

35

2 Gen.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**" TRATAMIENTO TERMICO DE UN ACERO 4140 H
PARA LA FABRICACION DE JUNTAS PARA TUBERIA
DE PERFORACION "**

T E S I S

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

MIGUEL ANGEL TREJO MONTEJO

1985



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Temario

- 1.- Introducción
- 2.- Generalidades Teóricas
 - 2.1.- Temple
 - 2.1.1 Curvas de enfriamiento
 - 2.1.2 Aspectos Metalúrgicos
 - 2.1.2.1 Templabilidad
 - 2.1.3 Velocidades de enfriamiento
 - 2.1.4 Evaluación de la velocidad de temple
 - 2.1.5 Efecto de la masa y tamaño de la pieza
 - 2.1.6 Aceite como medio de temple
 - 2.1.7 Efecto del tamaño de Grano
 - 2.2.- Revenido
- 3.- Materiales experimentales
- 4.- Experimentación
- 5.- Resultados y discusión
- 6.- Conclusiones y recomendaciones
- 7.- Bibliografía
- 8.- Apéndice

1.- Introducción

Es un hecho que México está creando su propia tecnología y/o acondicionando tecnología extranjera con el fin de poder resolver los problemas de carácter técnico que se le presentan así como evitar una fuga de divisas introduciendo técnicas de producción extranjeras que en muchos casos no se pueden implementar a las condiciones de nuestro país.

Debido a lo anterior y a todas las presiones económicas a que se ha visto sometido el país en estos últimos meses existen mayores dificultades para conseguir materiales de importación de donde resulta necesaria la sustitución de los mismos por materiales nacionales.

La cada día más creciente industria metal-mecánica en México ha hecho posible que esta sustitución se lleve a cabo en forma satisfactoria, aunque no totalmente.

Este trabajo se originó como consecuencia de ciertos obstáculos de carácter técnico a que se tuvo que enfrentar una compañía mexicana con el fin de poder fabricar juntas para tubería de perforación, con acero de fabricación nacional.

Una vez instalada esta compañía se procedió a fabricar las juntas para tubería de perforación, sin embargo durante el proceso de tratamiento térmico se observó que los materiales proporcionados por dos empresas, no cumplían con algunos de los requerimientos mínimos de especificación.

En este trabajo se exponen las condiciones en que se encontraba la fabricación de las juntas así como las modificaciones a dicha fabricación, en lo que respecta a la etapa en que se operan los tratamientos térmicos.

2.- Generalidades Teóricas

Dentro del contexto de este capítulo es importante dar una idea teórica general del tema que se va a tratar, con la finalidad de que los profesionales interesados en el tema aún siendo de otra especialidad de la ingeniería, tengan un concepto más claro acerca de los puntos tratados en esta tesis.

Dado que el tema principal de esta tesis son los tratamientos termicos, primeramente se proporcionará una definición amplia de lo que son los tratamientos termicos.

Los tratamientos termicos son ciclos de calentamiento en estado solido, permanencia a una temperatura específica durante cierto tiempo y enfriamiento de la pieza a velocidades que dependerán de las propiedades mecánicas y físicas requeridas.

Los tratamientos térmicos más comunes, utilizados en la industria se enlistan a continuación:

- a) Recocido
- b) Normalizado
- c) Relevado de esfuerzos
- d) Temple y revenido.

a) Recocido: Calentamiento y permanencia a una temperatura por arriba de la temperatura crítica A_{C3} y enfriamiento a una velocidad lo suficientemente lenta, generalmente ésto se lleva a cabo en el horno, con el fin de reducir dureza,

mejorar maquinabilidad, facilitar el trabajado en frío, obtener los constituyentes estables ó propiedades mecánicas y físicas requeridas.

b) Normalizado: Calentamiento de una aleación a una temperatura por arriba del intervalo de transformación y enfriamiento en aire hasta una temperatura sustancialmente por abajo del intervalo de transformación, con el fin de lograr principalmente un refinamiento del grano lo cual nos aumenta las propiedades mecánicas del material.

c) Relevado de esfuerzos: Calentamiento de la pieza a una temperatura en el rango de la temperatura de recristalización permanencia el tiempo suficiente hasta reducir los esfuerzos residuales y enfriamiento lo suficientemente lento con el fin de minimizar el desarrollo de nuevos esfuerzos.

d) Temple y revenido: Dado que este tratamiento termico es el tema principal para el desarrollo de esta tesis se tratará más ampliamente en el contexto de este trabajo.

2.1.- Temple.

El temple de un acero consiste en enfriamiento rápido desde una temperatura lo suficientemente elevada (austenización) para lograr los cambios microestructurales en el mismo. Esto generalmente va acompañado de una inmersión de la pieza a temprar en un medio de enfriamiento el cuál normalmente es un baño de agua ó aceite, ó aire en agitación.

La efectividad del temple depende de las características de enfriamiento del medio que se utilice y de la templabilidad del acero. De acuerdo a lo anterior los resultados pueden variar cambiando la composición del acero, que afecta directamente la templabilidad, ó la agitación, temperatura, y tipo de medio de enfriamiento.

Por lo anterior cada acero tendrá de acuerdo a su composición química su propia temperatura de austenización y diferente templabilidad debido a que nó todos los aceros presentarán el mismo tamaño de grano. La tabla N^o 1 muestra las temperaturas de austenización recomendables para algunos aceros al carbono y aceros de baja aleación.

Existen varios factores involucrados en el mecanismo de temple y estos son : a) Las características de la pieza que afecten la transmisión de calor hasta la superficie, b) Las condiciones superficiales ó externas que afecten la remoción ó extracción del calor, c) El potencial de extracción de calor del medio de temple sin agitación, bajo condiciones normales de presión y temperatura, y d) El potencial de extracción de calor del medio de temple bajo diferentes condiciones de

ACEROS AL CARBONO		ACEROS DE BAJA ALEACION	
Acero	Temperatura °C	Acero	Temperatura °C
1025	854 - 900	1330	826 - 854
1050	800 - 840	4037	826 - 854
1095	790 - 815	4063	800 - 843
Aceros de corte libre		4140	843 - 871
1132	826 - 854	4161	815 - 843
1140	815 - 843	8630	826 - 871
1151	800 - 843	8660	800 - 843

Tabla N° 1 Temperaturas de austenización de varios aceros al carbono y de baja aleación.

agitación, presión y temperatura.

Primeramente cada uno de los materiales metálicos tienen diferentes coeficientes de transmisión de calor, por lo que no todos los aceros se enfriarán con la misma rapidez, por otro lado no todas las piezas que se van a templear son simétricas, esto origina que las secciones más pequeñas se enfríen más rápidamente limitando de esta manera el temple de toda la pieza

Cuando un aceite de temple ha sido utilizado durante algún tiempo, sin haberle efectuado sus rectificaciones correspondientes, entonces la cascarilla que se desprende de las piezas al ser enfriadas, afectarán el poder enfriante del mismo. De igual manera se afectará la viscosidad del aceite por efecto de la saponificación con la consiguiente limitación de temperatura de las piezas al entrar al baño de temple y de esta manera evitar la ignición del aceite.

Un medio de temple sin agitación, experimenta un movimiento inevitable como resultado de la acción de inmersión, de la turbulencia del fluido al ebullición y de las corrientes de convección. Esta agitación mínima disipará eventualmente el calor acumulado, hacia el resto del fluido, sin embargo el fluido que está en contacto directo con el material, se calentará y vaporizará de tal manera que afectará el mecanismo de temple.

Los líquidos de temple volátiles producen algo de vapor a todas las temperaturas de operación. Arriba del punto de ebullición, la producción de vapor es tal que se formará una capa de vapor alrededor de la pieza. La temperatura arriba de la cual es mantenida una capa en toda la superficie de la pieza es denominada "temperatura característica".

Los factores que pueden afectar el potencial de extracción de calor de un líquido de temple son: a) Sólidos que se depositen en la superficie de las piezas cuando son templadas en algunos aceites, salmueras ó soluciones químicas, b) Geles que se pueden formar en la interfase líquido-gas de la capa de vapor de soluciones de alcohol polivinílico, c) Cambios en la viscosidad del líquido como por ejemplo la saponificación del aceite d) Pérdida permanente de los constituyentes volátiles de un líquido de temple debido a bajos puntos de ebullición.

2.1.1.- Curvas de enfriamiento.

El método más usado para describir con seguridad el complejo mecanismo de temple es el desarrollo de curvas de enfriamiento para cada líquido de temple bajo, condiciones controladas. Una prueba de este tipo es representativa de los factores mencionados anteriormente debido a que se simulan condiciones muy cercanas a las de operación.

Este método consiste en templar una pieza del mismo acero que se utilizará en las piezas de trabajo en una muestra del fluido de temple. Un registrador de alta velocidad es usado para detectar los cambios de temperatura con respecto al tiempo, medidos por uno ó más termoparas embebidos en la pieza de prueba. La curva resultante tiempo-temperatura indica las características de transferencia de calor del fluido de temple.

Las curvas de enfriamiento típicas, tanto de la superficie como del centro de una pieza, se muestran en la figura N°1 y en esta se observan cuatro etapas de transferencia de calor desde un sólido caliente hasta un líquido frío.

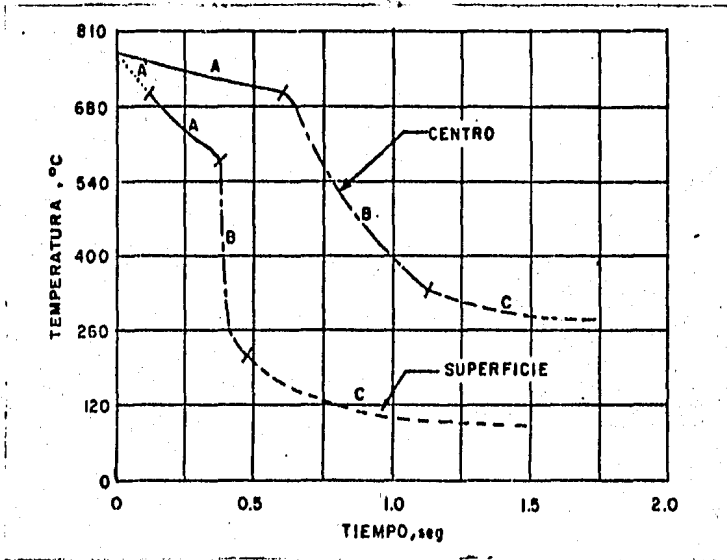


Figura N°1 Curvas de enfriamiento típicas de la superficie y del centro de la pieza de prueba indicando las etapas de transferencia de calor desde un sólido caliente hasta un líquido frío.

La etapa A' en la figura N^o 1 ilustra los primeros efectos que experimenta la pieza durante la inmersión. Esta etapa se caracteriza por la formación de burbujas de vapor que antecede al establecimiento de la capa de vapor en toda la pieza.

Esta etapa tiene una duración de aproximadamente una décima de segundo y es relativamente de poca importancia para la evaluación de las características de transferencia de calor. Es detectada únicamente cuando se utiliza un equipo muy sensible y no se detecta cuando el líquido es viscoso ó contiene gases no disueltos ó cuando el baño es operado a una temperatura cercana a la de ebullición.

La etapa A se caracteriza por presentar un fenómeno el cual consiste en la formación de una capa de vapor no removible que rodea toda la pieza de prueba. Esto ocurre cuando la cantidad de calor proporcionado desde la superficie de la pieza de prueba, excede la cantidad de calor necesario para formar el vapor máximo por unidad de área de la pieza. Esta etapa es de enfriamiento lento, debido a que ésta capa actúa como refractario y el enfriamiento ocurre principalmente por radiación a través de la película de vapor.

Esta etapa no se detecta en soluciones acuosas de solutos no volátiles tales como, cloruro de potasio, cloruro de litio, hidróxido de sodio o ácido sulfúrico. Las curvas de enfriamiento para éstas soluciones empieza inmediatamente con la etapa B.

