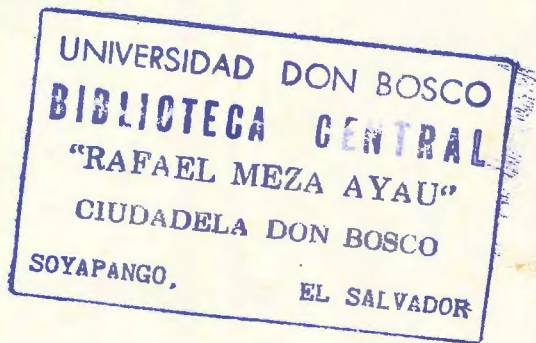


*UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA*



*"GUÍAS PARA LAS PRÁCTICAS
DE
TALLER Y LABORATORIOS"*

TESIS PRESENTADA POR:

VALERIANO GAVINELLI BOVIO

PARA OPTAR AL GRADO DE:

TÉCNICO EN INGENIERÍA EN MECÁNICA GENERAL

SOYAPANGO 1994

ANEXOS 1

GUÍAS DE LABORATORIO

METALURGIA

Laboratorio # 1. Máquina universal de ensayos.

Laboratorio # 2. Ensayo de tracción.

Laboratorio # 3. Ensayo de compresión.

Laboratorio # 4. Ensayo de plegado.

Laboratorio # 5. Ensayo de torsión.

Laboratorio # 6. Ensayo de dureza.

Laboratorio # 7. Tratamientos térmicos.

Laboratorio # 8. Tratamientos térmicos: temple.

Laboratorio # 9. Tratamientos térmicos: revenido, recocido.

Laboratorio # 10. Tratamientos térmicos: Cementación.

Laboratorio # 1

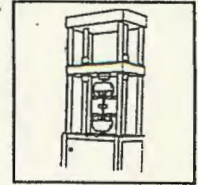
MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA

Máquina Universal
de ensayos.

METALURGIA

Laboratorio # 1



OBJETIVOS:

- * Conocer la máquina universal de ensayos y aprender a utilizarla correctamente.
- * Aprender poner a cero el display, el índice y nonio.
- * Aprender a identificar los materiales de las probetas.

Por ensayo de los metales se entiende un conjunto de pruebas las cuales permiten el estudio del comportamiento de los materiales a fin de determinar:

- * Sus características para una posible utilización.
- * Los defectos de piezas ya terminadas.

Una muestra o probeta, preparada específicamente, se coloca en la máquina universal de ensayo y se somete a una determinada carga por medio de un sistema de palanca, mecánico o hidráulico.

PARTE PRIMERA

1. MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS.

1.1 Número de referencia de la máquina (fig. 1).

- 4 Led
- 5 Interruptor principal
- 6 Pulsador marcha-paro.
- 7 Válvula de descarga.
- 8 Válvula de carga.
- 9 Soporte portacilindro
- 50 Mordaza superior
- 51 Mordaza inferior
- 52 Índice y nonio de carrera de pistón
- 53 Soporte mordaza superior
- 55 Casquillo roscado/contratuercas
- 69 Soporte transversal para ensayo de flexión.

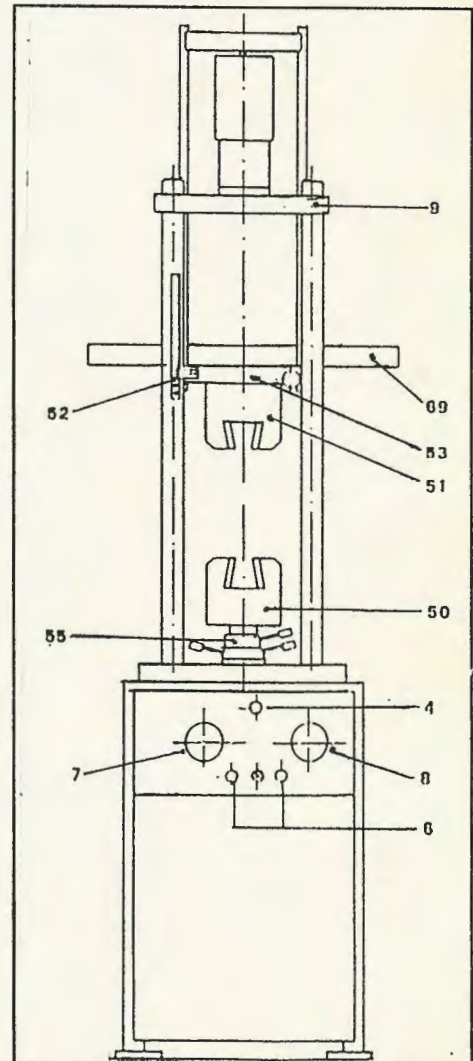


Fig. 1 Máquina universal de ensayo.

cilindro (9), logra que el pistón regrese a su posición de salida.

1.3 Grupo hidráulico

El grupo hidráulico está colocado en la parte inferior interna de la máquina (fig. 3) no visible, que incluye el depósito (61) en forma de paralelepípedo. En la parte superior del mismo se encuentra:

- * la bomba
- * los filtros.

En el lateral del depósito se encuentra el nivel de aceite. El nivel mínimo de

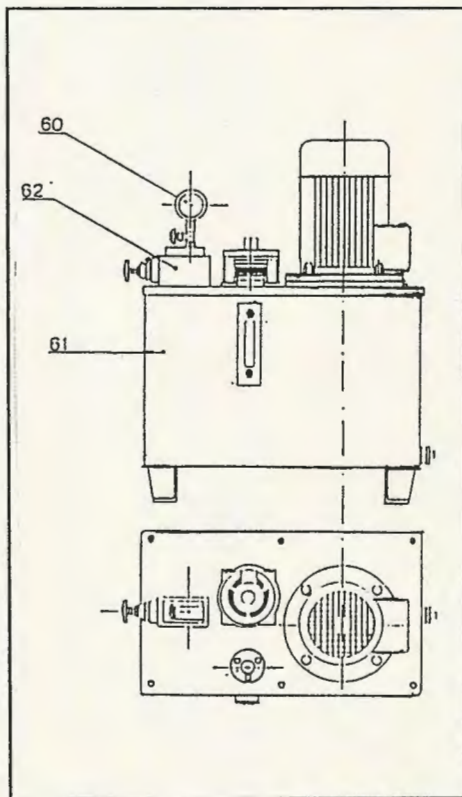


Fig. 3 Grupo hidráulico.

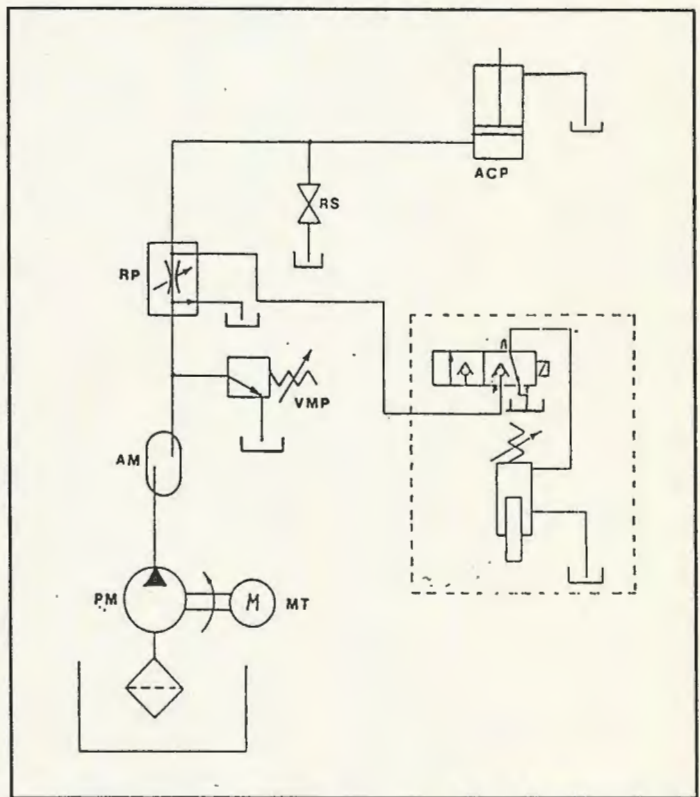


Fig. 4 Esquema hidráulico.

aceite para poder trabajar con seguridad, debe encontrarse siempre más arriba de la línea roja del indicador de nivel.

Sobre la tapadera del depósito, se puede observar:

- * El motor para la puesta en funcionamiento de la bomba
- * Válvula de máxima presión (62) y manómetro (60).

La válvula de seguridad se debe regular con mucho cuidado en el momento de la instalación de la máquina, y luego debe ser controlada periódicamente.

1.4 Módulo de carga.

Circuitos electrónicos para conmutación de las cargas.

Se encuentran en el módulo (fig. 6, detalle 1), mientras que el transductor de carga es aplicado directamente en correspondencia del acople cilindro/pistón de máquina. El display (14) indica la carga instantánea aplicada a la probeta durante el desarrollo del ensayo.

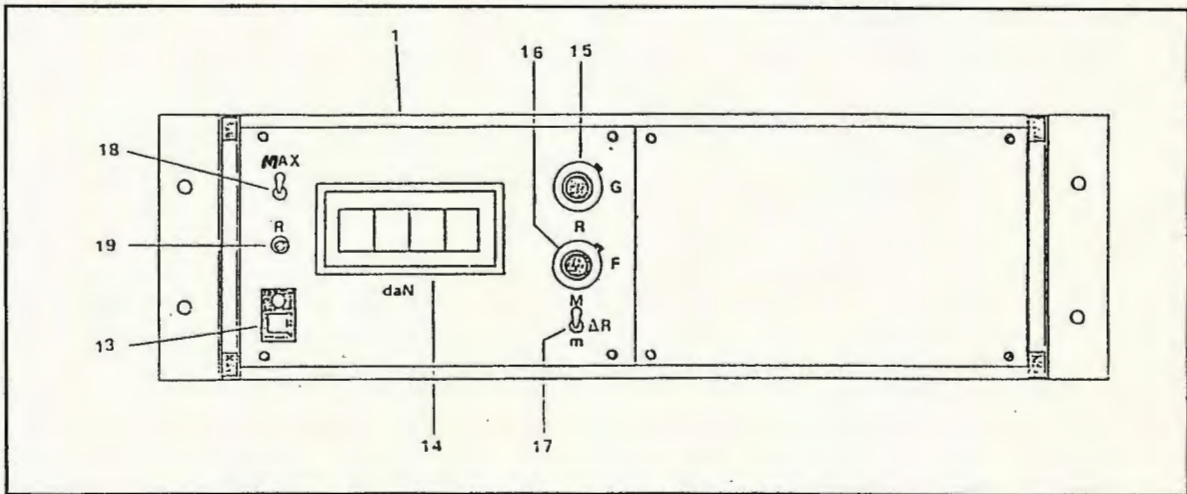


Fig. 6 Panel módulo de carga.

El potenciómetro (15) permite una puesta a cero macrométrica y el (16) una puesta a cero micrométrica; la operación de puesta a cero viene realizada con la probeta colocada ya antes de iniciar el ensayo, al llegar a temperatura de estabilización los circuitos electrónicos.

Debajo del potenciómetro de puesta a cero se encuentra el interruptor de introducción de la señal ΔR , que permite controlar la eficiencia y la calibración del circuito de medición de la máquina, mostrando en el display un valor nominal.

El interruptor (fig. 6 (18)) ubicado en la posición "MAX" permite presentar nuevamente en el display, a ensayo terminado, la máxima carga alcanzada durante el ensayo, ó también el máximo valor de carga alcanzado desde el comienzo del ensayo hasta ese momento.

El pulsador (19) coloca a cero el almacenamiento de valor pico o sea borra de la memoria el valor obtenido del ensayo ó también un valor anteriormente memorizado. Si el almacenamiento de valor pico no es puesto a cero, no será posible memorizar un valor inferior respecto al otro memorizado anteriormente, mientras, será siempre posible guardar un valor superior a aquel en memoria.

El almacenamiento de valor pico mantiene inalterado el valor memorizado en el tiempo pero este valor iniciará a bajar, aunque sea muy lentamente, después de algún tiempo.

Forma de proceder para la utilización del módulo de las cargas:

- * Desconectar el almacenamiento de valor pico posicionando el interruptor (18) hacia abajo y accionando el pulsador (19).*
- * Hacer girar oportunamente los potenciómetros (15), para una regulación macrométrica y el (16) para una regulación micrométrica y realizar la puesta a cero del display (14).*

Puede suceder que el último número del display fluctúe entre el cero y alguna unidad y que a la izquierda de las cifras aparezca el signo (menos). En estos casos, conseguir la puesta a cero micrométrica hasta que desaparezca el (menos) y el último número varíe entre cero y uno sin ningún signo a la izquierda de los números.

Si el interruptor (18) del almacenamiento del valor pico se encuentra arriba en "MAX", al momento de la ruptura de la probeta, en el display aparecerá indicada la máxima carga alcanzada durante el ensayo. Mientras, cuando se encuentra hacia abajo en el momento de la ruptura de la probeta, la carga bajará gradualmente hasta cerca de cero y será posible apreciar la disminución de carga antes que se realice la ruptura. En este caso, desplazando el interruptor (18) hacia arriba (MAX) sobre el display (14) aparecerá el valor de la carga máxima durante la prueba.

OBSERVACION: Es indispensable conectar el medidor de las cargas por lo menos diez o quince minutos antes de iniciar el ensayo para permitir a los instrumentos llegar a la temperatura de estabilización.

1.5 Puesta a cero del almacenamiento de valor pico

Si el almacenamiento de valor pico nos proporcionara valores diferentes de aquellos obtenidos durante el ensayo, es oportuno programar su puesta a cero.

Para esta operación se procede de la forma siguiente:

- * Bajar el interruptor (18) que acciona la inserción del almacenamiento de valor pico.*
- * Poner a cero el display (14)*
- * Poner a cero el almacenador de valor pico accionando el pulsador (19)*
- * Introducir la señal ΔR y, luego de haber leído el valor exacto, desconectarlo*
- * Insertar entonces el almacenamiento de valor pico llevando hacia arriba el interruptor (18)*

Cuando el valor indicado no resultara idéntico al valor de ΔR leído anteriormente, quitar la tapadera del medidor (1). Poner a cero el display y el almacenador de valor pico actual accionando el pulsador (19) de puesta a cero. Regular oportunamente el trimmer (21) hasta que, con el pulsador (19) oprimido y con el pulsador sin oprimir, el valor leído sobre el display sea real.

1.6 Desarrollo de los ensayos

La máquina, puede equiparse con diferentes accesorios los cuales permiten realizar diferentes ensayo. La utilización de estos accesorios debe ser limitada a valores de carga inferiores a la carga nominal de la máquina.

1.6.1 ENSAYO A TRACCION sobre probeta sin cabezas, sea redonda o plana

La máquina debe ser equipada (fig. 7) con la mordaza autosujetable superior (51) y la inferior (50).

La mordaza superior forma un solo cuerpo con el montante móvil (53) y con el pistón.

La mordaza inferior es solidaria con el tornillo (54). La posición de esta mordaza es variable en altura, lográndose al girar el casquillo, actuando por medio de las tres palancas.

Alcanzada la posición deseada en altura de acuerdo a la longitud de la probeta, luego de haber comprobado el paralelismo entre las mordazas -en manera de facilitar la colocación de la probeta-, se ajusta el casquillo contratuerca (55) para bloquear firmemente el tornillo.

En cada mordaza se acoplan las cuñas (o mordazas propiamente dichas). Para mejorar su deslizamiento es necesario controlar la correcta limpieza de las superficies de las mordazas y de las cuñas. Luego es necesario lubricar las superficies de deslizamiento con grasa grafitada.

Cada serie de cuñas lleva grabada la medida de la probeta para la que es apropiada. La palanca (63) de la mordaza superior sirve para abrir las cuñas para colocar la probeta, mientras que la palanca (63) de la mordaza inferior permite bloquear las cuñas sobre la probeta.

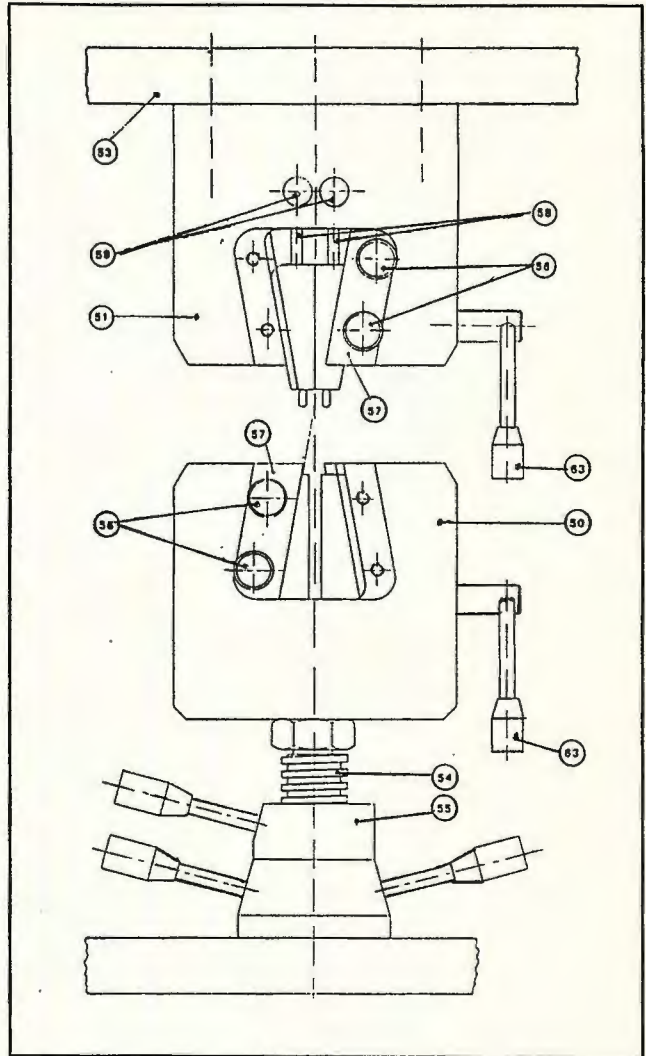


Fig. 7

PARTE SEGUNDA

2 PRACTICA

2.1 Montaje de la probeta en la máquina de tracción.

2.1.1 La pieza # 1

* Anotar:

■ material de probeta: _____

■ dimensiones de la probeta: _____

* Marcar dos puntos a una distancia de 50 mm.

* Colocar la probeta en la máquina, primero en la parte superior y luego en la parte inferior.

* Cerrar la válvula (7).

* Poner a cero el display.

* Poner a cero el nonio.

* Abrir la válvula (8) hasta que llegue a 7.

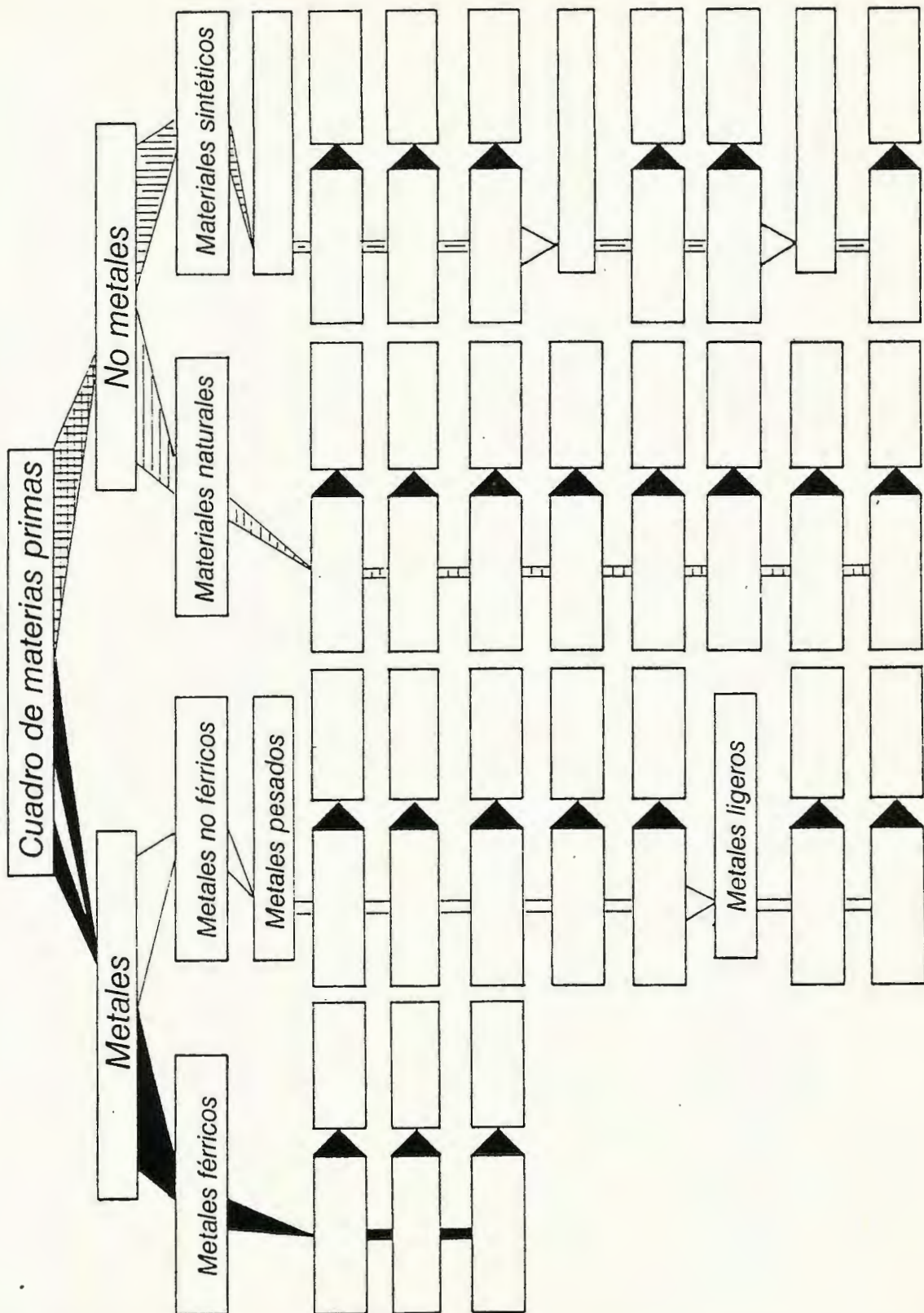
* Anotar la carga de fluencia ¹.

* Con reset, anotar la carga de rotura.

2.1.2 Repetir igual para pieza # 2.

2.2 Determinar el material de cada una de las piezas propuestas, según el "Cuadro de materias primas".

¹Es la carga unitaria que corresponde al punto, a partir del cual, las deformaciones que sufre la probeta dejan de ser proporcionales a los esfuerzos a que la somete.



PARTE TERCERA

3 CUESTIONARIO.

3.1 *¿Qué elementos fundamentales forman parte de las aleaciones ligeras?*

3.2 *¿Cuáles son las principales aleaciones de cobre?*

3.3 *¿Qué son los plásticos? ¿Cuáles son sus componentes?*

3.4 *¿Qué son los termoplásticos?*

3.5 *Explicar el sistema hidráulico de la máquina de ensayo.*

3.6 *Hacer un dibujo de los diferentes sistemas de agarre de la probetas para el ensayo a tracción.*

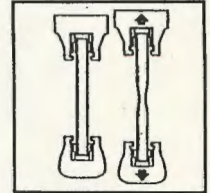
Laboratorio # 2

ENSAYO DE TRACCIÓN

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA

Ensayo de
tracción.

METALURGIA Laboratorio # 2



OBJETIVOS:

- * *Estudiar el comportamiento de un material mediante sucesivos esfuerzos de tracción, progresivamente crecientes, en dirección de su eje.*
- * *Aprender a efectuar la prueba de tracción sobre una máquina universal de ensayos.*
- * *Comprender y analizar el significado de los resultados obtenidos en la prueba.*

Para realizar el ensayo de tracción, se utilizan máquinas provistas de dos mordazas, que someten la probeta a esfuerzos longitudinales por medio de mecanismos hidráulicos o mecánicos.

La prueba de tracción es uno de los medios más útiles que se emplean para determinar las propiedades mecánicas importantes de materiales de ingeniería.

PARTE PRIMERA

1 ENSAYO DE TRACCION

1.1 OBJETO

La norma ASTM A370 tiene por objeto establecer las condiciones en que debe realizarse el ensayo de tracción de productos de acero, a la temperatura ambiente, para determinar una o varias de las características siguientes:

- Límite elástico*
- Resistencia a la tracción*
- Alargamiento*
- Estricción*

Esta norma no es aplicable a ensayos especiales de tracción, como por ejemplo los

realizados con probeta entallada a temperaturas elevadas.

1.2 CAMPO DE APLICACION

Esta norma es aplicable a productos laminados y forjados, extruidos, trefilados, conformados en frío y moldeados, de acero de espesor superior a 0,2 mm.

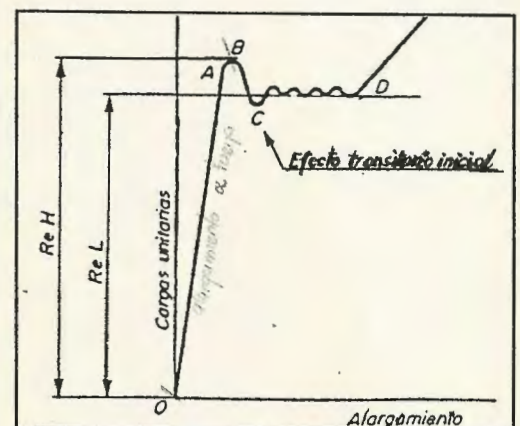
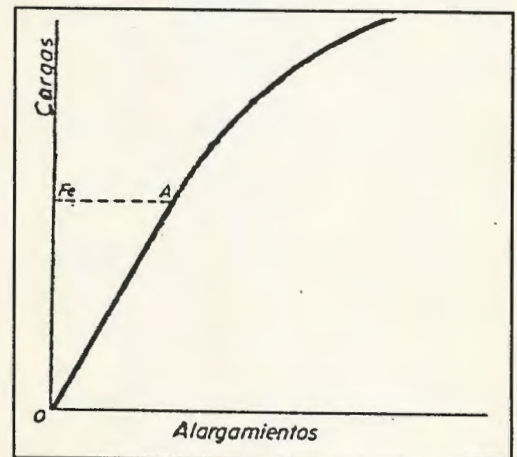
1.3 FUNDAMENTO DEL METODO

El ensayo consiste en someter una probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente, generalmente hasta la rotura.

1.4 GRAFICO CARGA-ALARGAMIENTO

El gráfico carga-alargamiento refleja la variación del alargamiento para cargas crecientes. En general y de forma esquemática, se inicia con una parte recta (OA) en las que las deformaciones son proporcionales a las cargas (zona elástica) (Fig. 1). Cuando la carga unitaria supera el límite elástico (punto A de la fig. 1), la relación entre la carga y el alargamiento no es lineal (zona plástica). Desde este punto y hasta la carga máxima, los alargamientos crecen no proporcionalmente al aumentar la carga (Fig. 1).

En los casos en que el material presenta el fenómeno de cedencia, cuando se sobrepasa la zona elástica, la carga pasa por un máximo para luego permanecer sensiblemente constante en tanto que el alargamiento sufre un aumento notable (BD en las figuras 2 a 4). En ocasiones, puede no apreciarse este máximo sino que la carga permanece constante y el alargamiento presenta el aumento aludido. Cuando acaba este fenómeno y hasta la carga máxima, los alargamientos son crecientes con las cargas, si bien no proporcionales.



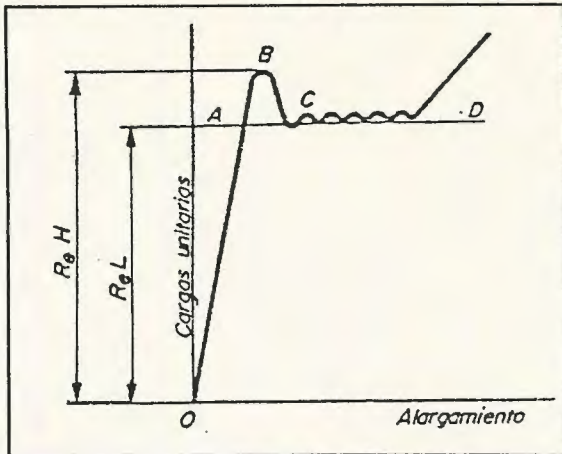


Fig. 3

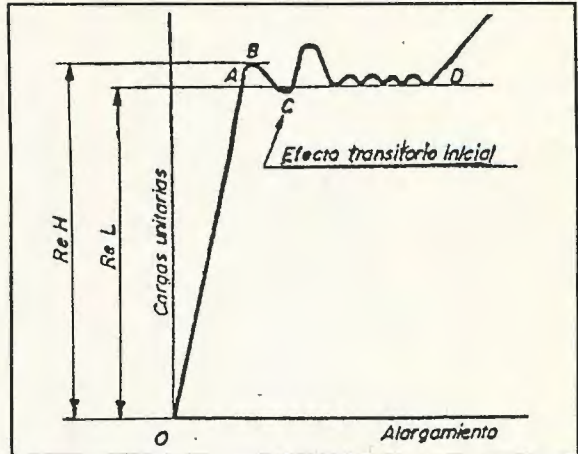


Fig. 4

1.5 DEFINICIONES

1.5.1 Distancia entre puntos (L)

Es la longitud medida en cualquier momento entre las referencias marcadas en la parte cilíndrica o prismática de la probeta. En particular se denominan:

1.5.1.1 Distancia inicial entre puntos (L_0). Es la longitud medida entre los puntos de referencia citados, antes de la aplicación de la carga.

1.5.1.2 Distancia final entre puntos (L_u). Es la longitud medida después de la rotura de la probeta y de la reconstrucción de ésta, mediante la aproximación cuidadosa de las partes obtenidas, a fin de que encajen lo más perfectamente posible, estando sus ejes en prolongación.

1.5.2 Longitud útil del ensayo (L_c)

Es la longitud de la probeta que tiene sección recta inicial uniforme. En las probetas sin mecanizar esta longitud es la distancia libre entre mordazas. En las probetas mecanizadas la longitud se suele denominar longitud calibrada.

1.5.3 Longitud base de medida del extensómetro (L_e)

Es la longitud de probeta utilizada para la medición del alargamiento por medio de un extensómetro.

1.5.4 Carga unitaria (R)

Es el cociente de dividir la carga a que está sometida la probeta, en cualquier momento del ensayo, por su sección recta inicial.

1.5.5 Límite elástico (Ra)

Es la carga unitaria que corresponde al punto, a partir del cual, las deformaciones que sufre la probeta dejan de ser proporcionales a los esfuerzos a que se la somete (fig. 1).

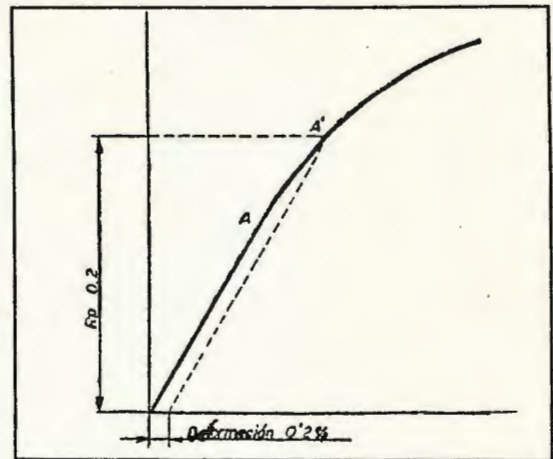


Fig. 5

Es difícil determinar el límite elástico así definido ya que por una parte depende de la precisión de los aparatos utilizados y por otra es preciso sobrepasarlo en un pequeño valor para comprobar que producen deformaciones permanentes. Dependiendo de la manera de determinar esta deformación se distingue:

1.5.5.1 Límite elástico convencional (Rpn). Es la carga unitaria bajo la cual se produce un alargamiento remanente del $n\%$ (Fig. 5).

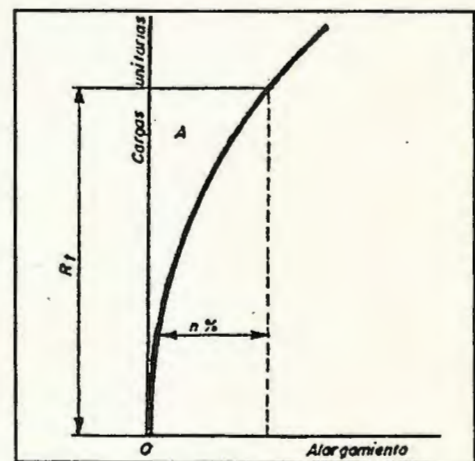


Fig. 6

1.5.5.2 Límite elástico convencional bajo carga (Rtn). Es la carga unitaria para la cual el alargamiento total bajo carga (alargamiento elástico más alargamiento plástico) es igual a un porcentaje $n\%$ prefijado (Fig. 6).

No se puede establecer relación entre los valores de

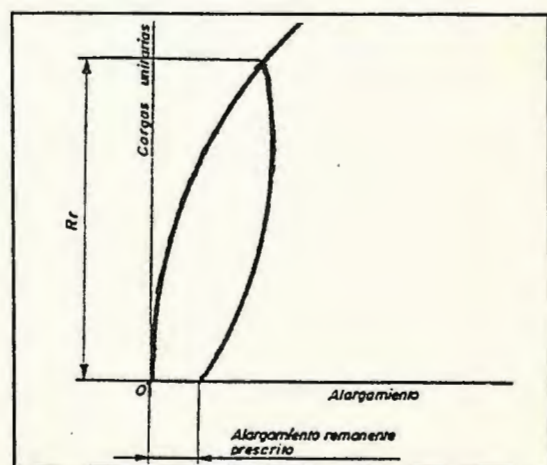


Fig. 7

R_{tn_1} y R_{pn_2} nada más que si se tiene convenientemente en cuenta el alargamiento elástico, es decir, eligiendo adecuadamente los valores n_1 y n_2 .

1.5.5.3 Límite elástico con alargamiento remanente del n % (Rrn). Es la carga unitaria que produce en la probeta un alargamiento remanente del n % prefijado (Fig. 7), después de suprimida la carga.

Las normas de producto fijarán el tiempo de permanencia bajo carga y los límites de tiempo para la medida de dicho alargamiento.

1.5.5.4 Límite elástico aparente. En ciertos aceros, en la transición de la zona de deformación plástica se produce un aumento rápido de deformación sin que aumente la carga. Este fenómeno se conoce con el nombre de cedencia.

El límite elástico aparente es la carga unitaria que soporta la probeta al producirse el fenómeno de cedencia. Se distinguen:

1.5.5.4.1 Límite elástico aparente superior (ReH). Es el valor de la carga unitaria medida al comienzo de la deformación plástica al iniciarse el fenómeno de cedencia o el valor de la carga unitaria medida en el primer máximo que aparece en el gráfico (Fig. 2) al iniciarse la cedencia, aunque éste sea igual o inferior a otros máximos que puedan presentarse durante dicho fenómeno (Fig. 3).

1.5.5.4.2 Límite elástico aparente inferior (ReL). Es la carga unitaria más baja registrada en el gráfico que soporta la probeta al final de la cedencia, sin tener en cuenta las oscilaciones intermedias (figuras 2, 3 y 4).

1.5.6 Resistencia a la tracción (Rm)

Es la carga unitaria máxima soportada por la probeta durante el ensayo. Cuando no pueda confundirse con otras cargas, puede simbolizarse por R (ver 1.6).

1.5.7 Alargamiento remanente (Ar)

Es el definido por la fórmula:

$$Ar = 100 \frac{L - L_0}{L_0}$$

que se expresará en tanto por ciento de la longitud inicial (L_0), siendo L la longitud entre puntos medida en cualquier momento del ensayo, una vez descargada la probeta.

1.5.8 Alargamiento de rotura (A)

$$A = 100 \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

Se expresa en tanto por ciento de la longitud inicial (L_0).

El alargamiento de rotura está afectado por el valor de la relación K , definida en el apartado 1.7.3, de forma que sólo son comparables los valores obtenidos con probetas proporcionales.

Por esta razón, el símbolo A deberá afectarse de un subíndice que indique el valor de K o K' cuando se trate de probetas proporcionales y de la distancia entre puntos L_0 y la sección S_0 cuando se trate de probetas no proporcionales.

1.5.9 Alargamiento bajo carga (A_c)

Es el alargamiento experimentado por la probeta en cualquier momento del ensayo medido con ayuda de un extensómetro y manteniendo la carga. Se expresará en tanto por ciento de la longitud inicial (L_0).

1.5.10 Estricción (Z)

Es la diferencia entre el área recta de la sección inicial (S_0) y el área de la sección mínima (S_u) de la probeta después de la rotura, expresada en tanto por ciento de S_0 según la fórmula siguiente:

$$Z = 100 \frac{S_0 - S_u}{S_0}$$

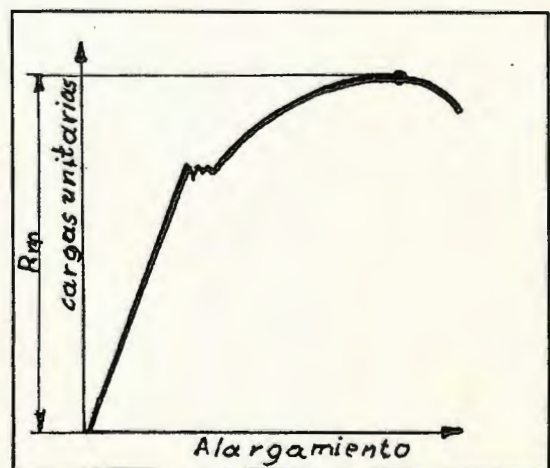


Fig. 8

1.6 SIMBOLOS

Símbolos	Definición
<i>d</i>	<i>Diámetro de una sección de una probeta cilíndrica</i>
<i>a</i>	<i>Espesor de una probeta plana</i>
<i>b</i>	<i>Anchura de una probeta plana</i>
<i>L</i>	<i>Distancia entre puntos (en cualquier momento del ensayo)</i>
<i>Lo</i>	<i>Distancia inicial entre puntos</i>
<i>Lu</i>	<i>Distancia final entre puntos</i>
<i>Le</i>	<i>Longitud base de medida del extensómetro</i>
<i>Lc</i>	<i>Longitud útil de ensayo (parte calibrada)</i>
<i>Lt</i>	<i>Longitud total de la probeta</i>
<i>So</i>	<i>Sección inicial de la probeta</i>
<i>Su</i>	<i>Sección mínima después de la rotura</i>
<i>F</i>	<i>Carga total instantánea</i>
$R=F/S_o$	<i>Carga unitaria</i>
<i>Re</i>	<i>Límite elástico</i>
<i>ReH</i>	<i>Límite elástico aparente superior</i>
<i>ReL</i>	<i>Límite elástico aparente inferior</i>
<i>Rpn</i>	<i>Límite elástico convencional con n % de alargamiento</i>
<i>Rm</i>	<i>Límite elástico con n % de alargamiento bajo carga</i>
<i>Rm</i>	<i>Límite elástico con alargamiento remanente del n%</i>
<i>R o Rm</i>	<i>Resistencia a la tracción</i>
<i>Ar</i>	<i>Alargamiento remanente por ciento</i>
<i>A</i>	<i>Alargamiento por ciento después de la rotura</i>
<i>Ac</i>	<i>Alargamiento bajo carga</i>
<i>Z</i>	<i>Estricción</i>

1.7 PROBETAS

1.7.1 Generalidades

En general, se procurará que la probeta sea lo más representativa del producto en cuanto a dimensiones, posición, orientación, etc., respetando las prescripciones de la misma norma ASTM A370. Sin embargo, estos apartados tienen un carácter general y orientativo, y si las normas del producto contienen prescripciones más concretas, éstas serán preceptivas para la obtención y preparación de las probetas.

1.7.2 Probetas no proporcionales

Cuando se empleen probetas no proporcionales (véase apartado 1.7.4) las normas indican un procedimiento para comparar el valor de alargamiento de rotura obtenido con estas probetas con los que se obtendrían con probetas proporcionales, teniéndose en cuenta las limitaciones indicadas en la citada norma.

1.7.3 Probetas proporcionales

Se denominan probetas proporcionales aquellas que tiene la misma relación K entre la distancia entre puntos y la raíz cuadrada de la sección recta inicial. ($L_0 = K \sqrt{S_0}$). A la constante K se denomina ley de proporcionalidad o semejanza.

Los alargamientos sólo son comparables si están determinados sobre probetas de la misma ley de semejanza.

Es frecuente expresar la ley de proporcionalidad en función del diámetro de una probeta cilíndrica ($L_0 = K'd$). La relación entre K' y K es

$$\frac{K'}{K} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} = 0,886227$$

En el caso de probetas no cilíndricas, para el cálculo de K' se tomará el diámetro de la sección circular de igual área.

Para los productos objeto de esta norma, se tomarán probetas con una ley de proporcionalidad de $K = 5,65$ ($K' = 5$).

1.7.4 Toma de muestras y preparación de probetas

ASTM ha estandarizado las muestras para muchos materiales. Para esta prueba, la forma de los extremos y la longitud de la pieza son factores críticos de la muestra. Para las muestras redondas, se recomiendan tres tipos de forma para los extremos:

- extremos con asientos rebordeados;
- extremos roscados;
- extremos lisos.

Las muestras estarán constituidas por un trozo del material a ensayar.

Las probetas se obtendrán, en general, por mecanizado de la muestra, en cuyo caso deberá disponerse de una curva (reborde fig. 10) suave entre las cabezas de la probeta y la parte calibrada. Las cabezas podrán tener cualquier forma que se adapte a las mordazas de la máquina de ensayo.

Cuando la forma del producto lo permite, por ejemplo, alambres, barras, productos moldeados, tubos de ciertos diámetros y otros análogos, la probeta podrá estar constituida por la muestra sin mecanizar.

Las prescripciones de las normas particulares de los productos relativas a las probetas (mecanizadas o no) o a su preparación y dimensiones prevalecen sobre las de la presente norma.

1.7.5 Sección recta

La sección recta de la probeta podrá ser circular, cuadrada o rectangular (fig. 10) y, en casos especiales, de otras formas.

El diámetro de las probetas cilíndricas mecanizadas no deberá ser inferior a 4 mm.

1.7.5.1 Sección recta inicial. *Como sección recta inicial podrá tomarse:*

- a) La resultante de las medidas reales de la probeta.*
- b) Las correspondientes a las medidas teóricas, si se cumplen las tolerancias de mecanizado.*
- c) La nominal del producto definida en la norma correspondiente.*
- d) La sección media equivalente definida en la norma de producto.*

1.7.6 Longitud útil de ensayo

1.7.6.1 Probetas mecanizadas. *La longitud de la parte calibrada no será inferior a 25 mm y a ser posible será igual o superior a 50 mm.*

Se recomienda que, para probetas cilíndricas, la longitud esté comprendida entre $L_0 + d/2$ y $L_0 + 2d$, y para probetas rectangulares, la longitud paralela esté comprendida entre $L_0 + 1,5\sqrt{S_0}$ y $L_0 + 2,5\sqrt{S_0}$.

Para casos de comprobación, la probeta cilíndrica deberá tener una parte calibrada de longitud igual a $L_0 + 2d$ y la rectangular de $L_0 + \sqrt{S_0}$.

Si se mecanizan juntas varias probetas rectangulares de distintos espesores, para el cálculo de L_c se tomará el valor de S_0 de la probeta mayor.

1.7.6.2 Probetas sin mecanizar. Cuando se utilicen probetas sin mecanizar, la longitud libre entre los dispositivos de amarre deberá fijarse de forma que los puntos para la medición del alargamiento queden a suficiente distancia de dichos dispositivos.

1.7.7 Distancia entre puntos.

La distancia se determinará en el caso de probetas proporcionales, de acuerdo con la ley de proporcionalidad prescrita en el apartado 1.7.8.

Esta distancia (figuras 11 y 13) puede redondearse al número entero más conveniente para el marcado con tal que la longitud calculada no se diferencie de la longitud marcada en más de un 10%.

Para probetas no proporcionales, la distancia será la prescrita en apartado 7.8 para cada tipo de probeta.

La distancia entre puntos se medirá como mínimo con una precisión de 1%.

Las marcas de referencia podrán hacerse por cualquier procedimiento que no produzca ningún efecto sensible de entalla sobre la probeta, pues en caso contrario podrían producirse roturas prematuras.

Cuando la longitud útil de ensayo sea muy superior a la distancia entre puntos, se deben marcar varias parejas de puntos de forma que determinen longitudes de referencia solapadas.

1.7.8 Dimensiones y características de las probetas

1.7.8.1 Barras (redondo, cuadrado, hexagonal, etc.).

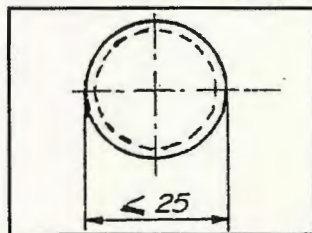


Fig. 9a

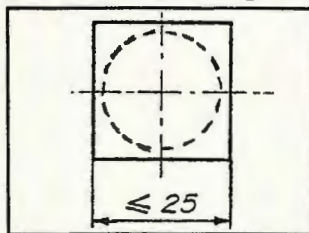


Fig. 9b

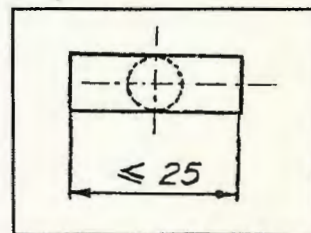


Fig. 9c

1.7.8.1.1 Aceros no tratados. Se utilizarán probetas proporcionales cilíndricas. Cuando se utilicen probetas mecanizadas, se seguirán las siguientes prescripciones: En las barras de medida nominal igual o menor a 25 mm, el eje de la probeta coincidirá con el de la muestra, habiéndose eliminado de

esta última la menor cantidad posible de materia (véase figura 9).

1.7.8.2 Productos planos (véanse figuras 10)

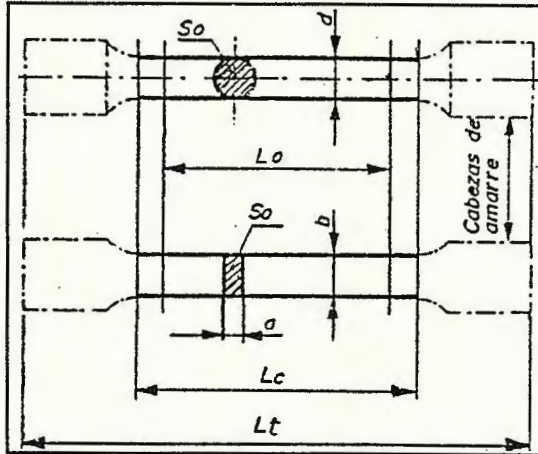


Fig. 10b

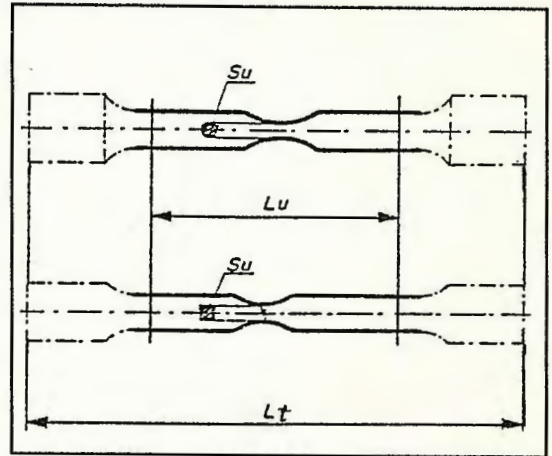


Fig. 10a

1.7.8.2.1 Productos planos de espesor superior a 3 mm. Para productos planos (chapas y partes planas de perfiles) de espesor comprendido entre 3 y 30 mm, se empleará normalmente una probeta de sección rectangular de espesor el del producto a ensayar y de anchura no superior a 40 mm.

La relación anchura/espesor se mantendrá entre 1,3 y 8.

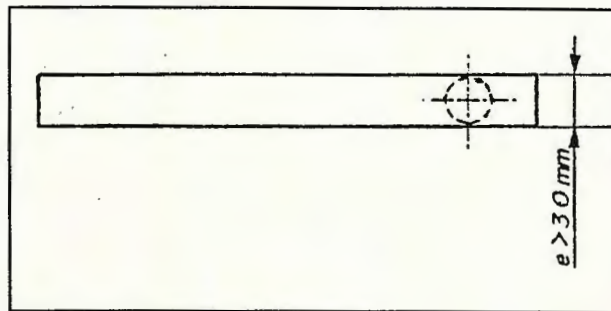


Fig. 10c

Para productos de espesor superior a 30 mm se podrá optar entre obtener una probeta cilíndrica cuya situación se indica en la figura 10c o lo más próxima a ella. También se puede obtener una probeta plana reduciendo el espesor por mecanizado, conservando una cara original de laminación, hasta un espesor igual o ligeramente inferior a 30 mm.

Esta probeta plana deberá cumplir la relación anchura/espesor entre 1, 3 y 8.

NOTA: Para los productos planos es frecuente realizar los ensayos sobre probetas con distancia fija entre puntos con lo que la ley de proporcionalidad varía con el espesor.

1.7.8.2.2 Chapas, bandas y flejes de espesor igual o inferior a 3 mm.

Se emplearán en todos los casos probetas de sección rectangular, de espesor el del producto.

Las medidas de las probetas admisibles se indican en la Tabla II.

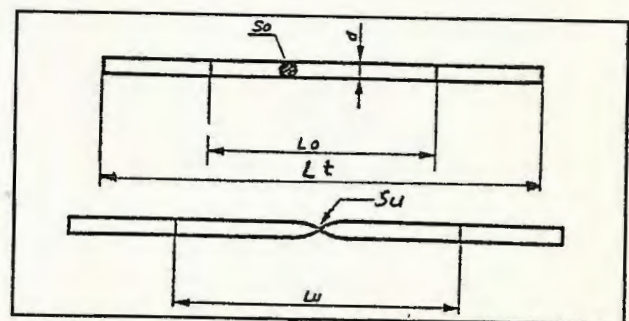
Tabla II
Medidas de la probeta

Tipo de probeta	Anchura b	Distancia inicial entre puntos L_0	Probeta con cabezas. Longitud de la parte calibrada L_c	Probeta sin cabezas. Longitud entre mordazas
1	20 ± 1	80 ± 0.8	120 ± 10	140 ± 10
2	12.5 ± 1	50 ± 0.5	75 ± 5	87.5 ± 5

1.7.8.3 Alambres (Fig. 11). La probeta tendrá la sección del producto que se va a ensayar.

Habitualmente se tomará una distancia entre puntos de 100 ó 200 mm.

(preferentemente la última) ya que para este tipo de productos no son apropiadas probetas que sigan la ley de semejanza.



La distancia entre mordazas será como mínimo 50 mm mayor que la distancia entre puntos.

Se evitará, en lo posible, enderezar las muestras antes del ensayo; si fuera preciso, se hará con la mano o con martillo de madera o plástico sobre una superficie plana del mismo material.

1.7.8.4 Productos huecos: Tubos, perfiles y barras (figuras 12 y 13). Las probetas podrán consistir en un trozo del producto que se ensaya con su sección completa o en una banda longitudinal cortada del mismo. En ambos casos no se reducirá el espesor original del producto. Si el espesor lo permite, puede emplearse una probeta proporcional cilíndrica obtenida de la pared del producto.

Al dar el resultado del ensayo, deberá indicarse el tipo de la probeta empleada.

Siempre que sea posible, será preferible ensayar el producto en toda su sección.

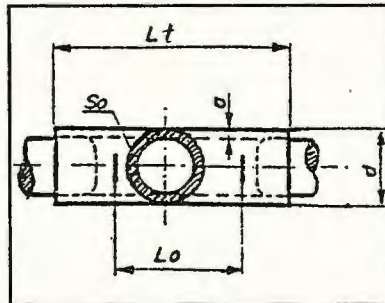


Fig. 12a

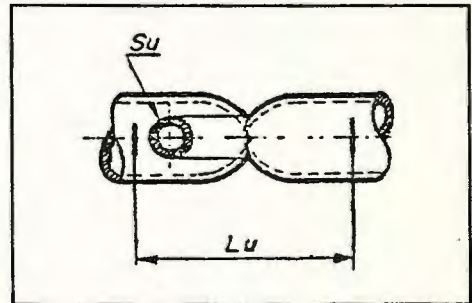


Fig. 12b

Las probetas longitudinales se cortarán de forma que su eje coincida con una generatriz del producto. Se compondrán de una longitud útil de anchura no inferior a ocho veces el espesor y de dos partes de mayor anchura o cabezas para el amarre de las probetas. La sección de la probeta será curvada y los lados mecanizados serán paralelos (no radiales) según se observa en la figura 13a y 13b.

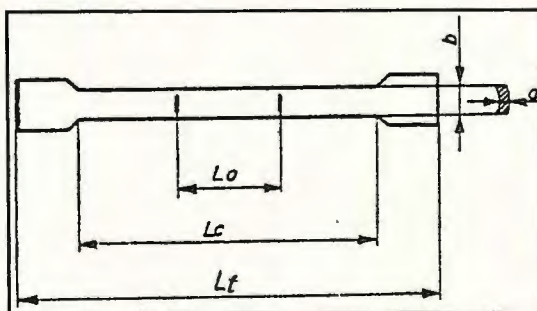


Fig. 13a

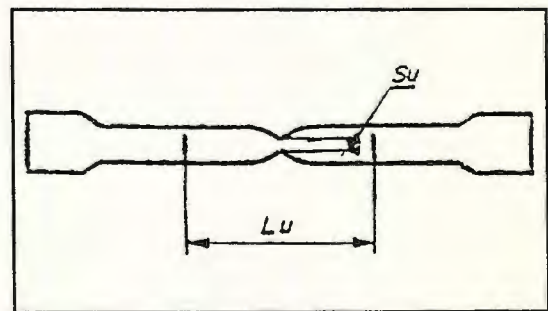


Fig. 13b

El mecanizado de las probetas debe efectuarse en frío, evitando que se produzca acritud, y se terminará con pasadas sucesivas de 0.2 a 0.3 mm de profundidad. El acabado final se hará por rectificado con abundante refrigeración o con papel de esmiril, hasta eliminar todas marcas de mecanizado.

Cuando se utilicen probetas no proporcionales, se empleará preferentemente una distancia entre puntos $L_0 = 50$ mm.

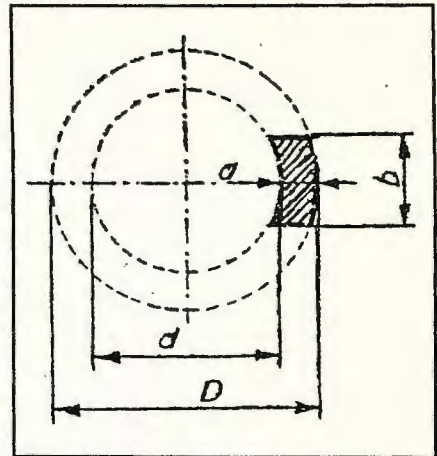


Fig. 13c

1.7.9 Tolerancias

Si las cargas unitarias se calculan sobre la base de las medidas reales de la sección, bastará medir éstas con la precisión suficiente para que el área de la sección tenga un error menor que el indicado en el apartado 1.7.9.1.

Si para el cálculo de las cargas unitarias se utiliza el valor nominal de la sección transversal de la probeta, las tolerancias dimensionales de la probeta serán las indicadas en el apartado 1.7.9.2.1.

En cualquier caso, las probetas deberán cumplir las tolerancias de forma indicadas en el apartado 1.7.9.3. Por tolerancia de forma se entenderá la diferencia entre los valores máximo y mínimo de una misma dimensión a lo largo de la parte útil de probeta.

1.7.9.1 Incertidumbre de medida en la sección recta

El error máximo en el cálculo de la sección recta no será superior al 1% del valor nominal de dicha sección.

Para probetas constituidas por un trozo de tubo la sección recta se puede determinar por medición directa de sus dimensiones o por pesada, tomando la masa específica establecida convencionalmente para cada acero.

Para probetas longitudinales de tubos, la sección recta tal como se define en el apartado 1.7.8.4, se calculará, en función de la incertidumbre deseada por

medio de una de las siguientes fórmulas:

a.-
$$S_o = \frac{1}{4} (b \sqrt{d^2 - b^2} + D^2 \arcsen \frac{b}{D}) - \frac{1}{4} (b \sqrt{d^2 - b^2} + d^2 \arcsen \frac{b}{d})$$

b.-
$$S_o = ba \left(1 + \frac{b^2}{6Dd} \right)$$

c.-
$$S_o = ba$$

Siendo: (Véase fig. 13c)

D = Diámetro exterior del producto,

d = Diámetro interior,

b = Anchura de la probeta,

a = Espesor de la pared.

De estas fórmulas, las b) y c) representan los primeros términos del desarrollo en serie de la fórmula a).

1.7.9.2 Tolerancias dimensionales de la sección recta. Las tolerancias dimensionales comprenden tanto las tolerancias de mecanizado como las de fabricación de las partes no mecanizadas.

1.7.9.2.1 Tolerancias dimensionales para sustituir la sección real por la nominal. Para utilizar en el cálculo de las cargas unitarias la sección nominal en lugar de la sección real, las probetas cumplirán con las tolerancias indicadas en la Tabla III.

En el caso de alambres el empleo de la sección nominal vendrá especificada en la norma del producto.

Tabla III

Dimensión nominal mm	Tolerancia mm
Menos de 6	± 0,06
6 a 10 (exclusive)	± 0,075
10 a 18 (exclusive)	± 0,090
18 a 30 (inclusive)	± 0,105

1.7.9.2.2 Tolerancias dimensionales aplicables a probetas de longitud fija. En aquellos casos en que se utilicen probetas con longitud fija entre puntos (probetas no proporcionales) y se utilice para el cálculo de las cargas unitarias la sección real, la tolerancia de las medidas de la sección será de 0,1 mm para el diámetro de las probetas cilíndricas y 0,05 mm para la anchura de las probetas rectangulares.

En el caso de los alambres la medida se realizará con una precisión de 0,02 mm.

1.7.9.3 Tolerancia de forma. Se aplicarán las tolerancias indicadas en la Tabla IV.

Tabla IV

<i>Tipos de probeta</i>	<i>Dimensión nominal mm</i>	<i>Tolerancia mm</i>
<i>Cilíndrica y rectangular mecanizada por las cuatro caras.</i>	<i>inferior a 6</i>	<i>0,03</i>
	<i>de 6 a 18 (exclusive)</i>	<i>0,04</i>
	<i>de 18 a 30 (inclusive)</i>	<i>0,05</i>
<i>Rectangulares mecanizadas por dos caras opuestas</i>	<i>inferior a 6</i>	<i>0,18</i>
	<i>de 6 a 10 (exclusive)</i>	<i>0,22</i>
	<i>de 10 a 18 (exclusive)</i>	<i>0,27</i>
	<i>de 18 a 30 (exclusive)</i>	<i>0,33</i>
	<i>de 30 a 50 (inclusive)</i>	<i>0,39</i>

Se permite una pequeña reducción en la sección de la probeta, con el fin de facilitar la rotura de la misma en la zona central. En cualquier caso, la sección reducida se mantendrá dentro de las tolerancias.

1.8 CONDICIONES DE LA MAQUINA DE ENSAYO Y DE LA REALIZACION DEL MISMO

1.8.1 Sujeción de las probetas

Las probetas deberán sujetarse a la máquina de ensayo por métodos apropiados y en toda su anchura (o espesor, según el método empleado).

En el caso de ensayar probetas longitudinales de tubos, se recomienda el uso de mordazas que se ajusten a la curvatura de las cabezas de las probetas.

En caso de no disponer de mordazas curvas, se permite el aplastamiento en frío

de las cabezas pero sin que la deformación afecte a la parte calibrada.

Al ensayar tubos con probetas de sección total, se recomienda el uso en cada extremo de un tapón protector, que evite el aplastamiento del tubo por las mordazas. Las características geométricas de los tapones protectores se especifican en la figura 14.

En el caso de alambres, los cabezales serán los adecuados para que se produzca un mínimo efecto de entalla en el alambre compatible con un amarre eficaz de la mordaza. Para alambres finos, pueden utilizarse mordazas con suplementos de material blando con carborundo. Para alambres muy finos, se recomienda el procedimiento de anudado en los extremos o empleo de mordazas especiales.

Cuando se ensayen productos planos de poco espesor, las mordazas estarán rectificadas o pulidas, o si se emplean mordazas convencionales, se intercalarán chapas de material más blando que el que se está ensayando.

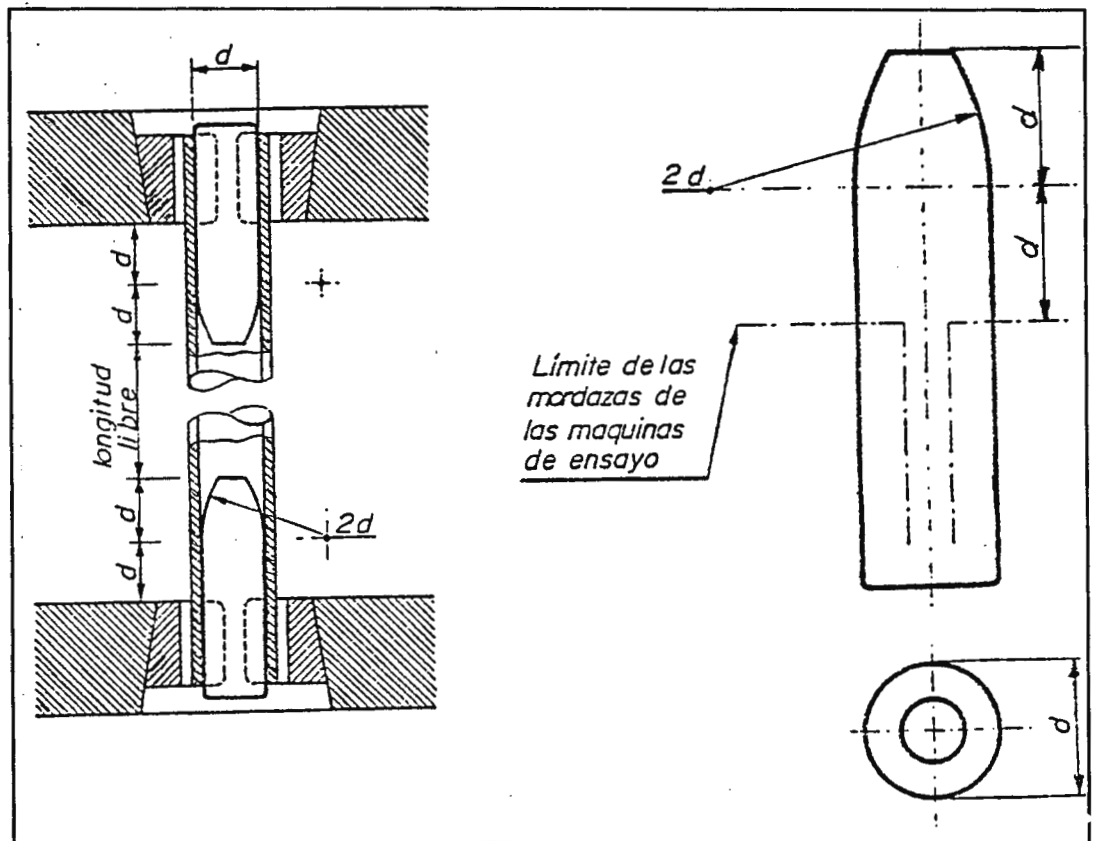


Fig. 14 Localización y dimensiones de los tapones utilizados en los ensayos de tubos.

1.8.2 Aplicación de la carga

Se procurará, en todo momento, que el eje longitudinal de la probeta sea paralelo a la dirección de la fuerza de tracción. Esta condición es particularmente importante en el ensayo para la determinación correcta del límite elástico.

A este fin, es recomendable que al menos una de las mordazas esté dotada de los dispositivos adecuados para conseguir la alineación (por ejemplo, mordaza articulada).

1.8.3 Precisión y sensibilidad

La máquina de ensayo estará verificada de acuerdo a las normas nacionales.

Al menos una vez al año se hará una verificación de la máquina de ensayo y siempre que haya duda razonable de su estado.

Las cargas deberán medirse sin interpolación en las graduaciones del limbo de la máquina con una precisión del 1%.

Si se utiliza extensómetro, para la medición de una carga unitaria el error no deberá ser superior al 5% del alargamiento medido.

1.8.4 Velocidad del ensayo

La velocidad a que se realiza el ensayo puede tener una notable influencia en los resultados obtenidos.

Para una determinación rigurosa del límite elástico (en especial del límite elástico superior), será preciso regular la velocidad de deformación cuando las cargas se aproximen a los citados puntos. Con velocidades altas los resultados son normalmente más altos.

La velocidad adecuada depende de las condiciones elásticas de la máquina, de la distancia entre puntos y de la sección de la probeta.

En líneas generales, la velocidad de deformación, en el límite elástico aparente, no será superior al 15% de L_0 por minuto. Esta velocidad no se sobrepasa en la mayor parte de las máquinas actualmente en servicio, si se regula la velocidad de aplicación de la carga $9,8 \text{ N/mm}^2$ por segundo (1 Kg/mm^2 por segundo).

Una vez determinado el límite elástico según las prescripciones anteriores, puede aumentarse la velocidad de aplicación de la carga hasta alcanzar el valor de la resistencia a la tracción indicado más abajo.

En cualquier caso, la velocidad de la prueba será lo más uniforme posible y los cambios de velocidad se efectuarán gradualmente.

En el caso de que sólo se trate de determinar la resistencia a tracción, la velocidad máxima de aplicación de la carga a lo largo del ensayo, no excederá de 98 N/mm^2 por segundo (10 Kg/mm^2 por segundo).

Para caso de ensayos de series de probetas en ensayos de rutina, podrá utilizarse, para control de la velocidad de ensayo, la de desplazamiento de mordazas correspondiente a la velocidad de deformación del material.

1.8.5 Obtención del gráfico carga-alargamiento

En la mayoría de los casos este gráfico no es imprescindible para la realización del ensayo, si bien, es necesario en la determinación precisa de los límites elásticos aparentes (ReH y ReL) y convencional (Rpn).

