzo y linealidad de la escala de la gráfica. Este valor no tiene gran aplicación en los cálculos de ingeniería.

El límite elástico es el esfuerzo máximo que puede soportar el material sin sufrir deformación permanente.

Para la determinación exacta del límite elástico se requiere que la carga aumente sucesivamente a esfuerzos mayores, seguidos de una descarga, y mediciones para detectar alguna deformación permanente.

La determinación de su valor real, es igual que el límite proporcional, es una función que depende de la precisión de las mediciones.

Este hecho y la dificultad de determinarlo con exactitud, limitan mucho su utilidad en la ingeniería. Este valor no se puede determinar con los datos obtenidos en este experimento.

La resistencia al punto cedente o el esfuerzo de cedencia es el esfuerzo que produce un material, una deformación específica, permanente y limitadora.

Por debajo del límite elástico, la relación entre el esfuerzo y la deformación, en la carga y la descarga, puede considerarse idéntica, desde un punto de vista práctico. En consecuencia, no es necesario descargar una muestra para poder determinar la resistencia a punto cedente; más bien, se construye una línea paralela a la porción recta de la curva. La construcción se desplaza del origen de la curva en una cantidad igual a la deformación permanente especificada. Ver la figura 13. El esfuerzo en la intersección de la línea paralela con la curva de esfuerzo-deformación, es la resistencia a punto cedente. El desplazamiento que se usa con mayor frecuencia es a 0.2 por ciento de la resistencia a punto cedente, o sea, 0.002 pulg. de deformación / pulg. de longitud. El esfuerzo de cedencia es una medida práctica del límite de la acción elástica; siempre es mayor que el límite elástico y no es tan sensible a errores en las mediciones de deformación, como lo es el límite elástico.

Figura 13. Curvas de esfuerzo-deformación, trazadas en dos diferentes escalas de esfuerzo y deformación

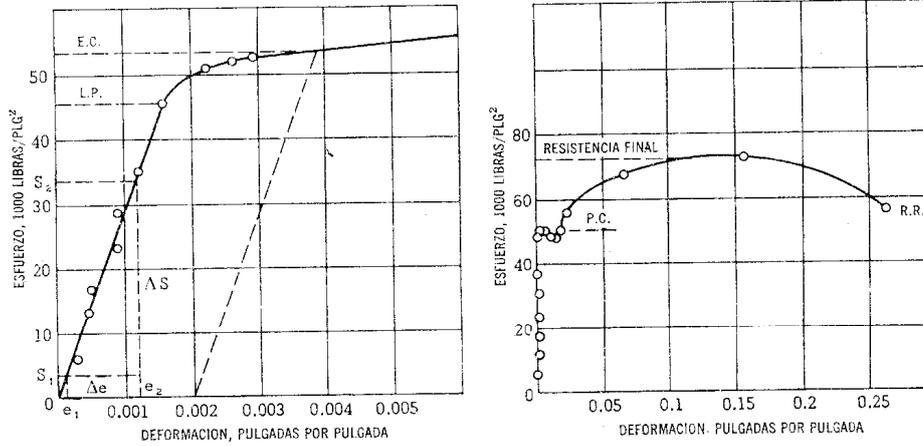


Figura 7 Curvas de esfuerzo-deformación, trazadas en dos diferentes escalas de esfuerzo y deformación.
 E.C., esfuerzo de cedencia = 53,000 lb/plg² L.P., límite proporcional = 46,000 lb/plg²
 R.F., resistencia final = 74,000 lb/plg² P.C., punto de cedencia = 50,000 lb/plg²
 E, módulo de elasticidad = $(S_2 - S_1)/(e_2 - e_1) = \Delta S/\Delta e$ E.R., esfuerzo de ruptura = 55,000 lb/plg².

Fuente: Keyser, Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales. Pág. 14

El punto de cedencia es una propiedad que tienen los aceros blandos no endurecidos y algunas otras aleaciones. Al igual que el esfuerzo de cedencia, es también una indicación del límite de la acción elástica. El punto de cedencia es un esfuerzo en el que se produce primero un aumento notable de deformación, sin que haya aumento de esfuerzo. En efecto, por lo general, hay dos puntos de cedencia: uno superior y el otro inferior, como puede verse en la figura 7. El punto superior de cedencia es el que se usará en este experimento, como el punto de cedencia. Este punto y el esfuerzo de cedencia son aproximadamente iguales.

La resistencia a la tensión (o tracción) es equivalente a la resistencia final, y se calcula dividiendo la carga máxima soportada por la muestra entre el área de la sección transversal original de la misma. Ver la figura 7.

La resistencia a la ruptura, o el esfuerzo de ruptura se determina dividiendo la carga soportada en el momento de la ruptura, entre el área de la sección transversal original de la muestra. Esta carga será inferior a la máxima, debido a que la sección transversal de la muestra se reduce en forma drástica después de que se alcanza la carga máxima. La reducción de la sección transversal produce en la muestra un cuello semejante al de los relojes de arena y que se conoce como “adelgazamiento de la muestra”.

La elongación en la ruptura se determina mediante dL/L_0 , en donde dL es el cambio en longitud, es decir, $L_f - L_0$, longitud final menos longitud inicial. La elongación o alargamiento se expresa casi siempre como porcentaje:

$$\% \text{ de elongación} = (dL/L_0) * 100$$

La reducción del área se expresa también como porcentaje y se calcula mediante:

$$\% \text{ de reducción de área} = (dA/A_0) * 100,$$

en donde dA se encuentra por medio de $A_0 - A_f$, siendo A_0 el área original y A_f la final.

El módulo de elasticidad recibe también el nombre de rigidez del material.

Este módulo en tensión se conoce como módulo de Young, y es la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación a esfuerzos inferiores al límite proporcional:

$$S := E\varepsilon$$

en donde S es el esfuerzo, ε la deformación y E el módulo de elasticidad. E se encuentra (ver la figura 7) midiendo la pendiente de la porción recta de la curva de esfuerzo-deformación:

$$E := \frac{(S_1 - S_2)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}$$

Si la curva del esfuerzo en función de la deformación pasa por 0,0 en el origen y si su porción inicial es una línea perfectamente recta, entonces se puede determinar el módulo de elasticidad a partir de cualquier esfuerzo inferior al límite proporcional, y la deformación correspondiente, dividiendo sencillamente el esfuerzo entre la deformación.

La tenacidad de un material es su capacidad para absorber energía hasta el punto de ruptura, y se determina midiendo el área que queda bajo la curva de esfuerzo y deformación. Esto no es, en realidad, una indicación exacta de la tenacidad, porque la muestra no se deforma, uniformemente en toda su longitud y, por tanto, no absorbe energía de manera uniforme en todo su volumen.

Las unidades de la tenacidad se encuentran multiplicando el esfuerzo por la deformación, es decir (libras / pulgada cuadrada x (pulgadas / pulgada), lo cual da pulgada-libra / pulgada cúbica o energía absorbida por unidad de volumen.

El aspecto de la fractura. El aspecto de la fractura en barras para pruebas de tensión (ver figura 14) depende de la composición y el historial de la muestra.

Los metales y las aleaciones dúctiles sufren fractura de copa o fractura parcial de copa. En los aceros templados de poco contenido de carbono se producen fracturas de estos mismos tipos.

Si el acero tiene un alto contenido de carbono o si se ha endurecido mediante un tratamiento térmico, tiende a producir una fractura en estrella.

El hierro fundido, que carece de ductilidad, no produce estrechamiento en forma de cuello de botella y tiene una superficie de fractura que tiende a formar un plano en ángulos rectos en la dirección de la carga.

Figura 14. Fracturas Típicas

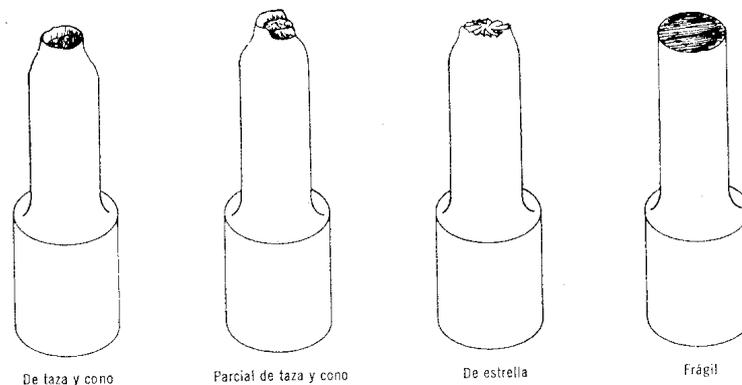


Figura 8 Fracturas típicas.

Requisitos del informe

- a) Datos para la prueba de tensión, cálculos respecto a la muestra, etc.

- b) Resumen de los resultados numéricos.

- c) Hacer una gráfica de los datos de esfuerzo y deformación en una escala que permita una buena determinación del módulo de elasticidad y el esfuerzo de cedencia.

- d) Hacer una gráfica de los datos de esfuerzo y deformación en una escala que muestre toda la curva de esfuerzo y deformación hasta el punto de ruptura.

- e) Contestar cualquiera de las preguntas formuladas durante la sesión de laboratorio.

1.3 Modelo de hoja de datos

Ilustración 15. Modelo de hoja de datos para pruebas de tensión

Carga, lb	Escala, plg	Esfuerzo, lb/plg ²	Deformación, plg/plg	Carga, lb	Longitud, plg	Esfuerzo, lb/plg ²	Deformación, plg/plg
	.002				2.125		
	.004				2.250		
	.006				2.375		
	.008				2.500		
	.010						
	.015						
	.020						
	.025						
	.030						
	.035						
	.040						
	.050						
	.060						
	.070						
	.100						

Carga final _____	libras	Resistencia final _____	lb/plg ²
Carga de ruptura _____	libras	Resistencia a la ruptura _____	lb/plg ²

D ₀ = _____	D _r = _____	Operador de carga _____	Nombre _____
A ₀ = _____	L _r = _____	Lector de carga _____	
A _r = _____	L ₀ = _____	Lector del extensómetro _____	
ΔA = _____	ΔL = _____	Registrador _____	
		Encargado de las gráficas _____	

1.4 Modelo de hoja de resumen para presentación de resultados

Figura 16. Modelo de hoja de resumen para pruebas de tensión

RESUMEN. PRUEBA DE TENSION		Nombre _____
Composición _____	Historial _____	
Límite proporcional = _____ lb/plg ²	Resistencia a la ruptura = _____ lb/plg ²	
Resistencia final = _____ lb/plg ²	Punto de cedencia = _____ lb/plg ²	
Esfuerzo de cedencia = _____ lb/plg ²	Módulo de elasticidad = _____ lb/plg ²	
Tenacidad = _____ plg-lb/plg ²		
% de elongación = _____	% de reducción del área = _____	
Dibujar la fractura (abajo)		

Fuente: Keyser, Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales. Pág. 18

Figura 17. Modelo de hoja de problemas para pruebas de tensión

PROBLEMAS DE LA PRUEBA DE TENSION Nombre _____

$D_o = 0.503$ plg $D_f = 0.338$ plg

$A_t =$ $L_t = 2.313$ plg

$A_o =$ $L_o = 2.000$ plg

$\Delta A =$ $\Delta L =$

Carga, lb	Escala, plg	Esfuerzo, lb/plg ²	Deformación, plg/plg	Carga final = 17,200 lb
				Carga de ruptura =
				15,500 lb
1180	0.002			
2440	0.004			
3570	0.006			
4760	0.008			
5950	0.010			
8930	0.015			
11740	0.020			
13700	0.025			
14690	0.030			
15290	0.035			
15780	0.040			
16520	0.060			
17200 L	2.125 plg			
15500 L	2.313 plg			

1. Calcular los esfuerzos y las deformaciones.
2. Hacer la gráfica de dos curvas de deformación y esfuerzo en dos escalas de deformación apropiadas, una para la determinación del esfuerzo de cedencia, el módulo de elasticidad y el límite proporcional, y la otra, para encontrar el módulo de tenacidad.
3. Calcular el porcentaje de elongación en el momento de la ruptura y el porcentaje de reducción del área.