La etapa B en la cuál se observan las más altas velocidades de transferencia de calor, comienza cuando la temperatura de la superficie del metal ha sido reducida a un valor específico y la capa de vapor ha desaparecido. Entonces empieza a ebullicir violentamente el líquido de temple y el calor es removido desde el metal a una velocidad tan alta como el calor de vaporización.

El punto de ebullición del líquido determina el término de esta etapa. El tamaño y la forma de las burbujas formadas son importantes para el control de la etapa B al igual que el desarrollo de la velocidad de enfriamiento dentro de ésta.

En la etapa C la velocidad de enfriamiento es menor que la desarrollada en la etapa B. Esta etapa comienza cuando la temperatura superficial del metal es reducida al punto de ebullición del líquido de temple. Abajo de ésta temperatura la ebullición se detiene y comienza un enfriamiento lento por conducción y convección.

La diferencia en temperatura entre el punto de ebullición del líquido y la temperatura del baño es un factor muy importante que afecta la velocidad de transferencia de calor. La viscosidad del fluido también afecta la velocidad de enfriamiento en la etapa C.

Para todas ó algunas de las etapas de las curvas de enfriamiento la información proporcionada puede ser transferida ó interpretada como velocidad de enfriamiento ($^{\circ}\text{C}/\text{seg}$)

Los datos proporcionados en la curva de enfriamiento y desarrolladas bajo ciertas condiciones pueden ser extrapolados a otras condiciones como los valores de severidad H por medio de la aplicación de fórmulas de transferencia de calor.

La agitación del líquido de temple, por medios externos tiene importancia extrema en la transferencia de calor del medio de temple. Esto origina la desaparición de la capa de vapor de la etapa A y produce burbujas más pequeñas durante la etapa B. También elimina los geles ó sólidos adheridos a la superficie del metal produciendo una transferencia de calor más rápida. En suma a los efectos descritos anteriormente la agitación reemplaza el líquido caliente de la superficie de la pieza por líquido fresco, aumentando con ésto la velocidad de enfriamiento.

La temperatura del líquido de temple afecta marcadamente su habilidad para extraer el calor de la pieza. Mientras más alta es la temperatura del líquido de temple menor será su temperatura característica y prolonga más el tiempo de duración de la etapa A. Sin embargo el punto de ebullición no es cambiado. Altas temperaturas del líquido pueden disminuir la viscosidad, afectar el tamaño de burbuja ó el punto flash y de saponificación de algunos aceites y compuestos.

El aumento de la temperatura de la pieza tiene relativamente poco efecto en su habilidad para transferir calor al medio de temple.

La velocidad de transferencia de calor puede ser incrementada simplemente al aumentar el gradiente de temperatura entre la pieza y el líquido de temple.

2.1.2.- Aspectos Metalúrgicos.

El acero es templado para controlar la transformación de la austenita hasta los microconstituyentes deseados. Los microconstituyentes que se pueden obtener se muestran en la figura N^o 2.

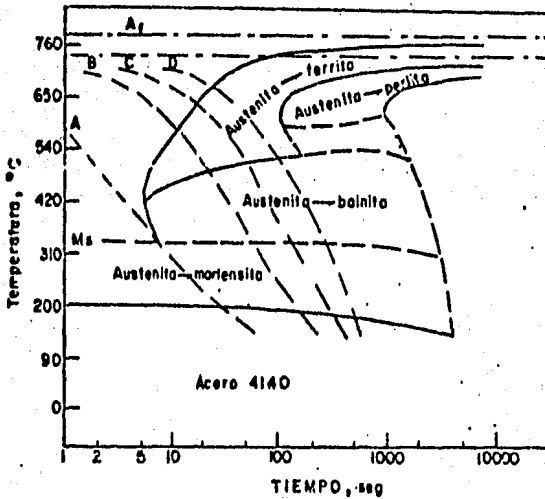


Figura N^o 2 Diagrama de transformación y curvas de enfriamiento para un acero 4140, indicando la transformación de la austenita a otros constituyentes como función de la velocidad de enfriamiento.

El microconstituyente denominado martensita es el usualmente deseado en el temple.

Como se indica en la curva de enfriamiento A de la figura N^o2 para obtener la cantidad máxima de martensita, la velocidad de enfriamiento debe ser lo suficientemente rápida para evitar la nariz del diagrama de transformación-tiempo-temperatura (TTT) del acero que está siendo templado. Si la velocidad de enfriamiento no es lo suficientemente alta para evitar la nariz del diagrama TTT, entonces se obtendrán porcentajes de otros microconstituyentes como son bainita, perlita y/o ferrita con la correspondiente disminución en el porcentaje de martensita formada y dureza desarrollada.

2.1.2.1.- Templabilidad.

La máxima dureza que se puede obtener de un acero templado a una velocidad suficiente para evitar la nariz del diagrama de transformación depende del contenido de carbono del acero. La velocidad de enfriamiento (eficiencia del temple) necesaria para obtener una estructura completamente martensítica depende de la templabilidad del acero.

La templabilidad de un acero es la capacidad que tiene a transformarse total ó parcialmente desde austenita hasta algun porcentaje de martensita a una profundidad dada en la pieza cuando se enfría bajo ciertas condiciones. De acuerdo a lo anterior la templabilidad depende del tamaño de grano austenítico el cuál afecta el sitio de nucleación, y el efecto de los elementos de aleación en la nucleación y crecimiento de la martensita.

La definición de templabilidad está relacionada primeramente con la microestructura, como se indicó anteriormente. La medición de la templabilidad frecuentemente está limitada a la dureza. Sin embargo la microestructura y dureza están interrelacionadas, y deben ser consideradas junto con el contenido de carbono, ya que el carbono controla la dureza máxima que se puede obtener con una microestructura determinada.

Existen varios tipos de pruebas sobre probetas estandar para determinar la templabilidad de un acero, sin embargo la más usada es la prueba Jominy que relaciona la dureza con la distancia al extremo templado. Esta norma se encuentra especificada en las normas mexicanas con la clasificación NOM-B320 y se encuentra en el apéndice A de esta tesis.

La figura N° 3 muestra curvas de templabilidad para tres tipos de aceros de baja aleación. De acuerdo a la definición de templabilidad y bajo las condiciones especificadas de temperatura de austenización y tamaño de grano, el acero 4140 tendrá a lo largo de su sección la dureza más homogénea presentando una diferencia desde la superficie hasta una profundidad de 5 cm. de 25 puntos Rockwell C mientras que el acero con menor templabilidad, que en este caso es el 1335, presentará una diferencia de dureza desde la superficie hasta los 5 cm. de 30 puntos Rockwell C observándose de esta manera mayor heterogeneidad en su dureza.

De igual manera el acero 8630 presenta una diferencia de durezas desde la superficie hasta los 5 cm. de 30 puntos Rockwell C, sin embargo dentro de la escala de dureza el acero 1335 se encuentra 5 puntos por arriba de la dureza que presenta el 8630.

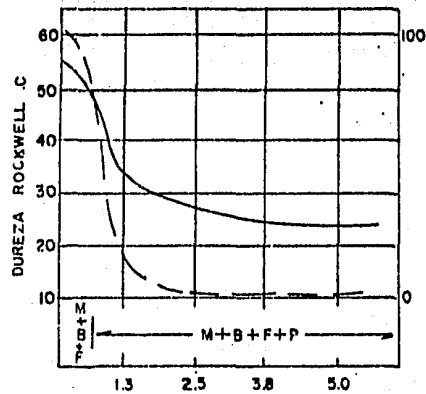
Cabe aclarar que la dureza de los aceros es función de su contenido de carbono, mientras mayor cantidad de éste elemento se encuentre en el acero mayor dureza tendrá. De acuerdo a lo anterior la diferencia en durezas encontrada en los aceros 1335 y 8630 es resultado de una diferencia de 0.05 % de carbono.

Dependiendo del contenido de carbono y de la templabilidad del acero, la velocidad de enfriamiento la velocidad de enfriamiento deberá ser lo suficientemente rápida, de tal manera que por lo menos se produzca 90% de martensita en áreas críticas sometidas a esfuerzo

Bajos porcentajes de martensita son aceptables en áreas sujetas a bajos esfuerzos en servicio.

Por otro lado, altos porcentajes de martensita en la estructura de temple producirá bajas propiedades de fatiga e impacto.

Sin embargo una vez que se ha efectuado el tratamiento de revenido en la pieza, ésta tendrá mejores propiedades mecánicas.

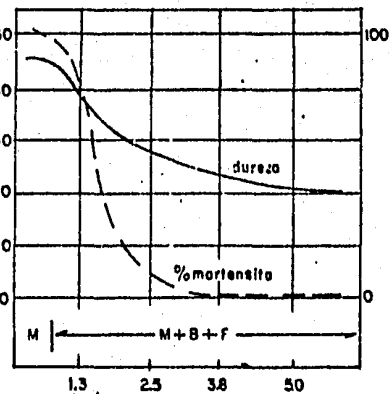


ACERO 1335

AUST. a 840 °C

Tamaño de grano

7

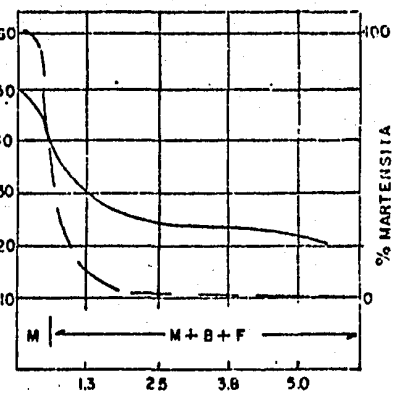


ACERO 4140

AUST. a 840 °C

Tamaño de grano

7-8



ACERO 8630

AUST. a 870 °C

Tamaño de grano

9

• DISTANCIA AL EXTREMO TEMPLADO, cm

FIGURA N°3

La relación entre contenido de carbono y porcentaje de martensita con respecto a la dureza, se muestra en la figura N° 4.

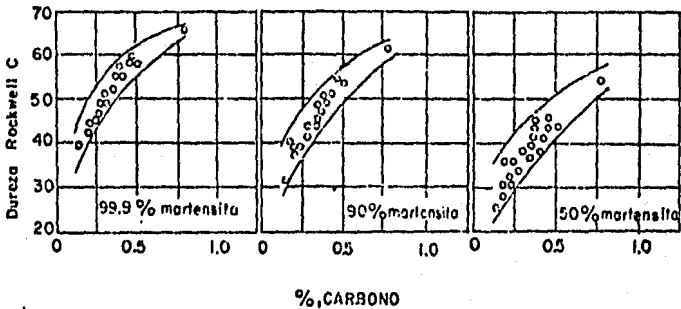


Figura N° 4 Relación entre contenido de carbono y porcentaje de martensita respecto a la dureza Rockwell C

En esta figura se observa que con porcentajes altos de martensita se obtendrán las más altas durezas en las piezas sin embargo como ya se mencionó, porcentajes de martensita de 90% son aceptables en áreas sujetas a esfuerzos críticos. El porcentaje de martensita obtenido, dependerá básicamente de la forma de la curva de transformación-tiempo-temperatura del acero en cuestión ya que mientras más separada se encuentre la curva del eje de las ordenadas mayor oportunidad tendrá el acero de poder enfriarse más rápidamente con el consiguiente aumento en porcentaje de martensita.

2.1.3.- Velocidades de enfriamiento.

Cuando un acero al carbono es templado desde su temperatura de austenización, una velocidad de enfriamiento igual ó más alta que 188°C por segundo (Ref. 1) es necesaria para evitar la nariz de la curva de transformación.

La totalidad de una sección transversal de la pieza debe enfriarse a esta velocidad para obtener el porcentaje máximo de martensita.

