

TEMPLABILIDAD O PENETRACION DE TEMPLE

La variación de la microestructura de una pieza de acero y por lo tanto su dureza hacia el interior de la misma, al ser templada en un determinado medio de enfriamiento reviste gran importancia en el temple. El estudio de la penetración del temple o TEMPLABILIDAD, permite formar criterio al respecto.

Hemos considerado hasta ahora solamente la dureza superficial. Por estar la superficie de la pieza en contacto con el medio de enfriamiento es la que más rápido se enfría. El calor del interior de la pieza se disipa hacia el exterior por conducción a través de la pieza hasta llegar al medio refrigerante. Por lo tanto, la velocidad de enfriamiento hacia el interior de la pieza es menor que en la superficie. Esta diferencia es muy notable en las piezas de gran tamaño. La Fig. 1 muestra las curvas de enfriamiento de un redondo de 1" templado energicamente en distintas zonas del interior del redondo. Si como se observa en la figura las velocidades de enfriamiento son distintas en los diferentes puntos del radio del redondo, en los mismos las durezas serán también diferentes.

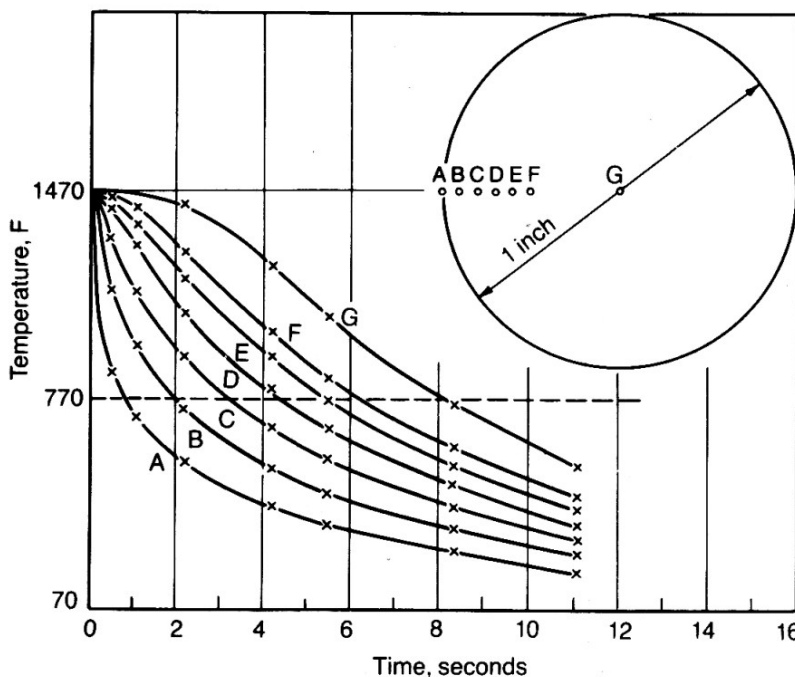


Fig. 1 – Curvas de enfriamiento tiempo-temperatura, correspondientes a distintas zonas del interior de un redondo de 1 pulgada de diámetro templado energicamente en agua.

Tomemos 6 probetas de un acero 1045, de diámetros variables de $\frac{1}{2}$ " y 5". Llevémosla a la temperatura de austenización y luego templémosla en agua. Si medimos la dureza superficial de las mismas obtendremos los siguientes resultados:



Diámetro de la probeta, en pulg.	Dureza Rockwell C superficial
0,5	59
1	58
2	41
3	35
4	30
5	24

Estos resultados indican que las velocidades de enfriamiento en las superficies de las probetas de 1/2" y 5" son diferentes como consecuencia de la diferencia de tamaño de las probetas. En el caso de las de 1/2" y 1" como la velocidad de enfriamiento es superior a la crítica, su estructura final será martensita y tiene dureza máxima. La probeta de 5" tiene que disipar una cantidad de calor muy grande en relación con el área de su superficie, que el temple en agua es ineficaz y se hubiera tenido el mismo resultado dejando enfriar al horno la misma. En la Fig. 2 se han superpuesto las velocidades reales de enfriamiento a la curva T-T-T del acero estudiado, indicándose los constituyentes metalográficos resultantes en la superficie de cada probeta.

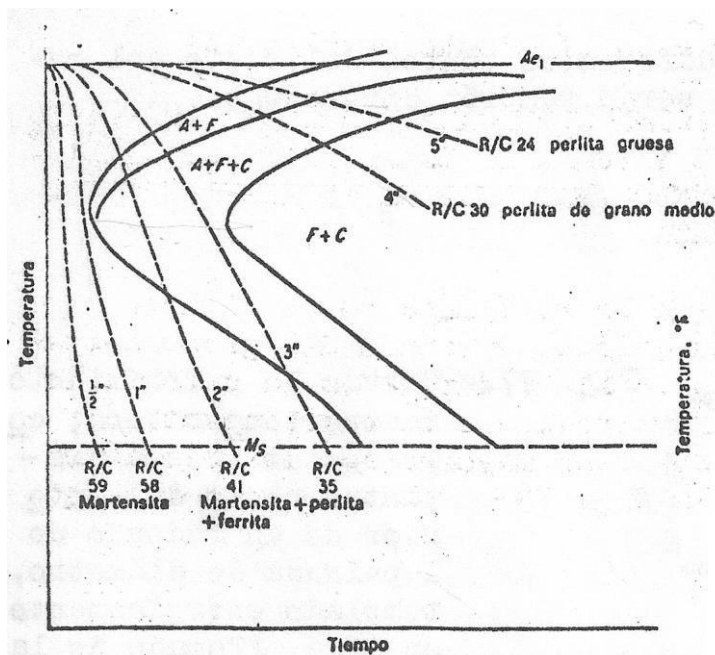


Fig. 2 – Curvas de enfriamiento superficial, estructura final y dureza de los distintos redondos de acero de 0,45% de carbono, colocadas sobre el correspondiente diagrama T-T-T.

Si a las mismas probetas les determinamos la dureza en sus secciones transversales del exterior al interior según su radio y representamos en abscisas los diámetros de las secciones normales y en ordenadas la dureza, obtendremos la curva de la Fig. 3. Esta curva se llama curva de penetración de temple o curva "U", y se observa que su forma indica inmediatamente hasta qué punto se ha templado la pieza.

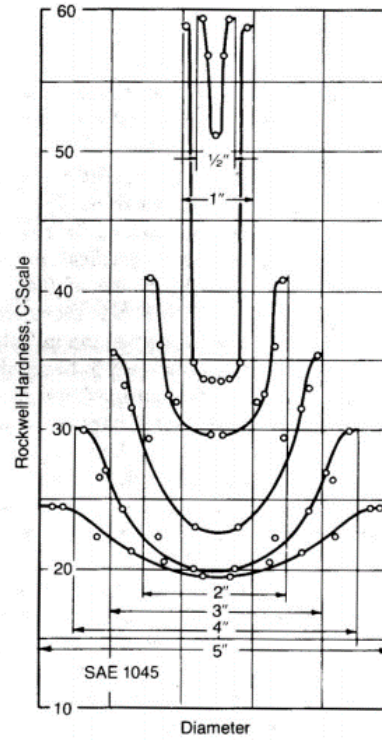


Fig. 3 – Curvas de penetración de temple de diversos redondos templados en agua para un acero SAE 1045. Se indican los diferentes diámetros de redondos.

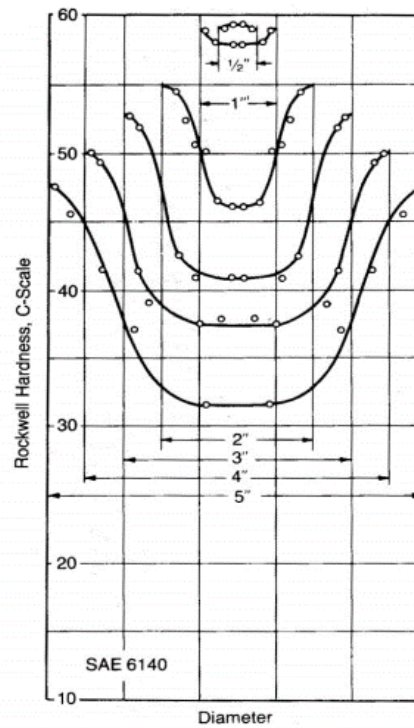


Fig. 4 – Curvas de penetración de temple de diversos redondos templados en agua para un acero SAE 6140. Se indican los diferentes diámetros de redondos.



