

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**OBTENCION DE ESTRUCTURAS GLOBULARES
EN ACEROS POR TRATAMIENTO TERMICO.**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

PRESENTA:

SAMUEL CHAVEZ TENORIO

MEXICO, D. F.

1981



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
EXAMEN PROFESIONAL
FACULTAD DE QUIMICA**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

I N D I C E

INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
<u>TEORIA DE LOS PROCESOS DE DIFUSION</u>	
Difusión	5
Difusión en una solución perfecta	6
Efecto Kirkendall	13
Segunda ley de Fick	21
CAPITULO II	
<u>RECOCIDOS CONVENCIONALES</u>	
Recocidos de austenización completa o de regeneración	29
Recocidos de austenización incompleta	29
Recocido subcrítico	31
Recocido de ablandamiento	32
Recocido contra acritud	33

Recocido subcrítico globular . 33

Recocido globular 34

CAPITULO III

EXPERIMENTACION

Acero 4140 37

Recocido de austenización incompleta 39

Recocido subcrítico 55

Recocido oscilante 74

**Recocido de austenización completa y
austenización incompleta 90**

Acero 9840 99

Recocido de austenización incompleta 101

Recocido subcrítico 123

Recocido oscilante 141

**Recocido de austenización completa y
austenización incompleta 159**

Acero 1045 175

Recocido de austenización incompleta	177
Recocido subcrítico	200
Recocido oscilante	224
Recocido de austenización completa y austenización incompleta	233
Acero W-2	242
Recocido de austenización incompleta	244
Recocido subcrítico	264
Recocido oscilante	275
Recocido de austenización completa y austenización incompleta	290
CAPITULO IV	
<u>ANALISIS DE RESULTADOS</u>	299
Recocido de austenización incompleta	301 - 344
Recocido subcrítico	316 - 350
Recocido oscilante	328 - 356
Recocido de austenización completa y	

austenización incompleta 336 - 360

CAPITULO V

CONCLUSIONES 364

Recomendaciones 381

Sibliografía 383

T E O R I A

D E

L O S

P R O C E S O S

D E

D I F U S I O N .

I N T R O D U C C I O N

Desde que el hombre tuvo conocimiento del hierro, una de sus principales preocupaciones era el hecho de darle ciertas características necesarias para un uso en específico, desarrolló métodos empíricos para la obtención del hierro y del acero así como proporcionarle ciertas cualidades.

En la actualidad la industria requiere que el acero tenga un mínimo de dureza para el proceso de maquinado, ya que las piezas tienen gran variedad de formas y algunas con gran dificultad para ser maquinadas, además se requiere de un buen acabado con una superficie libre de desgarramientos y asperezas.

El acero con estas características nos permite el uso de herramientas más económicas y una disminución en el tiempo de maquinado, por lo tanto el proceso de maquinado disminuye sus costos y permite un gran incremento en la producción.

La única estructura que nos permite estas ventajas es la estructura globular, así como también en lo que se refiere a los procesos posteriores nos permite obtener mejores características, las cuales, con otro tipo de estructuras no es posible obtener.

Este estudio tiene como finalidad principal el poder conocer cuales son los principales parámetros que tienen mayor influencia en la obtención de la estructura globular en los aceros, así como también saber cual de los ciclos térmicos usados en la obtención de dicha estructura es de mayor eficiencia.

La parte teórica expuesta en este trabajo no tiene como la finalidad el hacer una amplia exposición del contexto que se encuentra en los libros, si el lector desea hacer alguna consulta más a fondo de estos temas, al final encontrará la bibliografía de los textos consultados.

El aspecto teórico incluido en esta obra tiene el propósito de servir como base o sustentación de los resultados obtenidos en los experimentos realizados en este estudio, así como un punto de partida de los experimentos llevados a cabo.

En ningún momento el propósito de este trabajo es el de la transcripción de los libros de texto existentes en la actualidad.

D I F U S I O N

La materia se transporta en los sólidos por difusión. Difusión es el mecanismo de transporte de materia a través de ella misma. El movimiento de los átomos es obstruido por los átomos circundantes o por los átomos vecinos, por lo cual resulta una gran cantidad de recorridos y colisiones para obtener un desplazamiento de materia. Un aspecto importante del proceso de difusión es su irreversibilidad y de ahí el incremento entrópico.

En los sólidos y en particular los cristalinos, los átomos se encuentran más fuertemente ligados entre sí en sus posiciones de equilibrio. Pero debido a las vibraciones térmicas que tiene lugar en un sólido permiten el desplazamiento de átomos a través de la red.

Como la difusión se realiza espontáneamente debe

verse como un proceso en el que decrece la energía libre o se incrementa su entropía. Entonces pensamos en la difusión como un reductor de energía libre. En el caso que estudiamos obtenemos una estructura globular con un mínimo de energía libre, o bien, la pérdida de energía libre nos permite obtener la estructura globular.

DIFUSION EN UNA SOLUCION PERFECTA

Suponiendo una solución sólida compuesta de los átomos A y B, tomando arbitrariamente al componente A como el soluto y al componente B como el solvente y considerando que la solución es perfecta; lo anterior implica que no hay interacciones entre los átomos A y B o que los dos componentes actúan en el interior del cristal como si fuesen una sola especie química.

Mediante experimentos se ha demostrado que los átomos en los metales de estructura cúbica centrada en las caras, cúbico centrado en el cuerpo y hexagonal se mueven en la red cristalina como el resulta-

do del movimiento de los lugares vacantes.

Supongamos que el salto de los átomos es completamente al azar, esto es, la probabilidad del salto es la misma para todos los átomos que rodean a un lugar vacante; esto implica que la proporción de los saltos no depende de la concentración.

En la figura 1 que representa una barra cristalina compuesta por una solución sólida de átomos A y B en la cual la composición del soluto varía continuamente a lo largo de la longitud de la barra, pero es uniforme en la sección transversal, además se supone que la estructura cristalina de la barra es cúbica simple con una dirección 1 0 0 a lo largo del eje de la barra. Se supone además que la concentración es mayor en el extremo derecho de la barra y menor en el extremo izquierdo, y que el gradiente de concentración macroscópica dn_a / dx se aplica sobre una escala atómica de manera que la diferencia en composición entre dos planos atómicos transversales

adyacentes es " a " dn_g / dx , en donde " a " es el espaciado interatómico o reticular. Ver figura 2.

Sea t el tiempo medio de permanencia de un átomo en un lugar de la red. La frecuencia promedio con que los átomos saltan es $1/t$. En la red cúbica simple ilustrada en la figura 2 podemos ver que cualquier átomo, tal como se indica con el símbolo Z, puede saltar en seis direcciones diferentes, a la izquierda o derecha, hacia arriba o hacia abajo, hacia adentro o hacia afuera del plano del papel. El cambio de átomos A entre dos planos atómicos transversales adyacentes, tales como los designados X e Y en la figura 2, serán considerados a continuación. De los seis saltos posibles que puede hacer un átomo sólo uno lo llevará al lado indicado, de manera que la frecuencia promedio con la que un átomo A salte desde X hasta Y es de $1/6t$.

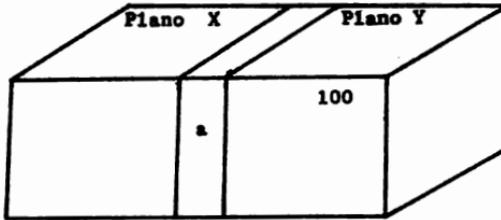


Figura 1.

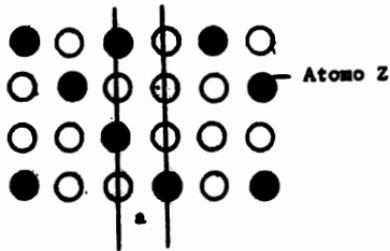


Figura 2.

El número de estos átomos que pueden saltar por segundo desde el plano X hasta el plano Y, es igual al número total de átomos en el plano X por la frecuencia promedio con la que un átomo salta desde el plano X al plano Y. El número de átomos de soluto en el plano X es igual al número de átomos de soluto por volumen unitario (concentración N_a) por volumen de los átomos en la plano X, de manera que el flujo de átomos de soluto desde el plano X al plano Y es:

$$J_{x-y} = \frac{1}{6t} (n_a \cdot a \cdot A)$$

En donde J_{x-y} es el flujo de átomos de soluto desde el plano X al plano Y.

t es el tiempo promedio de permanencia de un átomo de soluto en un lugar reticular.

n_a número de átomos A por volumen unitario.

A es el área de la sección transversal de la barra.

a es la constante reticular del cristal.

La concentración de átomos A en un plano Y puede escribirse:

$$(n_a)_y = n_a + (a) \frac{dn_a}{dx}$$

La velocidad a que se mueven los átomos A desde el plano Y al plano X es:

$$J_{x-y} = n_a + (a) \frac{dn_a}{dx} \quad aA/6t$$

en donde J_{x-y} es el flujo de átomos desde el plano Y al plano X.

Debido a que el flujo de átomos de soluto de la derecha hacia la izquierda no es el mismo que desde la izquierda hacia la derecha, hay un flujo neto (designado por el símbolo J) que expresamos de la forma matemática siguiente:

$$J = J_{x-y} - J_{y-x}$$

$$J = - a^2 A/6t \quad \frac{dn_a}{dx}$$

Obsérvese que en la ecuación anterior, el flujo J de los átomos A es negativo cuando el gradiente de

concentración de átomos A aumenta desde la izquierda hacia la derecha en la figura 2.

Este resultado es general para la difusión en una solución perfecta; el flujo de difusión está abajo del gradiente de concentración. Si consideramos el flujo de átomos B en lugar de átomos A, obtendremos la misma ecuación para el flujo neto.