Bajo condiciones ideales, el agua proporciona una velocidad de enfriamiento de aproximadamente 2700°C por segundo (Ref. 1) en la superficie de piezas cilíndricas de 1.27 cm. de diámetro y 10 cm. de longitud. Esta velocidad disminuye rápidamente en el interior de la pieza.

Por lo anterior para aceros al carbono, únicamente secciones con un valor alto en la relación area-volumen pueden ser completamente endurecidas a través de toda su sección.

Cuando se utiliza agua ó salmuera para templar se desarrolla un alto gradiente de temperatura entre la superficie y el centro de la pieza. Este gradiente de temperatura produce una gran distorsión y aumenta el riesgo de fractura en todas las piezas de forma simétrica.

Esta distorsión se lleva a cabo debido al cambio en la estructura cristalina en la superficie de la pieza al entrar en contacto inmediato con baño de temple, mientras que el centro de la pieza aún permanece con la estructura cristalina que se produce al austenizar el material.

Al austenizar el material su estructura cristalina es cúbica de caras centradas la cuál ocupa un volúmen determinado. Al entrar en contacto el material con el baño de temple esta estructura cristalina cambiará a la cuál ocupa un volúmen que la estructura del material austenizado provocando de esta manera distorsiones en la sección de la pieza.

Bajo condiciones favorables , el temple de una pieza en aceite rápido proporciona una velocidad de enfriamiento en la superficie de un acero inoxidable de 1.27 cm de diámetro y 10 cm de longitud de 2038 °C por segundo(Ref. 1) al enfriar la pieza desde 832 °C hasta 543°C comparado con la velocidad de enfriamiento del agua usando una pieza similar.

El temple en aceite proporciona un gradiente de temperatura mucho más bajo que el que produce el agua por lo que disminuye la distorsión y la probabilidad de fractura.

Cuando se trabaja con secciones pesadas la velocidad de enfriamiento está limitada por la velocidad de conducción de calor desde el interior hasta la superficie de la pieza. El enfriamiento rápido de piezas extremadamente grandes es practicamente imposible debido al "efecto de masa"

Por lo tanto cuando se requiere endurecimiento profundo de una sección pesada es necesario utilizar un acero de aleación con alta templabilidad.

2.1.4.- Evaluación de la severidad de temple.

La habilidad de un medio de temple para extraer calor de una pieza caliente puede ser expresado en términos del valor de severidad H.

Si se considera que la severidad de temple del agua es 1.0 entonces las severidades de temple de otros medios serán los que se indican en la figura N^o 5. En esta figura se observan las relaciones que existen entre el diámetro de la barra, templabilidad inherente y los valores de severidad H.

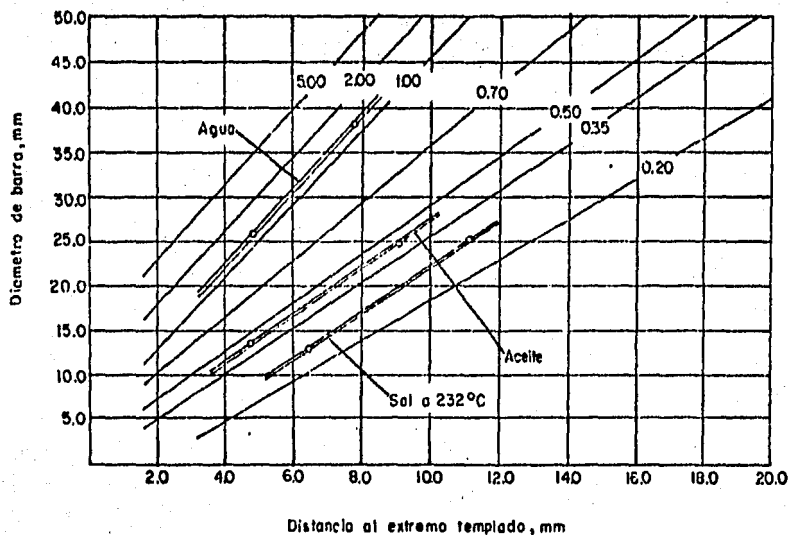


Figura N^o 5 Grafica de Grossmann relacionando diámetro de la barra, templabilidad del acero y severidad de temple.

La figura N^o 5 se puede usar de la siguiente manera: Si una pieza de 25.4 cm es templada en aceite con buena agitación, la figura muestra que siguiendo la línea horizontal en el eje donde se indica el diámetro, de la barra se llega a la línea diagonal que nos indica la severidad del temple en aceite con agitación buena (0.50), a partir de ese punto se traza una línea vertical hasta el eje horizontal y encontramos un valor de 8.5 mm. Este valor significa que el centro de la barra tendrá la misma dureza que la obtenida a 8.5 mm desde el extremo templado, de una probeta estandar del mismo acero de la barra (Lo que implica la misma templabilidad).

Como se observa, para varios aceites de temple ($H=0.7$, 0.5, 0.35 y 0.20) las diversas líneas de severidad de la tabla de Grossmann convergen en un punto fuera del rango normal de la carta. Este punto de intersección puede ser usado como segundo punto al trazar cualquier nueva línea de severidad. Un ejemplo de esto se muestra en esta figura por la línea marcada como aceite. Los dos puntos experimentales de esta línea fueron obtenidos templando una barra de dos diferentes diámetros. El uso de una barra con dos diámetros proporciona excelentes medios de checar los resultados porque esto proporciona tres puntos en la línea. Los resultados de tres diferentes temples comerciales, como los determinados con barras de dos diámetros se encuentran en la figura N^o 5 (agua y una sal a 232 °C) además del aceite.)

L La principal ventaja de esta prueba es que la probeta puede ser tratada como una pieza de producción; por lo tanto el temple es evaluado bajo las mismas condiciones de temperatura y agitación que actualmente prevalecen al templar una carga de piezas.

La barra de prueba deberá ser de un diámetro tal que la dureza de temple en el centro de la barra quede dentro de la porción de pendiente de la curva de templabilidad del acero a templar. La prueba puede ser desarrollada más convenientemente con un acero de baja templabilidad debido a que éste tipo de acero permite el uso de probetas de bajo diámetro que son más fáciles de maquinarse en el torno y seccionarlas después de templadas. El uso de este acero de ninguna manera distorsiona la validez de los resultados, porque la severidad de temple es una característica inherente del baño y no se ve afectada por el tamaño de la pieza ó templabilidad.

2.1.5.- Efecto de la masa, tamaño de la pieza.

En la figura N^o 6 se muestra el efecto de la masa y tamaño de la sección para barras de diversos diámetros.

Los efectos combinados de masa y medio de temple para el enfriamiento de pequeñas secciones se muestran en la figura N^o 7.

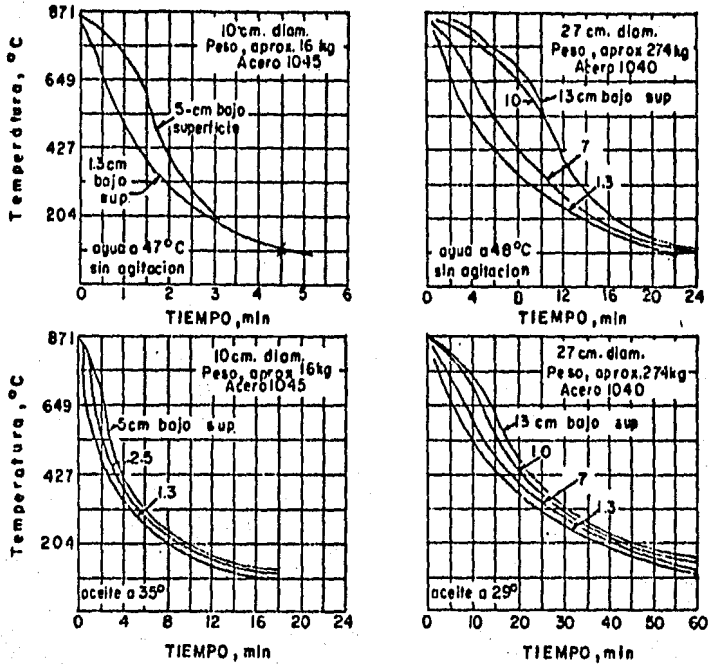


Figura N° 6 Efecto de masa y tamaño de la sección en las curvas de enfriamiento para piezas templadas en agua y aceites. (Ref. 1)

De la figura N° 6 se observa que el agua tendrá mayor severidad de temple con respecto al aceite. Por lo que respecta a la masa de las piezas se observa que se requerirá mayor cantidad de tiempo para enfriar una pieza que pese 274 kg. que el tiempo requerido para enfriar una que pese 16 kg. tomando en cuenta ambos medios de enfriamiento.

Asimismo se hace notar que en cuanto a la sección transversal de las piezas también se requerirá de mayor cantidad de tiempo para enfriar la superficie de una pieza de 27 cm. de diámetro con respecto a una de 10 cm de diámetro. Nótese de la figura N° 6 que el tiempo que se requiere para bajar la temperatura de la superficie de una barra de acero de 27 cm. de diámetro desde 871 °C hasta 100 °C es de 22 min. mientras que para una barra de 10 cm de diámetro del mismo acero unicamente se requerirán 5 minutos, bajo las mismas condiciones de temperatura y medio de enfriamiento.

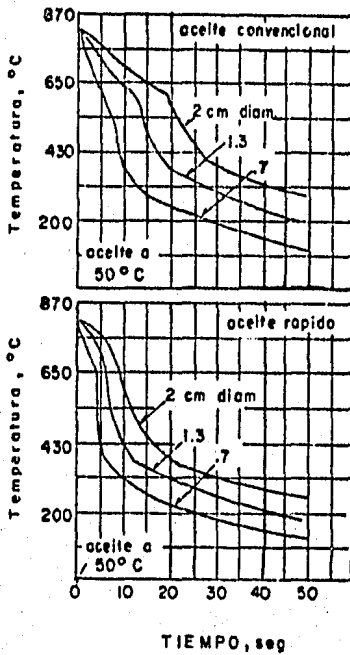


Figura N^o 7 Curvas de enfriamiento para barras de acero inoxidable de 6.4 cm de longitud y varios diametros, templados en dos tipos de aceite.

La figura N^o 7 muestra el efecto del tipo de aceite usado sobre barras de diferentes masas. Obsérvese que para un solo tipo de aceite el enfriamiento es mucho más rápido sobre barras o piezas de poca masa, aumentando el enfriamiento en forma considerable al aumentar un poco la masa de la pieza.

2.1.6.- Aceite como medio de temple.

Los aceites para temple discutidos en esta sección son de dos tipos, los denominados convencionales y los rapidos.

Un aceite de temple convencional es aquel que no contiene aditivos que afecten sus características de enfriamiento; estos aceites son fracciones producidas por la destilación de aceites crudos y mezclados hasta viscosidades de 100 SUS a 38°C.

Los aceites rápidos son mezclas, generalmente de baja viscosidad, que contienen aditivos especialmente desarrollados que mejoran sus características enfriantes y por lo tanto aumentan la rapidez del temple.

Las propiedades típicas de cuatro aceites comerciales (dos convencionales y dos rápidos) se enlistan en la tabla N° 2.

Característica	Prueba ASTM	Tipo de aceite de temple			
		Convencional		Rápido	
		1	2	1	2
Gravedad API	D 287	33	27	33.5	35
Punto Flash, °C	D 92	157	185	188	160
Punto Ignición, °C	D 92	218	213	218	174
Viscosidad a 38, °C	D445 D446	107	111	95	60
Saponificación	D94	No	No	No	No
Residuos de carbono, %	D94	0.006	0.025	0.05	0.20
Otros residuos, %	D482	0.002	0.008	0.010	0.001

Tabla N° 2 Propiedades típicas de aceite de temple convencionales y rápidos.