Puede obtenerse por un sistema de registro adecuado, incorporado a la máquina de ensayo, o bien por puntos a partir de medidas realizadas con extensómetro. Debe obtenerse con la precisión necesaria para poder determinar características con la aproximación indicada en esta norma.

Se recomienda que este gráfico se obtenga con la amplificación adecuada.

1.9 OBTENCION DE RESULTADOS

1.9.1 Determinación del valor del límite elástico Re

En las especificaciones de productos, el límite elástico se simboliza genéricamente por Re .

Para los aceros no austeníticos y cuando en la norma del producto se fije Re sin especificar a qué límite elástico se refiere, se determinará bien el límite elástico aparente superior (ReH) o el límite convencional bajo carga al 0'5% ($Rt 0'5$), considerándose que se cumple la especificación si cualquiera de estos dos valores no es inferior al valor especificado Re .

Para los aceros austeníticos, se determinará el límite elástico convencional al 1% ($R_p 1'0$) o si la especificación del producto lo permite, el límite elástico convencional bajo carga al 1% ($R_t 1'0$), y se cumplirá la especificación si los valores de la característica medida no es inferior al valor prescrito.

1.9.1.1 Determinación sin disponer de gráfico

1.9.1.1.1 Límite elástico bajo carga (R_{tn}). *Se determina con ayuda de extensómetro, leyendo la carga cuando se alcanza la deformación prefijada. El extensómetro puede estar provisto de un dispositivo óptico o sonoro que indica cuando se alcanza dicha deformación.*

1.9.1.1.2 Límite elástico con alargamiento remanente del n% (R_{rn}). *El límite elástico con alargamiento remanente podrá determinarse sometiendo la probeta a cargas crecientes que no difieran en más de 9.8 N/mm^2 (1 Kgf/mm^2), que se mantienen durante 10 s, descargando la máquina y midiendo con la precisión requerida el alargamiento resultante (por ejemplo, con un extensómetro). La primera carga unitaria que produzca como resultado un alargamiento remanente igual o superior al prefijado, se considerará como valor del límite elástico R_{rn} .*

1.9.1.1.3 Límite elástico aparente. *En los aceros que presentan el fenómeno de cedencia, el límite elástico aparente se determinará por la parada (con o sin un leve retroceso) de la aguja de la esfera.*

El límite elástico así determinado coincide prácticamente con el límite superior (R_{eH}). En algunas ocasiones, esta parada queda reducida a una simple disminución de velocidad de la aguja (la cedencia no está claramente diferenciada). En este caso, si se requiere una determinación precisa, se recomienda determinar el límite elástico convencional (R_p), el límite elástico bajo carga R_{tn} o el límite elástico con alargamiento remanente (R_{rn}).

1.9.1.2 Determinación a partir del gráfico carga-alargamiento

1.9.1.2.1 Límite elástico convencional (R_{pn}). *Para determinar el límite elástico convencional, se trazará sobre el gráfico carga-alargamiento una paralela a la parte recta del mismo, que corresponde a la deformación elástica, a una distancia equivalente a la deformación remanente exigida. El punto donde esta paralela corta la curva tiene una ordenada igual a la carga en el límite convencional (Fig. 5).*

En el caso en que el diagrama no presente al principio parte recta, la pendiente pedida puede obtenerse por el procedimiento siguiente: Se aplica una carga hasta un valor próximo al de la carga unitaria del límite elástico, se descarga hasta una débil tensión residual y se vuelve a cargar sin retirar el extensómetro. El diagrama correspondiente a esta nueva subida de carga presenta generalmente una parte recta que define la pendiente buscada (fig. 15).

Cuando el material presente límite elástico aparente y la paralela corte a la curva en la zona en que aparezcan los efectos plásticos asociados a la cedencia, no tiene significado el límite elástico convencional y se determinará el límite elástico aparente inferior o superior (véase el apartado 1.9.1.2.2).

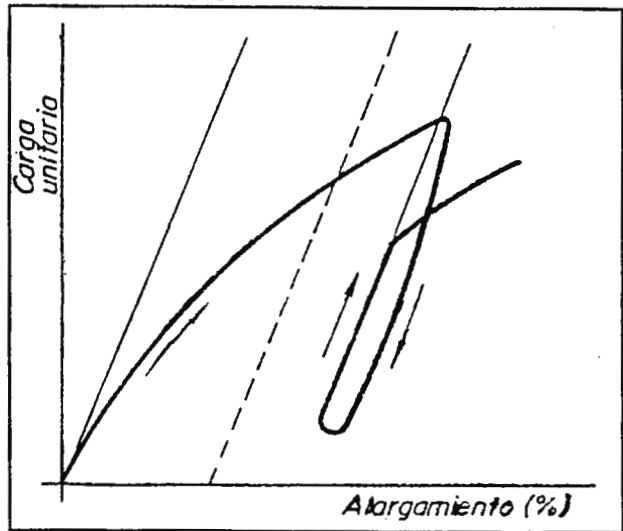


Fig. 15

1.9.1.2.2 Límite elástico aparente superior (ReH) o inferior (ReL). En el gráfico carga-alargamiento se podrá determinar, cuando se produzca cedencia, tanto el límite elástico superior como el inferior, según está definido en el apartado 1.5.5.4.

En los casos de que estos límites elásticos no sean fáciles de apreciar sobre el gráfico, podrá determinarse el límite elástico bajo carga con alargamiento de 0,5 % (Rt 0,5) y considerar éste como el límite elástico a que hace referencia la especificación del producto.

1.9.1.2.3 Límite elástico bajo carga (Rtn). Aunque para la determinación de esta característica no es imprescindible el gráfico, si se dispone de él para su determinación, se procederá según se deduce de la figura 6.

1.9.2 Resistencia a la tracción

Se determinará de acuerdo con la definición del apartado 1.5.6.

1.9.3 Alargamiento de rotura

Se determinará según la definición del apartado 1.5.8.

Si la rotura se produce fuera del tercio central de la distancia entre puntos, los valores obtenidos son normalmente inferiores a los reales, por lo que, en caso de duda, el ensayo en estas condiciones deberá considerarse nulo.

Para evitar el inconveniente indicado en el párrafo anterior, si la longitud de la parte calibrada lo permite, se puede marcar dos o más parejas de puntos de referencia.

Una práctica usual es dividir la parte calibrada en intervalos iguales de longitud I no inferior a 10 mm, de forma que la distancia entre puntos abarque N intervalos completos, o sea $L_0 = N.I$.

Después del ensayo, se eligen N intervalos de forma que la rotura quede incluida lo más centrada posible dentro de la longitud elegida (en cualquier caso la rotura debe estar en el tercio central de esta longitud) y se mide el aumento de longitud de estos N intervalos determinando así la distancia L_u .

Otro procedimiento consiste en dividir la longitud inicial entre puntos L_0 en N partes iguales.

Después del ensayo, se designa por A la referencia del trozo más corto de la probeta y, sobre el trozo más largo, se designa por B la división que dista de la rotura aproximadamente lo mismo que dista A .

Si es n el número de intervalos entre A y B , el alargamiento después de la rotura se determinará como sigue:

1.9.3.1 Si $N-n$ es un número par (fig. 16)

Se mide la distancia entre A y B y la distancia entre B y la división C que está a:

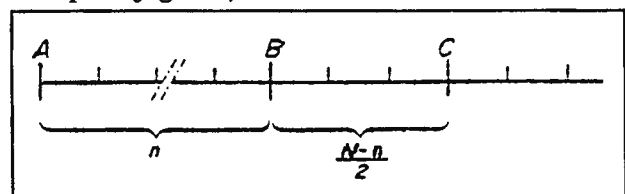


Fig. 16

$$\frac{N-n}{2} \text{ intervalos de } B$$

El alargamiento se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$A = 100 \frac{AB + 2 BC - L_0}{L_0}$$

1.9.3.2 Si $N-n$ es un número impar (fig. 17). Se mide la distancia entre A y B y la distancia de B a las divisiones C' y C'' situadas, respectivamente a:

$$\frac{N-n-1}{2} \text{ y } \frac{N-n+1}{2} \text{ intervalos de } B$$

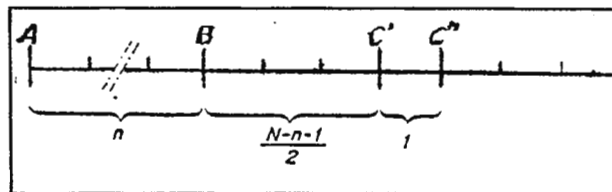


Fig. 17

El alargamiento por ciento se calcula por la fórmula siguiente:


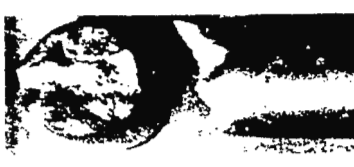




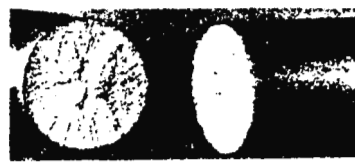

$$A = 100 \frac{AB + BC' + BC'' - L_0}{L_0}$$

1.9.4 Estricción

Se determinará de acuerdo con la definición del apartado 1.5.10.

1.10 ASPECTOS DE LAS FRACTURAS DE LAS PROBETAS. Los tipos de roturas se observan sobre los trozos de las probetas, rotas por tracción. Estos dependen de la naturaleza del material, de los tratamientos térmicos a los cuales fué sometido y del proceso de fabricación.

Tabla V

<i>Denominación</i>	<i>Aspecto de la fractura</i>	<i>Denominación</i>	<i>Aspecto de la fractura</i>
<i>Fractura de taza</i>		<i>Fractura de punta (o inclinada)</i>	
<i>Fractura de semitaza</i>		<i>Fractura de pito</i>	
<i>Fractura de estrella</i>		<i>Fractura fibrosa (o maderosa)</i>	
<i>Fractura plana</i>		<i>Fractura plana con muesca</i>	

1.11 ENSAYOS NULOS

Se considerarán nulos los ensayos en los que la rotura se produzca por causas debidas a una realización incorrecta del ensayo.

Cuando en un ensayo se obtenga un A% menor del especificado y la rotura haya tenido lugar fuera del tercio central de la probeta, asimismo se considerará ensayo nulo.

NOTA: *Las varillas construidas en el mercado nacional se clasifican: En grado 40 y 60, y en longitudes de 6 y 12 metros de acuerdo a las necesidades de los clientes. En los laboratorios de control de calidad de las fábricas donde vienen procesados, el producto terminado es sometido a pruebas de tensión, elongación y doblado.*

Estos análisis y pruebas son realizados en todos y cada uno de los lotes fabricados archivando los resultados para la seguridad de sus clientes.

Para definir el tipo de varilla, la hace de acuerdo a la norma ASTM A-615, sirviéndose de la Tabla VI. (Datos proporcionados por CORINCA).

**Tabla VI
REQUISITOS DE TENSION**

	Grado 40 ^o	Grado 60
Máxima resistencia a la tensión, valor mínimo PSI (MPa)	70,000 (483)	90,000 (621)
Límite de fluencia mínimo PSI (MPa)	40,000 (276)	60,000 (414)
Elongación en 8 pulgadas ó 203 mm mínimo %		
Número de Barra		
3	11	9
4, 5, 6	12	9
7	11	8
8	10	8
9	9	7
10	8	7
11	7	7
14, 18	-	7

Las barras de Grado 40 se suministran solamente en las medidas de 3 a 11. Las medidas de 7 a 11 podrían no ser disponibles, el fabricante debe ser consultado para verificar la disponibilidad.

PARTE SEGUNDA

2 PRACTICA DE TRACCION

2.1 PROCESO DE ENSAYO. Para esta práctica la máquina universal de ensayo viene equipada con la mordaza autosujetable sea superior como inferior (fig. 2.1).

En la probeta # 1 (varilla de 5/16" de hierro redondo liso) realizar el ensayo de acuerdo al siguiente esquema y al mismo tiempo elaborar la gráfica carga/alargamiento.

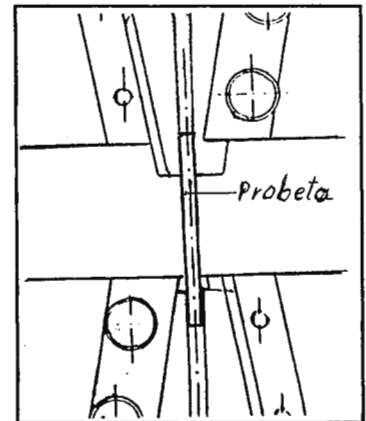
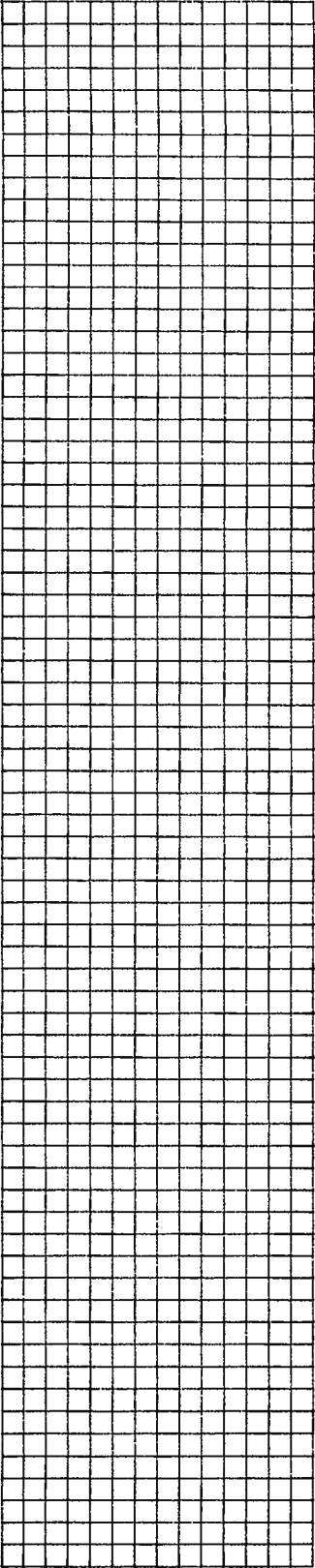
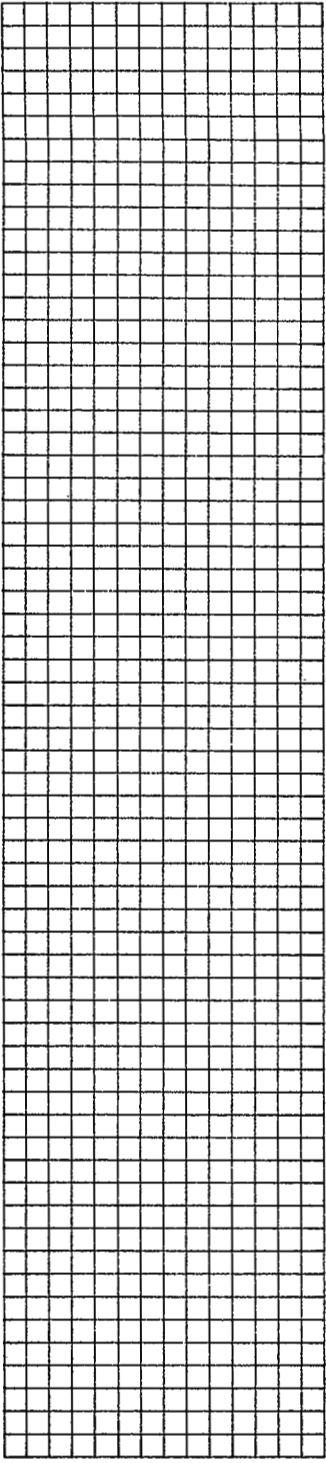


Fig. 1.2

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FASE	DESCRIPCION	ESQUEMA	DATOS	FORMULA	RESULTADO	
4	MONTAR LA PROBETA EN LAS MORAZAS DE LA MAQUINA.					
5	METER CARGAS PROGRESIVAS.					
6	DIAGRAMA Y CUADRO DE LIMITE DE PROPORCIONALIDAD.				$\sigma_p = \frac{F_p}{A_o}$	
7	DIAGRAMA Y CUADRO DE LIMITE DE FLUENCIA.				$\sigma_B = \frac{F_B}{A_o}$	
8	DIAGRAMA Y CUADRO LIMITE DE ELASTICIDAD.				$\sigma_E = \frac{F_E}{A_o}$	
9	DIAGRAMA Y CUADRO DE LIMITE 0.2.				$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_o}$	

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FASE	DESCRIPCION	ESQUEMA	DATOS	FORMULA	RESULTADO
10	CARGA UNITARIA DE ROTURA.			$R = \frac{F_R}{A_0}$	
11	ALARGAMIENTO UNITARIO.			$\delta = L_u - L_0$ $\epsilon = \frac{\delta}{L_0}$	
12	ALARGAMIENTO EN %.			$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100$	
13	MODULO DE ELASTICIDAD.			$E = \frac{\sigma_p}{\epsilon}$	
14	TENACIDAD.				
15	ESTRICCION DE ROTURA.			$\psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \cdot 100$	
16	MODULO DE POISSON.			$\mu = \frac{\frac{d_0 - d}{d_0}}{\frac{\delta}{L_0}}$	
17	MODULO DE TENACIDAD.			$\tau_{ER} = \epsilon \Omega$	
18	COEFICIENTE DE PLENITUD.			$\epsilon = \frac{\tau_{ER}}{\Omega}$	
19	DUREZA DE LA PROBETA, ANTES Y DESPUES DEL ENSAYO.				
20	CONCLUSIONES.				

UNIVERSIDAD DON BOSCO

INFORME DEL ENSAYO

Nombre _____
 Ensayo TRACCION _____
 Aparatos empleados _____

Práctica N° _____
 Fecha _____
 Temperatura _____

Material _____

Probeta N° _____

DIMENSIONES

INICIALES

FINALES

Largo

--

Ancho

--	--	--	--

Grueso

--	--	--	--

Sección

--

ϕ equivalente

--

--

--

--

--

--

Dureza HB _{2, 5/187, 5} _____

Resistencia a la tracción a partir de la dureza _____

RESULTADOS

Alargamiento $\delta\%$ _____

Límite de elasticidad $\sigma_{0,01}$ _____

Estricción $\psi\%$ _____

Límite de alargamiento técnico $\sigma_{0,2}$ _____

Coefficiente de alargamiento α _____

Módulo de elasticidad E _____

Resistencia a la tracción σ_B _____

Forma de rotura _____

Forma del grano _____

Tamaño del grano _____

OBSERVACIONES:

2.1.1 Realizar el mismo ensayo con estas probetas # 2, 3 y 4 de diferentes materiales pero manteniendo el diámetro (utilizando las mismas mordazas autosujetables).

2.1.2 Realizar el ensayo con una varilla corrugada de diámetro 5/16" y sacar el grado de la varilla de acuerdo al tipo de ensayo aplicado por CORINCA.

2.1.3 Realizar el ensayo con la probeta # 5 la cual lleva asiento en sus extremos. Para este ensayo se deben cambiar las mordazas autosujetables y las propias para este (fig. 2.2).

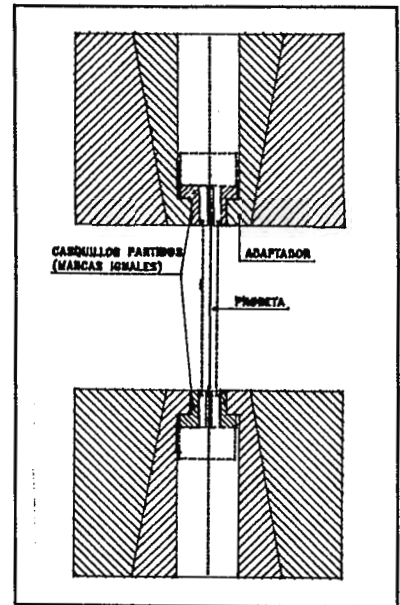


Fig. 2.2

2.2 Analice los ensayos realizados en sus partes más importantes y compararlos (como mínimo, cuatro).

NOTA: Para cada probeta hay que llenar los "INFORMES DE ENSAYO".

PARTE TERCERA

3 CUESTIONARIO

3.1 En una prueba de tensión, ¿qué parámetros indican la ductilidad de un material?

3.2 ¿Cómo se verán afectadas, por la velocidad de la prueba, la resistencia de cedencia y resistencia límite?

3.3 ¿Por qué motivo, generalmente, se determina la resistencia a la cedencia en vez de determinar el límite elástico?

3.4 ¿Cuál es la diferencia entre el límite de proporcionalidad y el límite elástico?

3.5 Comparar: la carga de rotura, la carga de fluencia, alargamiento total, %, unitario de todos los ensayos.

3.6 Profundizar el concepto de Módulo de elasticidad en los materiales. Comparar con un diagrama las probetas ensayadas.

3.7 Según la norma ASTM haga un estudio de los tipos de probetas.

BIBLIOGRAFIA:

- * *INTRODUCCION A LA METALURGIA*, Avner , McGraw-Hill 1979
- * *MATERIALES PARA INGENIERIA*, Flinn-Trojan, McGraw-Hill
- * *PROPIEDADES MECANICA DE LOS MATERIALES*, J. G. Tweeddale, TECNOS 1970.
- * *CIENCIA DE MATERIALES TEORIA-ENSAYOS-TRATAMIENTOS*, P. Coca Rebollero, Piramide 1992.
- * *NORMAS ASTM*.

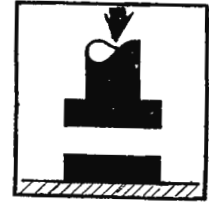
Laboratorio # 3

ENSAYO DE COMPRESIÓN

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA

METALURGIA Laboratorio #3

Ensayo de:
Compresión.



OBJETIVOS:

- * Estudiar el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo de compresión, hasta obtener su rotura o aplastamiento.
- * Aprender a realizar el ensayo de compresión y comprender el significado de los resultados en la misma.

Con el ensayo de compresión se estudia el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo de compresión, progresivamente creciente, ejercido con una máquina apropiada, hasta conseguir la rotura o aplastamiento, según la clase de material.

Se realiza sobre probetas cilíndricas en los metales y cúbicas en los materiales no metálicos.

PARTE PRIMERA

1. ENSAYO DE COMPRESION.

En las pruebas de compresión se comprime la muestra en sentido vertical hasta que falla (Figura 1.1). En otras palabras en la prueba de compresión la muestra se somete a condiciones exactamente opuestas a las de la prueba de tensión o tracción. Por tanto, la prueba de tracción-compresión es la misma en términos del comportamiento de la muestra y en los procedimientos.

ASTM tiene normalizado los ensayo de tracción y compresión, para los siguientes materiales: los productos de acero, cemento, concreto, caucho, madera, plásticos y materiales aislantes.

Debido a las dificultades para obtener información precisa a partir de ensayos de compresión en material dúctil, se hacen muy pocos ensayos de compresión en metales.

La dificultad procede de dos causas:

- inestabilidad de la compresión, y
- freno friccional.

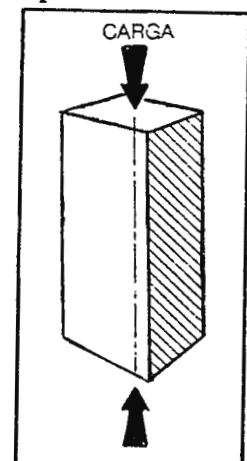


Fig. 1.1 Prueba axial de compresión.

1.1 Probetas de compresión

En las pruebas de materiales se deben tomar en consideración el tamaño, forma y composición de las muestras (especímenes o probetas). En muchos métodos para prueba se utilizan muestras tal como fue fundida o tal como fue maquinada. Otros métodos para pruebas pueden requerir muestras totalmente acabadas y preparadas con sumo cuidado.

Para tener resultados confiables, se necesita cierto número de muestras para cada prueba.

En el ensayo de tracción no hay ningún inconveniente en alargar la probeta para poder sujetarla en sus extremos. Mientras que para el ensayo de compresión no es adecuado, porque una longitud excesiva ocasiona una rotura prematura por pandeo, que tiende a comenzar en el instante en que se produce cualquier deformación plástica.

Para evitar el pandeo, la relación de la longitud total al diámetro no debe de exceder de 3:1. Si la carga de compresión se ha de aplicar uniaxialmente, no debe de aumentarse el tamaño del extremo de la probeta, porque esto podría obstaculizar en alto grado la deformación lateral en una probeta de longitud tan corta como tres veces su diámetro. Por tanto un diseño como el de la figura 1.2(a) no sirve y ha de usarse uno como el de la figura 1.2(b), a pesar del efecto de fricción entre los extremos de la probeta y las caras de presión del adaptador de la máquina, por lo que será necesario asegurar la mejor lubricación de las citadas caras.

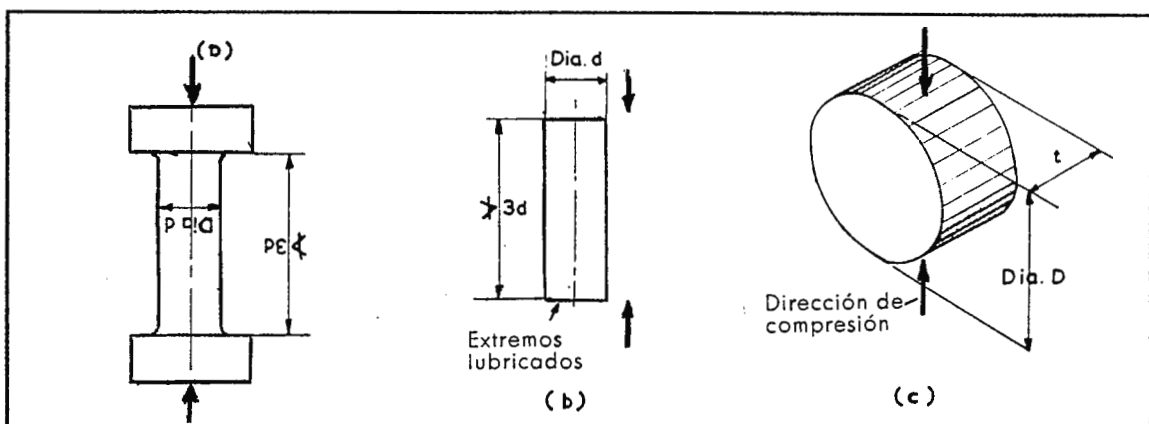


Fig. 1.2 Probetas de compresión: (a) Diseño inaceptable, incluso con límites de medida normales. (b) Probeta de compresión aceptable. (c) Probeta de compresión diametral, para material frágil.

El ensayo de compresión no se puede hacer en condiciones de tensión uniaxial verdadera, pero haciendo una secuencia de ensayos en probetas del tipo mostrado en la figura 1.2(b) con una gama de relaciones de longitud a diámetro será posible extrapolar los resultados de ensayo hasta el valor referente a una probeta de relación longitud a diámetro infinita, eliminando así el efecto perturbador del extremo.

Por otra parte, la resistencia a la tracción de un material frágil que no puede ensayarse en tracción simple, puede hallarse aproximadamente, ensayando en compresión diametral un disco plano del material, como se indica en la figura 1.2(c). Esto es posible porque la intensidad de tensión por tracción desarrollada en la rotura por compresión diametral de un disco que rompe en el intervalo elástico de tensión es un valor razonablemente consistente. El espesor del disco no influye mucho en el valor deducido de la resistencia a la tracción.

El valor máximo de la tensión de tracción en la rotura en el caso de ensayo de compresión diametral con carga de contacto lineal viene dado por la ecuación

$$f_t = \frac{2 P}{\pi D t}$$

donde:

f_t = es la tensión de tracción.

P = es la carga en la rotura.

D = es el diámetro.

t = es el espesor del disco.

1.2 Cargas y deformaciones en la compresión.

Todo cuanto hemos expuesto sobre este particular, al tratar del ensayo de tracción, se puede hacerse extensivo al de compresión, con sólo tener en cuenta que cambian de signo las cargas y las deformaciones.

En el ensayo de compresión se somete la probeta cilíndrica a la presión (fig. 1.3) de la máquina, para determinar en el instante de rotura o con el primer aplastamiento crítico, la carga y la respectiva deformación.

Como se dijo anteriormente esta prueba es particularmente significativa para los materiales frágiles (hierro fundido) y la madera. De ella se obtienen:

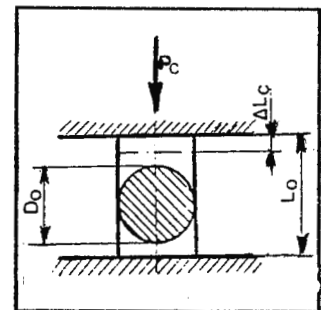


Fig. 1.3 Esquema del ensayo de compresión.

1.2.1 La carga unitaria de rotura o compresión obtenida de la relación:

$$R_{cR} = \frac{P_c}{S_0} \quad (N / mm^2)$$

donde:

P_c = la carga que provoca la rotura de la probeta o la aparición del primer

aplastamiento superficial.

S_o = la sección inicial de la probeta.

Para los materiales dúctiles, en los cuales no se manifiesta ninguna grieta, el ensayo viene llevado a cabo hasta un cierto aplastamiento longitudinal preestablecido y la carga a la compresión viene determinada por la siguiente fórmula:

$$R_{c40} = \frac{P_{c40}}{S_o} \quad (N / mm^2)$$

donde:

P_{c40} = es la carga de compresión que provoca un aplastamiento del 40%.

1.2.2 La carga unitaria de expansión lateral de proporcionalidad y la carga unitaria límite de deformación permanente, vienen expresadas de las siguientes relaciones:

$$R_{cp 0.2} = \frac{P_{\varphi 0.2}}{S_o} \quad (N / mm^2)$$

y

$$R_{cr 0.2} = \frac{P_{\sigma 0.2}}{S_o} \quad (N / mm^2)$$

donde:

$P_{\varphi 0.2}$ = la carga que provoca una expansión lateral de proporcionalidad del 0.2%

$P_{\sigma 0.2}$ = la carga límite que provoca un aplastamiento permanente del 0.2% de la longitud inicial.

1.2.3 Contracción longitudinal % viene dada por la ecuación:

$$A_c = \frac{L_o - L_u}{L_o} \cdot 100 \quad (\%)$$

donde:

L_o = la longitud inicial de la probeta.

L_u = la longitud final.

1.2.4 Contracción longitudinal unitaria:

$$\varepsilon_c = \frac{\Delta L}{L_o}$$

donde:

L_o = la longitud inicial.

L = la longitud instantánea (cuando el esfuerzo es P) de la probeta.

1.2.5 Aumento unitario transversal producido por el aplastamiento (deformación transversal), se expresa con la ecuación:

$$\varepsilon_{tc} = \frac{D - D_o}{D_o}$$

donde:

D_o = el diámetro inicial de la probeta.

D = el diámetro instantáneo.

1.2.6 Coeficiente de variación transversal y la variación de la sección en %, vienen dada por las relaciones:

$$\sigma_c = \frac{S - S_o}{S_o}$$

$$Z_c = \frac{S_u - S_o}{S_o} \cdot 100 \%$$

donde:

S_o = la sección inicial de la probeta.

S = la sección instantánea.

S_u = la sección final.

1.3 Carga en el ensayo de compresión.

Puesto que el sistema de carga con auto-centrado y auto-alineamiento, utilizado en el ensayo de tracción, no se puede usar en compresión, deben tomarse medidas especiales para asegurar una carga concéntrica libre de flexión. Se usan dos métodos.

En el primero se emplea un sistema de platos para auto-alinear la carga, que va provisto de algún dispositivo para el centrado de la probeta en los platos. Este dispositivo puede consistir simplemente en unas marcas de referencia concéntricas en las caras de los platos. La figura 1.4 muestra un sistema típico.

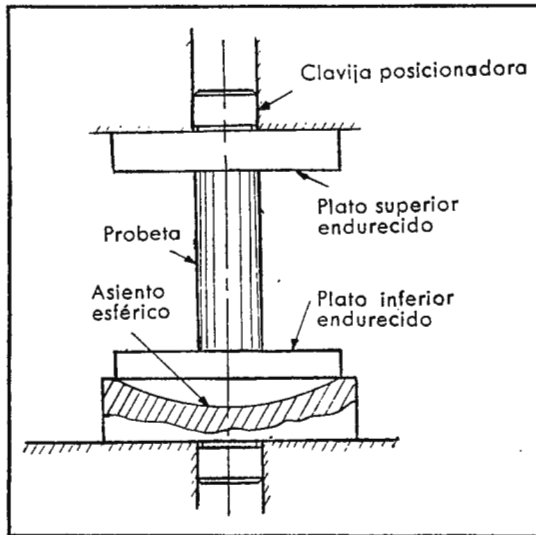


Fig. 1.4 Dispositivo auto-alineador para ensayo de compresión.

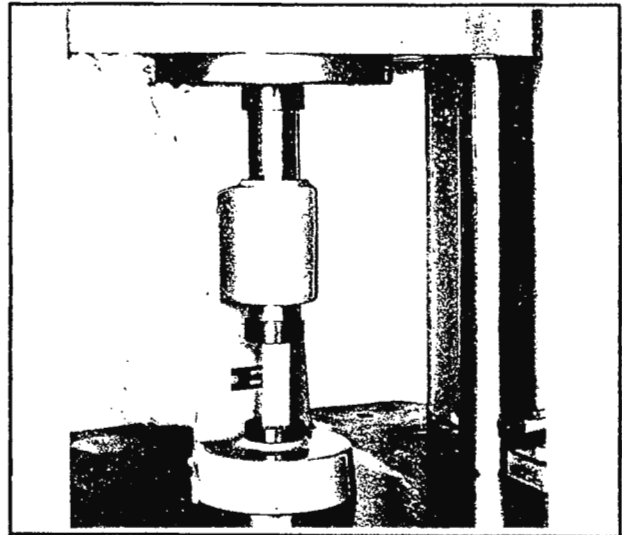


Fig. 1.5 Accesorio de ensayo de compresión.

El segundo consiste en utilizar un accesorio formando un todo completo auto-guiado que se monta en la máquina de ensayo, o se dispone entre platos como los que acabamos de mencionar. Este tipo de fijación es realmente una prensa en miniatura, en la que se puede adaptar la probeta, transmitiéndose la potencia a la "prensa" a partir de la máquina de ensayo. La mayor parte de los fabricantes de máquinas pueden proporcionar su propio diseño de accesorio para adaptarlo a sus máquinas. En la figura 1.5 se muestra un ejemplo.

1.4 Diagrama de compresión. Características mecánicas que se determinan en este ensayo.

El diagrama de esfuerzo-deformación, correspondiente a los ensayos de tracción y compresión en el acero extrasuave, es el de la figura 1.6. En él, la parte que se encuentra en el tercer cuadrante es la correspondiente a la compresión.

La recta OA' , a semejanza de la OA del diagrama de tracción, nos pone de manifiesto que los aplastamientos unitarios son proporcionales a las tensiones y el límite de proporcionalidad es la tensión, σ_p , por encima de la cual los aplastamientos dejan de ser proporcionales a las tensiones.

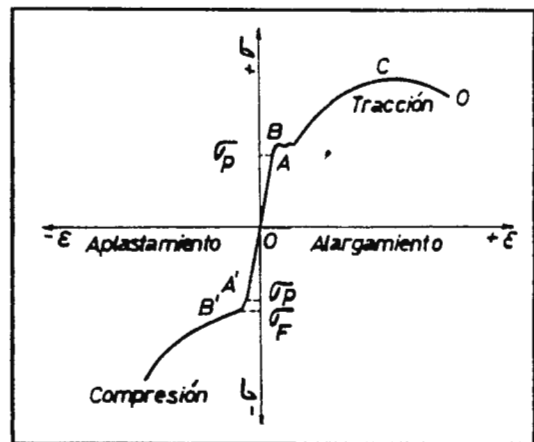


Fig. 1.6 Diagrama ensayo de: tracción y compresión para el acero extrasuave.

En A' se inicia una ligera curvatura, y en B' se produce un cambio brusco en el valor del aplastamiento sin un aumento sensible de la tensión. El punto B', homólogo del B en el ensayo de tracción, define el límite de fluencia al aplastamiento, que es la tensión, σ_p , por encima de la cual los aplastamientos se hacen permanentes. A partir del punto B', comienza a hacerse perceptible el aumento de sección de la probeta por aplastamiento, pero no de una manera uniforme a lo largo de toda su altura, sino que se desarrolla más intensamente hacia la parte central, adoptando, por lo general, una forma de tonel (fig. 1.7 b).

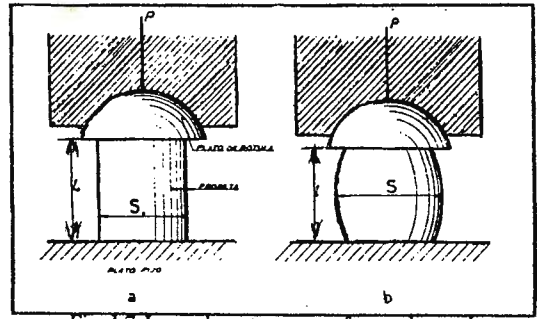


Fig. 1.7 La probeta toma una forma de tonel.

Por esto en los materiales plásticos, como el hierro dulce, cobre, plomo, etc., no existe una verdadera carga de rotura por compresión, ya que se aplastan sin romperse. Por el contrario, los materiales frágiles, como la fundición, acero templado, piedras, hormigón, etc., se rompen por compresión, sin deformación previa, y la carga de rotura a la compresión es siempre superior a la de rotura por tracción. La determinación del límite de fluencia en este tipo de materiales ofrece muchas dificultades.

1.5 Máquina

La Máquina Universal de Ensayos, para poder realizar el ensayo de compresión, va provista de dos platos: uno de ellos fijo, sobre el que se apoya una de las bases de la probeta; el otro móvil, en un alojamiento esférico, con el fin de que el esfuerzo actúe siempre normal a las bases y se distribuya uniformemente en toda la sección, aun cuando las bases no sean rigurosamente paralelas (fig. 1.4).

La colocación de la probeta de compresión en la máquina es una operación más delicada que la de tracción, pues cualquier descentramiento hace que se desarrollen esfuerzos excéntricos que falsean el resultado.

El estado de las superficies de apoyo de la probeta y de los platillos influye extraordinariamente en la forma que adopta la probeta al deformarse. Si entre ambas superficies existe mucho rozamiento, éste impide que allí el metal deslice y la deformación adopta la forma ya mencionada de tonel. Pero si entre las superficies no existe rozamiento, por estar perfectamente pulidas, allí se desarrolla la máxima tendencia al deslizamiento, y la deformación tiene lugar en forma de diábolo.

La forma de romperse la probeta depende del material.

- a) En materiales plásticos, tales como el hierro dulce, cobre, bronce, etc., se presenta en forma de grietas superficiales.

b) En los materiales frágiles, tales como la fundición, acero templado, piedras, hormigón, etc., se produce por deslizamiento de superficies, con una inclinación de unos 45° con relación a la dirección del esfuerzo.

c) En los materiales fibrosos, como maderas, se produce por plegamiento, si la dirección del esfuerzo es paralela a la de la fibra.

PARTE SEGUNDA

2. EJECUCION DEL ENSAYO.

2.1 *Probetas.* La forma de las probetas ejerce una influencia considerable en los resultados que se obtienen en el ensayo de compresión. Así, la resistencia de las probetas de sección cilíndrica es superior a las de sección cuadrada; además, si la altura de las probetas aumenta, la resistencia disminuye. La probeta normal para materiales metálicos es un cilindro cuya altura es igual al diámetro. Las probetas de compresión también tienen que cumplir con la ley de semejanza, debiendo verificarse $\sqrt{S}l = 0,9$ a 1 . Si la longitud es demasiado grande con relación al diámetro, existe la posibilidad de que se produzca el fenómeno de flexión lateral o pandeo.

2.2 Para poder realizar este ensayo de compresión la máquina viene equipada como se representa en la figura 1.8 o sea:

- * Utilizando la parte superior de la máquina,
- * Los dos platos 1 y 2.

2.3 Realizar el ensayo de compresión a las siguientes tres probetas de diámetro de $5/8$ y de los siguientes materiales de sección redonda llena:

- Hierro.
- Hierro fundido.
- Bronce.
- Aluminio laminado.
- Aluminio fundido.

2.4 Realizar el ensayo de compresión en los tubo de:

- Hierro.
- Aluminio.
- Plástico.

Para dichos ensayos seguir el esquema que se presenta en las páginas siguientes.

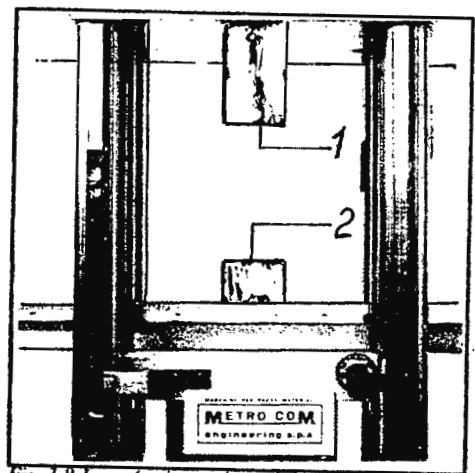


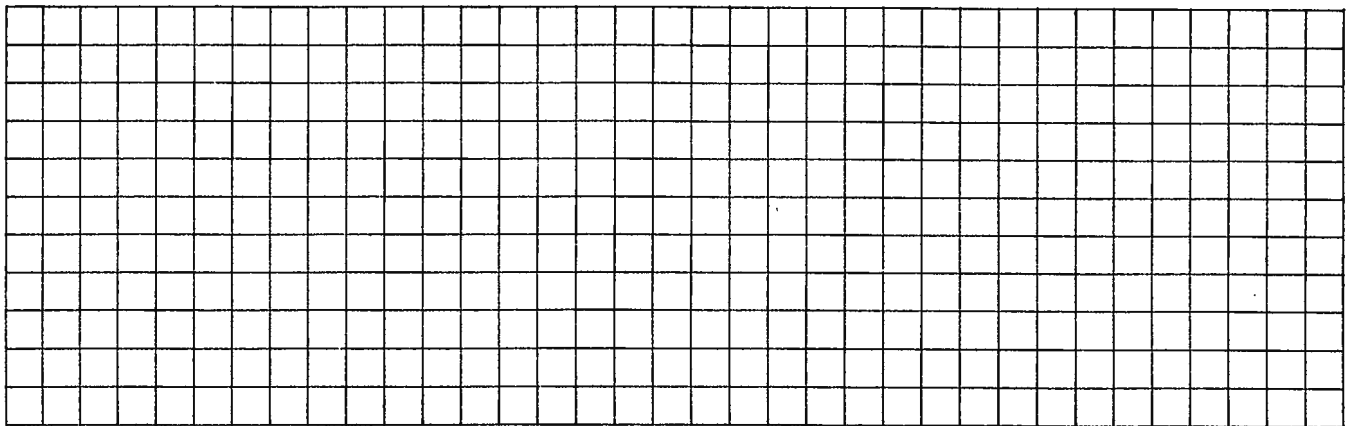
Fig. 1.8 La máquina universal de ensayo, equipada para el ensayo de compresión.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

PROCESO DE ENSAYO	ENSAYO: _____	NOTA:		
	NORMA: _____			
MATERIAL : _____	MAQUINA: _____	CICLO: _____	NUMERO: _____	NOTA TEST _____

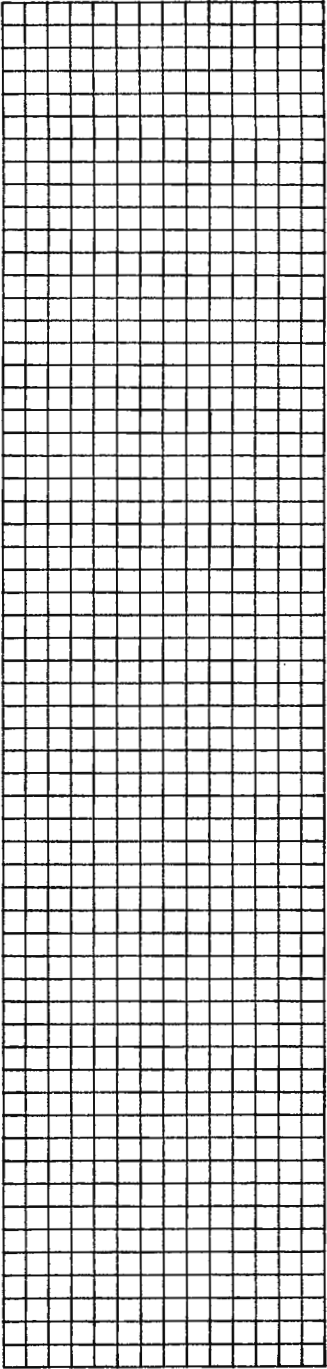
NOMBRE: _____	DUREZA MATERIAL _____
---------------	--------------------------

ESQUEMA PIEZA A ENSAYAR



FASE	DESCRIPCION	ESQUEMA	DATOS	FORMULA	RESULTADO
1	MEDIR LA LONGITUD INICIAL DE LA PROBETA.				
2	HALLAR LA SECCION INICIAL DE LA PROBETA				
3	COLOCAR UNA PELICULA DE ACEITE EN LOS DOS PLATOS.				
4	COLOCAR LA PROBETA SOBRE EL PLATO INFERIOR Y CENTRARLA EN EL MISMO.				

UNIVERSIDAD DON BOSCO

FASE	DESCRIPCION	ESQUEMA	DATOS	FORMULA	RESULTADO	
5	METER CARGAS PROGRESIVAS.					
6	DIAGRAMA Y CUADRO DE LIMITE DE PROPORCIONALIDAD (OP').					
7	DIAGRAMA Y CUADRO LIMITE DE ELASTICIDAD (σ_p).					
8	CARGA UNITARIA DE COMPRESION (R_{cR}) ó (R_{c40}).				$R_{cR} = \frac{P_R}{S_o}$ $R_{c40} = \frac{P_{c40}}{S_o}$	
9	CARGA UNITARIA DE EXPANSION LATERAL. ($R_{cp0.2}$) ó ($R_{cr0.2}$).				$R_{cp0.2} = \frac{P_{cp0.2}}{S_o}$ $R_{cr0.2} = \frac{P_{cr0.2}}{S_o}$	
10	CONTRACCION LONGITUDINAL % (A_c)				$A_c = \frac{L_o - L_u}{L_o} 100$	
11	CONTRACCION LONGITUDINAL UNITARIA (ϵ_c).				$\epsilon_c = \frac{\Delta L}{L_o}$	
12	AUMENTO UNITARIO TRANSVERSAL (σ_{tc}).				$\sigma_{tc} = \frac{D - D_o}{D_o}$	
13	COEFICIENTE DE VARIACION LATERAL (σ_c) Y VARIACION DE LA SECCION EN % (Z_c).				$\sigma_c = \frac{S - S_o}{S_o}$ $Z_c = \frac{S_U - S_o}{S_o} 100\%$	
14	CONCLUSIONES.					

UNIVERSIDAD DON BOSCO

INFORME DEL ENSAYO

Nombre _____
 Ensayo COMPRESION _____
 Aparatos empleados _____

Práctica N° _____
 Fecha _____
 Temperatura _____
 Probeta N° _____

DIMENSIONES

INICIALES

FINALES

Largo

Ancho

Grueso

Sección

Ø equivalente

Dureza HB_{2,5/107,5} _____

Resistencia a la compresión a partir de la dureza _____

RESULTADOS

Contracción TOTAL Δl _____	Contracción unitaria ϵ_0 _____
Carga unitaria R_0 _____	Aumento unitario transversal σ_{tr} _____
Contracción en % A_0 _____	Coefficiente de variación σ_0 _____
Variación sección en % Z_0 _____	Tensión unitaria σ_p _____

Forma de: rotura _____
 o, aplastamiento. _____

OBSERVACIONES:

2.5 Elaborar:

- Un diagrama y cuadro de compresión de cada probeta.
- Un estudio comparativo entre los diferentes materiales.

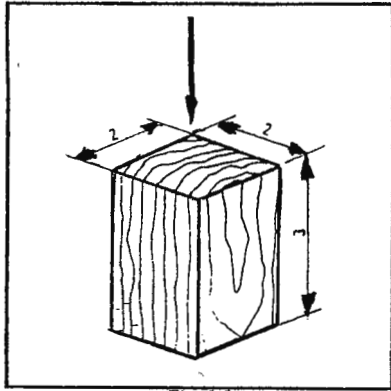


Fig. 1.9

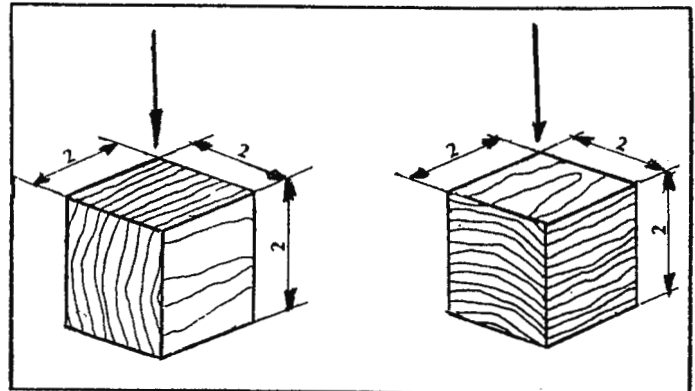


Fig. 1.10

2.6 Realizar la prueba de compresión sobre las probetas de madera.

Determinar:

- La resistencia de compresión axial.
- La resistencia de compresión tangencial, utilizando las ecuaciones que se presentan a continuación:

2.6.1 Para la resistencia de compresión axial (Figura 1.9) indicada con R_c , dada por la fórmula:

$$R_c = \frac{P_a}{S} \quad (N / cm^2)$$

donde:

P_a = carga de rotura axial indicada por la máquina.

S = sección de la probeta.

2.6.2 Para la resistencia de compresión tangencial y radial (Figura 1.10) representadas por las siguientes ecuaciones:

$$R_{ct} = \frac{P_t}{S} \quad (N / cm^2)$$

para la carga unitaria de compresión tangencial.

$$R_{cr} = \frac{P_r}{S} \quad (N / cm^2)$$

para la carga de compresión radial, donde:

P_t = Carga de rotura tangencial.

P_r = Carga de rotura radial.

NOTA: Para cada probeta hay que llenar los "INFORMES DE ENSAYO".

PARTE TERCERA

3. CUESTIONARIO

3.1 ¿Es muy frecuente el ensayo de compresión en los materiales metálicos? ¿Por qué?
¿En cuales se suele hacer?

3.2 ¿Se rompen por compresión los materiales plásticos? ¿Qué les sucede?

3.3 ¿Qué aspecto presentan las roturas por compresión en los materiales frágiles?

3.4 ¿Por qué las superficie de fractura por compresión en los materiales frágiles está inclinada 45° con relación a la dirección del esfuerzo?

- 3.5 *¿Pueden ser largas las probetas destinadas al ensayo de compresión? ¿Por qué?*
- 3.6 *¿En qué condiciones se produce la fractura en forma de "diábolo"?*
- 3.7 *¿Será apto para fabricar remaches un material que se aplasta por completo en el ensayo de compresión?*
- 3.8 *De la práctica realizada de compresión con las probetas, hacer un estudio comparativo con la tracción.*

BIBLIOGRAFIA

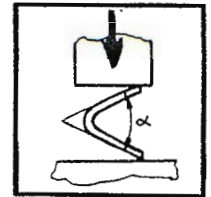
- * *INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA, Avner, McGraw-Hill 1979.*
- * *PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES, J. G. Tweeddale, TECNOS 1970.*
- * *CIENCIA DE LOS MATERIALES TEORIA-ENSAYOS-TRATAMIENTOS, P. Coca Rebolero, Pirámide 1992.*
- * *TECNOLOGIA MECCANICA, Salvatore Anfuso y Franco Carrosso, CEDAM, PADOVA 1988.*
- * *NORMAS ASTM.*

Laboratorio # 4

ENSAYO DE PLEGADO

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA**

Ensayo de plegado



METALURGIA Laboratorio # 4

Objetivos:

- * *Estudiar las características de plasticidad de los materiales metálicos.*
- * *Conocer otros tipos de ensayos para obtener factores característicos del material.*
- * *Estudiar el comportamiento de los materiales en vista del fin para el que se los destina.*

El ensayo de plegado sirve para estudiar las características de plasticidad de los materiales metálicos.

Este ensayo se diferencia de los otros en que no se pretende obtener valores cuantitativos en cálculos numéricos, pero son muy útiles, pues permiten obtener con rapidez un juicio aproximado de la composición, tratamiento o tipo de conformación de determinado material.

PARTE PRIMERA

1 ENSAYO DE DOBLADO.

1.1 OBJETO.

Las presentes normas tienen por objeto definir el ensayo de doblado de producto de acero. Para ello se doblan las probetas en condiciones normalizadas.

Se observa si aparecen grietas en la parte exterior de la curva, donde los esfuerzos de tracción son más elevados; la no aparición de grietas denota buenas características de plasticidad. El ensayo se puede realizar a temperatura normal y a temperatura elevadas. Se someten a este ensayo, principalmente, los aceros y las uniones soldadas. Estas últimas, para conocer el efecto que sobre la capacidad de deformación ejerce el calor de la soldadura.

1.2 FUNDAMENTO DEL METODO.

El ensayo consistirá en someter a una probeta recta, de sección llena, rectangular, circular o poligonal, a una deformación plástica por flexión, sin inversión del sentido de aplicación de la fuerza durante el ensayo. La probeta se doblará hasta que una de las ramas de la probeta bajo carga, forme, con la prolongación de la otra, un ángulo α determinado (Fig. 1.1).

Los ejes de las dos ramas de la probeta deberán permanecer en un plano perpendicular al eje doblado. En caso de doblado a 180° , las dos superficies laterales, en su posición final, podrán, según la especificación del producto, quedar paralelas a una distancia determinada (fig. 1.7) o estar en contacto (doblado a tope) (fig. 1.8).

El ensayo se llevará a cabo en caliente o en frío, según la especificación del producto.

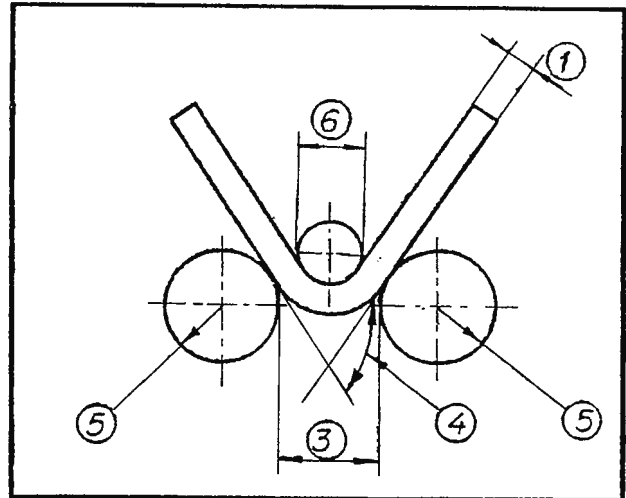


Fig. 1.1

1.3 SIMBOLOS Y DESIGNACIONES

Factores de los que depende los ensayos:

Número de referencia en las figuras	Símbolo	Designación
1.1	α	Angulo de doblado.
1.2	a	Espesor, diámetro de la probeta, o dimensión característica.
1.3	b	Anchura de la probeta.
1.4	-	Distancia entre los apoyos o en caso de matriz, abertura de esta.
1.5	r	Radio de los rodillos de apoyo.
1.6	d	Diámetro del punzón.
1.7	r_1	Radio de redondeado del punzón.
1.8	r_2	Radio interior de doblado de la probeta después del ensayo.

1.4 PROBETAS

Para las barras redondas o poligonales, el ensayo se efectuará sobre una muestra de la barra, si el diámetro (caso de barras circulares) o el diámetro del círculo inscrito (caso de barras de sección poligonal) no es superior a 50 mm.

Cuando el diámetro de la barra sea menor a 50 mm se reducirá el mismo hasta un valor comprendido entre 20 y 50 mm. La reducción en diámetro será optativa para barras comprendidas entre 30 y 50 mm.

En general, en otros productos, la probeta será de sección rectangular, con las aristas redondeadas con un radio que no exceda de la décima parte del espesor. No obstante, un ensayo efectuado con una probeta con aristas sin redondear, por ser más exigente, será válido si se obtienen resultados satisfactorios.

La anchura de la probeta, que deberá ser al menos 1.5 veces el espesor, estará comprendida normalmente entre 25 y 50 mm. Para productos planos, de espesor inferior a 3 mm, estará comprendida entre 15 y 20 mm.

Para semiproductos y piezas forjadas o moldeadas, el espesor de la probeta, salvo especificación en contrario, será de 20 ± 5 mm.

Para chapas, bandas, flejes y perfiles, el espesor será el del producto a ensayar. Si éste es superior a 25 mm se puede reducir por mecanizado por una de sus caras a un espesor igual o inferior a 25 mm. En este caso, la cara no mecanizada deberá corresponder a la parte exterior del doblado. Las probetas de los redondos de acero, para hormigón armado tienen una longitud igual 10 veces el diámetro, y se ensayan en la superficie en estado bruto.

1.5 MAQUINAS DE ENSAYO

La máquina de ensayo más usualmente empleada consistirá, esquemáticamente, en dos apoyos cilíndricos, giratorios, de separación regulable, y un punzón central cambiabile que ejercerá una presión sobre la probeta mediante su desplazamiento vertical (fig. 1.2).

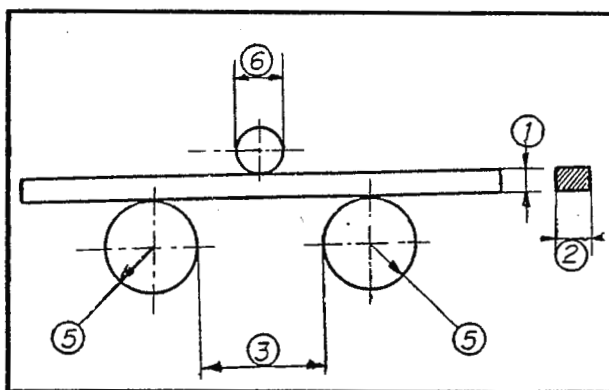


Fig. 1.2a

Los apoyos y el punzón deberán tener una anchura superior a la de la probeta y sus radios deberán estar determinados por la especificación del producto. Si no existiera especificación concreta para los radios de los apoyos, éstos serán de 25 mm.

Si se precisase observar la localización y el momento en que aparece la primera grieta, la zona doblada de la cara externa de la probeta deberá permanecer visible durante todo el ensayo.

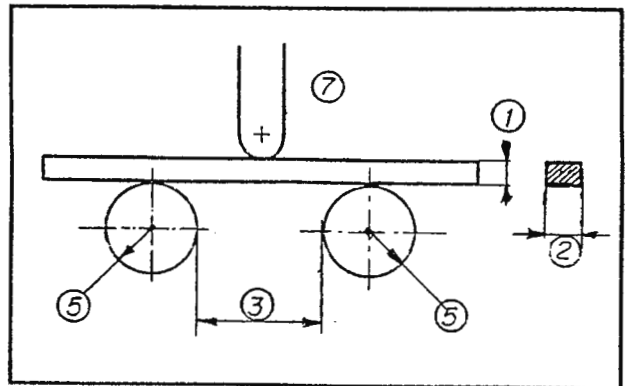


Fig. 1.2b

Condiciones que se han de cumplir en esta máquina.
Son las siguientes:

a) Los ejes de los rodillos serán paralelos y a una distancia fijada de antemano (fig. 1.1a y 1.1b).

$$d = 2h \text{ a } 3h$$

b) El diámetro de los rodillos de apoyo D , será:

$D = 50 \text{ mm}$	si	$h \leq 12 \text{ mm.}$
$D = 100 \text{ mm}$	si	$h > 12 \text{ mm.}$

c) La separación entre los apoyos L , será:

$$L = d + 3h$$

Otra máquina que también podrá emplearse en este ensayo consistirá en una matriz en forma de U o V y un punzón de forma contraria que, en su desplazamiento, deformará la probeta. Las aristas de apoyo serán redondeadas, a ser posible rodillos, y no presentarán impedimentos al libre desplazamiento de la probeta, engrasando las superficies en contacto si ello fuera necesario. Las caras inclinadas de la matriz formarán un ángulo de 60° , con una tolerancia de $+10^\circ$, y la abertura máxima será, como mínimo, de 125 mm (fig. 1.3).

Otro tipo de máquina, utilizado principalmente en chapa fina, consiste en

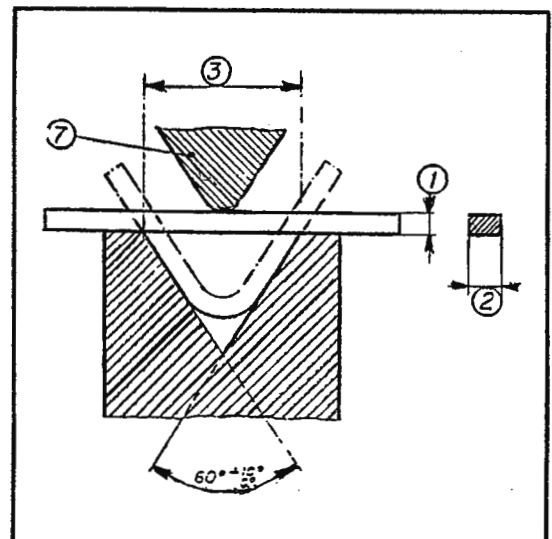


Fig. 1.3

una mordaza en la que se sujetará la probeta y con la separación prescrita. Se coloca la probeta sobre los apoyos o sobre la abertura de la matriz según el tipo de máquina empleado, de forma que la presión del mandril se ejerza sobre el punto medio de la probeta.

Una vez colocada la probeta en la máquina, se aplica, de forma continua, una fuerza hasta que las dos ramas de probeta alcancen el ángulo deseado (fig. 1.1).

Un sistema móvil cuya acción, ejercida en el extremo libre de la máquina, dará lugar al doblado (fig. 1.4). El mandril sobre el que se doblará la probeta tendrá el extremo redondeado con el radio debido para realizar el ensayo en las condiciones previstas por la especificación del producto hasta 180° .

La anchura de la mordaza será superior a la de la probeta.

Para ensayos a 180° , se puede doblar hasta un ángulo menor y continuar la deformación en una prensa adecuada hasta que las ramas paralelas se toquen o se mantengan a una distancia dada. En este último caso se puede intercalar entre las dos ramas una pieza de espesor igual a la separación prefijada para asegurar que se consiga dicha separación (Fig. 1.5).

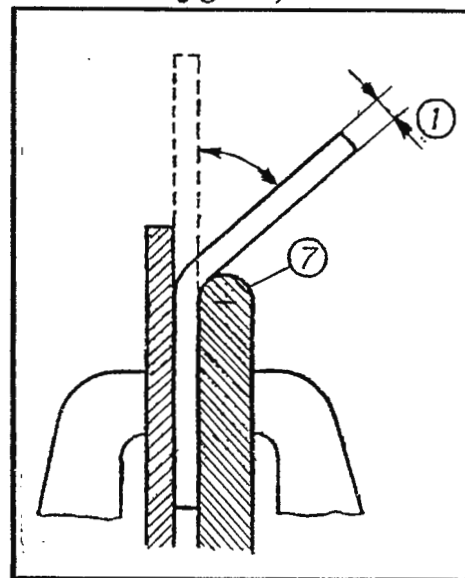


Fig. 1.4

1.6 FORMA DE HACER EL PLEGADO.

El ensayo se debe conducir de tal forma que los ejes de las ramas de la probeta se mantengan en el plano. Un ensayo se puede exigir que las ramas de las probetas queden:

a) Paralelas y a una distancia fijada de antemano (fig. 1.5a).

b) Formando un cierto ángulo α al emplear un punzón con diámetro determinado (fig. 1.2).

c) En contacto (fig. 1.5b).

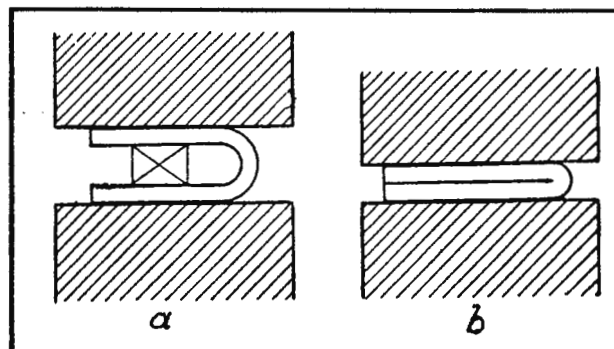


Fig. 1.5

1.6.1 DOBLE PLEGADO.

Llamado también ensayo del pañuelo; se realiza en láminas muy finas, con dimensiones (para las probetas) de $200 \times 200 \text{ mm}^2$, y consiste en someterlas a dos plegados consecutivos según dos direcciones perpendiculares de un mismo plano, como se dobla un pañuelo. El material no debe presentar grietas en estas condiciones.

1.6.2 DOBLADO ALTERNATIVO.

Se realiza con láminas delgadas (Fig. 1.6) y consiste en doblarlas un ángulo de 90° hacia uno y otro lado, contando el número de veces requerido para que surja la rotura. Siempre ha de procurarse que, en cada doblado, se adapte perfectamente la lámina al punzón de apoyo.

Tanto este ensayo, como los otros reseñados, permiten conocer la capacidad del material para este fin. Esto no puede hacerse sólo con el valor de la resistencia a la tracción, pues materiales que en el ensayo de tracción dan el mismo valor, pueden comportarse de modo diferente en el doblado, ya que el tipo de deformación es completamente distinto.

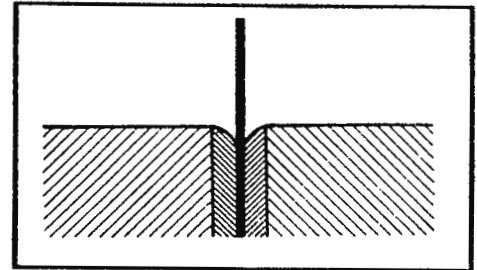


Fig. 1.6

1.6.3 ENSAYO DE EMBUTICION.

Es uno de los más importantes para las planchas, pues el proceso del embutido, si bien supone parcialmente la existencia de esfuerzos de tracción, hay simultáneamente fluencia del material, como consecuencia de deformarlo hasta aquel grado. Interesa, pues, medir la capacidad para resistir deformaciones hasta la aparición de la rotura. El grado de embutido mide por la carga y la flecha alcanzada en el momento en que aparece la primera grieta en el casquete esférico producido por el punzón.