Las Fig. 3 y 4 muestran el resultado de barras templadas en agua de un acero SAE 1045, acero al carbono, y de SAE 6140 (*Acero cromo-vanadio*).

La Fig. 3 muestra que en el acero SAE 1045 se puede alcanzar el máximo de dureza sólo en la superficie de las barras con diámetros pequeños. La dureza en el interior cae significativamente. Con el aumento del diámetro de la barra, la dureza superficial del SAE 1045 cae abruptamente y la dureza en el interior sigue disminuyendo.

El acero aleado SAE 6140, por otro lado, desarrolla mayores durezas que el anterior en todos los diámetros de la barra, pero también muestra grandes variaciones de dureza desde la superficie hacia el centro de las barras, especialmente en los tamaños más grandes.

Las Fig. 3 y 4 muestran los efectos de los diámetros de las barras y del contenido de aleantes sobre la distribución de dureza de redondos templados en agua.

La templabilidad de un acero está determinada por la penetración del temple y en las probetas consideradas no ha penetrado profundamente por lo que se dice que el acero en estudio tiene BAJA TEMPLABILIDAD y que la templabilidad del acero SAE 6140 es mejor que la del SAE1045.

Los aceros al carbono (aceros de la serie mil que no tienen aleantes) pueden ser endurecidos pero sólo en secciones pequeñas y/o con medios de temple muy severos. Fundamentalmente, los elementos aleantes en el acero SAE 6140 aumentan el tiempo requerido para la descomposición de la austenita a ferrita y/o mezclas de ferrita/cementita haciendo así posible la formación de martensita a bajas velocidades de enfriamiento.

Lo expuesto anteriormente permite diferenciar la dureza que se obtiene en el temple de la templabilidad en los aceros. La **dureza** es la resistencia que opone un material a la penetración; y la **templabilidad está determinada por los valores y distribución de la dureza en el interior de las piezas**.

La dureza máxima que se puede tener en los aceros al templearlos es función principalmente del contenido de carbono del acero. La máxima dureza que puede conseguirse en un acero al carbono determinado es aquella asociada con una microestructura totalmente martensítica.

Los tratamientos térmicos para producir martensita se aplican por lo general a aceros que contienen más que 0.3% de carbono. Los aceros con menor contenido de carbono son difíciles de endurecer en secciones grandes pero son endurecibles en chapas o placas delgadas que proveen excelentes combinaciones de resistencia mecánica y tenacidad luego del revenido.

La Fig. 5 es un resumen de muchos estudios realizados acerca de la dureza de la microestructura martensítica en función del contenido de carbono para diferentes aceros y aleaciones Fe-C y muestra el rango de dureza que se puede desarrollar en estructuras mayoritariamente

martensíticas en aceros para un dado contenido de carbono

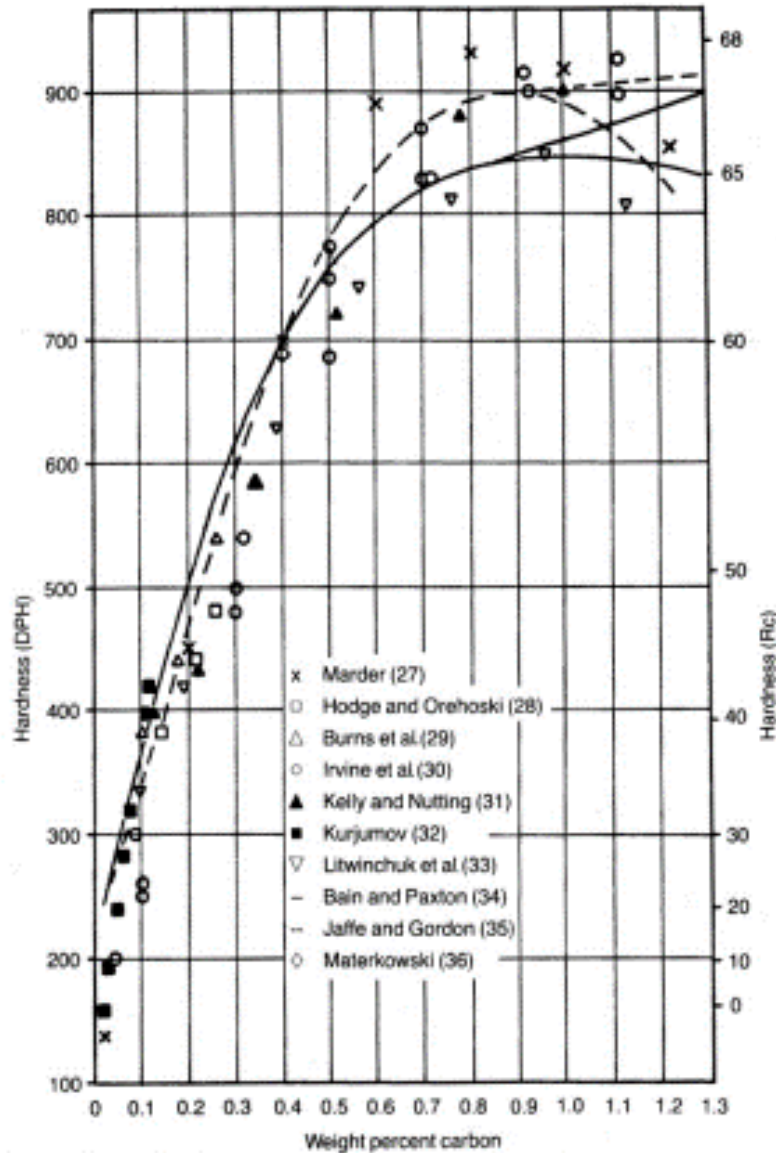


Fig. 5 – Dureza de la martensita en función del contenido de carbono en aleaciones Fe C y en aceros

La **templabilidad** en cambio depende en mayor grado de los **elementos de aleación en el acero** y del **tamaño del grano**.

La Fig. 6- (1-2-3) presenta las curvas de tres aceros con el mismo contenido de carbono y diferentes elementos de aleación. Se observa que la presencia de elementos aleados en el acero mejora notablemente la templabilidad. Los elementos que más favorecen

la penetración de temple son: manganeso, molibdeno y cromo.