Los fabricantes de aceites rápidos añaden diversos tipos de aditivos con el fin de mejorar su mojabilidad, viscosidad, punto de ignición, saponificación y otras propiedades. La tabla N^o 2 incluso indica las pruebas ASTM para determinar las propiedades enlistadas. Estas pruebas son usadas por los vendedores para mantener el control de las especificaciones de sus productos e incluso se pueden aplicar a intervalos para checar las condiciones de los aceites de temple usados.

El medio de temple ideal es aquel que presenta una alta velocidad inicial de temple a través de las etapas A y B, y baja velocidad a través de la etapa C.

El agua y soluciones acuosas de sales inorgánicas tienen altas velocidades iniciales de enfriamiento, sin embargo debido a que las altas velocidades de temple persisten en la etapa C (bajas temperaturas) el uso de estos medios está restringido a piezas de forma simple y aceros con baja templabilidad.

Con aceites convencionales la duración de la etapa A es mucho mayor que para agua. La velocidad de enfriamiento en la etapa B es considerablemente baja, mientras que en la etapa C ésta es baja. Debido a lo anterior el poder de temple de los aceites es mucho menor que el del agua. Sin embargo la transición desde la etapa B hasta la C es más gradual y por ésta razón los aceites convencionales causan menores distorsiones.

Los aceites de temple rápido se acercan un poco más a las velocidades iniciales de enfriamiento del agua, sin sacrificar las ventajas de los aceites convencionales. Con los aceites la duración

Con estos aceites la duracion de la etapa A es considerablemente menor que con los aceites convencionales. El enfriamiento en la etapa B comienza mucho antes, tiene una duracion mayor, y la velocidad de enfriamiento en ésta es aumentada. El enfriamiento en la etapa C es aproximadamente igual para ambos tipos de aceite.

La característica mas importante en cualquier aceite de temple es su habilidad para extraer el calor de las piezas a templar. Esta propiedad se relaciona con la composición del aceite. Independientemente de si se trata de un aceite convencional o rapido, estos deben tener estabilidad térmica para resistir la descomposición(saponificación), oxidación y formación de lodo. Es costumbre seleccionar aceites que tengan un punto flash de 170°C . Si la temperatura del aceite es mantenida abajo de los 65°C el punto flash no es de suma importancia. Un baño de temple no se incendia a menos que la temperatura de la superficie alcance el punto de ignición.

La figura N^o 8 muestra los efectos de la velocidad de circulación y temperatura en el poder enfriante de un aceite convencional y uno rápido.

La viscosidad en aceites convencionales es importante, primeramente porque afecta sus características enfriantes. En los más caros aceites rápidos el aumento en la pérdida de solución de temple con el aumento de la viscosidad puede significar un factor de economía. Con un aumento en la temperatura del aceite, la viscosidad disminuya rápidamente y se obtendrán rangos considerablemente estrechos de viscosidad. Por ejemplo dos aceites con viscosidades de 85 y 200 S U S a 38°C

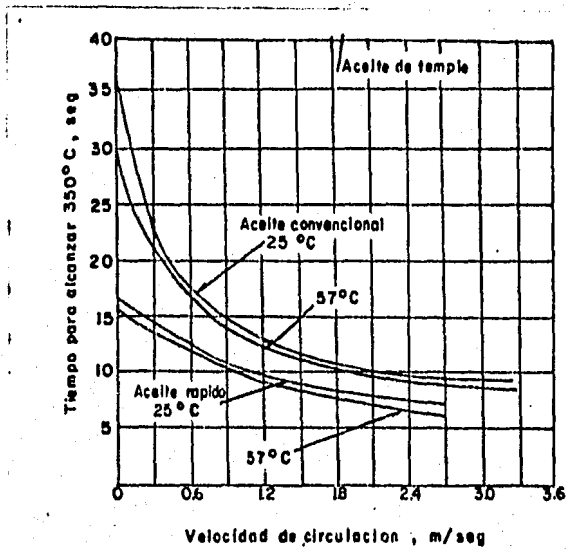


Figura N° 8 Comparación en el poder enfriante de aceites de temple convencionales y rápidos.

tendrán viscosidades de 50 a 77 SUS a 65 °C.

La pérdida de solución de temple al extraer la pieza del baño depende de la viscosidad del aceite (relacionado con la temperatura) y de la temperatura de las piezas cuando son removidas del baño. En muchas aplicaciones es deseable remover las piezas a la más baja temperatura posible. Por lo tanto el control de la viscosidad es importante para minimizar las pérdidas de solución de temple al extraer la pieza del baño.

La temperatura óptima para mantener un baño de temple en aceite está influenciado por varios factores además de las pérdidas de solución de temple. Algunos de estos factores son: a) Punto flash del aceite, b) Requerimientos de limpieza, c) control de la distorsión y carga de temple,

(masa contra area), y d) requerimientos de dureza.

El punto flash indica la temperatura máxima de operación para un aceite de temple. Por razones de seguridad es deseable tener una temperatura de 65°C abajo de este punto antes de templar.

Un temple limpio requiere que el aceite retenga sus características de limpieza. Esto se mejora manteniendo una baja temperatura de temple del aceite para minimizar oxidación ó degradación del aceite.

La carga de temple determina la temperatura que alcanza el aceite de temple. Las curvas de enfriamiento muestran que un temple uniforme puede ser mantenido a pesar de altos incrementos de temperatura, proporcionando buen control de calidad. Sin embargo el peligro de una ignición debe ser considerado cuando la temperatura del baño se aproxime al punto flash. Piezas con relaciones area-volumen grandes aumentan el peligro de una ignición y requieren bajas temperaturas del aceite.

De las curvas de enfriamiento mostradas en la figura N^o9 es aparente que las características enfriantes de los aceites de temple no cambian en un rango bastante amplio de temperaturas. Las únicas diferencias se han encontrado en las últimas etapas de enfriamiento, cuando la temperatura de las piezas se aproximan a la temperatura del aceite.

Estas diferencias pueden ser importantes en el templeado de algunas piezas.

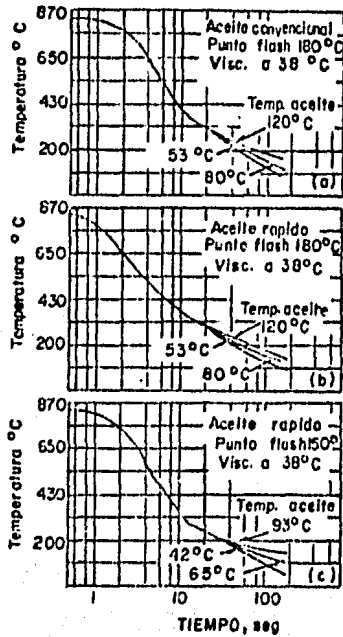


Figura N^o 9 Curvas de enfriamiento para piezas de acero inoxidable tipo 304 templados en tres tipos de aceite. (Ref. 1)

La reducción de los gradientes de temperatura entre el centro y superficie, mientras que el acero pasa a través del rango de temperatura de formación de martensita (abajo de 260° C) minimiza la formación de esfuerzos de temple y la probabilidad de fractura.

De los aceites de temple de las figuras 9(a) y 9(b) la temperatura óptima del aceite deberá ser aproximadamente 60° C. Si el acero no adquiere la dureza de temple requerida, puede ser necesario usar un aceite de temple que tenga una velocidad de enfriamiento más rápida, similar a la de la figura 9(c). Este tipo de aceite deberá ser usado desde 38° C hasta 48° C.

Para aceros con un intervalo amplio entre M_s y M_f , la velocidad de enfriamiento a través del menor intervalo de temperatura es menos crítico. En todo caso, la distorsión puede ser disminuída sin sacrificar la dureza operando con altas temperaturas de aceite (esto es desde 77°C hasta 93°C)

2.1.7.- Efecto del tamaño de grano.

La investigación clásica de Mcquaid y Ehn mostraron que el tamaño de grano austenítico afecta directamente la habilidad del acero a ser endurecido por temple. Se ha demostrado por muchos investigadores que un tamaño de grano austenítico basto aumenta la posibilidad de endurecer una sección más grande del acero que si tuviera tamaño de grano fino, todos los demás factores permanecen igual. La mayoría de las investigaciones se han desarrollado en aceros en donde la perlita limita la templabilidad del acero. Para estos aceros se ha desarrollado un diagrama práctico que relaciona el tamaño de grano con el diámetro crítico ideal del acero. Se ha establecido incluso que en el rango de templabilidad hasta de 4.0 (D_1) un aumento en el tamaño de grano por ejemplo de 6 a 5 ASTM se observa un aumento proporcional en la templabilidad. Por lo tanto, la influencia del tamaño de grano se puede considerar independiente de la composición del acero. En algunos aceros en los cuales la fase bainítica es dominante nó se observa el comportamiento anteriormente descrito.

2.2 .- Revenido.

El revenido del acero consiste en calentamiento de la pieza previamente endurecida, hasta una temperatura por debajo de la temperatura crítica inferior y enfriamiento a una determinada velocidad, con el propósito principalmente de aumentar ductilidad y tenacidad.

Bajo ciertas condiciones, la dureza puede no variar ó aumentar por medio del revenido. Por ejemplo, el revenido de un acero a una temperatura muy baja puede no ejercer ningún cambio en la dureza, pero puede producir un aumento en el límite elástico. Incluso aquellos aceros que contienen un alto porcentaje de uno o más de los carburos que se pueden formar (cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno) son capaces de producir una dureza secundaria, es decir, éstos aceros pueden endurecerse como resultado del revenido (aceros de herramienta).

El tiempo y la temperatura son variables interdependientes en este proceso. Dentro de los límites bajas temperaturas y tiempos altos pueden producir los mismos resultados que si aumentáramos la temperatura y disminuyéramos el tiempo.

Las propiedades mecánicas del acero revenido dependen de la temperatura y duración del revenido, las partículas de carburo se van alargando paulatinamente y disminuyendo en número conforme aumenta el tiempo y temperatura de revenido.

Con pocas excepciones el revenido se efectúa a temperaturas entre 177°C y 700°C y durante tiempos entre 30 minutos y 4 horas.

La función principal de los elementos de aleación en los aceros es aumentar la templabilidad. En el revenido, el efecto de los elementos de aleación es retardar la velocidad de ablandamiento, es decir, disminuyen la facilidad del acero a suavizarse. Por lo anterior, los aceros de aleación requieren de temperaturas de revenido más altas que las que se utilizan para aceros al carbono, para alcanzar determinada dureza en un tiempo dado.

Las características de revenido de tres aceros de baja aleación austenizados y templados se muestran en la figura N^o 10.

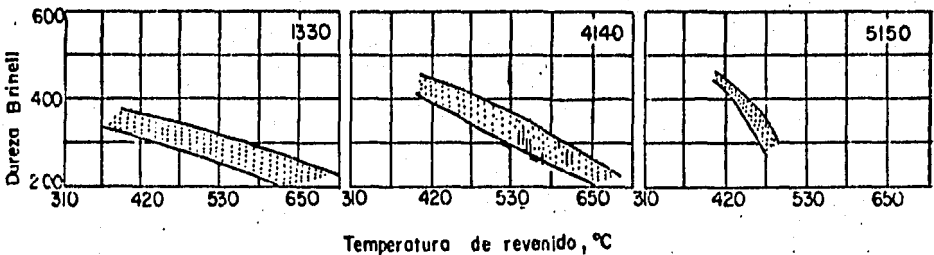


Figura N^o 10 Intervalo de dureza superficial despues de revenir aceros aleados, austenizandolos a 840°C (870°C para el 1330) y templados en aceite. Los tamaños de las secciones son: 1 cm. diam. para 1330, 2.54 cm. diam. para 4140, y 2.0 cm. diam. para 5150.

La variación de la dureza después del revenido, es frecuentemente consecuencia de la templabilidad y microestructura. Cuando la microestructura es la misma, el control de la temperatura es más importante durante el proceso de revenido.

En general el control de la temperatura de revenido dentro de un rango de ± 10 °C es adecuado y se encuentra dentro de los límites de muchos hornos y equipos de revenido.