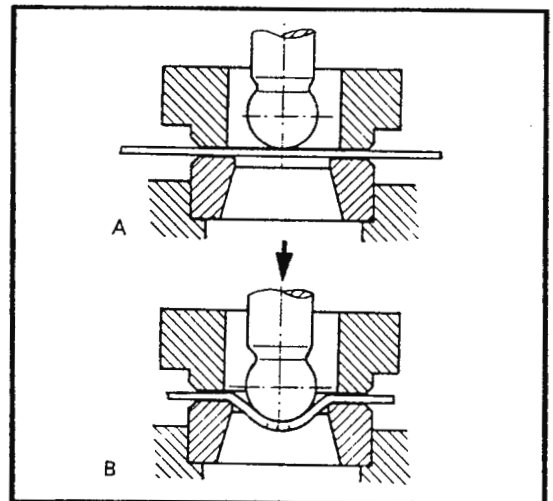


Fig. 1.7

De entre los diversos métodos propuestos para efectuar el ensayo de embutición, el más empleado es el de Ericksen. Según el espesor de la chapa que se ha de

UNIVERSIDAD DON BOSCO

ensayar, se construyen dos tipos de máquinas: las pequeñas, para chapa de hasta 2 mm de espesor, desarrollan una fuerza máxima de 2000 N, y las grandes, para chapas de hasta 6 mm, desarrollan una fuerza de 200000 N (Fig. 1.7).

Las probetas para este ensayo son circulares o rectangulares, de tamaño tal que no aparezcan corrimientos en los bordes del material estirado.

El grado de embutido, en este método, se expresa en mm. La carga de embutición, en el momento de aparecer la primera grieta, guarda cierta relación con la carga de rotura por tracción.

Los resultados obtenidos en chapas recocidas de 0,4 mm de espesor, de diversos materiales son:

<i>Material</i>	<i>Flecha en mm</i>
<i>Chapa fina M.S.</i>	<i>9,5</i>
<i>Chapa M.S. para embutición de 1ª calidad</i>	<i>8,2</i>
<i>Chapa M.S. para estampación, doblemente decapada</i>	<i>8,0</i>
<i>Chapa M.S. para estampación, simplemente decapada</i>	<i>7,8</i>
<i>Chapa ordinaria para plegar</i>	<i>7,5</i>
<i>Hierro blanco, de 2ª calidad</i>	<i>5,5</i>
<i>Chapa de latón</i>	<i>12,5</i>
<i>Níquel puro</i>	<i>11,5</i>
<i>Maillechort</i>	<i>11,0</i>
<i>Cobre</i>	<i>10,5</i>
<i>Aluminio</i>	<i>8,7</i>
<i>Cinc</i>	<i>6,5</i>

Según el aspecto que presenta la rotura del casquete, se deducen las siguientes consecuencias:

- 1. Si la rotura se produce en forma de grieta alargada, con una flecha pequeña, puede ser debida a falta de recocido, a un recocido defectuoso, a un temple incorrecto a una estructura fibrosa.*
- 2. Si la rotura se produce en forma de grieta circular, es señal de un recocido correcto.*
- 3. Si el casquete formado presenta un aspecto superficial de piel de naranja, se debe a un grano de tamaño elevado, producido por un sobrecalentamiento.*
- 4. Si aparecen grietas prematuras, se debe a falta de espesor o forjado defectuoso.*

Estos ensayos deben complementarse con la observación a la lupa de la superficie, después de terminada la medida. Según que al material presente, después de deformado, una estructura de grano grueso o fino, se le juzga inaplicable o idóneo, respectivamente, para estos fines. Este detalle es muy importante, pues a veces se obtienen valores iguales para la profundidad sin que por ello pueda aceptarse el material.

Existen representaciones gráficas, normalizadas, en que se dan los coeficientes de profundidad mínima en función de la calidad y espesor de la plancha.

1.6.4 TUBOS.

Suelen realizarse con ellos los siguientes ensayos tecnológicos:

1) **Doblado.** Se usa en tubos de paredes delgadas. Consiste en rellenar tubos con arena, plomo u otra materia apropiada a la conformación y doblar en torno a un yunque, de manera que se adapte a él. Se mide el ángulo curvado hasta la aparición de la primera grieta.

2) **Plegado.** Un trozo de tubo, de unos 50 mm de longitud, se coloca entre dos planchas, perpendicularmente al eje mayor, con las que se presiona, hasta que las paredes interiores se unen o adaptan a una pieza de sección rectangular colocada en su interior (Fig. 1.8). Las dimensiones de ésta se hallan estipuladas según el material que forma el tubo. El ensayo consiste en examinar si en estas condiciones se produce grieta o no. A veces se realiza, consecutivo a este ensayo (sin pieza interior), otro plegado según una sección transversal, con lo que se tiene el doble plegado.

3) **Ensanchamiento.** Consiste en introducir por uno de los extremos del tubo, cortado en forma de ángulo, un punzón cónico, que la ser presionado longitudinalmente, lo va ensanchando hasta que se rasga o hasta que alcanza un cierto diámetro.

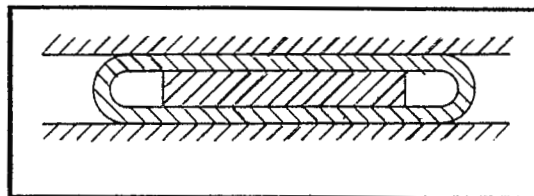


Fig.1.8

Es importante que los bordes del tubo estén redondeados y libres de muescas. Con frecuencia se determina un factor de calidad:

$$F_c = \left[\frac{(d_1 - d_0)}{d_0} \right] \cdot 100$$

donde:

d_0 = diámetro inicial,

d_1 = diámetro final.

4) Rebordeamiento.

Se doblan hacia fuera los bordes del tubo hasta el grado que exijan las especificaciones. En general suelen adoptarse los ángulos de 60° y 90° a 180° (Fig. 1.9, I, II, III).

Como esto se realiza con un martillo especial de rebordear,

se tiene, a veces, el inconveniente de que el rebordeado no es uniforme y las grietas que pudieran aparecer son enmascaradas por el mismo martillo.

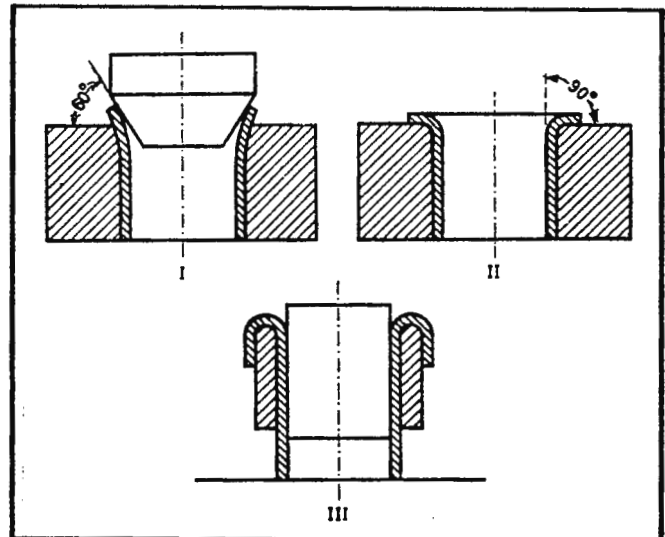


Fig. 1.9

5) Presión interior. Interesa conocer la resistencia cuando se utilizan para la conducción de líquidos o gases que circulan con gran presión. Para el ensayo, se corta un trozo de tubo de longitud cinco veces su diámetro interior y se coloca en un bastidor adecuado que mantenga la forma. Se inyecta por él un líquido, aumentando la presión, midiendo el aumento relativo de sección para una presión determinada hasta llegar a la rotura. Este aumento se refiere al perímetro del contorn. Como dilatación tangencial viene a ser igual a:

$$\epsilon = \left[\frac{(P_1 - P_0)}{P_0} \right] \cdot 100$$

donde:

P_0 = perímetro inicial,

P_1 = perímetro final.

Suele utilizarse agua para este objeto; en ningún caso gas, que podría producir roturas explosivas. Por este procedimiento pueden examinarse también porosidades o grietas, siendo entonces conveniente dejar que la acción se prolongue hasta 24 horas, pues con frecuencia es la cabo de este tiempo cuando estas imperfecciones aparecen.

Cuando se trata de reconocer porosidades y grietas muy diminutas, da un excelente resultado hervir el tubo en aceite flúido, secándolo después y someténdole a un chorro de arena. Se introduce luego en un baño de petróleo y seguidamente en alcohol, para limpiar perfectamente la superficie. Finalmente se recubre con una mezcla de creta y alcohol, exponiéndolo a la acción del aire. El aceite sale al exterior provocando manchas en la creta.

1.7 Ensayo de soldadura.

Para realizarlo se suelda una barra cortada en dos trozos. Para convencerse de que la soldadura ha sido perfecta (relativamente) se pliega la barra por la unión soldada, ajustándose a las normas expuestas para esta clase de ensayos. También se suelen hacer ensayos de tracción y resiliencia en las uniones soldadas.

De una forma general, cualquier clase de soldadura debe someterse a una serie de ensayos encaminados para comprobar sus cualidades de resistencia. También se someten a los mismos ensayos el material base y los electrodos. Entre los ensayos más usuales de las uniones soldadas cabe destacar los de tracción, resiliencia, fatiga, doblado y la determinación de la dureza en diversos puntos próximos al cordón de soldadura y situados en una dirección perpendicular al mismo.

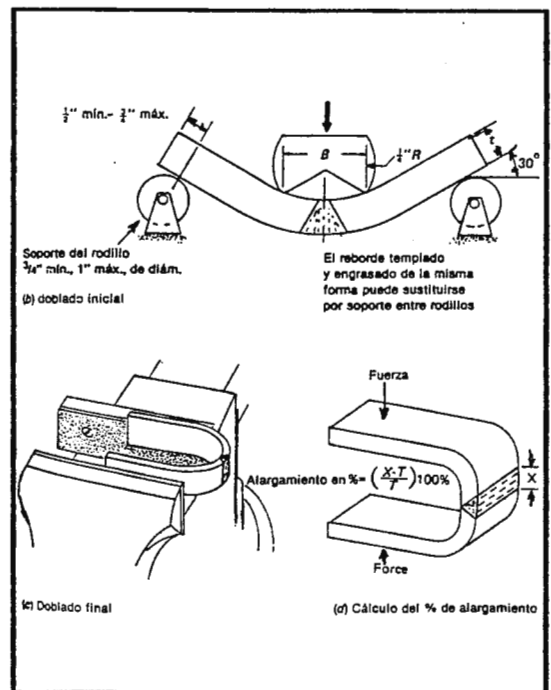


Fig. 1.10

PARTE SEGUNDA

2 PROCEDIMIENTO OPERATIVO

2.1 Esta primera parte del laboratorio se desarrolla en banco de ajuste.

Primera actividad:

■ En un tornillo de Banco, colocar una lámina # 1 (100 x 100 mm, espesor 0.35mm) y realizar el ensayo del pañuelo.

■ En el mismo tornillo de banco, colocar la lámina # 2 (80 x 80mm y espesor 0.35 mm) y realizar el doblado alternativo.

Nº de veces requerido, para romperse _____

■ Repetirlo con la lámina # 3 de las mismas dimensiones de la lámina anterior pero de otro material.

Nº de veces requerido, para romperse _____

Segunda actividad:

■ Sujetar en una mordaza la lámina # 4 (80 x 80, espesor 1 mm) conjuntamente con un punzón redondeado (fig. 2.1).

Seguir los siguientes pasos:

■ Doblado a más de 90°

■ Entre las dos mordazas de la prensa, continuar el doblado, hasta seguir todo el proceso de la figura 2.2.

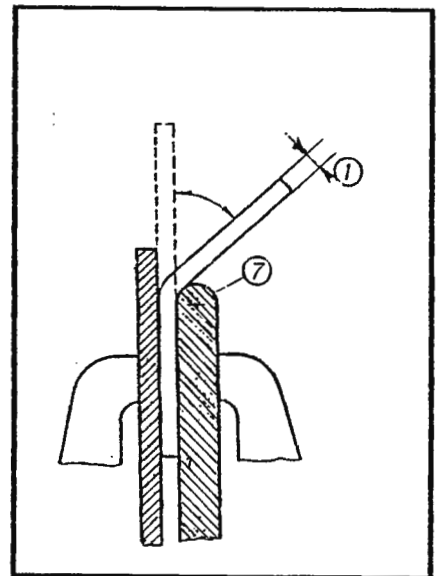


Fig. 2.1

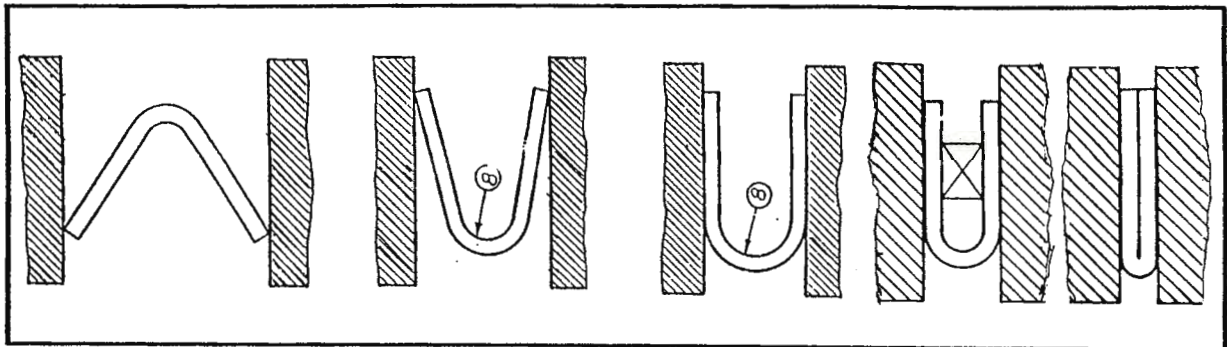


Fig. 2.2

2.2 Esta segunda parte del laboratorio se realiza en la máquina de ensayo.

■ Se utiliza la parte superior de la máquina, se monta lo siguiente:

* En el vástago del cilindro hidráulico:
- el punzón 41 (fig. 2.3).

* Sobre la mesa (53), colocar:
- una sobre-mesa 69 y sujetar los pernos en los dos extremos (fig. 2.3).

- Los soportes portarodillos (42). Los cuales deben montarse de tal forma, que la separación entre dos ejes corresponda a lo explicado en el ítem 1.5

■ Realizar el ensayo con la probeta # 5, (aluminio 32 x 6 mm), y repitiendo el proceso explicado en la 2.3.1 y 2.3.2.

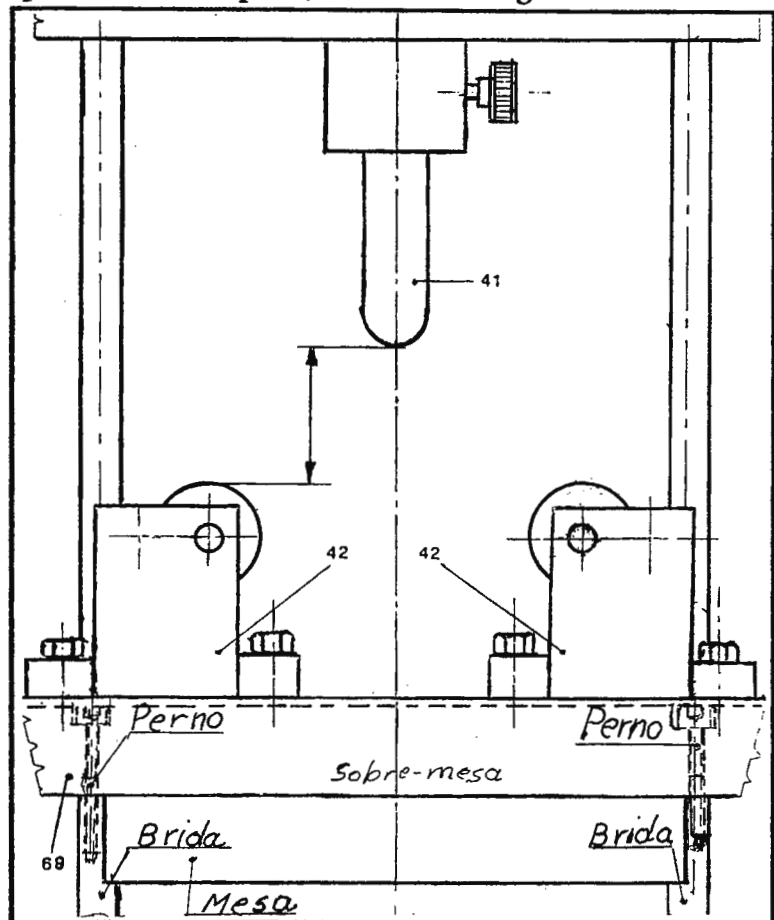


Fig. 2.3

■ Repetir igual con las probetas soldadas # 6, 7 y 8 (hierro de 1"1/2" x 3/16", aluminio, otros metales) hasta que se rompan.

2.3 Esta parte del laboratorio se realiza en la prensa hidráulica.

Primera actividad:

Preparar la prensa:

* Colocar la mesa 1 (fig. 1.4)

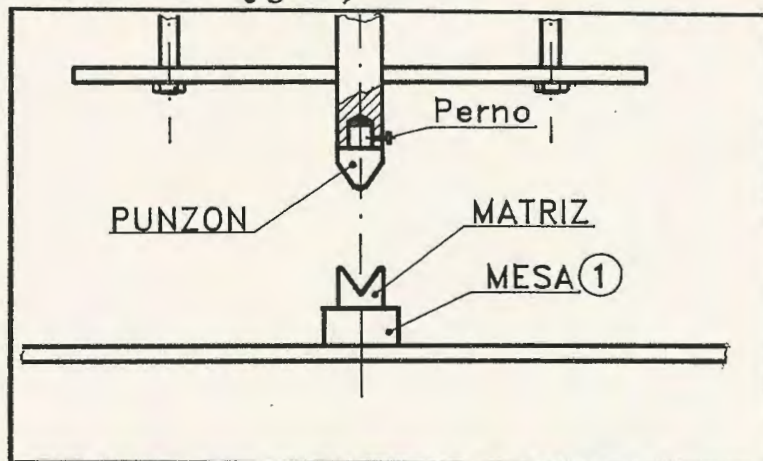


Fig. 2.4

* Sobre la mesa colocar la probeta # 7.

■ Ahora por medio del punzón 2, presionar sobre el interior del tubo. (El tubo debe sobresalir de la matriz unos 7 mm fig. 2.5 a).

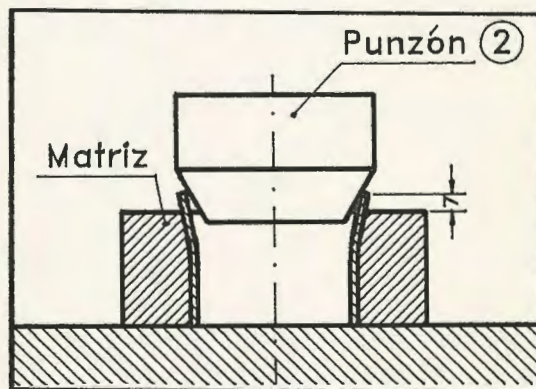


Fig. 2.5a

■ Por medio del punzón 3, presionar hasta que el tubo se doble (rebordee) 90° (fig. 2.5 b).

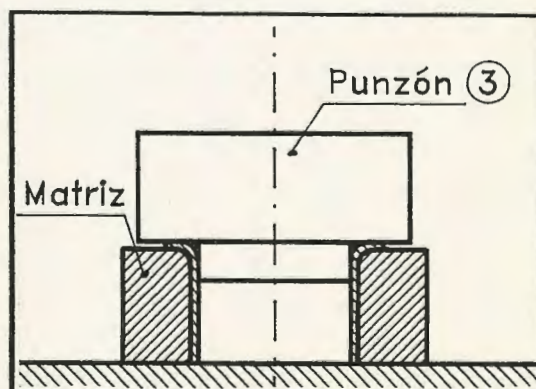


Fig. 2.5b

■ Por último por medio del punzón 4, y el casquillo 5 rebordear el tubo hasta de 180° (fig. 2.5 c).

■ Repetir el ensayo anterior con la probeta # 8 de otro material, realizando el mismo procedimiento.

Segunda actividad:

- * colocar sobre la mesa la pieza en V.
- * en el eje del vástago del cilindro hidráulico el punzón en V (fig. 2.4).
- Realizar el ensayo sobre otras probetas y seguir el mismo proceso explicado en el ítem 1.7.

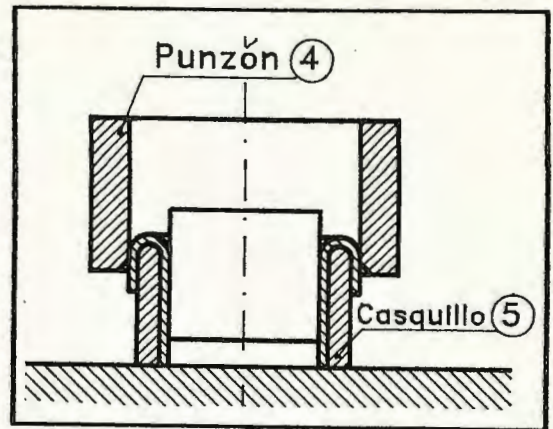


Fig. 2.5c

PARTE TERCERA

3 CUESTIONARIO.

- 3.1 *¿Cuáles son las ventajas de los ensayos tecnológicos?*
- 3.2 *¿Qué consecuencias se deducen de las pruebas de plegado de un acero que comenzó a agrietarse con un ángulo de plegado de 75°?*
- 3.3 *¿Se obtendrán los mismos resultados en el ensayo de doblado alternativo cuando la probeta se corta en la dirección de laminado que cuando se corta perpendicularmente?*
- 3.4 *Al efectuar el ensayo de embutición de una chapa fina, el casquete se rompió según una grieta alargada y con muy poca flecha: ¿A qué puede ser debido?*

3.5 *¿Cuáles son los ensayos tecnológicos más usuales para comprobar la calidad de los tubos?*

3.6 *¿Qué procesos se emplean para detectar las posibles grietas aparecidas?*

3.7 *Hacer un estudio de la formación de grietas y del comportamiento de las probetas a lo largo de los ensayos realizados.*

3.8 *Comparar las conclusiones técnicas de los diferentes ensayos realizados en los materiales.*

BIBLIOGRAFIA

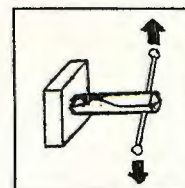
- * *CIENCIA DE LOS MATERIALES TEORIA-ENSAYOS-TRATAMIENTOS, P. Coca Rebolero, Pirámide 1992.*
- * *PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MATERIALES, J. G. Tweeddale, TECNOS 1970.*
- * *TECOLOGIA MECCANICA, Salvatore Anfuso y Franco Carosso, CEDAM, Padova 1988.*
- * *NORMAS ASTM.*
- * *MAQUINAS HERRAMIENTAS, Tomás Vidondo, BRUÑO-EDEBE, 1978.*
- * *INDRODUCCION A LA SOLDADURA . Henry Horwipz, ELECTROCOMP, MEXICO, 1984.*

Laboratorio # 5

ENSAYO DE TORSIÓN

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA

Ensayo de torsión



METALURGIA Laboratorio # 5

OBJETIVOS:

- * *Estudiar los principales propiedades mecánicas de los materiales.*
- * *Determinar el comportamiento de un material sometido a un esfuerzo torsor.*
- * *Aprender o efectuar la prueba de torsión y comprender el significado de los resultados obtenidos.*

Muchos elementos de máquinas, por ejemplo, los árboles de trasmisión, se encuentran sometidos a torsión.

Un árbol (o sólido) se dice que trabaja a torsión cuando dos secciones tienden a girar una respecto a la otra por efecto de un par de fuerzas, que actúan, sobre un plano perpendicular al eje del árbol, a una cierta distancia.

PARTE PRIMERA

1 TORSION

1.1 Diagrama de tensiones. La sollicitación de torsión se produce por la actuación de un par de fuerzas que produce el giro de las secciones en su plano y un retorcimiento de la pieza alrededor de su eje, sufriendo las diferentes secciones transversales deslizamiento de unas respecto a las otras.

Al valor del momento del par se le denomina momento torsor y se designa por M_t .

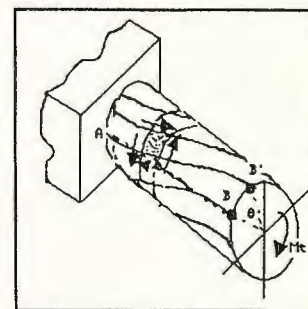


Fig. 1.1

1.2 Resistencia a la torsión. La probeta, sometida a un momento de torsión M_t , (cuyo eje coincide con el de la probeta), se deforma y adquiere cierta configuración de equilibrio, tal como se indica en figura 1.1. En consecuencia,

UNIVERSIDAD DON BOSCO

una sección S_2 gira un cierto ángulo $\Delta\alpha$ con relación a otra S_1 , y cualquier fibra comprendida entre ambas, tal como la ab , paralela al eje, pasa a ocupar la posición $a'b'$, deslizando un cierto ángulo γ . Este deslizamiento origina tensiones tangenciales en las diversas secciones.

Existe una fibra, la que coincide con el eje de la probeta, que no sufre deslizamiento y por ello se denomina **eje neutro**.

Las tensiones tangenciales interiores que se oponen al giro de una sección, se reducen a un par, que equilibra al momento torsor M_t .

Según se demuestra en Resistencia de Materiales, el valor de la tensión tangencial que actúa en las fibras situadas a una distancia ρ del eje neutro, viene dada por la fórmula:

$$\tau = \frac{M_t \cdot \rho}{I_o}$$

Donde:

M_t = momento torsor,

I_o = momento polar de inercia de la sección.

Para una sección circular,

$$I_o = \frac{\pi d^4}{32}$$

Para una sección anular o tubular,

$$I_o = \frac{\pi}{32} \cdot (d_e^4 - d_i^4)$$

Estas tensiones adquieren su valor máximo en las fibras más alejadas del eje neutro; por tanto, se tiene:

$$\tau_{max} = \frac{M}{W_o}$$

Siendo

$$W_o = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0,2d^3$$

entonces

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{0,2d^3}$$

Donde:

W_o = momento resistente,

d = diámetro de la probeta.

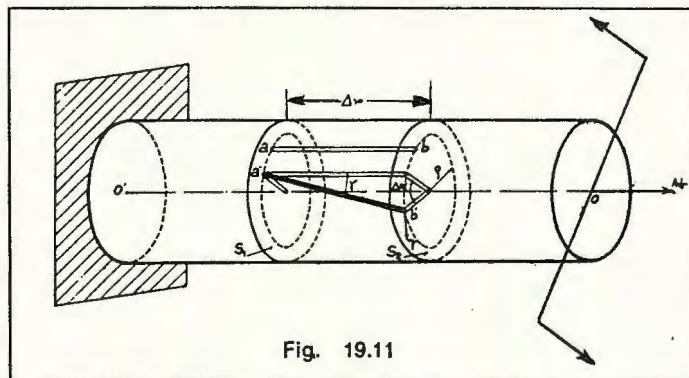


Fig. 19.11

Fig. 1.2

1.3 Defórmaciones. Se miden por el ángulo unitario de torsión, entendiéndose por tal el ángulo θ que gira una sección con respecto a otra situada a la unidad de distancia, esto es:

$$\theta = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

Durante el período elástico, el valor del ángulo de torsión viene dado por la fórmula:

$$\theta = \frac{M_t}{GI_o}$$

Donde:

G = el módulo de elasticidad transversal.

El ángulo de torsión φ , entre dos secciones cuya distancia es L , se obtiene por:

$$\varphi = \theta L = \frac{M_t L}{GI_o} \quad \text{en radianes}$$

$$\varphi = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{M_t L}{G I_o} \quad \text{en grados:}$$

De esta fórmula se deduce que, durante el período elástico, el ángulo de torsión es directamente proporcional al momento torsor. Mediante un dispositivo registrador se puede obtener el diagrama de la Fig. 1.3 que nos da los valores del ángulo de torsión en función del momento torsor.

La parte rectilínea OA, corresponde al período de las deformaciones elásticas, que son de pequeña amplitud. A partir de A, el momento torsor sobrepasa el límite de elasticidad a la torsión, y las deformaciones crecen muy rápidamente, con lo que se hacen permanentes. En algunos materiales sobreviene la rotura para un cierto valor del momento torsor y del ángulo de torsión, mientras en otros, como el hierro dulce, esto no ocurre hasta haber dado un cierto número de vueltas la probeta alrededor de su eje neutro.

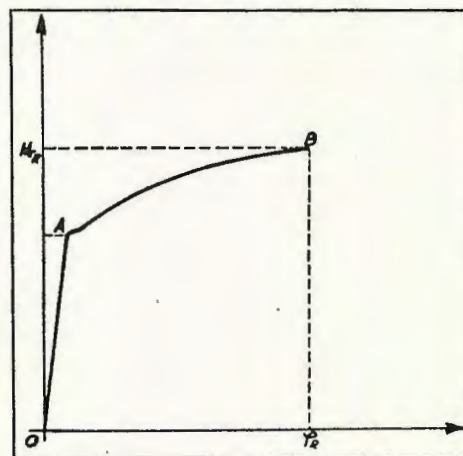


Fig. 1.3

Mediante el ensayo de torsión se puede determinar el valor del módulo de elasticidad transversal o módulo de Coulomb, que viene dado por la fórmula

$$G = \frac{M_t L}{I_o \varphi}$$

en función de los valores obtenidos para M_t y φ .

1.4 Torsión concéntrica. Desgraciadamente, la tensión de cizalla inducida, normal al eje de torsión, no es uniforme y varía desde un máximo en la superficie exterior a cero en el eje. Esto no tiene mucha importancia en el intervalo elástico si la tensión y las deformaciones son directamente proporcionales; pero si no lo son, los resultados tienden a ser inciertos. Cuando se alcanza el intervalo plástico, esta incertidumbre aumenta, puesto que la deformación plástica empieza en la superficie y la deformación se extiende hacia adentro en una forma relativamente irregular, debido a que la sencilla ley de la proporción geométrica no se cumple totalmente. Esta irregularidad de deformación se acentúa en un material con una fluencia pronunciada.

Se han ideado muchos métodos diferentes para superar estas dificultades. Probablemente el que más se ha empleado ha sido el de probetas cilíndricas huecas, con objeto de que sean pequeñas las diferencias de tensión entre las superficies interna y externa, pero el pandeo es una dificultad que se hace cada vez mayor a medida que se reduce el espesor de pared y se aumenta la longitud.

La longitud inicial (distancia entre puntos) de una probeta tiene que ser tan larga como sea posible, porque la deformación se mide por torsión angular y se necesita una longitud suficiente para facilidad de la medida. La deformación se puede medir a partir del cabezal de la máquina de torsión, pero existen elongómetros de torsión.

La deformación circunferencial total es igual al ángulo de torsión en radianes multiplicado por el radio de curvatura. Como se indica en la figura 1.4 donde el desplazamiento circunferencial total es ab :

$$ab = \frac{2\pi r \varphi}{360} = 0.0175 r \varphi$$

donde :

r = el radio exterior y

φ = ángulo de torsión en grados.

Así para un cilindro, la deformación es igual:

$$\gamma = \frac{0.0175 r \varphi}{L}$$

Donde:

L = la distancia entre puntos.

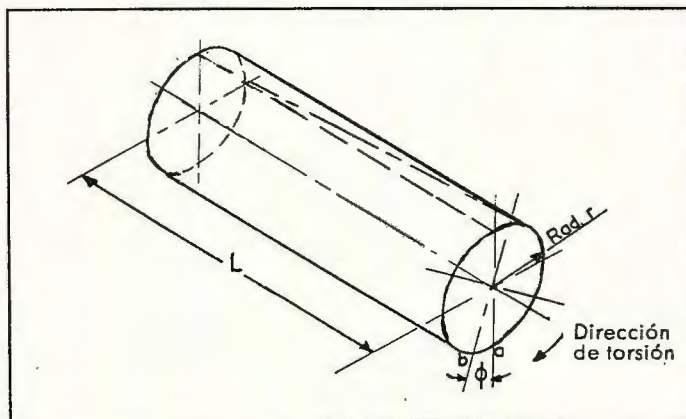


Fig. 1.4

En el intervalo elástico, éste se puede relacionar gráficamente en un diagrama tensión-deformación, con la tensión de superficie máxima calculada. Para un cilindro sólido esta tensión de superficie es:

$$f_s = \frac{16M_t}{\pi d^3}$$

donde:

f_s = la tensión de cizalla superficial,

M_t = el par de torsión que actúa en el cilindro,

d = el diámetro exterior ($2r$).

Para un cilindro hueco esta expresión se convierte en:

$$f_s = \frac{16 M_t d_e}{\pi(d_e^3 - d_i^3)}$$

Donde:

d_e = el diámetro exterior y

d_i = el diámetro interior.

Estos cálculos no son tan complejos como parecen, debido a que cada uno se reduce a una constante multiplicada por una variable sencilla, para cada tamaño de probeta, y

$$\gamma = C_1 \varphi \text{ y } f_s = C_2 T \text{ o } C_3 T$$

C_1 = constante,

C_2 = constante,

C_3 = constante.

Es fácil, y de una precisión razonable para el intervalo elástico, dibujar un diagrama de ángulo de torsión, equivalente al diagrama carga-alargamiento, utilizando una probeta hueca con una relación de distancia entre puntos al diámetro exterior de tal vez 10:1 y una relación de diámetro a espesor de pared de no más de 20:1. Los extremos de la probeta deberán ser ensanchados para adaptarla a la sujeción en la máquina, como se muestra en la figura 1.5. Debe asegurarse que es absolutamente concéntrica en toda su extensión.

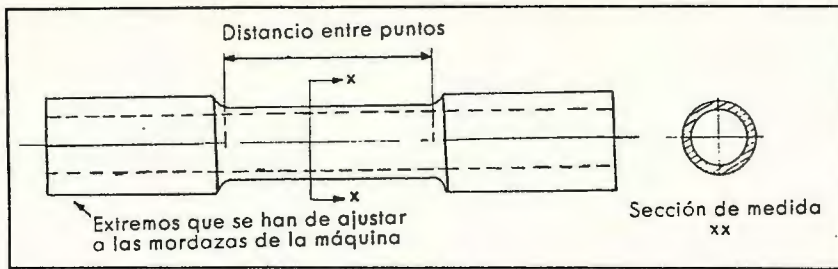


Fig. 1.5

Los cálculos no son tan fidedignos en el intervalo plástico, y el pandeo ocurre con mucha facilidad, de forma que la relación de la distancia entre puntos al diámetro debe conservarse pequeña, preferiblemente menor que 1:1, si se desea obtener una rango de resultados de utilidad. Las probetas de este tipo se utilizan para ensayos de susceptibilidad al trabajado a velocidades elevadas de deformación.

1.5 Elongómetros de torsión. La deformación torsional se puede medir, con precisión, por medio de elongómetros de resistencia (fig. 1.6b), colocados adecuadamente, pero probablemente se usa más a menudo alguna forma de "manguito" de torsión. Este es un tubo que se ajusta a la probeta y se une a ella en un extremo de forma que el extremo libre del tubo está situado en un anillo también unido a la probeta, la distancia entre puntos es la distancia entre las dos piezas de unión. La torsión angular se mide por un nonius (vernier) u otro dispositivo (ejemplo, un medidor de tipo electrónico fig. 1.6a). Un medidor de este tipo, que utiliza un nonius de microscopio, necesita una longitud entre puntos relativamente larga para poder obtener una precisión de medida razonable en el intervalo elástico.

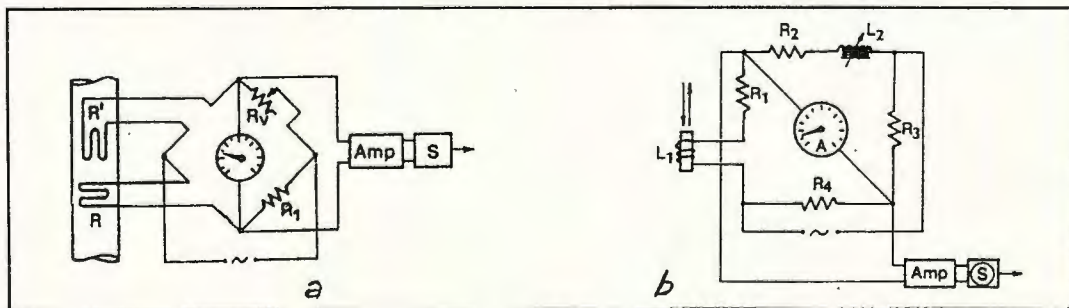


Fig. 1.6

1.6 Significado de los ensayos de cizalladura por torsión.

Los ensayos de cizalladura tienen ciertas ventajas para fines particulares:

- Los ensayos de cizalladura por torsión son los únicos métodos fidedignos para estimar las propiedades de cizalladura elásticas.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

■ Los ensayos de cizalladura por torsión pueden dar valores más representativos para la plasticidad de un material que los que se obtienen en ensayos de tracción o en ensayos de compresión; debido a que no tiene lugar una atenuación como la de la estricción en la tracción, y con probetas adecuadas se evitan los efectos de inestabilidad y de frotamiento de compresión.

■ Los ensayos de cizalladura pueden simular fielmente ciertas operaciones de fabricación.

Por otra parte existen ciertas desventajas:

a) El análisis de los resultados es, con frecuencia, relativamente difícil, bien debido a la presencia de un gradiente de tensión en la torsión o bien de doblado en cizalladura directa.

b) Si se requieren resultados fidedignos, es necesario usar probetas proporcionadas diferentemente para los fenómenos elásticos y los plásticos.

c) Los resultados de los ensayos simulados son cualitativos más bien que cuantitativos.

El carácter general de la relación tensión de torsión-deformación, como se muestra en un diagrama tensión-deformación torsional, se aproximará a la del diagrama tensión verdadera-deformación verdadera, aun que los valores elásticos reales diferirán y la tensión de fluencia y la tensión máxima serán nominalmente más bajas, porque el tipo de tensión crítica, tanto para el deslizamiento como para la rotura, es generalmente cizalladura. Por otra parte, la plasticidad del alambre se puede determinar fácilmente de una forma cualitativa por un ensayo de torsión sencillo, bien contando las torsiones requeridas para producir rotura, o bien por aplicación de un número especificado de torsiones sin rotura.

En la Tabla 1 se dan valores típicos de módulos de torsión para varios metales puros.

Metal	Estructura	E. máx. p.s.i.x10 ⁶ ■	Dirección de deformación	E mín. p.s.i.x10 ⁶ ■	Dirección de deformación	Valor medio de E p.s.i. x 10 ⁶
Aluminio	CCC	10.92.	{111}	9.09	{100}	10.0
Cobre	CCC	27.60	{111}	9.66	{100}	18,6
Hierro	CC	41.20	{111}	19,15	{100}	30,18
Volframio	CC	56.80	{111}	56,80	{100}	56,8
Magnesio	HC	7.39	0° *	6,19	53,3	06,74
Cinc	HC	17.95	72.2° *	5.11	0°*	11,53

■ Obsérvese que este valor E no es estrictamente comparable al valor técnico, puesto que este último se aplica generalmente a material policristalino.

* Dirección con respecto al eje exagonal.

PARTE SEGUNDA

2. ENSAYO DE TORSION.

2.1 Probetas.

Hasta la fecha no existen normas sobre los tipos de probetas para el ensayo de torsión. Se emplean barras de sección circular, que tienen el inconveniente de que las tensiones varían desde cero en el eje neutro a un máximo en la periferia; para evitar esto se suelen emplear barras de sección tubular (fig. 2.1), en las que las tensiones se distribuyen de forma más homogénea.

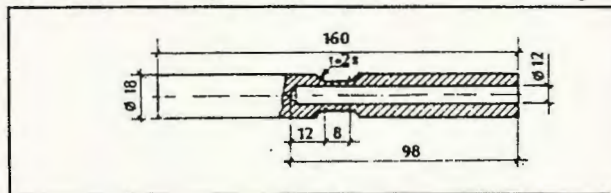


Fig. 2.1

2.2 Máquinas de ensayo de torsión.

Las máquinas de ensayo de torsión, de un tipo sencillo, son relativamente fáciles de montar. Se necesita un dinamómetro de torsión en un extremo de la máquina y un dispositivo de torsión coaxial en el otro, cada uno con su aditamento para sujetar la probeta. El ángulo de torsión se puede medir, bien en el dispositivo de torsión o bien con un elongómetro de torsión unido a la probeta. Varios fabricantes producen máquinas de torsión; una de ellas se representa en la figura 2.2.

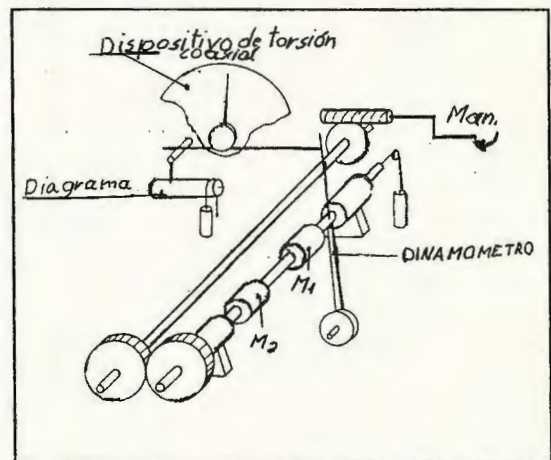


Fig. 2.2

2.3 Proceso de la prueba.

Se pone a punto la máquina para pruebas de torsión; se preparan las probetas (en algunos casos conviene utilizar perfiles no redondos) correctamente, marcando a lo largo de la muestra una línea guía que será la referencia para conocer cuantos giros o fracciones soporta el material sin romperse. Luego

estas probetas se sujetan en sus extremidades en la máquina en (A) y (B), (fig. 2.3), se pone a cero el indicador de ángulo (fig. 2.3 (C)) y teniendo todo preparado se hecha a andar la máquina, hasta que se rompe la pieza. Se verifican las fracciones o vueltas que haya soportado y luego se puede calcular la fuerza y el momento torsor, utilizando los datos iniciales y finales.

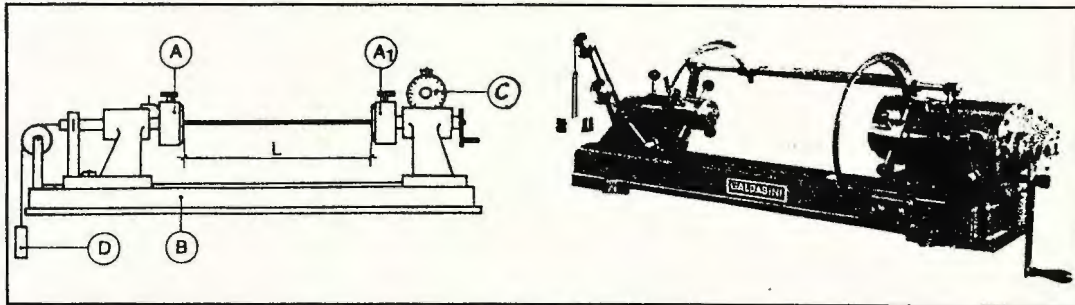


Fig. 2.3

Realizar las pruebas con diversos tipos y perfiles de materiales para poder conocer y diferenciar el comportamiento y resistencia de cada uno de ellos. Así como:

- En las varillas para soldar con autogena: hierro, aluminio, bronce, acero inoxidable.
- En hierro platina de 1/2" x 1/8".
- En los tubos de hierro.
- En las varilla de diámetro 1/4" en: hierro, aluminio, bronce.

EN TODOS LOS ENSAYOS ENCONTRAR:

- El módulo de elasticidad transversal o módulo de Coulomb.
- La tensión tangencial que se ocasiona con la carga utilizada.
- La fuerza de torque que provoca la rotura de la probeta.
- Angulo de torsión.
- Medir la dureza de la probeta.
- Realizar una memoria práctica y tecnológica de los ensayos realizados.

PARTE TERCERA

3. CUESTIONARIO.

- 3.1 ¿En qué consiste el ensayo de torsión? ¿Qué materiales se someterán a este ensayo?

- 3.2 *Indicar las diversas teorías de falla de un árbol cilíndrico sometido a un momento torsor, y analizar estas teorías según los materiales utilizados, esquematizando las posibles secciones de rotura.*
- 3.3 *Qué importancia revisten las tensiones diagonales de tracción en un punto de una sección de un árbol cilíndrico de hierro fundido sometido o cortadura por torsión?*
- 3.4 *¿Cuánto disminuirá la resistencia de un árbol maciso si se taladra en él un agujero longitudinal, siendo la sección transversal del agujero la mitad de la del árbol maciso?*
- 3.5 *Como reporte final del laboratorio presentar por cada ensayo:*
- a) Datos iniciales de la probeta.*
 - b) Observaciones realizadas durante el ensayo.*
 - c) Resultados finales del ensayo.*
 - d) Cálculos.*
 - e) Comparar los resultados obtenidos, en los diferentes materiales de este ensayo con aquellos de tracción y compresión.*
 - e) Conclusiones.*

BIBLIOGRAFIA.

- * *Resistencia de materiales, Tomás Pérez White, Ediciones Universidad de Salamanca 1992.*
- * *Diseño en Ingeniería Mecánica, Joseph E. Shigley, Larry D. Mitchell, cuarta edición, Mc Graw-Hill, 1986.*
- * *Propiedades mecánicas de los metales, J. G. Tweeddale, Editorial Tecnos, 1970.*
- * *Ciencia de materiales, Teoría-Ensayo-Tratamiento; P. Coca Rebollero-J. Rosique Jiménez, Ediciones Pirámide, S. A. 1992.*
- * *Tecnología Meccanica, Salvatore Anfuso-Franco Carrozzo, Ed. Cedam. Padova*

Laboratorio # 6

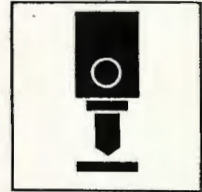
ENSAYO DE DUREZA

UNIVERSIDAD DON BOSCO

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA**

**Ensayo de:
dureza.**

METALURGIA Laboratorio # 6



OBJETIVOS:

- * *Conocer los diferentes métodos para medir la dureza.*
- * *Aprender a medir las durezas HRC, HRB y HB y los tipos de materiales en donde se emplean.*
- * *Saber medir la dureza en diferentes probetas, de distintos materiales, mediante la utilización de la máquina de ensayo de dureza.*

La "dureza" se puede definir como la resistencia a la formación de huellas, localizadas en una superficie por un penetrador normalizado, en condiciones normalizadas.

Los ensayos de dureza han experimentado un gran desarrollo, ya que presentan la ventaja de ser sencillos, rápidos y, en general, no destructivos.

PARTE PRIMERA

1 ENSAYOS DE TIPO ESTÁTICO DE MEDICIÓN DE LA DUREZA.

La dureza es una propiedad muy compleja de la materia, en estado sólido. Está determinada, para los metales principalmente, por la estructura cristalina, la presencia de átomos extraños en la red o de moléculas extrañas en el conjunto. En el sentido más amplio, se entiende por dureza de un material la resistencia superficial a la deformación. Según el método que se emplee para medirla, se distingue:

- a) *Resistencia que oponen los materiales a ser rayados por otros más duros (Dureza mineralógica).*
- b) *Resistencia que oponen los materiales a dejarse penetrar por otros más duros (Durezas Brinell, Vickers, Rockwell, hertziana, etc.).*
- c) *Reacción elástica del material al chocar sobre él un cuerpo duro (Durezas Poldi, Shore, etc.).*
- d) *Resistencia que encuentra, a la oscilación, un péndulo que roza sobre el material considerado (Dureza pendular).*

A partir de la cifra de dureza de un material, se puede obtener cierta información sobre sus características mecánicas, composición, resistencia al desgaste, dificultad de mecanizado, influencia de los tratamientos térmicos o mecánicos que ha sufrido, etc.

Los procedimientos principales utilizados, para medir la dureza, son normalizados por las oficinas de Normas, tales como: ISO, ASTM, AISI, ASM, etc. las cuales establecen la modalidad correspondiente de su realización y validación sobre los materiales metálicos y no metálicos, con tratamiento y no tratados, frágiles o tenaces, en condiciones de piezas terminadas o brutas.

Entre los ensayos de tipo estático, realizados en penetración bajo carga muerta o estática, resumiendo lo mencionado anteriormente, se pueden enumerar:

- a - Método del rayado.
- b - Método dureza a la lima.
- c - Método Brinell.
- d - Método Rockwell.
- e - Método Vickers.
- f - Método Knoop (micro-dureza).

En este laboratorio únicamente se desarrollarán los puntos: c, d y e.

1.1 ENSAYO DE DUREZA BRINELL.

El ensayo de dureza Brinell es adecuado para materiales blandos y semiduros. La dureza del material se obtiene por la relación entre la carga aplicada y el área del casquete de la huella.

El penetrador utilizado para la realización del ensayo es una bola de acero extraduro o, en casos especiales, de carburo de wolframio. El resultado del ensayo viene dado por la siguiente fórmula:

$$HB = \frac{P}{A}$$

donde:

HB = el símbolo normalizado para indicar la dureza Brinell.

P = la presión que ejerce sobre la bola, en Kgf,

A = la superficie del casquete esférico, correspondiente a la huella, en mm².

1.1.1 DETERMINACION DE LA SUPERFICIE DE LA HUELLA

La superficie de la huella (Fig. 1.1) es un casquete esférico. Su dimensión es tanto, mayor, cuanto más grande es su profundidad.

La medida de la superficie del casquete esférico es:

$$A = \pi \cdot D \cdot f$$

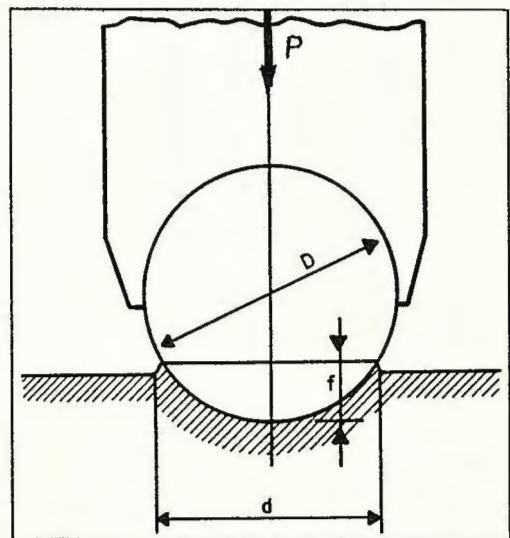


Fig. 1.1 Esquema del ensayo Brinell.

donde:

f = profundidad de la huella.

A = superficie de la huella,

D = Diámetro de la esfera

En la práctica, la profundidad de la huella se obtiene indirectamente de la medida de diámetro "d" del círculo correspondiente a la proyección del casquete en el plano (superficie deformada). Se puede expresar con la siguiente fórmula:

$$f = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Observando la figura 1.2, de acuerdo a las indicaciones presentadas en la misma, se tiene que:

$$BH = OH - OB$$

y

$$OB = \sqrt{AO^2 - AB^2}$$

donde:

$$AO = \frac{D}{2};$$

$$AB = d;$$

$$BH = f$$

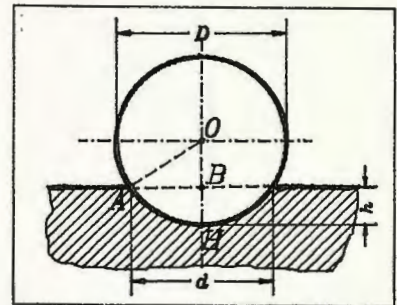


Fig. 1.2 Determinación de la profundidad de la huella.

La dureza Brinell del material, es denotada en función de la medida del diámetro "d" de la huella. Se calcula con la siguiente relación:

$$HB = \frac{P \cdot 0.102}{\pi \cdot D \cdot \left(\frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}\right)}$$

$$HB = \frac{2P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \cdot 0.102$$

1.1.2 DETERMINACION DE LA CARGA DEL ENSAYO

La carga aplicada influye fundamentalmente sobre el resultado obtenido debido a que, sobre el mismo material, se tienen valores, tanto mayores, cuanto mayor sea la deformación producida. En la figura 1.3 aparece visible el efecto de una carga aplicada por un penetrador.

Los componentes radiales de la carga, que actúan normalmente sobre la superficie de contacto con la pieza, en los puntos más cercanos al plano superior, tienen una inclinación, tanto más grande, cuanto mayor es la penetración del penetrador. Como la acción del penetrador es determinada exclusivamente de las componentes normales de todas las fuerzas que actúan sobre la superficie, se puede afirmar: una mayor carga, provoca, una mayor deformación en la pieza, pero ésta carga no se logra aprovecharla completamente.

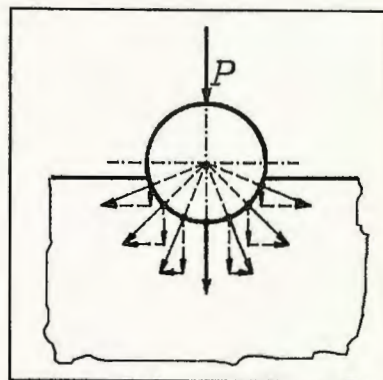


Fig. 1.3 Componentes radiales de la carga de ensayo.

De acuerdo a las normas A. S. T. M., la carga aplicada al material debe producir deformaciones tales que el ángulo de tangencia a la esfera en los puntos correspondientes al diámetro de la huella, (fig. 1.4) sea cerca a 136° .

El diámetro de la huella que se tiene en estas condiciones, con las indicaciones de la figura 1.4; se puede apreciar resolviendo el triángulo AOB. Se tiene:

$$\frac{d}{2} = \frac{D}{2} \cdot \cos 68^\circ$$

o sea

$$d = 0.375 \cdot D$$

donde:

$$AOB = AVB = \frac{136^\circ}{2} = 68^\circ$$

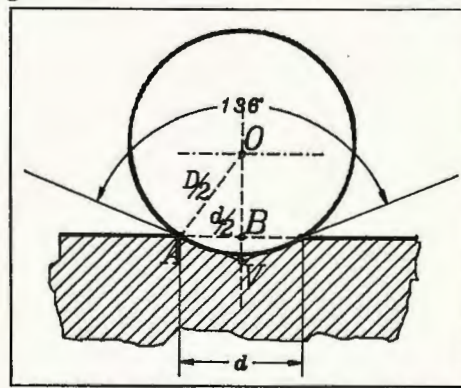


Fig. 1.4 Ángulo de tangencia de ensayo Brinell.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Establecida entonces la variabilidad del diámetro de la huella en proximidad del ángulo de 136° , el ensayo tiene validez si el diámetro producido por la huella está comprendido entre los siguientes límites:

$$0.25 \cdot D < d < 0.5 \cdot D$$

La carga que se debe aplicar sobre el penetrador depende:

- del diámetro de la esfera;
- de las características del material.

La elección viene determinada por la siguiente fórmula:

$$P = K \cdot D^2$$

donde:

D = diámetro de la esfera (penetrador).

K = una constante apropiada para satisfacer ciertas condiciones.

Esta constante es mayor para materiales duros y menor para materiales blandos. Los coeficientes más utilizados se presentan en la tabla I.

TABLA I.

CONSTANTES DE DIFERENTES MATERIALES UTILIZADOS EN EL ENSAYO BRINELL

MATERIAL	COEFICIENTE K
Hierro	30
Cobre, bronce y latones	10
Aleaciones ligeras	5
Estaño y plomo	2,5
Materiales muy blandos	0,5 - 1,5

Si luego de aplicar la constante K propuesta, no satisface las condiciones de la validez del ensayo, es necesario utilizar otro valor K , elegido entre valores permitidos y más cercanos de aquel propuesto.

1.1.3 ELECCION DEL DIAMETRO DE LA BOLA

Los penetradores, utilizados para la realización del ensayo, son bolas que tienen

los siguientes diámetros:

$$D = 10 \pm 0.0045 \text{ mm};$$

$$D = 5 \pm 0.004 \text{ mm};$$

$$D = 2.5 \pm 0.003 \text{ mm};$$

$$D = 1 \pm 0.003 \text{ mm}.$$

Para una correcta realización del ensayo, es importante tomar en cuenta una elección apropiada del diámetro de la bola. El ensayo da resultados correctos únicamente si la ubicación de la huella sobre la pieza satisface determinadas condiciones. Las precauciones que se han de tener presentes son:

- a) Que la zona superficial de la pieza, en donde se ha de realizar el ensayo, esté completamente limpia, pulida, exenta de defectos y dispuesta normalmente a la dirección de la carga. En las superficies curvas es necesario rectificar una zona de tamaño adecuado.
- b) Que el espesor, e , de la pieza no sea inferior a 10 veces la flecha del casquete de la huella. La determinación del espesor de la probeta es fundamental, pues el ensayo no debe dar lugar a que la huella quede marcada (fig. 1.5) en la parte opuesta.
- c) Que el centro de la huella diste del borde de la pieza más de $2d$.
- d) Que la carga aumente lentamente y se mantenga constante durante cierto tiempo.

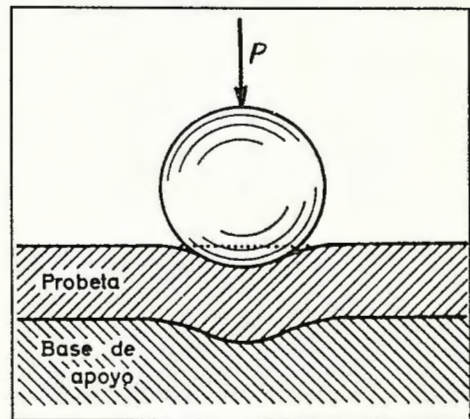


Fig. 1.5 Condiciones de ensayo.

1.1.4 TIEMPO DE APLICACION DE LA CARGA.

La aplicación gradual de la carga y el tiempo de permanencia sobre la superficie de la probeta tienen una considerable influencia sobre la deformación del material. Debido a esto, la norma ASTM E 10-27 especifica que la carga debe aumentar lentamente y se mantenga constante con un mínimo de 10 segundos para metales férreos y 30 segundos para metales no férreos.

1.1.5 INDICACIONES DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO

El ensayo de dureza Brinell es considerado "correcto" cuando la carga aplicada es de 3000 Kgf, la bola tiene un diámetro $D = 10$ mm y los tiempos de aplicación y de permanencia de la carga, de $10 \div 15$ segundos. Únicamente con estas condiciones el ensayo realizado de dureza Brinell viene denominado mediante el símbolo "HB". Cuando, el ensayo es realizado en condiciones diferentes, la dureza Brinell se debe indicar con el símbolo HB seguidos por el diámetro de la bola, de la carga empleada y del tiempo de actuación de la misma; separados por una raya oblicua (/). Ejemplo: 250 HB 10/3000/30 significa dureza Brinell, con bola de 10 mm de diámetro, carga de 3000 kgf y mantenida durante 30 segundos.

1.1.6 RELACION ENTRE LA DUREZA BRINELL Y LA RESISTENCIA A LA TRACCION.

A las ventajas del ensayo Brinell, de ser prácticamente no destructivo, de poderse efectuar en diversos puntos de la misma pieza para comprobar su homogeneidad, de ser fácil y rápido de ejecutar, hay que agregar el que permite calcular aproximadamente la carga de rotura. En efecto, experimentalmente se ha comprobado que existe una relación de proporcionalidad directa entre el número de dureza Brinell y la carga de rotura:

$$\sigma_R = mHB \pm n$$

donde:

m = constante que depende del material.

n = constante que depende del material.

HB = símbolo normalizado para indicar la dureza Brinell.

En los aceros al carbono ordinarios, en estado bruto de laminado o recocido, la relación es:

a) Si la superficie ensayada es perpendicular a la dirección de laminación

$$\sigma_R = 0,362 \text{ HB si } HB < 175 \text{ y } \sigma_R = 0,344 \text{ HB si } HB > 175$$

b) Si la superficie es paralela a la dirección de laminación

$$\sigma_R = 0,354 \text{ HB si } HB < 175 \text{ y } \sigma_R = 0,324 \text{ HB si } HB > 175$$

■ Para aceros al níquel,

$$\sigma_R = 0,499 \text{ HB} - 22,5$$

- Para aceros Cr-NI (Cr = 1% ; NI = 3,5 %),
$$\sigma_R = 0,499 \text{ HB-23,2}$$
- Para aceros Cr-NI (Cr = 0,5% ; NI = 1,5 %),
$$\sigma_R = 0,478 \text{ HB-15,5}$$
- Para aceros Cr-V,
$$\sigma_R = 0,499 \text{ HB-17,7}$$
- Para el Cu y sus aleaciones,
$$\sigma_R = 0,50 \text{ HB si } 62 < \text{HB} < 80 \text{ y } \sigma_R = 0,47 \text{ HB si } 80 < \text{HB} < 100$$
- Para aleaciones ligeras,
$$\sigma_R = 0,35 \text{ HB a } 0,40 \text{ HB}$$
- Para fundición gris,
$$\sigma_R \text{ (tracción)} = 0,2 \text{ HB-13}$$

$$\sigma_R \text{ (compresión)} = 0,5 \text{ HB-5}$$
- Para antifricción,
$$\sigma_R = 0,22 \text{ HB.}$$

1.2 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL

El procedimiento para la determinación de la dureza de los materiales con el método Rockwell es sustancialmente diferente del método Brinell. En efecto, conservando la propiedad de los materiales de resistir a las deformaciones localizadas debido a una fuerza producida de un penetrador, la dureza Rockwell viene expresada por un número que mide la profundidad de la huella permanente producida al actuar una determinada carga sobre un penetrador.

Los penetradores utilizados son:

- Punta de diamante en forma de cono igual a $120^\circ \pm 0,5^\circ$, con punta redondeada de radio $R = 0,2 \text{ mm}$, para la medición de la dureza sobre materiales templados y duros (escala C).
- Bola de diámetro $D = 1/16''$, para materiales no templados y blandos (escala B).

Se admiten también penetradores de bola de diámetro diferente de las condiciones establecidas.

Las cargas, sobre los penetradores de bola y de punta, son de 100 kgf y de 150 kgf, respectivamente, para las escalas "B" y "C", pero pueden tomar otros valores diferentes en el caso de otras escalas.

1.2.1 PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL ESCALA C

El procedimiento para determinar la dureza, en la escala C, indicada con el símbolo "HRC", viene realizada con el penetrador de cono de diamante y con una carga de prueba de 150 Kgf (1470 N), de acuerdo a siguiente forma:

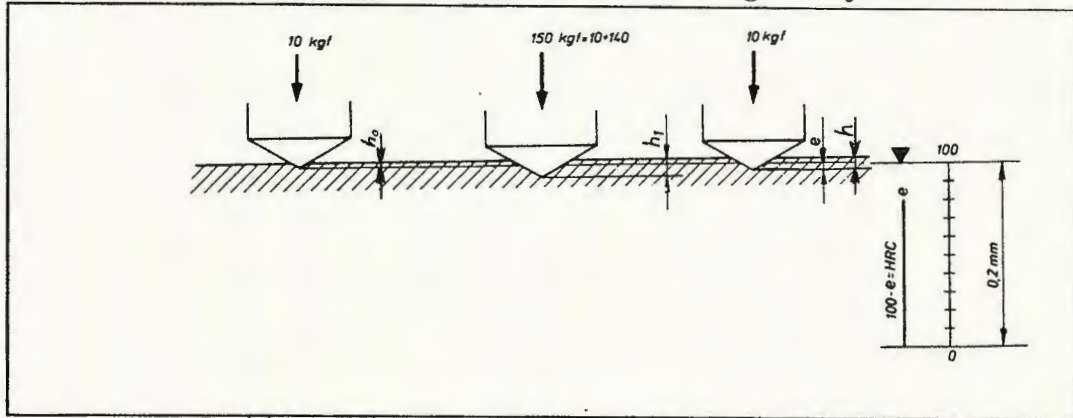


Fig. 1.6 Esquema de ensayo Rockwell con penetrador de cono de diamante.

- Contactar el penetrador con la superficie de ensayo, (fig. 1.6). La carga inicial " P_0 " de $10 \text{ Kgf} \pm 0.2 \text{ Kgf}$ ($98 \pm 2 \text{ N}$);
- Luego de hacer coincidir la aguja del dial del indicador de profundidad con el cero, aplicar la carga adicional " P_1 " sin producir choques ni vibraciones, de tal forma que se obtenga la carga total de $150 \pm 0.9 \text{ Kgf}$ ($1470 \pm 9 \text{ N}$), manteniendo la carga por 30 segundos..
- Transcurrido el tiempo de 30 seg., eliminar la carga adicional, y leer directamente el valor de la dureza Rockwell en el indicador, según el índice de color negro.

La medida denotada depende exclusivamente de la deformación permanente " e " del material (fig. 1.6).

Durante el proceso de ensayo se produce una profundidad de huella h_1 (deformación plástica), con la actuación de la carga total de 150 Kgf. Esta deformación es superior de aquella denotada al final (o sea h), cuando sobre el penetrador actúa únicamente la carga inicial. Debido al retiro de la carga adicional, el penetrador retrocede por la recuperación elástica que tiene el material, quedando una profundidad permanente h . La penetración que

corresponde a la deformación permanente es entonces $e = h - h_0$ (deformación plástica). El ensayo de dureza HRC es apropiado para materiales duros, reconociendo su mayor eficacia de penetración de la punta de diamante en forma de cono y de la carga aplicada de 150 Kgf, superior de aquella pedida para ensayo de materiales blandos.

1.2.2 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL ESCALA B

El ensayo se denota con el símbolo HRB. Viene realizado con una carga total de 100Kgf (980 N) aplicada sobre un penetrador esférico de diámetro de la bola igual a $1/16"$ ($1.5875 \text{ mm} \pm 0.003 \text{ mm}$).

Debido a la menor carga del ensayo y el menor efecto de penetración de la bola, el ensayo HRB es apropiado para materiales blandos.

El ensayo se realiza con carga inicial de $10 \pm 0.2 \text{ Kgf}$ (fig. 1.7). A continuación se hace actuar una carga total de $100 \pm 0,6 \text{ Kgf}$. También para este caso, la lectura de la dureza se realiza luego de la exclusión de la carga adicional, sin excluir la inicial que mantiene siempre la bola en la huella producida.