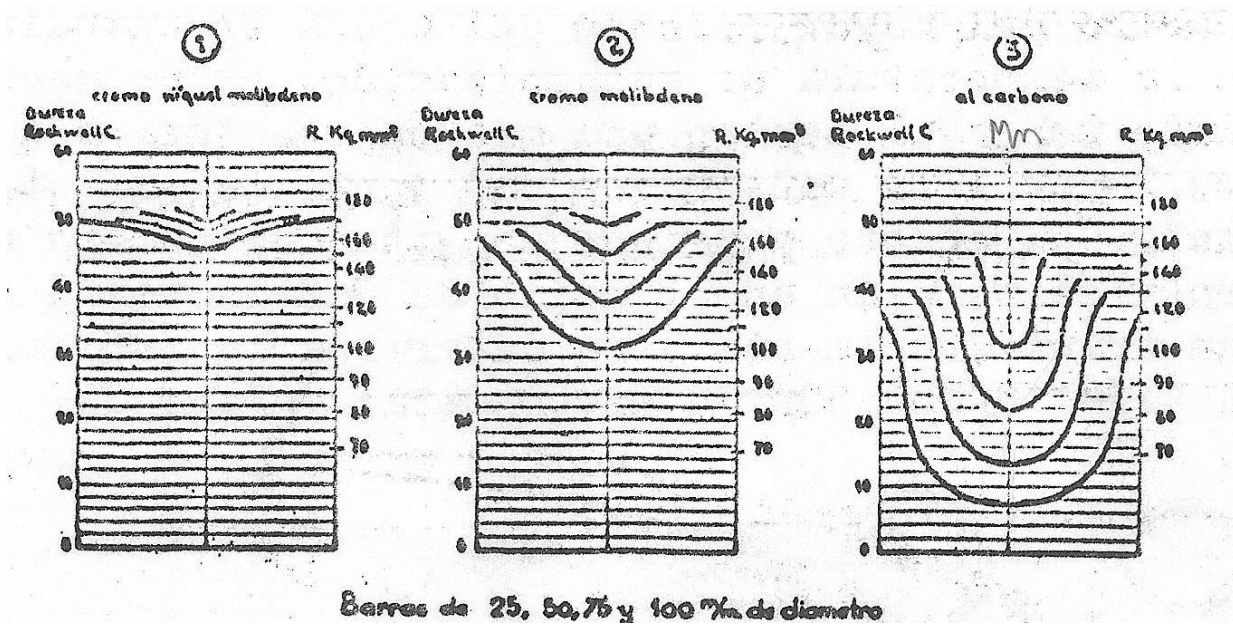


Fig. 6 – (1-2-3). Redondos de 25, 50, 75 y 100 mm de diámetro
 Acero N°1 C=0,32%; Cr=0,75%; Ni=2,75%; Mo=0,52%
 Acero N°2 C=0,32%; Cr=01,03%; Mo=0,22%
 Acero N°3 C=0,32%; Mn=0,45%

Si ensayamos probetas de aceros de igual composición, pero de diferentes tamaños de grano, comprobaremos que al aumentar el tamaño del grano del acero aumenta la templabilidad. No obstante, los aceros al carbono de grano fino de baja templabilidad son preferidos a los de grano grueso y gran templabilidad para la construcción de herramientas.

Factores que afectan la velocidad de enfriamiento

Dos factores importantes afectan la velocidad de enfriamiento o la velocidad a la cual el calor es removido de una parte de un acero dado. Uno es la capacidad del calor de difundir desde el interior hacia la superficie del acero y el otro es la capacidad del medio de temple de remover calor desde la superficie del mismo.

La capacidad de un acero de transferir calor está caracterizada por su difusividad térmica (área por unidad de tiempo). En la práctica, es casi imposible controlar las propiedades térmicas de los aceros y la manera principal de controlar la velocidad de enfriamiento es la que se realiza mediante una selección apropiada del medio de temple.

La transferencia de calor entre la interfase de un acero y el medio de temple es un

proceso complejo que depende fundamentalmente de la emisividad del acero (velocidad a la cual la superficie irradia calor) y las corrientes de convección dentro del medio de temple que remueven calor de la interfase.

La efectividad de un medio de temple dado para remover el calor se evalúa con un parámetro conocido como "**severidad de temple**". Esta medida de enfriamiento o potencia de enfriamiento se identifica con la letra "**H**" y se determina experimentalmente por temple de una serie de barras redondas de un acero dado. La Fig. 7 muestra esquemáticamente los resultados de temples en agua y en aceite de barras de acero de SAE 3140 (acero níquel-cromo con 0.4%C). Las áreas rayadas representan las áreas no endurecidas de las barras y se asume que menos de 50% de martensita representa una microestructura no endurecida. A mayor diámetro de barra (D), mayor es el diámetro de la zona no endurecida (D_u).

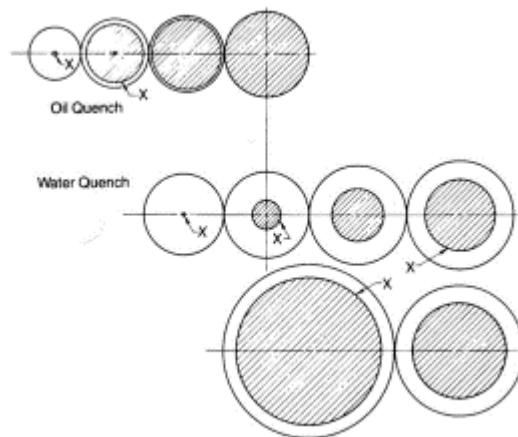


Figura 7- Representación esquemática de la extensión del endurecimiento en barras templadas en agua y en aceite. El material de las barras es un acero SAE 3140 de varios diámetros. Las áreas rayadas representan los núcleos no endurecidos de las barras.

En la Fig. 8 se grafican los resultados de la Fig. 7 como una relación D_u/D vs. D para ambas series, templadas en agua y en aceite. La curva de mayor pendiente es la asociada al temple en aceite como resultado de la reducida capacidad del mismo para lograr endurecimiento en secciones gruesas. Cuando las curvas de la Fig. 8. se comparan con un gran número de curvas calculadas que son características de un amplio rango de severidades de temple (Fig. 9) puede entonces determinarse "H".

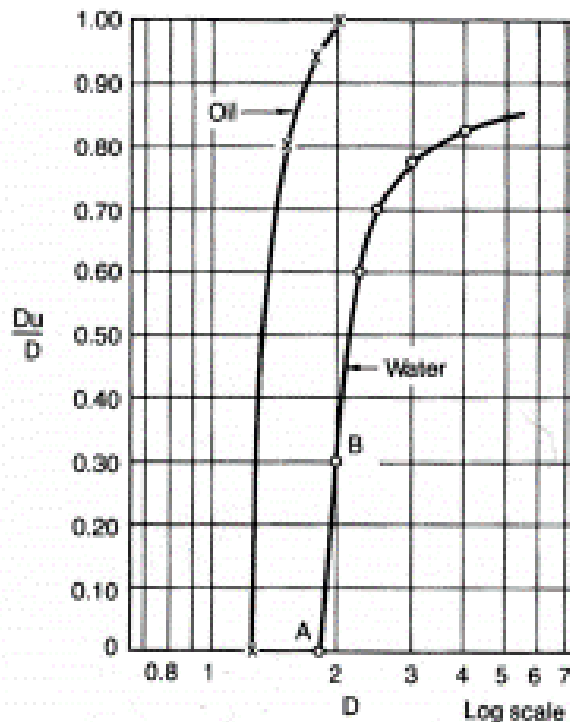


Figura 8- Relación de diámetros endurecidos y no endurecidos en función de los diámetros para barras templadas en agua y aceite.

La Tabla 1 lista valores de H para un número de medios de temple comunes. Se observa el incremento en la severidad del medio de temple desde el aire, $H = 0.02$, hasta $H = 2$ correspondiente a salmuera. También se observa el fuerte efecto de la agitación del medio en el aumento de H en cualquier medio de temple. En la Tabla 2 se presenta otro tipo de clasificación para los medios de temple y se observa el gran número de medios de enfriamiento disponibles para enfriar a varias velocidades.

Tabla 1- Severidad de temple (H) para distintos medios de temple.

	Air	Oil	Water	Brine
No circulation of fluid or agitation of piece	0.02	0.25 to 0.30	0.9 to 1.0	2
Mild circulation (or agitation)	...	0.30 to 0.35	1.0 to 1.1	2 to 2.2
Moderate circulation	...	0.35 to 0.40	1.2 to 1.3	...
Good circulation	...	0.4 to 0.5	1.4 to 1.5	...
Strong circulation	0.05	0.5 to 0.8	1.6 to 2.0	...
Violent circulation	...	0.8 to 1.1	4	5



Tabla 2- Velocidades de enfriamiento relativas para distintos medios de temple.