4. ESTUDIO DEL TAMAÑO DE GRANO EN ACEROS SAE 1018 Y SAE1045 MEDIANTE PRUEBAS DE TRATAMIENTOS TERMICOS DE NORMALIZACION, TEMPLE Y REVENIDO

4.1 Procedimiento de ejecución

Este experimento se lleva a cabo mejor en grupos de tres a cinco estudiantes, trabajando en dos o tres períodos de laboratorio. Puede realizarse también como experimento de demostración, para grupos más numerosos, en un solo período de laboratorio, si algunas o todas las muestras han sido tratadas térmicamente, montadas, pulidas y atacadas con ácido.

Si se enfrían piezas de acero al carbono hipoeutectoide, con un contenido fijo de carbono, a partir de la condición austenítica, a un ritmo muy lento, por ejemplo, en un horno, se formarán cantidades de equilibrio de perlita gruesa y ferrita. Al aumentar lentamente la rapidez de enfriamiento, la perlita se hace más fina y disminuye la proporción de ferrita. Esto ocurrirá en piezas pequeñas, enfriadas con un chorro de aire o en aceite caliente. Aumentando todavía más la rapidez de enfriamiento, se formará en las fronteras granulares de austenita una dispersión fina y negra de ferrita más carburo, seguida de una formación de martensita en los centros de los granos. Esta estructura puede resultar en muestras bastante delgadas, enfriadas por inmersión en aceite frío.

Si la rapidez de enfriamiento es extremadamente grande, como cuando se usa la inmersión en agua o en salmuera helada, la estructura puede parecer completamente martensítica.

La estructura exacta dependerá de la composición del acero (que determina la posición de la curva T-T-T) y la velocidad de enfriamiento desarrollada en varios puntos de las muestras (lo cual queda determinado por el tamaño y la forma de la muestra, el tipo y la temperatura del medio enfriador y el grado de agitación durante el enfriamiento). Esos cambios irán acompañados por un aumento gradual de la dureza, hasta alcanzar una velocidad de enfriamiento que produzca una estructura totalmente martensítica. Más allá de este punto, las velocidades mayores de enfriamiento no incrementan la dureza.

Tratamiento térmico del acero

Si se enfría por inmersión un pedazo de acero, para obtener una estructura martensítica al 100%, ésta será muy dura y quebradiza.

Mediante el recalentamiento del acero a una temperatura por debajo de la gama austenítica, puede restaurarse parcialmente la ductilidad, aunque la dureza se verá afectada (sin embargo, hay unas cuantas excepciones en lo tocante a este comportamiento). El proceso se conoce como templado.

Si se utiliza una temperatura fija de templado, se descubrirá que la dureza disminuye con rapidez al principio y luego cada vez con mayor lentitud, a medida que aumenta el tiempo de templado.

El templado transforma la martensita recién formada, que es atacada por ácidos lentamente y se conoce como martensita blanca, en una forma que es atacada con mayor rapidez y que se conoce como martensita templada, llamada a veces martensita amarilla.

La martensita fresca es una solución sólida supersaturada de carbono en hierro tetragonal centrado en el cuerpo; la martensita templada es una dispersión fina de hierro-carburo, en hierro cúbico centrado en el cuerpo.

Si se enfrían por inmersión pedazos pequeños de acero, que representen una serie creciente de contenidos de carbono, para obtener un 100 por ciento de martensita, se observará que la dureza aumente con rapidez, hasta un contenido de, aproximadamente, 0.6 por ciento de carbono. Mas allá de este contenido de carbono, no se incrementa la dureza de la martensita. Es preciso hacer notar que esta generalización se refiere al contenido de carbono de la martensita, no del acero. Por ejemplo, si se encuentran presentes formadores de carburo, en cantidades apreciables, el carbono puede negársele a la martensita, de tal modo que el carbono estará presente como fase de carburo, que no contribuye a la dureza de la martensita.

4.2 Interpretación de resultados

a) Efecto de la rapidez de enfriamiento por inmersión sobre las propiedades del acero. Perforar orificios pequeños en cuatro de los cinco pedazos de aceros SAE 1018 y SAE 1045, haciendo pasar por ellos ganchos de alambre, con el fin de que las piezas puedan retirarse individualmente del horno para ser enfriadas por inmersión en diferentes medios. Las piezas deben marcarse con letras o con marbetes numerados, para su identificación.

Colocar las cinco piezas en un horno precalentado (de preferencia de control atmosférico), a 1600 F, durante 45 minutos (puede efectuarse simultáneamente el calentamiento de las demás muestras, para las porciones restantes del experimento). Enfriar las muestras de acero SAE 1018 Y SAE 1045 como sigue:

Enfriamiento en el horno. Dejar la muestra sin orificio en el horno, con el fin de que pueda enfriarse en él, después de cortar el suministro de calor. Anotar aquí la identificación de la muestra _____.

Enfriamiento por chorro de aire. Retirar del horno una pieza de acero SAE 1018 y soplar hacia ella vigorosamente, con la boca o por medio de una manguera de aire, hasta que pierda su brillo. El mismo procedimiento con la muestra de acero SAE 1045. Anotar aquí su identificación _____

Enfriamiento en aceite. Retirar otra pieza de acero SAE 1018 del horno y sumergirla en aceite a la temperatura ambiente. Agitar la pieza fuertemente durante un minuto. Lo mismo con otra muestra de acero SAE 1045. Debe anotarse aquí su identificación _____.

Enfriamiento por inmersión en agua. Igual que para el enfriamiento en aceite, pero usando agua clara a la temperatura ambiente. Anotar aquí su identificación _____.

Enfriamiento por inmersión en salmuera helada. Llenar a medias un vaso de precipitados con hielo machacado. Mezclar en el hielo tres cucharaditas de sal y llenar el vaso con agua. Agitarlo hasta que la temperatura se encuentre muy por debajo de los 32 F.

Retirar la última de las cinco muestras y enfriarla en la salmuera helada, agitándola. Anotar su identificación aquí _____.

En caso necesario, puede usarse un esmerilador de superficies, para limpiar y alisar las superficies de las muestras tratadas térmicamente.

Luego, en uno de los lados de cada muestra se toman cinco lecturas de dureza *Rockwell*, y se registran los valores en la tabla que hay más

adelante. Debe observarse que la escala R_B se usa para las muestras enfriadas en el horno y al aire, y que se emplea la escala R_C para las demás. Los valores de resistencia a la tensión se obtienen a partir de una tabla de dureza en función de la resistencia a la tensión.

Figura 18. Tabla de dureza en función e la resistencia a la tensión

<i>Identificación</i>	<i>Enfriamiento</i>	<i>Lecturas de dureza</i>					<i>Promedio</i>	<i>Resistencia a la tensión</i>
	Horno						R _B	
	Aire						R _B	
	Aceite, 70°F						R _C	
	Agua, 70°F						R _C	
	Salmuera helada						R _D	

Fuente: Keyser, *Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales*. Pág. 54

Esmerilar un borde de cada una de las muestras para llegar bajo cualquier película descarburizada. Pulir esa superficie plana, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

Corte transversal. Por lo general, se deben cortar uno o varios trozos pequeños del objeto que va a examinarse.

La ubicación de estas muestras y la forma en que se corten afectarán los resultados y su interpretación. Por ejemplo, una varilla de acero estirado en frío puede cortarse en tal forma que quede expuesta una sección transversal o una longitudinal, y ambas secciones variarán notablemente en su aspecto. En el caso del acero (y de algunas otras aleaciones), es necesario evitar el calentamiento de la muestra al hacer el corte. Si el acero se ha enfriado por inmersión en agua, el calor producido al hacer el corte puede ser suficiente para templearlo y alterar el aspecto de la superficie, que más tarde deberá pulirse y atacarse con ácido. Casi siempre es conveniente realizar los cortes bajo el agua o hacerlos muy

lentamente y utilizando alguna sustancia para enfriar, a fin de que el calor generado en la pieza no altere su estructura.

Montaje.- Si la muestra que va a examinarse es lo suficientemente grande para que pueda sujetarse bien con la mano, no es necesario montarla.

No obstante, la mayoría de las veces la muestra es demasiado pequeña para que pueda sostenerse en esta forma (por ejemplo, un tramo de varilla, alambre o lámina), mientras se esmerila o pule. El montaje puede efectuarse de varias maneras. En la figura 18 se muestran unos sujetadores tipo tenazas. La muestra puede encerrarse también en una resina epóxica de dos compuestos, que se solidifican después de que se mezclan y vacían; asimismo pueden usarse resinas termoplásticas transparentes. Al emplear esta técnica, la muestra se coloca en un molde con plástico en polvo, luego se aplican calor y presión hasta que el plástico se suaviza y densifica. El enfriamiento se logra a presión, hasta que el plástico se endurece, y por último se saca del molde el objeto ya montado.

Un método más económico y algo más rápido consiste en usar dos resinas termofraguables en lugar de dos termoplásticos. En la figura 19 se muestra un montaje típico.

Figura 18. Montaje para sujeción de muestras metalográficas

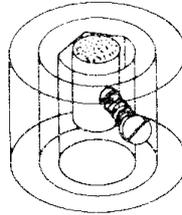


Figura 1

Fuente: Keyser, Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales. Pág. 70

La superficie de la muestra que va a examinarse se coloca cara abajo sobre la placa de base y el cilindro se desliza sobre la muestra y la placa.

Luego se llena el cilindro con baquelita, hasta la mitad o $2/3$ de su volumen. Puesto que la baquelita se compacta, pero la muestra no cambia de tamaño, es necesario llenar a mayor altura cuando la muestra es pequeña, que cuando es grande, a fin de tener un montaje con las dimensiones convenientes. Después, el émbolo se inserta en el cilindro y alrededor del ensamblaje se coloca un calentador o elemento térmico.

Luego, ambos se colocan entre las planchas de una prensa y se inserta un termómetro a través de un soporte, por la plancha superior, hasta el cilindro. La presión se aplica mientras se continúa el calentamiento.

Aproximadamente a 140 F(60 C), la baquelita en polvo se suaviza y entonces se reduce la presión. Esta debe mantenerse a alrededor de 3,500 lb/plg² hasta que la temperatura llegue a 148 C(300 F).

En este punto, el plástico se habrá endurecido y entonces puede eliminarse la presión; luego puede extraerse la muestra ya montada.

Cuando esté lo suficientemente fría para poder manejarse, se puede iniciar el esmerilado.

Figura 19. Montaje de molde típico para muestras metalográficas

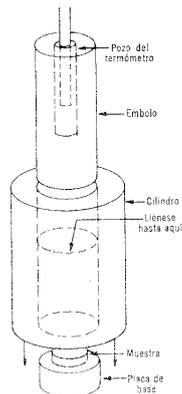


Figura 2

Fuente: Keyser, *Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales*. Pág. 70

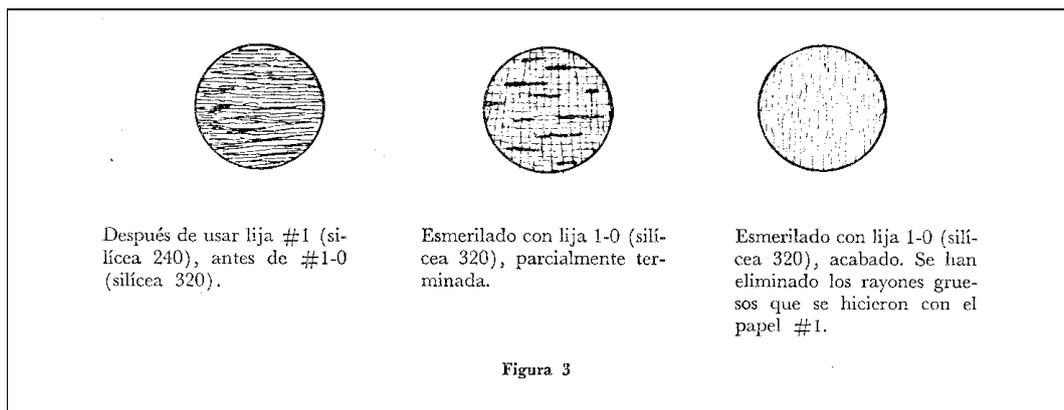
Esmerilado y pulido.- El esmerilado grueso se logra mejor en un esmeril húmedo de banco o en una acabadora de superficies de bandas húmedas, usando bandas de granos 120 y 140. El objetivo del esmerilado es obtener una superficie plana, libre de toda huella de marcas de herramientas, y en la que todas las marcas del esmerilado sigan la misma dirección.