Durante el revenido de algunos aceros de baja aleación tal como el 4140 a bajas temperaturas existe un aumento gradual en el límite elástico hasta temperaturas de revenido de 200 °C. El revenido entre temperaturas de 260 °C hasta 310 °C frecuentemente dá como resultado baja tenacidad en el material.

3.- Materiales Experimentales.

Para el inicio de operación de la planta se requirieron barras de acero 4140 H las cuales fueron proporcionadas por dos empresas distintas que se denominarán en lo sucesivo A y B.

3.1.- Analisis Quimico.(Analisis por vía húmeda)

La composición química de cada uno de los materiales es la siguiente:

Elementos	Planta A	Planta B	Norma
C	0.39	0.41	0.37 - 0.44
Mn	0.86	0.77	0.65 - 1.10
Si	0.39	0.32	0.20 - 0.35
P	0.007	0.011	+
S	0.013	0.032	+
Cr	0.97	0.82	0.75 - 1.20
Mo	0.20	0.21	0.15 - 0.25

+ Porcentajes máximos establecidos entre el cliente y fabricante de 0.013 %.

3.2.- Pruebas Físicas.

Los materiales en estado de normalizado se sometieron a las siguientes pruebas de acuerdo a lo establecido en la Norma ASTM E - 21.

3.2.1.- Dureza Rockwell B

Planta A	Planta B
91.0	88.0

3.2.2.- Resistencia a la tracción

	Resistencia a la tracción, Mpa	Límite elástico Mpa	Alargamiento en 58 mm., %
Planta A	675	460	16.0
Planta B	610	457	16.0

3.2.3.- Impacto.

Se efectuó la prueba de impacto Charpy -V sobre tres probetas de cada uno de los materiales proporcionados por ambas empresas.

Los resultados obtenidos, en joules, son los siguientes:

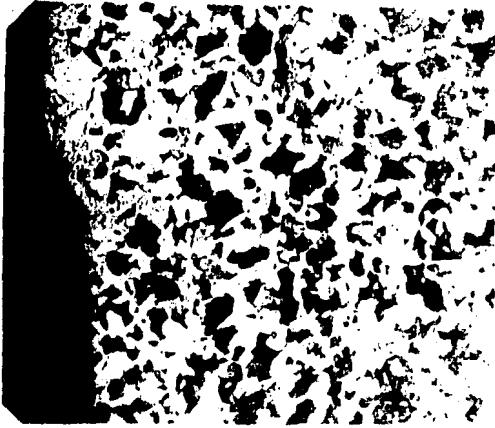
Planta A	Planta B
12.2	17.5
12.2	17.0
11.5	18.0

3.3.- Metalografía.

Se efectuó una metalografía sobre cada una de las muestras representativas de las dos empresas. En las fotomicrografías de la A a la D se muestran las microestructuras de los materiales.

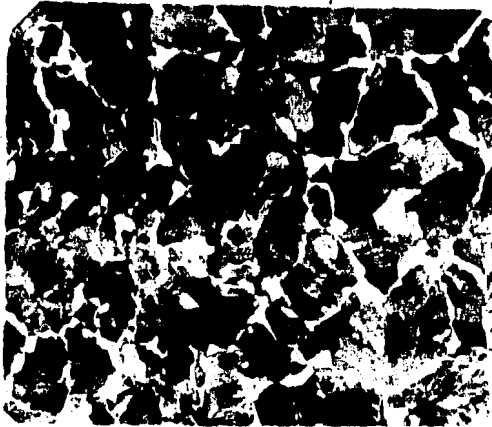
Planta A

La observación de esta muestra (barra de 17.0 cm. de diámetro) reveló una diferencia en tamaño de grano, ya que en la superficie de las barras el tamaño de grano es de ASTM N° 6 (ver fotomicrografía A) mientras que la microestructura observada a partir de 5 mm de la superficie hacia el centro presenta un tamaño de grano de ASTM N° 3 a 4 (ver fotomicrografía B).



Fotomicrografía A (100 X)

Aspecto que presenta la microestructura del material de la planta A en la superficie de las piezas.



Fotomicrografía B (100 X)

Aspecto que presenta la microestructura del material de la planta A a partir de 5 mm de la superficie.

Planta B

En la superficie de las barras (de 17.0 cm de diámetro) proporcionadas por esta planta se observó una decarburización que abarca aproximadamente 5 mm de la superficie hacia el centro. El tamaño de grano que presenta esta zona es de ASTM N^o 7. Lo anterior se aprecia en la fotomicrografía C.



Fotomicrografía C (100 X)

Microestructura que presenta la superficie del material proporcionado por la planta B



Fotomicrografía D (100 X)

La microestructura que se observa a partir de los 5 mm de profundidad presenta un tamaño de grano ASTM N^o 8 a 9. (fotomicrografía D)

4.- Experimentación.

4.1.- Pruebas de laboratorio.

4.1.1.- Temperatura óptima de austenización para obtener un endurecimiento máximo.

Para esta prueba se cortaron y maquinaron 5 piezas de 2.5 cm. de diámetro y 6.44 cm. de espesor de cada uno de los materiales de ambas plantas. Posteriormente se calentaron a diferentes temperaturas (dentro del intervalo de temperaturas de austenización, Tabla N^o 1) y se enfriaron en agua.

Los resultados obtenidos se enlistan a continuación:

	Temperatura, °C	Dureza promedio, Rc	
		Planta A	Planta B
1	725	58.0	58.0
2	750	58.6	58.0
3	800	61.0	60.5
4	850	59.0	56.5
5	900	58.0	57.5

Las curvas obtenidas con estos resultados se muestran en la figura N^o 10.

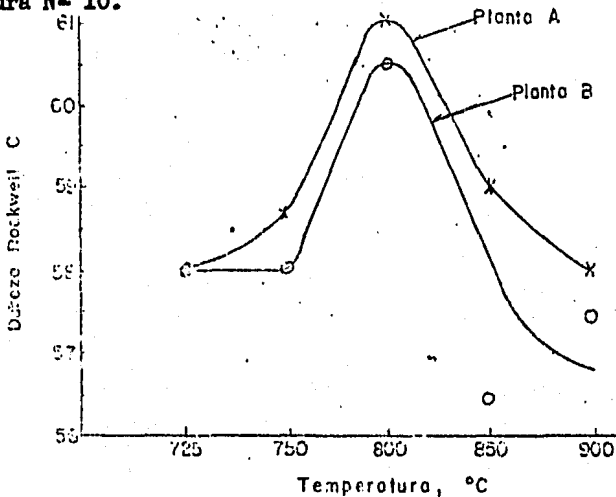


Figura N^o 10 Curvas de temperatura vs dureza máxima

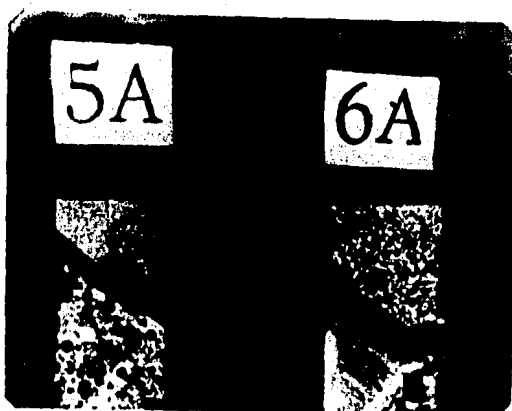
4.1.2.- Superficies de fractura de las muestras de la prueba anterior.

La apariencia de las superficies de fractura de las muestras austenizadas a 900°C y enfriadas en agua ($\text{N}^{\text{os}} 5$ en la tabla de resultados) y en estado de normalizado ($\text{N}^{\text{os}} 6$) se aprecian en las siguientes fotografías, $\text{N}^{\text{os}} 1$ y 2

Planta A

5A Austenizado a 900°C y enfriado en agua.

6A Normalizado

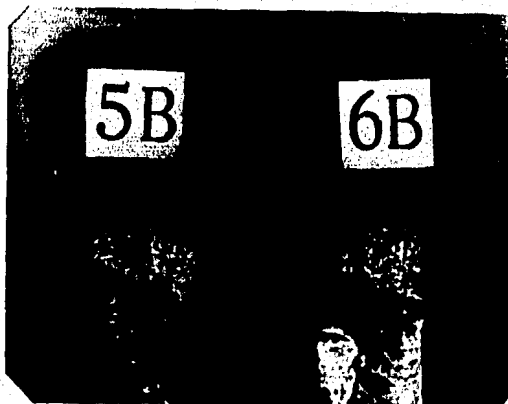


Fotografía N° 1

Planta B

5B Austenizado a 900°C y enfriado en agua.

6B Normalizado



Fotografía N° 2

4.1.3.- Prueba Jominy.

Esta prueba se efectuó con el fin de determinar la templabilidad de ambas muestras. Los resultados de esta prueba, comparados con el modelo teórico de grossmann, para cada uno de los materiales, planta A y B, se muestran en las figuras N° 11 y 12 respectivamente. A su vez los resultados anteriores se graficaron sobre la banda de templabilidad reportada en la literatura para un acero SAE 4140 (Ref. 1)