Quenching medium	Cooling rate(a) from 717–550 °C (1328–1022 °F) relative to that for water at 18 °C (65 °F)	Quenching medium	Cooling rate(a) from 717–550 °C (1328–1022 °F) relative to that for water at 18 °C (65 °F)
Aqueous solution, 10% LiCl	2.07	Oil 20204	0.20
Aqueous solution, 10% NaOH	2.06	Oil, Lupex light	0.18
Aqueous solution, 10% NaCl	1.96	Water at 122 °F	0.17
Aqueous solution, 10% Na ₂ CO ₃	1.38	Oil 25441	0.16
Aqueous solution, 10% H ₂ SO ₄	1.22	Oil 14530	0.14
Water at 32 °F	1.06	Emulsion of 10% oil in water	0.11
Water at 65 °F	1.00	Copper plates	0.10
Aqueous solution, 10% H ₃ PO ₄	0.99	Soap water	0.077
Mercury	0.78	Iron plates	0.061
Sn ₃₀ Cd ₇₀ at 356 °F	0.77	Carbon tetrachloride	0.055
Water at 77 °F	0.72	Hydrogen	0.050
Rapeseed oil	0.30	Water at 166 °F	0.047
Trial oil No. 6	0.27	Water at 212 °F	0.044
Oil P20	0.23	Liquid air	0.039
Oil 12455	0.22	Air	0.028
Glycerin	0.20	Vacuum	0.011

(a) Determined by quenching a 4 mm nichrome ball, which when quenched from 860 °C (1580 °F) into water at 18 °C (65 °F) cooled at the rate of 1810 °C (3260 °F) per second over the range 717 to 550 °C (1328 to 1022 °F). This cooling rate in water at 18 °C (65 °F) is rated as 1.00 in the table, and the rates in the other media are compared with it (Ref 16.23). Source: Ref 16.16, 16.23

Forma de expresar y medir la templabilidad

Como ya se mencionó, los altos valores de dureza se relacionan con la formación de la martensita, la cual depende de la velocidad de enfriamiento. La velocidad de enfriamiento depende tanto del tamaño de la muestra como de la severidad de temple. Sin embargo, todavía permanecen cuestiones de cómo evaluar la templabilidad en función de la composición del acero y el efecto de un gran número de medios de temple sobre la distribución de la dureza sin el consumo de tiempo que genera templar varias series de barras redondas en los distintos medios de temple. Para ello, describiremos la clásica metodología propuesta por Grossman y Bain.

Esta metodología para la templabilidad se basa en la definición de dos parámetros, el diámetro crítico y el diámetro ideal. El **diámetro crítico es el mayor tamaño o diámetro de una barra templada en un medio dado que presenta un núcleo 100% endurecido después del temple.**

El diámetro crítico de un acero de una dada composición está directamente relacionado al medio de temple. Cuanto más severo sea el medio de temple mayor será el diámetro crítico.

Por ello, para independizarlo de severidad del medio de temple, **se define como diámetro crítico IDEAL, como el tamaño de una barra endurecida a 50% de martensita por un medio de temple teóricamente perfecto** en el cual se asume que la superficie de la barra



se enfría instantáneamente a la temperatura del medio de temple, es decir, austenización en un **medio de enfriamiento teórico de capacidad de absorción de calor infinita. $H=\infty$** .

El diámetro crítico ideal es una medida fiel de la templabilidad asociada con una dada composición del acero.

El diámetro crítico ideal de un acero se determina en la siguiente forma:

Se encuentra para ese acero el **DIÁMETRO CRÍTICO (D_c)** correspondiente a un determinado medio de enfriamiento. Para lo cual se construyen una serie de probetas cilíndricas, de diámetro diferente y de una longitud de por lo menos 4 veces el diámetro y se templan en el medio de enfriamiento elegido. Luego se cortan transversalmente y se determina la zona templada de cada probeta, Fig 7.

Se representa en ejes cartesianos: en ordenadas los valores de D_u para cada probeta y en abscisas, los diámetros de las probetas resultando una curva como indica la Fig. 9. La intersección de esta curva con el eje de las abscisas señala el **DIÁMETRO CRÍTICO** correspondiente al acero en el medio de enfriamiento elegido ya que $D_u=0$ indica que el centro del redondo de diámetro D se encuentra totalmente templado.

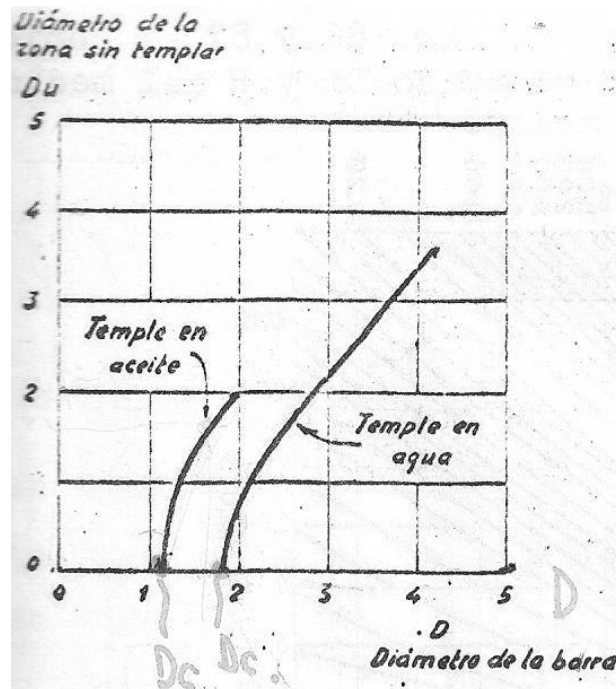


Fig. 9– Determinación de los diámetros críticos de un acero templado en agua y aceite.

Luego se determina la severidad H del medio de enfriamiento elegido por medio de la Tabla 1. Con el valor conocido de H y D_c , con las Fig. 10 y 11 se obtiene el diámetro crítico ideal (D_i). Lógicamente conocido D_i y H del medio, las figuras permiten calcular D_c para otro medio.

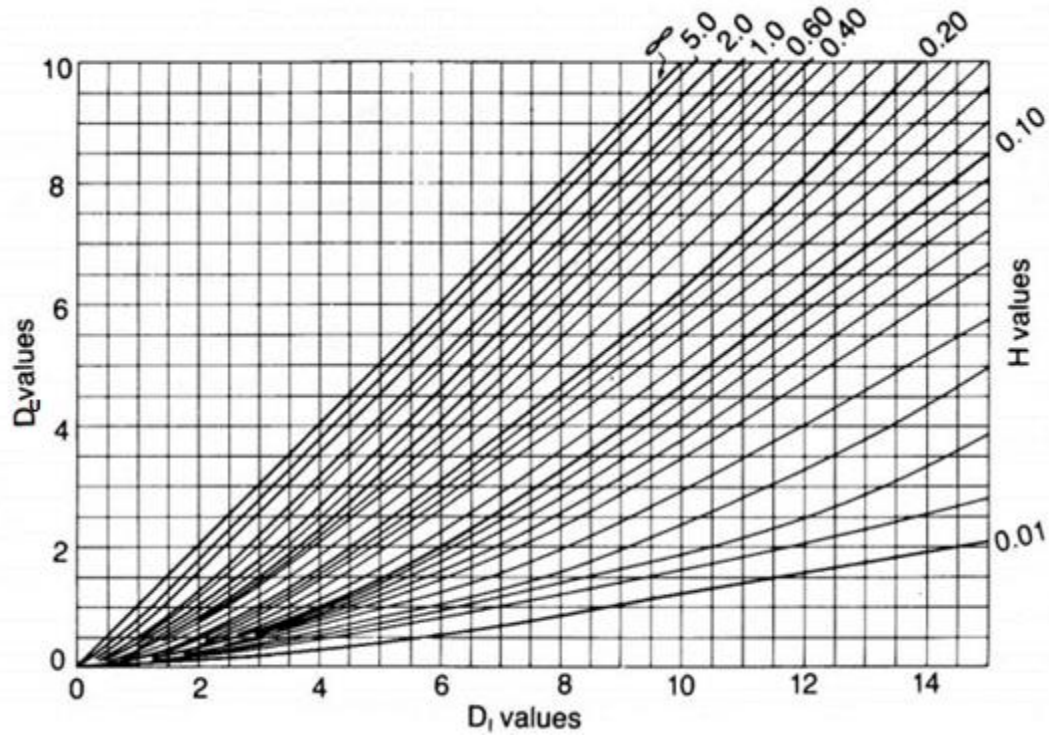


Fig. 10 – Relación entre el diámetro ideal (D_i), diámetro crítico (D_c) y severidad de temple (H).