Se puede esmerilar en seco a condición de que se tenga cuidado de no producir cambios estructurales por el sobrecalentamiento de la muestra. Luego, la muestra se lava y se seca antes de pasar de una etapa de la operación de esmerilado a la siguiente.

Pulido mediano. Este proceso se efectúa usando granos cada vez más finos de lija metalográfica para esmerilar. Una serie de lijas recibe la

asignación de los números 1, 1-0, 2-0, 3-0 y 4-0 en orden progresivo de finura. La lija se sostiene sobre una superficie plana y dura, que puede ser acero o vidrio, y la muestra se talla sin seguir un movimiento rotatorio, sobre el papel de lija. Cuando se termina de esmerilar con un tipo de lija, las marcas deben estar todas en la misma dirección, como se indica en la figura 3. Antes de proseguir con la siguiente lija más fina, deben lavarse y secarse con cuidado tanto las manos como la muestra. Ahora, la muestra debe desplazarse en tal forma que las rayas hechas por las distintas lijas formen ángulos rectos con las del inmediatamente anterior. Así puede verse con claridad si se han eliminado las rayas más gruesas que se hicieron en la operación anterior. Ver la figura 20.

Figura 20. Muestras metalográficas con pulido mediano



Fuente: Keyser, *Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales*. Pág. 71

Pulido fino. Este procedimiento se basa en el uso de una rueda cubierta con una tela, cargada con una suspensión de alúmina de grano 400.

Periódicamente, se deben aplicar unas gotas de detergente en solución y agua, para mejorar la acción cortante y la limpieza.

Al principio, la muestra se sostiene en una posición sobre la rueda, sin hacerla girar, hasta que se hayan eliminado la mayoría de las marcas anteriores. Luego puede hacerse girar con lentitud en sentido contrario a

la rotación de la rueda, hasta que sólo puedan verse las marcas de la alúmina. La rotación de la muestra reduce a un mínimo el peligro de formación de ranuras, por las que se extraen del metal partículas precipitadas.

Se procede a hacer el pulido sólo después de lavar con sumo cuidado tanto las manos como la muestra, a fin de evitar cualquier contaminación de la rueda de pulido. A esta rueda cubierta de tela se le aplica una suspensión de alúmina de grano 600.

La muestra se hace girar con lentitud en sentido contrario al de la rotación de la rueda y se pule hasta que desaparecen las marcas dejadas por la alúmina anterior.

Si los pasos descritos se realizan debidamente, este pulido no debe requerir más de dos minutos. Los resultados del pulido pueden mejorar si la última etapa de pulido se efectúa en una rueda de baja velocidad.

Para pulir aceros dulces casi siempre es conveniente usar una alúmina de grano 600. En otros metales y aleaciones pueden lograrse mejores resultados si se acaban con alúmina rebajada, óxido de magnesio, diamante en polvo o algún otro de los muchos compuestos pulidores de que se dispone. Para encontrar los métodos recomendados, deberá consultarse la bibliografía. Con frecuencia se usa un sistema electroquímico para hacer el pulido, utilizando una celda electrolítica similar a las que se usan para la electrodeposición, sólo que aquí la celda se opera en forma inversa. Esto desaloja átomos metálicos de la superficie de la muestra.

Puesto que la densidad de corriente es máxima en los puntos elevados y los resaltos de la superficie, se retira más metal de esos lugares que de los puntos bajos y las grietas. Así, el electropulido ejerce una acción de

igualación y pulido. El electropulido es más apropiado para el acabado de gran número de muestras idénticas, puesto que requiere ajustes y control cuidadosos. Por otra parte, algunos de los mejores electrólitos constituyen un peligro de explosión.

Ataque con ácidos.- Un reactivo común para atacar el acero dulce es el nital, que consiste de 5 por ciento de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico.

El nital se vierte en un plato y la muestra, lavada y secada previamente, se frota suavemente con una estopa de algodón impregnada de nital. Por lo común, son suficientes de tres a cinco segundos para que el ataque químico sea adecuado. Inmediatamente después se lava la muestra con agua corriente, se enjuaga con alcohol y se seca mediante un chorro de aire.

Como se indica en la bibliografía, para otros metales y aleaciones se usan diferentes reactivos. Se recomiendan también técnicas de inmersión, en vez del frotado, para ciertos metales y aleaciones.

Examen microscópico.- La muestra se coloca en la placa de un microscopio metalúrgico, de modo que su superficie esté perpendicular al eje óptico. Puede observarse con ampliaciones diferentes, pero si se examina a 500X deben aparecer claramente las laminaciones de perlita, en una muestra de acero completamente recocido. Si la muestra no ha sido suficientemente atacada por el ácido, las laminaciones serán débiles o invisibles.

Si por el contrario el ataque con ácido ha sido excesivo, la perlita será muy negra y las laminillas individuales aparecerán indistintamente.

A veces un repulido muy ligero, durante cinco o diez segundos, seguido de otro ataque con ácido, mejorará la claridad de la imagen. Con frecuencia eso no es necesario, si el ataque con ácido se produce por frotación y no por inmersión.

Cuando todas la muestras estén pulidas, deben atacarse ligeramente en nital, durante 3 segundos y ser lavadas, enjuagadas con alcohol y secadas.

Luego, hay que atacar cada una de las muestras, durante exactamente cinco segundos (usar un cronómetro) en nital, enjuágueselas inmediatamente en agua corriente, luego en alcohol, y séquense.

Observar las muestras a 500X y dibujar sus microestructuras abajo.

Identificar todos los constituyentes.

- b) Efecto del tiempo sobre los resultados del templado. Colocar la muestra de SAE 1018 y SAE 1018 en un horno precalentado a 1333 F y 1650 F , respectivamente durante suficiente tiempo suficiente para la conversión final a una estructura denominada austenita homogénea (para una información detallada consultar la Tesis titulada: diagrama hierro-carbono y sus observaciones metalográficas, que aparece en la bibliografía). Esmerilar la superficie, si es necesario y, luego, tomar tres lecturas de dureza Rockwell de la muestra, en la condición en que se encuentre después del enfriamiento por inmersión. Registre los resultados abajo.

Esto permitirá una comparación con la martensita no templada de las muestras SAE 1018 y SAE 1045, enfriada por inmersión en salmuera helada, de la fase inicial del ensayo.

Dibujar la microestructura de las muestras templadas SAE 1018 y SAE 1045, pulidas y atacadas con ácido, en el espacio siguiente.

- c) Efecto del contenido de carbono sobre la dureza de la martensita.
Las piezas de acero de aleación deben calentarse a durante un tiempo determinado en minutos y, a continuación, enfriarse por inmersión en agua, con una agitación vigorosa. Después del enfriamiento por inmersión, se debe esmerilar la superficie, según se necesite, medir la dureza, al menos en tres puntos, y registrar los resultados en la tabla siguiente:

Tabla 2. Comparación de dureza *Rockwell* en aceros

PRUEBA No.	TIPO DE ACERO	
	ACERO SAE 1018	ACERO SAE 1045

4.3 Presentación de resultados

- a) Representar gráficamente el cambio de dureza RC (comparándola con la dureza de enfriamiento por inmersión) en función del tiempo de templado en el horno.
- b) Representar gráficamente la dureza RC en función del contenido de carbono.
- c) Responder a las preguntas siguientes:
 1. Comparar las microestructuras de las muestras enfriadas en el horno, aire, aceite, agua y salmuera. ¿Qué le pasa a la cantidad de perlita y de ferrita presentes, al aumentar la rapidez de enfriamiento? ¿Cómo afecta esto a la resistencia, a la cedencia y la ductilidad? ¿Por qué?
 2. ¿Qué ocurre con el grado de finura de las laminaciones de perlita en las muestras citadas en la pregunta 1?
 3. ¿Por qué las muestras enfriadas por inmersión en agua y salmuera helada son más duras que las enfriadas más lentamente?
 4. Analizar los efectos del tamaño y la forma de la pieza sometida a tratamiento térmico sobre la profundidad de endurecimiento lograda mediante un enfriamiento dado.
 5. ¿Para qué sirve el templado?
 6. ¿Qué efectos tiene el templado?
 7. ¿Cómo se relaciona el tiempo y la temperatura de templado?

8. ¿Cómo afecta el contenido de carbono a la dureza de la martensita fresca?

9. Comparar la microestructura de la martensita fresca y de la templada, cuando ambas reciben el mismo tratamiento de ataque con ácido.

CONCLUSIONES

1. Con la elaboración de una guía de prácticas de laboratorio para estudio de principales propiedades mecánicas de los aceros de mayor comercialización en Guatemala, se da el primer paso hacia la obtención de una serie de documentos de apoyo técnico para la industria de la construcción en Guatemala.
2. Por la investigación efectuada en cuanto a las propiedades mecánicas, por medio de pruebas de tensión, se concluye que existe gran desconocimiento de las mencionadas propiedades, por lo que se da una definición bastante profunda de las mismas.
3. Mediante la información recabada en cuanto al tratamiento térmico de normalización, temple y revenido para el acero SAE 1018 y acero SAE 1045, se comprueba la estrecha relación entre la estructura cristalina y las propiedades mecánicas los mencionados aceros.
4. El análisis en la observación metalográfica puede determinar el porqué de las fallas mencionadas en la presente tesis.
5. La temperatura, el trabajo mecánico, la solubilidad de distintos elementos son variables que influyen en la estructura metalográfica de los metales, de cuyo examen pueden deducirse leyes y puntos de vista de mayor interés para la obtención de metales con mejores propiedades determinadas.

RECOMENDACIONES

A manera de complemento académico, se recomienda la continuación de investigaciones en la misma línea de análisis del presente trabajo, es decir, relaciones diagrama esfuerzo-deformación con el diagrama Fe-C, a manera de ir enriqueciendo el conocimiento tanto macroscópico como microscópico que hasta el momento se tiene de los aceros de mayor comercialización en Guatemala como lo son aceros SAE 1018 y aceros SAE 1045, combinando las instrucciones dadas con otro tipo de tratamientos térmicos, tales como: recocido, revenido y nitrurado Tenifer.

Finalmente para la ejecución de una buena práctica deben observarse cuidadosamente los siguientes aspectos:

1. Es importante tener bien claro el diagrama esfuerzo-deformación, ya que de esto dependerá la mejor comprensión de las observaciones.
2. El diagrama esfuerzo-deformación, está íntimamente ligado con la estructura cristalina del metal en estudio, en nuestro caso se citan arriba, por lo que debemos tener un conocimiento adecuado de los diferentes tipos de estructuras relacionados con los mismos.
3. Las pruebas de dureza, resistencia y observación metalográfica son necesarias cuando se necesita encontrar las consecuencias de las fallas de los aceros en estudio.

4. Asimismo, es de importancia capital contar con un conocimiento amplio del diagrama hierro-carbono, ya que así como el diagrama esfuerzo-deformación, el mencionado diagrama juega un papel de primer orden en la selección correcta de los mencionados aceros.