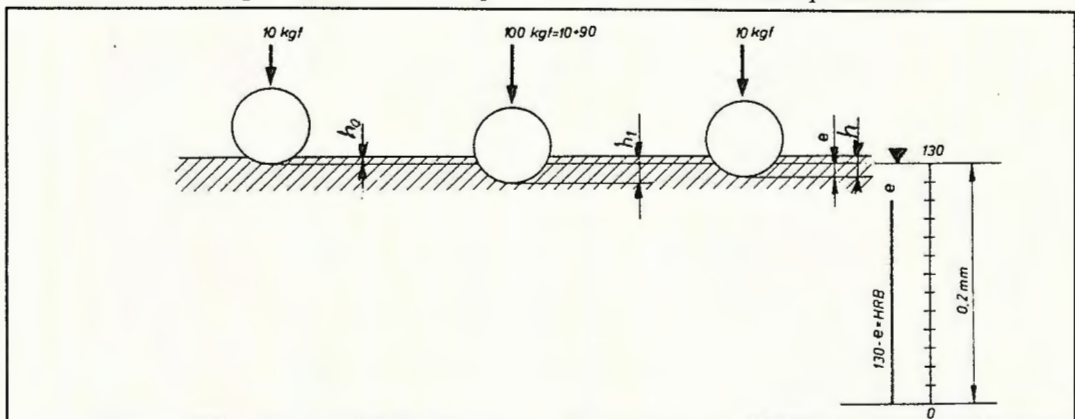


Fig. 1.7 Esquema de ensayo Rockwell con penetración de bola.

La modalidad del proceso del ensayo no difiere de aquel indicado para el ensayo HRC, pero sí una diferente disposición de la escala sobre la cual se afectan las medidas. Se puede observar entonces que, si el material es muy blando, las mediciones sobre el instrumento pueden ser falseadas del retroceso del índice, también superior a 360° , por consiguiente mayor de "0" (cero) no tomando ningún significado la indicación de un valor de una dureza negativa. El indicador tiene dos escalas graduadas: una de

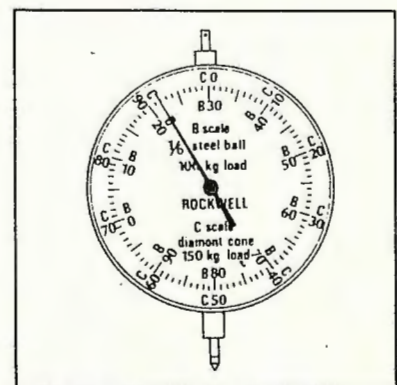


Fig. 1.8 Indicador de lectura.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

números negros, utilizada para el sistema anterior y la otra de números rojos (escala B) utilizada en las mediciones que ocupan penetrador de bola. Cada una de las cien divisiones de cualesquiera de las escalas, corresponde a "una unidad de Dureza", equivalente a una profundidad de penetración de 0.002 milímetros. Como se puede observar en la figura 1.8, las dos escalas están desfasadas en 30 unidades de dureza, de forma tal que al cero (ó 100) de la escala C, le corresponde el 30 (ó 130) de la escala B.

Para el ensayo de esta dureza, se pone el penetrador en contacto con la superficie de la probeta a medir. Se aplica la carga inicial de 10 Kgf. como carga de referencia. Colocar la aguja, que indica la profundidad, en el punto de referencia base, 30 para la escala B (lugar de lectura en cero), por consiguiente la aguja del indicador de dureza HRC situada externamente a la escala B, tiene la posibilidad de desplazarse de 130 divisiones (fig. 1.8). Debido a esto, la dureza HRB viene anotada por la relación:

$$HRB = 130 - N$$

donde:

N = número de divisiones del desplazamiento de la aguja.

Mientras que la penetración "e" del penetrador en la pieza a medir, relacionada con la dureza HRB denotada, resulta que es:

$$e = (130 - HRB) \cdot 0.002 \text{ mm}$$

Para la validez del ensayo debe haberse siempre producido una profundidad de huella remanente "e" inferior a 1/8 del espesor de la pieza a medir, mientras que la distancia del centro de la huella al borde de la probeta debe ser menor de 5 veces el diámetro de la huella.

La tabla II sirve de ayuda para la elección del tipo de ensayo de dureza HRB ó HRC en función de los materiales a medir.

TABLA II DETERMINACION DE CARGA EN DISTINTOS TIPOS DE PENETRADOR

ESCALA DE DUREZA ROCKWELL	SIMBOLO DE DUREZA	TIPO DE PENETRADOR	CARGA INICIAL P_0	SOBRECARGA P_1	CARGA TOTAL P	CAMPO DE APLICACION Intervalo de dureza Rockwell
A	HRA	Cono de diamante	98,07 N	490,300 N	588,40 N	20 a 88 HRA
B	HRB	Bola de acero 1.5875	98,07 N	882,000 N	980,70 N	20 a 100 HRB
C	HRC	Cono de diamante	98,07 N	1,373 N	1,471 N	20 a 70 HRC
D	HRD	Cono de diamante	98,07 N	882,600 N	980,7 N	40 a 77 HRD
E	HRE	Bola de acero 3.175 mm	98,07 N	882,600 N	980,7 N	70 a 100 HRE
F	HRF	Bola de acero 1.5875 mm	98,07 N	490,300 N	588,4 N	60 a 100 HRF
G	HRG	Bola de acero 1.5875 mm	98,07 N	1,353 kN	1,471 kN	30 a 94 HRG
H	HRH	Bola de acero 3.175 mm	98,07 N	490,300 N	588,5 N	80 a 100 HRH
K	HRK	Bola de acero 3.175 mm	98,07 N	1,373 kN	1,471 kN	40 a 100 HRK

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Los valores de la dureza HRB y HRC denotadas sobre superficies cilíndricas o esféricas, obtenidos directamente en la máquina, deben corregirse añadiendo valores, que dependen del diámetro de la probeta y del valor de la dureza denotada.

TABLA III. Factores de corrección en lecturas de ensayos Rockwell para probetas cilíndricas (penetrador de punta de diamante)

Dureza Rockwell leída	Radio de curvatura en mm (Probeta)								
	3	5	6,5	8	9,5	11	12,5	16	19
20	-	-	-	2,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0
25	-	-	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0
30	-	-	2,5	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5
35	-	3,0	2,0	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5
40	-	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
45	3,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
50	2,5	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
55	2,0	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0
60	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
65	1,5	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
70	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0
75	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0
80	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0
85	0,5	0,5	0,5	0	0,5	0	0	0	0
90	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Las correcciones superiores a 3 unidades en HRA, HRB y HRC no son aceptables y, por esta razón, no están incluidas en este Cuadro.

TABLA IV. Factores de corrección de lecturas de ensayos Rockwell para probetas cilíndricas (penetrador de bola de acero)

Dureza Rockwell leída	Radio de curvatura en mm (Probeta)						
	3	5	6,5	8	9,5	11	12,5
20	-	-	-	4,5	4,0	3,5	3,0
30	-	-	5,0	4,5	3,5	3,0	2,5
40	-	-	4,5	4,0	3,0	2,5	2,5
50	-	-	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0
60	-	5,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0
70	-	4,0	3,0	2,5	2,0	2,0	1,5
80	5,0	3,5	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5
90	4,0	3,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,0
100	3,5	2,5	1,5	1,5	1,0	1,0	0,5

Nota: Las correcciones superiores a 3 unidades en HRA, HRB y HRC no son aceptables y, por esta razón, no están incluidas en este Cuadro.

1.3 ENSAYO DE DUREZA VICKERS

- Las formas de realizar el ensayo de dureza Vickers, fundamentalmente, no difieren de aquellas ya presentadas para el ensayo de dureza Brinell.
- El resultado del ensayo viene dado por la relación entre la carga aplicada al penetrador y el valor de la superficie de la huella producida. Esto viene definido por la relación:

$$HV = \frac{P}{A} \cdot 0.102$$

donde:

P = Carga aplicada en N,

A = Superficie de la huella en mm^2

HV = Dureza Vickers

- El penetrador, para la realización de este ensayo, es una punta de diamante la cual tiene una forma de pirámide regular de base cuadrada y ángulo en el vértice entre caras de 136° (fig. 1.9).

Como dicha punta tiene pequeñas dimensiones, viene incrustada sobre un vástago de acero, para luego sujetarse al portapenetrador de la máquina de ensayo.

Debido a la particular conformación de las esquinas vivas entre las caras adyacentes y la existencia de una punta que, por razones constructivas, presenta una arista de longitud no superior a 0.002 mm, la penetración se realiza sin mayores dificultades. Además, como el penetrador no se deforma por efecto de las cargas elevadas y resiste bien al desgaste, y como tiene una buena dureza, el ensayo Vickers, es apropiado para la medición de materiales que son sometidos al temple. También para piezas acabadas que no pueden someterse al ensayo de lima, por la calidad de las superficies y en todos los casos en los cuales no se admite la huella de la bola Brinell sobre la pieza.

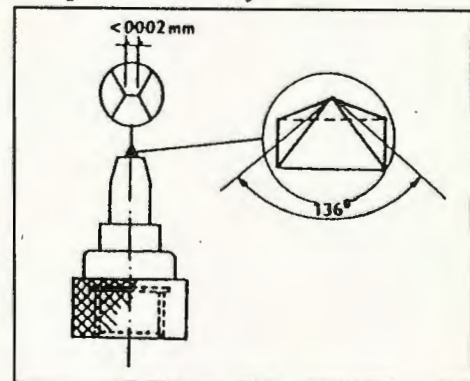


Fig. 1.9 Penetrador Vickers.

Como el ángulo, entre las caras del penetrador, es de 136° , y permanece constante bajo la acción de cualquier esfuerzo sobre la pieza, la carga, en la realización del ensayo de dureza Vickers, puede tomar cualquier valor.

1.3.1 DETERMINACION DE LA DUREZA VICKERS

La huella que deja el penetrador sobre la probeta en el ensayo es una pirámide de base cuadrada, cuya superficie lateral es posible determinar si se conoce la medida "d" de la diagonal de la base, según las normas DIN 50 133.

Esta forma nos presenta mayor garantía de precisión en la medición de la diagonal, en relación a aquella que se obtiene de la medida entre la distancia entre las caras opuestas o también de la profundidad de huella en la punta, por las siguientes razones:

- 1) La medida de la diagonal es mayor de aquella de entre los lados opuestos y por consiguiente la precisión que se tiene en las medidas son mayores.
- 2) La medida de la distancia entre los dos puntos considerados de las esquinas opuestas resultan más fácil realizarlas, respecto a aquella de los lados opuestos, porque resulta difícil apreciar la perfecta alineación entre la línea de referencia del instrumento y cada uno de ellos.
- 3) La determinación de la superficie de la huella, deducida de la medida de la profundidad del penetrador es menos precisa, porque, además de ser inferior de aquella de la diagonal, no corresponde a aquella que se tiene estando en contacto el penetrador y probeta, y que puede ser tomada únicamente después de excluir la carga total.

El procedimiento de cálculo utilizado para la determinación de superficie de la huella, dada por la mitad del producto del perímetro base por la hipotenusa, es obtenido por la medida de la diagonal "d", según las siguientes indicaciones (fig. 1.11), de la figura se aprecia que el lado de base "l", deducido de la medida de la diagonal "d", es $l = d/\sqrt{2}$, mientras que el perímetro de la base es:

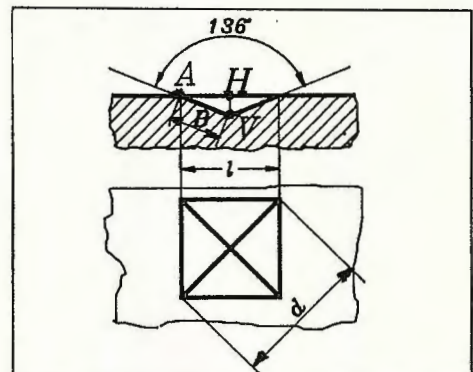


Fig. 1.11 Huella que deja la punta piramidal Vickers.

$$P = 4 \cdot \frac{d}{\sqrt{2}}$$

La hipotenusa de la huella piramidal "a", como se puede observar de la figura 1.11, se halla resolviendo el triángulo AVH que tiene ángulo en el vértice igual a 68° y el lado AH es igual a la mitad del lado de la base, por lo cual:

$$a = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sin 68^\circ}$$

La superficie de la huella "A", es igual:

$$A = \frac{1}{2} \cdot P \cdot a$$

$$A = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \frac{d}{\sqrt{2}} \cdot \frac{a}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sin 68^\circ}$$

$$A = \frac{d^2}{2 \cdot \sin 68^\circ} = \frac{d^2}{1.854} \text{ (mm}^2\text{)}$$

Por lo tanto la dureza Vickers, indicada con HV, con la carga aplicada "P" y la diagonal de base d es igual, por consiguiente:

$$HV = \frac{P}{d^2} \cdot 1.854 \cdot 0.102$$

$$HV = \frac{P}{d^2} \cdot 0.1904$$

No hacen falta otras indicaciones además el símbolo "HV" que representa la dureza, si la fuerza aplicada es de 30 kgf en un tiempo de actuación de 10 ÷ 15 segundos. En otros casos además del símbolo indicado, se deben denotar también las otras indicaciones.

Por ejemplo, la indicación $HV_{20/20} = \dots$ define la dureza Vickers medida con una carga de 20 Kgf (196 N), y que fue aplicada en un tiempo $T = 20$ segundos.

La profundidad de la huella "h", poniendo esta en función de la diagonal "d" se expresa:

$$h = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \cos 68^\circ = \frac{d}{7} \text{ (mm)}$$

1.3.2 VALIDEZ DEL ENSAYO

De acuerdo a la norma DIN 50 133, el ensayo es válido si la diagonal de la huella es inferior a 1.5 veces el espesor de la pieza o de la capa para modificarla por el tratamiento térmico superficial a ensayar.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la relación que define la validez del ensayo, en función de la medida de la diagonal "d", puede expresarse en la siguiente forma:

$$e \geq 1.5 \cdot d$$

donde:

e = el espesor de la probeta a ensayar (fig. 1.12)

Además, como la distancia entre el centro de una huella cualquiera y el borde de la probeta no debe ser menor de 2.5 veces la diagonal de la huella, viene a ser:

$$L = 5 \cdot d$$

donde:

L = el ancho de la probeta.

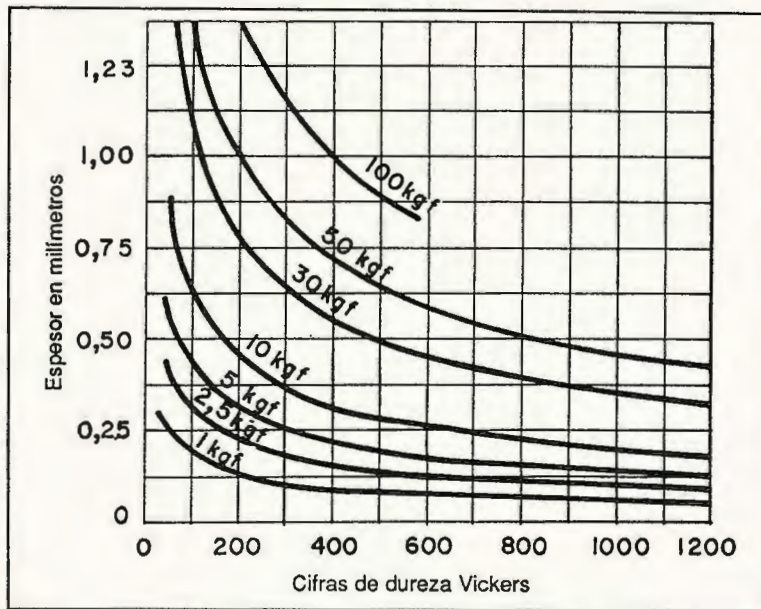


Fig. 1,12 Espesores mínimos que deben tener las probetas según la carga aplicada en el ensayo Vickers.

PARTE SEGUNDA

2. MAQUINAS DE ENSAYOS

Para efectuar estos ensayos se utilizan diferentes aparatos de construcción muy precisa los cuales pueden ser específicos para cada ensayo o también versátiles.

Esta guía presentará un aparato de dureza de la marca ZWICK & CO.KG. de Alemania, con el cual se realizará el presente laboratorio.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

2.1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION.

Los probadores de dureza "ZWICK" han sido construidos según el estándar DIN 51224 con el propósito de medir la dureza:

- * Rockwell
- * Brinell

Con los accesorios, el probador de dureza viene utilizado para ensayo de dureza:

- * Vickers
- * Rockwell de materiales plásticos

2.2 PARTES DEL DUROMETRO (fig. 2.1).

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Cuerpo | 11 Indicador (esfera graduada) |
| 2 Tapadera | 12 Casquillo protector |
| 3 Palanca | 13 Tornillo de selección |
| 4 Manija | 14 Penetrador |
| 5 Eje portapesas | 15 Tapadera |
| 6 Casquillo de ajuste | 16 Mesa (soporte) |
| 7 Disco portador de pesas | 17 Volante |
| 8 Freno hidráulico (amortiguador) | 18 Niveladores de cruz |
| 9 Pernos niveladores | 19 Tornillo posicionador de la mesa. |
| 10 Disco de apoyo del durómetro | |

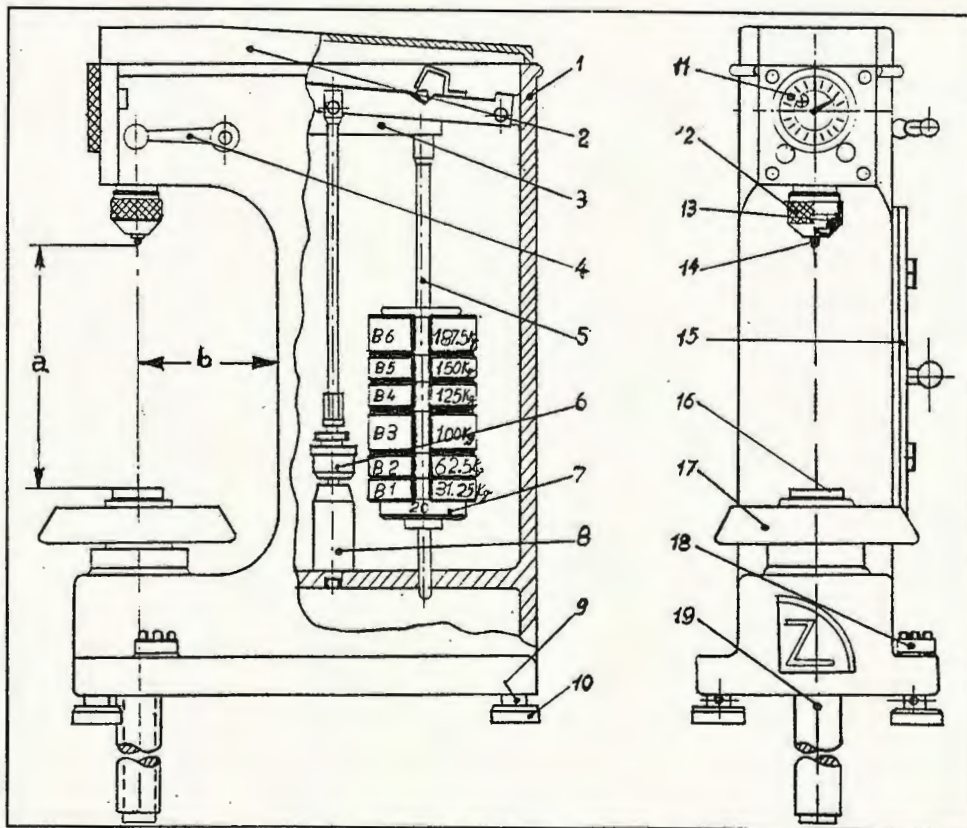


Fig. 1.7 Partes del DUROMETRO.

2.3 PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO DE DUREZA

Los múltiples ensayos de dureza difieren en las condiciones de ensayo y evaluación, pero no en el procedimiento. En cada caso, el procedimiento de ensayo es como sigue:

- a) Se quita el casquillo (12) y se coloca, el penetrador deseado. Sujetarlo por medio del tornillo, de forma que presione contra el vastago plano del apoyo.
- b) Posicionar horizontalmente, y que apunte hacia adelante, la manija (4), ubicada al lado derecho del cuerpo.
- c) Eligir las pesas de acuerdo al tipo de ensayo, y colocarla sobre el disco portador de pesas. Estas se deben colocar en sucesión ininterrumpida: B1, B2, B3...
- d) Coloque la mesa apropiada, (plana o en V para probetas cilíndricas), sobre el tornillo de posicionamiento.
- e) Regular el tiempo deseado para la actuación de la carga adicional P_1 en el freno hidráulico. Al girar el casquillo de ajuste (6) del freno en el sentido de las agujas del reloj, esto acortará el tiempo en el cual la carga adicional P_1 se aplica.
- f) Colocar la probeta sobre la mesa. Asegurarse de que la probeta asiente de tal forma que la superficie de ensayo esté en el plano normal. Si es necesario, sujetar la probeta a la mesa.
- g) Girar el volante (17), de manera que la probeta sea levantada contra el penetrador hasta que la aguja más pequeña del indicador (fig. 2.2 (N)) apunte a 0 (cero) y la aguja grande (M) cercano a 0 (cero). Ahora la carga inicial P_0 de 10 Kgf es mantenida.
- h) Girar el anillo (fig. 2.2 (A)) de la escala estriada hasta hacer coincidir la aguja del puntero grande del indicador con el 0 (cero).
- i) Aplicar la carga adicional P_1 accionando la manija (4) sin producir vibraciones ni choques, de tal forma se obtenga la carga total P y se sienta que la manija continúa automáticamente este movimiento. En este momento, soltar la manija.
- j) Tan pronto como los movimientos de la manija y de las agujas indicadoras se hayan detenido, el proceso de carga está terminado.

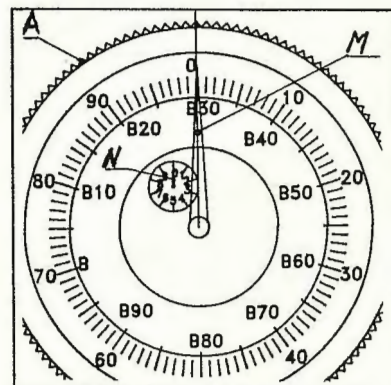


Fig. 2.2 Partes de un indicador.

k) Manteniendo la carga inicial P_0 , *excluir*, mediante el accionamiento de la manija (llevandola a su posición inicial (4)), la carga adicional P_1 , teniendo en cuenta que:

- Para materiales que en las condiciones de ensayo no presenten cedencia plástica, la duración de aplicación de la carga total, P , no será inferior a 1 segundo ni superior a 3 segundos.

- Para materiales que en condiciones de ensayo presenten una deformación plástica, la duración de aplicación de la carga total, P , no será inferior a 1 segundo, ni superior a 5 segundos.

- Para materiales, que en las condiciones de ensayo presenten una deformación plástica importante, la duración de aplicación de la carga total, P , no será inferior a 10 segundos, ni superior a 15 segundos.

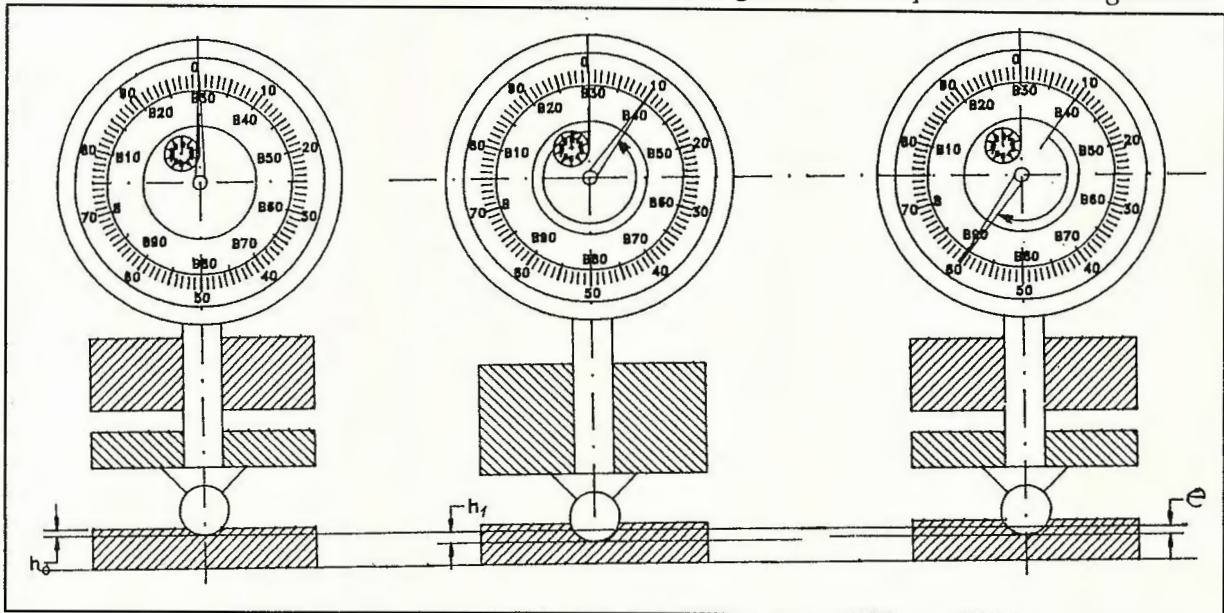


Fig. 2.3 Esquema del ensayo ROCKWELL.

l) Leer directamente el valor de la dureza en el indicador, de acuerdo a la escala escogida para el ensayo (escala roja o escala negra).

2.4 METODOS DE ENSAYO DE DUREZA

2.4.1 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL-C SEGUN DIN 50 103

Penetrador :	cono de diamante 120°
Carga inicial P_0 :	10 Kgf
Carga adicional P_1 (pesa de B1 y B2):	140 Kgf
Carga total P :	150 kgf

UNIVERSIDAD DON BOSCO

*Tiempo en que actúa la carga P_1 : de 3 a 6 segundos
después de completar el proceso de carga, quitar inmediatamente la
carga adicional P_1 y tomar la lectura HRC de la escala negra*

2.4.2 ENSAYO DE DUREZA ROCKWEL-B (HRB) SEGUN DIN 50 103

Penetrador: bola de acero endurecido de 1/16"

Carga inicial P_0 : 10 Kgf

Carga adicional P_1 (B1 -B3): 90 Kgf

Carga total P: 100 Kgf

Tiempo en que actúa la carga: de 3 a 6 segundos.

*Después de completar el proceso de carga, quitar inmediatamente la carga
adicional P_1 y tomar la lectura HRB en la escala roja.*

2.4.3 PRUEBA DUREZA BRINELL (HB) SEGUN DIN 50 351

Penetrador: bola de acero endurecido de 2.5 mm

Carga inicial P_0 : 10 Kgf

Carga adicional P_1 (B1 - B6): 177.5 Kgf

Carga total P: 187.5 Kgf

Tiempo en que actúa la carga P_1 : 10 segundos

*Después de completar el proceso de carga, la carga total P se mantiene por
otros 10 segundos. Esto se aplica a todos las probetas metálicas a menos que
ellas muestren flujo denso como por ejemplo, el plomo, el zinc y sus
aleaciones. Para éstos, mantenga la carga por lo menos 30 segundos.*

*Después de esto, quitar la carga adicional P_1 y tomar la lectura de la
profundidad de impresión residual de la escala negra. Convertir esta lectura
en el número de dureza usando la tabla V.*

*Sin embargo, este método de conversión es solamente para ensayo de
comparación, siempre que sea practicable, ya que la huella de la bola
depende de ciertas propiedades de las probetas.*

*Los números HB exactos, pueden ser logrados cuando la huella de la bola se
mide con el microscopio disponible de ZWICK y convertido según la norma
DIN 50 351.*

*El ensayo Brinell también puede ser llevado a cabo usando una bola de acero
endurecido de 5 mm de diámetro como penetrador y aplicando la
correspondiente carga total P de 31.25, 62.5, 125, ó 250 Kgf. Las lecturas se
pueden evaluar con la ayuda de las tablas adjuntas para la determinación de
la dureza Brinell.*

2.4.4 ENSAYO DE DUREZA VICKERS (HV) SEGUN DIN 50 133

Penetrador: piramidal de diamante cuadrado 160°

Carga inicial P_0 : 10 Kgf

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Carga adicional P_1

(pesa VI ó más V2): 20 ó 50 Kgf

Tiempo en que actúa la carga P_1 : 15 segundos

Después de completar el proceso de carga, la carga total aplicada P se mantiene por otros 30 segundos.

Los números HV se determinan al medir el diámetro de impresión con un microscopio y buscar la equivalencia según la norma DIN 50 133.

Los números HV tienen la gran ventaja de ser casi independientes de la carga de ensayo.

2.4.5 ENSAYOS ROCKWELL -R, L, M, E SEGUN ASTM D 785-60 T

METODO	DIAMETRO DE LA BOLA	P_0 INICIAL en Kgf	P_1 ADICIONAL en Kgf	P TOTAL en Kgf
R + alpha	1/2"	10	50	60
L	1/4"	10	50	60
M	1/4"	10	90	100
E	1/4"	10	90	100

Carga adicional P_1 : 50 Kgf (pesa de la carga Z1)

Carga adicional P_1 : 90 Kgf (pesas B1-B3)

Tiempo tiempo en que actúa P_1 : 15 segundos

Quitar la carga adicional inmediatamente después de haber completado el proceso de carga. Luego de otros 15 segundos, tomar la lectura de impresión de la escala negra.

El número de dureza Rockwell está en relación directa a la profundidad de impresión, en el caso de materiales plásticos. Más alta es la lectura del indicador, mayor es la dureza del material.

MEDIDOR DE INDICACION DE PROBADORES DE DUREZA CON CARGA INICIAL Z 302 y Z 312

1) Ensayo de dureza Rockwell HRC

Penetrador: cono de diamante 120°

Carga de ensayo: $P = 150$ Kgf

Lectura directa de valor HRC en escala negra.

2) Ensayo de dureza Rockwell HRB

Penetrador : bola de 1/16"

Carga de ensayo: $P = 100$ Kgf

UNIVERSIDAD DON BOSCO

3) Ensayo de dureza Brinell (HB 30/2.5)

Penetrador: bola de 2.5 mm
Carga de ensayo: $P = 187.5 \text{ Kg}$

El valor de indicación en la escala negra tiene que ser transformado de acuerdo a la siguiente tabla V en dureza Brinell.

TABLA V

VALOR INDICADO	HB30/2.5 Kg/mm ²	VALOR INDICADO	HB30/2.5 Kg/mm ²	VALOR INDICADO	HB30/2.5 Kg/mm ²	VALOR INDICADO	HB30/2.5 Kg/mm ²
10	106	30	140	50	193	70	290
11	107	31	142	51	197	71	299
12	109	32	144	52	200	72	308
13	110	33	146	53	204	73	319
14	112	34	148	54	208	74	330
15	113	35	151	55	212	75	342
16	115	36	153	56	216	76	356
17	117	37	156	57	221	77	371
18	118	38	158	58	225	78	387
19	120	39	161	59	230	79	405
20	121	40	164	60	234	80	425
21	123	41	167	61	238	81	445
22	125	42	169	62	242	82	470
23	126	43	172	63	247	83	495
24	128	44	175	64	252	84	520
25	130	45	178	65	257	85	547
26	132	46	181	66	264		
27	134	47	184	67	270		
28	136	48	187	68	276		
29	138	49	190	69	283		

4) Tabla de comparación de dureza

Para dureza Vickers, dureza Brinell, dureza Rockwell B y C así como para fuerza tensil ver pre-estándar DIN 50 150 ó la tabla VII.

2.5 COMPARACION CON LOS PATRONES

Al cambiar el penetrador, o en los casos de duda, conviene asegurarse de la calibración exacta del probador de dureza.

El chequeo o revisión se realiza utilizando las placas de referencia.

Por consiguiente, la probeta viene a ser la placa de referencia, provista como accesorio de la misma máquina. El procedimiento de ensayo, es igual al indicado en el ítem 2.1. El número de dureza obtenido en ésta ensayo deberá corresponder al que está grabado en la placa de referencia.

De acuerdo con la comisión técnico-científica para dureza de metales y tratamiento térmico (Wissenschaftlich-Technische e. V.) en Dortmund, Alemania, las siguientes desviaciones del número de dureza Rockwell-C (HRC) son tolerables:

Para números HRC de 50 ó más:

± 1.5 números HRC

Para números HRC menores de 50 :

± 2.0 números HRC

En el caso de que estos números no concordaran, significa que el penetrador no fué correctamente insertado. En este caso, se deberá repetir la prueba.

2.6 EQUIPO DEL PROBADOR

A- Penetradores:

- de esfera ϕ 1/6", 1/8", 1/4", 1/2",
 ϕ 2.5, 5 mm.

- un penetrador UL 3633

B Placas de referenecia:

- 45.9 HRC

- 60.1 HRC

- 61.3 HR 25/187.5

C Pesas B1 = 31.25; B2 = 65.5; B3 = 100; B4 = 125; B5 = 150 ; B7 = 187.5
y Z1 = 60 Kgf

TERCERA PARTE

3 PRACTICA DE ENSAYO DE DUREZA

3.1 CRITERIO PARA ELEGIR EL TIPO SE ENSAYO.

La elección del tipo de ensayo depende principalmente del material a ensayar, de su estructura y de las dimensiones del mismo.

Partiendo de los tres sistemas antes mencionados, para determinar qué tipo de ensayo conviene utilizar, aplicamos los siguientes criterios:

3.1.1 Si la probeta es templada, se puede, indiferentemente ,utilizar ,tanto el método Rockwell, como el método Vickers.

3.1.2 Si la probeta es cementada o cianurada hace falta asegurarse de que la penetración de la punta del cono o de la piramde del diamante penetre al menos 1/8" del espesor de la capa endurecida.

3.1.3 Si la probeta es de acero ordinario o también de calidad, pero de una dureza inferior de 400 HB, el método Brinell lleva a resultados satisfactorios y es preferible al Vickers.

3.1.4 Para determinar la dureza de probetas de hierro fundido es aconsejable el método Brinell, a menos de que sea un hierro fundido de elección muy especial.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

3.2 PASOS A SEGUIR PARA REALIZAR UN ENSAYO

3.2.1 Preparación de la pieza:

- La cara de ensayo debe ser perpendicular al eje de penetración.
- El acabado superficial no tiene que ser de óptima calidad (menos en la microdureza) pero la superficie debe ser plana y limpia.
- La probeta durante el ensayo se debe mantener inmóvil, de forma que la superficie no se mueva de una manera incontrolada con respecto al penetrador.

3.2.2 Preparación de la máquina:

- Elegir el penetrador depende de:
 - Espesor de la probeta (ver tabla 6)
 - Dimensiones de la probeta.
- Predisposición de las pesas, según al sistema de ensayo.
- Chequeo previo de las:
 - Palancas
 - Ubicación de la manija.

3.2.3 La disposición de la probeta en la máquina, depende de la forma de ésta:

- en mesa plana
- o accesorio en V (para piezas redondas).

3.2.4 Realización del ensayo.

- VER ITEM 2.3

3.2.5 Verificación de la validez del ensayo (de acuerdo al método de ensayo, ver lo explicado en cada uno de ellos)

3.3 Primera práctica: Brinell HB

Controlar la dureza de las siguientes probetas:

- Paralelepípedo de hierro.
- " de aluminio
- " de bronce
- " de cobre

NOTA: Siempre se mide la dureza en tres o cuatro puntos diferentes de la probeta, dependiendo de sus dimensiones.

Luego del ensayo llenar el cuadro siguiente

Tipo de ensayo	Material	Denominación del ensayo	Ø de la bola en mm	Fuerza P en 0.102 N	Fuerza P en N	φ medio de la huella d en mm	Dureza Brinell HB

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Conclusiones :

3.4 Segunda práctica: Rockell B, HRB

Realizar el ensayo de dureza en las siguientes láminas de :

- Hierro
- Aluminio
- Bronce

Al finalizar la práctica llenar el siguiente cuadro:

Tipo de ensayo	Material	Denominación del ensayo	Fuerza P en 0.102 N	Fuerza P en N	Dureza Rockwell HRB

Conclusiones:

3.5 Tercera práctica: Rockwell C

Medir la dureza de las siguientes herramientas y probetas:

- Un buril de torno
- Un buril de torno marca "Impero".
- Un buril de torno marca "Assab"
- Un buril de torno de otras marcas.
- De una fresa de disco de un sólo corte
- De piezas templada.

Al terminar el ensayo llenar el cuadro siguiente:

Tipo de ensayo	Material	Denominación del ensayo	Fuerza P en 0.102 N	Fuerza P en N	Dureza Rockwell HRC

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Conclusiones:

3.6 Cuarta práctica: Correcciones a los valores de dureza Rockwell.

Medir la dureza a las siguientes probetas:

- Un pin templado \varnothing 19mm
- Una acero de transmisión \varnothing 47mm
- Una fresa de mango cilíndrico \varnothing 1" (parte del mango)
- Un machuelo de \varnothing 3/4", (parte del mango).
- Un escariador de \varnothing 7/8" (parte del mango).

Para mejor comprensión de éstos temas se presentan dos ejemplos:

1º ENSAYO CON PROBETAS CILINDRICAS.

- Tipo de penetrador: punta (cono) de diamante (para esclas C o similares)
- Número de dureza leído en el indicador = 70
- Radio de la probeta = 8mm
- Valor (numérico) que se debe sumar = 0.5 (según tablas IIIy IV)

Luego: Número dureza corregido = $70 + 0.5 = 70.5$ HRC

2º ENSAYO CON PROBETA CILINDRICA

- Tipo de penetrador: bola de acero $\phi = 1.5875$ mm
- Número de dureza leído en el indicador = 40
- Radio de la probeta = 9.5 mm
- Valor (numérico) que se debe sumar = 3.0 (según tablas IIIy IV)

Luego: Número dureza corregido = $40 + 3 = 43$ HRB

Al finalizar el ensayo llenar el cuadro siguiente:

Tipo de ensayo	Material	Denominación del ensayo	Fuerza P en 0.102 N	Fueza P en N	Dureza Rockwell IIRC y HRD

Conclusiones:

3.7 Quinta práctica: Relación entre la resistencia mecánica a la tracción y la dureza Brinell.

En las probetas de la práctica 3.3 encontrar, de acuerdo a la dureza medida, la resistencia a la tracción.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Al terminar llene el cuadro siguiente:

Material	Prueba de tracción d_0 en mm	Resultados de Prueba				Vlores de tabla		Valor aproximado Factor = R_m/HB
		Diámetro S_0 en mm ²	Carga de ruptura en N	Dureza HB	Restencia a la tracción en N/mm ²	Resistencia a tracción en N/mm ²	Carga de luencia en N/mm ²	

Conclusiones:

De acuerdo con los valores encontrados trazar el diagrama: (Dureza Brinell vs. Resitencia a la tracción) en el plano cartesiano.

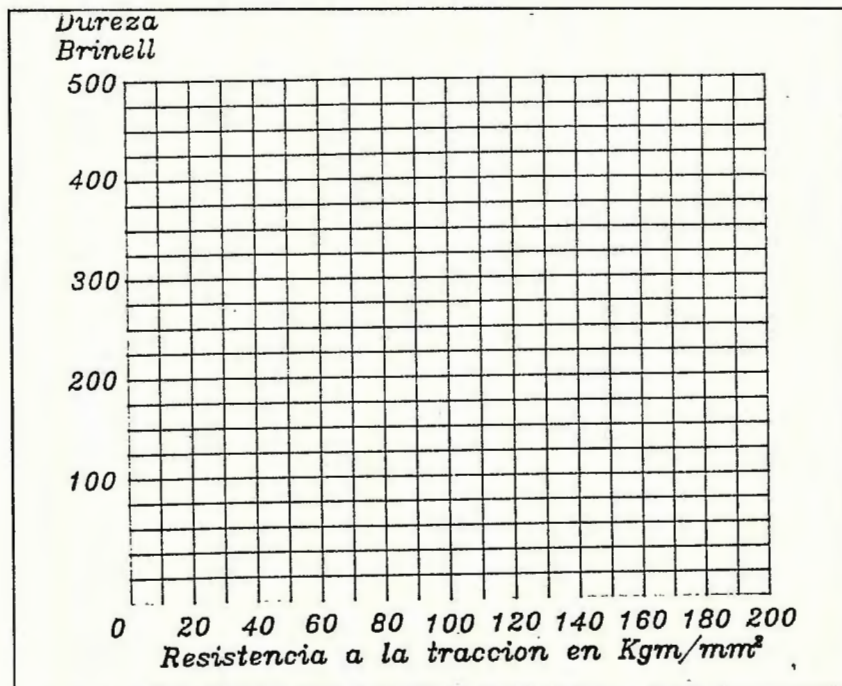


Fig. 2.4 Relación entre la dureza Brinell y la resistencia mecánica.

CUARTA PARTE

4 CUESTIONARIO

- 4.1 ¿ Cuáles son las ventajas del ensayo de dureza sobre el ensayo de tracción?
- 4.2 ¿ Cómo se define la dureza Brinell?
- 4.3 ¿ Qué ventajas tiene el método Vickers sobre Brinell?
- 4.4 ¿ Qué ventajas presenta el método Rocwell sobre los de Brinell y Vickers?
- 4.5 ¿ Por qué es el diamante de mayor dureza?
- 4.6 ¿ Qué relación tiene que existir, entre las cargas y los diámetros de las bolas, para que sean comparables los resultados obtenidos?

BIBLIOGRAFIA

- * *Propiedades Mecánicas de los Metales*, J.G. Tweeddale. Editorial Tecnos 1970.
- * *Ciencias de Materiales, Teoría-Ensayo-Tratamiento*; P. Coca Rebollero, J. Rosique Jiménez, Ediciones Pirámides, S. A. 1992.
- * *Metrología Mecánica*, Ricardo Brito, Editorial Tecnológico de Costa Rica, 1993.
- * *Tecnologia Meccanica*, Salvatore Anfuso-Franco Carrozzo, Editorial Cedam.
- * *ZWICK Operanting & CO K.G., Werkstoffprofmasgchinen D-7901 EINSIGEN Uberulm (Danou), Germany.*

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Tabla VI Estado de dureza Rockwell.

Escala designación	Tipo de prueba	Tipo y tamaño del penetrador	Carga menor en kgf	Carga mayor en kgf	Escala del comparador		Aplicaciones
					Color	Colocación	
A	Normal	Cono de diamante	10	60	Negro	Fuera	Aceros nitrados, flejes estirados en frío. Carburos metálicos (90-98)
B	"	Bola de 1/16"	"	100	Rojo	Dentro	Aceros al carbono recocidos de bajo contenido en C.
C	"	Cono de diamante	"	150	Negro	Fuera	Aceros duros. Con dureza superior a 100 Rockwell B o 20 Rc.
D	"	Cono de diamante	"	100	Rojo	Dentro	Aceros cementados.
E	"	Bola de 1/8"	"	100	"	"	Metales blandos, como antifricción y piezas fundidas.
F	"	Bola de 1/16"	"	60	"	"	Bronce recocido.
G	"	Bola de 1/16"	"	150	"	"	Bronce fosforoso y otros metales
H	"	Bola de 1/8"	"	60	"	"	Metales blandos, con poca homogeneidad, fundición de hierro
K	"	Bola de 1/8"	"	150	"	"	Metales duros, con poca homogeneidad, fundición de hierro.
L	"	Bola de 1/4"	"	60	"	"	" "
M	"	Bola de 1/4"	"	100	"	"	" "
P	"	Bola de 1/4"	"	150	"	"	" "
R	"	Bola de 1/2"	"	60	"	"	Metales muy blandos
S	"	Bola de 1/2"	"	100	"	"	" "
V	"	Bola de 1/2"	"	150	"	"	" "
15-N	Superficial	Cono de diamante	3	15	"	"	Aceros nitrados, cementados y de herramientas de gran dureza
30-N	"	Cono de diamante	"	30	"	"	" "
45-N	"	Cono de diamante	"	45	"	"	" "
15-T	"	Bola de 1/16"	"	15	"	"	Bronce, latón y acero blando
30-T	"	Bola de 1/8"	"	150	"	"	" "
45-T	"	Bola de 1/16"	"	30	"	"	" "

TABLA VI

UNIVERSIDAD DON BOSCO

TABLA DE COMPARACION SEGUN NORMAS DIN 50 150, PARA PRUEBAS DE DUREZA
VICKERS, HARDNESS, ROCKWELL B y C, Y FUERZAS DE TENSION

Vickers P. dureza P = 5 KG	Brinell P. dureza P = 30 D	Rockwell P. dureza	P. dureza	Fuerzas de tension	Vickers P. dureza	Brinell P. dureza	Rockwell P. dureza	Fuerzas de tension
HV kg/mm	HB kg/mm	HRB	HRC	B kg/mm	HV kg/mm	HB kg/mm	HRC	B kg/mm
80	80	36.40		28	360	359	37.00	124
85	85	42.40		30	370	368	38.00	127
90	90	47.40		32	380	376	38.90	131
95	95	52.00		33	390	385	39.80	134
100	100	56.40		35	400	392	40.70	138
105	105	60.00		37	410	400	41.50	142
110	110	60.40		39	420	408	42.40	145
115	115	66.40		40	430	415	43.20	149
120	120	69.40		42	440	423	44.00	
125	125	72.00		43	450	430	44.80	
130	130	74.40		45	460		45.50	
135	135	76.40		47	470		46.30	
140	140	78.40		48	480		47.00	
145	145	80.40		50	490		47.70	
150	150	82.20		51	500		48.30	
155	155	83.80		53	510		49.00	
160	160	85.40		55	520		49.60	
165	165	86.80		56	530		50.30	
170	170	88.20		58	540		50.90	
175	175	89.60		60	550		51.50	
180	180	90.80		62	560		52.10	
185	185	91.80		63	570		52.70	
190	190	93.00		65	580		53.30	
195	195	94.00		67	590		53.80	
200	200	95.00		68	600		54.40	
205	205	95.80		70	610		54.90	
210	210	96.60		72	620		55.40	
215	215	97.60		73	630		55.90	
220	220	98.20		75	640		56.40	
225	225	99.00		77	650		56.90	
230	230		19.20	78	660		57.40	
235	235		20.20	80	670		57.90	
240	240		21.20	82	680		58.40	
245	245		22.10	84	690		58.90	
250	250		23.00	85	700		59.30	
255	255		23.80	87	710		60.20	
260	260		24.60	89	720		61.10	
265	265		25.40	90	730		61.90	
270	270		26.20	92	740		62.70	
275	275		26.90	94	750		63.50	
280	280		27.60	96	760		64.30	
285	285		28.30	97	770		65.00	
290	290		29.00	99	780		65.70	
295	295		29.60	101	790		66.30	
300	300		30.30	103	800		66.90	
310	310		31.50	106	810		67.50	
320	320		32.70	110	820		68.00	
330	330		33.80	113				
340	340		34.90	117				
350	350		36.00	120				

TABLA VII

UNIVERSIDAD DON BOSCO

dimensiones de la diagonal	2 DUREZA VICKERS kg/mm						
	mm	10 kg	20 kg	30 kg	50 kg	60 kg	62.5 kg
0.12	1288.00						
0.13	1096.00						
0.14	952.00						
0.15	825.00						
0.16	725.00						
0.17	643.00						
0.18	574.00	1148.00					
0.19	515.00	1030.00					
0.20	464.00	928.00					
0.21	421.00	842.00					
0.22	383.00	766.00	1149.00				
0.23	351.00	702.00	1053.00				
0.24	322.00	644.00	966.00				
0.25	296.00	592.00	890.00				
0.26	274.00	548.00	822.00				
0.27	254.00	508.00	762.00				
0.28	237.00	474.00	711.00	1185.00			
0.29	220.00	440.00	660.00	1100.00			
0.30	206.00	412.00	618.00	1030.00			
0.31	193.00	386.00	579.00	965.00	1157.00	1200.00	
0.32	181.00	362.00	543.00	905.00	1086.00	1130.00	
0.33	170.00	340.00	510.00	850.00	1020.00	1060.00	
0.34	160.00	320.00	481.00	802.00	964.00	1005.00	
0.35	151.00	302.00	454.50	727.50	909.00	950.00	
0.36	143.00	286.00	429.60	716.00	860.00	895.00	
0.37	135.00	270.00	406.00	676.50	814.00	845.00	
0.38	128.00	256.00	384.00	640.00	770.00	800.00	
0.39	121.00	242.00	364.50	607.50	732.00	760.00	
0.40	115.00	230.00	346.80	578.00	695.00	725.00	
0.41	110.00	220.00	330.00	550.00	662.00	960.00	
0.42	105.00	210.00	315.00	525.00	631.00	655.00	
0.43	100.00	200.00	300.00	500.00	602.00	625.00	
0.44	96.00	192.00	288.00	480.00	576.00	600.00	
0.45	91.70	183.00	277.10	458.50	549.00	572.00	
0.46	87.80	176.00	263.40	439.00	527.00	550.00	
0.47	84.00	168.00	252.00	420.00	504.00	525.00	
0.48	8.50	161.00	241.50	402.50	483.00	500.00	
0.49	77.30	155.00	231.90	389.50	463.00	480.00	
0.50	74.30	149.00	222.90	371.50	445.00	465.00	
0.51	71.50	143.00	214.50	357.50	427.00	445.00	

TABLA VIII (1)

UNIVERSIDAD DON BOSCO

dimensiones de la diagonal	DUREZA VICKERS kg/mm HV = ²					
	mm	10 kg	20 kg	30 kg	50 kg	60 kg	62.5 kg
0.52	68.60	137.00	205.80	343.00	411.00	430.00
0.53	66.20	132.00	198.60	331.00	396.00	415.00
0.54	61.30	127.00	190.80	318.00	381.00	400.00
0.55	59.30	123.00	183.90	306.50	368.00	385.00
0.56	57.10	119.00	177.99	296.50	356.00	370.00
0.57	55.10	114.00	171.30	285.50	343.00	358.00
0.58	53.30	110.00	165.30	285.50	331.00	345.00
0.59	51.60	107.00	159.90	266.50	319.00	333.00
0.60	49.80	103.00	154.80	258.00	309.00	322.00
0.61	48.20	100.00	149.40	249.00	299.00	312.00
0.62	46.70	96.00	144.60	241.00	289.00	302.00
0.63	45.40	93.00	140.10	233.50	280.00	292.00
0.64	44.00	91.00	136.20	227.00	272.00	283.00
0.65		88.00	132.00	220.00	263.00	274.00
0.66		85.00	127.80	213.00	255.00	266.00
0.67		83.00	123.90	206.50	248.00	259.00
0.68		80.00	120.00	200.00	241.00	252.00
0.69		78.00	116.00	193.30	234.00	244.00
0.70		76.00	113.40	189.00	227.00	237.00
0.71		74.00	110.00	183.30	221.00	230.00
0.72		72.00	107.40	179.00	215.00	224.00
0.73		70.00	104.00	173.30	209.00	218.00
0.74		68.00	101.70	169.50	203.00	212.00
0.75		66.00	99.00	165.00	198.00	206.00
0.76		64.00	96.00	160.00	193.00	201.00
0.77		63.00	94.00	156.60	188.00	196.00
0.78		61.00	91.50	152.50	183.00	191.00
0.79		59.00	89.00	148.30	178.00	188.00
0.80		58.00	87.00	145.00	174.00	182.00
0.81		57.00	85.00	141.60	170.00	177.00
0.82		55.00	82.80	138.00	166.00	172.00
0.83		54.00	81.00	135.00	162.00	168.00
0.84		53.00	78.60	131.00	158.00	164.00
0.85		51.00	77.00	128.00	154.00	160.00
0.86		50.00	75.00	125.00	151.00	156.00
0.87		48.00	73.00	121.60	147.00	153.00
0.88		48.00	72.00	120.00	144.00	150.00
0.89		47.00	70.00	116.60	141.00	147.00
0.90		46.00	69.00	115.00	138.00	143.00
0.91		45.00	67.00	111.60	135.00	140.00
0.92		44.00	66.00	110.00	132.00	137.00
0.93			64.00	106.60	129.00	134.00
0.94			63.00	105.00	126.00	131.00
0.95			62.00	103.30	123.00	128.00
0.96			60.00	100.00	121.00	126.00

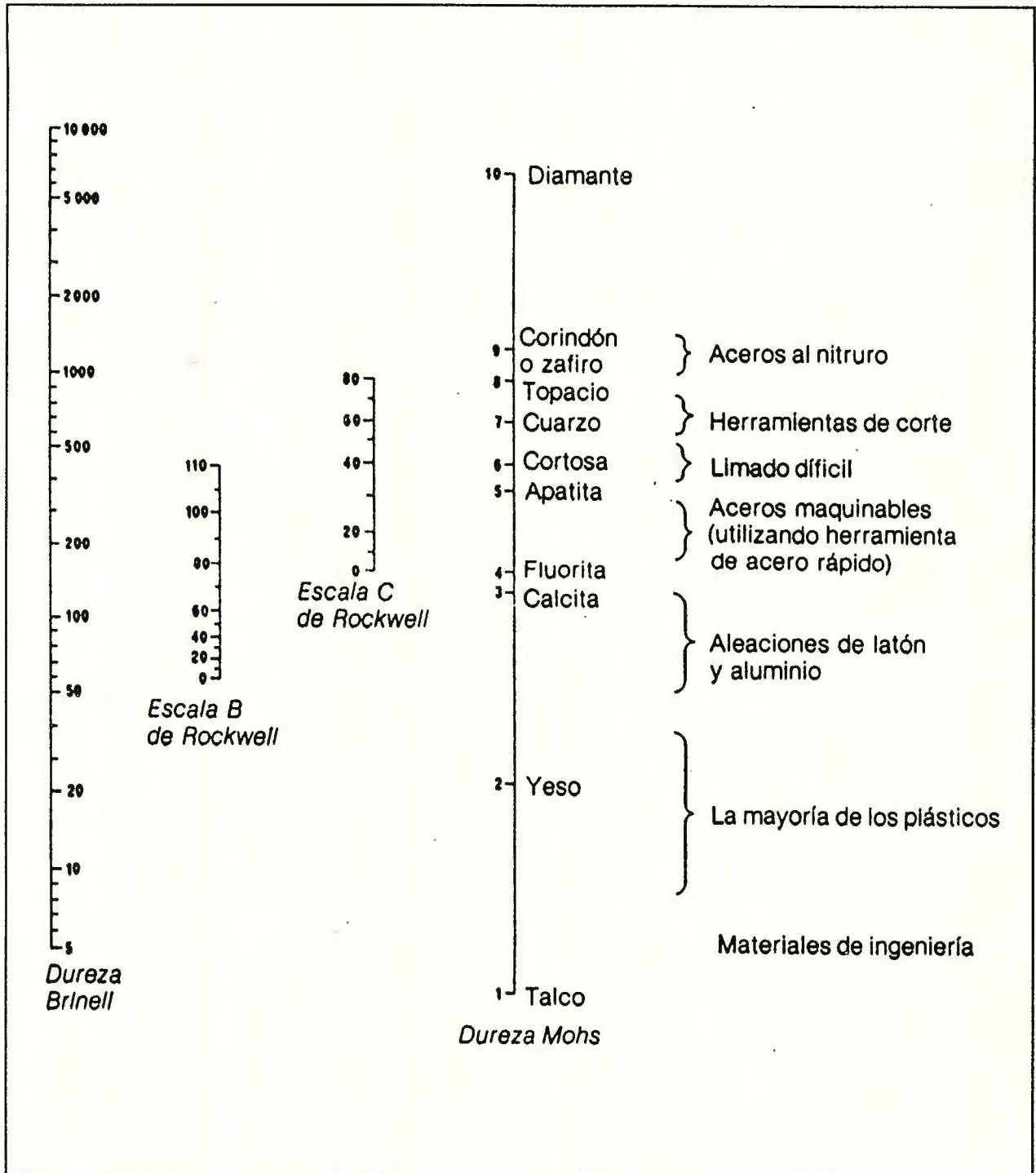
TABLA VIII (2)

UNIVERSIDAD DON BOSCO

dimensiones de la diagonal	DUREZA VICKERS kg/mm ² HV=				
	20 kg	30 kg	50 kg	60 kg	62.5 kg
0.97		59.00	98.30	118.00	123.00
0.98		58.00	96.50	120.50	120.50
0.99		57.00	95.00	118.00	118.00
1.00		55.80	93.00	116.00	116.00
1.01		54.50	90.80	114.00	114.00
1.02		53.40	89.00	111.00	111.00
1.03		52.40	87.30	109.00	109.00
1.04		51.50	85.80	107.00	107.00
1.05		50.60	74.30	105.00	105.00
1.06		49.50	82.50	103.00	103.00
1.07		48.30	80.50	101.00	101.00
1.08		47.70	79.50	99.00	99.00
1.09		46.80	78.00	97.00	97.00
1.10		46.00	76.60	95.50	95.50
1.12			73.80	92.50	92.50
1.14			71.40	89.00	89.00
1.16			68.80	86.00	86.00
1.18			66.50	83.00	83.00
1.20			64.30	80.20	80.20
1.22			62.30	77.50	77.50
1.24			60.30	75.50	75.50
1.26			58.40	73.20	73.20
1.28			56.60	70.80	70.80
1.30			54.80	68.50	68.50
1.32			53.20	66.50	66.50
1.34			51.70	64.50	64.50
1.36			50.20	62.50	62.50
1.38			48.80	60.60	60.60
1.40			47.30	59.00	59.00
1.42			46.20	57.50	57.50
1.44			44.80	56.00	56.00
1.46			46.30	54.50	54.50
1.48			42.30	53.00	53.00
1.50			41.20	51.50	51.50

TABLA VIII (3)

TABLA IX: Escalas de dureza

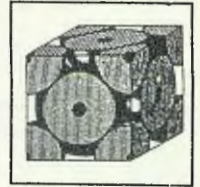


Laboratorio # 7

TRATAMIENTO TÉRMICO

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tratamientos
térmicos.



METALURGIA Laboratorio # 7

Objetivos:

- * Conocer y analizar el diagrama de "Equilibrio Entre Fases" en aleaciones binarias.
- * Conocer la importancia de las fases de calentamiento y enfriamiento de las piezas que se han de tratar.
- * Conocer los medios para medir la temperatura.
- * Conocer los medios de calentamiento.

Los aceros que se emplean en la industria, son aleaciones y no metales puros, como el oro, la plata, el estaño, etc. De sus numerosos componentes, el hierro es el elemento que entra en mayor proporción, y el carbono el que ejerce influencia más decisiva en sus propiedades.

El horno es el elemento principal de los tratamientos térmicos. Este deberá ser seleccionado e instalado convenientemente.

PARTE PRIMERA

1. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

1.1 HIERRO Y ACERO

El hierro es el metal más utilizado por el hombre en los últimos tres mil años largos de su existencia. Esta supremacía se debe a la abundancia relativa de este elemento químico en la corteza terrestre, a la posibilidad del hierro de formar aleaciones, sobre todo con el carbono, de gran utilidad (acero y fundiciones) y a la posibilidad de modificar las propiedades de éstas aleaciones por tratamientos térmicos.

1.1.2 FUNDAMENTOS

Los fundamentos de los tratamientos térmicos radican en las condiciones de equilibrio estable y metaestable, condiciones ubicadas en la microestructura y en los diagramas de equilibrio termodinámico de los metales y aleaciones.

El estado de recocido es el correspondiente a una aleación que ha sido sometida a un calentamiento a determinada temperatura y enfriamiento muy lento, con el objeto de hacer desaparecer las tensiones en el material, mejorar su microestructura o destruir un tratamiento térmico anteriormente aplicado. La acritud es el estado correspondiente de una aleación que ha sido sometido a deformación plástica a temperatura inferior a la de recristalización.

Los fundamentos de los tratamientos térmicos del acero están en el diagrama hierro-carbono. La importancia de este diagrama radica en el gran tonelaje de acero producido (mundialmente se fabrican unos 500 millones de Tm al mes) y al profundo conocimiento que actualmente se tiene de este diagrama, lo cual es fruto de un largo período de tiempo en que la humanidad viene empleando ésta aleación.

1.2 EL DIAGRAMA DE EQUILIBRIO Fe-Fe₃C

Los aceros son aleaciones de hierro con carbono y, si no tienen agregado ningún aleante especial, se llaman aceros al carbono. Tales aceros se incluyen en el extremo rico en hierro del diagrama Fe-Fe₃C hasta 2% de carbono. Por encima de 2% y hasta 6.67 % de carbono están comprendidos los hierros fundidos o fundiciones de hierro.

La figura 1.1 muestra el diagrama de fases Fe-Fe₃C desde 0% a 6.67% de carbono. En el extremo izquierdo del diagrama hay una descomposición peritécnica a 1495°C la cual da origen a la fase "γ", que es una solución sólida, cúbica de caras centradas, de carbono en hierro, con una solubilidad máxima de 2% a 1148°C. Esta temperatura coincide con una reacción eutéctica, y el eutéctico tiene una composición de 4.3% de carbono. Es decir, por encima de 1148°C y entre 2 y 6.67% de carbono tendrá una mezcla de fases sólida y líquida. A medida que se disminuye la concentración de carbono por debajo del 2% de carbono, la temperatura a la cual comienzan a fundir las aleaciones va aumentando según la línea JA, (Fig. 1.1).

A la temperatura de 727°C hay una reacción eutectoide con una concentración de 0.8% de carbono. Esta reacción es la descomposición de una fase sólida "γ" en dos fase sólidas nuevas: ferrita (α) y cementita (Fe₃C).

En la figura 1.1 se muestran las distintas zonas en que se divide el diagrama Fe-Fe₃C. La fase δ , de alta temperatura, tiene muy poca importancia industrial. La zona de solución sólida " γ ", llamada también austenita, desaparece por debajo de 727°C en los aceros al carbono, pero puede ser retenida hasta a la temperatura ambiente por el agregado de aleantes.

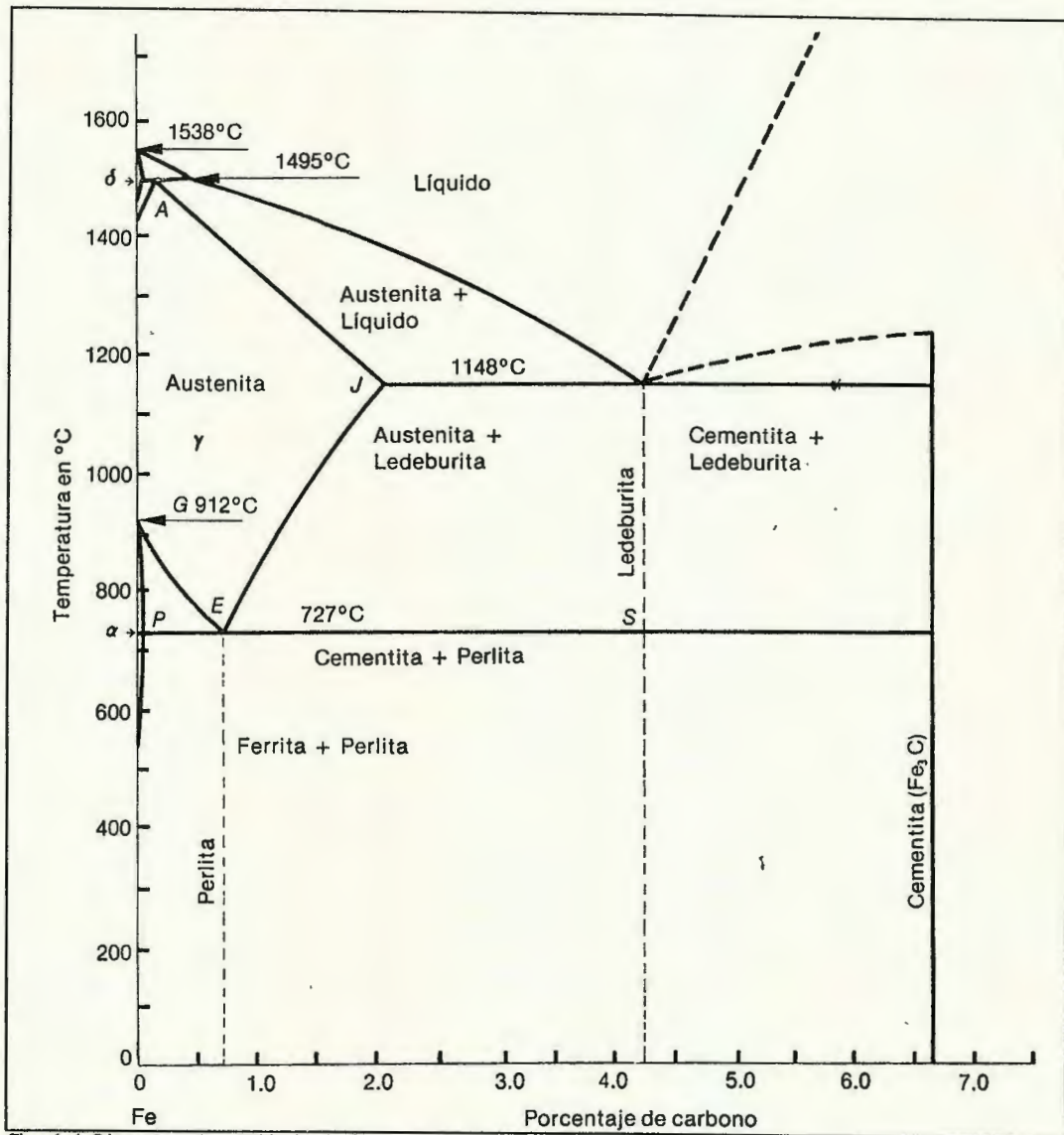


Fig. 1.1 Diagrama de equilibrio de fases Fe-Fe₃C.

En la figura 1.2 se muestra su aspecto metalográfico. En esta fotografía se pueden apreciar los límites de grano austenítico como una red negra y las mezclas de recocido como líneas paralelas que van de borde a borde de los granos.

Sin embargo, si se enfría lentamente una aleación desde el rango austenítico, es decir, desde una temperatura por encima de las líneas GEJ, esta austenita se descompone en cristales primarios y autectoides, según su composición química. Por debajo de la línea PES y su prolongación, hasta alcanzar la composición del intermetálico (Fe_3C), todas las aleaciones tendrán presente en su estructura un eutectoide llamado perlita, si es que el enfriamiento ha sido lo suficientemente lento.



Fig. 1.2 Fotomicrografía de un acero inoxidable austenítico SAE 316. Aumento 115x.



Fig. 1.3 Acero hipoeutectoide (SAE 1020). Magnificación 500x.

El eutectoide es una mezcla de cristales de solución sólida "α", con una concentración máxima de carbono en solución de 0.025%, llamada ferrita y de cristales de intermetálico con 6.67% de carbono, llamado cementita o carburo de hierro (Fe_3C).