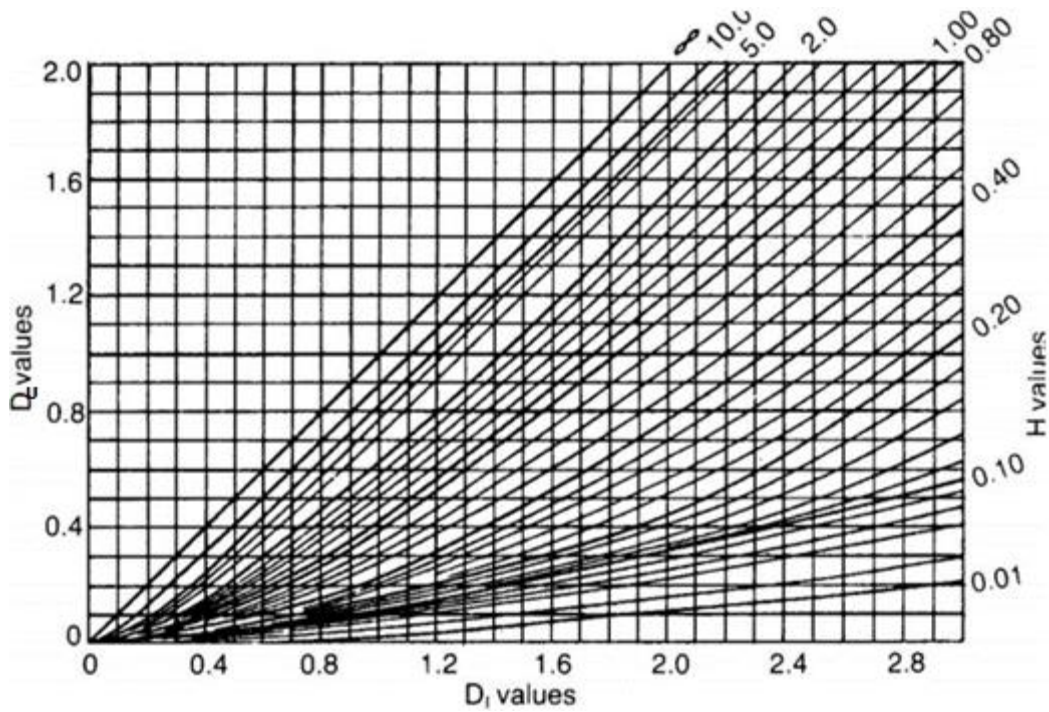


Fig. 11 – Amplificación de la Fig. 10 para los valores de D_c entre 0 y 2 y los valores de D_i de 0 a 3



Ejemplo:

Acero: 0,41% C; 0,60% Cr y 1,2% Ni

De Fig. 9

Diámetro Crítico = $D_c = 1,2''$ temple en aceite con agitación moderada. ($D_u = 0$)

Leemos en la Tabla 1, para aceite con agitación moderada: $H = 0,4$

En Fig.11 para $D_c = 1,2''$ y $H = 0,4$, obtenemos $D_i = 2,6''$

Como conocemos el diámetro crítico ideal del acero $D_i = 2,6''$, podemos determinar el diámetro crítico (D_c) enfriado en aire tranquilo y en agua tranquila.

- Para aire tranquilo de la Tabla 1 obtenemos: $H = 0,02$ y entrando en el gráfico con $D_i = 2,6''$, D_c resulta $1/4''$
- Para agua en reposo de la Tabla 1 obtenemos: $H = 1$ y el gráfico nos da $D_c = 1,7''$

Es decir que un redondo del acero dado para quedar totalmente templado, luego del enfriamiento debe tener como máximo:

- En agua en reposo $1,7''$ de diámetro
- En aceite con agitación moderada $1,2''$ de diámetro
- En aire tranquilo $1,4''$ de diámetro

Otro método para valorar la templabilidad es:

ENSAYO DE TEMPLADO EN UN EXTREMO O ENSAYO DE JOMINY.

Otra forma importante de evaluación de la templabilidad es el uso del ensayo del extremo templado desarrollado por Jominy y Boegehold. Tiene la gran ventaja de caracterizar la templabilidad de un acero dado a partir de una sola probeta en vez de utilizar series de barras redondas. La Fig. 12 muestra el equipo de temple para ensayo Jominy. La Fig.13 muestra la forma y dimensiones de la probeta Jominy y el dispositivo para soportar la muestra en un sistema de temple. La probeta se enfría en un extremo por una columna de agua de modo tal que toda la probeta experimenta un rango de velocidades de enfriamiento entre aquellas asociadas al agua y al aire. Después del temple, se rectifican planos paralelos en la probeta y se realizan medidas de dureza utilizando la escala Rockwell C cada $1/16$ pulgadas desde el extremo templado. Luego se grafican los valores representando en el eje de las abscisas la distancia al extremo templado en pulgadas, cada $1/16''$ y en ordenadas las correspondientes durezas, resultando una curva como muestra la Fig. 14.

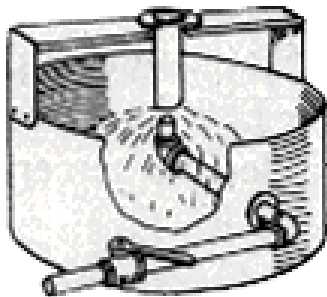


Fig. 12. Equipo de Ensayo Jominy.