Ahora sustituyendo:

$$D = a^2/6t$$

en la ecuación para el flujo neto:

$$J = - DA \, dn_a / dx$$

Esta ecuación se conoce como la primera ley de Fick. J es el flujo o cantidad por segundo de materia difundida que pasa normalmente a través de una área A bajo la acción de un gradiente de concentración, y D es el coeficiente de difusión.

EFEECTO KIRKENDALL

Se discutirá un experimento que muestra que, en una solución sólida binaria, cada una de las dos formas atómicas pueden moverse con una velocidad diferente. En el experimento original, según se realizó por Zsigmondy y Kirkendall, se estudió la difusión de átomos de cobre y zinc en la zona de composición donde el zinc se disuelve en el cobre y la aleación mantiene la estructura cristalina cúbica centrada en las caras (zona de latón alfa). Al igual que en su trabajo original, numerosos investigadores han encontrado resultados similares cuando emplearon un gran número de aleaciones binarias diferentes. La figura 3 es una representación esquemática de un par difusor Kirkendall: una vista tridimensional de un bloque metálico formado al unir dos metales de composición diferente. En el plano de la soldadura, mostrado en la figura 3 se han incor-

porado unos marcadores que sirven como señal en el estudio del proceso de difusión, dichos marcadores no intervienen en la difusión. El par está formado por un metal puro A y metal B puro.

Para ser medible el proceso de difusión y sea suficientemente grande, es necesario calentar el par a una temperatura cercana a el punto de fusión de los metales que componen dicho par, y mantener dicha temperatura durante un período de tiempo relativamente grande, usualmente del orden de días.

Después de enfriar a temperatura ambiente a la barra, se cortan capas delgadas y paralelas a la intercara de la soldadura. Estas capas se analizan químicamente y los resultados se gráficán obteniendo una curva que muestra la composición de la barra en función de la longitud de la barra. En la figura 4 se muestra esquemáticamente tal

curva, de la que se deduce fácilmente que ha habido un flujo de átomos B desde el lado izquierdo de la barra hacia la derecha y un flujo de átomos A en dirección opuesta.

Curvas como la mostrada en la figura 4 fueron obtenidas con pares difusores muchos años antes que se llevara a cabo el experimento de Smilgelskas y Kirkendall. La característica original de su trabajo fue la incorporación de los marcadores, ya que el resultado obtenido fue que los marcadores se movieron durante el proceso de difusión, lo cual se muestra en la figura 5 en la cual se ve que los marcadores se han movido hacia la derecha una distancia X, esta distancia aunque pequeña es perfectamente medible y se ha encontrado que la distancia varía según la raíz cuadrada del tiempo durante el cual se mantuvo a la barra a la temperatura de difusión. se explica que el movimiento de los marcadores durante el proce

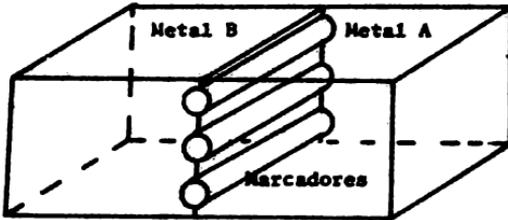


Figura 3.

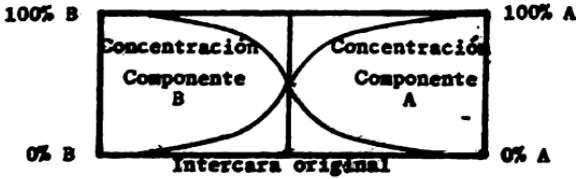


Figura 4.

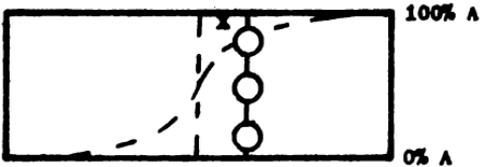
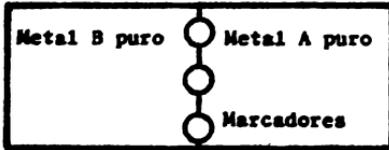


Figura 5.

so de difusión se debe a que los átomos se difunden con mayor rapidez que los átomos B, causando un flujo neto de masa a través de los marcadores.

Se han propuesto cierto número de mecanismos para explicar el movimiento de los átomos en una red cristalina. Estos mecanismos se pueden agrupar en dos clasificaciones: los que implican el movimiento cooperativo de dos o más átomos.

Como ejemplo del primer grupo, tenemos la difusión de átomos intersticiales (tal como el carbono en la red del hierro), en donde los átomos de carbono saltan desde una posición intersticial a la adyacente.

Se conoce la difusión intersticial como el mecanismo apropiado para explicar el movimiento de átomos pequeños intersticiales a través de la red

cristalina, se conoce generalmente, sobre consideraciones de energía, que no es posible un mecanismo de difusión que implique colocar átomos grandes dentro de posiciones intersticiales (como en el caso de las soluciones sustitucionales).

La distorsión de la red causado al colocar uno de estos átomos en una posición intersticial es muy grande, requiriendo una gran energía de activación.

Para explicar la difusión de las soluciones sólidas sustitucionales el mecanismo más apropiado es el de lugares vacantes.

El movimiento cooperativo de átomos más sencillo es un intercambio directo, como se ilustra en la figura 6, dos átomos adyacentes intercambian posiciones sin embargo, esto implica el desplazamiento hacia afuera de los átomos que los rodean durante el

periodo de transferencia. Cálculos teóricos de la energía requerida para hacer un intercambio directo demuestran que es mucho más grande que la requerida para un salto de un átomo a un lugar vacante.

Otro posible mecanismo que explica la difusión en soluciones sólidas sustitucionales es el mecanismo del anillo de Zener. En este caso, se supone que las vibraciones térmicas son suficientes para causar que cierto número de átomos, los cuales forman un anillo natural en un cristal, salten simultáneamente en un sincronismo tal que cada átomo en el anillo avance una posición al rededor del anillo, esto se muestra en la figura 6b.

Es posible explicar diferentes velocidades para la difusión de dos átomos A y B por un mecanismo de lugar vacante, sólo es necesario que sea diferente

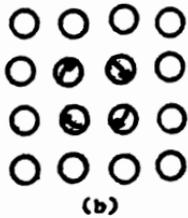
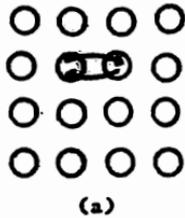


Figura 6.

la velocidad a la cual saltan los dos átomos dentro de los lugares vacantes. En un mecanismo de anillo o en un intercambio directo la velocidad a la que se mueven los átomos A desde la izquierda hacia la derecha debe ser igual a la velocidad a la que los átomos B se mueven desde la derecha hacia la izquierda. Así en aquellos sistemas de aleaciones donde se ha observado un efecto Kirkendall deben desecharse los mecanismos de intercambio.

SEGUNDA LEY DE FICK.

$$\frac{dN_A}{dt} = - \frac{c}{dx} D \frac{dN_A}{dx}$$

Es la ecuación básica para el estudio experimental de la difusión isotérmica. Se han derivado soluciones de esta ecuación diferencial parcial de segundo orden correspondiendo a las condiciones halla

das en muchos tipos de probetas usadas en los experimentos de difusión. La mayor parte de las probetas metalúrgicas, tales como el par difusor, sólo implica un flujo neto de átomos de una dimensión y la suposición de que la probeta sea lo suficientemente grande en la dirección de la difusión para que durante el proceso no cambie la composición en los extremos de la probeta. Hay dos métodos estándar de medir el coeficiente de difusión cuando se utiliza este tipo de probetas.

En un caso se supone el coeficiente de difusión constante, en el otro se le toma como una función de la composición. El primer método, conocido como el método de Grube, sólo es aplicable a los casos en los cuales la difusibilidad varía muy ligeramente con la composición.

Si el coeficiente de difusión D se supone que es constante, entonces la segunda ley de Fick se escribe:

$$\frac{dNa}{dt} = D \frac{d^2 Na}{dx^2}$$

La solución de esta ecuación para el caso de un par difusor Consistiendo originalmente de dos aleaciones de los elementos A y B, teniendo uno la composición Na_1 (fracción atómica) y el otro la composición Na_2 al comienzo del proceso de difusión es:

$$Na = Na_1 + \frac{Na_2 - Na_1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{Dt}} \right] \quad \text{Para } 0 \leq x < \infty$$

$$Na = Na_1 + \frac{Na_2 - Na_1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{Dt}} \right] \quad \text{Para } 0 \leq x < -\infty$$

En donde Na es la composición o fracción atómica a una distancia x (en centímetros) desde la intercarra de la soldadura, t es el tiempo en segundos y D

es la difusibilidad. El símbolo :

$$\text{fer } \frac{X}{2 \sqrt{Dt}}$$

representa la función error o integral de probabilidad con el argumento:

$$Y = \frac{X}{2 \sqrt{Dt}}$$

La figura 7 muestra la curva de penetración teórica (distancia contra composición) obtenida cuando se grafica la ecuación de Fick como una función de la variable:

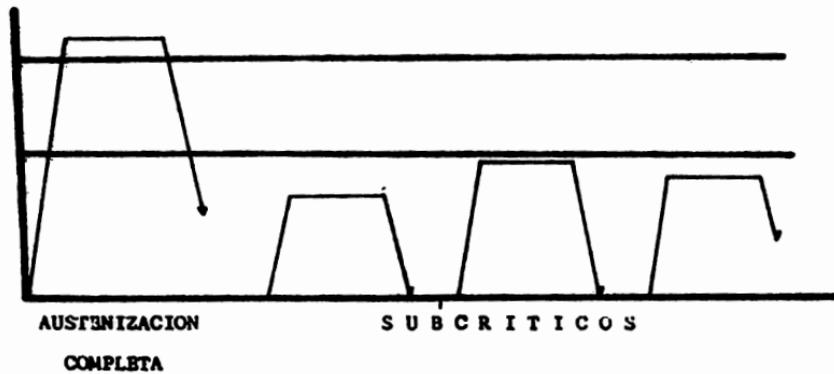
$$\frac{X}{2 \sqrt{Dt}}$$

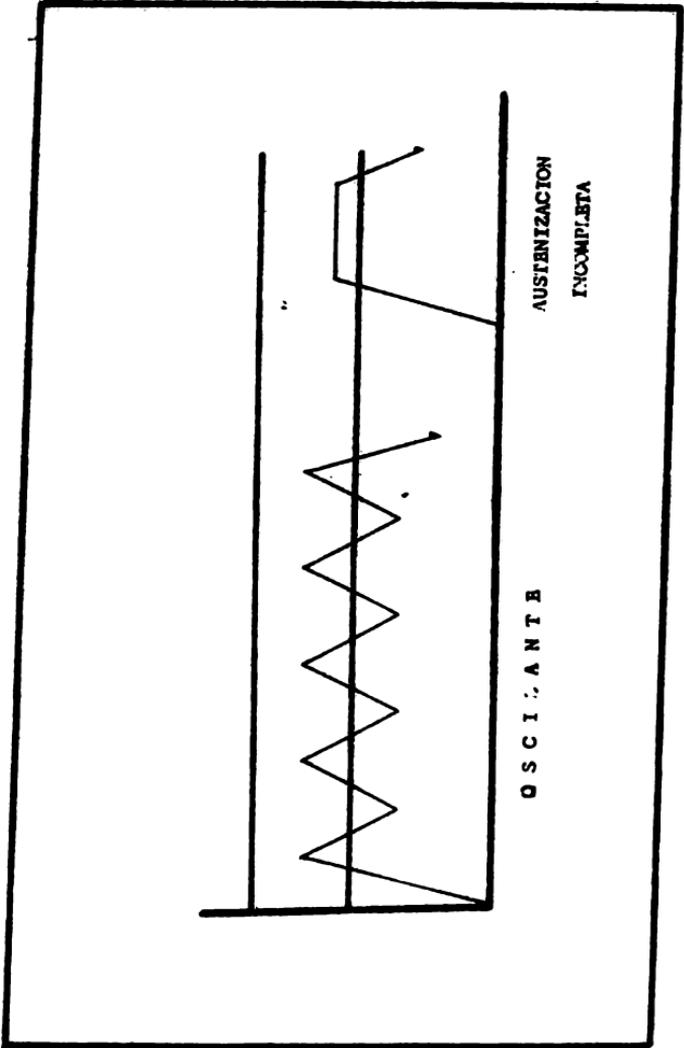
Debe observarse que esta curva se obtiene suponiendo que D es constante, o que varía solamente en el espacio del intervalo de composición Na_1 a Na_2 .

R E C O C I D O S

C O N V E N C I O N A L E S .

RECOCIDOS CONVENCIONALES





RECOCIDOS CONVENCIONALES

El recocido es una de las formas del tratamiento térmico; y en el caso de los aceros los tratamientos térmicos tienen por finalidad mejorar las propiedades y características de los aceros de acuerdo al uso o al trabajo a que se someta dicho acero. Por lo tanto el recocido nos permitirá obtener características o estructuras que se analizarán más adelante de acuerdo con el tipo de recocido.

Con este nombre se conocen varios tipos de tratamientos cuyo objetivo principal es la de disminuir la dureza del acero; otras veces se desea regenerar su estructura o eliminar tensiones internas. Consiste en calentar al material a la temperatura adecuada, darle el tiempo de permanencia necesario, seguido de enfriamientos a una velocidad controlada. Los reco-

cidos más empleados en la industria son:

Austenización completa.

Recocidos Austenización incompleta.

Subcrítico.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA

O DE REGENERACION.

En este caso se hace ha una temperatura ligeramen
te mayor a la temperatura crítica superior y después
del tiempo de permanencia se enfría lentamente. Es-
te tratamiento ablanda el acero y regenera su estructu
tura.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

(globulares)

Son tratamientos que se suelen dar a los aceros

al carbono o aleados para bajar su dureza y mejorar su maquinabilidad. Consiste en calentamientos prolongados¹ a temperaturas intermedias entre la cr_f tica superior y la inferior, y posteriormente lentamente se enfría. La finalidad de estos recocidos es obtener la menor dureza posible y una estructura favorable para el mecanizado de estas piezas.

Estos tratamientos nos permiten en los aceros hipereutectoides que la cementita y los carburos de aleación adopten una disposición más o menos globular, obteniendo así una dureza menor a cualquier otra microestructura, incluso a la perlita laminar.

En ocasiones se hace el recocido empleando un ciclo oscilante de temperatura arriba de Ac_1 y abajo de Ac_1 , ver gráfica.

En los aceros hipoeutectoides es algo más difícil obtener estructuras globulares. Sin embargo con permanencias prolongadas y oscilaciones de temperatura² se consigue también en los aceros de bajo contenido de carbono estas estructuras. Recientemente en aceros de construcción y de baja aleación se busca que tengan esta estructura. como el caso de aceros para tornillos en que se hace la cuerda por laminado en frío.

RECOCIDOS SUBCRITICOS

Al calentamiento se hace por debajo de la temperatura crítica inferior, no teniendo tanta importancia la velocidad de enfriamiento³, incluso puede el acero enfriarse al aire sin que aumente su dureza. Con este tratamiento se eliminan las tensiones del material y se aumenta la ductilidad.

de ablandamiento
RECOCIDO SUSCRITICO contra acritud
globular

RECOCIDO DE ABLANDAMIENTO.

Con este proceso el objeto es ablandar el acero por un procedimiento rápido y fácil y a la vez economizar. Aunque no se obtiene la menor dureza posible pero en algunos casos es suficiente la dureza obtenida.

El proceso consiste en calentar el acero hasta una temperatura menor que la temperatura crítica inferior Ac_1 , pero a la vez lo más elevada posible y enfriar al aire. las durezas así obtenidas en acero de herramienta y de construcción de alta aleación es grande para su mecanizado.

RECOCIDO CONTRA AGRIEDAD.

Se lleva a cabo a temperaturas de 550 °C a 650 °C, y tiene por objeto, aumentar la ductilidad de los aceros de bajo contenido en carbono (menos de 0.40%) estirados en frío. Con el calentamiento a estas temperaturas, se destruye la cristalización alargada de la ferrita, apareciendo nuevos cristales poliédricos más dúctiles que los anteriores y estos nos permiten nuevamente laminar o estirar el material. El enfriamiento suele hacerse al aire.

RECOCIDO SUBCRÍTICO GLOBULAR.

Para obtener en los aceros al carbono y de baja aleación una estructura globular y de baja dureza, en cierto modo parecería a la que se obtienen en el recocido globular de austenización incompleta, se calienta a temperaturas un poco más bajas de la temperatura crítica inferior y posteriormente se enfría en el horno.

RECOCIDO GLOBULAR.

Las mejores condiciones de maquinabilidad y la dureza menor en los aceros aleados y aceros al carbono de herramienta, como aceros al cromo para cojinetes de bolas, aceros para limas, etc., se consiguen cuando la estructura del acero es globular y está constituida por pequeñas partículas esféricas de carburos embebidas en una masa ferrítica. Esta estructura se puede obtener por los recocidos anteriormente citados.

Cuando el recocido se hace a temperaturas inferiores a la crítica, la cementita tiende a tomar una estructura globular, tanto más marcada cuanto más próxima sea la temperatura de recocido a la temperatura crítica inferior.

La experiencia demuestra que cuando se desean obtener estructuras globulares no se deben efectuar recocidos a temperaturas muy superiores al punto Ac_1 ya que los aceros, sobre todo los menores de 0.90 % de carbono, tienden a formar estructuras laminares en el enfriamiento o bien estructuras mixtas de perlita laminar y cementita globular.

1. Capítulo III - pag. 70

2. y 3. Capítulo III - pag. 71

TRATAMIENTO TERMICO DE LOS ACEROS.

JOSE APRAIZ.

EXPERIMENTACION.

A C E R O 4 1 4 0

Diámetro de barra: 1/2, 1 pulgada.

Las temperaturas de A_{c_3} y A_{c_1} se encontraron en forma experimental, obteniendo para $A_{c_3} = 910^{\circ}\text{C}$ y para $A_{c_1} = 720^{\circ}\text{C}$.

Las temperaturas de trabajo usadas son:

$$T_1 = 850^{\circ}\text{C}.$$

$$T_2 = 740^{\circ}\text{C}.$$

En las pruebas preliminares las piezas se metieron al horno cuando este tenía la temperatura de 100°C y se aumento la temperatura a una velocidad de calentamiento de $50^{\circ}\text{C} / \text{hr}$. hasta alcanzar la temperatura de trabajo, otras piezas se metieron al horno cuando este tenía la temperatura de 550°C y con una velocidad de calentamiento de $100^{\circ}\text{C} / \text{hr}$. hasta la temperatura de trabajo. Esto se realizo para todos los ciclos y para cada uno de los diferentes diámetros de barra, observando que no se

encontró diferencia entre los procedimientos iniciales por lo cual se usó el segundo método.