La figura 1.3 muestra el aspecto metalográfico de un acero de composición hipoeutectoide (SAE 1020). La figura 1.4 otro de composición eutectoide (SAE 1080) y la figura 1.5 un acero de composición hipereutectoide (SAE 52100).

En las fotomicrografías anteriores y de su comparación con las fases del diagrama de aceros, se ve que los cristales primarios de la figura 1.3 son de ferrita y a veces se les llama ferrita proeutectoide para diferenciarla de la ferrita eutectoide que forma la perlita.

Tabla 1.1 Dureza de las distintas fases que aparecen en los aceros.

<i>Fase</i>	<i>Dureza Brinell</i>	<i>Dureza Rockwell C</i>
<i>Ferrita</i>	<i>155 máxima</i>	<i>0 máxima</i>
<i>Perlita*</i>	<i>230</i>	<i>20</i>
<i>Austenita</i>	<i>375</i>	<i>40</i>
<i>Cementita</i>	<i>650 mínima</i>	<i>60 mínima</i>

Por otro lado, en la figura 1.5, los cristales primarios son de cementita proeutectoide. Si se realizan ensayos de dureza en las distintas fases que aparecen en los aceros se verá que sus valores son muy diferentes. Estos se indican en la tabla 1.1.

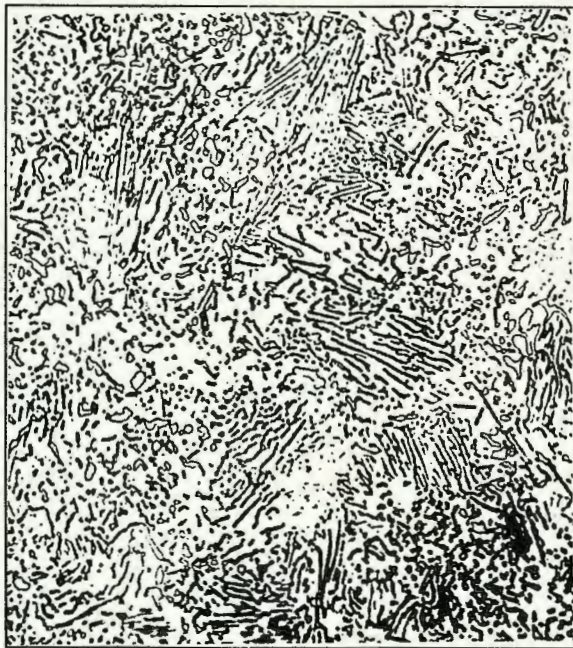


Fig. 1.4 Acero eutectoide recocido (SAE 1080). La matriz está formada por ferrita y la fase se dispersa en cementita. Aumento 350x.

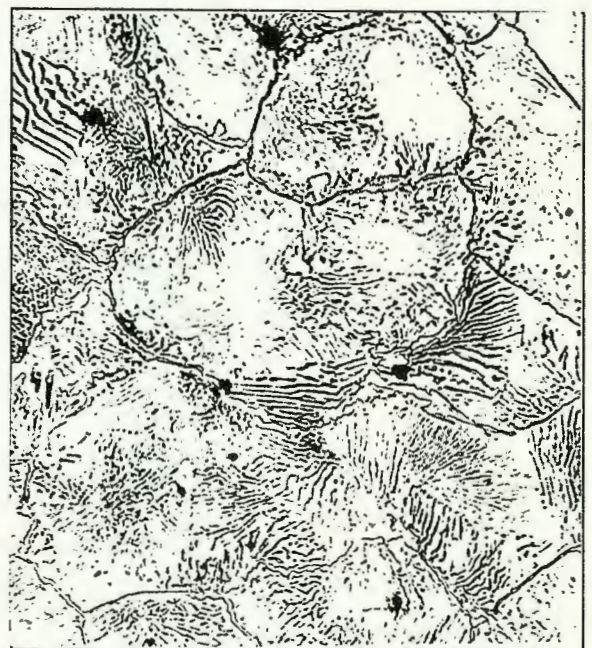


Fig. 1.5 Acero hipereutectoide recocido (SAE 52100). Los primitivos límites de grano están desmarcados por un red de cementita; el resto de la estructura es perlita. Aumento 350x.

Por otro lado, la dureza de los aceros varía con el agregado creciente de carbono. En la tabla 1.2 se muestra dicha variación. Todos los aceros aquí registrados se calentaron hasta la temperatura en que la estructura es completamente austenítica y luego se enfriaron lentamente. Este tipo de tratamiento se llama normalización o normalizado y los aceros que han sido así tratados se les llama aceros normalizados.

* Perlita es una mezcla de fases ($\alpha + Fe_3C$).

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Tabla 1.2 Variación de la dureza de los aceros normalizados por el agregado creciente de carbono.

<i>Por ciento de carbono en el acero</i>	<i>Dureza Brinell</i>
0.01	90
0.20	120
0.40	165
0.60	220
0.80	260
1.00	295
1.20	315
1.40	300

1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

De todas las normas para clasificar aceros, tal vez, la que más se emplea y, sobre todo, la más clara, es la norma SAE ya que sólo emplea cuatro dígitos para identificar aceros. Los dos primeros indican el tipo de acero y los dos últimos expresan el contenido de carbono del acero, multiplicado por 100. En la tabla 1.3 se resume dicha nomenclatura.

<i>1.3 Nomenclatura SAE para aceros aleados</i>		
<i>Tipo SAE</i>	<i>Nombre</i>	<i>Aleantes</i>
10XX	<i>Aceros al carbono</i>	
11XX	<i>Aceros al carbono</i>	<i>Altos en azufre y bajos en fósforo.</i>
13XX	<i>Aceros al carbono</i>	<i>Altos en azufre y altos en fósforo.</i>
23XX	<i>Aceros al Mn</i>	<i>1.6% a 1.9% Mn.</i>
25XX	<i>Aceros al Ni</i>	<i>3.5% Ni.</i>
31XX	<i>Aceros al Ni-Cr</i>	<i>1.25% Ni y 0.60% Cr.</i>
32XX	<i>Aceros al Ni-Cr</i>	<i>1.75% Ni y 1.00% Cr.</i>
33XX	<i>Aceros al Ni-Cr</i>	<i>3.50% Ni y 1.50% Cr.</i>
40XX	<i>Aceros al Mo</i>	<i>0.35% Mo.</i>
41XX	<i>Aceros al Cr-Mo</i>	<i>1.00% Cr y 0.20% Mo.</i>
43XX	<i>Aceros al Cr-Ni-Mo</i>	
46XX	<i>Aceros al Ni-Mo</i>	<i>1.75% Ni y 0.25% Mo.</i>
48XX	<i>Aceros al Ni-Mo</i>	<i>3.5% Ni y 0.25% Mo.</i>
51XX	<i>Aceros al Cr</i>	<i>0.80% Cr.</i>
52XX	<i>Aceros al Cr</i>	<i>1.50% Cr.</i>
61XX	<i>Aceros al Cr-V</i>	
86XX	<i>Aceros al Ni-Cr-Mo</i>	<i>0.55% Ni, 0.50% Cr y 0.20% Mo.</i>
87XX	<i>Aceros al Ni-Cr-Mo</i>	<i>0.55% Ni, 0.50% Cr y 0.25% Mo.</i>
92XX	<i>Aceros al Mn-Si</i>	<i>0.80% Mn y 2.00% Si.</i>
93XX	<i>Aceros al Ni-Cr-Mo</i>	<i>1.00% Ni, 1.20% Cr y 0.12% Mo</i>
98XX	<i>Aceros al Ni-Cr-Mo</i>	<i>1.00% Ni, 1.20% Cr y 0.25% Mo.</i>

NOTA: Los símbolos XX indican la concentración de carbono multiplicada por 100.

En la tabla 1.4 se toma como ejemplo la serie 10xx y se muestra cómo se subclasifican.

Tipo SAE	% de Carbono	% de Manganeso	% de Fósforo	% de Azufre
1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.40 máx	0.50 máx
1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.40 máx	0.50 máx
1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.40 máx	0.50 máx
1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.40 máx	0.50 máx
1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1075	0.70-0.88	0.50-0.80	0.40 máx	0.50 máx
1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.40 máx	0.50 máx
1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.40 máx	0.50 máx
1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.40 máx	0.50 máx

1.2.2 LÍNEAS DE TEMPERATURAS CRÍTICAS

Supóngase, como se hizo hasta ahora, que los calentamientos y los enfriamientos en los aceros se realizan lentamente como para que no se retengan fases. De esta manera, la estructura resultante será siempre la de equilibrio.

Industrialmente se conoce como A_3 , la línea

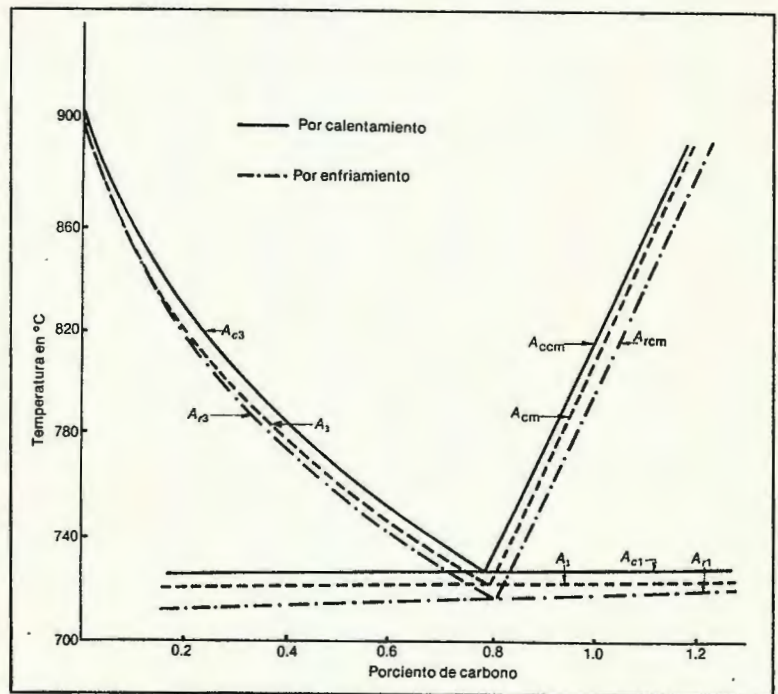


Fig. 1.6 Temperaturas críticas de la transformación de eutectoide en calentamiento (Ac) y enfriamiento (Ar).

que marca el comienzo de la descomposición austenítica en los aceros hipoeutectoides, mientras que la línea A_{cm} es el comienzo de la descomposición austenítica en los aceros hipereutectoides, y esta denominación proviene de la separación de la cementita.

La línea que marca el final de la descomposición austenítica se llama A_1 .

En todas las transformaciones que suceden en las aleaciones cuando están solidificadas hay una diferencia en las líneas A_3 , A_{cm} y A_1 , ya sea que éstas se determinen por calentamiento o por enfriamiento. Así, la figura 1.6 muestra cómo pueden variar éstas líneas, según las condiciones en que se determinan; el subíndice 3 indica el comienzo de la separación de ferrita proeutectoide y subíndice cm para el comienzo de la separación de cementita proutectoide. El subíndice 1 indica la separación de la perlita.

Las líneas obtenidas por calentamiento agregan a su denominación una c (de *chauffage*, en francés, calentamiento), y las determinadas por enfriamiento agregan una τ (de *refroidissement*, en francés, enfriamiento). En la gráfica se observan las posiciones relativas de A_{c3} , A_3 y A_{r3} ; A_{ccm} , A_{cm} y A_{rcm} y de A_{c1} , A_1 y A_{r1} , es decir, hay tres líneas por cada una de las líneas del diagrama. Las curvas de calentamiento entran siempre por encima de las curvas de equilibrio, mientras que las de enfriamiento están por debajo de las de equilibrio.

1.2.3 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Casi todos los tratamientos térmicos de aceros comienzan con un tratamiento térmico de austenitización, es decir, calentándolos hasta una temperatura superior a la crítica para que su estructura sea completamente austenítica.

La velocidad del calentamiento, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de austenitización, no tiene gran efecto en la estructura del final, pero se debe tener cierto cuidado en el caso de materiales que han sido previamente deformados en frío, ya que para evitar fisuras es necesario calentarlos más lentamente que los materiales que no han sido endurecidos bajo trabajo mecánico, porque un calentamiento rápido puede liberar tensiones de forma rápida y no homogénea y producir dichas fisuras. En términos generales, se puede decir que cuanto más lento y uniforme es el calentamiento menor será el daño que puede sufrir el material.

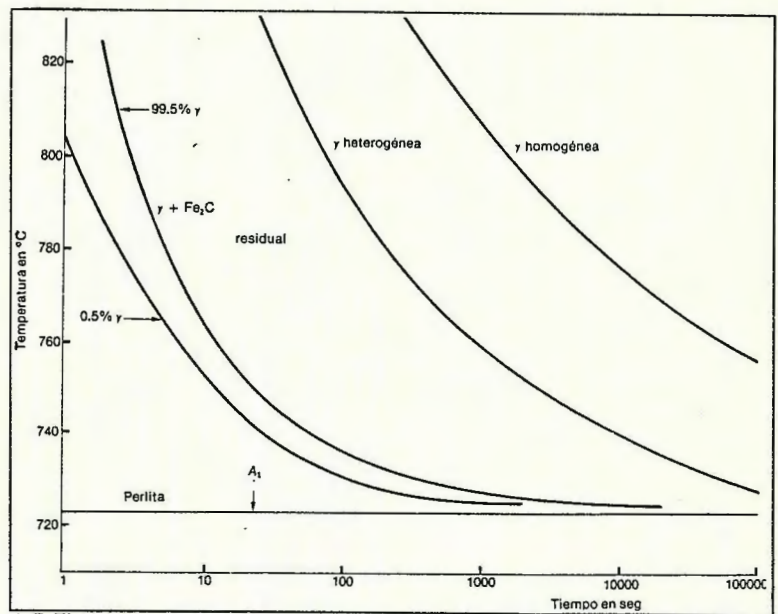
La temperatura de austenitización varía con la concentración de carbono del acero pero, como regla general, se elige la temperatura a 50°C por encima de

la temperatura crítica correspondiente a la composición de la aleación. El tiempo de duración de la austenitización varía con la temperatura elegida y con la concentración de carbono ya que la austenita resultante deberá ser homogénea en concentración.

Cuando el material se trata a temperaturas de austenitización bajas no es posible borrar completamente la diferencia de concentración que corresponde a las primitivas fases de la ferrita (0.025%C) y cementita (6.67%C). Para formar austenita, el carbono debe migrar de las zonas que eran cementita hacia las zonas que fueron ferrita.

Las curvas de la figura 1.7 muestran el efecto del tiempo y la temperatura de austenitización para un acero SAE 1080 y puede servir para fijar un criterio de austenitización.

La primera curva de la izquierda marca el límite de aparición de la fase austenita. La segunda curva, en cambio, marca la desaparición de la perlita y dentro de éste intervalo de temperaturas y tiempos tiene austenita no homogénea y carburos no disueltos. La tercera y cuarta de las curvas enmarcan una zona de austenita no homogénea pero con carburos disueltos, mientras que a partir de



1.7 Tiempos y temperaturas de austenitización para un acero eutectoide.

la cuarta curva se extienden las condiciones de tiempos y temperatura para que la austenita sea homogénea, es decir, las condiciones de austenitización. Para un acero SAE 1080, temperaturas de 780°C significan tiempos de austenitización de 10.000 segundos (alrededor de tres horas), mientras que a 840°C es de 600 segundos (10 minutos).

Las curvas de la figura 1.8 muestran el efecto de la temperatura de austenitización en el tamaño de grano de la austenita, para aceros con diferentes concentraciones de carbono. Continuando con el ejemplo de un acero SAE 1080, se ve que el efecto de la temperatura puede ser importante por encima de 900°C, es decir, por debajo de esta temperatura se puede elegir cualquier temperatura de austenitización y, en general, se elige aquella que

asegure la homogeneización más rápida.

Los aceros desoxidados con Fe-Mn o con Fe-Mn y Fe-Si tienden a desarrollar granos grandes, mientras que los desoxidados con Al o que contienen V, Mo y Ti, tienden a mantener su grano austenítico pequeño. Esto no quiere decir que los aceros de grano fino siempre tendrán grano pequeño sino que para hacer crecer el grano deben calentar a temperaturas más altas que los que tienen tendencias a desarrollar granos grandes.

Es importante respetar los tiempos y las temperaturas de austenitización ya que de ellos dependerá la distribución de las fases de baja temperatura y, por lo tanto las propiedades finales de acero. Un tamaño de grano austenítico grande no modificará mucho la resistencia al impacto.

Por otra parte, un acero hipoeutectoide austenizado a temperaturas muy por encima de A_3 precipitará ferrita con estructura de Widmanstätten (Fig. 1.9), por enfriamiento posterior, lo que reduce la resistencia al impacto.

Los aceros sobrecalentados se caracterizan por una superficie de fractura de grano grueso, ya que la fractura pasa a lo largo de los límites de grano. Si el grano es pequeño, la superficie de fractura muestra una estructura de grano fino.

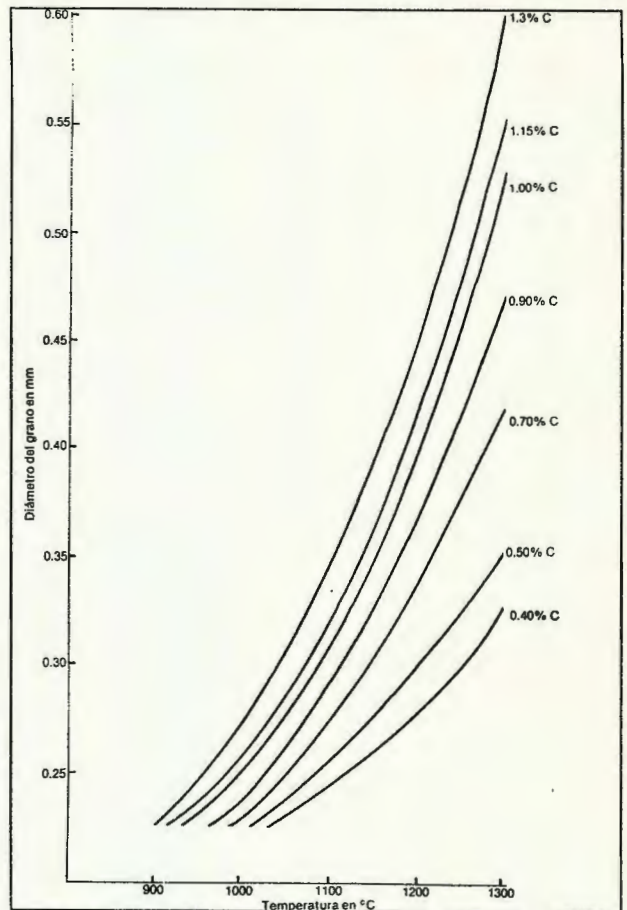


Fig. 1.8 Efecto de la temperatura de austenitización sobre el tamaño de grano austenítico en aceros al carbono con diferentes porcentajes de carbono.

1.2.3.1 DESCOMPOSICIÓN DE LA AUSTENITA

La austenita se descompone por debajo de la temperatura crítica y da el eutectoide perlita cuando se ha alcanzado cierto grado de subenfriamiento, es decir, cuando el acero alcanza una temperatura inferior a 727°C .

Dado que la austenita de composición C_0 se descompone en cristales de ferrita de composición de 0.025% C y cristales de cementita con 6.67% C, el acero debe permanecer cierto tiempo a la

temperatura de transformación para que el carbono que está uniformemente repartido en la austenita se concentre en algunas zonas para formar cementita y abandone otras para que éstas se conviertan en ferrita.

A cada temperatura inferior a 717°C , el tiempo necesario para que comience a formarse perlita y para que toda la perlita precipitable aparezca, varía con la concentración de carbono, con la presencia de aleantes, con el tamaño de grano austenítico y con la temperatura de transformación elegida.



Fig. 1.9 Acero SAE 1060. Austenitizado a 1200°C y enfriado al aire (normalizado). Aumento 250x.

1.2.3.2 CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA TTT

Supóngase que se tiene una serie de muestras de un acero a la temperatura de austenitización T_1 y un baño de tratamiento térmico a la temperatura de transformación T_2 . Las muestras para este ensayo son agujereadas para pasarles un alambre que permita colgarlas y sacarlas del horno de austenitización y sumergirlas rápidamente en el baño de tratamiento. Las muestras se retiran del baño de tratamiento a tiempos crecientes y se templan inmediatamente en agua y hielo para detener y congelar la reacción. Luego se pulen y atacan y por observación al

UNIVERSIDAD DON BOSCO

microscopio se determina que porcentaje de perlita y/o ferrita se formó, en cada una de las muestras, durante su permanencia en el baño de tratamiento.

Para determinar el porcentaje de fase formada se fotografía la muestra pulida y atacada; sobre una copia de esta fotografía se recorta la perlita y se le pesa en una balanza analítica. Lo mismo se hace con la foto completa.

Para calcular el porcentaje de fase formada se hace la relación siguiente:

$$\frac{\text{Peso de perlita} \times 100}{\text{Peso de foto completa}} = \text{A\% de perlita formada}$$

Por la regla de la palanca se puede saber el porcentaje de perlita que debe formarse a esa temperatura y concentración. Supóngase que sea B%. Se calcula el porcentaje de la formación haciendo la relación siguiente:

$$\frac{A}{B} \times 100 = \text{Porcentaje de reacción}$$

Si se hace esto con todas las muestras se puede construir una gráfica representando en el eje vertical el porcentaje de reacción y en el eje horizontal los logaritmos decimales de los tiempos. La finalidad de usar logaritmos en lugar de los tiempos mismos es que en dicha escala los intervalos para tiempos cortos quedan extendidos.

La curva resultante tiene la forma de la figura 1.10. Esta curva se llama curva de transformación isotérmica ya que todas las muestras se trataron a la misma temperatura (temperatura T_2) durante tiempos diferentes.

Si se repite el mismo procedimiento a otras temperaturas se obtendrá una serie de curvas parecidas, desplazadas en el eje de los tiempos. De esta curva se forman tres valores: t_1 , que es el tiempo en que comienza a aparecer la perlita, t_2 , el tiempo en que precipita el 50% de la perlita precipitable y t_3 , que es el tiempo al que se ha separado el 100% de perlita.

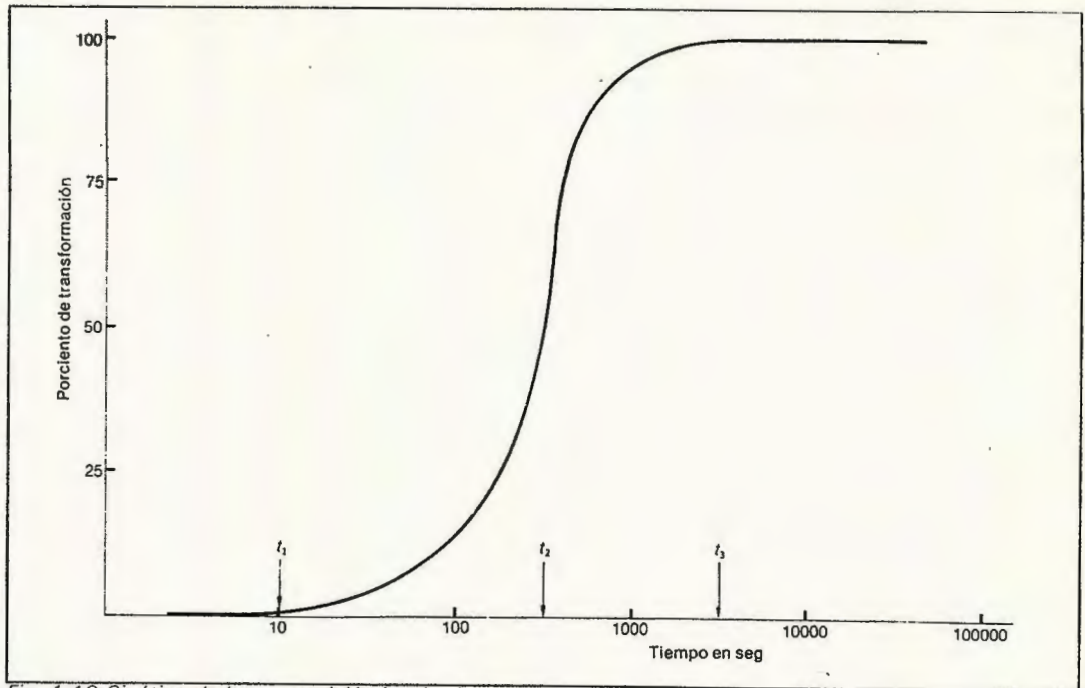


Fig. 1.10 Cinética de la composición isotérmica.

Elabórese ahora una gráfica en el cual el eje vertical representa las temperaturas (T_2 , T_3 , T_4 , etc.) para las cuales se han encontrado los tiempos (t_1 , t_2 y t_3). Sobre el eje horizontal se representa el logaritmo decimal de los tiempos. Llévense a la gráfica, sobre las líneas que representan las temperaturas, los valores encontrados para los tiempos de transformación y únense los puntos t_1 , entre sí, los t_2 y los t_3 de la misma manera. La gráfica resultante se llama diagrama de descomposición isotérmica o diagrama TTT (Tiempo-Temperatura-Transformación), y se muestra en la figura 1.11.

Existe un diagrama para cada tipo de acero y dichos diagramas son la base fundamental para planear los tratamientos térmicos.

Si se observan dichas curvas se verá que los aceros al carbono presentan curvas de forma de C. Entre la primera curva y el eje de temperaturas la única fase existente es austenita ya que la primera curva marca el comienzo de precipitación de perlita; la tercera curva es la de terminación de la precipitación de la perlita. Por lo tanto, la zona comprendida entre las curvas consiste en austenita no transformada todavía, ferrita y cementita, mientras que después de la tercera curva sólo hay ferrita y cementita. En la parte superior de la gráfica se completa el diagrama agregando la línea de temperatura crítica A_1 .

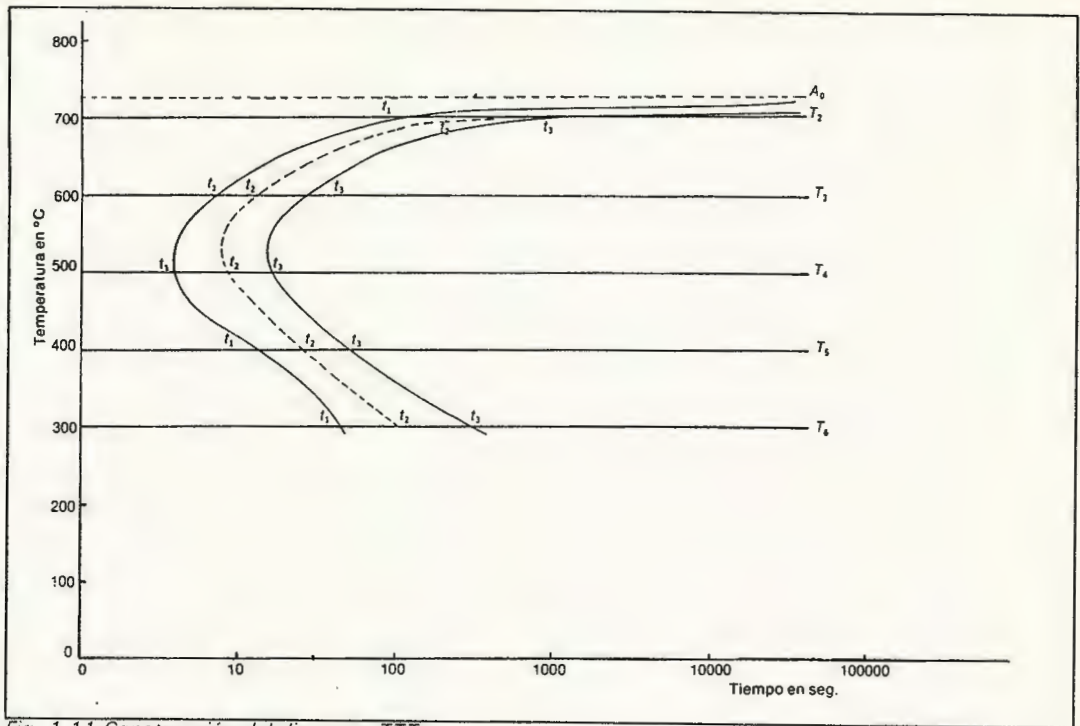


Fig. 1.11 Construcción del diagrama TTT

Por debajo del diagrama se trazan otras rectas a las temperaturas a que comienza y termina la precipitación de una nueva fase, que aún no se ha definido, llamada martensita.

1.2.3.3 MARTENSITA

Si se hace un enfriamiento muy rápido desde la temperatura de austenitización se formará una nueva fase, en forma de agujas, llamada martensita (fig. 1.12).



Fig. 1.12 Acero SAE 1020 templado en agua con hielo desde 1000°C. Estructura martensítica. Aumento 425x.

La martensita aparece porque

los tiempos de enfriamiento son tan cortos que el carbono de la austenita no tiene tiempo para migrar, y forma ferrita y cementita.

La martensita confiere al acero alta dureza, no sólo porque la estructura es muy dura sino porque, como las agujas crecen en direcciones fijas, deforman la austenita que la rodea. La cantidad de martensita que se forma depende exclusivamente de la temperatura del baño de temple.

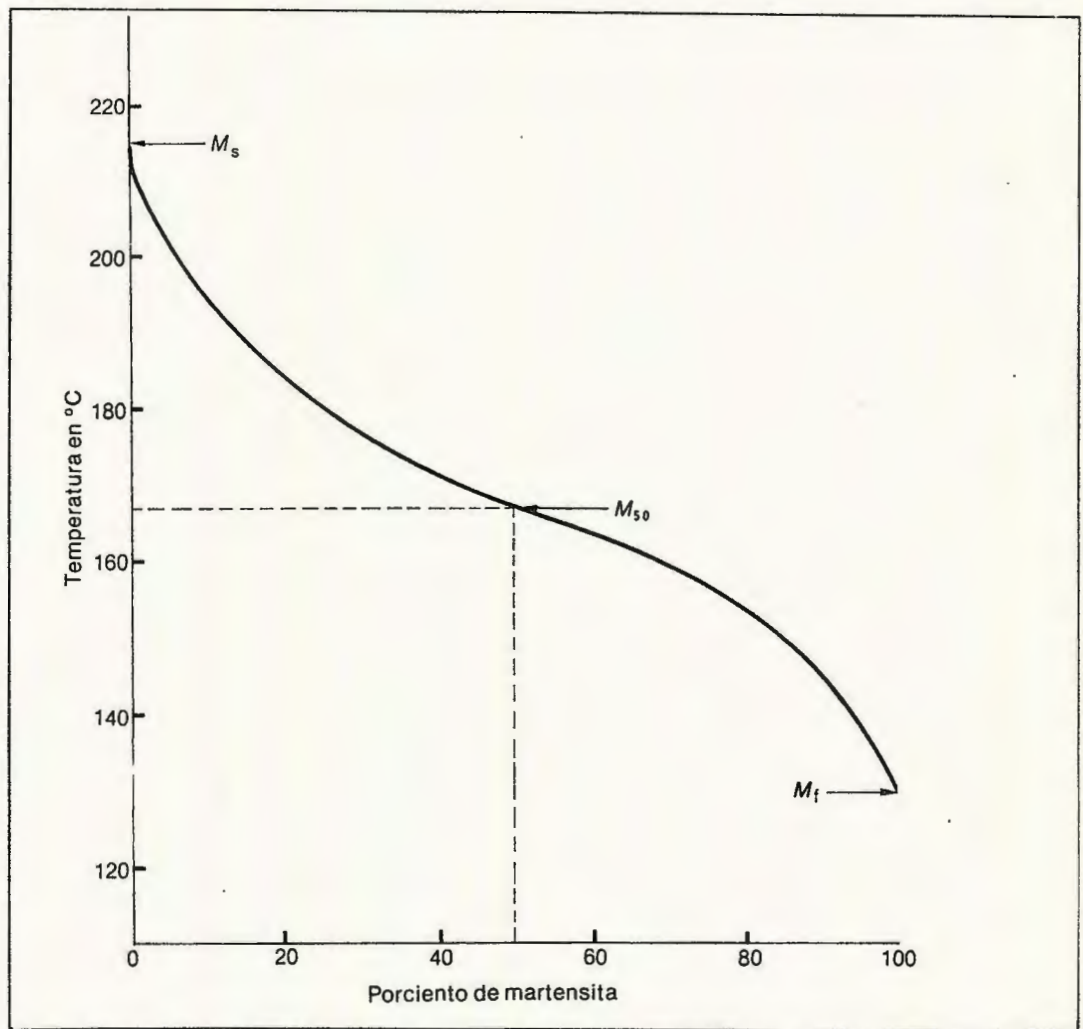


Fig 1.13 Descomposición de la austenita a martensita en función del baño de temple.

En la figura 1.13 se representa la cinética de la transformación martensítica. En el eje vertical se representa la temperatura de temple, es decir, la temperatura del baño en el cual se sumerge la muestra luego de austenitizada, y en el eje horizontal se representa el porcentaje de martensita formada. De esta curva se puede obtener el valor M_s :

comienzo de la formación de martensita M_{50} : 50% de martensita formada y M_f : 100% de martensita producida. Estos valores se representan en el diagrama TTT.

La martensita es una fase metaestable ya que, al calentarla, se transforma en ferrita y cementita que son las fases estables de baja temperatura. La austenita, por otro lado, es sólo estable a altas temperaturas y cuando se enfría en condiciones de equilibrio pasa a formar ferrita y cementita.

1.2.3.4 PERLITA Y BAINITA

Los tratamientos isotérmicos inmediatamente por debajo de la línea A, darán como resultado una perlita gruesa, entendiéndose por tal una estructura de láminas de ferrita y cementita bastante separadas.

En cambio los tratamientos isotérmicos que se hagan a la temperatura de la nariz de la curva darán una estructura de perlita fina, es decir, láminas muy próximas entre sí. Temperaturas del baño de tratamiento entre ambos valores producirán una perlita media.

Si la temperatura del baño de tratamiento se elige entre la nariz de la curva y la línea MS, aparecerá una nueva fase conocida como bainita. A temperaturas próximas y por debajo de la nariz, la nueva fase tendrá la forma de plumas eutectoide y, a grandes aumentos, es posible reconocer la cementita y la ferrita que la forman. Es decir, esta bainita, llamada usualmente bainita superior o bainita plumosa, no es más que una perlita de forma especial. En la figura 1.14 se muestra el aspecto metalográfico de esta fase.

Si el tratamiento térmico se hace próximo, pero por encima de la región de aparición de la martensita, la bainita tendrá la forma de agujas y se llama bainita inferior o bainita acicular y es todavía reconocible su estructura eutectoide muy fina cuando se observa por medio de un microscopio electrónico. Esta estructura de precipitados muy finos le da un aspecto oscuro y grueso cuando se ve por medio de un microscopio óptico, lo que permite diferenciarla de la martensita (fig. 1.15).

En la figura 1.16 se muestra la dureza de probetas de un acero eutectoide que ha sufrido diferentes tratamientos isotérmicos.

Industrialmente puede ser más fácil, en lugar de hacer tratamientos isotérmicos luego de la austenitización, hacer enfriamientos continuos en distintos medios: dentro del horno, al aire, en aceite o agua. La velocidad varía con el medio de enfriamiento.

En la tabla 1.5 se indican los medios que más se emplean y la velocidad de enfriamiento para muestras de acero inoxidable y la velocidad de enfriamiento para muestras de acero inoxidable de 12.5mm de diámetro y 62.5mm de longitud, cuando se enfrían desde 815°C en dichos medios.

En la tabla se observa que los distintos medios no retiran el calor a velocidad constante, sino que en la mayoría de ellos la temperatura cae primero rápidamente y luego la extracción de calor se hace menos energética. Supóngase que se representa sobre la figura 1.16 las velocidades de enfriamiento del aire, aceite, agua y en horno.

La curva de enfriamiento en el horno intersectará las curvas del diagrama TTT en la parte alta, lo que produce perlita gruesa. Este tipo de tratamiento térmico dará un producto muy blando, libre de tensiones y con estructura uniforme. Este tratamiento se llama industrialmente recocido.



Fig. 1.14 Acero SAE 1060 austenitizado a 1000°C y templado en agua y hielo. La fase que aparece clara es martensita, la fase oscura es bainita superior. Aumento 500x.



Fig. 1.15 Acero SAE 1040 austenitizado a 1200°C y templado en agua y hielo. Las zonas que aparecen claras son martensita; las agujas oscuras son bainita inferior. Aumento 500x.

Tabla 1.5 Velocidad de enfriamiento		
Método del temple	Velocidad de enfriamiento [$^{\circ}\text{C}/\text{seg}$]	
	a 705°C	a 650°C
Aire en reposo	2.8	2.2
Aceite soluble	20	20
Aceite de temple	20	16.7
Sales fundidas	44.4	94.5
Agua	90	72.2
Salmuera	112	124
	212	212

La curva siguiente corresponde a un enfriamiento en aire quieto y al intersectar las curvas a diferentes niveles de temperatura, según en donde entra o sale de la zona $A + F + C$, la primera perlita que se forma será más gruesa que la que se formará al final. Como se ha atravesado toda la zona $A + F + C$, la muestra tendrá estructura perlítica acompañada con ferrita o cementita según que el acero sea hipo o hipereutectoide, respectivamente. Este tratamiento se llama industrialmente normalizado.

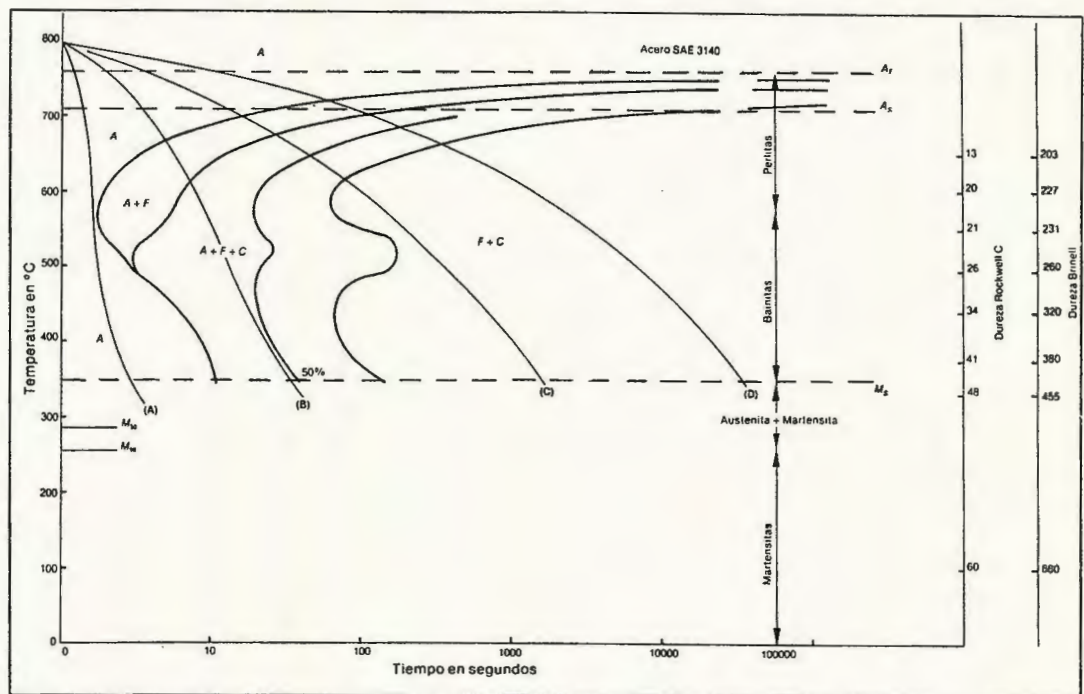


Fig 1.16 Diagrama TTT para un acero SAE 1080. Sobre el eje de la derecha se encuentran las durezas esperables a distintas temperaturas de tratamiento isotérmico. Sobre puestas se encuentran las curvas de enfriamiento al aire, en aceite y en agua.

En el caso de un enfriamiento más enérgico, de manera que la curva de enfriamiento no toque la nariz de la curva antes de haber entrado en la zona por debajo de M_s , se producirá martensita, en algunos casos acompañada de austenita retenida, y dicho tratamiento se llama industrialmente temple.

Supóngase que se aplica la misma serie de tratamientos de enfriamiento continuo a un acero SAE 4340 (Fig. 1.17)

Enfriamientos relativamente lentos, en aceite, darán en este acero estructuras completamente martensíticas y un enfriamiento al aire (normalizado) dará 25% de transformación perlítica, mientras que el resto es convertido en martensita.

Esto sugiere una regla empírica que es muy importante en el temple de aceros. Cuanto más alejada del eje de las temperaturas esté la nariz de la curva, más fácilmente el acero se transformará en martensita. Además, es posible obtener en esas condiciones un material que sea 100% martensítico sin grandes velocidades de enfriamiento.

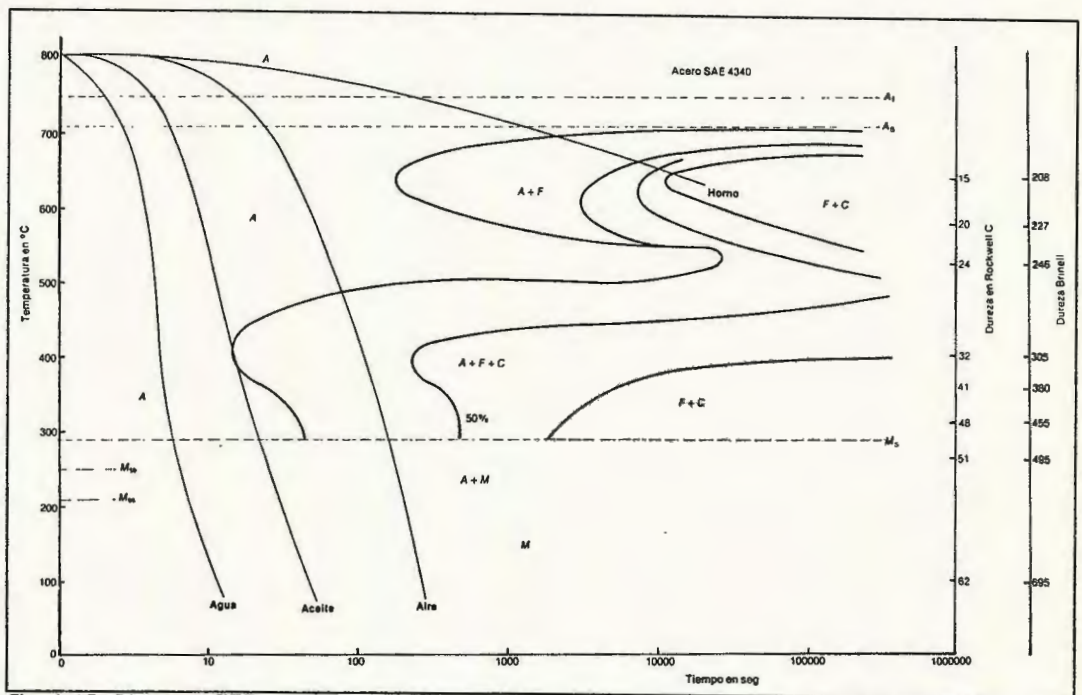


Fig. 1.17 Diagrama TTT para un acero SAE 4340. Las curvas de enfriamiento en aire, aceite y en agua corresponden a probetas de 20mm de espesor.

Si el enfriamiento es muy enérgico se pueden producir concentraciones de la capa superficial sobre las interiores y esto generará tensiones

compresivas que serán aumentadas cuando la capa interior se contraiga al enfriarse. Por lo tanto, si se quiere obtener productos de alta dureza sin peligro de fisuras generadas por las tensiones internas, convendrá elegir convenientemente el acero, tal que pueda transformarse en martensita sin grandes velocidades de enfriamiento.

Si se desea que las curvas de un acero sean desplazadas hacia la derecha, de tal manera que sean posibles enfriamientos lentos, se debe aumentar el contenido de carbono y/o de aleantes.

Hasta ahora no se ha definido el tratamiento de temple pero de los dicho se deduce que el temple es un enfriamiento lo suficientemente, rápido a partir del rango austenítico, como precipitar martensita.

Sin embargo, los tratamientos de temple de aceros de alto carbono o aleados no producen estructuras totalmente martensíticas, sino que resta algo de austenita retenida. A más bajas velocidades de enfriamiento, por debajo de la temperatura M_S , más austenita será retenida en el acero endurecido. Si se mantiene el acero a una temperatura constante por debajo de M_S , la austenita no transformada será estabilizada.

Los diagramas que tienen forma de C muestran que es importante obtener, por enfriamiento continuo, estructuras totalmente bainíticas. Para obtenerlas en tales diagramas es necesario hacer un tratamiento isotérmico a la temperatura correcta y este tratamiento se llama industrialmente bainitizado o austempering. Sólo en curvas que presentan doble nariz, con la segunda nariz más próxima al eje de temperaturas, se podrá obtener bainita por enfriamiento continuo (Fig. 1.18).

1.2.3.5 TEMPLABILIDAD DE LOS ACEROS

Como durante el temple de una pieza el calor es extraído por la superficie de la misma, ésta se enfría más rápidamente que el centro. Si la pieza tiene un diámetro apreciable, según sea la velocidad de enfriamiento empleada, la periferia estará templada (estructura martensítica), mientras que el interior puede estar normalizado (estructura perlítica). El espesor de la zona martensítica está determinado por: la temperatura del baño de temple, el tipo de baño, la composición del acero, las condiciones de austenitización y el diámetro de la pieza.

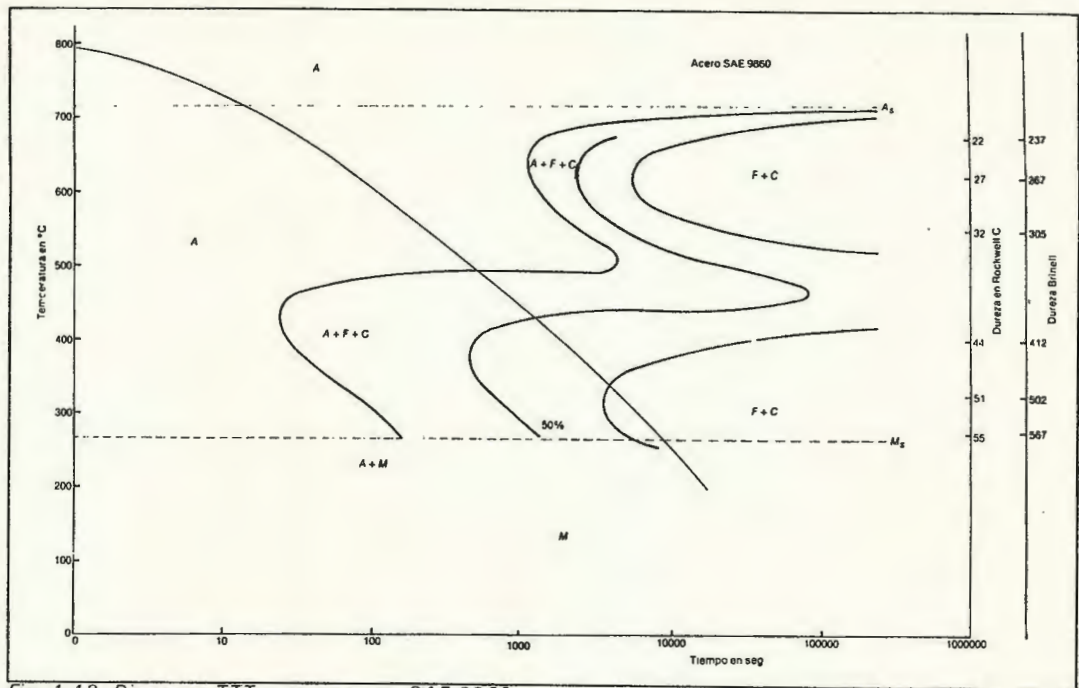


Fig. 1.18 Diagrama TTT para un acero SAE 9860.

Se llama templabilidad de un acero, en ciertas condiciones de temple, a la profundidad a que llega, por debajo de la superficie, la estructura martensítica. Se dice que un acero tiene alta templabilidad si hay un disco grueso de martensita en su entorno. Si un acero tiene mayor templabilidad que otro, será mayor el anillo de martensita formado en el primero, en las mismas condiciones de temple. Esto no tiene relación con el grado de dureza (número de dureza) que adquiera sino con la penetración del temple (fig. 1.19).

Los aceros que tengan sus curvas en el diagrama TTT más desplazadas hacia la derecha tendrán mayor templabilidad.

La templabilidad y el grado de dureza son criterios muy importantes para seleccionar un acero en muchas aplicaciones industriales.

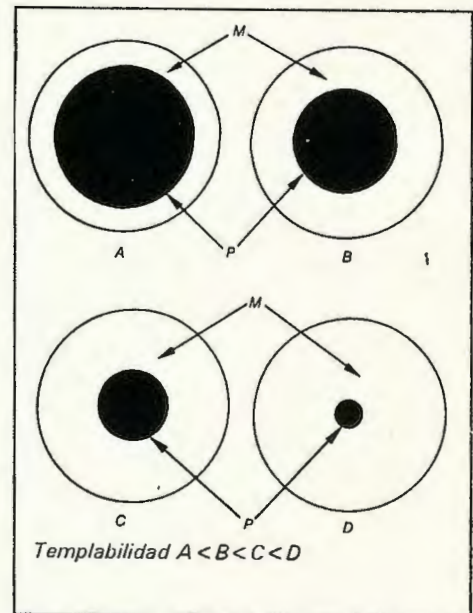
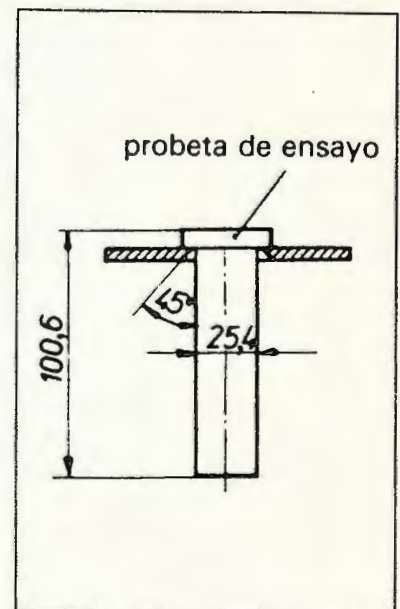
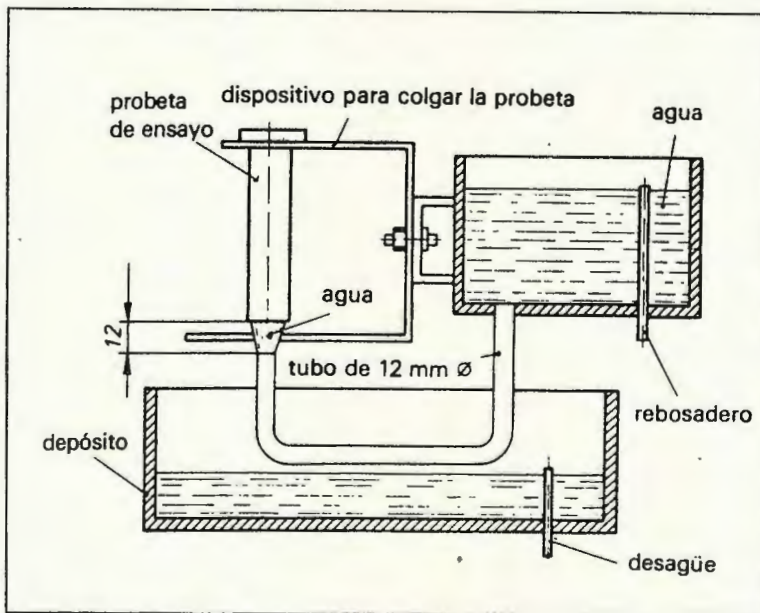


Fig. 1.19 Templabilidad comparada con cuatro aceros. La templabilidad es creciente

Para medir la templabilidad se emplea el método de Jominy. Según normas, en éste método se preparan probetas, como las mostradas en la figura 1.21, las que luego de austenitizadas se colocan en un soporte de forma especial para su temple (figura 1.20). Desde abajo se inyecta agua contra la superficie inferior por medio de una manguera. El extremo inferior es así templado en agua con agitación, mientras que el extremo superior se enfría al aire. Un extremo se temple en agua agitada y el otro se normaliza. Cuando la probeta está fría se cepilla un costado y sobre esta nueva superficie expuesta se realizan ensayos de dureza a partir del extremo de templado (Fig. 1.22)

La templabilidad de Jominy se define como la distancia desde el extremo templado hasta la zona cuya dureza es igual a la semidiferencia entre los valores máximo y mínimo de dureza.



La templabilidad de un acero estará afectada por varios factores:

1. El tamaño del grano austenítico. Ya que la perlita se comienza a formar en los límites del grano de la austenita, una austenita de grano fino formará perlita más rápidamente que una de grano grueso. Es decir, los aceros de grano grueso tiene mayor templabilidad que los de grano fino, para la misma composición del acero.

2. La homogeneidad de la austenita. Si la austenita no es homogénea en composición, la formación de perlita será acelerada, es decir, temperaturas de austenitización más elevadas, que den grano más grande y austenita más homogénea, producirán mayor templabilidad.

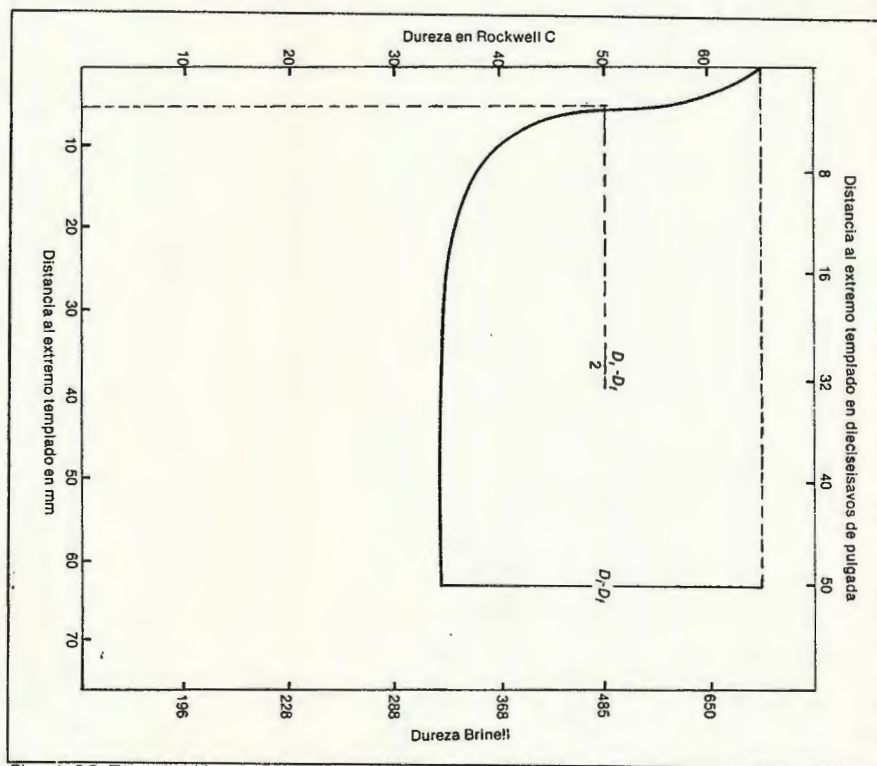


Fig. 1.22 Templabilidad Jominy

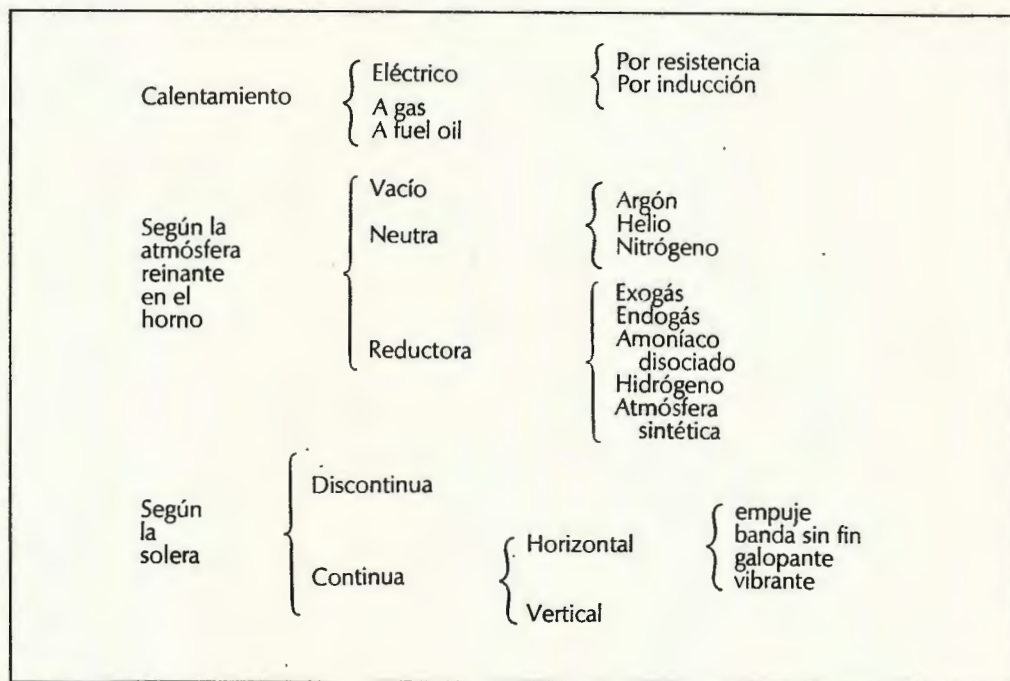
3. Composición del acero. Los aleantes, al disolverse en la austenita, disminuyen la velocidad de migración del carbono en el hierro, y, por lo tanto, disminuye la velocidad de formación de perlita, por lo que aumenta la templabilidad de los aceros. Por ejemplo, un acero al carbono es templable en agua solo si las piezas son delgadas. El agregado de unos pocos porcientos de manganeso, cromo o níquel desplazan las curvas C hacia la derecha, lo que los hace templables en aceite. El agregado de mayor cantidad de estos elementos o vanadio o molibdeno, disminuye tanto la velocidad de formación de perlita que los aceros se vuelven templables al aire. Si un acero es endurecible por temple al aire, la aparición de fisuras resulta menos probable por disminución del gradiente térmico entre la superficie y el centro de las piezas.

1.3 HORNOS

El horno es el elemento principal de los tratamientos térmicos. Es un instrumento constituido por una caja susceptible de calentamiento y que permite el control y la regulación del tiempo, de la temperatura, de la atmósfera y de las velocidades de calentamiento.

1.3.1 TIPOS DE HORNOS

Los hornos se pueden dividir en varios tipos, según el criterio de clasificación que se adopte. Se pueden clasificar a partir del procedimiento de calentamiento, por la atmósfera o por la solera del horno. Esquemáticamente puede hacerse la división según el cuadro I.



Cuadro I

1.3.2 HORNOS SEGÚN EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

En esta clase de hornos el sistema de calentamiento que se acopla al horno depende de la temperatura a conseguir y ésta en función de la naturaleza del material a tratar térmicamente.

El calentamiento por gas tiene como ventaja la economía y como inconveniente la dificultad del control de la temperatura. La temperatura alcanzada por el horno suele llegar a 1100°C y el control de la atmósfera es muy difícil, por ello

apenas se emplea este sistema de calentamiento para tratamientos térmicos.

El método de calentamiento más utilizado para hornos de tratamiento térmico es por el sistema de resistencia eléctrica, que aprovecha el calor generado según la ley de Joule. La disposición de las resistencias da nombre a los hornos, que son de tipo mufla o caja. Los hornos tipo caja tienen las resistencias instaladas a lo largo de las paredes interiores y por lo tanto en contacto con la atmósfera en el horno.

El material de las resistencias suele ser nicrom, (níquel 70%, cromo 30%), que alcanza temperaturas de 1100°C, y aleación Kanthal o carburo de silicio, que alcanza temperaturas superiores (1300°C). Las resistencias de carburo de silicio tienen la ventaja de presentar una gran resistencia a los gases de la atmósfera y a la termofluencia (ceep), pero en contrapartida poseen el inconveniente, para los hornos discontinuos, de estar dotados de una gran velocidad de calentamiento.

Para lograr temperaturas superiores se utilizan resistencias de molibdeno (1800°C), de tungsteno (2500°C) y de grafito (2700°C). Para temperaturas aún mayores, se utilizan los hornos de inducción (3000°C).

El horno puede funcionar de modo discontinuo o de modo continuo: éste es el caso de los hornos utilizados para el recocido. La solera del horno puede ser de banda sin fin, por empuje galopante o vibratorio.

El control de la temperatura de los hornos se realiza mediante termopares. Estos consisten en sendas varillas metálicas que tienen un extremo soldado y el otro unido a una unión fría conectada a un milivoltímetro. Se genera una fuerza electromotriz por efecto Peletier (unión de dos metales de distinta naturaleza) y por efecto Thompson (extremo de un alambre metálico expuesto a temperaturas diferentes). Dado que el potencial es función de la temperatura a que se encuentra la unión soldada, la lectura de potencial se traduce fácilmente en grados de temperatura.

1.3.3 SISTEMAS DE CONTROL DE LA TEMPERATURA

Las temperaturas próximas a la temperatura ambiental se miden mediante termómetro de mercurio o de alcohol. Estos líquidos, en presencia de gases inertes, en tubo capilar de cuarzo, pueden llegar a medir temperaturas máximas de 800°C, aunque con gran riesgo de explosión.

Los sistemas más utilizados para medir las temperaturas propias de los tratamientos térmicos son los termómetros de resistencia eléctrica, los pirómetros termoeléctricos y los pirómetros ópticos. Al hablar de los hornos se han comentado los pirómetros a base de pares termoeléctricos. Por este motivo, describiremos sólo los termómetros de resistencia y los pirómetros ópticos.

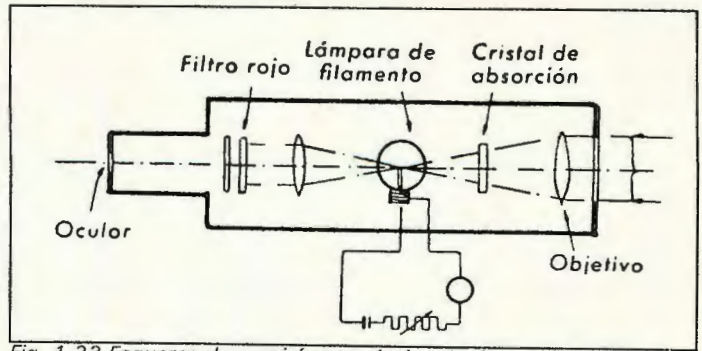


Fig. 1.23 Esquema de un pirómetro óptico de desaparición de filamento.

El termómetro de resistencia se fundamenta en la resistencia eléctrica específica (resistividad) que experimentan los metales al aumentar la temperatura. Tres resistencias fijas y una variable (función de la temperatura a determinar) se conectan según un puente de Wheatstone. Mediante una pequeña batería se puede valorar la magnitud de la resistencia variable que es función de la temperatura a medir.

Los pirómetros ópticos de desaparición de filamento se basan en la intensidad de las radiaciones luminicas emitidas por un cuerpo caliente.

Esta energía se concentra, mediante el empleo de una lente, y se dirige a una lámina de platino ennegrecida que lleva soldado un par de hilos metálicos. Este termoelemento genera fuerza electromotriz que interactúa sobre una bobina, con campo magnético permanente, desplazándola. El desplazamiento se mide con un índice colocado sobre una escala graduada. La temperatura del ambiente repercute en la lámina ennegrecida y el desplazamiento del índice conectado a la bobina es función de la fuerza electromotriz generada por el termoelemento unido a la lámina de platino (fig. 1.23). Mediante los pirómetros se miden temperaturas comprendidas entre 750 y los 4000°C.

Los pirómetros de radiación total concentran las radiaciones del ambiente caliente, mediante un espejo cóncavo, en la soldadura del termopar. Este termopar está conectado a un galvanómetro de modo que, una vez calibrado, la escala da directamente la temperatura del ambiente caliente.

Un acero al carbono, calentarlo progresivamente, toma coloraciones: rojo oscuro naciente a 600°C, rojo oscuro a 700°C, rojo vivo a 750°C, rojo cereza a 800°C, rojo claro a 850°C, naranja a 950°C, amarillo a 1100°C, amarillo claro a 1200°C y blanco brillante a 1280°C. Conociendo esta equivalencia, se deduce la temperatura del horno por el color de la pieza tratada térmicamente.

1.3.4 HORNO DE CÁMARA

Este tipo de horno utiliza las resistencias eléctricas, como método de calentamiento, y estas se encuentran en contacto con la atmósfera del horno, por consiguiente con las piezas a calentar. En ésta parte de los laboratorios se cuenta con un horno de cámara (Marca "Heraeus", Mdo. 1251) con resolución libre o resistencia abierta.