Figura N°11

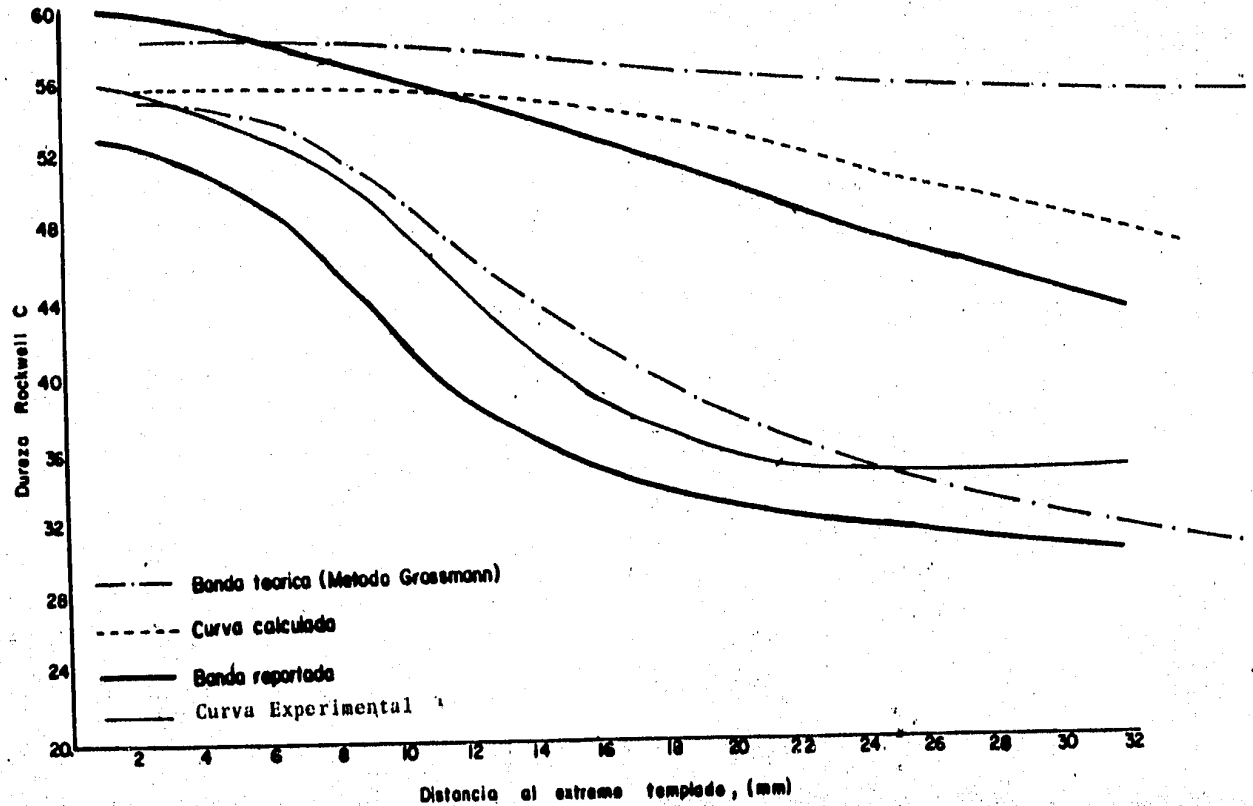
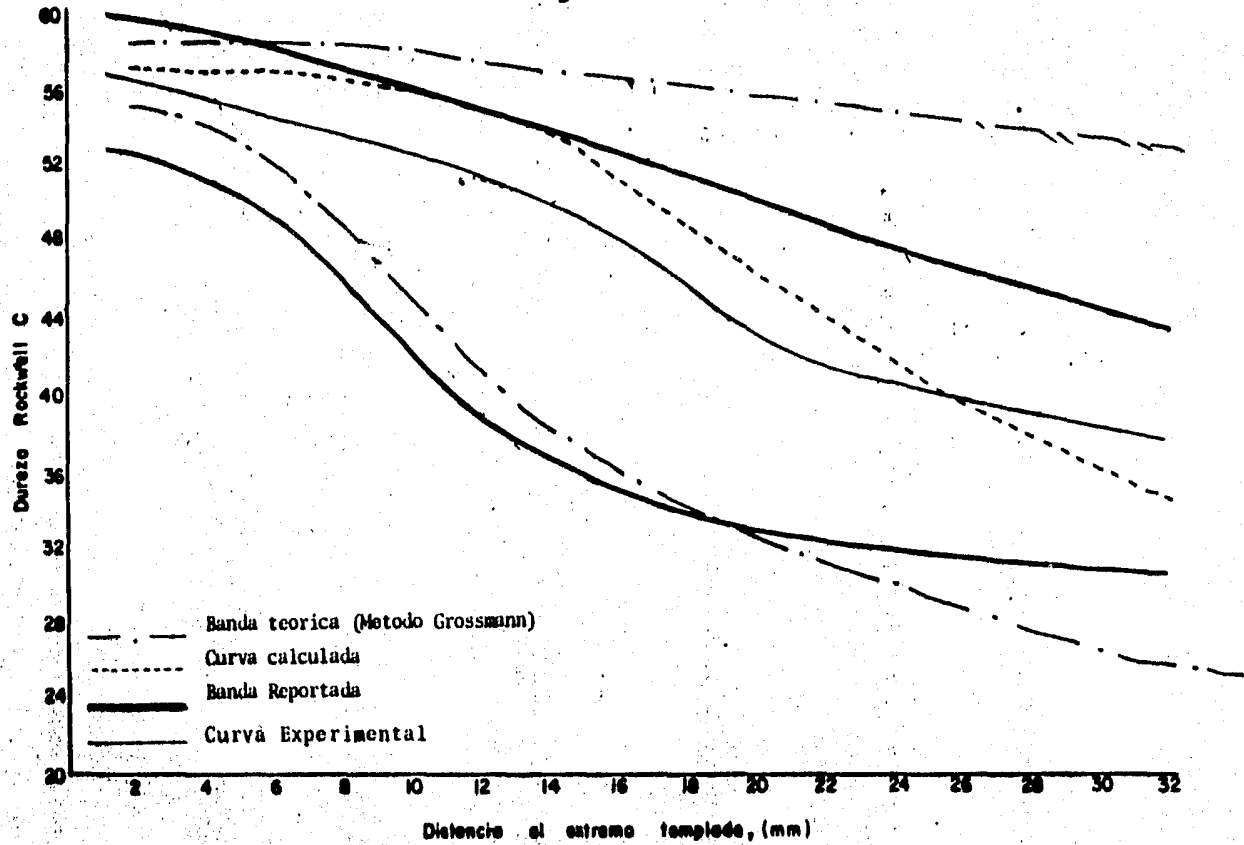
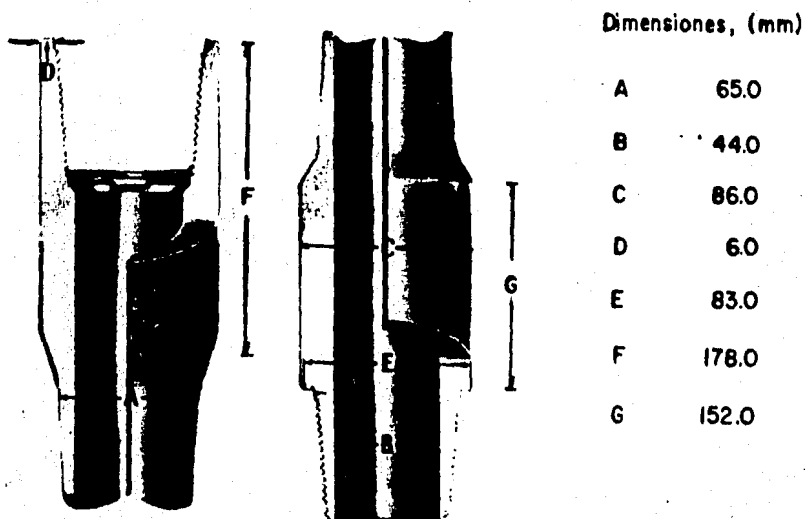


Figura N° 12



4.2.- Pruebas en planta.

Una vez terminadas las piezas como lo muestra la figura N^o 13, se procedió a templarlas y revenirlas según el ciclo de tratamiento térmico que a continuación se describe:



4.2.1.- Ciclos de tratamiento termico

	Planta A	Planta B
a) Temperatura del horno de temple (°C)	969	840
Tiempo de permanencia (hr)	4	3

	Planta A	Planta B
Temperatura del aceite de temple (°C)	26 a 69	26 a 58
Estado del baño de temple	agitacion	agitacion
Tiempo de inmersión en baño de temple (min)	60	15
Dureza superficial(HRC)	32+	50
b)Temperatura del horno de revenido (°C)	----	640
Tiempo de permanencia (hr)	----	3
Dureza superficial (HRC)	----	32

+ Esta dureza se obtuvo después del temple por lo tanto no se efectuó el revenido del material. La dureza mínima de temple en la superficie de la pieza, según la banda de templabilidad es de 52 RC

4.2.2.- Características del aceite.

Mobil Term R	Tipo parafina (convencional)
Viscosidad a 38 °C	100 a 105 S.U.S.
Punto flash (ignición)	177 °C
Densidad	0.84 gr/cm ³

4.2.3.- Resultados de las pruebas mecánicas.

Después del tratamiento termico efectuado a las piezas se procedió a medir sus propiedades mecánicas y compararlas con los datos de especificación.

Debido a que nó se logró la dureza mínima de temple en el material proporcionado por la planta A, no se le efectuaron las pruebas mecánicas correspondientes.

Los resultados de las pruebas mecánicas efectuadas al material de la planta B se enlistan a continuación:

	Planta B	Especificación
Resistencia a la tracción (MPa)	1045	961 a 1108
Limite Elastico (MPa)	922	755 min.
Alargamiento en 5.0 cm, (%)	18.0	13.0
Resiliencia (Joule)	63.7	60.0 min

Los resultados obtenidos coinciden con los datos de especificación requeridos.

4.2.4.- Pruebas efectuadas a material de la planta A modificado.

Debido a que no se obtuvieron los resultados esperados con el ciclo de tratamiento termico efectuado al material de la planta A se tuvieron que modificar algunas variables en el proceso de fabricación de las barras. Primeramente se fué modificando la composición química con el fin de obtener mayor templabilidad en el material. A estas materiales modificados se les efectuaron diferentes ciclos de tratamiento termico con el fin de obtener estadísticas de comportamiento del material modificado hasta obtener la composición y ciclo de

tratamiento térmico óptimo dentro de los rangos establecidos en las normas (SAE 4140)

4.2.4.1.- Análisis Químico.

C	0.43
Mn	1.12
Si	0.40
P	0.021
S	0.011
Cr	1.01
Mo	0.27

4.2.4.2.- Ciclo de tratamiento termico.

	Planta A
a)Temperatura del horno de temple (°C)	620
Tiempo de permanencia (hr)	3
Temperatura del aceite de temple (°C)	26 a 40
Estado del baño de temple	agitación
Tiempo de inmersión (min)	15
Dureza obtenida(HRC)	53
b)Temperatura del horno de revenido (°C)	610
Tiempo de permanencia (hr)	3
Dureza superficial (HRC)	33

4.2.4.3.- Resultados de las pruebas mecánicas.

	Planta A (modificado)	Especificacion
Resistencia a la tracción (MPa)	1088	961 a 1108
Limite elastico (MPa)	990	755 min.
Alargamiento en 5.0 cm, (%)	20	13 min.
Resiliencia (Joule)	90	60 min.

5.- Discusión.

La diferencia de valores entre el material de la planta A con respecto al material de la planta B, dentro del análisis químico y pruebas mecánicas, era de esperarse debido a que los aceros, con composiciones similares, pero con tamaño de grano pequeño proporcionarán mejores características de tenacidad que aquellos que presenten un tamaño de grano más basto. (Ref. 2) Ver sección 3.3 metalografía.

Analizando por separado cada uno de los factores anteriores se hace notar que el material de la planta B contiene mayor cantidad de carbono, el cuál aumenta en forma notable la dureza después del temple del acero (ver figura N° 4). Por otro lado lo anterior no significa que el material de la planta A con ese porcentaje de carbono (0.39 %) no deba alcanzar la dureza requerida, ya que se encuentra dentro de lo especificado para un acero SAE 4140.

Sin embargo dentro de un análisis global estos factores se van sumando en detrimento ó ventaja de cada uno de los aceros al final del tratamiento térmico.

Dentro de las pruebas mecánicas, tanto la dureza como la resistencia del material de la planta B aventaja al de la planta A debido a que la menor dureza y resistencia del primero facilita el corte y maquinado de las barras para su conformado final (figura N° 13).

Los resultados de la prueba de impacto nos indican que el material de la planta B presenta mejores propiedades de tenacidad que el de la planta A.

Por último, las microestructuras (y tamaño de grano) que presentan los materiales, corroboran la diferencia en el proceso de manufactura que se emplea en cada empresa para fabricar las barras.

La diferencia en tamaño de grano observados en ambas muestras entre la superficie y centro de las barras se debe principalmente a la diferencia en las velocidades de enfriamiento entre la superficie y centro de las barras. Por otro lado la decarburización que presenta el material de la planta B es consecuencia de las altas temperaturas empleadas durante el conformado de las barras y la ausencia de una atmósfera que evite la difusión del carbono hacia el exterior. Este último aspecto implicará la elevación de costos para la empresa encargada de fabricar las juntas de refuerzo, debido a que tendrá que maquinar la capa decarburada (5 mm por lo menos)

Otro aspecto que se hace notar es que la apariencia de las superficies de fractura de todas las muestras es de tipo frágil debido a las características que presentan principalmente poca deformación plástica. Sin embargo existe gran diferencia en las superficies de fractura de los materiales normalizados con respecto a los templados y revenidos.

Por un lado en los materiales normalizados la superficie de fractura es brillante y con una textura cristalina granular mientras que la apariencia de la superficie de fractura

del material templado y revenido es gris con una textura sedosa y fibrosa.

De los resultados de las pruebas efectuadas en laboratorio se puede establecer lo siguiente:

a) La temperatura óptima de endurecimiento máximo de las piezas, se encuentra en el intervalo de temperaturas de 800° C a 820° C aproximadamente. (Ver figura N° 10)

b) La templabilidad del material de la planta B es mayor que la que presenta el material de la planta A (figuras N° 11 y 12). Lo anterior, debido principalmente al proceso de manufactura de las barras, ya que como se ha mencionado con anterioridad el tamaño de grano afecta la nucleación y crecimiento de la martensita.

c) Por último, cabe hacer notar que aunque se efectuaron tratamientos térmicos en laboratorio sobre piezas con espesores representativos de las juntas y habiendo obtenido resultados satisfactorios, ésto nó indica necesariamente que se deban obtener los mismos resultados en las pruebas que se efectuaron en planta. Lo anterior debido al efecto de masa (relación área-volumen) y capacidad de los hornos de la empresa encargada de fabricar las juntas de refuerzo.