Haciendo notar que tanto la temperatura de entrada como la velocidad de calentamiento es la misma para todas las muestras, por lo cual no aparecen en la gráfica, tomando como punto de partida en las gráficas solamente el inicio del tiempo de permanencia.

Temperatura del horno 550 °C.

Velocidad de calentamiento 100 °C/ hr.

Estructura y dureza anterior al tratamiento:

Ferrita y perlita laminar 268 NDB.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Dureza anterior al tratamiento:

Ferrita y perlita laminar 268 NDB.

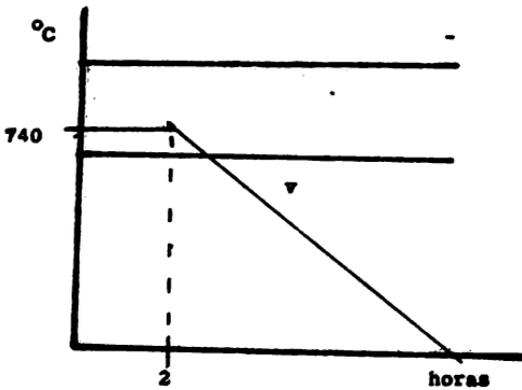
Cuando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 740 °C, los tiempos de permanencia para cada una de las diferentes probetas y diámetros son:

2, 4, 6, 10 horas.

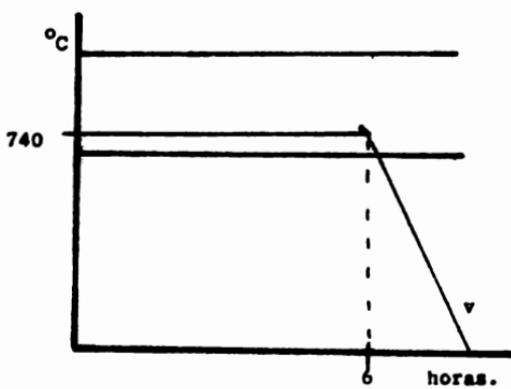
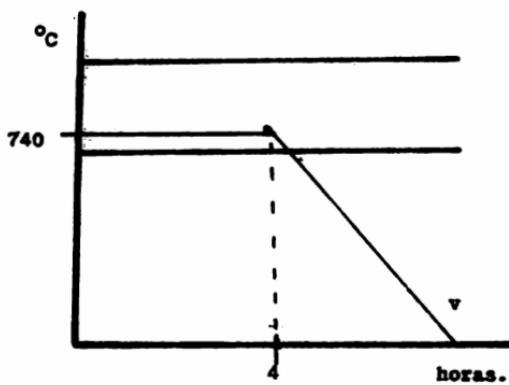
Al término del tiempo de permanencia para cada probeta, estas, se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire, posteriormente se prepararon las probetas para el examen metalográfico y se observó en cada una de las probetas que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar y la dureza varió entre 226 - 236 NDB.

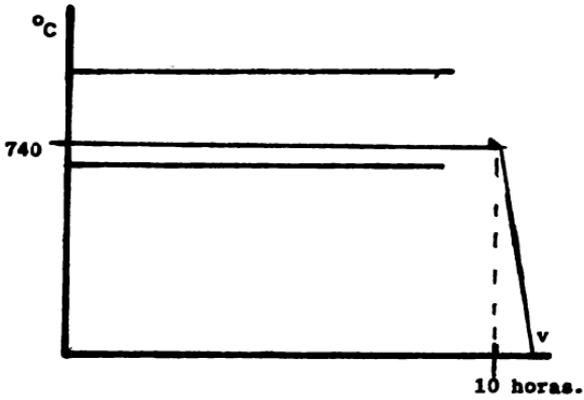
En estos casos se observó la presencia de estructura no globular

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 4140
 $\phi = 1/2, 1 \text{ plg.}$



Gráfica 1.





Gráfica 4.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
1	0	230	v = velocidad
2	0	228	de enfriamiento
3	0	228	al aire.
4	0	226	

RECOCIDO DE AUSTENILIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 1 pilgada.

Estructura y dureza anterior al tratamiento:

Ferrita y perlita laminar, 268 NDB.

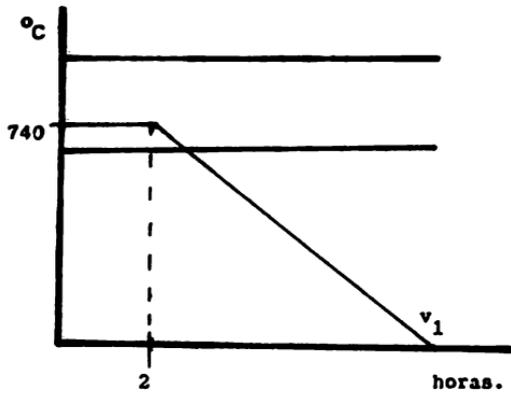
Cuando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 740 °C, los tiempos de permanencia para cada una de las diferentes probetas y diámetros son:

2, 4, 6, 10 horas.

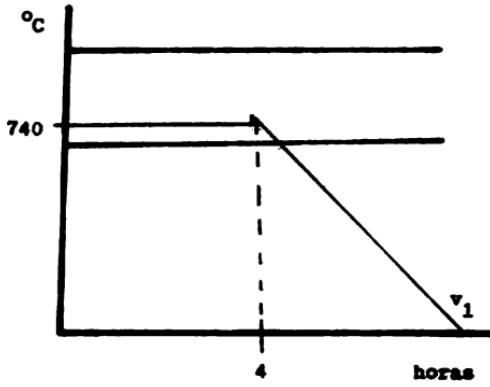
Al termino del tiempo de permanencia para cada una de las probetas el horno se apago y las probetas se dejaron en el interior del horno enfriandose a la misma velocidad de este, con una velocidad de enfriamiento aproximada de 50 °C/ hr., hasta la temperatura ambiente.

Al examen metalográfico de cada una de las probetas revelo que apenas se iniciaba la globulización y la dureza vario entre 222 - 228 NDB.

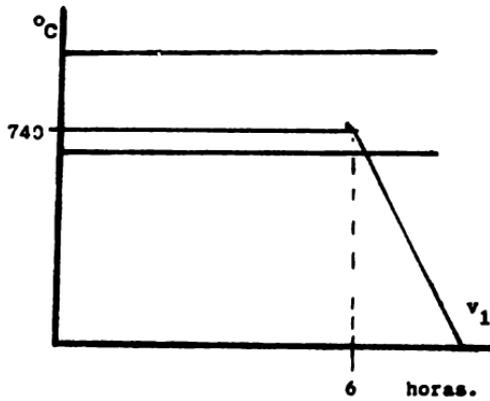
RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 4140
 β : 1/2, 1 plg.



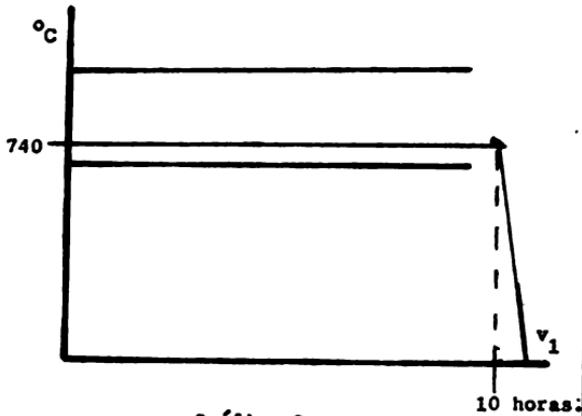
Gráfica 5.



Gráfica 6.

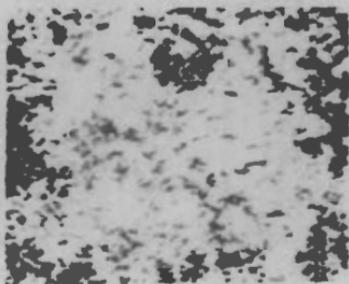


Gráfica 7.



Gráfica 8.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
5	0	228	v_1 = velocidad de enfriamiento 50 °C/ hr.
6	0	226	
7	0	224	
8	0	222	



Ciclo 5.

1000 X.



Ciclo 8.

1000 X.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diametro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas al horno y se elevo la temperatura a 740 °C, los tiempos de permanencia son:

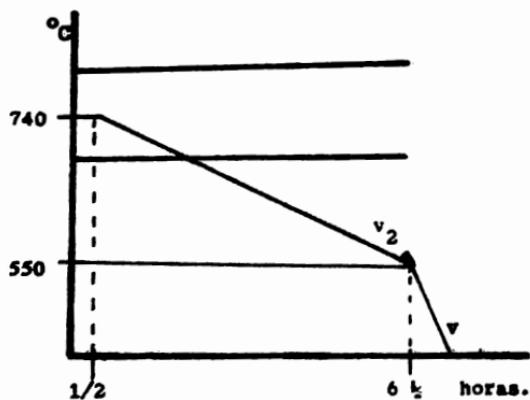
1/2 plg.: 30, 60 minutos.

1 plg.: 30, 60 minutos.

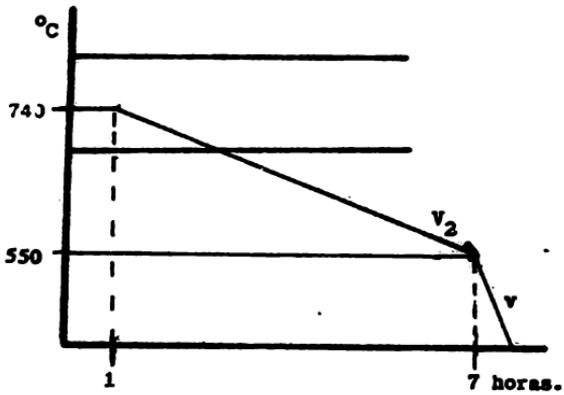
Al termino del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevo a cabo al enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta llegar a la temperatura de 550 °C. y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se pudo observar una buena globulización con una pequeña variación de dureza, los valores pueden verse al final de la grafica, la globulización es bastante fina.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 4140
 β : 1/2 plg.