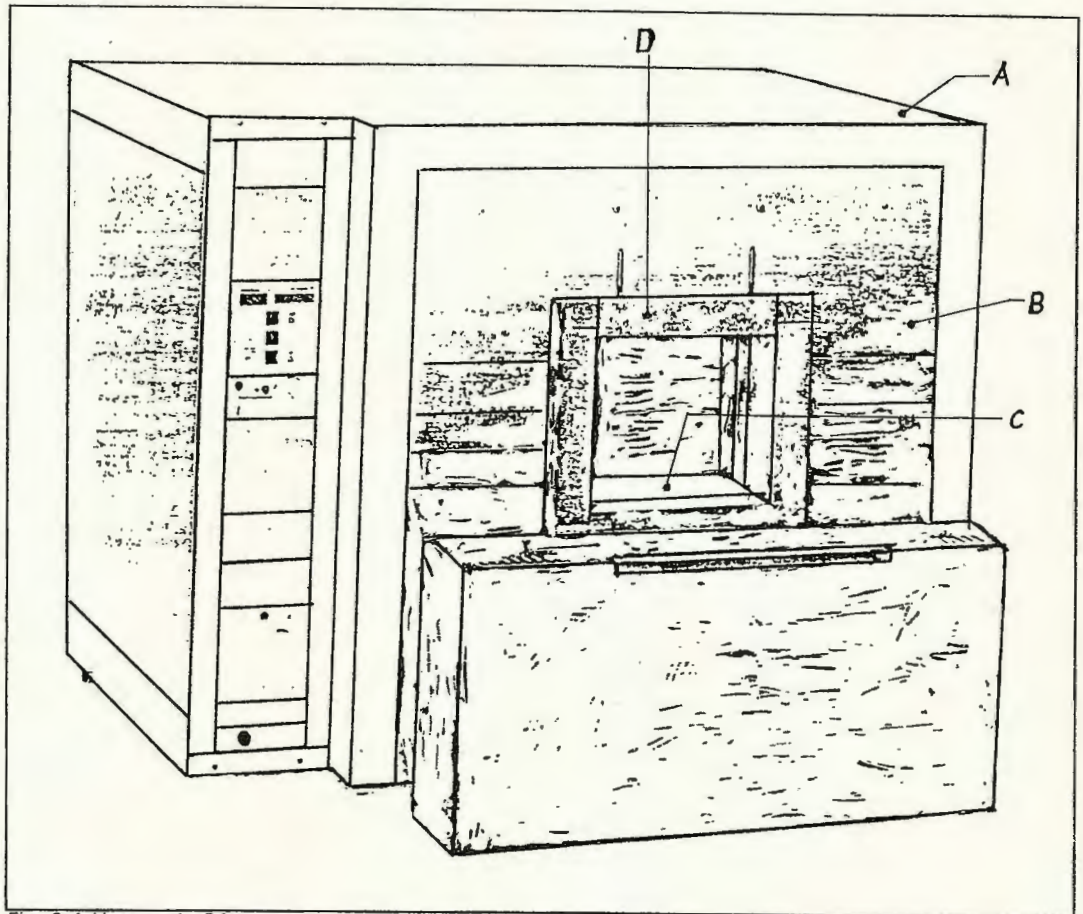


Fig. 2.1 Hornos de Cámara

1.3.4.1 DESCRIPCIÓN

- * El exterior de este horno de cámara es lámina de acero galvanizado, predecapado (fig. 2.1 (A)).
- * El panel frontal es de lámina de acero aluminizada (B).
- * La plancha del piso es de SiC (C).
- * La boca del horno y la pared interna está hecha de ladrillo refractario (D).
- * La cámara del horno se calienta desde los lados y desde su parte superior interior (fig. 2.2).

* El horno está diseñado para soportar temperaturas de 1250°C , se caracteriza por resistencias o elementos calefactores de libre radiación contruidos de CrAlFe.

* Los elementos calefactores (resistencias eléctricas) vienen colocadas en ranuras o canales en placas de cerámicas, de las caras internas de la camara del horno (Fig. 2.2).

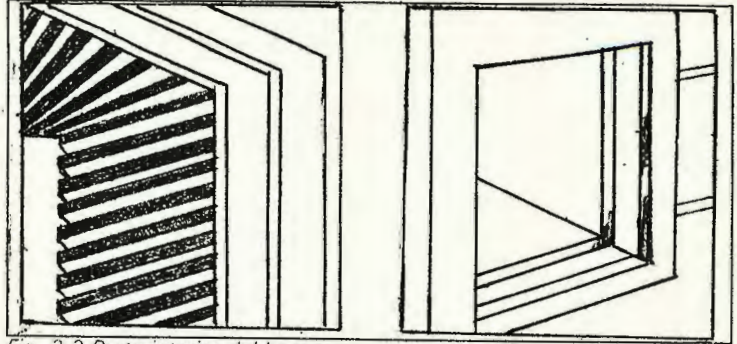


Fig. 2.2 Parte interior del horno

* El aislante de la puerta consiste de un compuesto fibroso (silicato de aluminio),

* Mientras que los ladrillos refractarios de peso liviano constituyen el aislamiento de la pared trasera.

1.3.4.2 PANEL DE CONTROL

Es formado por:

- I Controlador analógico electrónico de temperatura.
- II Controlador de límite de temperatura.
- III Interruptor Principal.

I CONTROLADOR ANALOGICO ELECTRONICO DE TEMPERATURA (Fig. 2.4).

Controlador analógico electrónico de 0° - 1250°C .

Ajuste:

■ Girar el seguro de la perilla (A) del dispositivo de fijación de controlador de temperatura en la posición indicada (posición - fig. 2.4 (B) utilizar una moneda o un desarmador).

■ Seleccionar la temperatura de trabajo deseada con la perilla de control (A).

■ Asegurar nuevamente el dispositivo de fijación del controlador de temperatura, girandolo en dirección contraria (posición +)

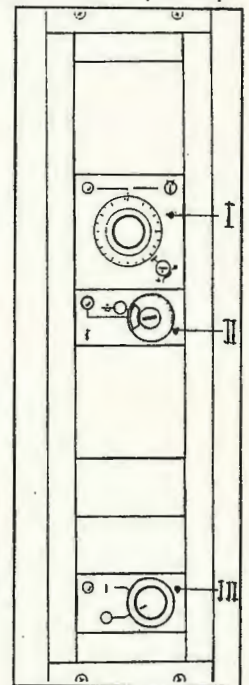


Fig. 2.3 Panel de control.



La temperatura elegida de trabajo, una vez alcanzada, es constantemente mantenida por el dispositivo de control del circuito calefactor de encendido y apagado cuando se requiera. La luz piloto blanca (C) indica que el controlador está "ENCENDIDO" (fig. 2.4).

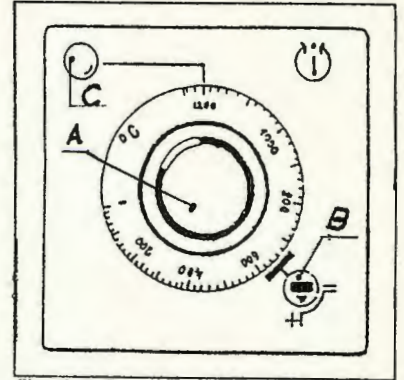


Fig. 2.4 Controlador analógico electrónico de temperatura.

Protección contra Sobretemperatura

El horno, la cámara y la carga están protegidos contra excesos de temperatura inadmisibles.

Funcionamiento:

El controlador de límite de temperatura, con su propio termocupla (termopares), es independiente, eléctrica y operacionalmente, del sistema de control y registro de temperatura:

1. El sistema de calentamiento permanecerá apagado después que la temperatura ajustada haya sido excedida. También permanecerá apagada después de que el horno haya sido desactivado, o que haya existido una falla de energía eléctrica.
2. El controlador de límite de temperatura conectará automáticamente el horno después del corte y/o la restauración de la potencia, si la temperatura ajustada no ha sido excedida antes del corte de energía.

II Controlador Límite de Temperatura (Fig. 2.5) Ajustable entre: 50-1300°C.

Ajuste

Ajuste la perilla (D) del controlador de límite de temperatura a su máximo valor (para protección del horno) o colóquelo 50°C arriba de la temperatura seleccionada en el controlador (para protección de la carga).

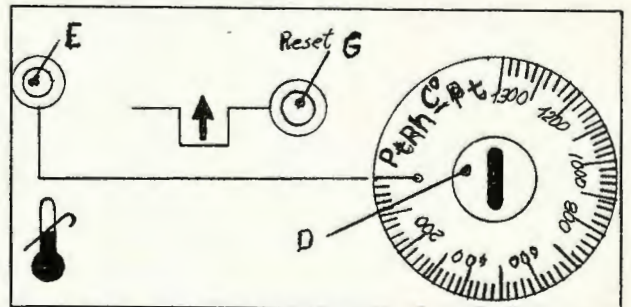


Fig. 2.5 Controlador límite temperatura.

En el caso que el controlador de límite de temperatura haya desconectado el elemento calefactor, proceda de la siguiente manera:

- 1. Desconecte el horno de la línea.*
- 2. Investigue y elimine la causa de mal funcionamiento.*
- 3. Presionar el botón a modo de liberar el controlador de límite de temperatura.*
- 4. Vuelva a encender el horno como esta indicado en el ítem 1.3.4.5 "Puesta en funcionamiento".*

Para asegurarse de la temperatura a la cual el controlador de límite de temperatura responde, y además poderlo ajustar apropiadamente en operación, colocar la perilla del controlador al máximo límite. Después que la temperatura de trabajo seleccionada haya sido alcanzada, lentamente vuelva a colocar el controlador de límite de temperatura al punto de contacto. El controlador de límite de temperatura debe responder y la luz piloto roja (E) debe encenderse.

La colocación óptima del controlador de límite de temperatura es de aproximadamente 50°C arriba de la temperatura de trabajo. Para liberar el seguro, presione el botón. Liberando de esta manera el controlador de límite de temperatura. La luz piloto roja se apagará.

III Interruptor principal

Funcionamiento:

La rotación de la perilla enciende o apaga el horno (fig. 2.6).

Al encender el interruptor principal. La luz piloto verde (H) se enciende.

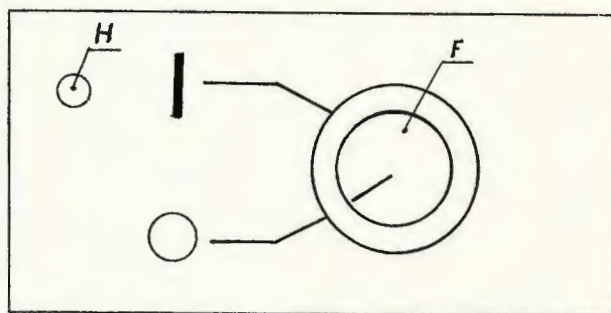


Fig. 2.6 Interruptor principal

1.3.4.5 Puesta en Funcionamiento

- * Abra la puerta.
- * Cargue el horno.
Al cargar la unidad, asegúrese de no golpear el termocupla.
- * Cierre la puerta del horno.
- * Encienda el interruptor principal- la luz piloto verde se enciende.
- * Ajuste el controlador de la temperatura.
- * Ajuste el controlador de límite de temperatura.
- * En el caso que la luz piloto roja se encendiera (luz del controlador de límite de temperatura), presione el botón de reset del controlador de límite de temperatura.

Indicaciones de seguridad

El interruptor de seguridad apagará el horno si se abre la puerta de este, mientras esté funcionando.

Nota: Peligro de quemaduras.

- *Al abrir la puerta asegúrese de estar alejado del área de radiación:*
- *Durante el proceso de operación, la puerta abierta puede ponerse muy caliente.*
- *No apoyarse sobre la superficie del horno, mientras se encuentre funcionando.*

Reglas de trabajo

La transferencia de calor a la carga es por vía de radiación. Para evitar un sobrecalentamiento localizado de la carga a los elementos calefactores, distribuya la carga uniformemente a lo largo del horno, pero no demasiado cerca de los elementos calefactores.

Limpieza de la Cámara del horno.

La contaminación es frecuentemente culpable de la prematura deterioración de la cámara del horno. Es muy importante que se evite el contacto directo entre químicos agresivos y el recubrimiento de la cerámica o los materiales fibrosos aislantes. La escoria se deberá quitar de vez en cuando.

SEGUNDA PARTE

2. PRACTICAS DE LABORATORIO

2.1 PRACTICA # 1: Curvas de enfriamiento, diagramas de estado.
puntos críticos, puntos de inflexión, línea de líquido, línea de sólido, punto eutéctico.

A través de la experimentación práctica con diversas aleaciones estaño-plomo, se orienta hacia una mejor comprensión de los diagramas de estado, por ejemplo del diagrama Fe-C.

Estaño y plomo son solubles en estado líquido pero insolubles en estado sólido; forman por ello una mezcla de cristales con una aleación eutéctica. Las aleaciones con solubilidad aún en estado sólido forman cristales mixtos.

Para evitar el sobreenfriamiento, se debe elegir una masa fundida no muy pequeña (aproximadamente 100cm³).

Es recomendable trabajar con 4 aleaciones distintas así como con estaño y plomo puro; de este modo se pueden tener 6 puestos de trabajo en grupo.

El experimento se debe interrumpir aproximadamente a 150°C.

En cada uno de los experimentos se debe desarrollar, una curva de enfriamiento. En la hoja de trabajo se resumen las curvas.

Para una mejor visión de conjunto, se desplaza el punto cero correspondiente al tiempo, una línea hacia la derecha.

Para esta práctica calentar con soplete el estaño y el plomo. De no existir el soplete, calentar el plomo y las aleaciones dentro del horno eléctrico. En el primer caso los crisoles deben tener un soporte para colocar un termómetro.

Medios auxiliares

Estaño puro, plomo puro y 4 aleaciones que se pueden preparar con anterioridad, por ejemplo: Sn 99, 90/Pb 98, 5/PgSn 25/Sn 50 Pb. Sn 65 Pb/Sn 85 Pb.

Al finalizar la presente práctica, llenar la Hoja de Trabajo I.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

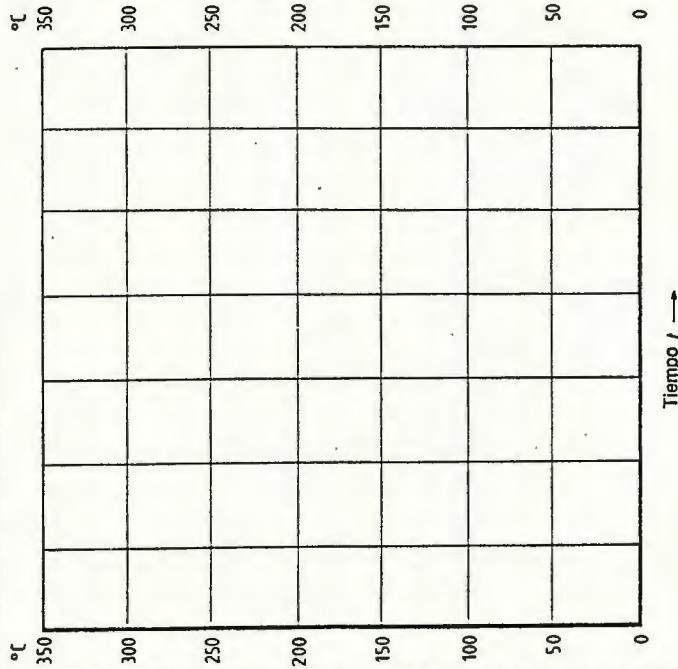
Hoja de Trabajo I.

CURVAS DE ENFRIAMIENTO I DIAGRAMA DE ESTADO

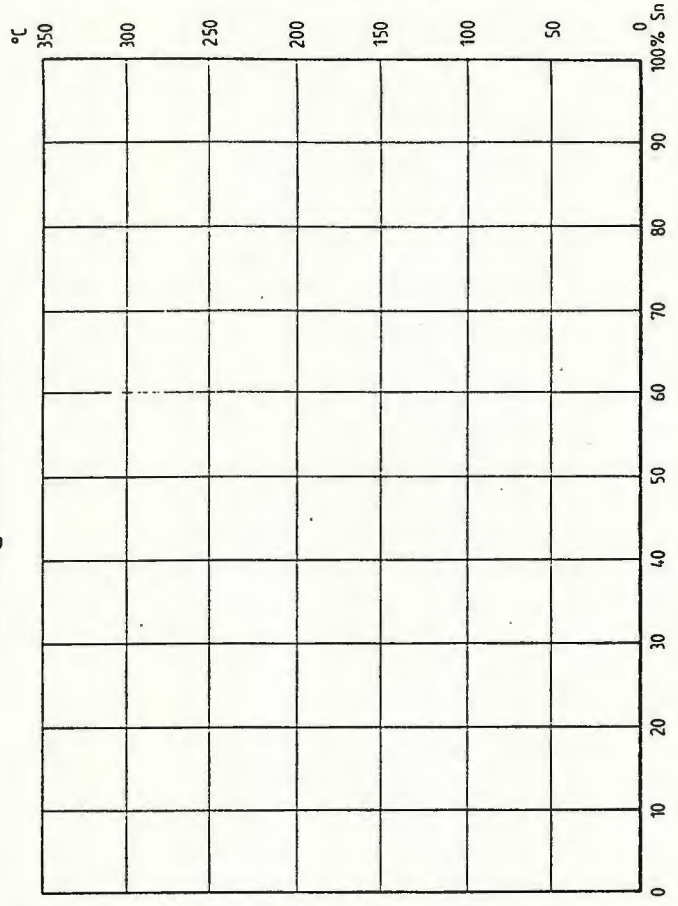
1º Puntos de inflexión de la curva

Aleación									
Temperatura determinada °C									

2º Curvas de enfriamiento



3º Diagrama de estado



Conclusiones:

2.2 PRACTICA # 2: Determinación de las temperaturas críticas de la transformación austenita-perlita.

Los cambios de volúmenes asociados con las transformaciones de fases en aceros se pueden seguir fácilmente con un dilatómetro simple, en calentamiento y/o enfriamiento.

En esta práctica se considerará solamente la transformación austenita \rightleftharpoons ferrita + perlita, aunque se puede usar la misma técnica para la transformación austenita \rightleftharpoons martensita o austenita \rightleftharpoons bainita.

Se ensayará una muestra de cada uno de los siguientes aceros: SAE 1020, SAE 1045 y SAE /AISI 306. Busque en las tablas 2.4 y 2.5 las temperaturas correctas de austenitización para estos aceros y, a partir del diagrama Fe-Fe₃C, de la figura 1.1, las temperaturas correctas de equilibrio de las transformaciones.

Inserte cuidadosamente en el dilatómetro una de las muestras siguiendo las indicaciones del manual de empleo del aparato. Empiece a calentar ajustando la cantidad de corriente a través del horno para obtener una velocidad de calentamiento de alrededor 20°C/minuto.

Envíe señales al sistema de registro a valores fijos de la temperatura para establecer la escala de temperaturas.

Cuando se alcance la temperatura de austenitización, reduzca gradualmente la alimentación del horno, hasta cortarla por completo. Siga la transformación durante el enfriamiento.

Determine, en la gráfica de cada acero, las siguientes temperaturas:

- A_{c1} = Temperatura de transformación perlita $\leftarrow\rightarrow$ austenita
- A_{c3} = Temperatura de terminación de la transformación ferrita $\leftarrow\rightarrow$ austenita.
- A_{c3} = Comienzo de la transformación austenita $\leftarrow\rightarrow$ ferrita.
- A_{c1} = Temperatura de transformación austenita $\leftarrow\rightarrow$ perlita.

Elabore una gráfica de temperatura en función del contenido de carbono. Compare estos resultados con el diagrama de la figura .

Empleando diferentes velocidades de calentamiento y enfriamiento demuestre el desplazamiento de las temperaturas críticas.

PARTE TERCERA

3. CUESTIONARIO

3.1 *¿Qué objeto se persigue con los tratamientos térmicos?*

3.2 *¿En qué se diferencian los aceros de las fundiciones? ¿Cómo se clasifican estos productos?*

3.3 *¿Defínanse los constituyentes estructurales: Austenita, Cementita, Ledeburita, Ferrita y Perlita?*

3.4 *¿Qué criterios pueden seguirse para clasificar los aceros? ¿Cuáles son los más importantes?*

3.5 *¿A qué temperatura comienza la transformación de la bainita? ¿En qué se transforma, a medida que la temperatura aumenta?*

3.6 *¿Qué factores afectan a la posición y forma de las curvas TTT?*

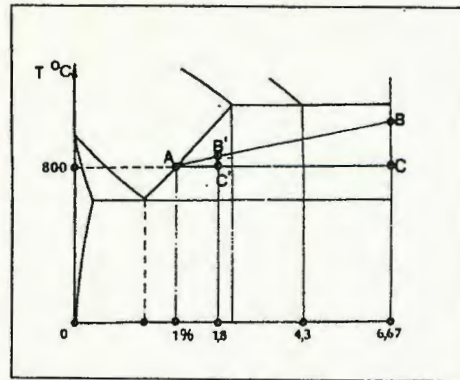


Fig. 3.1

3.7 Determinar la cantidad de cementita secundaria presente en un acero de 1.8% de carbono, a la temperatura de 800°C

3.8 Indíquese los constituyentes en que se transforma siempre la austenita cuando se le enfría lentamente por debajo de 723°C, el contenido de éstos, las fases presentes y las composiciones de las mismas.

BIBLIOGRAFIA

- * CIENCIA DE MATERIALES. Teoría-Ensayo-Tratamientos- P. Coca Rebollero- J. Rosique Jiménez. Pirámide S.A. -Madrid. 1992.
- * TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ACEROS y sus Prácticas de Laboratorio- D.M.K. de Gringerg - Limusa- México, DF. 1989.
- * TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS -José Aprais Barriero. Editorial Dossat Sa. Madrid, 1985.
- * INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA. SYDNEY H. ABNER. McGraw Hill. México, 1987.
- * TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS METALES. Pare Molera Salá. Marcombo, S.A. 1991. BARCELONA.
- * Heracus Instrumentos.-Operating Instructions. Chamber Fornos, Model J 1251-WPPAP 1/ID 1989.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Composición de los aceros AISI-SAE de.

The Society of Automotive Engineers y The American Iron and Steel Institute (1947)

ESTADOS UNIDOS

AISI	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni	%	SAE
1320	0,18/0,23	1,60/1,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	..	..	1320
1321	0,17/0,22	1,80/2,10	0,20/0,35	0,050	0,050	..	..	..	..	..
1330	0,28/0,33	1,60/1,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	..	..	1330
1335	0,33/0,38	1,60/1,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	..	..	1335
1340	0,38/0,43	1,60/1,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	..	..	1340
2317	0,15/0,20	0,40/0,60	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	3,25/3,75	..	2317
2330	0,28/0,33	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	3,25/3,75	..	2330
2335	0,33/0,38	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	3,25/3,75	..	..
2340	0,38/0,43	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	3,25/3,75	..	2340
2345	0,43/0,48	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	3,25/3,75	..	2345
E 2512	0,09/0,14	0,45/0,60*	0,20/0,35	0,025	0,025	..	..	4,75/5,25	..	2512
2515	0,12/0,17	0,40/0,60	0,20/0,35	0,040	0,040	..	..	4,75/5,25	..	2515
E 2517	0,15/0,20	0,45/0,60*	0,20/0,35	0,025	0,025	..	..	4,75/5,25	..	2517
3115	0,13/0,18	0,40/0,60	0,20/0,35	0,040	0,040	0,55/0,75	..	1,10/1,40	..	3115
3120	0,17/0,22	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,55/0,75	..	1,10/1,40	..	3120
3130	0,28/0,33	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,55/0,75	..	1,10/1,40	..	3130
3135	0,33/0,38	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,55/0,75	..	1,10/1,40	..	3135
3140	0,38/0,43	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,55/0,75	..	1,10/1,40	..	3140
3141	0,38/0,43	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	..	1,10/1,40	..	3141
3145	0,43/0,48	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	..	1,10/1,40	..	3145
3150	0,48/0,53	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	..	1,10/1,40	..	3150
E 3310	0,08/0,13	0,45/0,60*	0,20/0,35	0,025	0,025	1,40/1,75	..	3,25/3,75	..	3310
E 3316	0,11/0,19	0,45/0,60*	0,20/0,35	0,025	0,025	1,40/1,75	..	3,25/3,75	..	3316
4017	0,15/0,20	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4017
4023	0,20/0,25	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4023
4024	0,20/0,25	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,035/0,050	..	0,20/0,30	..	..	4024
4027	0,25/0,30	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4027
4028	0,25/0,30	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,035/0,050	..	0,20/0,30	..	..	4028
4032	0,30/0,35	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4032
4037	0,35/0,40	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4037
4042	0,40/0,45	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4042
4047	0,45/0,50	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4047
4053	0,50/0,56	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4053
4063	0,60/0,67	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4063
4068	0,63/0,70	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	..	..	4068
4130	0,28/0,33	0,40/0,60	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	0,15/0,25	..	..	4130
E 4132	0,30/0,35	0,40/0,60	0,20/0,35	0,025	0,025	0,80/1,10	0,18/0,25	..	..	..
F 4135	0,33/0,38	0,70/0,90	0,20/0,35	0,025	0,025	0,80/1,10	0,18/0,25	..	..	..
4137	0,35/0,40	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	0,15/0,25	..	..	4137
E 4137	0,35/0,40	0,70/0,90	0,20/0,35	0,025	0,025	0,80/1,10	0,18/0,25	..	..	..
4140	0,38/0,43	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	0,15/0,25	..	..	4140
4142	0,40/0,45	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	0,15/0,25	..	..	..
4145	0,43/0,48	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	0,15/0,25	..	..	4145
4147	0,45/0,50	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	0,15/0,25	..	..	..
4150	0,48/0,53	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	0,15/0,25	..	..	4150
4317	0,15/0,20	0,45/0,65	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	1,65/2,00	..	4317
4320	0,17/0,22	0,45/0,65	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	1,65/2,00	..	4320
4337	0,35/0,40	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	0,20/0,30	1,65/2,00	..	..
4340	0,38/0,43	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	0,20/0,30	1,65/2,00	..	4340
4608	0,06/0,11	0,25/0,45	0,25 max	0,040	0,040	..	0,15/0,25	1,40/1,75	..	4608
4615	0,13/0,18	0,45/0,65	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	1,65/2,00	..	4615
E 4617	0,15/0,20	0,45/0,65	0,20/0,35	0,025	0,025	..	0,20/0,27	1,65/2,00	..	4617
4620	0,17/0,22	0,45/0,65	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	1,65/2,00	..	4620
X 4620	0,18/0,23	0,50/0,70	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	1,65/2,00	..	X 4620
E 4620	0,17/0,22	0,45/0,65	0,20/0,35	0,025	0,025	..	0,20/0,27	1,65/2,00	..	..
4621	0,18/0,23	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	1,65/2,00	..	4621
4640	0,38/0,43	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	1,65/2,00	..	4640
E 4640	0,38/0,43	0,60/0,80	0,20/0,35	0,025	0,025	..	0,20/0,27	1,65/2,00	..	..
4812	0,10/0,15	0,40/0,60	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	3,25/3,75	..	4812
4815	0,13/0,18	0,40/0,60	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	3,25/3,75	..	4815
4817	0,15/0,20	0,40/0,60	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	3,25/3,75	..	4817
4820	0,18/0,23	0,50/0,70	0,20/0,35	0,040	0,040	..	0,20/0,30	3,25/3,75	..	4820

UNIVERSIDAD DON BOSCO

TABLAS DE ACEROS

AISI	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni	%	SAE
5045	0,43/0,48	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,55/0,75	....	....	....	5045
5046	0,43/0,50	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,20/0,35	....	....	....	5064
5120	0,17/0,22	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	....	....	....	5120
5130	0,28/0,33	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	....	....	....	5130
5132	0,30/0,35	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,05	....	....	....	5132
5135	0,33/0,38	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,05	....	....	....	5135
5140	0,38/0,43	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	....	....	....	5140
5145	0,43/0,48	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	....	....	....	5145
5147	0,45/0,52	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,90/1,20	....	....	....	5147
5150	0,48/0,53	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	....	....	....	5150
5152	0,48/0,55	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,90/1,20	....	....	....	5152
E 5010	0,95/1,10	0,25/0,45	0,20/0,35	0,025	0,025	0,40/0,60	....	....	....	50100
E 5110	0,95/1,10	0,25/0,45	0,20/0,35	0,025	0,025	0,90/1,15	....	....	....	51100
E 5210	0,95/1,10	0,25/0,45	0,20/0,35	0,025	0,025	1,30/1,60	....	....	....	52100
V										
6120	0,17/0,22	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	....	....	0,10 mini	....
6145	0,43/0,48	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	....	....	0,15 mini	....
6150	0,48/0,53	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	....	....	0,15 mini	6150
6152	0,48/0,55	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,80/1,10	....	....	0,10 mini	....
8615	0,13/0,18	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8615
8617	0,15/0,20	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8717
8620	0,18/0,23	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8620
8622	0,20/0,25	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8622
8625	0,23/0,28	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8625
8627	0,25/0,30	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8627
8630	0,28/0,33	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8630
8632	0,30/0,35	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8632
8635	0,33/0,38	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8635
8637	0,35/0,40	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8637
8640	0,38/0,43	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8640
8641	0,38/0,43	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040/0,060	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8641
8642	0,40/0,45	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8642
8645	0,43/0,48	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8645
8647	0,45/0,50	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8647
8650	0,48/0,53	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8650
8653	0,50/0,56	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,50/0,80	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8653
8655	0,50/0,60	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8655
8660	0,55/0,65	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,15/0,25	0,40/0,70	....	8660
8719	0,18/0,23	0,60/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	....
8720	0,18/0,23	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	8720
8735	0,33/0,38	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	8735
8740	0,38/0,43	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	8740
8742	0,40/0,45	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	....
8745	0,43/0,48	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	8745
8747	0,45/0,50	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	....
8750	0,48/0,53	0,75/1,00	0,20/0,35	0,040	0,040	0,40/0,60	0,20/0,30	0,40/0,70	....	8750
9255	0,50/0,60	0,70/0,95	1,80/2,20	0,040	0,040	....	....	....	....	9255
9260	0,55/0,65	0,70/1,00	1,80/2,20	0,040	0,040	....	....	....	....	9260
9261	0,55/0,65	0,75/1,00	1,80/2,20	0,040	0,040	0,10/0,25	....	....	....	9261
9262	0,55/0,65	0,75/1,00	1,80/2,20	0,040	0,040	0,25/0,40	....	....	....	9262
E 9310	0,08/0,13	0,45/0,65	0,20/0,35	0,025	0,025	1,00/1,40	0,08/0,15	3,00/3,50	....	9310
E 9315	0,13/0,18	0,45/0,65	0,20/0,35	0,025	0,025	1,00/1,40	0,08/0,15	3,00/3,50	....	9315
E 9317	0,15/0,20	0,45/0,65	0,20/0,35	0,025	0,025	1,00/1,40	0,08/0,15	3,00/3,50	....	9317
9437	0,35/0,40	0,90/1,20	0,20/0,35	0,040	0,040	0,30/0,50	0,08/0,15	0,30/0,60	....	9437
9440	0,38/0,43	0,90/1,20	0,20/0,35	0,040	0,040	0,30/0,50	0,08/0,15	0,30/0,60	....	9440
9442	0,40/0,45	1,00/1,30	0,20/0,35	0,040	0,040	0,30/0,50	0,08/0,15	0,30/0,60	....	9442
9445	0,43/0,48	1,00/1,30	0,20/0,35	0,040	0,040	0,30/0,50	0,08/0,15	0,30/0,60	....	9445
9747	0,45/0,50	0,50/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,10/0,25	0,15/0,25	0,40/0,70	....	9747
9763	0,60/0,67	0,50/0,80	0,20/0,35	0,040	0,040	0,10/0,25	0,15/0,25	0,40/0,70	....	9763
9840	0,38/0,43	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	0,20/0,30	0,85/1,15	....	9840
9845	0,43/0,48	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	0,20/0,30	0,85/1,15	....	9845
9850	0,48/0,53	0,70/0,90	0,20/0,35	0,040	0,040	0,70/0,90	0,20/0,30	0,85/1,15	....	9850

UNIVERSIDAD DON BOSCO

SAE AISI	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% Ni	%
1320H	0.17/0.24	0.20/0.35	1.50/2.00	..	..	..	..
1330H	0.27/0.34	0.20/0.35	1.50/2.00	..	..	..	..
1335H	0.32/0.39	0.20/0.35	1.50/2.00	..	..	..	..
1340H	0.37/0.45	0.20/0.35	1.50/2.00	..	..	..	..
2512H	0.08/0.15	0.20/0.35	0.35/0.65	..	..	4.70/5.30	..
2515H	0.11/0.18	0.20/0.35	0.35/0.65	..	..	4.70/5.30	..
2517H	0.14/0.21	0.20/0.35	0.35/0.65	..	..	4.70/5.30	..
3310H	0.07/0.14	0.20/0.35	0.35/0.65	1.35/1.75	..	3.20/3.80	..
3316H	0.13/0.20	0.20/0.35	0.35/0.65	1.35/1.75	..	3.20/3.80	..
4130H	0.27/0.34	0.20/0.35	0.35/0.65	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4132H	0.30/0.37	0.20/0.35	0.35/0.65	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4135H	0.32/0.39	0.20/0.35	0.60/0.95	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4137H	0.35/0.43	0.20/0.35	0.60/0.95	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
6140H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.70/1.05	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4142H	0.40/0.48	0.20/0.35	0.70/1.05	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4145H	0.42/0.50	0.20/0.35	0.70/1.05	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4147H	0.44/0.52	0.20/0.35	0.70/1.05	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4150H	0.46/0.54	0.20/0.35	0.70/1.05	0.80/1.15	0.15/0.25	..	..
4317H	0.14/0.21	0.20/0.35	0.40/0.70	0.35/0.65	0.20/0.30	1.50/2.00	..
4320H	0.16/0.23	0.20/0.35	0.40/0.70	0.35/0.65	0.20/0.30	1.50/2.00	..
4340H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.60/0.95	0.65/0.95	0.20/0.30	1.50/2.00	..
4620H	0.17/0.24	0.20/0.35	0.40/0.70	..	0.20/0.30	1.50/2.00	..
4640H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.55/0.85	..	0.20/0.30	1.50/2.00	..
4812H	0.10/0.17	0.20/0.35	0.30/0.60	..	0.20/0.30	3.20/3.80	..
4815H	0.12/0.19	0.20/0.35	0.35/0.65	..	0.20/0.30	3.20/3.80	..
4817H	0.14/0.21	0.20/0.35	0.35/0.65	..	0.20/0.30	3.20/3.80	..
4820H	0.17/0.24	0.20/0.35	0.45/0.75	..	0.20/0.30	3.20/3.80	..
5140H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.60/0.95	0.65/0.95	..	..	..
5145H	0.42/0.50	0.20/0.35	0.60/0.95	0.65/0.95	..	..	..
5150H	0.46/0.54	0.20/0.35	0.60/0.95	0.65/0.95	..	..	..
6150H	0.46/0.54	0.20/0.35	0.60/0.95	0.80/1.15	..	..	0.15V min
8617H	0.14/0.21	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8620H	0.17/0.24	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8622H	0.20/0.27	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8625H	0.22/0.29	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8627H	0.25/0.32	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8630H	0.27/0.34	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8632H	0.30/0.37	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8635H	0.32/0.39	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8637H	0.35/0.43	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8640H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8641H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8642H	0.40/0.48	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8645H	0.42/0.50	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8647H	0.44/0.52	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8650H	0.46/0.54	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8655H	0.50/0.60	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8660H	0.55/0.65	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.15/0.25	0.35/0.75	..
8720H	0.17/0.24	0.20/0.35	0.60/0.95	0.35/0.65	0.20/0.30	0.35/0.75	..
8735H	0.32/0.30	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.20/0.30	0.35/0.75	..
8740H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.20/0.30	0.35/0.75	..
8742H	0.40/0.48	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.20/0.30	0.35/0.75	..
8745H	0.42/0.50	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.20/0.30	0.35/0.75	..
8747H	0.44/0.52	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.20/0.30	0.35/0.75	..
8750H	0.46/0.54	0.20/0.35	0.70/1.05	0.35/0.65	0.20/0.30	0.35/0.75	..
9260H	0.55/0.65	1.80/2.20	0.70/1.05	..	..	..	..
9261H	0.55/0.65	1.80/2.20	0.70/1.05	0.05/0.35	..	..	..
9262H	0.55/0.65	1.80/2.20	0.70/1.05	0.20/0.50	..	..	..
9437H	0.35/0.43	0.20/0.35	0.85/1.25	0.25/0.55	0.08/0.15	0.25/0.65	..
9440H	0.37/0.45	0.20/0.35	0.85/1.25	0.25/0.55	0.08/0.15	0.25/0.65	..
9442H	0.40/0.48	0.20/0.35	0.95/1.35	0.25/0.55	0.08/0.15	0.25/0.65	..
9445H	0.42/0.50	0.20/0.35	0.95/1.35	0.25/0.55	0.08/0.15	0.25/0.65	..

UNIVERSIDAD DON BOSCO

TABLAS DE ACEROS

AISI	% C	% Mn	% P max.	% S max.
C 1008	0,10 max.	0,30-0,50	0,040	0,050
C 1010	0,08-0,13	0,30-0,60	0,040	0,050
C 1012	0,10-0,15	0,30-0,60	0,040	0,050
C 1015	0,13-0,18	0,30-0,60	0,040	0,050
C 1016	0,13-0,18	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1017	0,15-0,20	0,30-0,60	0,040	0,050
C 1019	0,15-0,20	0,70-1,00	0,040	0,050
C 1020	0,18-0,23	0,30-0,60	0,040	0,050
C 1022	0,18-0,23	0,70-1,00	0,040	0,050
C 1023	0,20-0,25	0,30-0,60	0,040	0,050
C 1025	0,22-0,28	0,30-0,60	0,040	0,050
C 1030	0,28-0,34	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1035	0,32-0,38	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1040	0,37-0,44	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1043	0,40-0,47	0,70-1,00	0,040	0,050
C 1045	0,43-0,50	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1050	0,48-0,55	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1055	0,50-0,60	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1060	0,55-0,65	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1065	0,60-0,70	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1070	0,65-0,75	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1078	0,72-0,85	0,30-0,50	0,040	0,050
C 1080	0,75-0,88	0,60-0,90	0,040	0,050
C 1085	0,80-0,93	0,70-1,00	0,040	0,050
C 1095	0,90-1,05	0,30-0,50	0,010	0,050
B 1010	0,13 max.	0,30-0,60	0,07-0,12	0,060
C 1109	0,08-0,13	0,60-0,90	0,045	0,08-0,13
C 1112	0,10-0,16	1,00-1,30	0,045	0,08-0,13
C 1115	0,13-0,18	0,70-1,00	0,045	0,08-0,13
C 1116	0,14-0,20	1,10-1,40	0,045	0,16-0,23
C 1117	0,14-0,20	1,00-1,30	0,045	0,08-0,13
C 1118	0,14-0,20	1,30-1,60	0,045	0,08-0,13
C 1120	0,18-0,23	0,70-1,00	0,045	0,08-0,13
C 1137	0,32-0,39	1,35-1,65	0,045	0,08-0,13
C 1141	0,37-0,45	1,35-1,65	0,045	0,08-0,13
C 1144	0,40-0,48	1,35-1,65	0,045	0,24-0,33
C 1145	0,42-0,49	0,70-1,00	0,045	0,04-0,07
C 1151	0,48-0,55	0,70-1,00	0,045	0,08-0,13

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Composición de los aceros de herramientas de The American Iron and Steel Institute ESTADOS UNIDOS

AISI SAE	ASM (1948)	% C	% Mn	% Si	% Cr	% V	% W	% Mo	% Co
Aceros de temple al agua									
W1*	IA	0.60-1.40(*)	....	....	....	....	....	....	....
W2*	IC	0.60-1.40(*)	....	....	....	0.25	....	....	....
W3	IC	0.60-1.40(*)	....	....	....	0.50	....	....	....
W4	IB	0.60-1.40(*)	....	....	0.25	....	....	....	....
W5	IB	0.60-1.40(*)	....	....	0.50	....	....	....	....
W6	....	0.60-1.40(*)	....	....	0.25	0.25	....	....	....
W7	....	0.60-1.40(*)	....	....	0.50	0.20	....	....	....
Aceros para trabajos de choque									
S1*	III D & E	0.50	....	....	1.50	....	2.50	....	....
S2	IIB	0.50	....	1.00	....	....	....	0.50	....
S3	....	0.50	....	....	0.75	....	1.00	....	....
S4*	IIC	0.50	0.80	2.00	....	....	....	....	....
S5*	IIC	0.50	0.80	2.00	....	....	....	0.40	....
Aceros de temple al aceite									
O1*	IIA1	0.90	1.00	....	0.50	....	0.50	....	....
O2	IIA2	0.90	1.60	....	....	....	....	....	....
O6	....	1.45	0.75	1.00	....	....	....	0.25	....
O7	IIA3	1.20	....	....	0.75	....	1.75	0.25	....
Aceros de media aleación de temple al aire									
A2*	IIB2	1.00	....	....	5.00	....	....	1.00	....
A4	IIB1	1.00	2.00	....	1.00	....	....	1.00	....
A5	IIB1	1.00	3.00	....	1.00	....	....	1.00	....
A6	IIB1	0.70	2.00	....	1.00	....	....	1.00	....
Aceros altos en cromo									
D1	IID1	1.00	....	....	12.00	....	....	1.00	....
D2*	IID2	1.50	....	....	12.00	....	....	1.00	....
D3*	IIC1	2.25	....	....	12.00	....	....	....	....
D4*	IID3	2.25	....	....	12.00	....	....	1.00	....
D5	IID2	1.50	....	....	12.00	....	....	1.00	3.00
D6	IIC1	2.25	....	1.00	12.00	....	1.00	....	....
Aceros al cromo de trabajo en caliente									
H11*	IVB	0.35	....	....	5.00	0.40	....	1.50	....
H12*	IVB	0.35	....	....	5.00	0.40	1.50	1.50	....
H13	IVB	0.35	....	....	5.00	1.00	....	1.50	....
H14	IVC	0.40	....	....	5.00	....	5.00	....	....
H15	IVE1	0.40	....	....	5.00	....	....	5.00	....
H16	IVD	0.55	....	....	7.00	....	7.00	....	....
Aceros al wolframio de trabajo en caliente									
H20*	IVF1	0.35	....	....	2.00	....	9.00	....	....
H21*	IVF1	0.35	....	....	3.50	....	9.00	....	....
H22	IVF2	0.35	....	....	2.00	....	11.00	....	....
H23	....	0.30	....	....	12.00	....	12.00	....	....
H24	IVF3	0.45	....	....	3.00	....	15.00	....	....
H25	IVF3	0.25	....	....	4.00	....	15.00	....	....
H26	IVF4	0.50	....	....	4.00	1.00	18.00	....	....
Aceros al molibdeno de trabajo en caliente									
H41	....	0.65	....	....	4.00	1.00	1.50	8.00	....
H42	....	0.60	....	....	4.00	2.00	6.00	5.00	....
H42	....	0.55	....	....	4.00	2.00	....	8.00	....

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Composición de aceros de uso normal en Estados Unidos

AISI SAE	ASM (1948)	% C	% Mn	% Ni	% Cr	% V	% W	% Mo	% Co
Aceros rápidos al wolframio									
T1*	VC1	0.70	....	....	4.00	1.00	18.00	....	....
T2	VC2	0.85	....	....	4.00	2.00	18.00	....	....
T3	VC3	1.00	....	....	4.00	3.00	18.00	....	....
T4	VD2	0.75	....	....	4.00	1.00	18.00	....	5.00
T5	VD3	0.80	....	....	4.00	2.00	18.00	....	8.00
T6	VD4	0.80	....	....	4.50	1.50	20.00	....	12.00
T7	....	0.80	....	....	4.00	2.00	14.00	....	....
T8	VD1	0.80	....	....	4.00	2.00	14.00	....	5.00
T9	....	1.20	....	....	4.00	4.00	18.00	....	....
T15	....	1.55	....	....	4.00	5.00	12.00	....	5.00
Aceros rápidos al molibdeno									
M1	VA2	0.80	....	....	4.00	1.00	1.50	8.00	....
M2*	VA3	0.85	....	....	4.00	2.00	6.00	5.00	....
M3	....	1.00	....	....	4.00	2.75	6.00	5.00	....
M4	VA4	1.30	....	....	4.00	4.00	5.50	4.50	....
M6	....	0.80	....	....	4.00	1.50	4.00	5.00	12.00
M8	....	0.80	....	....	4.00	1.50	5.00	5.00	1.25 C
M10	VA1	0.85	....	....	4.00	2.00	....	8.00	....
M30	VB1	0.85	....	....	4.00	1.25	2.00	8.00	5.00
M34	VB2	0.85	....	....	4.00	2.00	2.00	8.00	8.00
M35	VB3	0.85	....	....	4.00	2.00	6.00	5.00	5.00
M36	VB4	0.85	....	....	4.00	2.00	6.00	5.00	8.00
Aceros para usos especiales									
L1	....	1.00	....	....	1.25	....	....	....	....
L2	IIIA	0.50-1.10(*)	....	....	1.00	0.20	....	....	....
L3	VIJ	1.00	....	....	1.50	0.20	....	....	....
L4	....	1.00	0.60	....	1.50	0.20	....	....	....
L5	....	1.00	1.00	....	1.00	....	....	0.25	....
L6	VIF & E	0.70	....	1.50	0.75	....	....	0.25	....
L7	....	1.00	0.35	....	1.40	....	....	0.40	....
Aceros al wolframio									
F1	....	1.00	....	....	....	....	1.25	....	....
F2	VIK	1.25	....	....	....	....	3.50	....	....
F3	VIK	1.25	....	....	0.75	....	3.50	....	....
Aceros para moldes									
P1	VIA	0.10 max.	....	....	....	....	....	0.20	....
P2	....	0.07 max.	....	0.50	1.25	....	....	....	....
P3	VIB	0.10 max.	....	1.25	0.60	....	....	....	....
P4	....	0.07 max.	....	....	5.00	....	....	....	....
P5	....	0.10 max.	....	....	2.25	....	....	....	....
P20	....	0.30	....	....	0.75	....	....	0.25	....
Otros aceros especiales									
....	IVA1	0.65	....	....	4.00	0.75	....	0.50	....
....	IVA2	0.90	....	....	4.00	0.75	....	0.50	....
....	VIC	0.12	....	3.50	1.50	....	....	....	....
....	VID	0.35	....	....	12.00	....	....	....	....
....	VIF2	0.50	....	1.60	1.00	0.10	....	0.30	....
....	VIF3	0.55	....	2.00	1.00	0.10	....	0.75	....
....	VIC	0.55	....	.A.	1.00	0.10	....	0.45	....
....	VIH	1.25	0.60	....	0.50	....	....	....	....
....	VII	1.25	0.85	....	0.50	....	....	0.50	....

S W E D E N				A U S T R I A	G E R M A N Y		G R E A T B R I T A I N		U S A	
A S S A B	Bofors	Uddeholm	Stora	Bohler	Werkstoff	D.E.W. (Marathon)	Balfour (Eagle & Globe)	Sanderson & Newbould	Aisi	Crucible
K-100	B 20 V	20	4	Extra tough and hard 100	1540 1640	SS 4	BWCS 1.0	Colorado	W 1	Black Diamond
DF-1	S R 1855	Orbis	15	Extra SC	2108	SCSP	Crosis			
DF-2	RT 1733	Arne	16	Amutit S Amutit MST	2510 2419	Veresta V Veresta MSO	TOH	Newhall Pitho	01	Kelos
XW-5	RT 60	Sverker 3	62	Special KR Special K	2436	Bora Bora 12	SC 13 SC 23	476 Special	D6 D 3	Hycc
XW-10	ROP 21	Rigor	65	Special K5	2363	Bora 5	RSD 13	Kayser KE 162	A 2	Airkool
XW-41	ROP 57	Sverker 21	364	Special KNL	2379	Bora Specialm	SC 25 SC 38	476	D 2	Airdi 150
M 4	RTO 912	Regin 3	18	KL My Extra	2542 2547	Durax W2 PW 2	Viaduct 15 0.0. 351	PAX No. 2	S 1	Atha Pneu
M-14 A	HRO 1243	Grane 1	85	NBS	2718 2721	PSP	Double Griffin	Nyblade	L 6	
M-23	RO 8155	Prega								
8407	ROP 19	Orvar 2	67	Us Ultra 2	2344	E 38 V	ADIC	CMV	H 13	Nu-Die V
HWT-5	RT 45	Valand 1	22	WKZ	2581 2662	Spezial W	227 293	Sabex	H 21	Peerless A
HWT-11	ORO 45		368	WMD Extra	2365	Durax Mo 3	ER 1		H 10	Peerless 56
718	DRO 86	Impax	136	Starmould	2710	W 22 V	SD 20	Kayser KE 805	P 20	CSM 2
Casemould		Prexi		EPB 100 EBM EBMW	2161 2162	E20M			P 2	

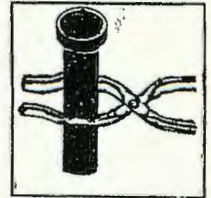
TABLA COMPARATIVA de FABRICAS de ACERO

Laboratorio # 8

TRATAMIENTO TÉRMICO: TEMPLE

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERIA

Tratamiento Térmicos:
Temple.



METALURGIA Laboratorio # 8

PARTE PRIMERA

OBJETIVOS:

- * Conocer las bases científicas de los tratamientos térmicos.
- * Estudiar los efectos de los tratamientos térmicos y saber elegir los más adecuados en función del material y los resultados a obtener.
- * Estudiar el efecto de diferentes contenido de carbono en las microestructura de los aceros.
- * Ver el comportamiento de los aceros sometidos a diferentes medios de enfriamiento.

El tratamiento térmico es el cambio estructural obtenido sobre todo en las aleaciones Fe-C por medio del calentamiento y enfriamiento, con el fin de conferir determinadas características a una pieza.

La influencia de diversos factores en el temple de los aceros, depende: de la forma y dimensiones de la pieza, la composición y el tamaño del grano del acero, del medio empleado para el enfriamiento, entre otros.

PARTE PRIMERA

1. TEMPLE

1.1 TEMPLE DE LOS ACEROS

El temple de un acero es el enfriamiento rápido a partir de la temperatura de austenitización. Usualmente, esto se realiza por inmersión de la pieza en agua o aceite y, a veces, se usa aire a presión.

Como resultado del temple se desarrollan estructuras martensísticas aceptables y propiedades mecánicas que deben cumplir especificaciones mínimas luego del revenido.

La del temple, depende de las características de enfriamiento del medio de temple, así como la posibilidad del acero de ser endurecido. Los resultados se pueden cambiar dependiendo de la composición del acero, el tipo de medio temple, la agitación o la temperatura del medio templante.

1.2 MECANISMOS DEL TEMPLE

Varios factores intervienen en el mecanismo del temple:

a) Condiciones internas de la pieza que afectan la transmisión del calor hacia la superficie.

b) La superficie y otras condiciones externas que afectan la remoción del calor.

c) El potencial de remoción de calor del fluido del temple a temperaturas y presiones normales (condiciones estándar).

d) Cambios en el potencial de extracción de calor del fluido debido a condiciones no estándar como agitación, temperatura o presión.

Estos factores se ilustran en la figura 1, para un engrane, calentado en el horno y templado en un líquido volátil. En la figura, se indica cómo la configuración irregular del engrane afecta el flujo de calor desde el interior del engrane hacia el área de

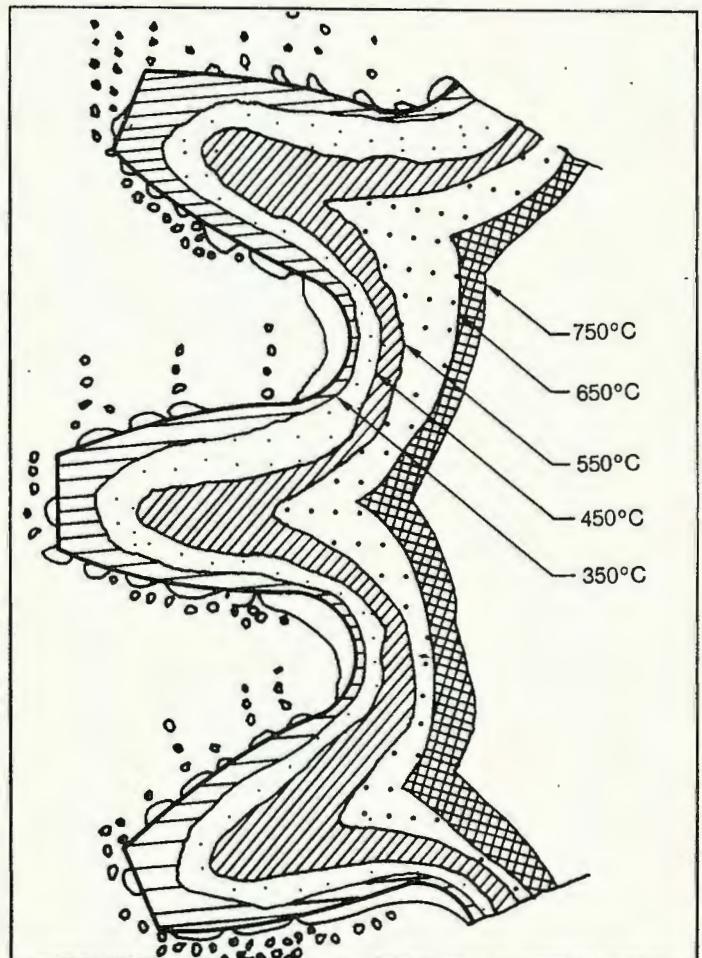


Fig. 1 Esquema de los gradientes térmicos y los mecanismos de temple para una pieza irregular.

temple. Nótese que persisten las altas temperaturas, próximas a la superficie de las bases de los dientes, en donde son atrapadas burbujas grandes de vapor. Si el engrane se calentara por inducción o a la flama, se tendría una capa calentada fina uniforme, la remoción del calor del área templada sería más correcta y el temple progresaría más rápidamente debido a que el calor fluiría simultáneamente hacia el interior de la pieza y hacia el fluido.

El temple en un líquido quieto está acompañado por inevitables turbulencias debido a la inmersión de la pieza, a la generación de hervor y a las corrientes de convección. Esta agitación mínima disipará, eventualmente, el calor acumulado en las capas de líquido vecinas a la pieza, pero volúmenes localizados de líquido se calentarán y aun se vaporizarán, lo que puede afectar la acción del temple.

Los líquidos de temple volátiles producen algo de vapor a las temperaturas de operación. Por encima del punto de ebullición, la producción de vapor se hace tan grande que se formará una envoltura de vapor en torno a la pieza. Esta envoltura o cubierta de vapor se mantiene por el calor radiante mientras se disponga de calor. La temperatura por encima de la cual se mantiene cubierta de vapor se llama temperatura característica del fluido.

A temperaturas menores, el vapor está formado por burbujas que varían de tamaño según la relación entre las tensiones interfaciales del líquido, el sólido y el vapor a la temperatura correspondiente. Las burbujas pequeñas, aunque numerosas, se desprenden rápidamente, mientras que las burbujas grandes se adhieren y pueden formar una burbuja suficientemente grande, llamada "burbuja de tamaño característico del líquido". Para todo líquido volátil, el atrapamiento mecánico de las burbujas de vapor retardará mucho la transferencia de calor de la zona afectada.

Otros factores que pueden afectar el potencial de extracción de calor del líquido de temple son:

a) Los sólidos que están depositados sobre la superficie de algunas piezas cuando son templadas en ciertos aceites, salmueras y emulsiones acuosas.

b) Los geles que se pueden localizar en la interfase líquido-gas de la cubierta de vapor, como el alcohol polivinílico y otras soluciones gelatinizantes.

c) Los depósitos que se forman por descomposición de los aceites y que están presentes en el líquido mismo, afectando su viscosidad.

d) Las pérdidas permanentes de los constituyentes del líquido de temple debido a un bajo punto de ebullición.

1.3 CURVAS DE ENFRIAMIENTO

La forma más fácil para describir el mecanismo completo del temple es desarrollar una curva de enfriamiento para el fluido de temple bajo condiciones controladas. Una curva de enfriamiento sobre una pieza de ensayo es sensible a los factores anotados antes y que pueden afectar el temple sobre las piezas definitivas. Para ello se emplean una muestra de ensayo del mismo acero de las piezas definitivas y una muestra del fluido de temple en las mismas condiciones que se usarán en la práctica. A veces se emplea una muestra de ensayo de acero inoxidable para evitar la oxidación o la necesidad de emplear atmósferas protectoras durante la autenitización.

Los cambios de temperatura que experimenta la muestra durante el temple se gratifican mediante un registrador rápido, registrándose la respuesta de varios termopares conectados en la superficie, en el centro y en varios otros puntos de la muestra.

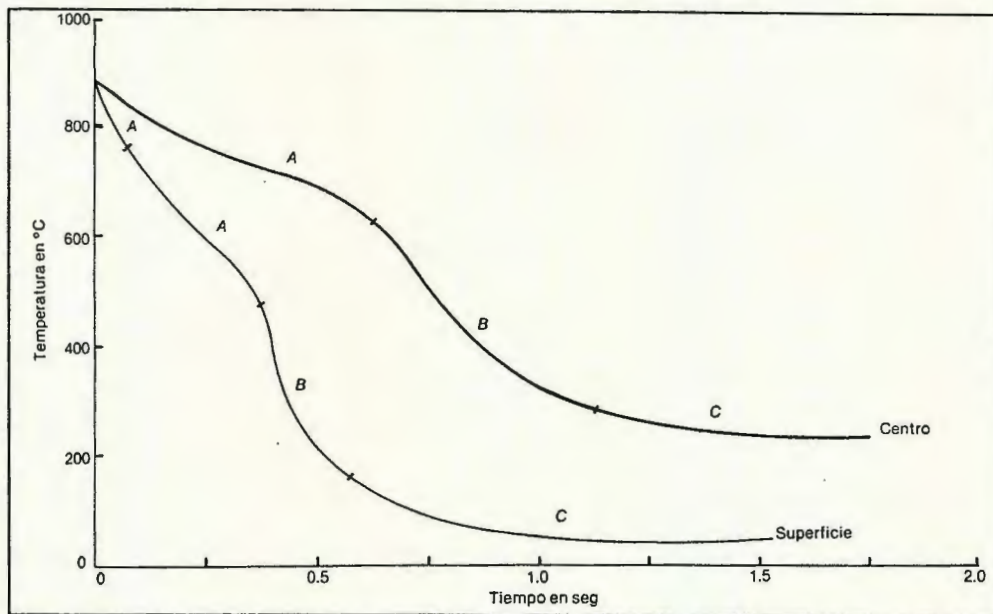


Fig. 2 Curva de enfriamiento para el acero y la superficie de una probeta.

Las curvas de enfriamiento típicas para un líquido de temple, en la superficie y el centro de la muestra, están representadas en la figura 2. Dichas curvas muestran cuatro etapas de transmisión de calor desde el sólido caliente hacia el líquido.

La etapa A' ilustra el primer efecto de la inmersión y se llama la etapa de contacto líquido inicial. Esta etapa está caracterizada por la formación de burbujas de vapor que preceden al establecimiento de la envoltura de vapor. La etapa A' dura sólo del orden de 0.1 seg y no tiene importancia en la evaluación del calor transferido. Esta etapa es sólo detectable cuando se emplean equipos muy sensibles y no puede ser detectada cuando el líquido es viscoso y tiene gases disueltos, o cuando el baño es operado a temperaturas próximas al punto de ebullición del líquido.

Temple de los Aceros

La etapa A, llamada etapa de enfriamiento con cubierta de vapor, se caracteriza por la formación de una cubierta de vapor ininterrumpida en torno a la pieza de ensayo. Esta etapa comienza cuando la cesión de calor desde la superficie de la pieza excede la cantidad de calor necesaria para formar el máximo de vapor por unidad de área. La envoltura de vapor produce un enfriamiento lento ya que actúa como aislante y la transferencia de calor a través de ella se produce, fundamentalmente, por radiación. Esta etapa no es detectable en soluciones acuosas de solutos volátiles (alrededor de 5% de concentración), tales como cloruro de potasio, cloruro de litio, cloruro de sodio, hidróxido de sodio o ácido sulfúrico. Las curvas de enfriamiento en estas soluciones parten inmediatamente de la etapa B.

Cuando se usan soluciones saturadas de hidróxido de bario, hidróxido de calcio o de otros materiales poco solubles, o soluciones coloidales en agua, se deposita una película sobre la pieza, lo que prolonga las etapas A y C. Las soluciones de algunos coloides o geles, tales como alcohol polivinílico, gelatina, jabón o almidón, forman una envoltura gelatinosa por fuera de la capa de vapor en la etapa A y esto hace que se prolongue dicha etapa y las subsiguiente.

La etapa B se llama etapa de enfriamiento por transporte de vapor. Ella produce las más altas velocidades de transferencia de calor. La etapa comienza cuando la temperatura de la superficie del metal baja y la capa de vapor continua se rompe. En ese momento se produce un violento hervor del líquido de temple y el calor se transmite rápidamente.

La terminación de ésta etapa coincide con el punto de ebullición del líquido. El tamaño y la forma de las burbujas de vapor son importantes en cuanto al control de la duración de la etapa B, así como de la velocidad de enfriamiento desarrollada durante ella.

La etapa C se llama etapa de enfriamiento por líquido. La velocidad de enfriamiento, en ésta etapa, es más lenta que en la etapa B. La etapa C

comienza cuando la temperatura de la superficie del metal es reducida a la temperatura de ebullición del líquido de temple. El hervor, entonces, se detiene y el enfriamiento tiene lugar por conducción y convección.

1.3.1. AGITACION

El movimiento producido externamente sobre el líquido de temple tiene una influencia extremadamente importante en las características de transferencia de calor de un medio de temple. La agitación causa una ruptura mecánica más fácil de la envoltura de vapor en la etapa A y produce burbujas de vapor más pequeñas y desprendibles durante la etapa de enfriamiento por transporte de vapor (etapa B).

También ocasiona la ruptura mecánica de las gelatinas y sólidos, cuando ellos están depositados sobre la superficie de las piezas o suspendidos sobre el borde de la cubierta de vapor, lo que produce una transferencia más rápida en la etapa C. Además de los efectos anteriores se debe considerar que una agitación hace que un líquido más frío se aproxime y reemplace a la capa del líquido caliente próxima a la pieza.

1.3.2 TEMPERATURA DEL TEMPLANTE

La temperatura afecta notablemente la capacidad para extraer calor de un líquido de temple.

Cuanto más alta es la temperatura del líquido, más baja es la temperatura característica y, así, más prolongada es la etapa A. Además, el aumento de la temperatura produce una disminución en la viscosidad, lo que afecta el tamaño de las burbujas o influye sobre la ruptura de la envoltura gaseosa.

Si los otros factores permanecen constantes, cuando más alta es la temperatura del medio de temple, más baja es la velocidad de transferencia de calor en la etapa C.

El acero se temple para controlar la transformación de austenita a microconstituyentes deseados. En la figura 3 se muestran las microestructuras que se desean obtener: la martensita es la estructura deseada habitualmente.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Temperaturas de austenitación para temple directo de aceros al carbono y aleados

Aceros al carbono

SAE		SAE	
1025	855 a 800°C	1050	800 a 845°C
1030	845 a 870°C	1052	800 a 845°C
1033	830 a 855°C	1055	800 a 845°C
1035	830 a 855°C	1060	800 a 845°C
1036	830 a 855°C	1064	800 a 845°C
1037	830 a 855°C	1065	800 a 845°C
1038	830 a 855°C	1070	800 a 845°C
1039	830 a 855°C	1074	800 a 845°C
1040	840 a 855°C	1078	790 a 815°C
1041	800 a 845°C	1080	790 a 815°C
1042	800 a 845°C	1084	790 a 815°C
1043	800 a 845°C	1085	790 a 815°C
1045	800 a 845°C	1086	790 a 815°C
1046	800 a 845°C	1090	790 a 815°C
1048	800 a 845°C	1095	790 a 818°C

Como lo indica la curva A, en la figura, para obtener la máxima cantidad de martensita, la velocidad de enfriamiento debe ser suficientemente rápida como para evitar la nariz de la curva TTT del acero por templar. Si la velocidad de enfriamiento no es suficientemente rápida como son las curvas B, C y D, tendrá lugar algo de transformación a bainita, perlita y ferrita, con una disminución correspondiente de la cantidad de martensita formada y de la dureza desarrollada.

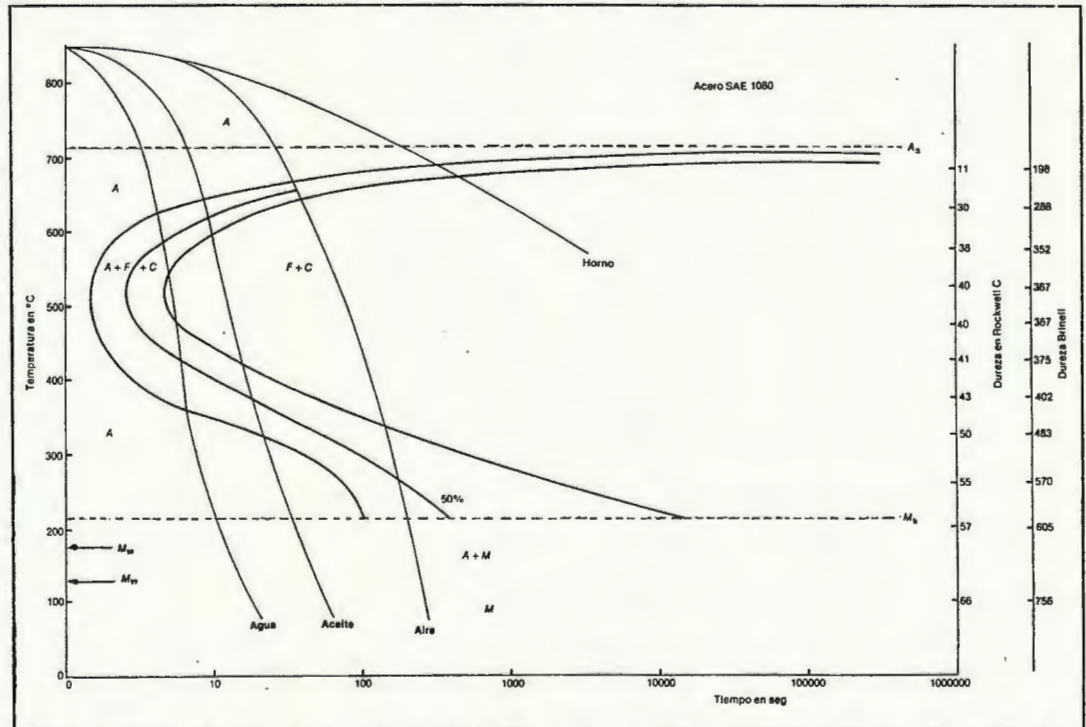


Fig. 3 Diagrama TTT para un acero SAE 3140

1.4 CONTENIDO DE CARBONO Y TEMPLABILIDAD

El máximo de dureza obtenible en un acero templado, a una velocidad lo suficiente para evitar la nariz de la curva TTT, depende del contenido de carbono.

La velocidad de enfriamiento (temple eficaz) necesaria para obtener una estructura completamente martensítica, depende de la templabilidad del acero. La relación del contenido de carbono al porcentaje de martensita y su dureza está representada en la figura 4.