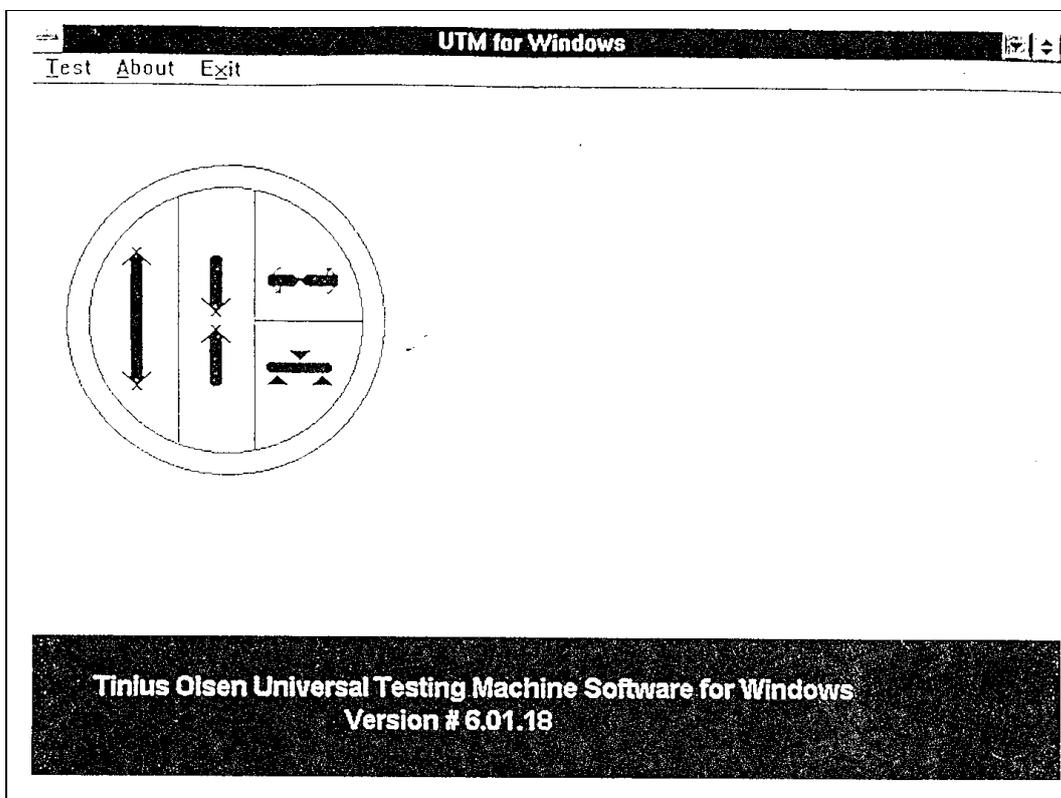
BIBLIOGRAFÍA

1. Askeland, Donald, **La ciencia e Ingeniería de los materiales**, México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1985.
2. Avner, Sydney, **Introducción a la metalurgia física**, 2ª. Edición, México: Editorial McGraw-Hill, 1988.
3. Keyser, Carl, **Ciencia de los materiales para ingeniería**, México: Editorial Limusa, 1972.
4. Keyser, Carl, **Técnicas de laboratorio para pruebas de materiales**, México: Editorial Limusa, 1972.
5. Leyensetter, **Tecnología de los oficios metalúrgicos**, 7ª. Edición, España: Editorial Reverté, 1975.
6. Nash, William, **Resistencia de materiales**, México: Editorial McGraw-Hill, 1970.
7. Valiente, Antonio, **Diccionario de Ingeniería Química**, México: Adisson Wesley Longman, 1990.

ANEXO

Instructivo para manejo de programa de ensayos de tracción de máquina *tinus olsen*

Figura 23. Pantalla inicial de programa para ensayos de tracción



Fuente: Manual de operación *Tinus Olsen*. Pág. 1

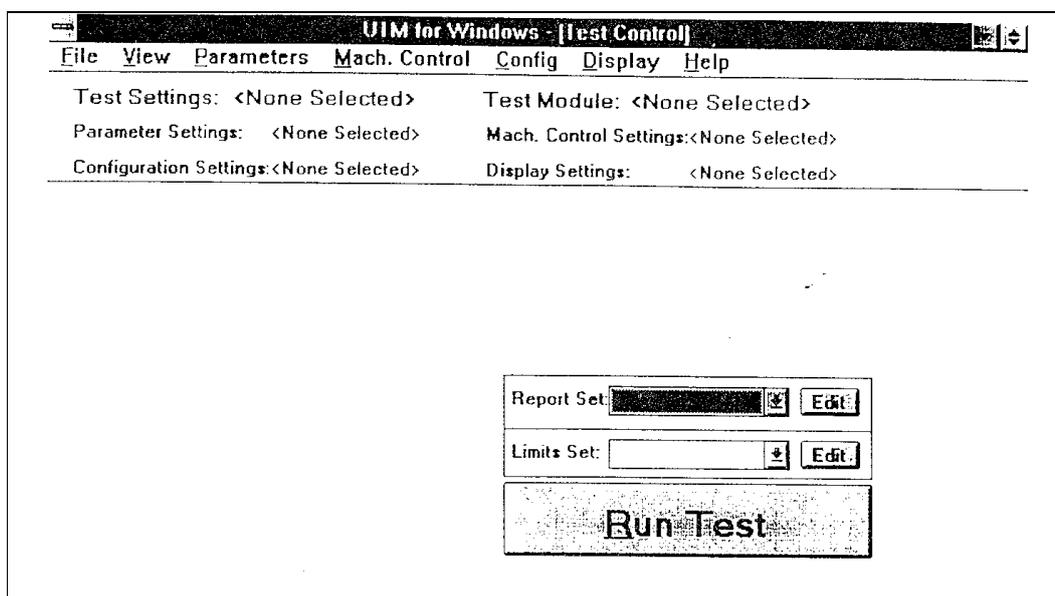
Esta será la primera pantalla que iendo verá del programa, la cual le da tres opciones de selección en la barra de tareas:

Test: ingresa al programa de ensayo de tracción

About: presentará un cuadro con los datos del programa, direcciones, y correo electrónico de *Tinius Olsen* para cualquier consulta.

Exit: sale del programa e ingresa al administrador de programas de *Windows*.

Figura 24. Pantalla para selección inicial

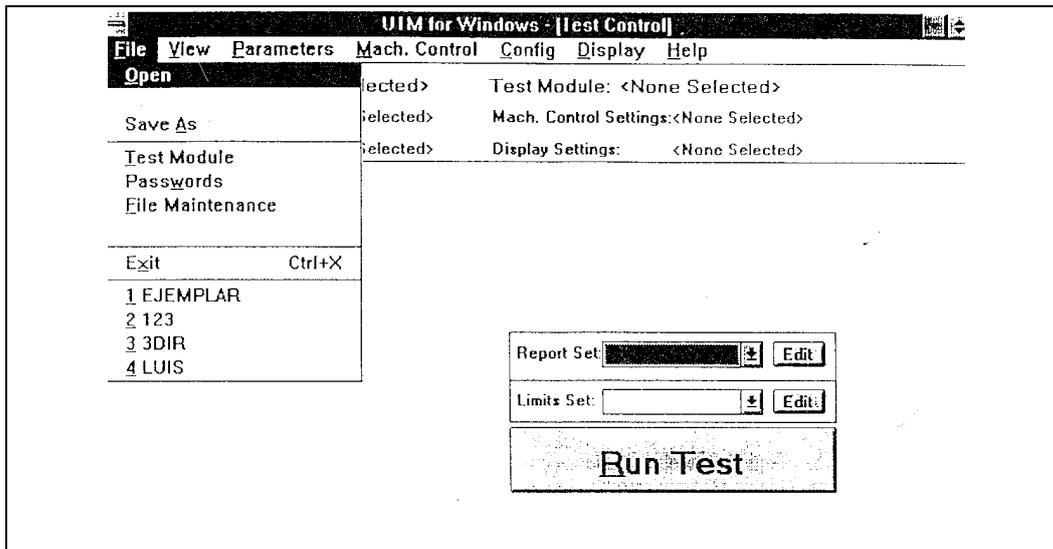


Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 2

Luego de seleccionar *test* de la pantalla anterior veremos esta pantalla la cual no tiene nada seleccionado. Veremos en la parte superior de la pantalla la barra de tareas, la cual nos va a permitir operar el programa.

Las opciones de esta barra se explicarán a continuación:

Figura 25. Búsqueda en menú de inicio



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 3

Haciendo un clic (botón izquierdo del *mouse*) en Files se desplegará un cuadro con distintas opciones:

Open: abrirá un cuadro en el cual podremos seleccionar archivos ya preestablecidos con los parámetros que se necesitan para el ensayo.

Para seleccionar un archivo, se hará un solo clic (botón izquierdo del *mouse*) en el archivo a elección y luego otro en *OK*.

Save: guarda los cambios de seteo del archivo que está utilizando.

Save as: guarda los cambios que hallan realizado con otro nombre, el cual usted escribirá (siempre es aconsejable que seleccione un nombre el cual pueda ser recordado para futuros ensayos), este nuevo nombre no podrá ser igual a otro.

Test Module:

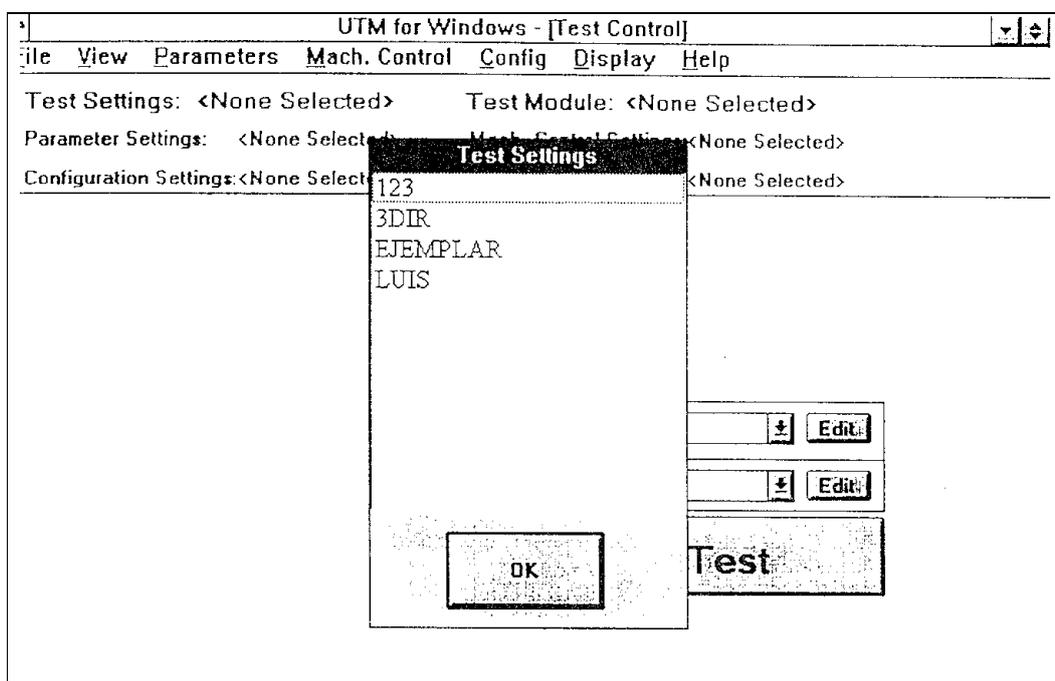
Password: le pedirá que ingrese una clave la cual solo usted sabrá (esto se realiza si no quiere compartir sus archivos con otros usuarios), luego de haber ingresado la clave el programa le pedirá que vuelva a ingresarla para confirmar.

File Maintenance:

Print Preview:

Exit: sale del programa y lo devuelve al administrador del programa. Si ha realizado cambios se le pedirá si quiere guardarlos.