Las pruebas efectuadas en las instalaciones de la compañía mexicana encargada de la fabricación de las juntas y con asesoramiento de las compañías proveedoras de materia prima resultaron satisfactorias para la planta B, nó siendo así para el material proporcionado por la planta A por lo que fué necesario, de acuerdo a los resultados de las pruebas en laboratorio, efectuar modificaciones, principalmente aumentar los elementos de refuerzo.

de aleación para obtener mayor templabilidad y mejores propiedades mecánicas.

Por último, cabe hacer notar que el interés demostrado por el material de la planta A, por parte de la compañía que fabricará las juntas de refuerzo, radica principalmente en la disminución de los costos de transporte de la materia prima. La planta A tiene que recorrer aproximadamente 2 kilómetros para abastecer de materia prima a la empresa, mientras que la planta B tiene que recorrer 440 kilómetros, además de que las barras proporcionadas tendrán que ser maquinadas 5 mm aproximadamente con el fin de eliminar la capa decarburada que presentan.

6.- Conclusiones.

Las pruebas iniciales efectuadas en planta nos dieron una idea de la situación en general que prevalecía con respecto a los materiales, y de alguna manera conocer lo que podía esperarse de cada uno de ellos.

Las pruebas en laboratorio nos indicaron el comportamiento de los materiales durante el tratamiento térmico de temple y revenido estableciendo parámetros óptimos de tiempo y temperatura.

Una vez en planta se llevaron a cabo las pruebas de tratamiento térmico basándose en los resultados de las pruebas efectuadas en laboratorio, y aunque se tuvieron que ajustar algunos parámetros no considerados en laboratorio éstos resultaron satisfactorios en cuanto a procedimiento, no siendo así en cuanto a resultados, como se observó con el material de la planta A

Por último, en base a los datos teóricos y de laboratorio y en las estadísticas que se tenían hasta ese momento, se establecieron las condiciones bajo las cuales debía fabricarse el acero por parte de la planta A, con el fin de obtener resultados satisfactorios para poder utilizar éste acero.

Como ya se mencionó con anterioridad, el interés demostrado por el material de la planta A es el hecho de que la obtención y procesamiento de este material para fabricar las juntas radica en su menor costo tanto de transporte, distribución y fabricación de las juntas. Mientras que el material de la planta B quedaría como una alternativa de

abastecimiento.

Dentro del contexto general de ésta tesis se analizó y se resolvió el problema que se presentó durante la fabricación de las juntas para tubería de perforación obteniendo resultados satisfactorios como consecuencia de la intervención única de técnicos mexicanos en un tiempo relativamente corto.

BIBLIOGRAFIA

"Atlas of Isothermal Transformation and
Cooling Transformation Diagrams"

American Society For Metals.

1977

"Heat Treating, Cleaning and Finishing"

Metals Handbook Vol. 2

American Society For Metals.

1964

"Principles of Heat Treatment"

M. A. Grossmann and E.C. Bain.

American Society For Metals.

5th Edition 1964.

"Failure Analysis and Prevention."

Metals Handbook Vol. 10

American Society For Metals.

1975.

I N D I C E

Capítulo núm.	Página
1 EJECUTIVO Y CAMPO DE APLICACION	1
2 REFERENCIAS	1
3 APARATOS Y EQUIPO	1
4 FICSETAS	2
5 PROCEDIMIENTO	2
6 CALCULOS Y RESULTADOS	8
7 INFORME	8
8 BIBLIOGRAFIA	25



NORMA OFICIAL MEXICANA
"INDUSTRIA SIDERURGICA-TEMPERABILIDAD DEL ACERO-METODO DE PRUEBA" (PRUEBA DE JOMINY)

NOM-B-320-1983

"STEEL INDUSTRY-HARDENABILITY OF STEEL-TEST METHOD (JOMINY TEST)"

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece el procedimiento para determinar la templabilidad del acero mediante la prueba de Jominy.

La prueba consiste en templar en agua el extremo de una probeta cilíndrica de 25 mm de diámetro y en medir la distancia y el número de dureza que ha adquirido el acero a partir del extremo templado.

La templabilidad es una medida del endurecimiento del acero en función de la profundidad cuando se temple desde su temperatura de austenización. Se mide cuantitativamente, normalmente anotando la extensión o profundidad de endurecimiento de una probeta de forma y tamaño estandar, templada en un medio específico (véase 5.2). -- La profundidad de endurecimiento se mide a lo largo de la probeta, desde su extremo templado para cada nivel determinado de dureza.

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las vigentes de las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

- NOM-B-119 "Método de prueba para la determinación de la dureza Rockwell y Rockwell Superficial en productos de hierro y acero"
- NOM-B-307 "Método para determinar el tamaño promedio de grano de los metales"
- NOM-B-323 "Sistema de designación y clasificación de los aceros según su composición química"

3 APARATOS Y EQUIPO

3.1 Soporte para la probeta

Es un dispositivo para suspender la probeta verticalmente, de manera que el extremo inferior de la misma esté a una altura de 12.5 ± 0.5 mm sobre el extremo del tubo del dispositivo del temple. Véase figura 1. En la figura 8, se muestra un soporte adecuado para otras formas y tamaños de probetas.

Referencias:

La Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el

Revisiones sucesivas:

ESTA NORMA CANCELA
A LA NOM-B-320-1969

3.2 Dispositivo de temple

Es un dispositivo de capacidad suficiente para suministrar una corriente vertical de agua que alcance una altura de 65 ± 10 mm cuando pasa por un tubo de 12.5 ± 0.5 mm de diámetro interior. Es satisfactorio un tanque de capacidad suficiente con una bomba pequeña y válvulas de control. La línea de abastecimiento de agua debe tener una válvula de apertura rápida. (véase figuras 1 y 2).

4 PROBETAS

4.1 Probetas forjadas

La probeta debe ser de 25 mm de diámetro por 76 mm ó 100 mm de largo (comp se muestra en la figura 3), diseñada de tal forma que pueda suspenderse en posición vertical, con objeto de templarla en su extremo inferior. En las figuras 4 y 5 se indican las dimensiones de dos probetas opcionales. La probeta debe maquinarse a partir de una barra (con tratamiento térmico de normalizado), la cual debe ser de un tamaño suficiente, para que permita la eliminación de la superficie descarbonada cuando se machine al diámetro final (25 mm). El extremo de la probeta que se va a temprar en agua, debe someterse a un proceso mecánico de rectificado y tener un acabado razonablemente terso. Por acuerdo previo entre fabricante y comprador, se puede omitir el tratamiento térmico de normalizado. Se debe llevar un registro del tratamiento térmico del material del cual se obtuvo la probeta.

4.2 Probetas vaciadas

Las probetas también pueden obtenerse durante el vaciado del acero. Se puede usar un molde de grafito o de metal a fin de obtener una probeta con dimensiones ligeramente mayores para que al maquinarse se obtengan las dimensiones estándar. Estas probetas no necesitan someterse al tratamiento térmico de normalizado.

4.3 En el Apéndice A2 se establecen otras probetas de diferente forma y tamaño.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Calentamiento

5.1.1 Se coloca la probeta en un horno, el cual debe estar a la temperatura específica de austenización según el acero que se esté probando, y se mantiene esta temperatura durante un tiempo de 30 minutos (véase tabla A1). Durante la producción se permiten tiempos hasta de 35 minutos, sin que exista un efecto apreciable en los resultados. Es importante calentar la probeta en una atmósfera en la que prácticamente no se formen escamas de óxido y la descarbonación sea mínima. Esto puede lograrse calentando la probeta en posi

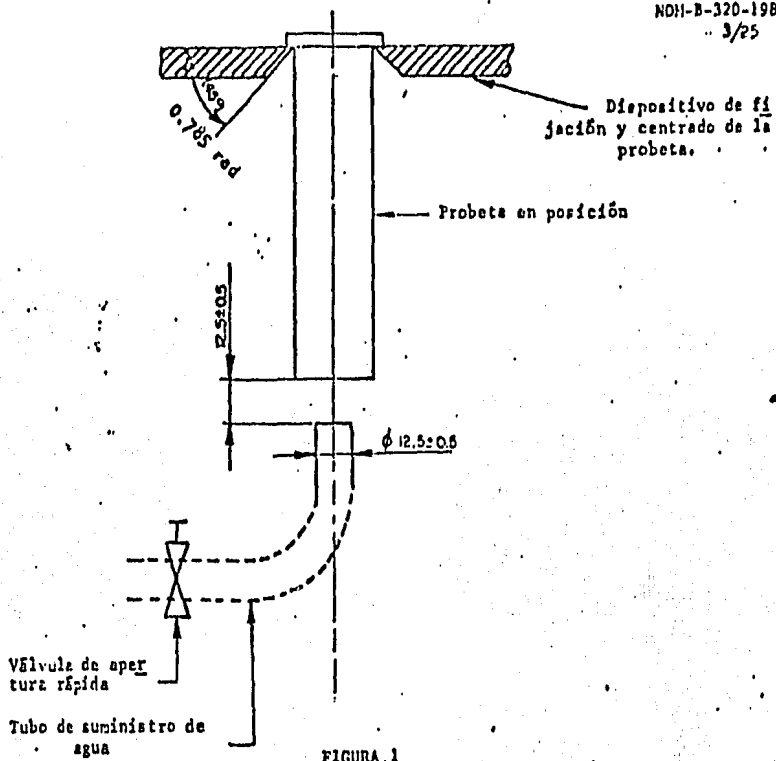


FIGURA 1

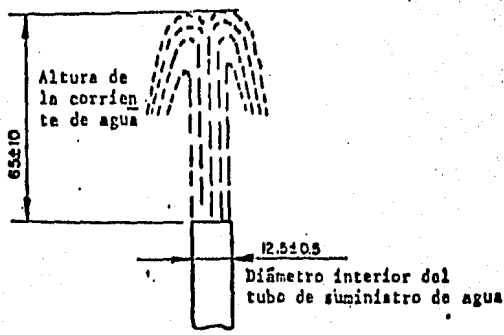


FIGURA 2

Escala: NO	FIG. 1 ESQUEMA DEL DISPOSITIVO DE TEMPLE	NOM-E-320
Acot: =	FIG. 2 EXTREMO DEL TUBO DE SUMINISTRO DE AGUA	
Dibujó: J.S.E.		FIGS. 1 y 2

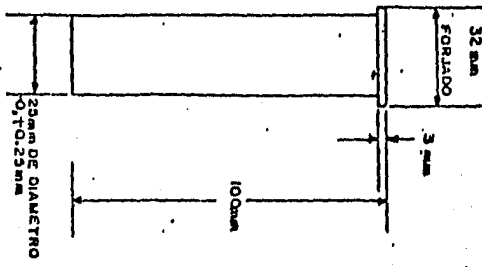


FIG. 3. PROBETA PREFERENTE

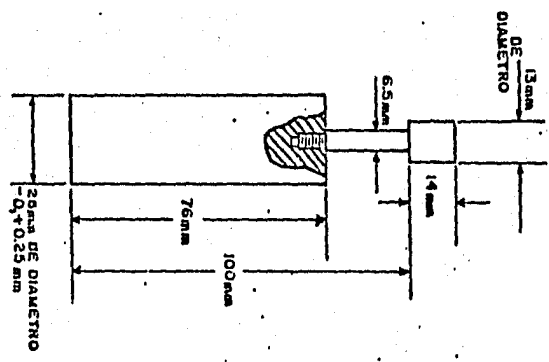


FIG. 4 PROBETA OPCIONAL

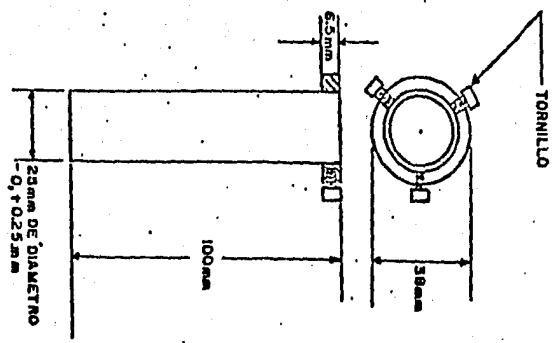


FIG. 5 PROBETA OPCIONAL

<p>Encala: NO</p>	<p>PROBETA PREFERENTE</p>	<p>NOM-B-320</p>
<p>Acot: Indicada</p>	<p>PROBETA OPCIONAL</p>	<p>FIGS. 3, 4 y 5</p>
<p>Dibujó: J.S.E.</p>	<p>PROBETA OPCIONAL</p>	

ción vertical, dentro de un recipiente que contenga una capa de -- material carbonáceo que evite la descarburación, sobre la cual -- descansa la cara inferior de la probeta; el recipiente debe tener una tapa fácil de quitar.