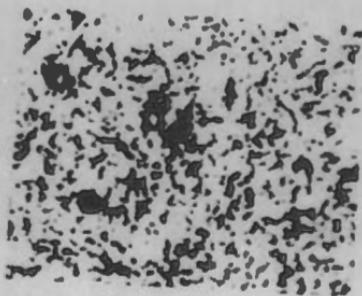


Gráfica 9.



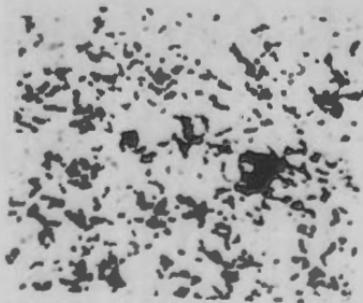
Gráfica 10.

Ciclo	Globalización %	Dureza Brinell	Observaciones.
9	75 - 85	220	v = velocidad de enfriamiento en aire.
10	80 - 90	214	V_2 = velocidad controlada, 25 °C/h., de enfriamiento



Ciclo 0.

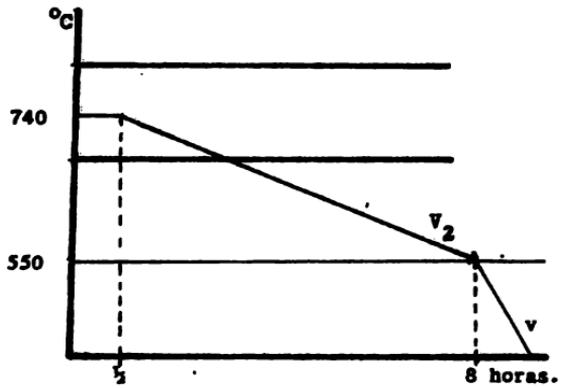
400 X.



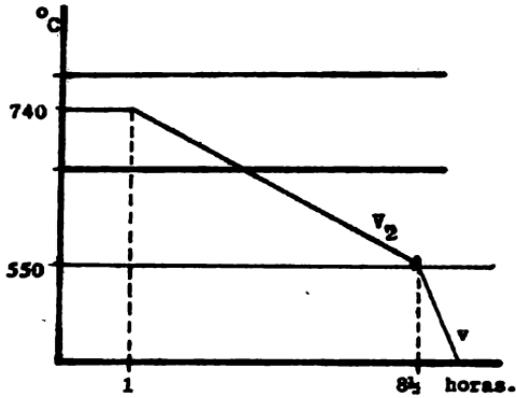
Ciclo 10.

100 X.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 4140
 ϕ : 1 plg.

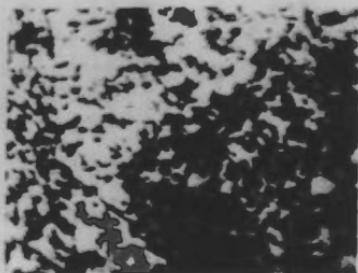


Gráfica 11.



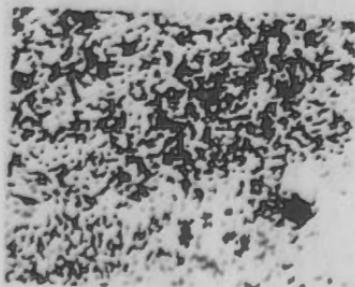
Gráfica 12.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
11	55 - 65	214	v = velocidad de enfriamiento al aire.
12	80 - 90	198	V ₂ = velocidad de enfriamiento controlada, 25 °C/ hr.



Ciclo 11.

1000 X.



Ciclo 12.

400 X.

RECOCIDO SUBCRITICO

Diametro de barras: 1/2, 1 pulgada.

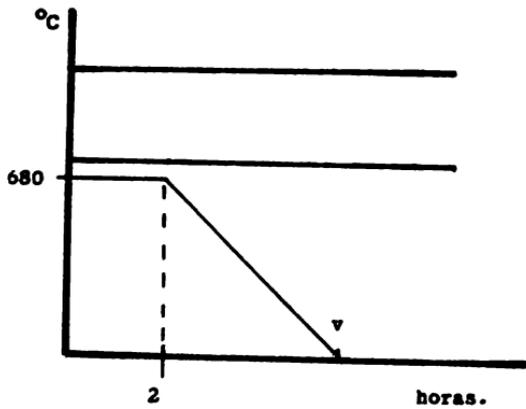
Cuando el Horno tenia la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 680 °C, los tiempos de permanencia son:

1/2 pig.: 2, 4 horas.

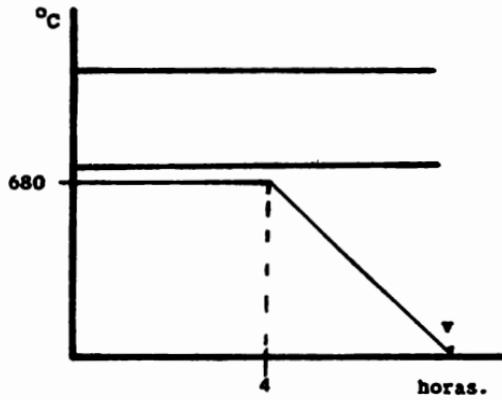
1 pig.: 4, 6 horas.

Al termino del tiempo de permanencia para cada una de las probetas, estas, se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente, posteriormente se prepararon las probetas para el examen metalográfico y se observo en cada una de las probetas que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar, la dureza obtenida puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 4140
 β : 1/2, 1 pig.



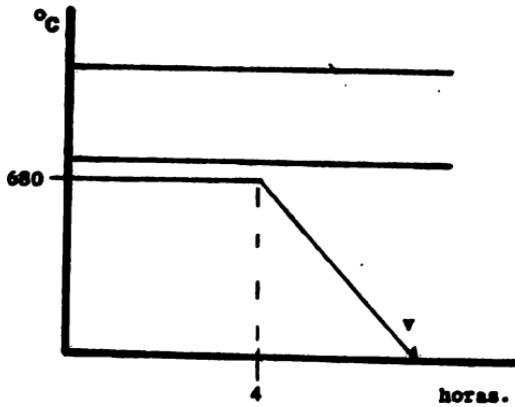
Gráfica 13.



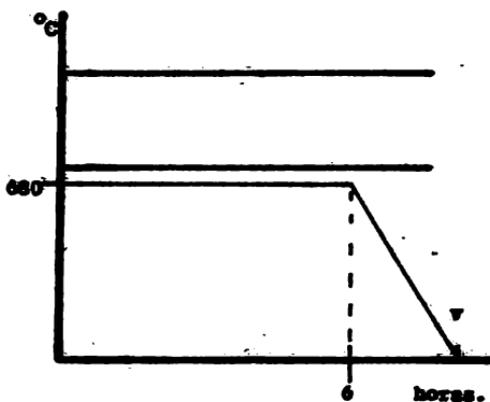
Gráfica 14.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	observaciones.
13	0	228	v = velocidad
14	0	225	de enfriamiento al aire.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 4140
 β : 1 plg.



Gráfica 15.



Gráfica 16.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
15	0	226	v = velocidad de enfriamiento al aire.
16	0	223	

RESUMEN SUBSCRITO

Diámetro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Quando el horno tenía la temperatura de 300 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 680 °C, los tiempos de permanencia son:

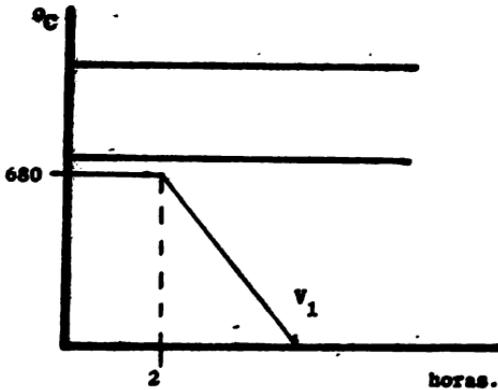
1/2 pulg.: 2, 4 horas.

1 pulg.: 4, 6 horas.

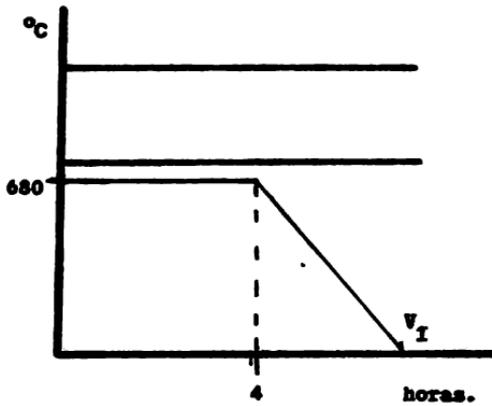
Al término de tiempo de permanencia para cada una de las probetas el horno se apagó y las probetas se dejaron en el interior del horno enfriándose a la misma velocidad de este, con una velocidad de enfriamiento aproximada de 50 °C/ hr., hasta la temperatura ambiente.

En el examen metalográfico se observó en cada una de las probetas un muy pequeño inicio de coalescencia y la dureza obtenida puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 4140
 β : 1/2 pig.



Gráfica 17.