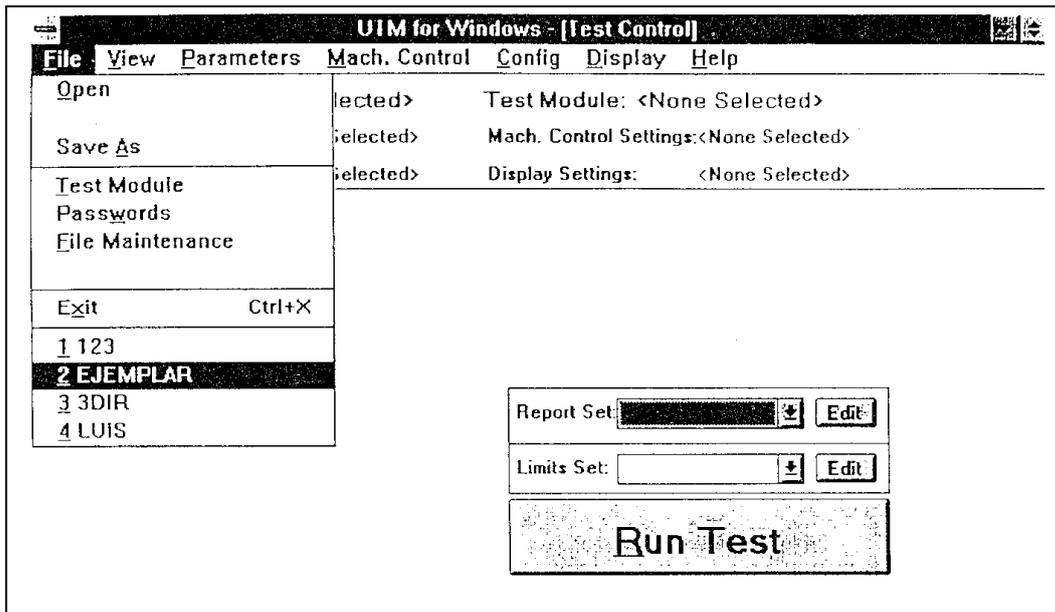
Figura 26. Ejemplos de prueba



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 4

Seleccionando **Files**, y luego **Open**, este será el cuadro que observaremos para seleccionar un archivo, haciendo un clic en un archivo a su elección y dando **Ok** con un solo clic

Figura 27. Pantalla de selección de archivos



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 5

Seleccionando **Files**, se verá en la parte inferior del cuadro desplegado los últimos cuatro archivos utilizados, haciendo un solo clic en el archivo a seleccionar (para este ejemplo utilizaremos el archivo **ejemplar**) se seteará el programa para el ensayo.

Figura 28. Pantalla de parámetros de inicio

The screenshot shows the 'UTM for Windows - [Test Control]' application window. The menu bar includes 'File', 'View', 'Parameters', 'Mach. Control', 'Config', 'Display', and 'Help'. The main area displays the following settings:

Test Settings: Ejemplar	Test Module: Metals Tensile
Parameter Settings: EJEMPLAR	Mach. Control Settings:EJEMPLAR
Configuration Settings:EJEMPLAR	Display Settings: EJEMPLAR

Below the settings are several input fields:

No. de Pieza:	<input type="text" value="1"/>	No. De Muestra: inc= 1	<input type="text" value="1"/>
Proveedor:	<input type="text" value="siderar"/>	ID de la bobina:	<input type="text" value="1"/>
Material:	<input type="text" value="acero"/>		
Description:	<input type="text" value="prueba"/>		
Operator:	<input type="text" value="ale"/>		

At the bottom right, there are two dropdown menus for 'Report Set' and 'Limits Set', both currently set to 'Ejemplar', each with an 'Edit' button. Below these is a large 'Run Test' button.

Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 6

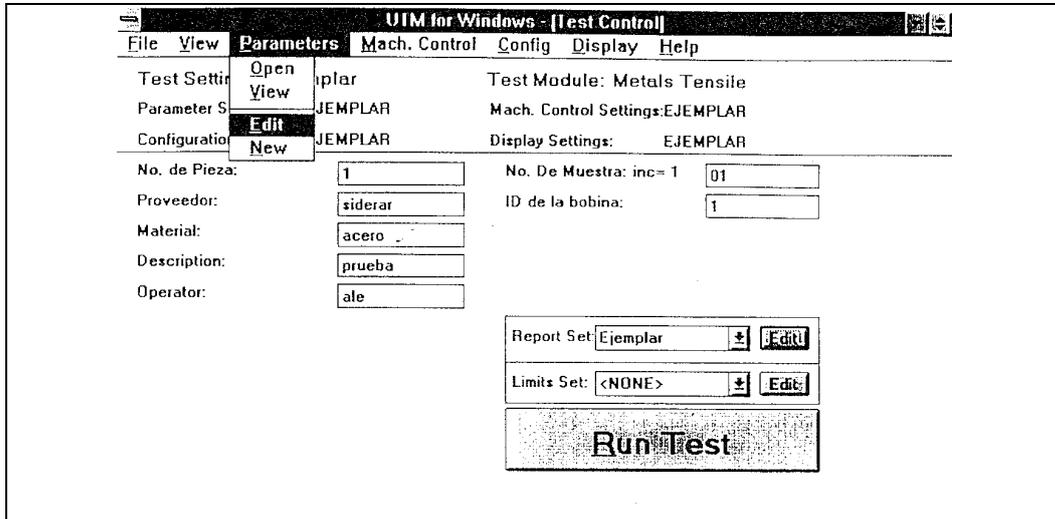
Luego de seleccionar **ejemplar** la pantalla cambiará y se completará las líneas que antes estaban con las leyendas **<None Selected>**.

En el casillero **Report Set** y **Limit Set** del cuadro inferior se completarán (esto se verá mas adelante).

Los casilleros que se encuentran en el sector del medio podrán ser cambiados con solo llevar el puntero del *mouse* y hacer un solo clic.

Si estamos de acuerdo con todos los parámetros, límites y seteos del archivo se podrá comenzar el ensayo con solo hacer un clic en **Run Test**.

Figura 29. Pantalla de inicio de ensayo



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 7

Seleccionando en la barra de herramientas **Parameters** nos muestra las siguientes opciones:

Open: abre un cuadro.

View: nos muestra el seteo de parámetros, no es posible realizar ningún tipo de modificación sobre el seteo seleccionado.

Edit: presenta un cuadro igual que **View**, pero permite realizar modificaciones en cualquiera de las opciones, las mismas luego deberán ser salvadas:

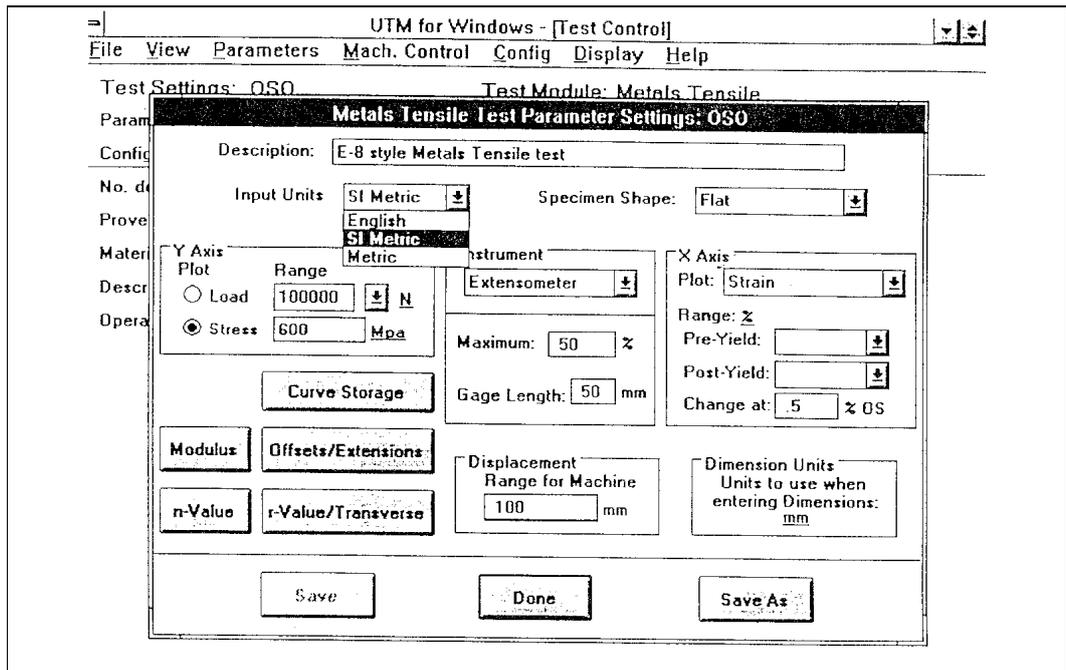
Save: guarda los cambios bajo el mismo nombre

Save as: guarda los cambios bajo otro nombre de archivo

Done: vuelve al estado inicial de la pantalla, preguntándole si desea guardar los cambios realizados.

New: edita un nuevo parámetro desde el principio.

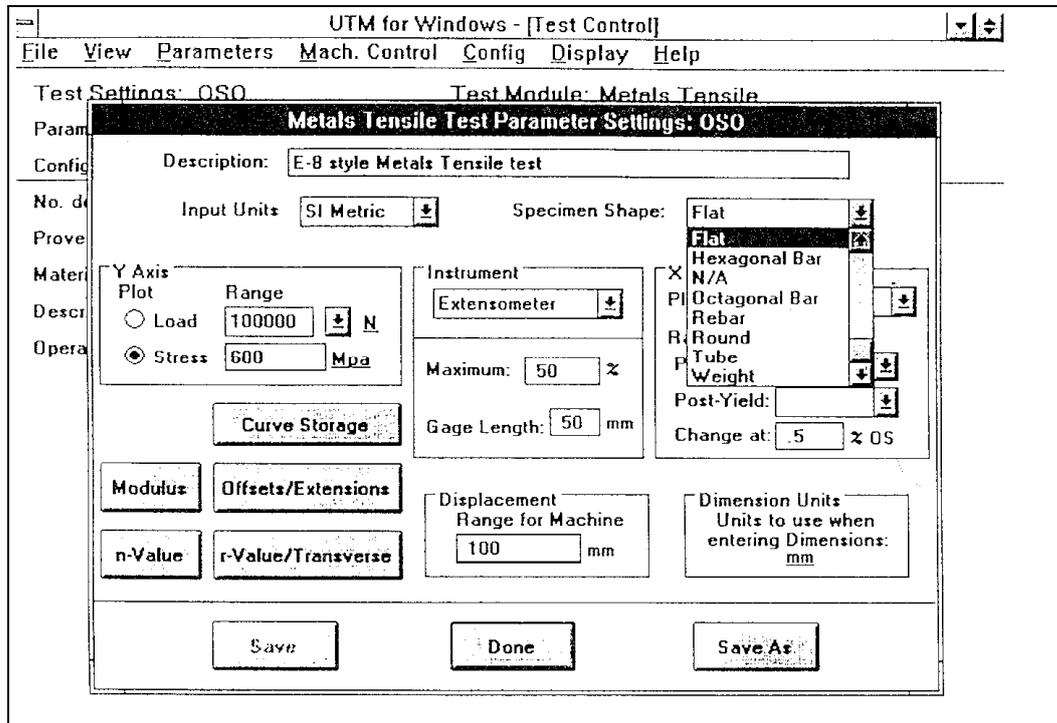
Figura 29. Pantalla para seleccionar sistema de unidades



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 8

Input Units: esta opción nos permite seleccionar el tipo de unidad que luego nos presentará el reporte.