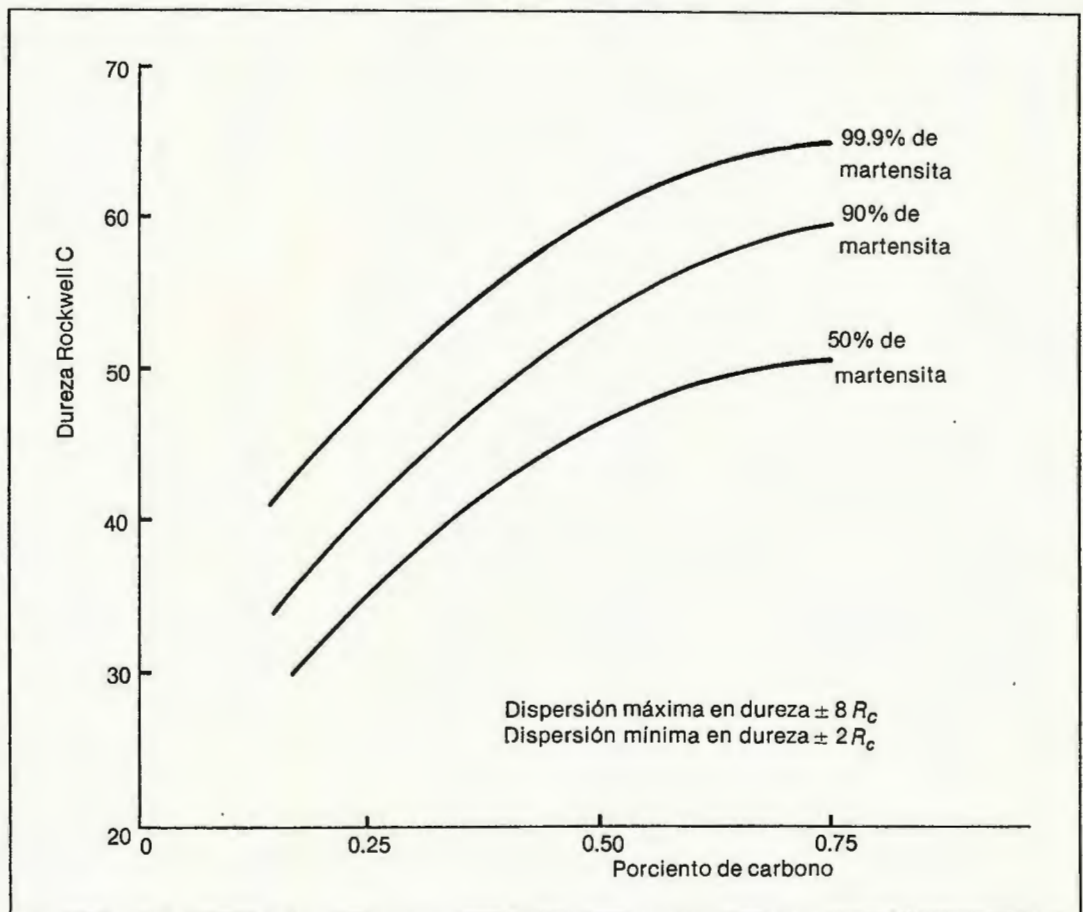


Fig 4 Efecto del contenido de carbono sobre la dureza de temple cuando la estructura resultante contiene 99.9%, 90% y 50% de martensita.

Según el contenido de carbono y la templabilidad del acero, la velocidad de enfriamiento debe ser lo suficientemente rápida como para que al menos 90% de martensita se produzca en áreas críticamente tensionadas de la pieza. En áreas sometidas a bajas tensiones en servicio, a menudo se aceptan porcentajes bajos de martensita.

1.5 VELOCIDADES DE ENFRIAMIENTO

Cuando un acero al carbono se temple a partir de la temperatura de austenitización, se necesita una velocidad de enfriamiento mayor o igual a 55°C/seg, medida a 700°C, para evitar la nariz de la curva TTT. La sección transversal completa de la pieza debe enfriarse a esta velocidad para alcanzar el máximo contenido de martensita. Bajo condiciones ideales, el agua provee una velocidad de enfriamiento alrededor de 1800°C/seg en la superficie de cilindros de acero de 1.27 cm de diámetro y 9.6 cm de longitud. Esta velocidad disminuye rápidamente por debajo de la superficie y, así, para un acero al carbono sólo secciones delgadas, con una relación grande de superficie a volumen, puede ser endurecibles a través de toda su sección transversal.

Cuando se emplea agua o salmuera como medio de temple, se desarrollan gradientes grande de temperatura entre la superficie y el centro. Estos gradientes de temperatura producen distorsión y aumentan la posibilidad de fisuras aun en muestras con formas simétricas y sencillas.

Bajo condiciones favorables, el temple de un acero en aceite provee una velocidad de enfriamiento en la superficie de las muestras de 1800°C/seg entre 830 y 500°C, lo que es comparable a la obtenida para una muestra similar en agua. El temple en aceite produce gradientes de temperatura más bajos desde la superficie al centro, disminuye la distorsión y son menores las probabilidades de formación de fisuras.

En secciones gruesas, la velocidad de enfriamiento está limitada por la velocidad de conducción de calor desde el interior hacia la superficie de la pieza. Cuando se intenta templar piezas gruesas, el efecto además impide obtener temple completo.

1.6 MEDIOS DE TEMPLE

1.6.1 AGUA

El agua y las soluciones acuosas son los medios de temple más baratos y se usan en todos los temples en los cuales la piezas no se distorsionan excesivamente y no se fisuran al ser templadas.

Como medio de temple, el agua se aproxima a la velocidad de enfriamiento máxima alcanzada por un líquido. Entre otras ventajas, se obtiene fácilmente, se pueden eliminar sin problemas de contaminación y es un medio efectivo para quebrar las cascaras de óxido de la superficie de las piezas que son templadas a partir de hornos que no

poseen atmósferas protectoras.

Una desventaja del agua como medio de temple es que su velocidad de enfriamiento rápida persiste en la parte más baja del rango de temperaturas. En el agua se producen, generalmente, distorsión y fisuras. En consecuencia, el agua se usa sólo en el temple de piezas simétricas y sencillas de aceros de baja templabilidad, como los aceros de carbono y de baja aleación.

Otra desventaja de usar agua es la formación de la envoltura de vapor (etapa A), y esta etapa puede prolongarse mucho. Esto puede ser ayudado por la complejidad de la pieza por tratar, que puede causar "atrapamiento" en las zonas escondidas y, así, un endurecimiento desigual y una distribución desfavorable de tensiones que promueven distorsión y fisuras.

A una temperatura entre 15 y 25°C, el agua puede proveer una velocidad de temple uniforme y resultados reproducibles. Sin embargo, la potencia enfriante del agua disminuye rápidamente cuando la temperatura aumenta.

La agitación es importante en el temple en agua debido a que se dispersan las burbujas de vapor sobre la pieza y las porciones más frías del agua alcanzan la piezas a tratar.

La contaminación del agua de los baños de temple por sales disueltas aumenta la velocidad de enfriamiento debido a que las sales reducen la duración de la etapa A. Sin embargo, los contaminantes tales como jabón, algas, arcilla y emolientes, reducen la velocidad de enfriamiento por atrapamiento de la envoltura de vapor y así, previenen que agua más fría se ponga en contacto con la pieza y se obtengan resultados uniformes.

1.6.2 SALMUERA

El término salmuera se aplica a soluciones acuosas de sales como cloruro de sodio o cloruro de calcio, junto con aditivos especiales e inhibidores de la corrosión.

Las salmueras presentan las siguientes ventajas sobre el agua y aun sobre el aceite:

UNIVERSIDAD DON BOSCO

1. La velocidad de enfriamiento es más alta que la del agua para el mismo grado de agitación, para una dada velocidad de enfriamiento.
2. Las temperaturas son menos críticas que para el agua y, por lo tanto, requieren menor control.
3. La probabilidad de puntos blandos en las zonas de formación de bolsas de vapor son menores que en el temple en agua.
4. La distorsión es menos severa que en el temple en agua.
5. Los intercambios de calor son menos frecuentes en los baños de salmuera que en los baños de agua o aceite.

Las desventajas que presentan los baños de temple de salmuera son:

1. Dada la naturaleza corrosiva de los baños de salmuera, el tanque, las bombas, los transportadores y otras partes en contacto constante con la solución, deben ser protegidos contra la corrosión por alguno de los métodos habituales de prevención o constituyéndolos con materiales especiales.

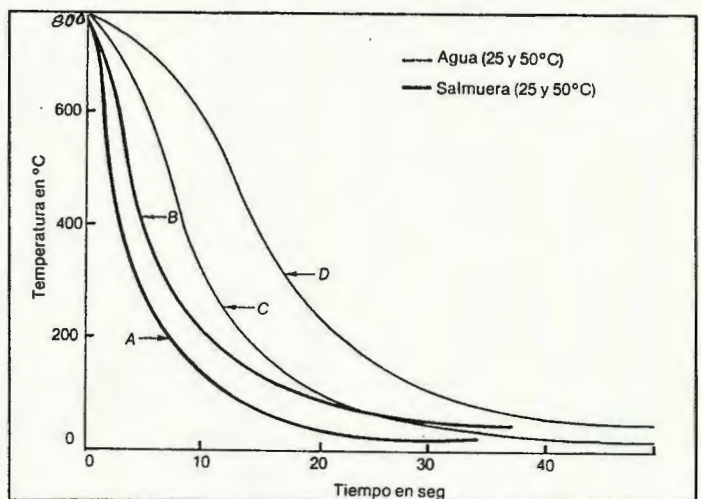


Fig. 5 Curvas de enfriamiento en agua y salmuera (10% de cloruro de sodio) a 50°C (curvas B y D).

2. Es necesario un sombrero de humos para proteger convenientemente la maquinaria y equipo delicado de los vapores corrosivos.
3. El costo es superior al agua, especialmente debido al costo de los aditivos anticorrosivos que se deben usar.
4. El costo del proceso aumenta debido a la necesidad de controlar la composición de las soluciones.
5. Cuando se usan soluciones que contienen hidróxido de sodio o ciertos aditivos, aumenta la posibilidad de accidentes como quemaduras o intoxicación.

1.6.3 LOS ACEITES COMO MEDIOS DE TEMPLE

Los aceites que se emplean en el temple se pueden clasificar en dos tipos: *convencionales* y *aceites rápidos*.

Un aceite de temple convencional es aquel que no contiene aditivos que alteren sus características de enfriamiento. Los aceites convencionales son fracciones producida por destilación de aceites crudos y seleccionados, según sus viscosidades, alrededor de 100 SUS a 37°C.

Los aceites de temple rápidos son porciones de menor viscosidad y contienen aditivos desarrollados especialmente, cuyo efecto sobre las características de enfriamiento del aceite es proveer una velocidad de enfriamiento más rápida.

Las propiedades típicas de cuatro aceites de temple comerciales, dos convencionales y dos rápidos se resumen en la tabla I.

Tabla I Propiedades de aceites de temple convencionales y rápidos

Propiedad	Ensayo ASTM	Aceite convencionales		Aceite rápido	
		1	2	1	2
Densidad de API	D287	33	27	33.5	35
Punto de inflamación	D92	315(157)	365(185)	370(188)	320(160)
Punto de vaciado	D97	425(218)	415(213)	425(213)	345(174)
Viscosidad a 38°C	D445	107	111	95	60
	D446				
Indice de viscosidad	D567	96	53	95	...
Saponificación	D94	no	no	no	no
Carbono residual %	D524	0.006	0.025	0.5	0.05
Ceniza %	D482	0.002	0.008	0.010	0.010
Agua %	D1533	no	no	no	no

1.7 TEMPERATURAS DE ENFRIAMIENTO DE UN MEDIO DE TEMPLE IDEAL

El medio de temple ideal deberá exhibir una alta velocidad inicial de temple a través de la etapa de la cubierta de vapor y en la etapa de enfriamiento por

* Las temperaturas están dadas en °C(°F)

transporte de vapor, y bajas velocidades a través del rango de temperatura finales (etapa de enfriamiento líquida).

El agua y las soluciones acuosas tienen las más altas velocidades de temple inicial. Sin embargo, debido a que estas velocidades de temple persisten a bajas temperaturas, el uso de agua de temple se restringe a piezas de forma sencilla y aceros de baja templabilidad.

Con los aceites de temple convencionales, la duración de la etapa de la cubierta de vapor es más larga que en el agua. La velocidad de enfriamiento de la etapa de transporte de vapor es considerablemente menor y la duración de la etapa de transporte líquida es más breve. Por lo tanto, el poder de temple de tales aceites es menor que el agua y es a, menudo, inadecuado. Sin embargo, la transición de la etapa B a la etapa C es más gradual y, por esta razón, los aceites minerales convencionales producen menos distorsión.

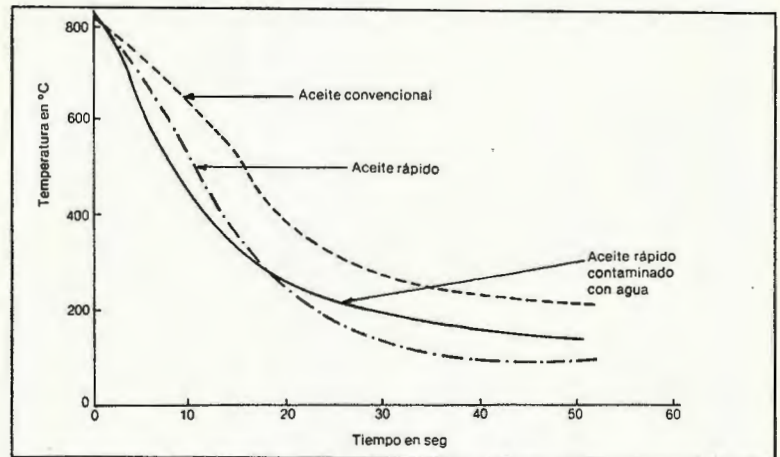


Fig. 6 Curvas de enfriamiento para un aceite rápido, uno convencional y un aceite rápido contaminado con 0.25% de agua.

Los aceites de enfriamiento rápido se aproximan más a una alta velocidad de temple inicial, próxima a la del agua, sin sacrificar la ventaja del temple en aceite convencional. Con estos aceites, la duración de la etapa A es considerablemente menor y el enfriamiento en la etapa B comienza más pronto y dura más tiempo, por lo que la velocidad de enfriamiento en la etapa C es, aproximadamente, la de los aceites convencionales.

En la figura 1.6 se muestran las curvas de enfriamiento de un aceite rápido, un aceite convencional y un aceite rápido contaminado con 0.25% de agua.

1.8 CONDICIONES ÓPTIMAS DE TRABAJO DE LOS BAÑOS DE ACEITE

La temperatura óptima que se debe mantener en un baño de temple de aceite puede ser influenciada por varios factores:

- a) EL punto de inflamación del aceite.
- b) Requerimiento de limpieza
- c) Control de la distorsión.
- d) Requerimiento de la dureza.

El punto de inflamación indica el límite máximo de temperatura de operación (éste no es el límite superior de seguridad), para un aceite de temple. Por razones de seguridad, se estipula que el aceite debe estar a una temperatura de 65°C por debajo de su punto de inflamación.

Los endurecimientos con temple limpios requieren que el aceite de temple mantenga la característica de no manchar la superficie. Esto se logra manteniendo la temperatura del aceite baja, a fin de minimizar la oxidación y la degradación del aceite o ambas. Por otro lado, las temperaturas altas minimizarán la distorsión.

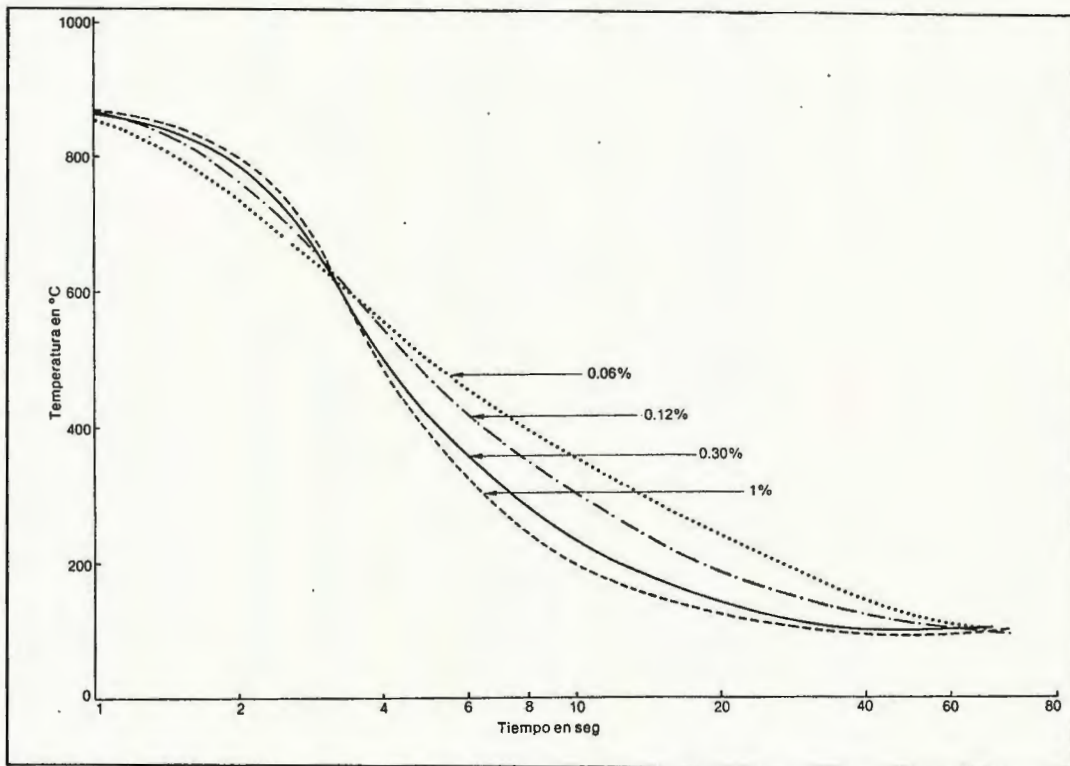


Fig. 7 Efecto de diferentes porcentajes de agua sobre el comportamiento de un aceite rápido.

Las cargas templadas determinarán el ascenso de temperatura del aceite de temple. Las curvas de enfriamiento muestran que el endurecimiento por temple uniforme puede, habitualmente, mantenerse, a pesar de que el aceite aumente mucho la temperatura. Sin embargo, se debe considerar el peligro de incendio

cuando la temperatura del baño se aproxima al punto de inflamación. Las piezas con una relación grande de superficie a volumen aumentan los riesgos de un incendio y requieren menores temperaturas de temple. No sería muy útil bajar la temperatura del aceite de temple por debajo de 65°C. Si el acero no se endurece adecuadamente por temple en aceite convencional será necesario usar un aceite que permita una velocidad de enfriamiento más rápida, similar a la de un aceite rápido.

En efecto el agua sobre las curvas de enfriamiento de los aceites está mostrado en la figura 7.

Cuando la cantidad de agua es menor que el 0.15% aumenta la velocidad de enfriamiento de la etapa A. Cuando el contenido de agua está por encima de este valor la etapa A se hace más pronunciada. A todas las concentraciones de agua, la etapa C aparece a menor temperatura, donde la distorsión y las fisuras son más probables. Por tanto, la contaminación con agua destruye el objetivo de emplear aceites con temple.

La formación de espumas en los aceites está estrechamente ligada a la contaminación del agua.

El atrapamiento del agua en regiones localizadas de un baño de aceite puede producir una explosión por la rápida formación de grande volúmenes de vapor. Sin embargo, excepto cuando el aceite y el agua están distribuidos en capas estratificadas bajo condiciones quietas, hay poco peligro de explosión. La agitación del baño por lo tanto, disminuye dicho peligro.

El agua se puede quitar por varios métodos:

- 1. Elevando la temperatura por encima de la temperatura de ebullición del agua.*
- 2. Permitiendo al agua depositarse en el fondo del baño y drenandola fuera del baño.*
- 3. Pasando el aceite a través de una centrifuga.*
- 4. Por filtración.*

Sin embargo, el filtrado de los aceites compuestos puede tener el inconveniente de eliminar los aditivos. Estos sucede cuando se emplean arcillas activadas como medios de filtrado.

PARTE SEGUNDA

2. ACEROS PARA TEMPLE

Para realizar un correcto tratamiento térmico es indispensable conocer las características del acero con el cual se cuenta.

A continuación se detallan algunos aceros existentes en el mercado local, apropiados para templar.

2.1 ACEROS ASSAB

2.1.1 ARNE (acero para trabajos en frío)

Equivalencia:

AISI/SAE	01
WERKSTOFF	2510
DIN	100MnCrW4
AFNOR	90MgW5
BS	B01
UDDEHOLM UHB	ARNE

Análisis aproximado %: C; Mn; Cr; W; V.
0.90; 1.2; 0.50; 0.50; 0.10

Estado de suministro: recocido blando hasta aproximadamente 190 HB

Propiedades mecánicas a 62 RC:

Resistencia a la compresión: 3050N/mm²-310kg/mm²

Límite de rotura: 2250N/mm²-230kg/mm²

Módulo de elasticidad: 19000kg/mm²

Densidad: 7800Kg/mm³

Color de identificación: Extremo amarillo.

Aplicaciones:

Es un acero para trabajo en frío, se recomienda para herramientas de corte, estampar, doblar y para plásticos. Algunas aplicaciones típicas; rodillos para bordear para la industria conservera, calibres y herramientas de medición, componentes mecánicos tales como engranajes pequeños, pistones, boquillas, levas, cuchillas, dados para acuñar medallas, etc.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Tratamiento térmico (temple)

Temperaturas de precalentado: 600-700°C

Temperatura de austenización: 790-850°C

Temperatura °C	Tiempo de mantenimiento minutos	Dureza antes del revenido HRC
800	30	aprox. 65
825	20	aprox 65
850	15	aprox. 63

Protección contra la descarburación: Proteger la herramienta contra la descarburación y oxidación durante el proceso de temple.

Agentes de enfriamiento:

- Aceite
- Temple escalonado martensítico a 180-225°C después, enfriar en aire.

NOTA: Revenir inmediatamente que la herramienta alcance 50-70°C.

2.1.2 UHB. SVERKER 21 (ASSAB XW-41, aceros para trabajos en frío)

Análisis aproximado %: C; Si; Mn; Cr; Mo; V
1.55; 0.30; 0.30; 1.2; 0.80; 0.80

Equivalentes:	AISI/SAE	D2
	WERSTOFF	2379(2601)
	DIN	X155CrVM121
	BS	BD 2
	UDDFHOLM-UHBS	SVERKER 21

Estado de suministro: recocido 210Hb

Propiedades mecánicas:

Resistencia a la compresión (Rm): 3100N/mm²-315kg/mm²

Límite de rotura 2300N/mm²-235kg/mm²

Módulo de elasticidad: 193000N/mm²-19700kg/mm²

Densidad: 7700kg/mm³

Color de identificación: extremo rojo-azul

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Aplicaciones:

Es un acero indeformable, para herramientas y dados, del tipo, alto carbono, alto cromo, con alto contenido de vanadio que mejora su resistencia al desgaste. Se usa en herramientas para estampar y para máquinas de hacer clavos, punzones, dados penetradores, y matrices con paredes delgadas.

Tratamiento térmico:

Temple

Temperatura de precalentado: 600-700°C
(1110-1290°F)

Temperatura de austenización: 990-1050°C
(1830-1920°F), pero generalmente: 1000-1040°C
(1830-1905°F)

Temperatura °C °F	Tiempo de mantenimiento** (minutos)	Dureza antes antes del revenido
990 1815	60	aprox. 63
1010 1850	45	aprox. 64
1030 1885	30	aprox. 65

Protección contra las descaburación: proteger la pieza contra la descaburación y la oxidación durante el templeado.

Medios de enfriamiento por inmersión

- Aceite
- Aire/gas a presión
- Baño de temple escalonado. Temperatura 180-500°C (360-930°F), luego enfriamiento al aire.

NOTA: Revenir la herramienta inmediatamente al llegar su temperatura a 50-70°C (120-160°F) (el Sverker se temple a todas las dimensiones standard).

2.1.3 XW5 (para trabajo en frío)

Equivalente aproximado.

AISESAL D6(D3)
WERKSIOPP 24 B6

** Tiempo de mantenimiento = tiempos temperatura de temple después que la herramienta esté perfectamente calentada.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

DIN X210 Cr W12
BS (BD 3)
BOLORS R1 60
USSIOLM UHB SVEKER 3

Análisis aproximado %: C; Si; Mn; Cr; W
2.05; 0.30; 0.8; 12.5; 1.3

Estado de suministro: recocido blando hasta aprox. 240HB

Propiedades mecánicas a 62 RC

Resistencia a la compresión (Rm) 3 200 N/mm²

Límite de rotura 2 200 N/mm²

Módulo de elasticidad 194 000 N/mm²-197 790 kg/mm²

Densidad 7.700 kg/m³

Color de identificación: rojo.

Aplicaciones

ASSAB XW5 es un acero con alto contenido de carbono y cromo tiene alta resistencia al desgaste. Se recomienda cuando lo primordial es máxima resistencia al desgaste. Por ej: troqueles para cortar láminas con alto contenido de silicio, dados para cerámicas y tabiques, machos para clavar, punzones para estrucción en frío, y en general para herramientas de producción en gran escala.

Tratamiento térmico

Temple 940-980°C

Dureza máxima 62 RC

Dureza con que se entrega el material 240 Brinell.

Enfriamiento en Aceite o aire.

2.1.4 705 (acero especial bonificado)

Equivalente aprox. SKF 3

AISI/SAE 4337

WERKSTOFF 6511-6582

DIN 36CrNiMo4

BS EN 24-EN 25

SIS 2541

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Análisis aproximado%:	C;	Si;	Mn;	Cr;	Ni;	Mo
ASSAB 705	0.36;	0.3;	0.7;	1.4;	1.4;	0.2
SKF 356 A	0.35;	0.25;	0.7;	1.4;	1.4;	0.2

Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción (Rm):	90-110kgs/mm ²
Alargamiento a 5 min:	12%
Esfuerzo de cadena (Rp 0.2):	70kg/mm ²
Resistencia al impacto KU:	Aprox. 30 J (6kg/cm ²)
Dureza de entrega:	270-330 Brinell
Color de identificación:	extremo azul y dorado.

Aplicaciones:

Es un acero bonificado al cromo níquel, fabricado bajo el proceso M Y R de SKF que consiste en fundición y refinado del acero (melting and refining) con lo cual se consigue un acero muy puro y con poca escoria, debido a su alta resistencia a la fatiga, se puede utilizar en piezas que esten sometidas a grandes esfuerzos y desgaste.

Tratamiento térmico

Temple 830-860°C
Dureza máxima 56-58 RC
Enfriamiento en aceite.

NOTA: El tiempo de permanencia en el horno a temperatura de temple en minutos se calcula multiplicando el factor 0.7 por el espesor en mm de la pieza. Las piezas no deben dejarse enfriar por debajo de 75°C, después de templada y al mismo tiempo deben revenirse de inmediato.

2.2 ACEROS BOEHLER

2.2.1 EH (EMS 45)

Equivalencias:

AISI 1045
DIN Ck 45 (St C 45.61)
MAT No 1191

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Análisis aproximado %: C; Si; Mn
0.45; 0.3; 0.7

Color de identificación: blanco-negro-blanco

Estado de suministro: Dureza natural: 60-75 ko/mm² (175-219 HB)

Aceros finos al carbono, de alta calidad. gran pureza lograda con un proceso especial de fabricación y estricto control de calidad.

Aplicaciones:

Elementos de maquinaria y repuestos bonificados de dimensiones menores. Ejes pernos, tuercas, ganchos, pines, pasadores, chaveras, etc. En estado normalizado también para piezas grandes forjadas. Herramientas de mano.

Tratamiento térmico:

Temple: 820-850°C al agua
Dimensiones menores: 830-860°C al aceite
Soldadura: no deben soldarse.

2.2.2 AMUTIT S

Equivalencias :

AISI 01
DIN 100MnCrW 4
MAT No 2510

Análisis aproximado %:

C	Mn	Cr	W	V
0.95	1.0	0.5	0.5	1.0

Código de color: rojo-azul

Estado de suministro: recocido 65-75 kp/mm² (Brinell 191-219 HB)

Acero especial, aleado, de temple parejo y seguro, con poca variación de medidas, excelente conservación de filo, buena resistencia al desgaste y magnífica tenacidad. Fácilmente maquinable.

Aplicaciones

Especialmente para dispositivos de roscar, como también para punzones y cizallas de chapa delgada, herramientas para labrar madera. Matrices de corte con exigencias normales, guías y pines para matricería. Cuchillas para cortar papel, tabaco o similares materiales delgados. Herramientas de medición, por ejemplo: calibradores, reglas, etc. Moldes para plástico y resinas sintéticas.

Tratamiento térmico

Temple 780-820°C

Tiempo de mantenimiento aprox. 10 min para una sección de 20 mm.

Enfriamiento: en aceite para herramientas simples, baño de sal de 200-250°C para herramientas complicadas.

Dureza obtenibles: 63-65Rc.

2.2.3 GNOM EXTRA

Equivalencias:

AISI W 1-0.9 C

DIN C 85 W 2

MAT No 1631

Análisis aproximado %: C; Si; Mn
0.85; 0.2; 0.2

Color de identificación: plateado

Estado de suministro: recocido 60-70 kp/mm² (175-205 HB)

Tratamiento térmico:

Temple: 790-810 °c

Enfriamiento: en agua

Dureza obtenible: aprox. 65 Rc.

2.2.4 GNOM

Equivalencias:

AISI W 0.6 C

DIN C 60 W 3

MAT No 1741

Tipo de aleación %: C; Si; Mn
 0.5; 0.3; 0.6

Aceros especiales al carbono. Gran calidad, lograda con un proceso especial de enfriamiento y estricto control. Insensible al sobrecalentamiento en el forjado y temple.

Aplicaciones:

Herramientas para trabajar en roca y concreto, tales como cinceles brocas y barrenos para canteras, minas y construcción civil; barretas, sacaclavos y otras herramientas de mano.

Tratamiento térmico:

Temple: 790-810 °C

Enfriamiento: en agua

Dureza obtenible: aprox. 60 Rc.

2.3 PRACTICAS DE TEMPLADO

Antes de realizar cualquier tratamiento térmico conviene asegurarse del tipo de acero que se tiene. Para esto puede ayudar:

- *La factura de compra*
- *Color de identificación.*

2.3.1 PRACTICA # I; El temple depende del contenido de carbono.

PROCESO

Se cuenta con tres aceros de Marca Assab de diámetro de 12" con las descripciones:

- * *SAE 1045*
- * *BOELER; EH (EMS 45)*
- * *ARNE*
- * *ASSAB 705*

- *Cortar dos pedazos de cada barra de un largo de 100mm.*
- *En los extremos marcar la referencia del acero.*

UNIVERSIDAD DON BOSCO

- Según el tipo de acero, ver las aplicaciones para el tratamiento térmico (conocer las exigencias del cliente).
- Colocar el horno a temperatura de temple.
- Medir la dureza del material en el diámetro.

INICIAMOS EL TRATAMIENTO TERMICO PARA CADA TIPO DE ACERO

- Cuando el horno llegó a la temperatura preestablecida introducir dos piezas en el horno de iguales características de acero.
- Dejarlas por el tiempo indicado en las hojas de instrucciones propias de cada acero. Luego, sacarlas y enfriarlas de acuerdo al medio de enfriamiento, realizarlo rápidamente, en la posición correcta (enfriarla manteniéndolas en posición vertical).
- Una de las dos probetas (de iguales características), partirlas por la mitad en el sentido de su sección transversal.
- Medir la dureza de las probetas en varios puntos.
- Observar su estructura y compararla con las otras de diferente acero.
- Graficar de acuerdo al porcentaje de carbono de cada probeta y la dureza alcanzada.
- Llenar el cuadro que se presenta a continuación y sacar conclusiones.

No	Material		Temperatura de temple según tipo de aleación	Dureza		Observaciones
	Abreviat.	% de C.		Brinell	HRC	
1						
2						
3						
4						
5						
Conclusiones:						

2.3.2 PRACTICA II, proceso:

Se cuenta con cinco probetas cuadradas de acero de 12mm cortarlas a 60mm de longitud.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

- Marcar las probetas en cada uno de sus extremos, para su identificación.
- Colocar el horno a temperatura, de acuerdo a las instrucciones de probeta.
- Dejarlas por un tiempo oportuno (ver hoja de instrucciones).
- Luego enfriarlas; en la forma:
 - Probeta # I: enfriarla en aceite
 - Probeta # II: enfriarla en agua
 - Probeta # III: enfriarla en salmuera
 - Probeta # IV: enfriarla por chorro de aire
 - Probeta # V: dejarla enfriar en el mismo horno

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 enfriada en el horno y el aire y que se emplea la escala R_O 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.

Identificación	Enfriamiento	Lectura de dureza					Promedio	Resistencia a la tensión
	Horno						HRB	
	Aire						HRB	
	Aceite						HRC	
	Agua						HRC	
	Salmuera						HRC	

PARTE TERCERA

3. CUESTIONARIO

3.1 Representar gráficamente el cambio de dureza, de acuerdo al tipo de enfriamiento, en función del tiempo de templado en el horno, de las probetas de la práctica #2.

3.2 Representar gráficamente la dureza en función de contenido de carbono de las probetas de práctica # 1.

3.3 ¿Por qué las probetas de la práctica # 2, enfriadas en agua y salmuera, son más duras que las enfriadas más lentamente?

3.4 ¿Que efectos tiene el templado?

3.5 ¿Como se relaciona el tiempo y la temperatura de templado?

3.6 ¿Se deben retirar las piezas del horno tan pronto se ha alcanzado la temperatura de austenización?

¿Por qué?; ¿Es conveniente mantener las piezas a la temperatura de austenización?

3.7 ¿Como se originan la grietas de calentamiento?. ¿Qué precauciones se han de tomar para evitarlo?.

BIBLIOGRAFIA

* CIENCIA DE MATERIALES. Teoría-Ensayo-Tratamientos- P. Coca Rebollero- J. Rosique Jiménez. Pirámide S.A. -Madrid. 1992.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ACEROS y sus Prácticas de Laboratorio- D.M.K. de Gringerg - Limusa- México, DF. 1989.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS -José Apraís Barriero. Editorial Dossat Sa. Madrid, 1985.

* INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA. SYDNEY H. ABNER. McGraw Hill. México, 1987.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS METALES. Pare Molera Salá. Marcombo, S.A. 1991. BARCELONA.

* Folletos de los Aceros "ASSAB" Suecia.

* Folletos de los Aceros "BOEHLER" Alemania.

Laboratorio # 9

TRATAMIENTO TÉRMICO: REVENIDO, RECOCIDO

**UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

*Tratamientos térmicos:
revenido,
recocido.*



METALURGIA Laboratorio # 9

OBJETIVOS:

- * *Conocer las bases científicas de los tratamientos térmicos.*
- * *Estudiar los efectos de los tratamientos térmicos y saber elegir los más adecuados en función del material y los resultados.*
- * *Conocer el revenido y el recocido.*

El revenido es un tratamiento térmico que se da siempre a los aceros después de templados para quitarles la fragilidad y las tensiones internas.

El recocido es un tratamiento contrario a el temple. Con él se trata de conseguir que, mediante un enfriamiento muy lento, tengan lugar las transformaciones que conducen a estructuras más estables.

PARTE PRIMERA

1 REVENIDO Y RECOCIDO

1.1 REVENIDO DE LOS ACEROS

El revenido de los aceros incluye el calentamiento de un acero, previamente endurecido o normalizado, hasta unas temperatura por debajo del rango de transformación, la permanencia a esta temperatura y el enfriamiento posterior a una velocidad conveniente. Todo esto se realiza a fin de aumentar su ductilidad y tenacidad.

La microestructura y las propiedades mecánicas de un acero revenido dependen de la temperatura y el tiempo de revenido. Estas son variables interdependientes y, dentro de ciertos límites las temperaturas más bajas y los tiempos más largos pueden, habitualmente, producir el mismo resultado. La relación entre el tiempo

y la temperatura se obtiene por medio de la fórmula empírica de Hollomon y Jaffe que la hacen depender de un parámetro que comprende a ambos factores. Así, consideran que la dureza es una función de la forma:

$$H = f[T(c + \log t)]$$

Donde:

H = dureza en HRC.

T = temperatura absoluta °K.

t = tiempo en segundos.

c = constante del acero, que dependen de las condiciones de austenitización y composición. En aceros al carbono su valor varía linealmente entre 15.9 para 0.3% de C a 11.8% para el 1% de C.

De la ecuación anterior se deduce que un tiempo muy elevado produce el mismo efecto que un pequeño incremento de temperatura. En la figura 1.0 de acuedo la fórmula de Hollomon y Jaffe se dan las variaciones de dureza en un acero con 0.56% de C en función del parámetro $T(c + \log t)$, con los tipos de revenido que se indican.

Con muy pocas excepciones, el revenido se hace a temperaturas comprendidas entre 175 y 705°C, durante tiempos que van de 30 minutos a 4 horas.

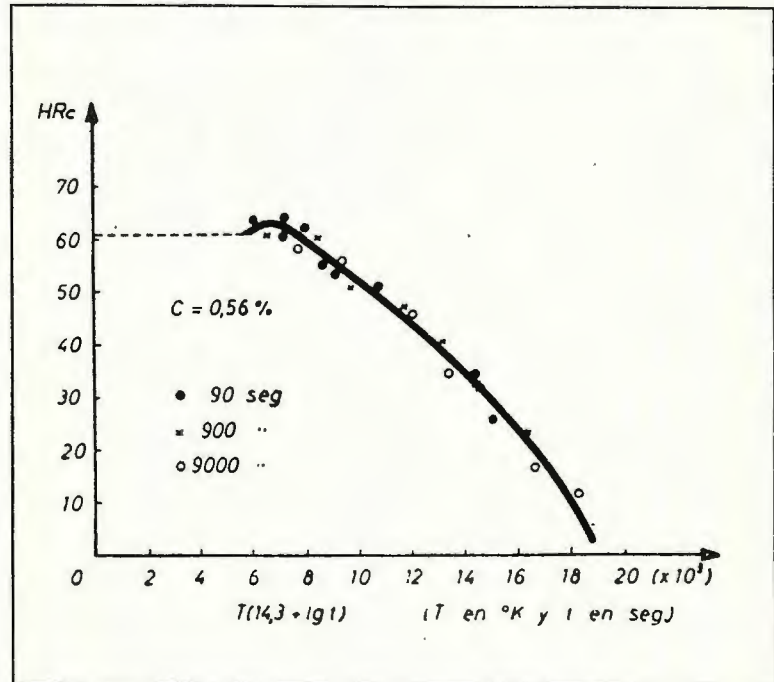


Fig. 1.0 variaciones de dureza en un acero con 0.56% de C.

En la figura 1.1 se presentan los datos de dureza para cuatro aceros al carbono, revenido en un rango de temperaturas entre 200 y 650°C durante una hora. Los datos se obtuvieron sobre muestras pequeñas, de 6 a 3 mm, para asegurar la transformación completa a martensita durante el temple. Los valores no reflejan una variación de la dureza como resultado de las variaciones en composición.

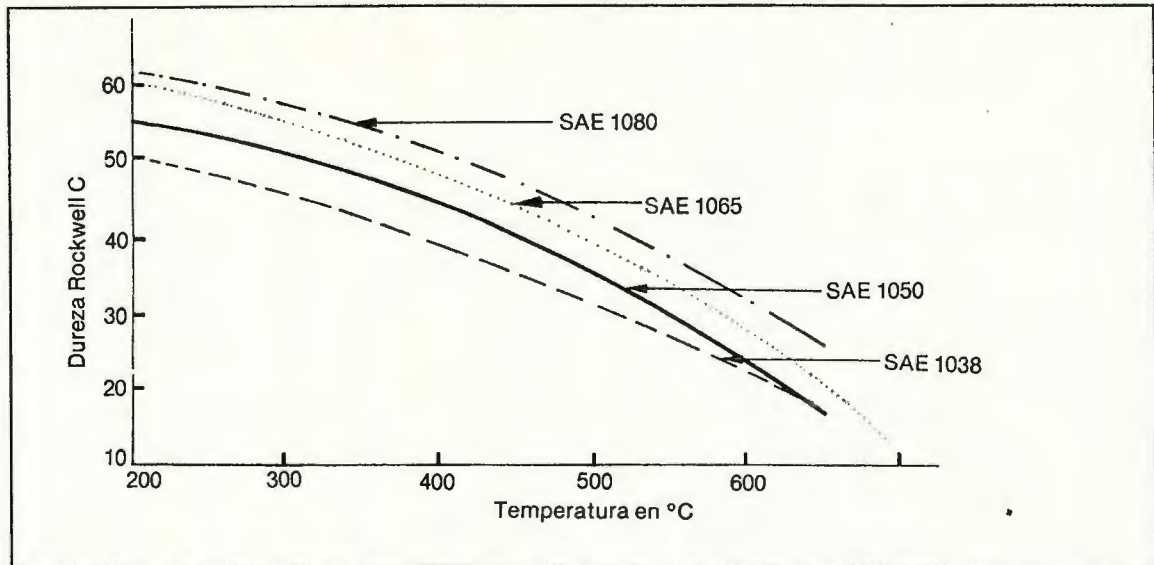


Fig. 1.1 Efecto de la temperatura de revenido para cuatro aceros al carbono, revenido a distintas temperaturas, durante 1 hora.

Ya se vio que la principal función de los elementos de aleación en un acero es aumentar su templabilidad. En el revenido, el efecto de los aleantes es retardar la velocidad de ablandamiento. Por tanto, los aceros aleados requieren de mayores temperaturas de revenido que los aceros al carbono para alcanzar cierta dureza en un tiempo dado.

1.1.1 EFECTO DE LA MICROESTRUCTURA PREVIA

Las piezas que se obtienen habitualmente en producción no son totalmente martensíticas. Frecuentemente, hay sólo de 50 a 90% de martensita. La martensita está presente en el borde de la sección y, a veces, la estructura central puede ser bainita y perlita. Para un diseño conveniente de tales piezas y su tratamiento térmico correcto, es importante conocer la respuesta al revenido de estructuras distintas a la martensita. Idealmente, está información se conoce para todas las estructuras encontradas en la probeta de Jominy.

En la figura 1.2 se comparan las características de revenido, a 565°C, de martensita, perlita y bainita obtenidas isotérmicamente en un acero SAE 1095.

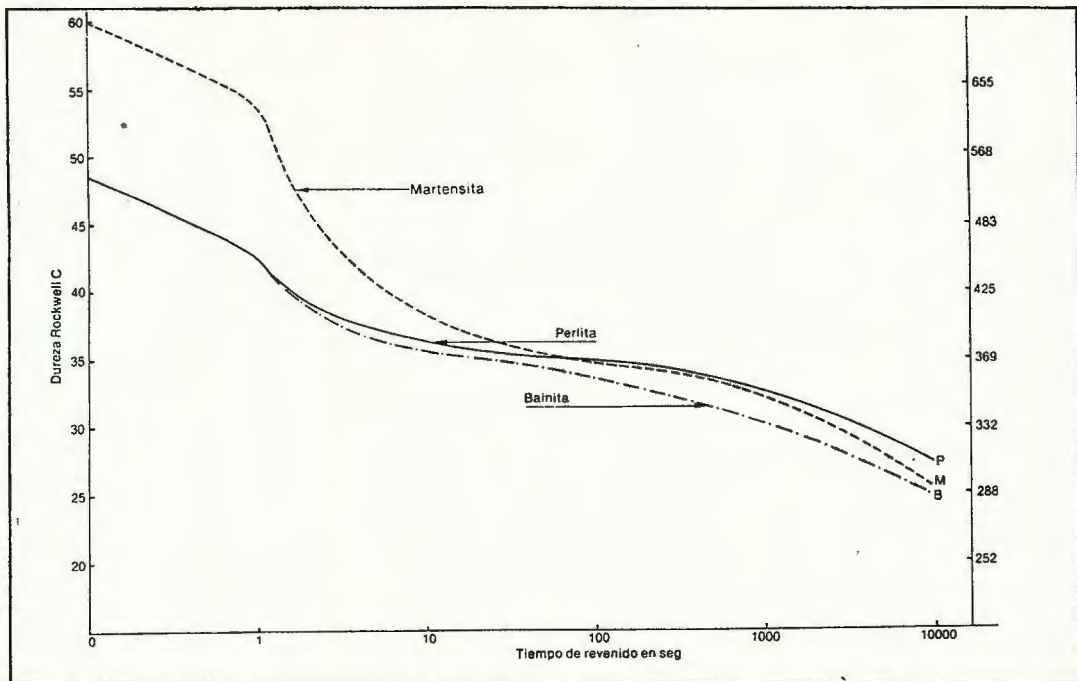


Fig. 1.2 Efecto del tiempo de revenido sobre la dureza de un acero eutectoide con tres estructuras iniciales diferentes: 100% martensita, 100% bainita, 100% perlita.

1.1.2 BAÑOS DE SALES FUNDIDAS

Los baños de sales fundidas se pueden emplear en los revenidos por encima de 165°C, pudiéndose obtener toda una variedad de mezclas de sales con diferente intervalo de temperaturas de operación.

La Tabla I presenta la composición y las temperaturas de operación de los baños de sales de uso común en el revenido.

Debe eliminarse toda humedad de las piezas antes de ser sumergidas en el baño de sal, ya que las sales calientes reaccionan violentamente con el agua. Si las piezas están sucias o aceitosas, cuando son sumergidas en el baño, la sal se contaminará.

Por otro lado, las piezas revenidas en sal deben ser limpiadas tan pronto como son retiradas del baño ya que la sal que se deposita sobre ellas es higroscópica y puede causar corrosión severa. Las piezas con agujeros pequeños o ciegos, donde es difícil limpiar la sal, no se deben revenir con estos baños.

TABLA I

Composición y temperatura de operación de las sales usadas en revenido

Cl.	$NaNO_2$	$NaNO_3$	KNO_3	Na_2CO_3	$NaCl$	KCl	$BaCl_2$	$CaCl_2$	Tempera-tura de trabajo	Tempe-ratura de humos
1	37-50	0-10	50-60	.....	.....	.....	.....	.....	165-695°C	635°C
2	.....	45-57	45-57	45-55	.....	45-55	.....	.....	290-595°C	705°C
3	.....	.....	.....	.....	15-25	20-32	50-60	..	620-930°C	950°C
4	.....	.....	.....	.	10-15	25-30	40-45	15-20	595-900°C	945°C
4A									550-760°C	790°C

1.1.3 BAÑOS DE ACEITE

Los equipos para baños de aceite son similares a los de sales, es decir, son tanques de acero con quemadores grandes del tipo de placa caliente, por debajo del tanque, y se ha demostrado que este tipo de calentamiento es absolutamente satisfactorio. También pueden emplearse calentadores eléctricos sumergidos.

La agitación es esencial para mantener la uniformidad en la temperatura y una larga vida del aceite. Deben emplearse controles de temperatura tipo sencillo para evitar el sobrecalentamiento de el aceite por el peligro de incendio.

Por lo general, para revenir a bajas temperaturas se emplea aceites de 600W, que pueden resistir la oxidación ambiente. La temperatura máxima de operación de los baños de aceite no supera, usualmente, los 200°C.

1.1.4 BAÑOS DE METALES FUNDIDOS

Los baños de metales fundidos han tenido mucho uso pero actualmente son reemplazados por baños de sales.

El metal que comúnmente se usa es plomo puro, que funde a 326°C y es el más útil de los metales y aleaciones para éstos usos. El plomo no se adhiere a la superficie de las piezas pero, dado que se óxida rápidamente y su óxido si es adherente, pueden surgir problemas cuando se hacen revenidos a altas temperaturas.

A temperaturas medias de revenido, las piezas se recubren de una capa de óxido que se puede quitar fácilmente. Por encima de 480°C es necesario usar material carbonáceo granulado, para formar una cubierta protectora para evitar la formación de óxidos adherentes.

1.1.5 REVENIDO APROPIADO

Debido a su contenido de carbono o aleación, algunos aceros presentan una tendencia a fisurarse si se los deja enfriar hasta la temperatura ambiente luego durante la operación de temple. Esta tendencia puede aumentar por cambios bruscos de la sección de las piezas.

Por esta razón, estos aceros se retiran del medio de temple y se llevan al medio de revenido mientras están a temperaturas entre 100°C y

150°C.

Los aceros que presentan este problema son: SAE 1060, SAE 1090, SAE 1340, SAE 4073, SAE 6150, SAE 52100, SAE 4340, SAE 8650 y SAE 9850.

Otros aceros al carbono o aleados son menos sensibles a este tipo de fisuras en el temple, pero pueden fisurarse como resultado de defectos en la configuración de la pieza o defectos de la superficie. Estos incluyen al SAE 1040, SAE 1050, SAE 1137, SAE 1144, SAE 4047, SAE 4143, SAE 4640, SAE 8622, SAE 4740 y SAE 9840.

Algunos aceros, tales como el SAE 1020, SAE 1038, SAE 4130, SAE 5230 y SAE 8630, no son sensibles a este tipo de fisuras. En general, esto es cierto para los aceros al carbono que contengan menos de 0.40% C y para los aceros aleados que contienen menos de 0.35% C.

Por lo tanto, es una buena práctica comenzar el revenido inmediatamente luego del temple.

1.1.6 FRAGILIZACION POR REVENIDO

Los aceros al carbono y muchos aceros de baja aleación revenidos a temperaturas relativamente bajas muestran un aumento de la elongación a medida que la temperatura de revenido se aumenta hasta alrededor de 205°C. Sin embargo, el revenido en el rango comprendido entre 260°C y 315°C produce menor resistencia al impacto que la obtenida por un revenido de 190°C. El mismo rango de temperatura de revenido tiene un efecto adverso en la capacidad que tiene el acero para fluir en corte durante los ensayos de torsión. Temperaturas más altas de revenido aumentan la resistencia al impacto a valores mucho mayores.

En el caso de los aceros Cr-Ni, durante su enfriamiento a partir del proceso de revenido muestran también una disminución en la resistencia al impacto. Este fenómeno se manifiesta después de un enfriamiento lento a partir de temperaturas de revenido de 600°C o superiores, o luego de un revenido en el rango de temperaturas entre 450°C y 600°C.

Un acero que presente este tipo de fragilización, conocida como fragilización por revenido, puede perder la mayor parte de su plasticidad, lo que se puede detectar por medio de ensayo de impacto. Si, en cambio, el acero se temple a partir de la temperatura de revenido, mostrará una resistencia al impacto satisfactoria. Si los aceros se revienen entre

450°C y 600°C y se templen desde esta temperatura, no se obtendrá ninguna mejoría.

En la figura 1.3 se muestra el efecto del temple y de un enfriamiento lento a partir de la temperatura de revenido sobre la resistencia al impacto de un acero SAE 5140.

El proceso microestructural que produce esta fragilización no es bien conocido pero se piensa que está relacionado con la formación de los carburos de transición.

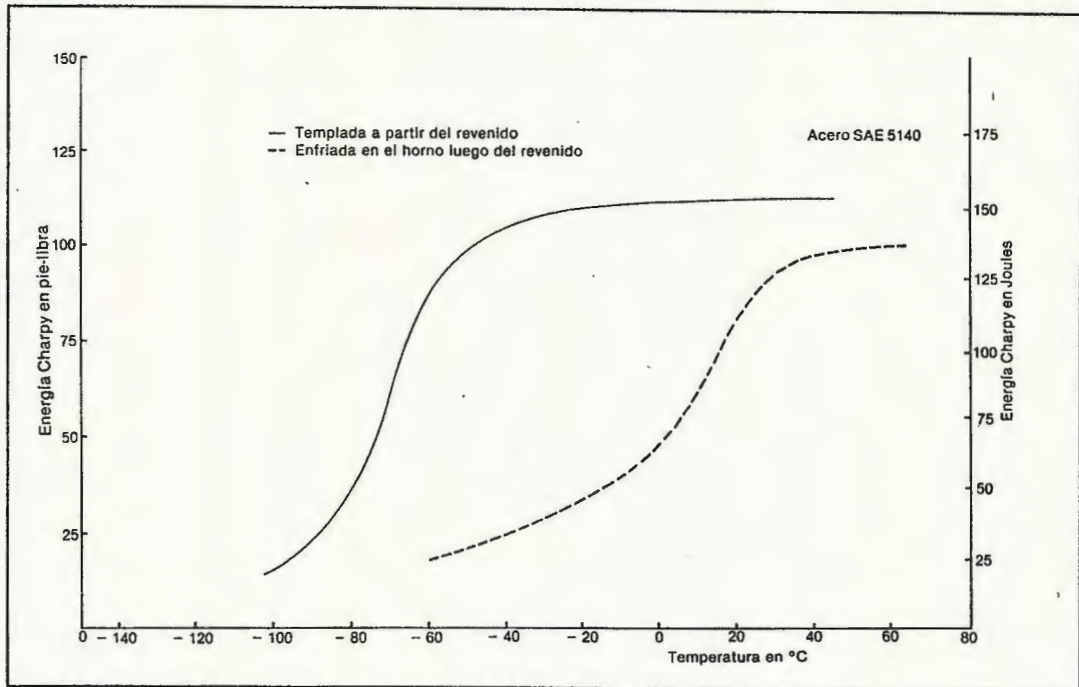


Fig. 1.3 Resistencia al Impacto de un acero SAE 5140, luego de revenido por encima de 600°C, enfriado lentamente desde la temperatura de revenido y otra muestra templada desde el revenido. Fragilización por revenido.

1.1.7 REVENIDOS MÚLTIPLES

Se ha dicho que cuando el contenido de carbono y de aleantes aumenta, es común que se obtenga austenita retenida. Se puede eliminar esta austenita retenida por revenidos y enfriamientos sucesivos en torno de la línea M_s .

Durante el primer ciclo de calentamiento parte de la austenita pasa a bainita y parte se convierte en martensita en el siguiente enfriamiento. Los tratamientos de revenido múltiple aseguran una disminución en la distorsión, así como una mayor estabilidad dimensional de las piezas, si

se los compara con el revenido convencional.

1.1.8 TRATAMIENTO SUBCERO

Un tratamiento alternativo al revenido múltiple es el tratamiento subcero y su finalidad es, también, eliminar la austenita retenida.

Dado que la austenita retenida se puede transformar en martensita por un enfriamiento a temperaturas más bajas que la temperatura ambiente, el tratamiento subcero tiene por fin alcanzar por enfriamiento la temperatura M_s que asegure el 100% de martensita. Las temperaturas habitualmente usadas están entre -70°C y -100°C .

1.2 RECOCIDO DE LOS ACEROS

Los aceros se recuecen para reducir la dureza, mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajado en frío, producir una microestructura particular para obtener propiedades mecánicas, físicas o químicas determinadas.

En el caso de aleaciones ferrosas se entiende por recocido, cuando no se hacen otras aclaraciones, a un recocido completo. Se define por recocido completo a una austenitización seguida de un enfriamiento lento a través del rango de transformación.

Cuando se quiere indicar otra cosa que un recocido completo es necesario agregar términos específicos a la palabra recocido para indicar el método de recocido o la condición del material luego del tratamiento. Así, se tiene recocido negro, recocido azul, recocido caja, recocido brillante, recocido a la flama, recocido intermedio, recocido isotérmico, recocido de recristalización, recocido de ablandamiento, recocido de terminación y recocido de esferoidización.

Los recocidos dependen casi totalmente de dos factores:

- 1. La formación de la austenita.*
- 2. La subsecuente transformación de la austenita a temperaturas subcríticas elevadas.*

Cuanto más cuidadosamente se controlan estos factores, mejor resulta el recocido.

La formación de la austenita es relativamente simple. Los aceros forjados o laminados consisten casi exclusivamente en ferrita y carburos mezclados, y

estas mezclas varían según la composición del acero, la temperatura final y las condiciones de enfriamiento. Todas éstas estructuras se pueden convertir en austenita calentando el acero a una temperatura por encima de la temperatura crítica.

Aunque la austenita comienza a formarse tan pronto como se alcanza la temperatura crítica, la estructura del acero no es, de inmediato, completamente austenítica. A temperaturas de austenitización bajas, la estructura consiste en austenita más carburos o ferrita o aun ambos, dependiendo de la composición del acero, del tiempo de austenitización y de la temperatura.

En aceros hipoeutectoides, los carburos se disuelven rápidamente en la austenita a temperaturas relativamente bajas.

En aceros hipereutectoides, los carburos no se disuelven a bajas temperaturas de austenitización sino que tienden a aglomerarse.

Cuando se eleva la temperatura de austenitización la estructura se hace más homogénea, más ferrita es convertida en austenita en los aceros hipoeutectoides y más carburo se disuelve en la austenita en los aceros hipereutectoides. Sin embargo, en muchos aceros hipereutectoides, tales como los aceros para herramientas para alta velocidad, la estructura nunca es completamente homogénea sino que está formada siempre por austenita y carburos.

Cuanto más homogénea es la estructura del acero austenitizado más completamente laminar será la estructura del acero recocido y, al contrario, cuanto más heterogénea es la estructura del acero en el estado austenitizado, más completamente esferoidal será la estructura de recocido.

En muchos aceros, el tiempo requerido para completar la transformación disminuye con la disminución de la temperatura hasta un mínimo alrededor de 50 a 90°C por debajo de la temperatura crítica, y aumenta nuevamente a temperaturas más bajas. En otros, particularmente en aceros de alto contenido de manganeso o de alto níquel, la temperatura a la cual la transformación es más rápida es alrededor de 200 a 250°C por debajo de la temperatura crítica.

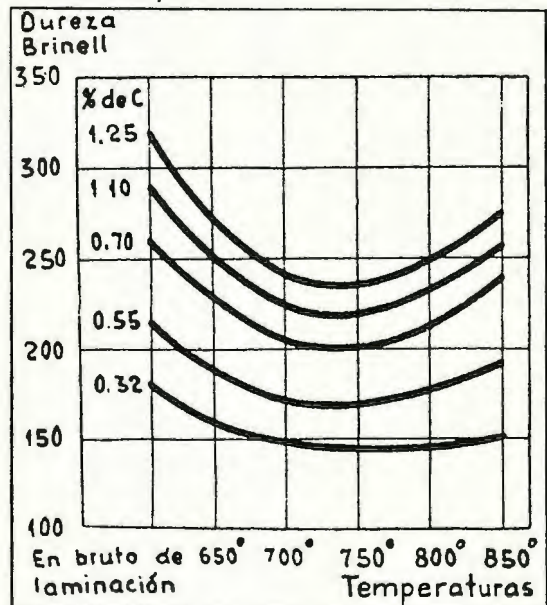


Fig. 1.4 Influencia de la temperatura del recocido de ablandamiento.

Debido a que el tiempo requerido para que se realice la transformación completa a temperaturas menores de 50°C por debajo de la crítica puede ser muy largo, es conveniente hacer la mayor parte de la transformación a temperaturas altas, en las que se forma un producto blando, y terminar a una temperatura más baja en donde el tiempo de transformación es más corto.

En muchas ocasiones, el enfriamiento a partir de la temperatura de austenitización y de transformación se puede hacer rápidamente, con un ahorro considerable en el tiempo total de recocido. En otros casos, dicho enfriamiento no puede hacerse rápidamente ya sea porque la masa de acero a ser recocida es muy grande o porque el tamaño de las piezas es muy grande. Esto no se puede modificar, debido principalmente, a que el calor no puede ser disipado desde el interior de la carga.

Para la mayoría de las operaciones de maquinado en aceros recocidos de medio carbono, la estructura laminar es siempre preferible, aunque ocasionalmente se pueda requerir de una estructura esferoidal. Ya se vio que, la mayoría de los aceros, la producción de estas estructuras depende de la temperatura de austenitización.

En algunos aceros de alta aleación, tales como los aceros para trabajo en caliente, aceros para dados o aceros para alta velocidad, en los cuales hay muchos carburos residuales aun a temperaturas de austenitización altas, no puede obtenerse una estructura laminar. Por otro lado, en muchos aceros de baja aleación y contenido medio de carbono, la producción de una estructura esferoidal requiere un cuidado especial.

1.2.1 TEMPERATURAS DE RECOCIDO

Para muchos fines se especifica que el acero sea enfriado en el horno desde la temperatura de recocido. En la Tabla II se dan las durezas Brinell asociadas, en aceros al carbono durante un recocido sencillo.

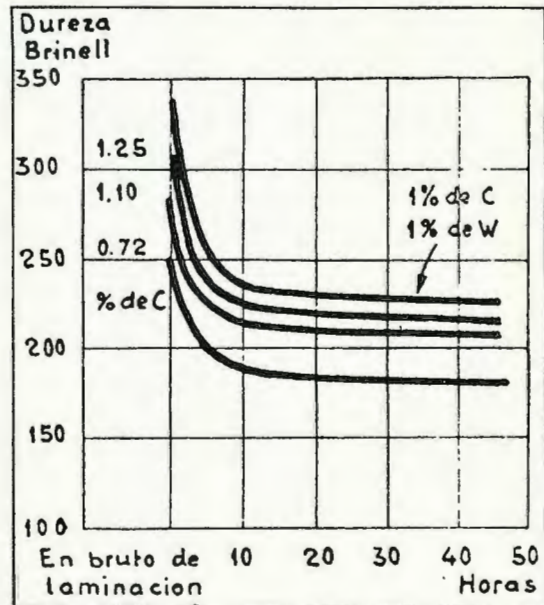


Fig. 1.5 Influencia en la duración del recocido de ablandamiento en la dureza de aceros.

Tabla II Temperaturas y ciclos de enfriamiento recomendados para obtener recocido completo de piezas de forja pequeñas de acero al carbono

Acero SAE	Temperatura de recocido	Ciclo de recocido	Dureza Brinell
1018	855 a 900°C	855 a 705°C	111 a 149
1020	855 a 900°C	855 a 700°C	111 a 149
1022	855 a 900°C	855 a 700°C	111 a 149
1025	855 a 900°C	855 a 700°C	111 a 149
1030	845 a 885°C	845 a 650°C	126 a 197
1035	845 a 870°C	845 a 650°C	137 a 207
1040	790 a 870°C	790 a 650°C	137 a 207
1045	790 a 870°C	790 a 650°C	156 a 217
1050	790 a 870°C	790 a 650°C	156 a 217
1060	790 a 845°C	790 a 650°C	156 a 217
1070	790 a 845°C	790 a 650 °C	167 a 229
1080	790 a 845°C	790 a 650°C	167 a 229
1090	790 a 830°C	790 a 650°C	167 a 229
1095	790 a 830°C	790 a 655°C	167 a 229

Nota: Esta tabla se aplica para piezas forjadas hasta 3" de sección. El tiempo se calcula como 1 hora por pulgada hasta 1" de espesor y se agrega 1/2 hora por cada pulgada adicional. La velocidad de enfriamiento del horno es de 10°C por hora.

1.2.2 RECOCIDO PARA MAQUINABILIDAD

Las estructuras óptimas para maquinar aceros de diferentes contenidos de carbono son las siguientes:

% de carbono	Estructura óptima
0.06 a 0.20	Estructura de laminación.
0.20 a 0.30	Hasta 75mm de diámetro: normalizada; más de 75 mm laminada
0.30 a 0.40	Recocida para dar perlita gruesa y un mínimo de ferrita.
0.40 a 0.60	Perlita laminar gruesa a carburos esferoidizados.
0.60 a 0.80	100% de carburos esferoidizados finos y gruesos.

1.2.3 RECOCIDO DE ACEROS FORJADOS

En muchas piezas de forja es posible desarrollar una estructura conveniente para un maquinado posterior transfiriendo directamente las piezas forjadas

desde la operación de forja a un horno calentado a la temperatura de transformación conveniente, manteniéndolas allí durante el tiempo necesario para permitir que toda la austenita se transforme, y enfriándolas luego en el aire.

En ésta operación la temperatura de austenitización efectiva es la temperatura de terminación del forjado y no la temperatura del horno. Si la forma de las piezas es sencilla se puede esperar una estructura uniforme. Sin embargo, en piezas forjadas de forma irregular, donde algunas terminarán más frías que otras, la estructura no es uniforme.

Las piezas forjadas transformadas a partir de la temperatura de forja, especialmente las de alto contenido de carbono, serán más duras que las piezas de forja recocidas por el procedimiento habitual. Por ésta razón, el tratamiento de transformación directa del acero desde la operación de forja en caliente es a veces útil como un paso preliminar en el ciclo de recocido usual. Esto es particularmente aplicable a aceros de alta templeabilidad sensibles a fisuración cuando se les enfría en el aire luego de la forja o laminación.

1.2.4 RECOCIDO DE PIEZAS DE COLADA

Habitualmente, el recocido es el único tratamiento que se da a muchos aceros colados. Los aceros de baja aleación son menos frecuentemente recocidos que los aceros al carbono.

1.2.5 RECOCIDO DE ACEROS EN LAMINAS Y CINTA

Las hojas de acero al carbono, laminadas en frío, son recocidas a temperaturas subcríticas a fin de ablandar el material para un subsecuente trabajo en frío. Este tipo de recocido, llamado en proceso, implica la recristalización del acero trabajando en frío a temperaturas entre la temperatura de recristalización y la temperatura crítica más baja, seguida de un enfriamiento lento.

La dureza del acero depende mucho de la temperatura, de la duración del recocido y de la intensidad de la deformación previa. Los ciclos del recocido varían con la dureza y la formabilidad requeridas. Las temperaturas de recocido máximas están gobernadas por el espesor de las láminas, rugosidad superficial deseada, la textura y la magnitud del trabajo en frío previo.

Por lo general, para aplicaciones de estampado profundo que requieren una máxima deformabilidad se emplean tiempos de recocido de 24 horas o más, a una temperatura de 730°C. Para conformado sencillo o doblado simple, se

emplean temperaturas más bajas y tiempos más cortos.

PARTE SEGUNDA

2. TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL REVENIDO

2.1.1 ACERO ASSAB

* ARNE

Elegir la temperatura de acuerdo con la dureza requerida según el gráfico de revenido. Revenir dos veces con enfriamiento intermedio a la temperatura ambiental. Mínima temperatura de revenido 180°C. Tiempo mínimo de mantenimiento de temperatura, 2 horas.