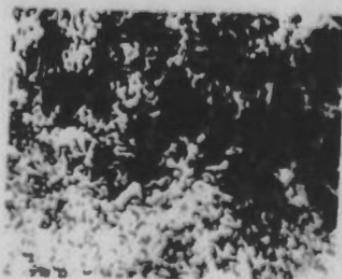
Gráfica 18.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
17	0	224	V_I = velocidad de enfriamiento 50 °C/ hr.
18	0	221	



Ciclo 17.

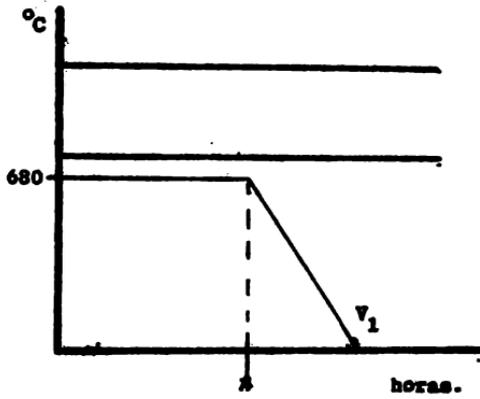
1000 X.



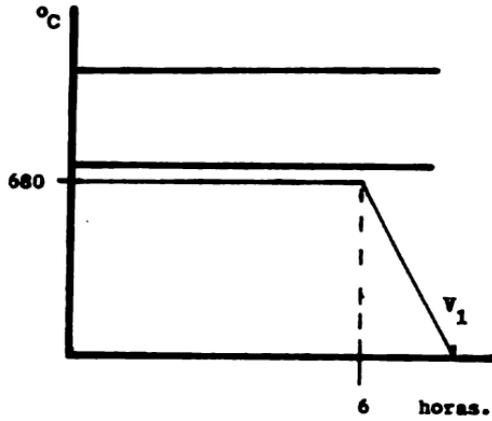
Ciclo 18.

1000 X.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 4140
 β : 1 plg. . .

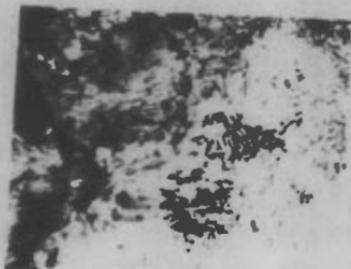


Gráfica 19.



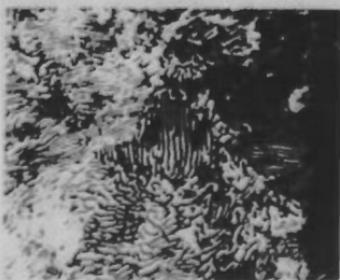
Gráfica 20.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
19	0	221	V_1 = velocidad de
20	0	220	enfriamiento $50^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$



Ciclo 19.

400 X.



Ciclo 20.

400 X.

RECOCIDO SUBCRITICO

Diametro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Cuando el horno tenía la temperatura de 500°C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 680 °C, los tiempos de permanencia son:

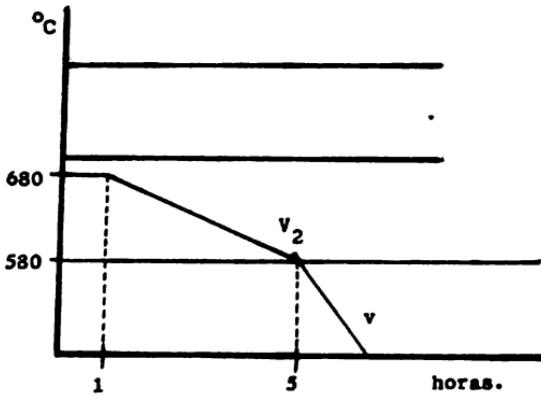
1/2 plg.: 1, 2 horas.

1 plg.: 2, 4 horas.

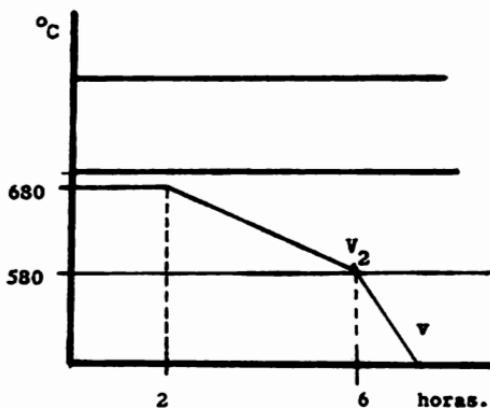
Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevo a cabo el enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de - 25 °C/ hr. hasta llegar a la temperatura de 580 °C y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se observó una cantidad pequeña de globulización y con una dureza relativamente alta, los valores pueden verse en la grafica.

RECOCIDO DE GLOMULIZACION:
FRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 4140
 β : 1/2 plg.



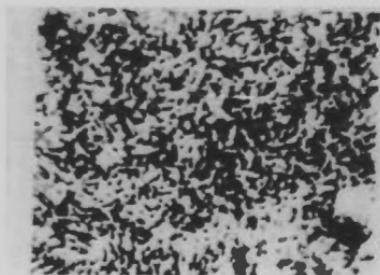
Gráfica 21.



Gráfica 22.

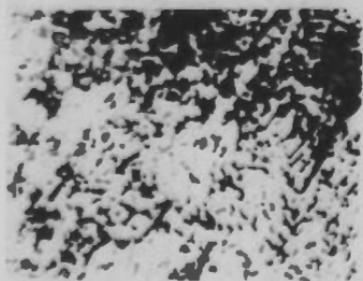
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones. .
21	60 - 70	224	v = velocidad de enfriamiento al aire.
22	65 - 75	214	

V_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 21.

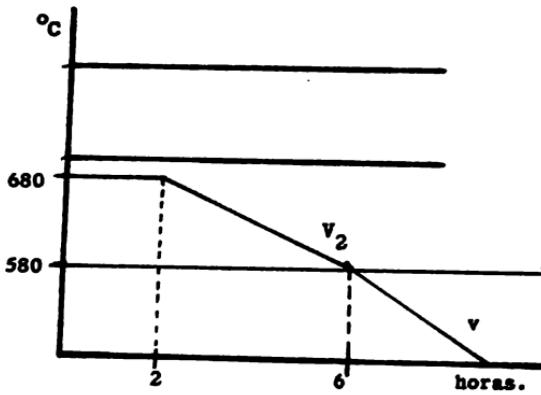
400 X.



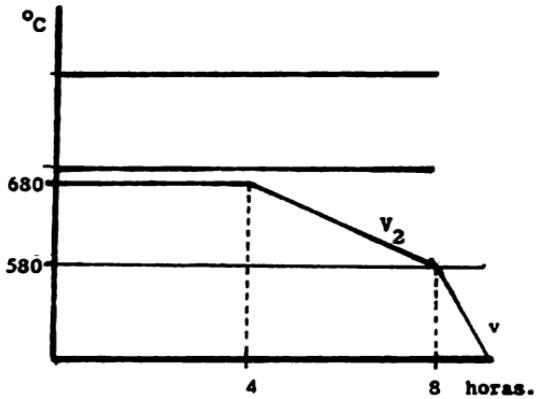
Ciclo 22.

1000 X.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 4140
 β : 1 plg.



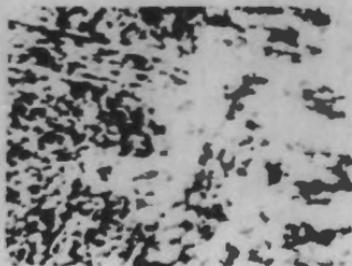
Gráfica23.



Gráfica 24.

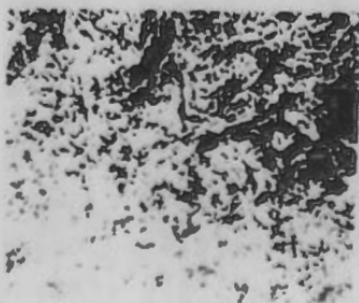
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
23	65 - 75	214	v = velocidad de enfriamiento al aire.
24	70 - 80	212	

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 23.

1000 X.



Ciclo 24.

1000 X.

RECOCIDO OSCILANTE

Diametro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 690 °C con un tiempo de permanencia de 30 minutos despues se elevo la temperatura hasta 740 °C con una velocidad de calentamiento de 100 °C/ hr., al llegar a esta temperatura se inicio el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 690 °C, formando asi un ciclo el cual se repite cuantas veces sea necesario, posteriormente para finalizar el tratamiento termico, al llegar a la temperatura de 690 °C se sacaron las probetas del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

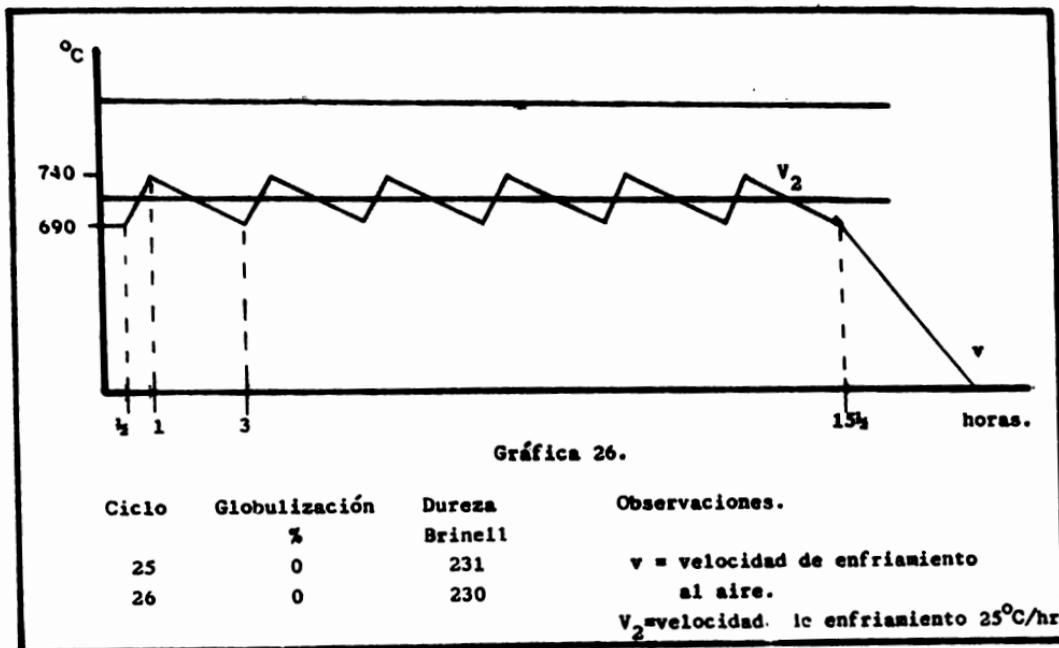
En este caso el tratamiento fue de :

2 ciclos, tiempo total 5 hr. 30 min.