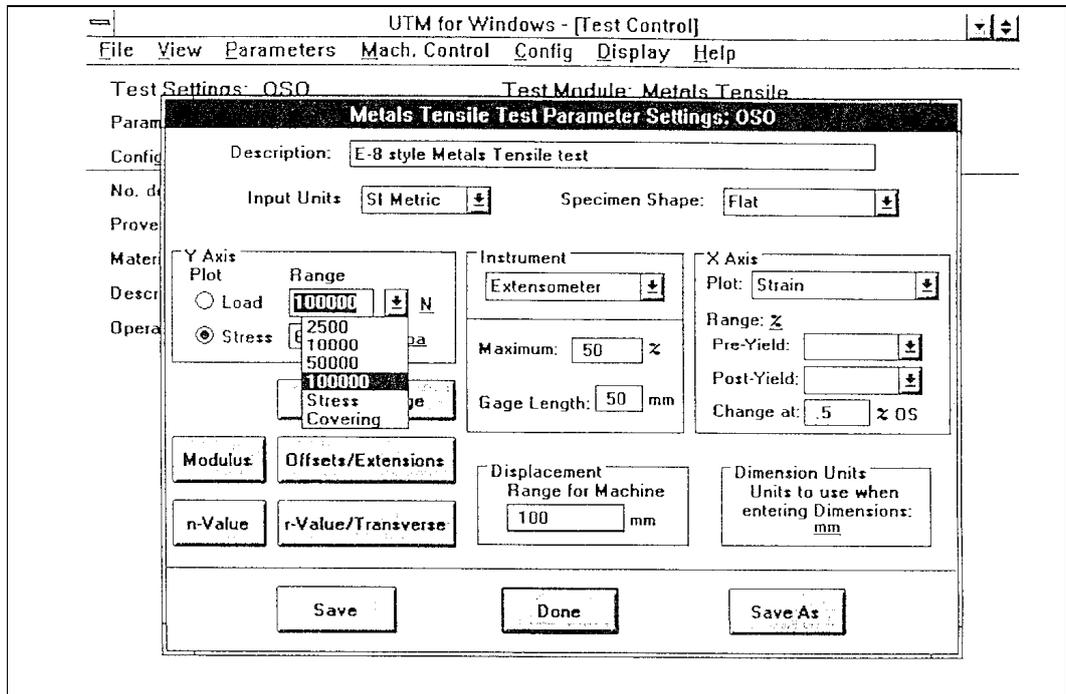
Figura 30. Tipo de unidades a utilizar



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 9

Speciment Shape: esta opción nos permite seleccionar el tipo de probeta a utilizar.

Figura 31. Selección de rango de unidades



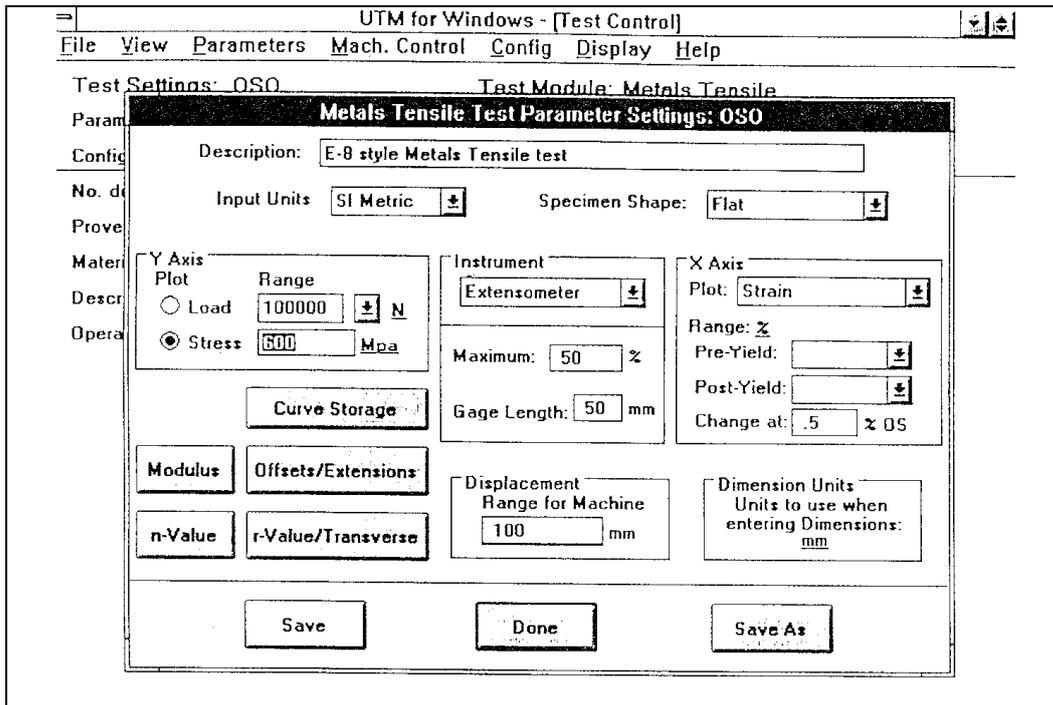
Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 10

Y Axis: este sirve para setear el reporte de presentación. Si seleccionamos **Load** nos presentará el valor de carga o si seleccionamos **Stress** nos presentará ese valor.

De seleccionar **Stress** el valor de **Range** para **Load** debe ser el máximo. Ej: 100000 N

Para cambiar las unidades de rango tanto en load como en Stress se debe clicar con el puntero del mouse sobre la unidad prefijando la que uno busca.

Figura 32. Pantalla de ejemplo

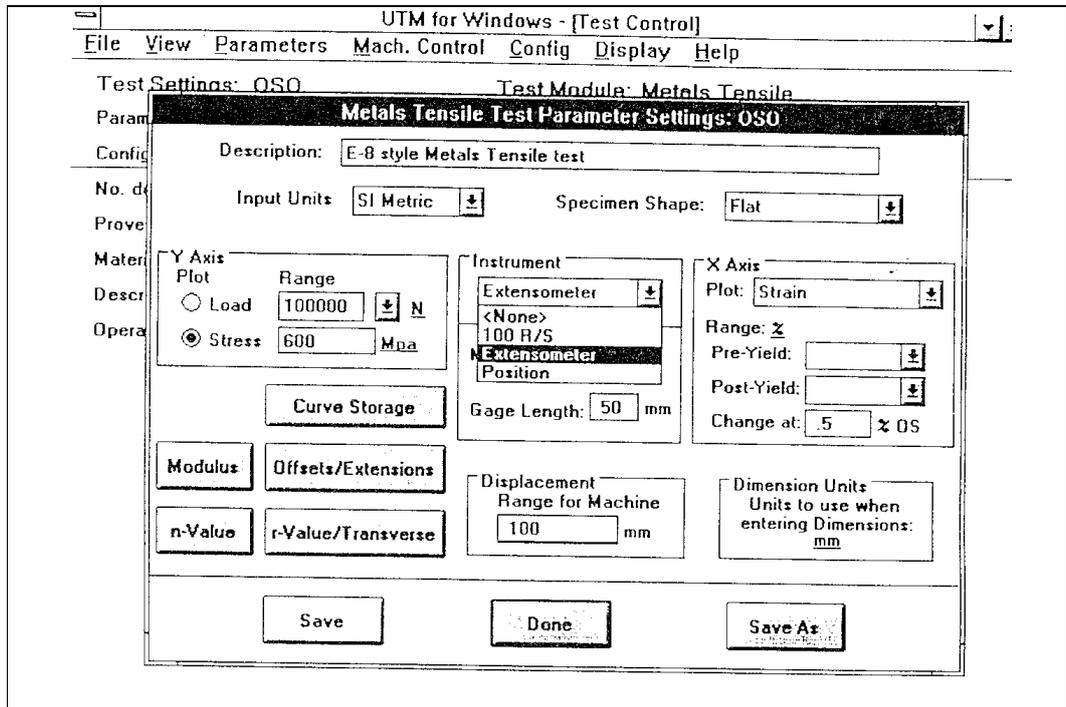


Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 11

Seleccionamos el rango máximo del cuadro el cual debe ser mayor del 20 al 30% del valor máximo de tracción a ensayar.

Ejemplo: para 400 Mpa de ruptura seleccionar 520 Mpa de escala.

Figura 33. Selección de extensómetro



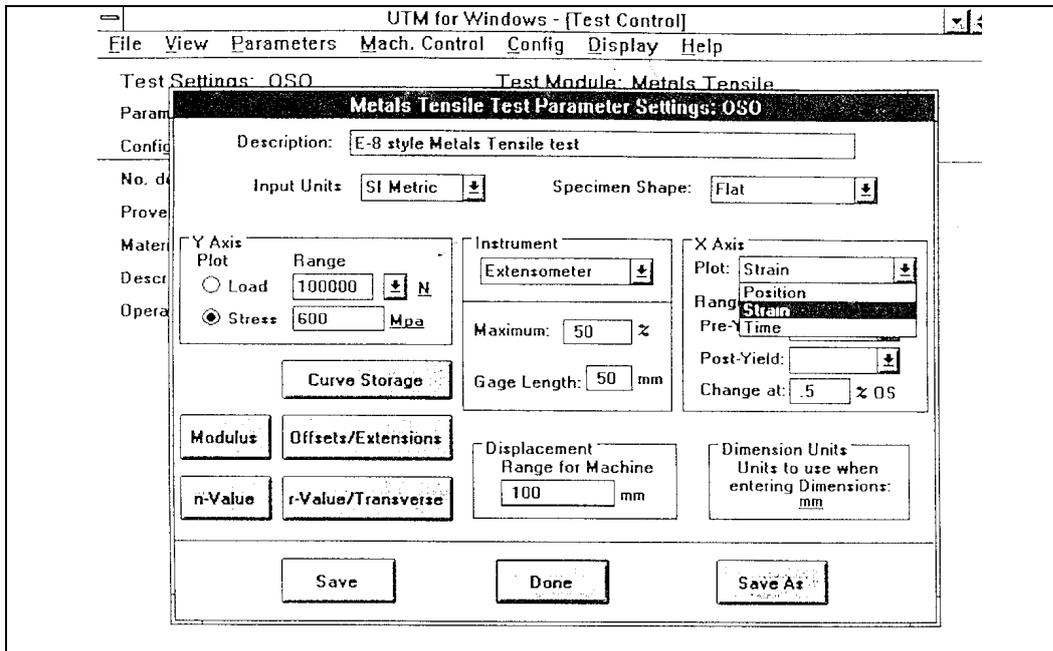
Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 12

En el cuadro **Instrument** siempre por el tipo de máquina debe estar seleccionado en *Extensometer*.

Maximum: es el alargamiento máximo que a nosotros nos interesa ver para analizar Ej.: 50%

Gage Length: por el tipo de extensómetro que posee la máquina siempre deberá ser 50 mm, esto es debido a que la longitud inicial del extensómetro es de 50 mm.

Figura 34. Selección de galga del extensómetro



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 13

En el cuadro X Axis ingresando a *Plot* seleccionamos el tipo de medición sobre el gráfico a realizar sobre el eje X (siempre deberá ser *Strain*).

Luego elegimos el rango en porcentual del gráfico el cual podemos seleccionar en dos rangos que la máquina ejecutora automáticamente a medida que se realiza el gráfico.

Range %:

Pre-Yield: siempre para su ensayo deberá ser 4 o 10

Post-Yield: siempre deberá ser 50

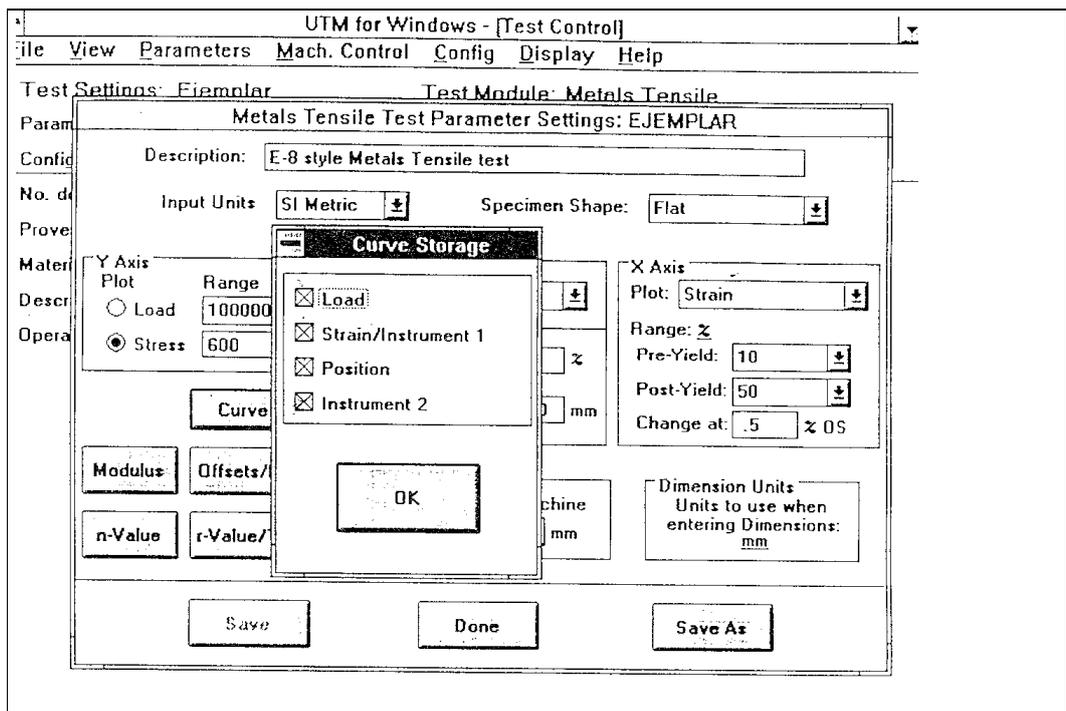
Change at: siempre debe estar 0.5%

Displacement:

Range for Machine: debe ser el adecuado para realizar el ensayo Ej.: si seleccionamos 50 mm y nuestra muestra se estira más de 50 mm el sistema abortará el ensayo.