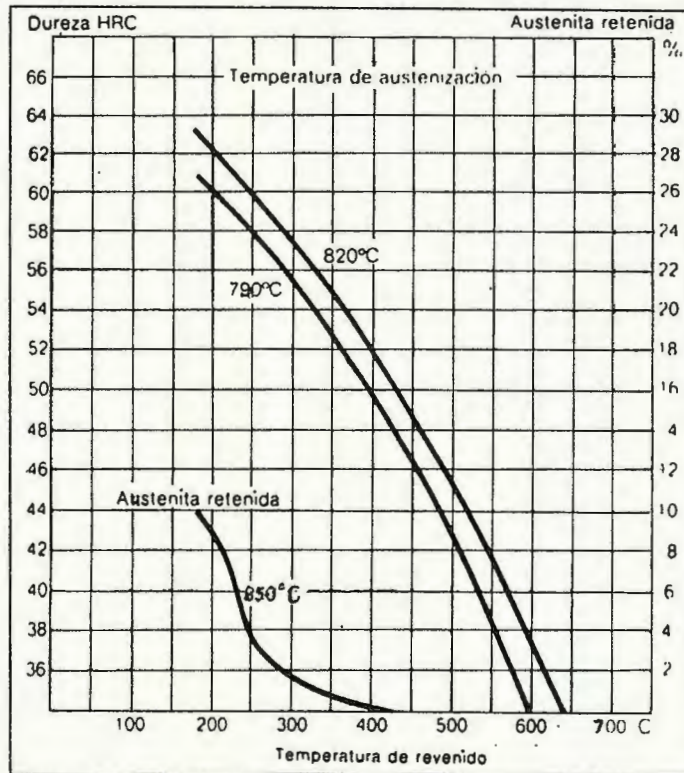


Gráfico de revenido del acero ASSAB ARNE.

* XW-41 (0-2)

Elegir la temperatura de revenido según la dureza requerida, tomando como referencia las curvas de temperatura. Revenir dos veces, con enfriamiento intercalado a temperatura ambiente. Temperatura mínima de revenido: 180°C(360°F). Tiempo de mantenimiento a temperatura mínimo: 2 horas.

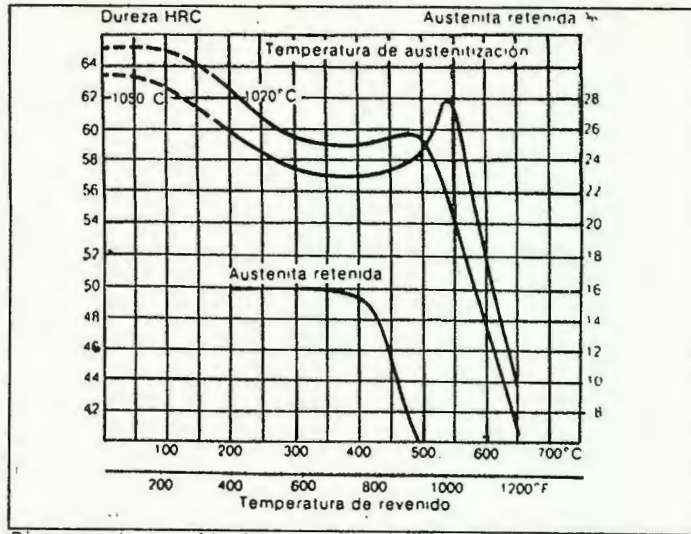


Diagrama de revenido del acero ASSAB XW-41.

***705 (Acero especial bonificado)**

Revenido: 550°-675°C. El revenido está en función de la dureza de trabajo el cual se escoje por medio del diagrama de revenido. Se calculará el tiempo a temperatura en minutos multiplicados por el factor 2.5 x el espesor en mm. siempre y cuando éste no resulte menor de 30 minutos.

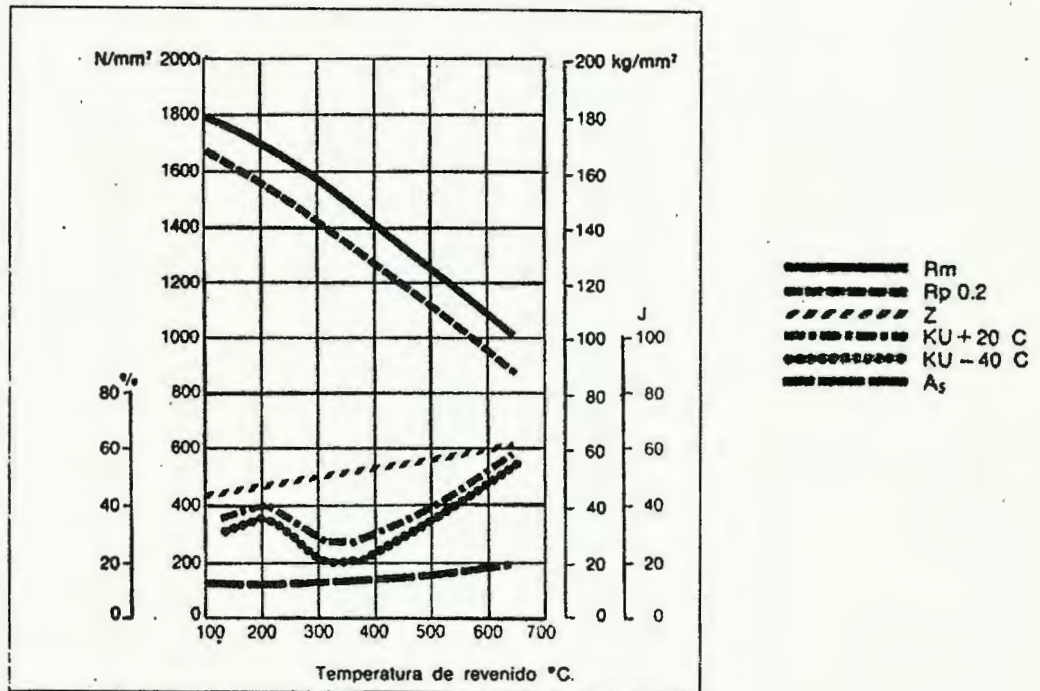


Diagrama de revenido del acero ASSAB 705.

*** XW5**

Elegir la temperatura de acuerdo con la dureza requerida según el gráfico de revenido. Revenir dos veces a temperatura ambiental. Mínima temperatura de revenido: 180°C. Tiempo mínimo : 2 horas.

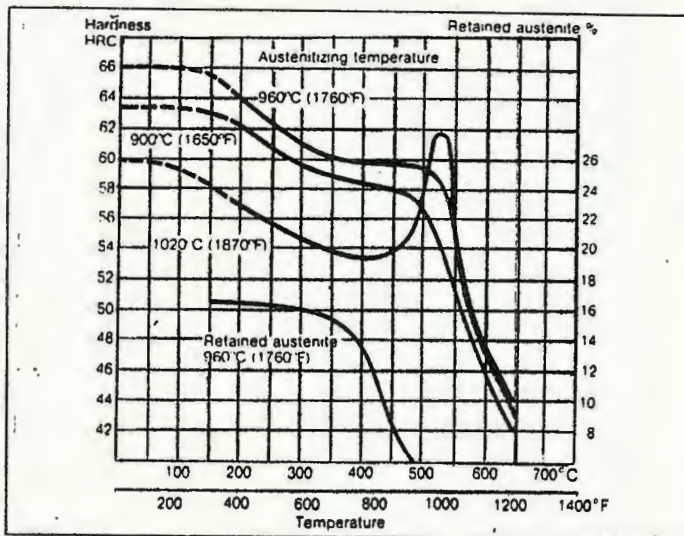


Diagrama de revenido del acero ASSAB XW5

2.1.2 ACEROS BOEHLER

*** EH (EMS 45)**

Temperatura de revenido: 100-300°C dependiendo de su utilización o 550-660°C

Duración del revenido: 2 horas.

Sección de la probeta: 150mm

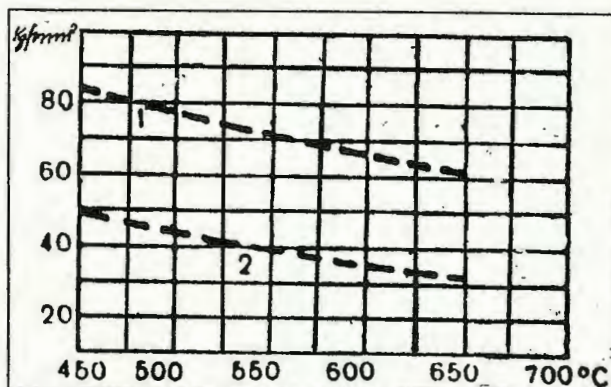


Diagrama de revenido del acero BOEHLER EH.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

* AMUTIT S

Temperatura de revenido: según el diagrama, normalmente 100-300°C

Duración del revenido: 1 hora.

Sección de la probeta: 20mm

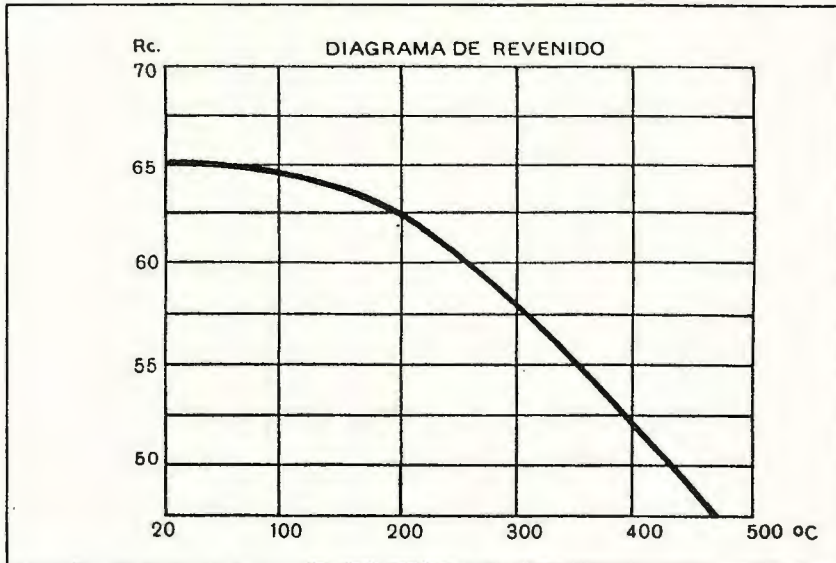


Diagrama de revenido del acero BOEHLER AMUTIT S.

* GNOM EXTRA y GNOM

Temperatura de revenido: según el necesidad (100-300°C)

Duración de revenido: 1/2 hora.

Sección de la probeta: 20mm.

———— GNOM EXTRA

----- GNOM

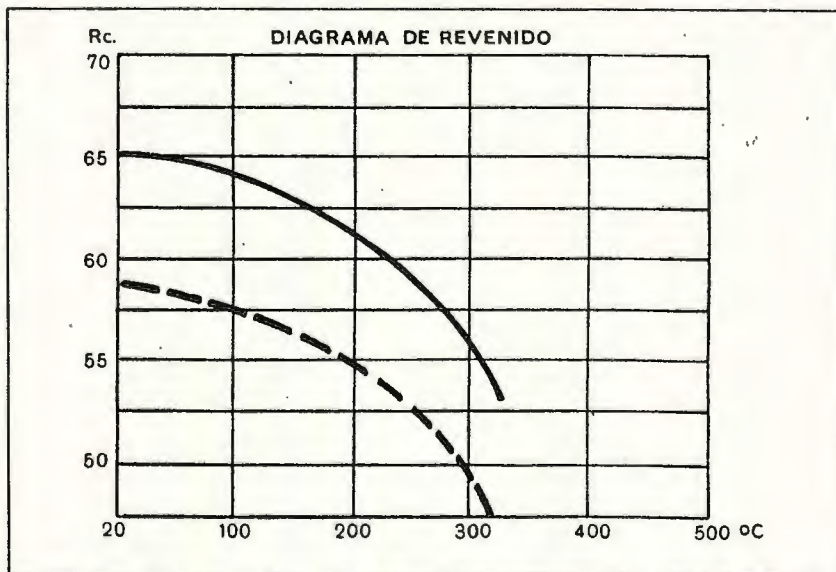


Diagrama de revenido de los aceros BOEHLER: GNOM EXTRA y GNOM.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL RECOCIDO

2.2.1 ACEROS ASSAB

* ARNE

Recocido blando:

Proteger el acero y calentarlo en toda su masa a 780°C. Luego enfriarlo en el horno 10°C por hora hasta 650°C y por último libremente en el aire.

Eliminación de tensiones:

Después del desbastado en máquina, debe calentarse la herramienta en toda su masa a 650°C. Tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500°C y después libremente al aire.

* XW-41

Recocido blando:

Proteger el acero y calentarlo hasta 850°C (1560°F). Enfriarlo en el horno a 10°C (20°F) por hora hasta que la temperatura baje a 650°C (1200°F), y luego dejarlo enfriar libremente al aire.

Recocido para eliminar tensiones:

Después del mecanizado de desbaste, la herramienta debe calentarse hasta los 650°C (1200°F) durante 2 horas. Hacer que baje la temperatura lentamente hasta los 500°C (930°F), y luego dejar que la herramienta se enfríe libremente al aire.

* XW5

Proteger el acero y calentarlo hasta 850°C (1560°F). Enfriarlo en el horno a 10°C (20°F) por hora hasta que la temperatura baje a 650°C (1200°F), y luego dejarlo enfriar libremente en aire.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

* 705 (acero bonificado)

Recocido blando:

690°-720°C. A ésta temperatura se mantiene el acero por espacio de dos horas, para luego dejarlo enfriar en el horno a una velocidad máxima de 15°C por hora hasta lograr los 600°C. Después se deja libremente al aire alcanzando una dureza máxima de 241 Brinell.

Alivio de tensiones:

525°-650°C. El acero debe ser calentado hasta una temperatura de 25°C más abajo de la usada para el revenido. Cuando en la mecanización se presentan tensiones, o por su configuración presenta un ángulo de 90° debe llevarse el acero a 600°-650°C. Teniendo a su vez el acero a esta temperatura por un espacio entre 30 minutos y 120 minutos, después de haberse calentado la pieza uniformemente.

2.2.2 ACEROS BOEHLER

* EH (EMS 45)

Temperatura:	de forjado:	1100-850°C
	recocido	650-700°C
Resistencia a la tracción en estado de recocido		55-65 kp/mm ²

* AMUTIT S

Temperatura:	de forjado	1050-850°C
	recocido	760-780°C enfriamiento lento en
el horno hasta:		600°C.

* GNOM EXTRA
- GNOM

Temperatura:	forjado	GNOM EXTRA	GNOM
	de recocido	1000-800°C	1100-800°C.
		680-710°C	680-710°C.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

2.3 PRACTICA DE REVENIDO DE LOS ACEROS

2.3.1 PRACTICA # 1

Se llama revenido al calentamiento de una estructura martensítica dura y frágil, se emplea para mejorar la ductilidad y la tenacidad, generalmente a expensas de una reducción en la resistencia a la fluencia. También sirve para relevar esfuerzos introducidos por el enfriamiento rápido durante el temple.

Los materiales por ensayar son:

1. Un acero BOEHLER EH(EMS 45), SAE/AISI 1045
2. Un acero ARNE (ASSAB), SAE/AISI 01
3. Un acero (ASSAB 705), AISI/SAE 4340

Todos los materiales deberán estar ya templados.

Seleccionar muestras para las pruebas de tracción sométerlas a un tratamiento de revenido de acuerdo a las especificaciones indicadas por cada material (ítem 2.1) .

- Se realizarán los ensayos de dureza sobre las probetas.
- Realizar los ensayos de tracción y obtener las curvas tensión-deformación para cada acero.
- Obtener de ellas los valores del límite de fluencia, la resistencia máxima a la tensión y la deformación por ciento.
- Comparar los valores.
- Llenar el cuadro siguiente y sacar conclusiones.

No.	Material:	Temperatura en °C	Dureza HRC	USO
Conclusiones:				

2.3.2 PRACTICA # II

REVENIDO DE ACEROS (GRÁFICA DE HOLLOMON-JAFFE)

Durante el revenido de los aceros templados se produce un ablandamiento del acero, a medida que aumenta el tiempo y la temperatura de revenido. El ablandamiento puede representarse por curvas isócronas, en una gráfica de dureza en función de la temperatura, a tiempos de revenido fijos.

Alternativamente, la dureza puede ser representada en función del tiempo a una serie de temperaturas fijas (curvas isotérmicas). Si estas curvas se representan en escala logarítmica del tiempo resultan líneas rectas para cada temperatura.

Como el ablandamiento depende del tiempo y de la temperatura, simultáneamente, la forma más conveniente para representar el revenido es por líneas de isodureza en un diagrama de temperaturas en función logarítmica del tiempo.

Otra manera para evitar la dificultad de una representación bidimensional de tres variables es usar un parámetro de revenido. Se han sugerido una variedad de parámetros, pero el que mejor responde al comportamiento de los aceros durante el revenido es el parámetro H, de Hollomon y Jaffe, dado por la expresión:

$$H = f [T (c + \log t)]$$

donde:

T = temperatura absoluta °K.

t = tiempo en segundos.

c = constante del acero.

La constante c no es afectada por las unidades de temperatura elegidas sino que depende sólo de las unidades de tiempo. Para la mayoría de los aceros al carbono y de baja o media aleación, con 0.15 a 0.5% c, es suficiente tomar c = 20 cuando el tiempo se mide en horas.

Parte experimental: *Se revenirá un acero AISI /SAE 4340 (ASSAB 705) en un intervalo de temperatura entre 200 a 650°C, a tiempos comprendidos entre 0 y 24 horas.*

Haga los ensayos y grafique:

- 1. Las curvas isotérmicas.*
- 2. Las curvas isócronas.*
- 3. Construya la curva de Hollomon y Jaffe a partir de los valores experimentales.*

2.3.3 PRACTICA # III

TRATAMIENTO TÉRMICO DE RECOCIDO

Este tratamiento térmico es sencillo y, en general, no presenta problemas excepto que se haya hecho una elección incorrecta de la temperatura de austenitización. Por medio de ellos es posible obtener una estructura blanda y dúctil, libre de tensiones y homogénea. En esta práctica se usarán dos tratamientos de recocido diferentes y se verá el efecto de un tratamiento incompleto.

Los aceros a emplear son:

- 1. Un acero SAE 1020 (acero de transmisión)*
- 2. Un acero al carbono con 1.53% C. (ASSAB XW 41)*
- 3. Un acero aleado SAE 4340 (ASSAB 705)*

Se dispondrá de un batería de horno calentados a 1100°C, 950°C, 750°C y 600°C.

Se proporcionará a cada grupo de alumnos seis muestras de un acero al carbono, seis muestras del acero aleado y dos probetas de tracción de este último. Las probetas para tracción se maquinarán de acuerdo con el tipo de máquina de tracción disponible en el laboratorio.

2.3.3.1 MUESTRA DE ACEROS AL CARBONO (ASSAB XW 41)

Medir la dureza en cada-una de estas muestras. Colocar una muestra en cada uno de los hornos a las temperaturas indicadas, dejarlas durante una hora y apagar la alimentación de los hornos. Las muestras deberán permanecer en el interior del horno hasta que éste se enfríe hasta 400°C.

En el horno de 950°C se pondrá un muestra extra que, en lugar de ser enfriada dentro del horno, se dejará enfriar al aire.

2.3.3.2 MUESTRAS DEL ACERO ALEADO (ASSAB SKF 3-25)

Se procede igual que en los aceros de carbono, excepto que las dos muestras de tracción se tratarán junto con las otras en el horno de 950°C. Una de ellas se dejará enfriar en el horno y las otras al aire.

PARTE TERCERA

3. CUESTIONARIO

3.1 ¿ Porqué es necesario el tratamiento de revenido? ¿En que consiste?

3.2 ¿ Qué modificaciones introduce el revenido en las características mecánicas?

3.3 ¿ Qué modificaciones estructurales introduce el revenido en la constitución del acero?

3.4 ¿ Qué se pretende conseguir con el recocido?

3.5 ¿ Que diferencia hay entre recocido y normalizado?

3.6 ¿ Como se verá afectada la microestructura de las muestras recocidas si, después de retirarlas del horno de recocido, se sumergen en agua, en vez de dejarlas enfriar en aire?.

BIBLIOGRAFIA

* CIENCIA DE MATERIALES. Teoría-Ensayo-Tratamientos- P. Coca Rebollero- J. Rosique Jiménez. Pirámide S.A. -Madrid. 1992.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ACEROS y sus Prácticas de Laboratorio- D.M.K. de Gríngerg - Limusa- México, DF. 1989.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS -José Aprais Barriero. Editorial Dossat Sa. Madrid, 1985.

* INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA. SYDNEY H. ABNER. McGraw Hill. México, 1987.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS METALES. Pare Molera Salá. Marcombo, S.A. 1991. BARCELONA.

* Folletos de los Aceros "ASSAB" .

* Folletos de los Aceros "BOEHLER" .

Laboratorio # 10

TRATAMIENTO TÉRMICO: CEMENTACIÓN

UNIVERSIDAD DON BOSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA

Tratamientos térmicos:
cementación.



METALURGIA Laboratorio # 10

Objetivos:

- * *Estudiar un acero típico, endurecible por cementación.*
- * *Conocer los medio de enriquecimiento superficial de los aceros al carbono, el cual logra un núcleo relativamente resistente y dúctil, a la vez que una superficie dura y resistente al desgaste.*

Cementación, consiste en aumentar la concentración de carbono en la superficie de un acero, calentándolo a la temperatura de austenización, en presencia de un medio cementante.

Se utilizan diversos materiales para suministrar el carbono que ha de absorber el acero durante la cementación. Los más empleados suelen ser el carbón vegetal, el negro animal, huesos calcinados, cuero, etc., mezclados con carbonato de bario, calcio y sodio.

PARTE PRIMERA

1. CARBURACIÓN O CEMENTACIÓN

La función de un medio carburante es suministrar carbono a la superficie del acero, que éste sea absorbido y que se difunda hacia su interior.

Tal proceso permite el uso de aceros más baratos pero que, por sus altos contenidos de carbono en superficie, sean susceptibles, por temple, de tener una superficie endurecida a la vez que presenta un núcleo blando, más resistente al impacto.

La cementación puede hacerse en un medio sólido, líquido o gaseoso, dependiendo del monto de la producción y de la disponibilidad de equipo. En todos estos medios existe un componente capaz de suministrar carbono y éste se llama agente carburante, puede ser carbón, cianuro o hidrocarburo. Así, se puede hablar de cementación gaseosa, líquida o sólida.

1.1 CEMENTACIÓN GASEOSA

En la cementación gaseosa el agente carburante puede ser un hidrocarburo gaseoso, tal como gas natural o propano, o hidrocarburos líquidos tales como terpenos, bencenos, alcoholes, glicoles o cetonas. En este último caso, el líquido se introduce en el horno haciéndolo gotear sobre una placa donde se evapora casi instantáneamente y es térmicamente disociado en monóxido y dióxido de carbono, metano y vapor de agua.

Además del agente carburante, la atmósfera está constituida por un gas portador con el fin de aumentar el volumen y facilitar la circulación de la atmósfera, lo que promueve una mayor uniformidad en la cementación.

El gas portador puede ser alguna de las atmósferas protectoras, tales como las bases exotérmicas ricas, de las bases de nitrógeno pobres o ricas o de base endotérmica completamente quemadas a las que se ha enfriado para prevenir la conversión de monóxido a dióxido.

Debido a que los medios de cementación gaseosa son muy tóxicos, inflamables y explosivos, se deben manejar con cuidado. Estas atmósferas no se deben introducir en el horno a temperaturas por debajo de 750°C ni deben dejarse enfriar en el horno por debajo de esta temperatura con la atmósfera en su interior. Antes de llegarse a esta temperatura, el horno se debe purgar con un gas inerte tal como nitrógeno o dióxido de carbono. La mayoría de las atmósferas que contengan más de 4% de hidrógeno o 12.5% de monóxido de carbono o 7% de la suma de ambos componentes son peligrosas y, en presencia de pequeñas cantidades de oxígeno, pueden estallar. Tales cantidades se indican en la tabla I.

Tabla I: Límites de inflamabilidad dados por las International Critical Tables		
Gases inflamables	Límites de concentración	Oxígeno requerido
Hidrógeno	9.0 a 68.6%	6.59% mínimo
Monóxido de carbono	13.0 a 77.6%	4.7% mínimo
Metano	5.5 a 13.6%	16.1 mínimo

1.1.1 EFECTO DE LA TEMPERATURA

La cementación se realiza a una temperatura a la cual el acero esté en fase austenítica, dado que la solubilidad del carbono es mayor en esta fase que en la fase ferrita.

A una temperatura de 950°C la velocidad con la cual el carbono se introduce en el acero es mayor en 40 a la que existe a 870°C. Por esta razón se prefiere hacer la cementación a dicha temperatura. Esto asegura una cementación rápida sin mayor deterioro del horno.

Cuando se desea obtener capas cementadas delgadas se emplean temperaturas más bajas, mientras que se obtienen capas profundas a temperaturas más altas. A cada temperatura de cementación, la concentración del carbono en la superficie del acero está dada por el límite de solubilidad del carbono en la austenita a esa temperatura. En la figura 1.1 se muestra el efecto de la temperatura para 870°, 900°, y 925°C, durante cuatro horas de tratamiento, de los aceros SAE 1020 y SAE 8620. En la figura se ve cómo la temperatura y el tipo de acero afectan el contenido de carbono en superficie y la profundidad de la capa.

1.1.2 EFECTO DEL TIEMPO

Con el fin de evaluar el tiempo y la temperatura para realizar la cementación, Harris desarrolló una expresión con base en las leyes de la difusión en estado sólido. Esta es

$$X = 660 e^{-8287/T} \sqrt{t}$$

Donde:

X = profundidad de capa, expresada en mm.

t = tiempo en horas .

T = temperatura en grados Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273$).

Para temperaturas específicas de cementación, la expresión queda reducida a la siguiente forma sencilla:

$$X = K \sqrt{t}$$

Para:

925°C, $K = 0.635$

900°C, $K = 0.533$

870°C, $K = 0.457$.

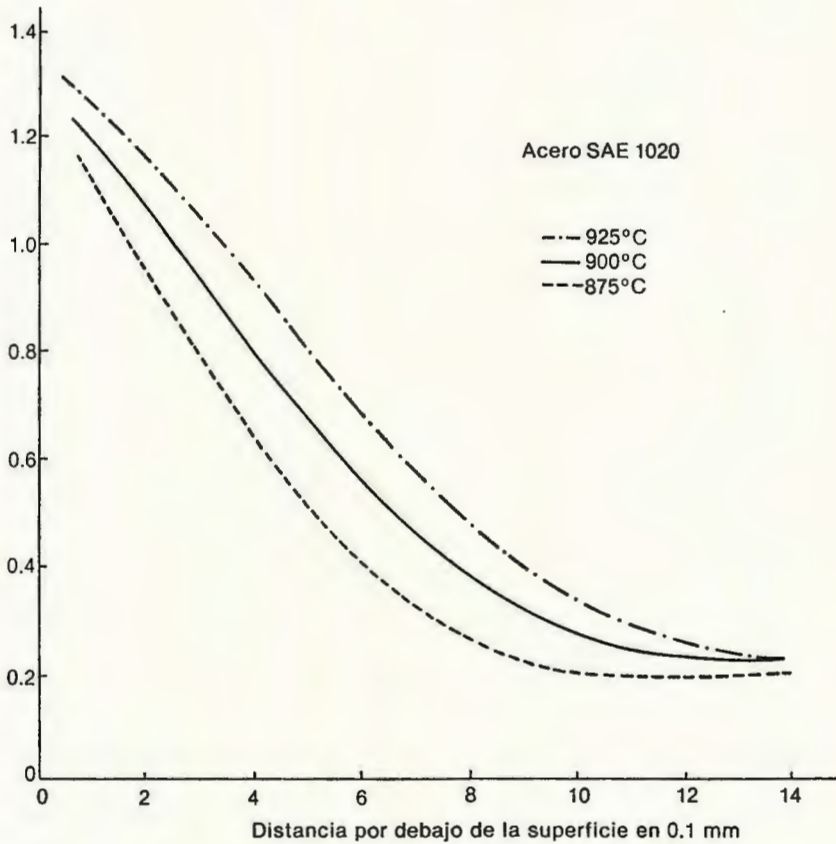
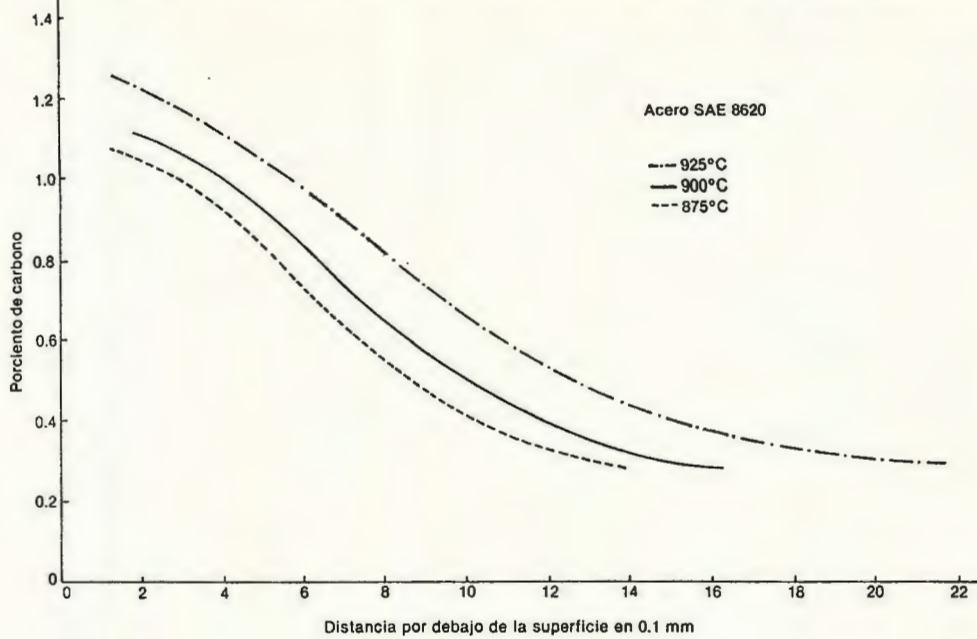


Fig. 1.1 Efecto de la temperatura de cementación gaseosa sobre el contenido de carbono en superficie y la profundidad de capa para dos aceros SAE 1020 y SAE 8620.

La tabla II muestra los resultados de aplicar la fórmula de Harris para distintos tiempos y temperaturas.

En la mayoría de los casos un contenido de carbono en superficie igual al límite de solubilidad del carbono en la austenita, da superficies cuya dureza es baja, luego del temple, por la presencia de austenita retenida. Además, las capas de muy alto carbono se pueden desprender por efecto de las tensiones de temple. En la figura 1.2 se muestra el efecto del contenido de carbono sobre la dureza de la capa cementada resultante, en el caso de un acero SAE 1024.

Un contenido de austenita menor del 15% no es perjudicial, sobre todo si está finamente dispersa, dado que la austenita, por ser una fase dúctil, es capaz de acomodar las tensiones de temple. Cantidades mayores, al transformarse, luego del temple en un entorno martensítico duro, producen fisuras de revenido. Por lo tanto, es importante que el contenido de carbono en superficie sea del orden de la composición eutectoide o ligeramente superior a ella.

Tabla II. Valores de profundidad de capa calculados por la fórmula de Harris

Tiempo t en horas	Profundidad de capa cementada luego de un tratamiento		
	a 870°C	a 900°C	a 925°C
2	0.64 mm	0.76 mm	0.89 mm
4	0.89 mm	1.07 mm	1.27 mm
8	1.27 mm	1.52 mm	1.80 mm
12	1.55 mm	1.85 mm	2.21 mm
16	1.80 mm	2.13 mm	2.54 mm
20	2.01 mm	2.39 mm	2.84 mm
24	2.18 mm	2.61 mm	3.10 mm
30	2.46 mm	2.95 mm	3.48 mm
36	2.74 mm	3.20 mm	3.81 mm

Para disminuir el carbono de la superficie basta suprimir el agente carburante de la atmósfera poco antes de terminar la cementación. Esto produce un empobrecimiento de carbono en superficie como muestra la figura 1.3.

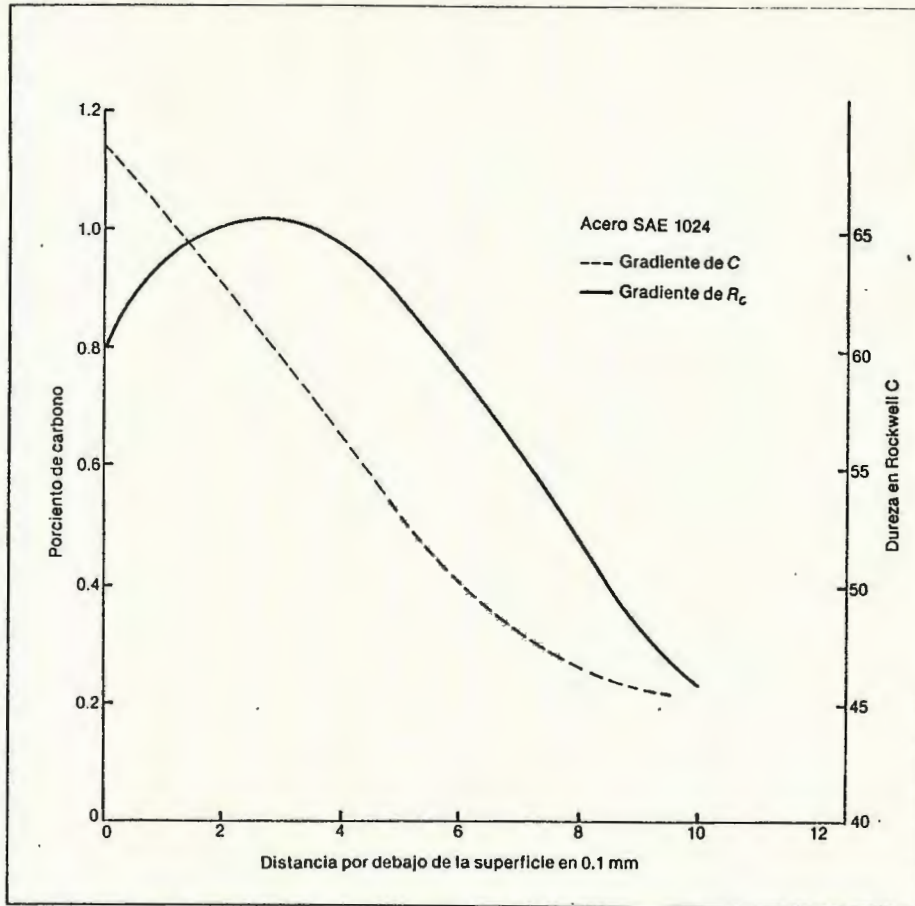


Fig 1.2 Efecto del contenido de carbono sobre la dureza de una capa cementada para un acero SAE 1024.

Harris dedujo otra fórmula que permite calcular el tiempo de cementación y de difusión para producir una capa de cierta dureza, con un contenido de carbono prefijado. Así:

$$t_c = t_T (C - C_i / C_o - C_i)^2$$

$$t_D = t_T t_c$$

donde:

t_c = tiempo de cementación

t_D = tiempo de difusión

t_T = tiempo total = $t_c + t_D$

C = concentración de carbono deseada en superficie.

C_o = concentración de carbono en superficie al final del ciclo de concentración.

C_i = concentración de carbono en el núcleo o concentración inicial.

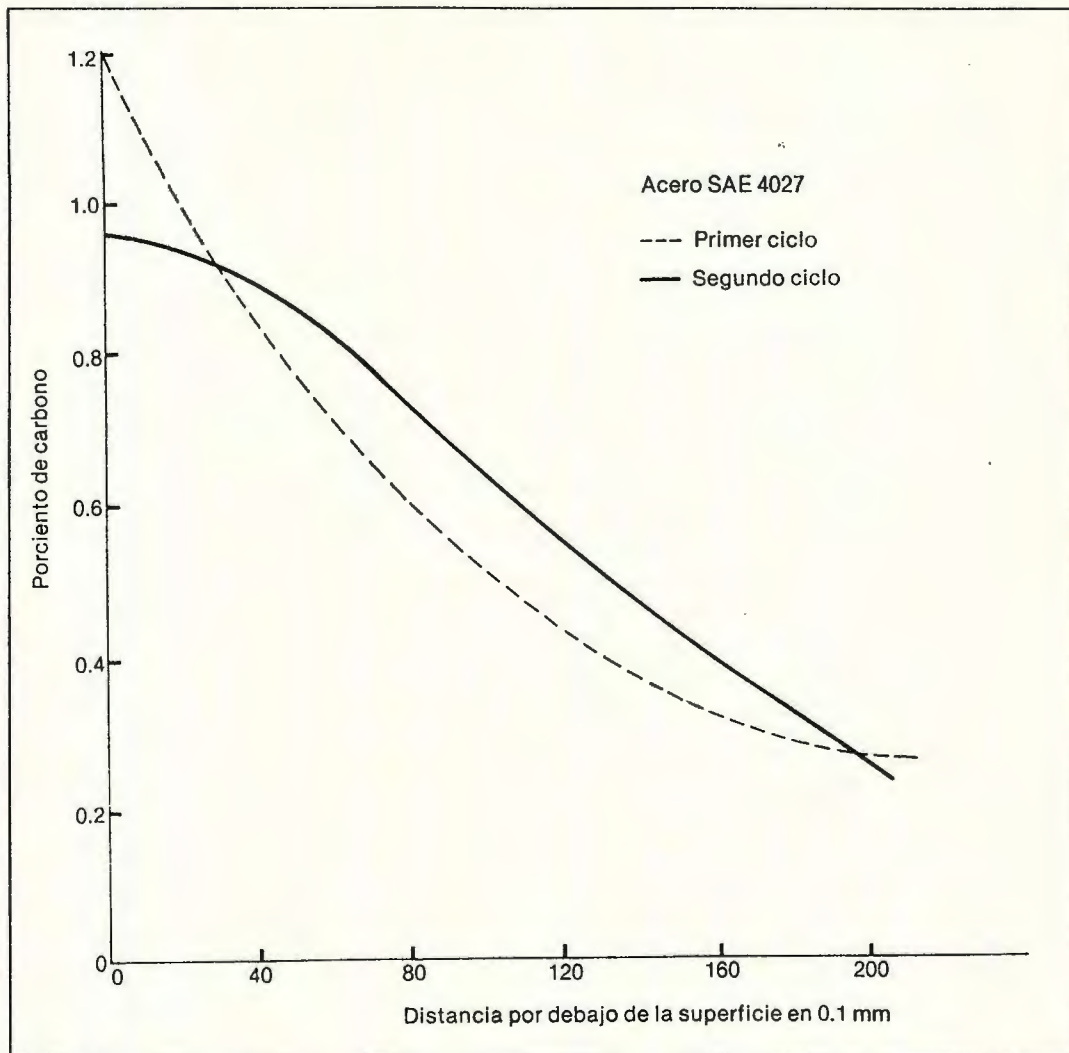


Fig. 1.3 Efecto de una segunda etapa, sin agente carburante, en el contenido de carbono en superficie en un acero SAE 4027.

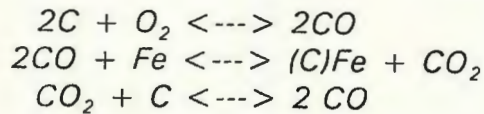
1.1.3 TEMPLE DE PIEZAS CEMENTADAS

Después que las piezas han sido cementadas, existen dos opciones: temple directo o enfriamiento hasta la temperatura ambiente y luego austenitización y temple. El temple directo es más barato y esta es la razón por lo que la mayoría de las piezas cementadas son templadas desde la temperatura de cementación o desde alrededor de 850°C . Por lo general, se temple desde temperaturas más bajas que la cementación para evitar gradientes térmicos altos y en consecuencia, distorsiones, fisuras y desprendimiento de las capas.

El temple indirecto se aplica fundamentalmente a aceros altamente aleados, en particular aceros de alto níquel y en los casos de piezas con formas complicadas o con una dimensión mucho más grande que las otras dos.

1.2 CEMENTACIÓN SOLIDA O EN CAJA

En la cementación en caja el agente carburante es también el monóxido de carbono generado por reacción entre el carbón que rellena la caja con aire atrapado entre las partículas de polvo del relleno, según la secuencia de reacciones siguientes:



La presencia de activadores catalizadores, tales como carbonato de bario o de sodio, aceleran las reacciones y reconstituyen continuamente hasta concluir con todo el carbón presente.

El nombre de este proceso proviene del hecho de que las piezas se colocan en cajas cerradas empacándolas con el componente carburante. Se coloca una capa de 2 a 5 cm de espesor en el fondo de la caja. Luego se colocan las piezas y, si es necesario, soportes y/o separadores; después se rellena la caja con el compuesto y se tapa.

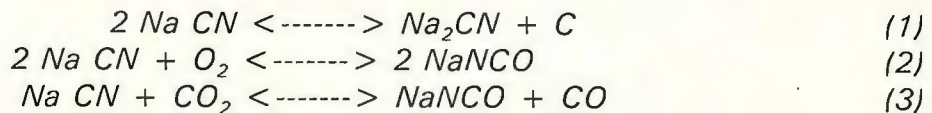
En estas condiciones la caja se introduce en el horno a temperaturas entre 810°C y 950°C. Cuanto más elevada es la temperatura, más rápidamente se cementa el acero y también son mayores el contenido de carbono en la superficie de la capa resultante y la profundidad de la capa. Sin embargo, las temperaturas de cementación elevadas aumentan el tamaño de grano austenítico con el consiguiente deterioro de las propiedades mecánicas del material.

Es evidente que la cementación en caja no permite el temple directo pero puede ser un buen método, eficiente y económico, para tratar lotes de piezas pequeñas, que requieran capas gruesas. Además, puede ser conveniente cuando no se dispone de ningún otro equipo de cementación. Su mayor desventaja es que resulta difícil obtener capas cementadas delgadas dentro de especificaciones muy estrechas. A veces es posible seguir el proceso por medio de clavos del mismo acero a tratar, que se introducen, luego de tapar la caja, a través de la parte superior y que se pueden quitar, templar y quebrar para determinar la profundidad de capa o se pueden usar para analizar el contenido de carbón en superficie.

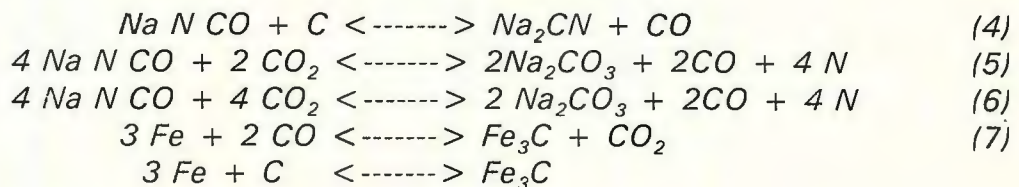
1.3 CEMENTACIÓN LIQUIDA

Es ésta técnica el medio carburante es un baño de cianuro de sodio a una temperatura por encima de A_{c1} .

En la tabla III se muestran las composiciones de baños de sales fundidas de bajas temperaturas (entre 845° y 900°C), o de altas temperaturas (900° a 955°C). Los primeros se operan bajo una cubierta protectora de carbón granulado y las reacciones que se producen son:



Las reacciones que controlan el porcentaje de cianuro son:



Las reacciones (5) y (6) disminuyen la reactividad del baño

Tabla III Composiciones de operación de baños de cementación líquida		
Constituyente	Baja temperatura	Alta temperatura
Cianuro de sodio	10 a 23%	6 a 16%
Cloruro de bario	0 a 40%	30 a 55%
Sales de otros alcalino-térreos ^a	0 a 10%	0 a 10%
Cloruro de potasio	0 a 25%	0 a 20%
Cloruro de sodio	20 a 30%	0 a 20%
Carbonato de sodio	30% máximo	30% máximo
Otros aceleradores ^b	0 a 5%	0 a 2%
Cianuro de sodio	1.0% máximo	0.5% máximo

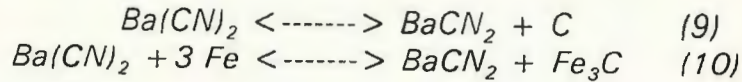
Estos baños de sales fundidas producen capas delgadas con composición eutectoide cuando se trabajan a temperatura media, pero cuando se emplean valores hacia abajo o hacia arriba de la temperatura media se pueden obtener capas superficiales hipo o hipereutectoides.

^a Se han empleado cloruros de calcio y de estroncio. El cloruro de calcio es más efectivo pero su uso es más limitado debido a su higroscopicidad.

^b Dióxido de manganeso, óxido de boro, fluoruro de sodio y carburo de silicio.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Los otros baños de sales se operan a temperatura entre 900° y 950°C . Aunque las reacciones en los baños son más o menos las mismas, a mayores temperaturas predominan las reacciones de cianamida:



Estos baños producen profundidades de capa de 0.5mm a 3mm ($0.020''$ a $0.120''$). En la figura 1.4 se muestra el efecto del tiempo de cementación sobre un acero SAE 4620 a 870°C .

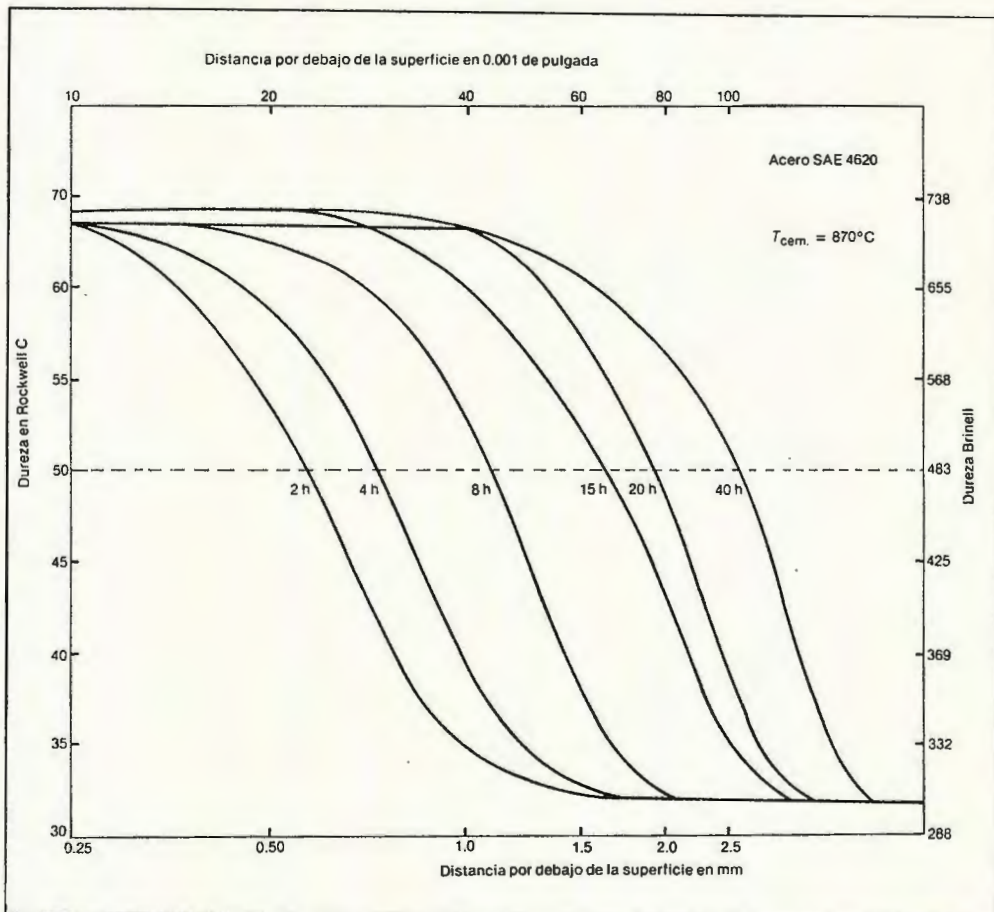


Fig. 1.4 Efecto del tiempo de cementación sobre la profundidad de capa de un acero SAE 4620.

PARTE SEGUNDA

2. ACEROS PARA CEMENTAR

Para poder tomar cualquier decisión, para elegir un determinado acero apropiado para el cementado, hay que contar con una información del mercado local. A continuación se detallan algunos aceros de cementación.

2.1 ACEROS BOEHLER

2.11 ECN 150

Tipo de aleación %: C 0.15; Cr 1.5; Ni 1.5

<i>Normas:</i>	<i>AISI:</i>	~ 3115
	<i>DIN</i>	15 CrNi 6
	<i>WstN</i>	5919

Color de certificación: Azul.

Estado de suministro: Recocido: max. 75 kp/mm²
(Brinell: max. 217 HB)

Acero especial de cementación aleado al cromo-níquel. Adquiere excelente dureza superficial en el temple de cementación.

Aplicaciones: Partes de maquinaria y repuestos de grandes dimensiones, de las cuales se exige muy alta dureza superficial tenacidad y resistencia el núcleo, por ejemplo: piñones, cigüeñales, ejes de cajas de velocidades, sinfines, palancas, piezas de dirección, vástagos, pines.

Instrucciones para el tratamiento:

Forjar: 1150-850°C

Recocer: 650-700°C

Cementación: 900-950°C

Enfriamiento: en aceite baño térmico de 160-250°C.

Recocido de refinamiento: 630-650°C-enfriamiento en el horno.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Temple de núcleo 840-870°C al aceite o baño térmico de 160-250°C

Temple de la superficie cementada:
800-830°C al aceite o baño térmico de 160-250°C

Revenido: 170-210°C

Duración del revenido: por lo menos una hora.

Características mecánicas:

Diam. mm	Límite de fluencia min kg/mm ²	Resistencia a la tracción min kg/mm ²	Alargamiento (L = 5d) min %	Concentración % min	Resistencia según DVM kgm-cm ²	Dureza Rockwell en la superficie Rc.
10	70	100-130	8	35	-	62
30	65	90-120	9	40	10	a
63	55	80-110	10	40	-	64

* Las características mencionadas se entienden en estado templado sin cementación.

Soldadura: Este acero es relativamente soldable. En este caso se debe calentar a una temperatura de 300-450°C y luego someter a un recocido: (680-720°C).

Electrodos recomendables según normas AWS-ASTM : E 11018 G.
En caso que la cementación de la costura no sea indispensable, se recomienda el uso de electrodos según normas DIN 8555- AWS: E 8-200 zrkn, o E 307-15.

2.1.2 EM 80

Tipo de aleación %: C 0.17; Mn 1.2; Cr 1.0

Normas:
AISI: ~ 5020 H
DIN: 16 MnCr 5
WstN: 7131

Color de identificación: Azul-Blanco.

Estado de suministro: Recocido. Máximo 70 kp/mm² (Brinel: 207 HB).

Acero especial de cementación con aleación al cromo-manganeso.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Aplicaciones: Elementos de maquinaria y repuestos de dimensiones medianas, que requieren de alta dureza en la superficie y muy buena tenacidad y resistencia en el núcleo. Engranajes y piñones, ejes sin fines, piezas de dirección, émbolos, etc.

Instrucciones para el tratamiento:

Forjar: 1150-850°C

Recocer: 650-700°C

Cementación: 900-950°C

Enfriamiento: En aceite o baño térmico de 160-250°C.

Recocido de refinamiento: 630-650°C. Enfriamiento en el horno.

Temple del núcleo: 850-880°C, al aceite, al agua o baño térmico de 160-250°C.

Temple de la superficie cementada:
810-840°C al aceite o baño térmico de 160-250°C

Revenido: 170-210°C

Duración del revenido: mínimo una hora.

Características mecánicas:

Diam. mm	Límite de fluencia min kg/mm ²	Resistencia a la tracción min kg/mm ²	Alargamiento (L = 5d) min %	Concentración % min	Resistencia según DVM kgm-cm ²	Dureza Rockwell en la superficie Rc.
11	-	85-115	-	-	-	62
30	60	80-110	10	40	8	a
60	-	70-95	-	-	-	65

* Las características mencionadas se entienden en estado templado sin cementación.

Soldadura: Este acero es relativamente soldable. En este caso se debe calentar a una temperatura de 300-450°C y luego someter a un recocido (650-700°C).

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Electrodos recomendables según norma AWS.ASTM: E 8013-B2 ó
E8016-B2

2.2 ACEROS ASSAB

2.2.1 SKF-145A = ASSAB 7210

Tipo de aleación %:	C;	Si;	Mn;	Cr;	Ni;	S
ASSAB 7210	0.15;	0.3;	0.9;	0.8;	1.0;	0.04
SKF 145A	0.16;	0.3;	0.9;	0.8;	1.0;	0.04

Color de identificación: azul y aluminio.

Equivalente aproximado:

AISI/SAE	3215
WERKSTOFF	5919
DIN	15Crnl6
B S	EN 352

ASSAB 7210 es un acero aleado para cementación especialmente para piñonería en el cual se combina la alta resistencia al desgaste superficial con la gran tenacidad al núcleo. Comparado con aceros con más alta aleación tipo 3% de níquel esta tiene una menor tendencia de formación de austenita residual.

Propiedades mecánicas después de templado:

Punto de cendencia: 11mm; 65kg/mm², 30mm;50kg/mm².

Resistencia a la tracción: máxima 70kp/mm².

Límite de fluencia: máxima, 59 kp/mm².

Dureza Brinell en estado de entrega: máxima 207 HB.

Dureza Rockwell: dureza después de templado, 60-63 HRC.

Cementación:

880-920°C. En caja con granulado, o polvo para cementación.

850-900°C. En baño de sal principalmente usado para profundidades de cementación hasta 0.5mm

900-940°C. En baño de sales o en gas. Cuando el caso requiera profundidades mayores de 0.5mm. Luego se reducirá la temperatura a 800°C. Antes de templarse en agua o en aceite.

Alivio de tensiones:

650-680°C. Mantengase la pieza por espacio de dos horas con un enfriamiento lento hasta 600°C. Cuando en la mecanización se presentan tensiones antes

UNIVERSIDAD DON BOSCO

de cementar, o cuando se produce distorsiones después de la cementación. Para luego someter la pieza nuevamente al temple.

Revenido:

160-200°C. Se mantiene a una temperatura uniforme por espacio de una hora. Dureza 58-63DRc, prevista para un mínimo de 0.5mm y para cementaciones menores se debe comprobar la dureza en Vickers o Rocwell 15N.

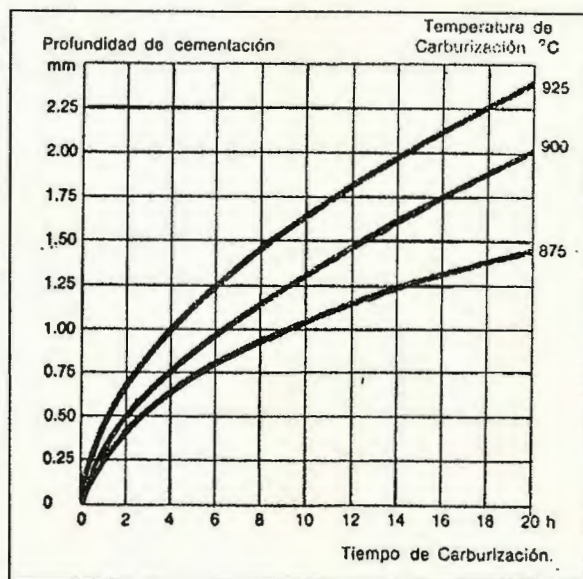


Diagrama de Cementación

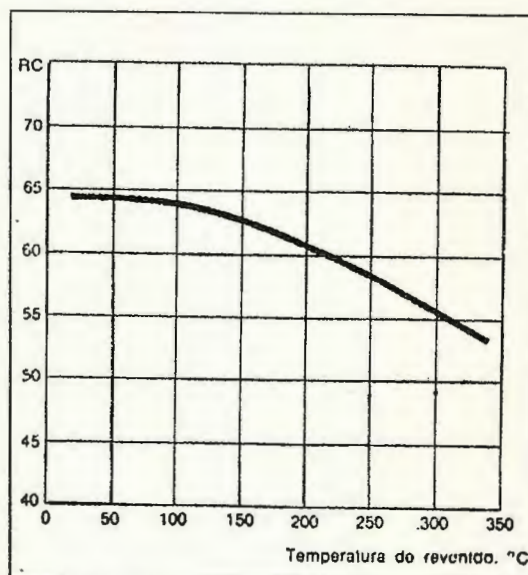


Diagrama de Revenido

Aplicaciones: Es un acero para cementación bajo el método M y R de SKF. Se utiliza para la fabricación de partes de máquinas, como ejes, piñones y piezas donde se requiere una superficie dura y núcleo tenaz.

Instrucciones para tratamiento térmico:

Forjado: 1100-800°C

Recocido suave 600-670°C

Normalizado 860-890°C

Cementado 850-900°C
880-920°C
900-940°C

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Dureza máxima 5863 HRC

Dureza con que se entrega el material: HB 217 Brinell.

2.2.2 BARRA PERFORADA SKF 280 = SANDVIK 4-LM

Tipo de aleación %:	C;	Si;	Mn;	S;	V.
SANDVIK 4-LM	0.18;	0.3;	1.5;	0.03	
SKF 280	0.18;	0.8;	1.5;	0.03;	0.1

Equivalente aproximado:

AISI	C1024
SAE	1024
WERKSTOFF	0831
DIN	ST52
BS	150M 19

Propiedades mecánicas:

	Resistencia a la rotura kp/mm^2	Límite elástico kp/mm^2	Alargamiento A5 min %
Laminado en frío	86	82	10
Laminado en caliente:			
Pared -25mm	66	48	22
+25mm	63	45	22

Aplicaciones: fabricación de bocines, pistas, para empatar funda de eje trasero de los carros y construcción de piezas donde se necesita ahorro de material y tiempo.

Instrucciones para tratamiento térmico:

880-920°C para carburación de polvo.
900-925°C para carburación con gas.
820-920°C para carburación con sales.

Recocido suave: 900-920°C

Relevado de tensiones: 550-600°C

Temple en agua: 900-920°C

Dureza Max: 58-63 HRc

Dureza con que se entrega el material: 170-190 Vickers.

Barras perforadas SKF 280 es un acero al manganeso con bajo contenido de carbono, fabricado con material puro por un proceso en dos etapas, fundición y retinado que produce un acero con un contenido mínimo de escoria, con lo cual se sigue un acabado más fino. Tiene buena soldabilidad.

PARTE TERCERA

3. PRACTICA DE CEMENTADO

3.1 PRACTICA # 1: Cementación de aceros.

Por medio del enriquecimiento superficial de los aceros de bajo carbono es posible obtener un núcleo relativamente resistente y dúctil, a la vez que una superficie dura y resistente al desgaste.

El proceso de cementación implica dos partes:

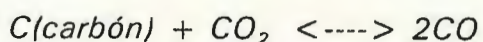
- 1. La disolución del carbono en la superficie del acero.*
- 2. Su difusión hacia el interior de la pieza.*

El método más primitivo, pero de uso generalizado, es la cementación en caja en la cual el acero se rodea de carbón que contiene carbonato de bario. El acero se calienta dentro de la caja cerrada durante tiempos variables, según la profundidad de capa deseada.

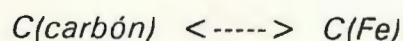
La reacción que se produce es:



donde el monóxido es regenerado por reacción del dióxido con el carbón de la caja:



Si se suman las dos ecuaciones anteriores se tiene:



UNIVERSIDAD DON BOSCO

En la cementación en caja, el carbono disuelto en la superficie del acero tendrá siempre una concentración que se aproxima a la del equilibrio con el carbón puro a la temperatura de cementación.

El carbono penetra por difusión atómica a través de un gradiente de concentración establecido entre la superficie y el núcleo. La teoría de la difusión muestra que cuando un soluto difunde en el interior de un sólido a través de una superficie de concentración de soluto constante constante (como es el caso de la cementación en caja), la distancia X [cm] a partir de la superficie a la cual la concentración inicial de soluto y la concentración en la superficie, está dada por:

$$X = \sqrt{tD}$$

Donde:

t = tiempo medido en segundos

D = difusividad del soluto expresada en $\text{cm}^2 \cdot \text{seg}^{-1}$.

Por tanto, es posible estimar la profundidad de la capa en función del tiempo de cementación a cualquier temperatura, conociendo la difusividad del carbono en la austenita. Esta está dada por la expresión:

$$D = D_0 \exp - Q/RT$$

Donde:

R = constante de los gases = 2 cal. mol^{-1}

T = temperatura en $^{\circ}\text{K}$.

Tanto D_0 como Q varían con la concentración de carbono pero, en primera aproximación, puede soponerse.

$D_0 = 0.2 \text{ cm} \cdot \text{seg}^{-1}$

$Q = 32.000 \text{ cal} \cdot \text{mol}^{-1}$

Parte experimental:

Use una serie de muestras de algún acero para cementación, en forma de barra, serán cementadas en una caja de hierro conteniendo:

<i>Carbón vegetal</i>	<i>53 a 55%</i>
<i>Coque</i>	<i>30 a 32%</i>
<i>Carbonato de sodio</i>	<i>2 a 3%</i>

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Carbonato de sodio 10 a 12%
Carbonato de calcio 3 a 4%

Una vez acomodadas las piezas y el relleno, la tapa de la caja se sella con arcilla. Se someten las muestras a los siguientes tratamientos:

Muestra	Temperatura	Tiempo	Enfriamiento
A	900°C	4 h	en caja
B	900°C	5 h	en caja
C	900°C	80 h	en caja
D	850°C	80 h	en caja
E	950°C	20 h	en caja

Las muestras se cortan por la mitad y una mitad se somete a un recalentamiento hasta la temperatura de temple (ver tabla IV) y se templen en salmuera. Luego se reviene durante 5 minutos a 200°C. Comente los resultados.

Tabla IV Algunas aplicaciones típicas de carburación en caja.

Acero SAE	Capa a 50 HRC	Temperatura de carburación	Temperatura de temple	Temperatura de revenido
1020	3.0 mm	925°C	790°C	150°C
1020	1.2 mm	925°C	790°C	150°C
1022	1.8 mm	940°C	790°C	205°C
1025	4.0 mm	955°C	830°C	
1030	4.0 mm	940°C		
1035	3.8 mm	940°C		
2317	1.8 mm	925°C		
2317	0.6 mm	925°C		
2317	0.9 mm	900°C		
2325	5.6 mm	955°C		
3115	4.0 mm	925°C		
8620	6.9 mm	1025°C	845°C	175°C

Sobre las mitades templadas se determinará la dureza Rockwell C en la dirección del radio a intervalos de medio milímetro. Dibuje el perfil de la capa cementada en una gráfica de dureza en función de la distancia del borde. Determine la capa total y la capa efectiva a 50 HRC. Verifique la desviación de la curva experimental respecto a la de la ecuación de Harris. Al finalizar resuma el laboratorio en el cuadro siguiente.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Proceso	Material	Carburante	Temperatura °C	Tiempo en min.	Espesor en mm	Dureza HRC		Aspecto de rotura
						int.	ext.	
<i>Conclusiones:</i>								

3.2 PRACTICA # II Restauración de Carbono

En muchos casos es deseable restaurar el carbono de la superficie de piezas que por un accidente o falta de experiencia, resultaron descarburadas.

La restauración de carbono debe dar como resultado:

- 1. Un gradiente uniforme de carbono de superficie hacia el centro de la pieza.*
- 2. A veces se busca, aunque esto es más difícil de obtener, una composición constante de centro a borde de la pieza.*

Parte experimental:

Empleando el procedimiento descrito en la práctica I se introducirán las probetas en un medio cementante sólido.

Se elegirá un tiempo y una temperatura conveniente empleando la expresión de Harris.

Luego del tratamiento se procede a determinar, por medio de microdurezas el perfil de restauración alcanzado. Es importante que luego de la restauración no quede un anillo descarburado intermedio ya que éste perjudica las propiedades finales de las piezas.

UNIVERSIDAD DON BOSCO

Al finalizar el laboratorio llene el siguiente cuadro:

Proceso	Material	Carburante	Temperatura °C	Tiempo en min.	Espesor en mm	Dureza HRC		Aspecto de rotura
						int.	ext.	
<i>Conclusiones:</i>								

3.3 PRACTICA # III: Efecto del revenido sobre capas cementadas.

El objetivo de ésta práctica es demostrar el efecto de los aleantes sobre la respuesta al revenido de capas cementadas.

Para ello, se cementan barras de 20mm de diámetro por 40mm de longitud, de los aceros SAE 1020, SAE 4820 y SAE 8720 hasta profundidades de capa de 3mm, y se enfriarán al aire. Se recalentarán hasta una temperatura de austenitización y se templarán en aceite. Se reserva una de las probetas y se coloca una probeta de cada uno de los aceros en tres hornos a 200, 300 y 400°C durante 2 horas. Se seccionan por la mitad y se efectúan ensayos de dureza a partir de la superficie hasta wque se llegue a los valores de dureza iguales al del centro de la probeta.

Grafique dichos valores para cada acero, en función de la distancia por debajo de la superficie. Se debe obtener una curva para el estado templado y una para cada uno de los tratamientos de revenido.

Determine sobre cada una de las curvas:

a) capa total

b)capa efectiva a 50 HRC.

Compare las tres gráficas obtenidas y comente los resultados.

PARTE CUARTA

4. CUESTIONARIO

- 4.1 *¿Cuáles son los aceros aptos para la cementación?*
- 4.2 *¿Cuál es la forma más conveniente en que se ha de presentar el carbono para que tenga lugar la "carburation"? ¿Cómo se consigue?*
- 4.3 *¿Porqué es más conveniente una temperatura más bien elevada para que se realice el proceso de carburation? ¿En qué estado se tiene que encontrar el acero?*
- 4.4 *¿Es imprescindible que las cajas estén hermeticamente cerradas? ¿Porqué?*
- 4.5 *Describir los tratamientos térmicos después del proceso de cementación?*
- 4.6 *¿Qué ventajas presenta la cementación con cementantes líquidos?*

4.7 ¿Es siempre posible la cementación en baño de sales?

BIBLIOGRAFIA

* CIENCIA DE MATERIALES. Teoría-Ensayo-Tratamientos- P. Coca Rebollero- J. Rosique Jiménez. Pirámide S.A. -Madrid. 1992.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE ACEROS y sus Prácticas de Laboratorio- D.M.K. de Gringerg - Limusa- México, DF. 1989.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS -José Aprais Barriero. Editorial Dossat Sa. Madrid, 1985.

* INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA. SYDNEY H. ABNER. McGraw Hill. México, 1987.

* TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS METALES. Pare Molera Salá. Marcombo, S.A. 1991. BARCELONA.

* Folletos de los Aceros "ASSAB" .

* Folletos de los Aceros "BOEHLER" .