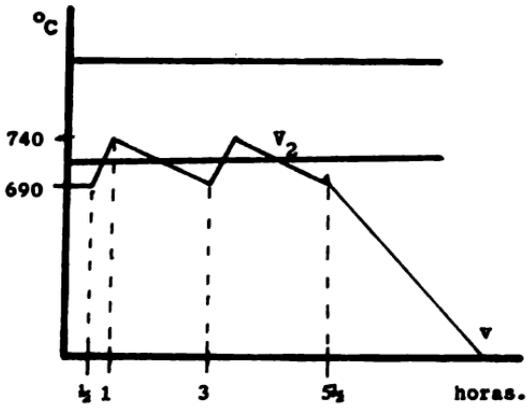
6 ciclos, tiempo total 15 hr. 30 min.

En el examen metalográfico se observó que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar.

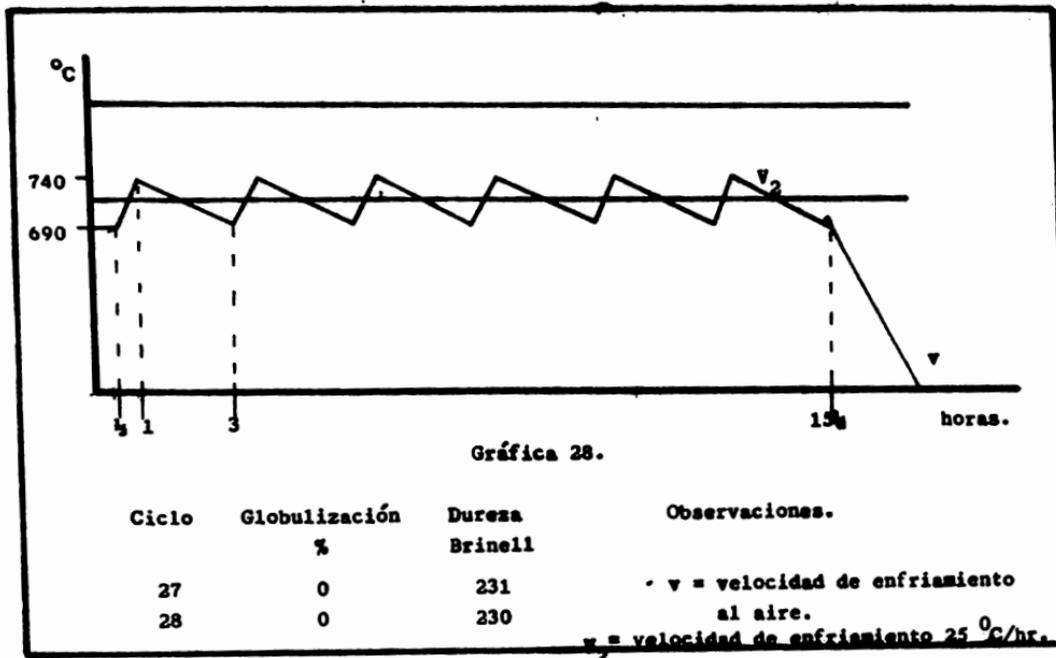
Los valores obtenidos en dureza pueden verse al final de la gráfica.



RECOCIDO DE GLOBULIZACION;
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO 4140
 ϕ : 1 plg.



Gráfica 27.



RECOCIDO OSCILANTE

Diametro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 550°C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 690°C con un tiempo de permanencia de 30 minutos despues se elevo la temperatura hasta 740 °C con una velocidad de calentamiento de 100°C/.hr., al llegar a esta temperatura se inicio el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 690 °C formando así un ciclo el cual se repite cuantas veces sea necesario, posteriormente para finalizar el tratamiento termico, al llegar a la temperatura de 690 °C se sigue bajando la temperatura con la misma velocidad de enfriamiento hasta la temperatura de 600 °C despues se sacaron las probetas del horno y se dejaron enfriar al aire.

En este caso el tratamiento fue:

2 ciclos, tiempo total 8 hr. 30 min.

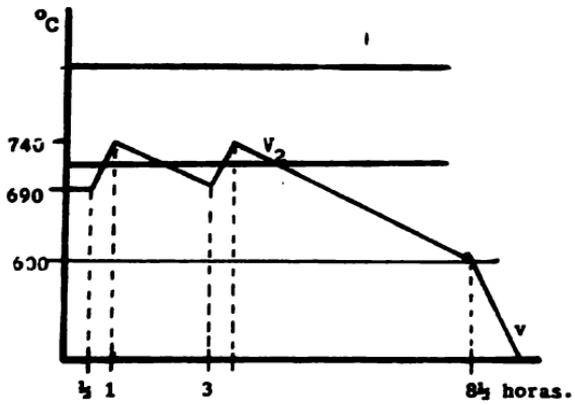
4 ciclos, tiempo total 13 hr. 30 min.

6 ciclos, tiempo total 18 hr. 30 min.

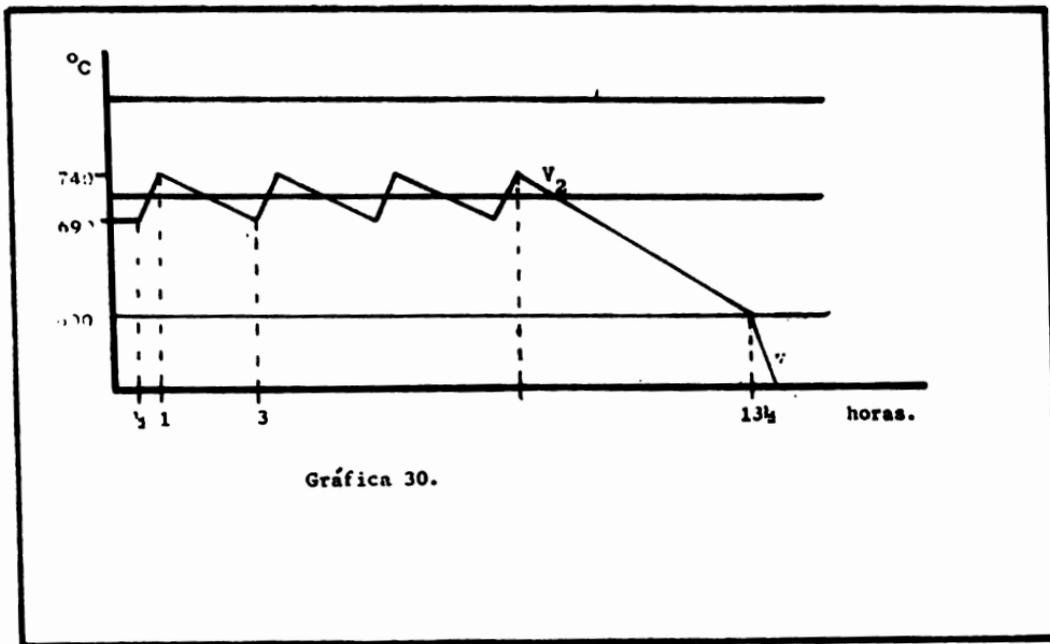
En el examen metalográfico se observó una muy pequeña globalización manteniendo en mayor grado la estructura de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza como en porcentaje de globalización pueden verse al final de la gráfica.

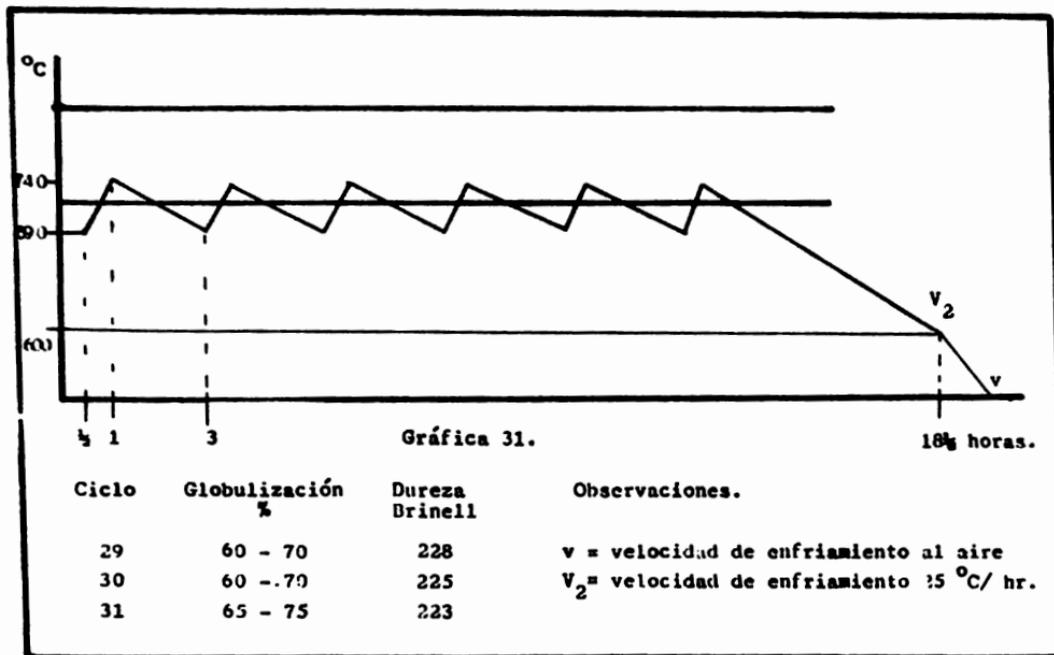
RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO 4140
 ϕ : 1/2 plg.