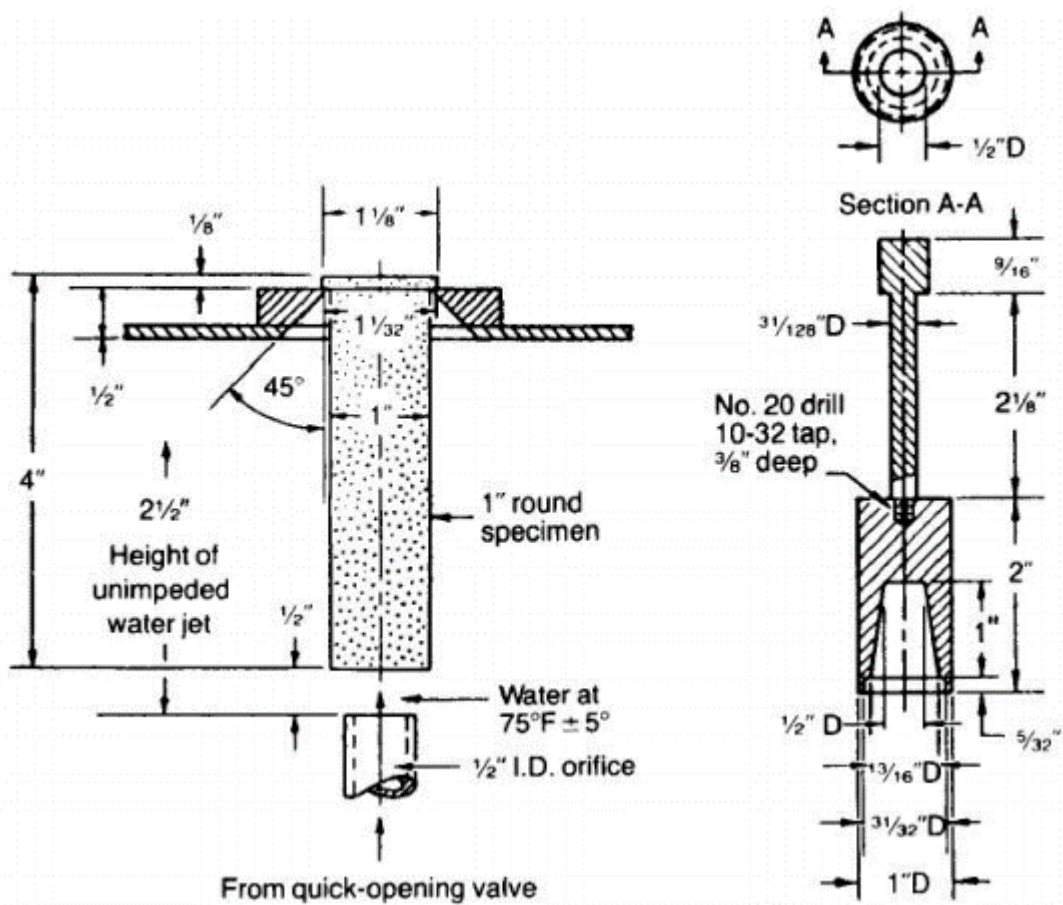


Fig. 13. Probeta Jominy y el dispositivo para soportar

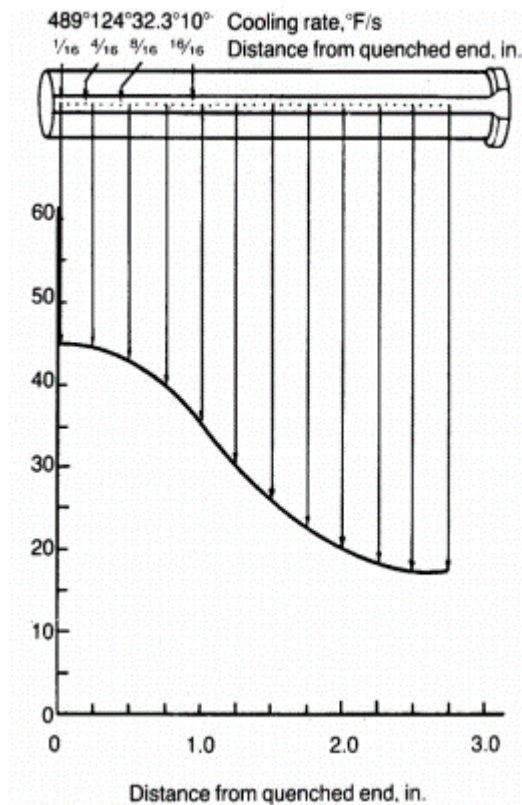


Fig.14. Método para graficar los datos de dureza obtenidos de una probeta Jominy templada en un extremo.

Las diferencias de templabilidad entre diferentes grados de acero pueden compararse fácilmente disponiendo de las curvas Jominy. Por ejemplo, la Fig. 15 muestra las diferencias de templabilidad entre diferentes grados de aceros aleados conteniendo 0.5% de carbono. En los aceros más templables, persisten mayores durezas a distancias más alejadas respecto del extremo templado. En la Fig. 16 se muestran las curvas de templabilidad de tres aceros aleados con el mismo porcentaje de carbono 4340, 3140 y 1340. Las durezas máximas en el extremo templado de la probeta de los tres aceros coinciden, ya que es función solamente del contenido de carbono (59 Rc). Sin embargo, en el acero de alta templabilidad 4340, esta dureza se mantiene hasta los 10/16 de pulgada, en cambio en los de baja templabilidad la dureza disminuye casi inmediatamente.

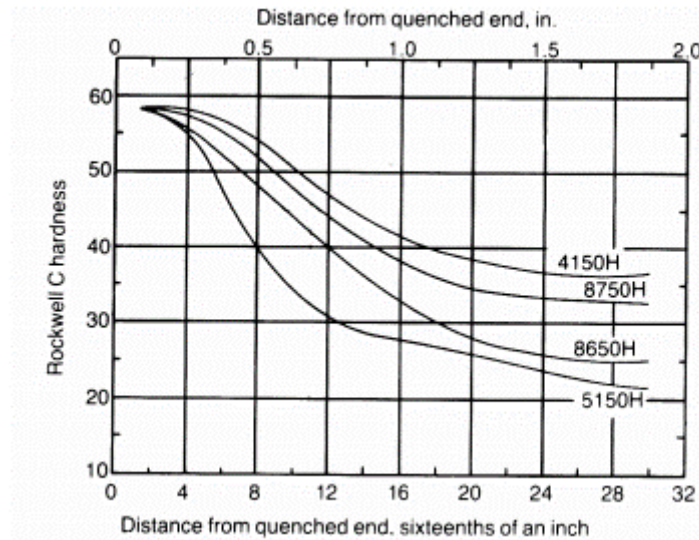


Fig.15. Resultados de los ensayos Jominy para cuatro aceros de distinto grado de aleación todos con un porcentaje de carbono de 0.5%.

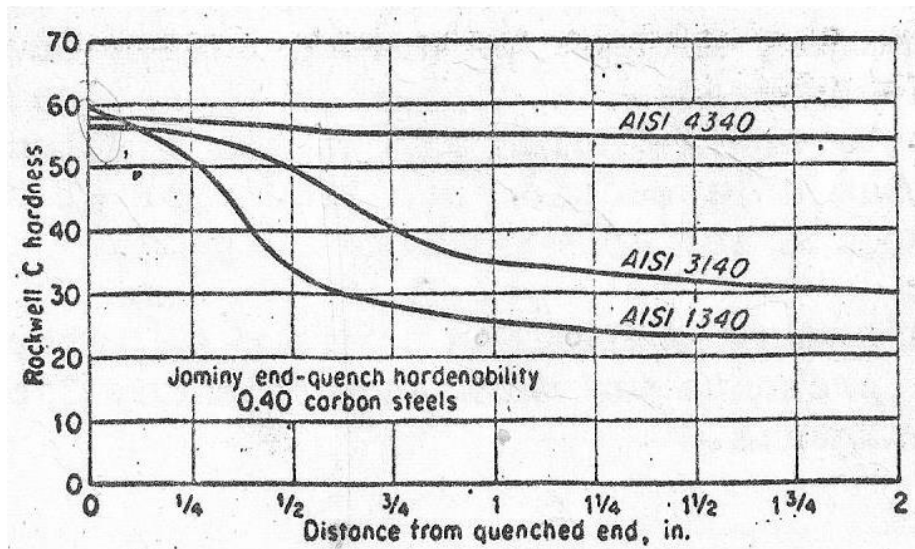


Fig. 16 – Curvas de templabilidad de los aceros aleados 4340, 3140 y 1340.

El ensayo Jominy está normalizado por ASTM (ASTM Method A 255) y por la SAE Standar J406. La Fig. 17 muestra el método de presentación de los datos del ensayo Jominy para una probeta de acero AISI 8650.

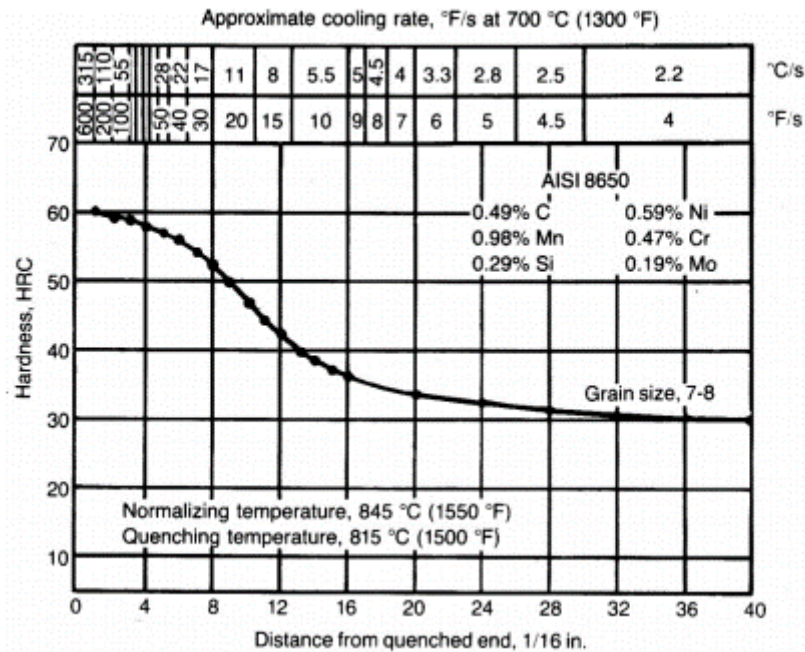


Fig. 17. Método para presentar los datos del ensayo Jominy. Los datos presentados aquí son para el acero AISI 8650. Observar la relación entre la velocidad de enfriamiento (arriba) y la distancia al extremo templado.