Dimension Units: determina como ingresar los valores de la muestra Ej.: espesor y ancho en mm, cm o *inch* (pulg.)

Figura 35. Valores a graficar y guardar

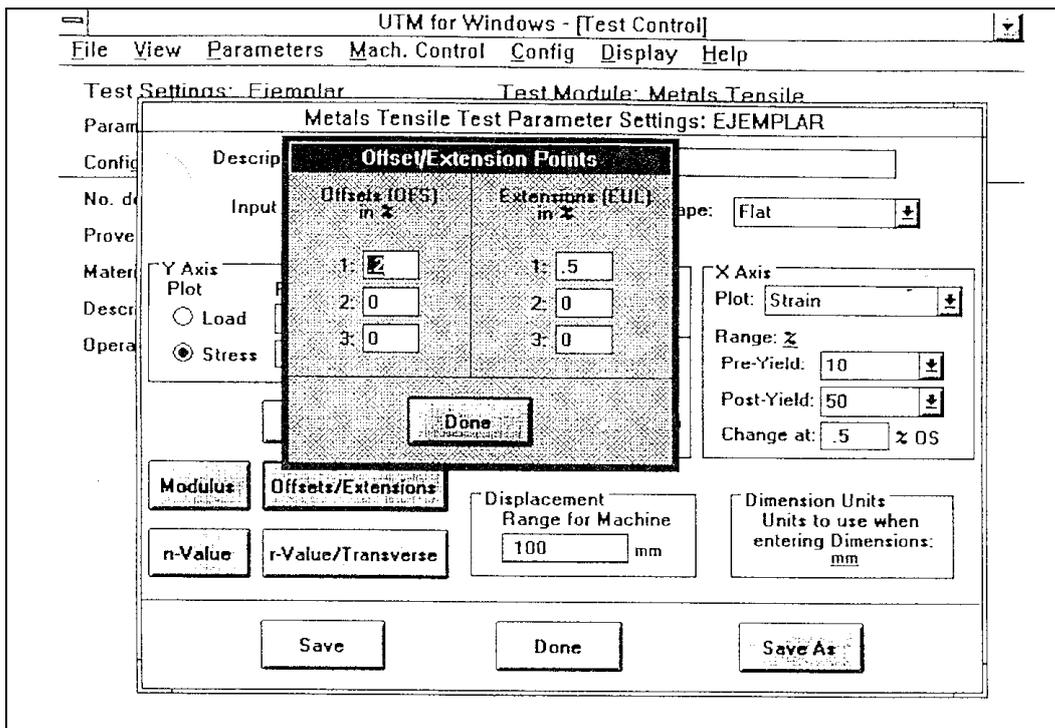


Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 14

Curve Storage: esta pantalla está relacionada con los valores que nosotros queremos guardar y graficar.

Todos tienen que estar seleccionados con una cruz y la misma tiene relación con *Data Point* de *Configuration Setting*.

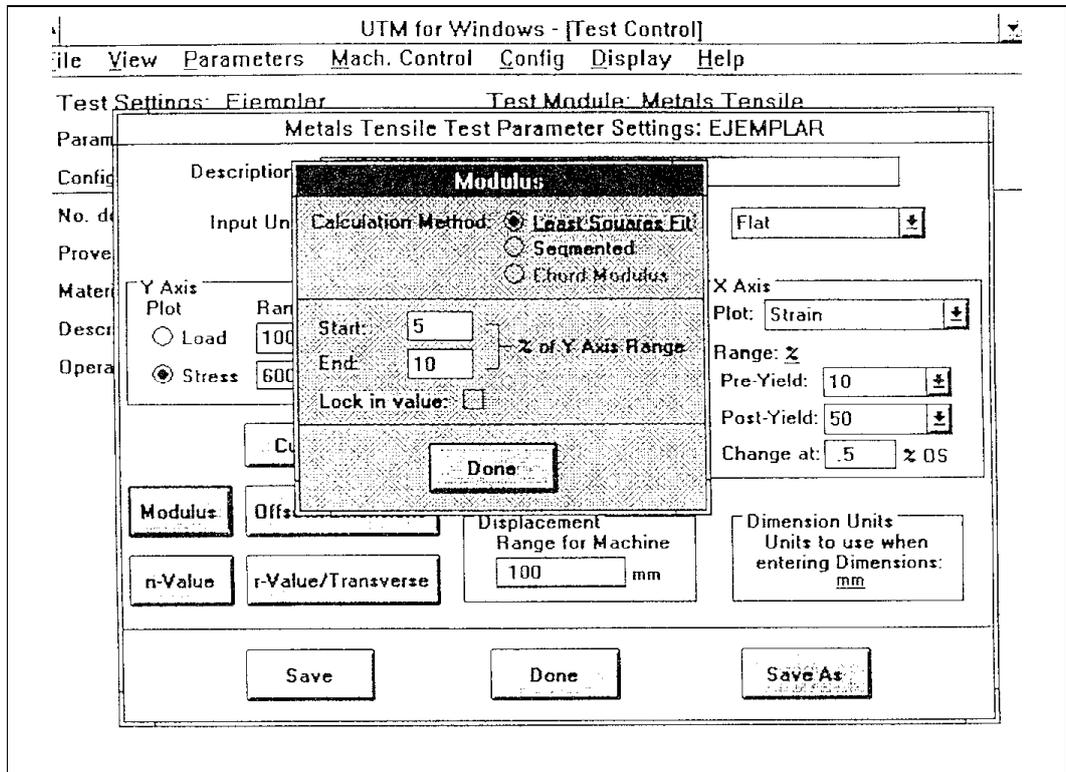
Figura 37. Selección de rangos para extensión de puntos



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 15

Offset / Extension Points: siempre deberá ser de 0.2 al 0.5%

Figura 38. Parámetros para cálculo del módulo de Young

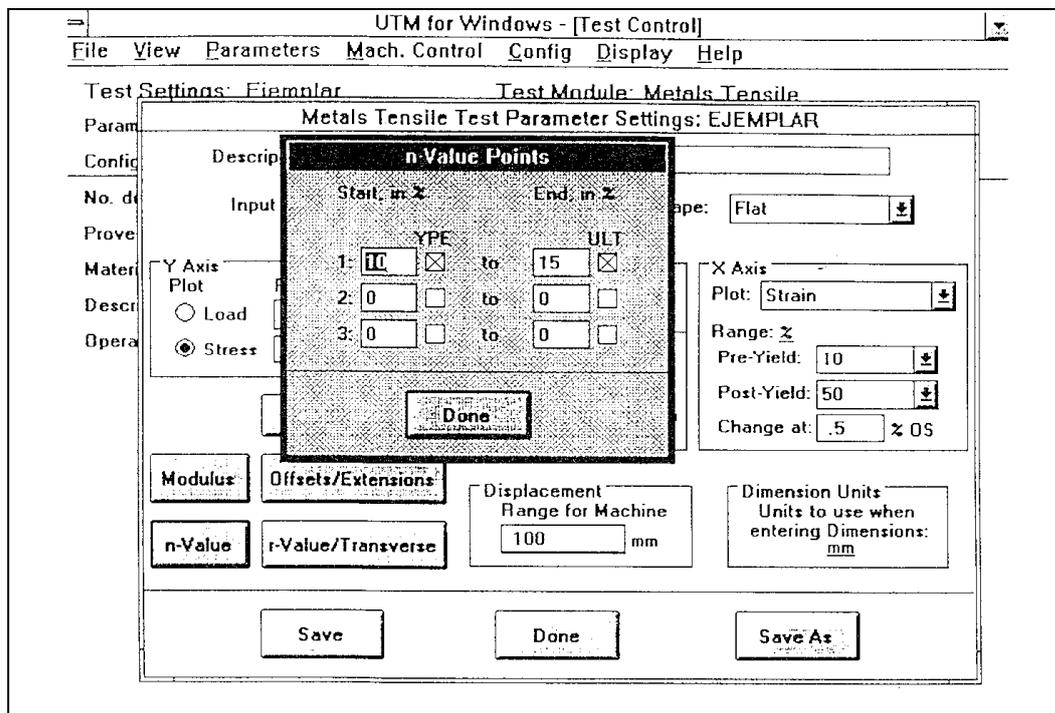


Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 16

Modulus: existen dos métodos:

1. Seleccionando **Least Squares Fit** lo ideal es entre 15 para **Start** y 20 para **End**.
2. Seleccionando **Segmented** esto determina el mejor segmento o linealidad para calcular el módulo de **Young**.

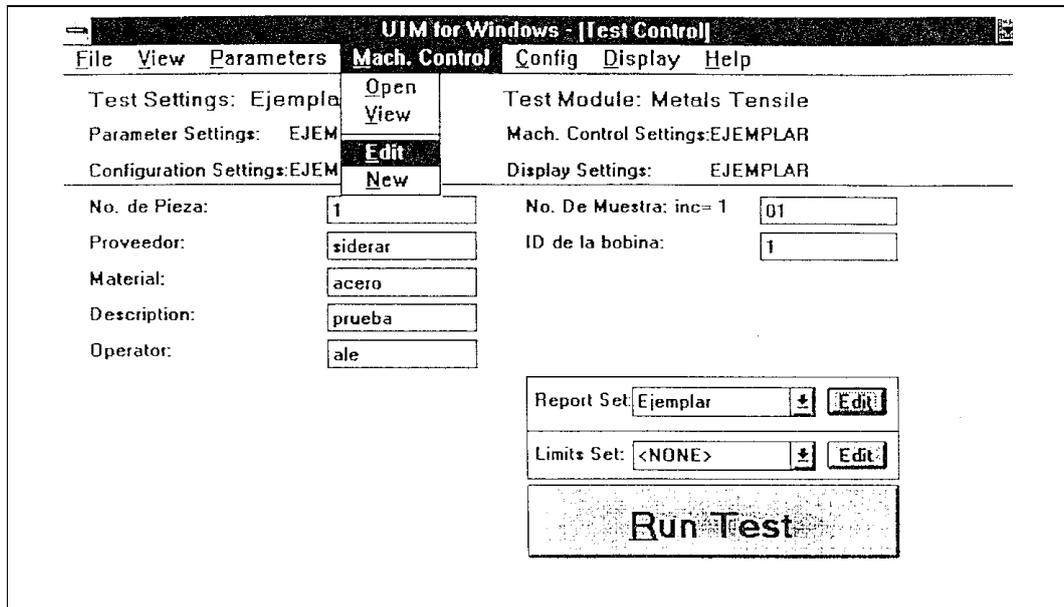
Figura 39. Selección de puntos para trazo de curva



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 17

n-Value Points: en esta aplicación podemos determinar en que rango de la curva nos calculará el valor n Ej.: 15 a20% (esto es lo ideal)

Figura 40. Pantalla de configuración



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 18

Al seleccionar de la barra de tareas **Config** se desplegarán las siguientes opciones:

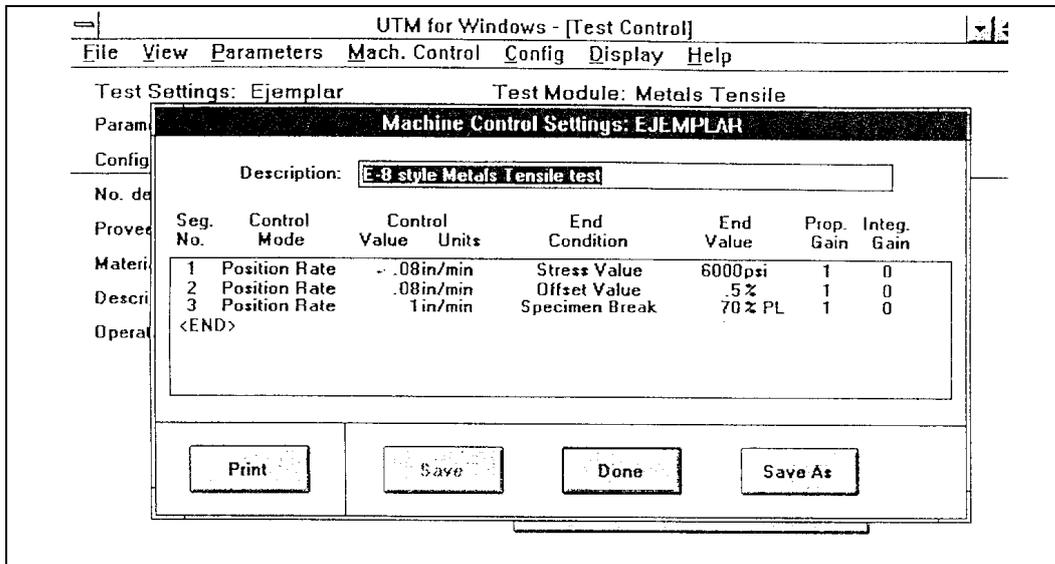
Open: abre un cuadro que nos permitirá seleccionar los archivos correspondientes a *Config*.

View: nos mostrará una pantalla donde podremos observar el seteo del archivo previamente seleccionado.

Edit: nos mostrará la misma pantalla que *View* pero nos permitirá realizar cambios dentro de la misma.

New: mostrará la misma pantalla, pero con sus casilleros vacíos que nos permitirá editar un nuevo archivo.

Figura 41. Velocidad de aplicación de carga



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 19

Esta pantalla aparecerá luego de seleccionar View, Edit o New. En esta se observa distintos números de segmentos (Seg. No.), dando un clic izquierdo en cualquier número se abrirá un cuadro que nos dará tres opciones:

Delete Current: borra la fila seleccionada

Insert Above: permite ingresar distintas opciones las cuales serán los parámetros de seteo de esta fila, esta se ubicará por delante de la fila seleccionada sin modificar la anterior.

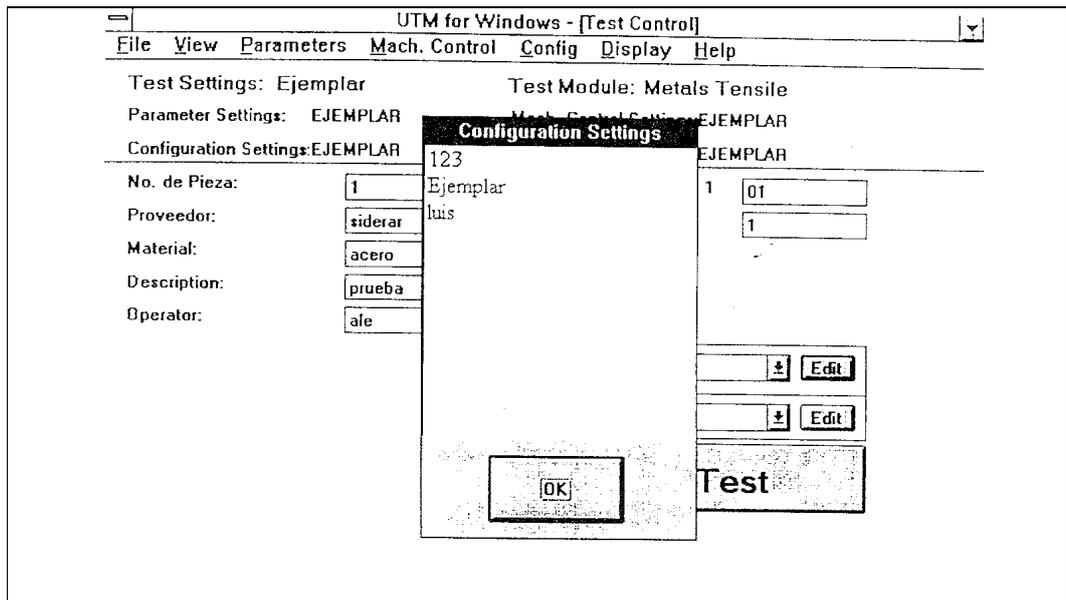
Insert Behind: permite realizar lo mismo que above, pero ubica la línea por detrás.

Esta pantalla nos permite observar el seteo para poder realizar el ensayo, esto se refiere a que la máquina traccionadora realizará el ensayo

a una cierta velocidad e irá cambiando los segmentos de ensayo según como esté seteado este archivo de *Config*.

En las otras opciones, clickeando sobre éstas nos aparecerá un listado para poder cambiarlas.

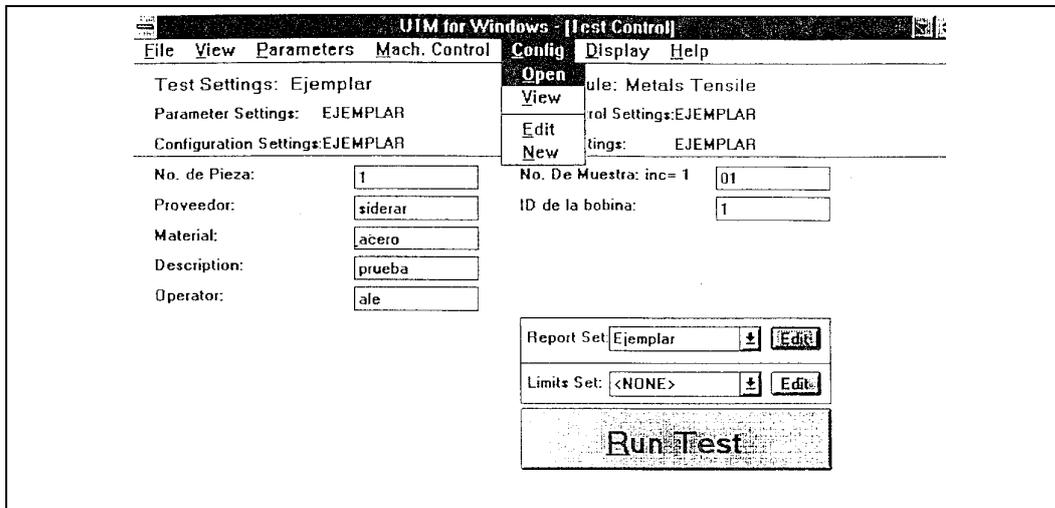
Figura 42. Configuración de parámetros



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 20

Al seleccionar *Open* de *Config*, se abrirá este cuadro con los distintos archivos de *Config*, los cuales podrán elegirse clickeando en cualquiera de ellos.

Figura 43. Opciones para reporte de datos



Fuente: Manual de operación *Tinius Olsen*. Pág. 21

Dando un clic en **Config** de la barra de herramientas nos presentarán las mismas selecciones las que realizan las mismas tareas que en **Mach Control**.

Figura 44. Modelos para reportar

The figure consists of four screenshots of the Tinus Olsen software interface, arranged in a 2x2 grid. Each screenshot shows a different window or dialog box used for configuring and reporting test results.

- Top Left:** A window titled 'Config' showing various settings like 'Test Settings', 'Parameter Settings', and 'Configuration Settings'. A 'Run Test' button is visible at the bottom.
- Top Right:** A window titled 'Config' showing a 'Description' field and several checkboxes for 'Report Types' (e.g., 'Chart', 'Data only', 'Multi-Curve').
- Bottom Left:** A window titled 'Config' showing 'Description', 'Testing Machine Port', 'Save Data Points', and 'Report Types' options.
- Bottom Right:** A window titled 'Config' showing 'Description', 'Testing Machine Port', 'Save Data Points', and 'Report Types' options, with a focus on the 'Report Types' section.

Seleccionando Config de la barra de Herramientas nos presentaran las selecciones :
 Open : nos abrirá un cuadro donde podremos abrir los distintos seteos de Config (figura)

Figura la cual nos muestra los distintos seteos para config

Esta pantalla aparecerá al seleccionar :
 View: nos muestra el estado del seteo, las opciones aparecerán en tono gris
 Edit: las opciones aparecerán en tono negro lo cual nos permite cambiar las selecciones mostradas en pantalla
 New: la pantalla aparecerá en blanco esperando que personalizemos nuestro seteo

Descripción de la pantalla :
 Report Types: Este casillero nos da tres opciones:
 _una curva
 _reporte solamente del ensayo/s realizado
 _multicurva. Esta opción nos habilita para poder elegir en especificaciones la cantidad de curvas y el porcentaje de la curva de offset

Cuadro que aparecerá al picar en Edit Identifier que nos permite editar los cuadros que se verán en la pantalla principal

Cuadro que aparecerá al seleccionar Edit Readout que nos permite seleccionar las distintas opciones que aparecen en el cuadro. Picando sobre las unidades que se encuentran a la derecha de las opciones podremos variarlas

Fuente: Manual de operación Tinus Olsen. Pág. 22

PASOS DE PROGRAMACIÓN

1. *Configuración settings* (configuración) esto se establece una vez y se guarda como datos generales. Si hay necesidad se puede cambiar, pero no es necesario hacerlo para todos los ensayos porque son datos *default*

2. *Machine Control* (control de la máquina)

- Aquí se establecen los segmentos que harán un ensayo
- Aquí también se programa el % de detector de ruptura de muestra (*detector sample break*) y se activa o desactiva

3. *Parameters settings* (parámetros)

En este paso:

- a. Se seleccionan unidades
- b. Se prepara el gráfico
- c. Se selecciona tipo de muestra (plana, cilíndrica)
- d. Se selecciona el instrumento a usar para medir elongación
- e. Se establecen dimensiones, cm o mm

3.1 *Boton Secants*:

Usado para establecer curva punto cedente en muestras que no muestra línea recta

3.2 *Boton Curve Storage* (guardado de curvas):

En este paso verificar que todos están encendidos

3.3 *Boton Offsets*: Seleccionar si van a usar offset por módulo (0.2%) o por EUL (Extensión bajo carga) típicamente al 0.5%

3.4 *Boton Modulus*:

Determinar zona de módulo para trazar *offset*, normalmente comienza (*start*) al 15% y terminar (*end*) al 20%

4. *Configuration*:

Preparado al comienzo

5. *Report Set*:

Seleccionar aquellos datos que quieren sean partes del reporte, tal como, nombre del cliente, proveedor, etc. Pueden quitar o agregar datos para este reporte

5.1 *Report Titles* (Título de los reportes):

Seleccionar datos a ver en el sumario o reporte

En el espacio en blanco ingresan nombres para luego firmar los reportes

6. *Limit Set* (Establecer límites):

Se establecen límites mínimos y máximos, por ejemplo de carga. Todo ensayo por encima o por debajo de esos límites se va a ver en rojo en el reporte, sumario o gráfico

7. *Test Set* (Datos de programa):

Han terminado de entrar todos los datos para un ensayo. Proceden de esta manera:

- a. Ir a "*file*" y guardar datos como nuevos o como...

8. Bajo *file* encontrarán:

File maintenance: donde pueden cambiar nombre del archivo o borrar archivos

Password:

Existen tres niveles:

1. Sin ninguna *password* programada, pueden hacer todo ensayo y cambiar programas. Una vez programada el *password*, tienen las siguientes opciones:
2. Entrando *password* de Nivel 1 pueden hacer ensayos, pero no pueden cambiar ningún parámetro de los ensayos o reportes

Entrando Nivel 2 pueden hacer de todo