5.1.2 Como método alternativo, la probeta se puede colocar en un tubo vertical montado en una base plana (ambos deben ser aceros -- resistentes al calor), con un cuello adecuado para sujetarla con pinzas. Para evitar la formación de escamas de Óxido, se coloca en el fondo del tubo un disco de grafito, de carbón o una capa de -- material carbonáceo.

5.1.3 Para dispositivos y hornos particulares, se determina el -- tiempo necesario para calentar la probeta a la temperatura de temple, insertando un termopar en un orificio taladrado axialmente en la parte superior de la probeta. Este procedimiento se debe repetir periódicamente para cada combinación de dispositivos y hornos empleados.

5.2 Temple

Se ajusta el dispositivo de temple de modo que el flujo de agua se eleve a una altura libre de 65 mm por arriba del extremo del tubo de 12.5 mm de diámetro interior; este paso se hace cuando la probeta no está en su posición. El soporte para la probeta, al principio de cada prueba, debe estar seco. Se coloca la probeta caliente en el soporte de manera que su cara inferior quede a 12.5 mm arriba del orificio y se permita el flujo de agua, mediante la válvula de apertura rápida. El tiempo transcurrido entre la remoción de la probeta del horno y el comienzo del temple debe ser como máximo 5 segundos. Se dirige el flujo de agua, a una temperatura 278K a -- 303K (5°C a 30°C) contra la cara inferior de la probeta, durante 10 minutos como mínimo. En la medida de lo posible, deben evitarse corrientes de aire alrededor de la probeta durante su enfriamiento. Si la probeta no está fría cuando se quita del dispositivo, debe -- enfriarse inmediatamente en agua.

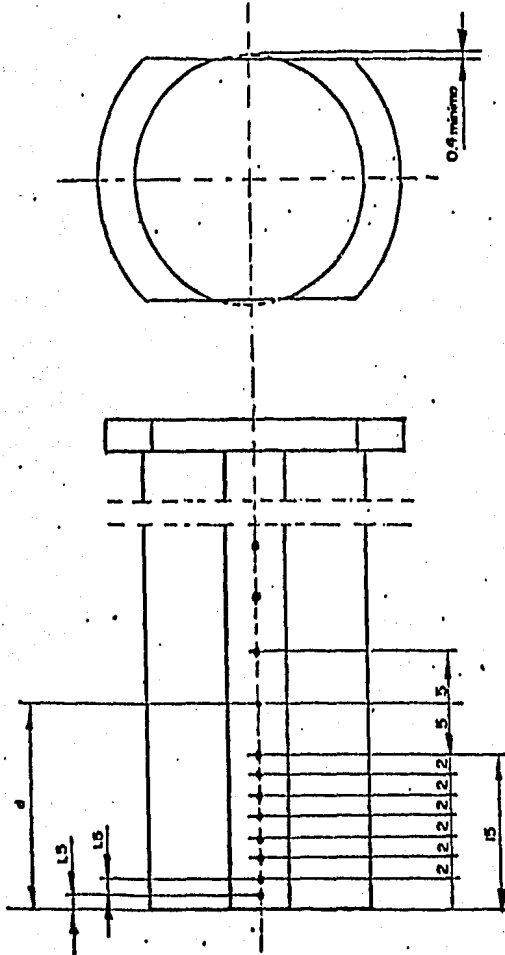
5.3 Medición de la dureza

Las mediciones de dureza se efectúan en la escala Rockwell C; la primera medición se realiza a 1.5 mm del extremo templado y las distancias sucesivas entre los ocho primeros puntos de medición serán las siguientes:

1.5 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 mm

Los demás puntos se deben espaciar, en general, 5 mm (véase figura 6). Sin embargo, la secuencia de los puntos de medida a partir del primero no es absoluta, ya que depende de las características del acero que se prueba y de la precisión que se requiera en el trazado de la curva de templabilidad (véase inciso 6).

Por ejemplo, en el caso de aceros de endurecimiento superficial, las mediciones de dureza se deben efectuar según lo descrito en el Apéndice A2.3.



ESCALA: NO

ACOT. □

Dibujó: J.S.E.

FIG. 6 PREPARACION DE LA PROBETA PARA LAS MEDICIONES DE DUREZA E INTERVALOS DE LOS PUNTOS DE MEDIDA.

NOM-B-320

FIG. 6

5.3.1 Las determinaciones de dureza se deben efectuar en superficies planas y paralelas, rectificadas a lo largo de la probeta. Se deben esmerilar las superficies a una profundidad mínima de 0.4 mm.

5.3.2 Cuando se usa como base una de las superficies planas, se eliminan las huellas anteriores por esmerilado. Esta operación se puede omitir si el apoyo del dispositivo de prueba está ranurado para dar acomodo a las huellas.

Debe conocerse la posición exacta de cada una de las lecturas de dureza con respecto al extremo templado de la probeta. Es imperativo el uso de un dispositivo para localizar las penetraciones y asegurar la exactitud de las comparaciones entre las pruebas. Se debe asegurar cuando se aplica la carga principal, que no se muevan verticalmente la probeta, el soporte y el tornillo de elevación.

5.3.3 Se debe efectuar la operación de rectificado para preparar las superficies planas con mucho cuidado. Los últimos pasos de esta operación deben ser muy ligeros para asegurar una superficie plana. Para evitar que se informen valores de dureza que han sido determinados en superficies revenidas, ocasionadas por el rectificado, se recomienda el siguiente procedimiento de ataque.

a).- Solución de ataque No. 1.

5 partes de ácido nítrico (HNO_3) concentrado ($d=1.42 \text{ gr/cm}^3$) y 95 partes de agua, en volumen.

b).- Solución de ataque No. 2

Partes iguales en volumen de ácido clorhídrico (HCl) concentrado ($d=1.19 \text{ gr/cm}^3$) y de agua.

c).- Procedimiento de ataque

Lavar la probeta en agua caliente. Atacar con la solución No. 1, hasta que esté negro. Luego lavar nuevamente en agua caliente. Atacar por inmersión en la solución No. 2 durante tres segundos y luego lavar con agua caliente, finalmente secar en una corriente de aire. La presencia de áreas oscurecidas en la zona martensítica indica que ha ocurrido un revenido. Eliminar toda evidencia del revenido antes de efectuar las pruebas de dureza. Esto se puede llevar a cabo remaquinando la superficie y volviendo a atacar, o bien, preparando nuevas superficies planas.

5.3.4 Con respecto a los bloques patrón y a las condiciones de la superficie de prueba, se debe consultar la Norma Oficial Mexicana NOM-B-119.

5.3.5 En las determinaciones de la dureza Rockwell, se recomienda un dispositivo para sujetar la probeta a fin de facilitar la prueba y asegurar exactitud en las determinaciones. Hay varios dispositivos adecuados para este propósito. No se debe apoyar la probeta en un bloque en V.

6 CALCULOS Y RESULTADOS

Los resultados de la prueba se deben graficar en una forma preparada para el efecto, en la cual las ordenadas representan valores de dureza Rockwell en la escala C y las abscisas representan la distancia del extremo templado de la probeta a los puntos de las determinaciones de dureza. En la figura 7 se muestra una gráfica para demostrar los resultados de esta prueba en la cual aparecen dos curvas típicas de templabilidad.

6.1 Índice de templabilidad

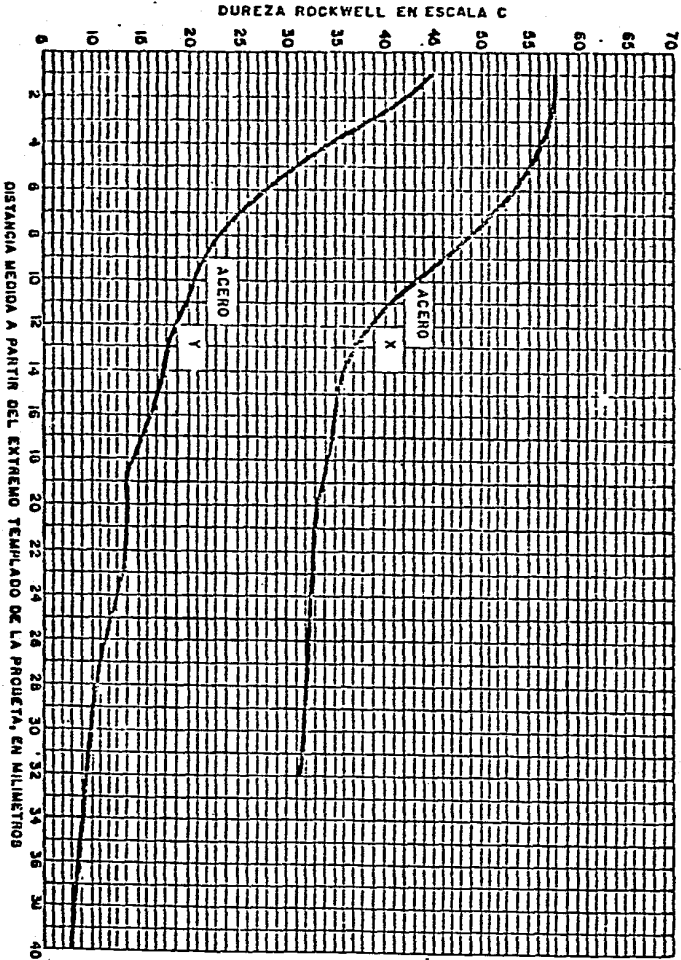
La templabilidad de un acero se especifica mediante una clave que indica la distancia o distancias a partir del extremo templado de la probeta dentro de las cuales debe obtenerse la dureza especificada.

Ejemplo: Un acero aleado que contenga 0.44% de carbono podría especificarse con una templabilidad de J 50 - 10, lo que significa que el requisito mínimo para este acero sería una dureza 50 DRC a una distancia de 10 mm del extremo templado. Si se desean los límites mínimos, el índice de templabilidad podría especificarse como J 50 - 5 a 20.

7 INFORME

7.1 El informe debe incluir los siguientes datos, los cuales pueden registrarse en la gráfica indicada en la figura 7.

- 1) Historia de todos los tratamientos térmicos de la probeta.
- 2) Composición química.
- 3) Tamaño de grano (véase la Norma Oficial Mexicana NOM-B-307), a menos que otra cosa se especifique.
- 4) Temperatura de temple empleada en la prueba.
- 5) Si se han usado algunas de las probetas indicadas en A2, se debe hacer una anotación bastante visible en la gráfica de templabilidad (véase A.2.2.2).



Escala: NO
Acot: Indicada
Dibujó: J.S.E.

FIG. 7 CURVAS TÍPICAS DE TEMPLABILIDAD.

NOM-B-320

FIG. 7