Una característica muy importante del ensayo Jominy es que cada posición de la probeta corresponde a una velocidad de enfriamiento conocida. A cada punto de la probeta Jominy templada le corresponde una cierta velocidad de enfriamiento y como hemos supuesto que la conductividad térmica de los aceros es la misma, esta velocidad será siempre la misma en distintos puntos de la probeta, cualquiera sea la composición del acero a ensayar. Por lo tanto, todas las probetas están sometidas a una gama de velocidades que varían de modo continuo desde valores muy elevados en el extremo templado (333,3 °C/seg) a 2,2 °C/seg. en el extremo enfriado al aire.

TABLA 3. Velocidades de enfriamiento en el ensayo Jominy a distintas distancias del extremo templado de la probeta normal

Distancia al extremo templado en pulgadas	Velocidad de enfriamiento, °C por segundo a 704°C	Distancia al extremo templado en pulgadas	Velocidad de enfriamiento, °C por segundo a 704°C
1/16	271,7	11/16	10,8
1/8	170,6	3/4	9,0
3/16	108,3	13/16	8,0
¼	68,8	7/8	6,9
5/16	42,9	15/16	6,4



3/8	31,3	1	5,6
7/16	23,3	11/4	3,9
1/2	17,9	11/2	2,8
9/16	13,9	13/4	2,2
5/8	11,9	2	1,9

La escala superior de la Fig. 17 muestra velocidades de enfriamiento aproximadas correspondientes a distintas posiciones sobre la probeta Jominy. Como se discutió anteriormente, es la velocidad de enfriamiento el parámetro que determina la cantidad de martensita y, por lo tanto, el grado de dureza que se desarrolla en un dado punto de una probeta de acero. Por lo tanto, si se conocen las velocidades de enfriamiento en función de la posición en varias geometrías, es posible usar las curvas Jominy para graficar perfiles de dureza en el elemento en cuestión. Tales correlaciones de la velocidad de enfriamiento en función de la posición en varios tamaños de barras y placas templadas en varios medios, están disponibles en manuales y catálogos. La Fig. 18 muestra velocidades de enfriamiento equivalentes para cuatro posiciones en barras redondas templadas en agua y en aceite. A medida que el diámetro de barra aumenta, las velocidades de enfriamiento en la superficie y en los puntos interiores disminuyen (ver escala superior de la Fig. 18) Las velocidades de enfriamiento corresponden a distancias equivalentes desde el extremo templado (ver escala inferior de la Fig. 18) y estas distancias pueden utilizarse para determinar la distribución de durezas en los redondos a partir de curvas Jominy adecuadas. El uso de los datos Jominy es un método muy preciso para seleccionar aceros con la templabilidad justa para una dada distribución de durezas requeridas. De esta manera, puede seleccionarse un acero que satisfaga no sólo los requerimientos de dureza sino también que tenga el contenido justo de aleantes, permitiendo así la selección a un costo mínimo entre muchos aceros que pueden tener templabilidad suficiente o incluso en exceso para la aplicación en cuestión. Por otro lado, pueden seleccionarse aceros aleados endurecibles por temple moderados para reemplazar a aceros de inferior calidad en los cuales es necesario un temple severo para obtener altas durezas y puede causar fisuras de temple.

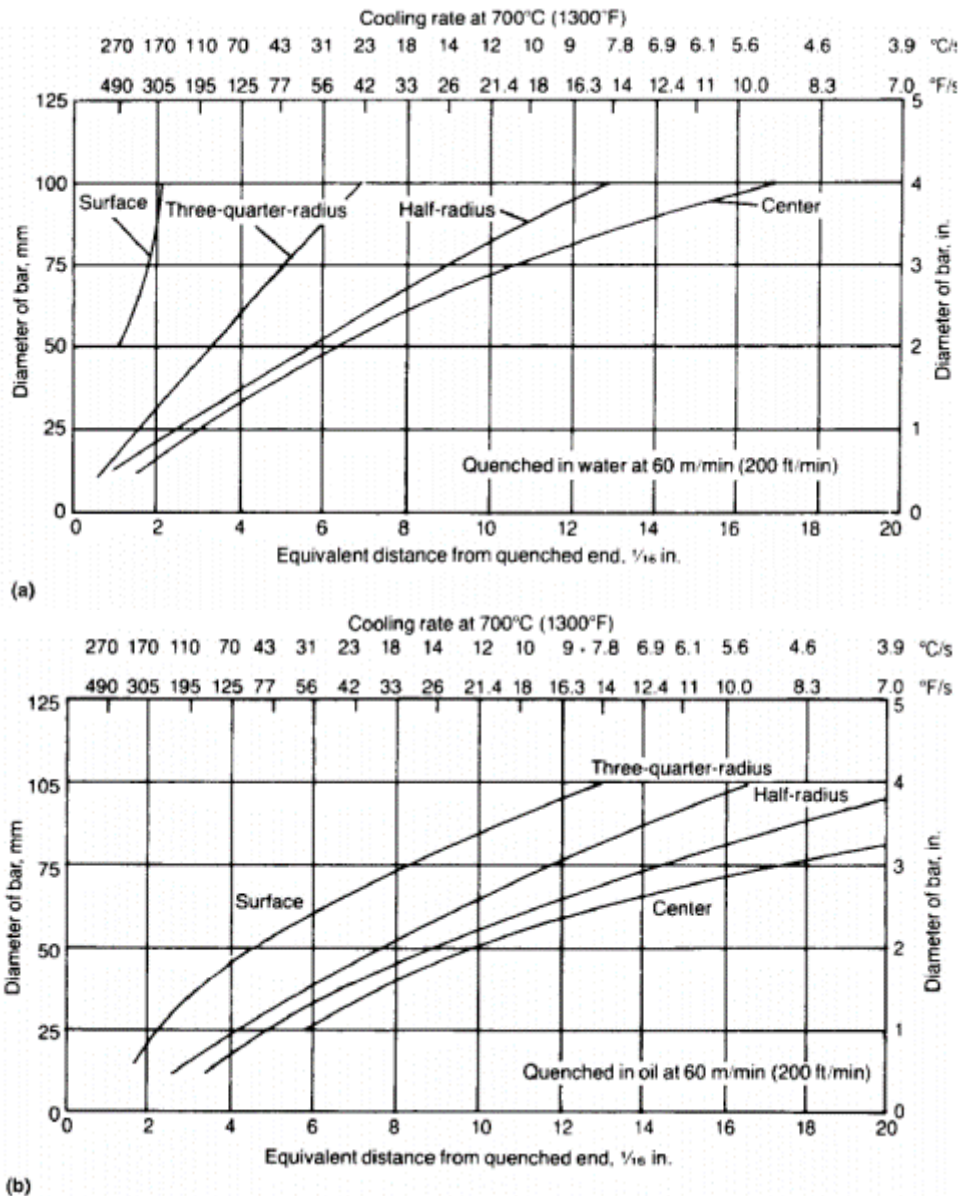


Fig. 18. Velocidades de enfriamiento equivalentes para barras redondas templadas en (a) agua y (b) aceite.

En la Figura 19 se observa la curva de templabilidad correspondiente a un acero 8360 como así también la T-T-T sobre las cuales se superponen las curvas de enfriamiento de determinados puntos de la probeta. Esto ayuda a comprender mejor la relación existente entre el ensayo Jominy y las transformaciones de la austenita en el enfriamiento continuo. Vemos que la velocidad A es mayor que la crítica de temple por lo que la microestructura final será totalmente martensítica en el extremo templado de la probeta; en cambio a las velocidades B, C y D la austenita se transforma en una mezcla de ferrita, bainita y martensita, siendo tanto menor la cantidad de martensita formada cuanto menor es la velocidad de enfriamiento.

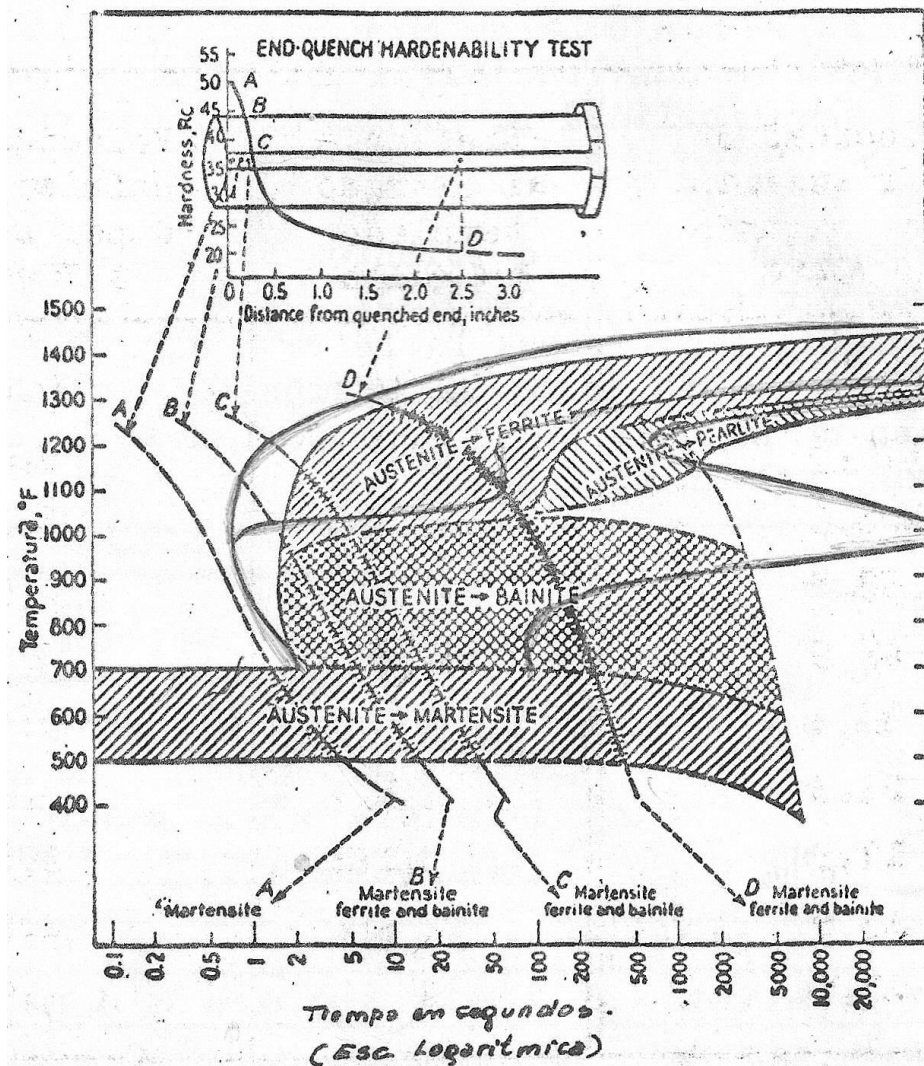


Fig. 19– Relación entre las curvas TTT y los valores obtenidos en el ensayo Jominy de un acero del tipo 8630

Para cualquier grado de acero se desarrolla una **banda de templabilidad** debido a las pequeñas variaciones en composición química aceptables en el grado (ver Fig. 20). Los aceros AISI/SAE designados con la letra H (H-steels) garantizan templabilidades establecidas. La AISI recopilando datos de cientos de coladas ha establecido curvas máximas y mínimas de templabilidad. La fig. 21 muestra una banda de templabilidad de un acero 4140. La letra H significa que el acero se ha fabricado para cumplir una condición de templabilidad determinada, quedando en un segundo plano en importancia la composición química, el tamaño de grano, etc..

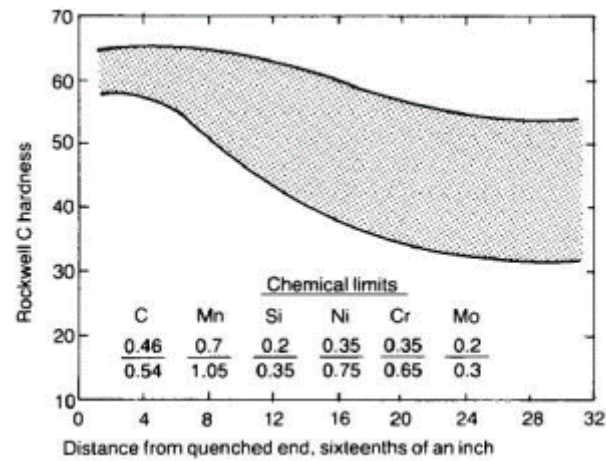
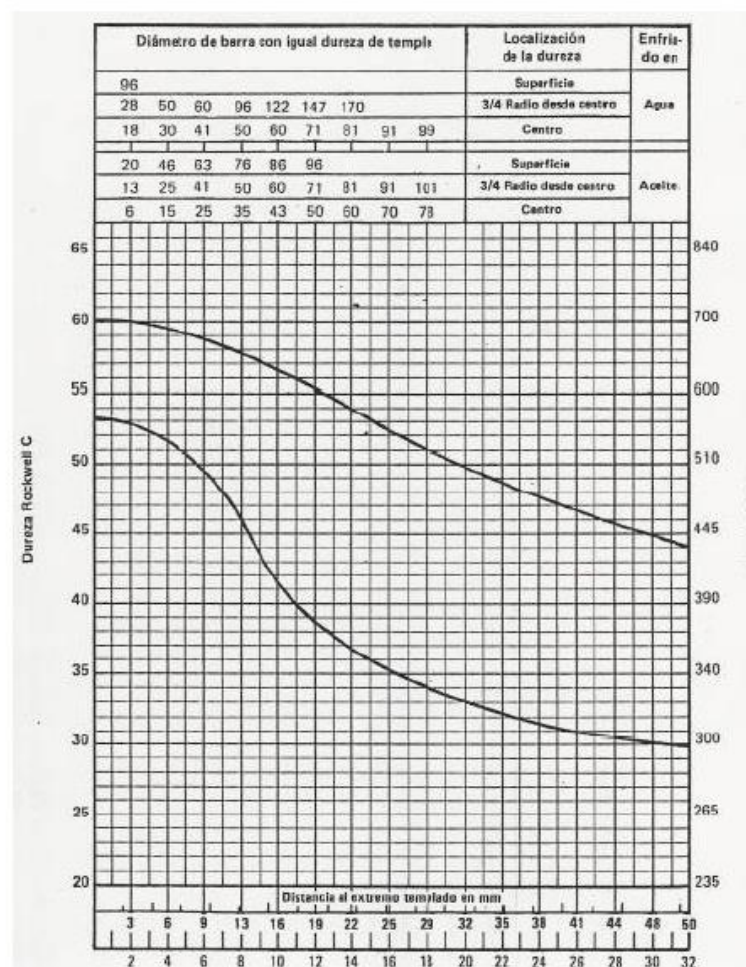


Fig. 20. Banda de templabilidad para el acero 8750H.



Distancia al extremo templado en 1/16"

Fig. 21 – Banda de templabilidad normal de un acero 4140 H.



La templabilidad se especifica mediante dos puntos, del siguiente modo:

a) Mediante los valores máximos y mínimos de dureza correspondiente a una distancia determinada. La distancia tiene que estar situada en la probeta con relación al extremo templado, de tal modo que corresponda a la sección utilizada por el usuario. En la fig. 21 podría ser $J_{51,5-59,5} = 4/16$ pulgadas.

b) Indicando la distancia mínima y máxima que limitan el intervalo en el que la dureza presenta un valor determinado. Ejemplo: $J_{50} = 6/16$ a $20/16$ pulgadas.