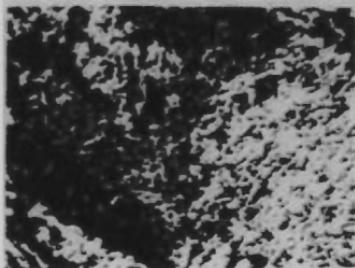


Gráfica 29.



Gráfica 30.





Ciclo 29.

400 X.



Ciclo 31.

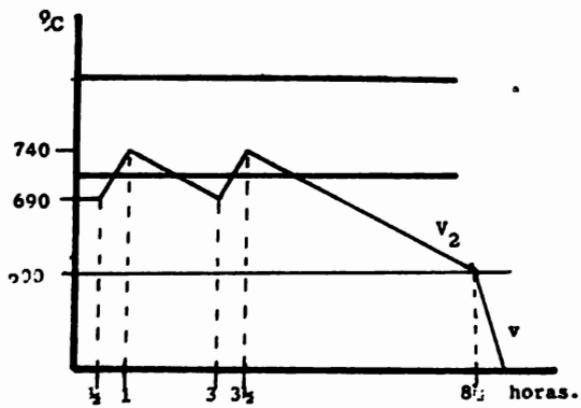
1000 X.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:

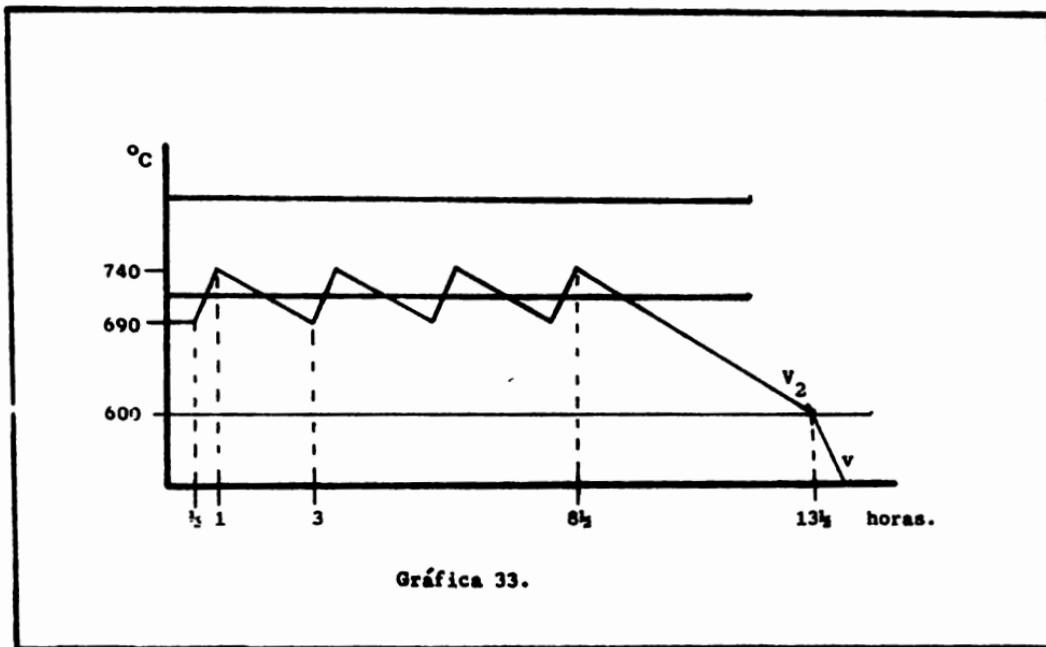
TRATAMIENTO: OSCILANTE.

ACERO 41 40

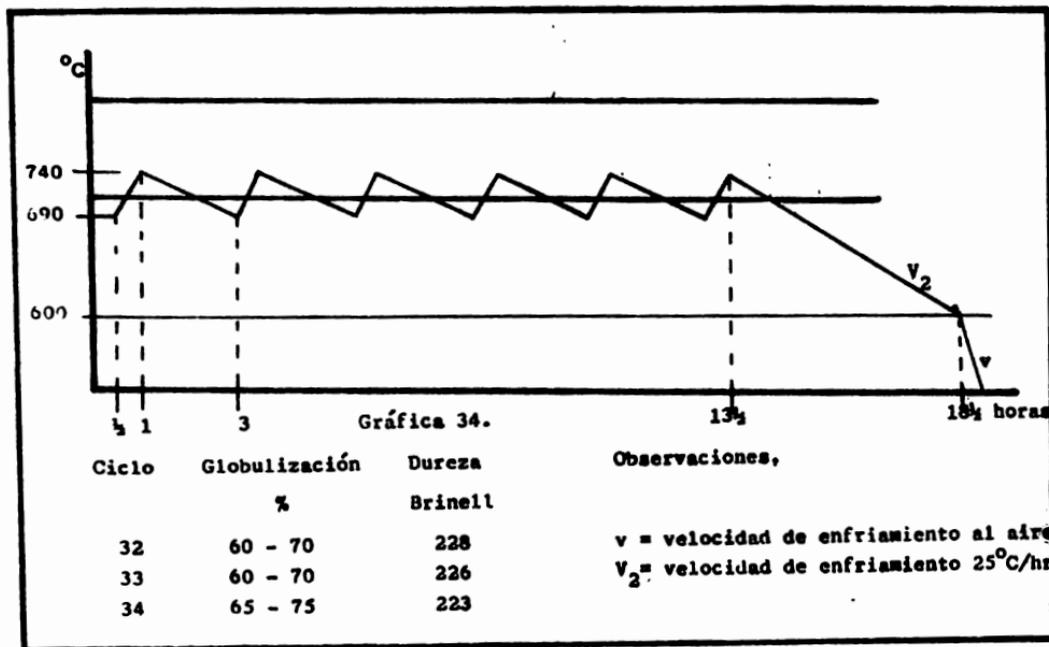
β : 1 plg.



Gráfica 32.



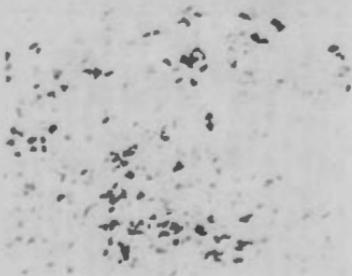
Gráfica 33.





Ciclo 32.

400 X.



Ciclo 34.

1000 X.

RECOCIDO DE AUTENIZACION COMPLETA

Y AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diametros de barras: 1/2, 1 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 950 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno el cual tenia la temperatura de 740 °C y se da otro tiempo de permanencia. al termino de este tiempo de permanencia las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

Tiempos de permanencia:

Austenización completa. Austenización incompleta.

1 hora.

1 hora.

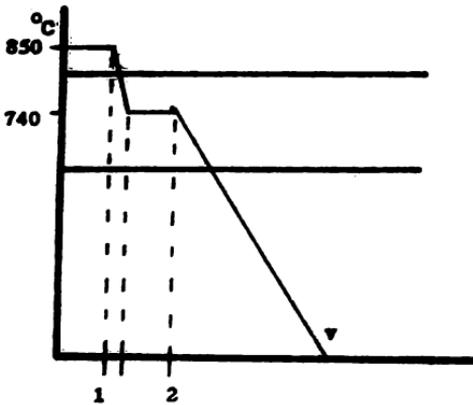
1 hora.

2 horas.

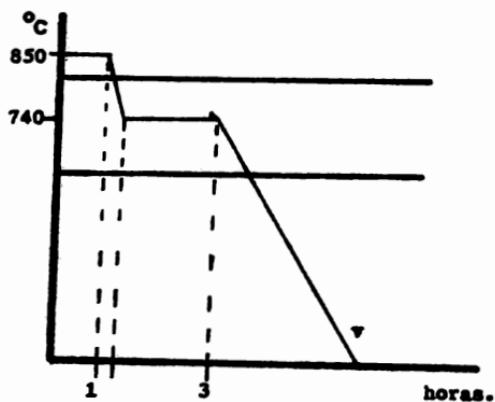
En el examen metalográfico se observó que la estructura obtenida en cada una de las probetas es de ferrita y perlita laminar y bien puede decirse que era una estructura de normalizado.

Los valores obtenidos en dureza pueden verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION COMPLETA,
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 4140
 ϕ : 1/2, 1 plg.



Gráfica 35.



Gráfica 36.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
35	0	229	v = velocidad de enfriamiento to al aire.
36	0	227	

**RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA**

Diametro de barra: 1/2 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 850 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno el cual tenía la temperatura de 740 °C y se da otro tiempo de permanencia al término de este tiempo se baja la temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 550 °C y se sacan las probetas del horno dejándose enfriar al aire.

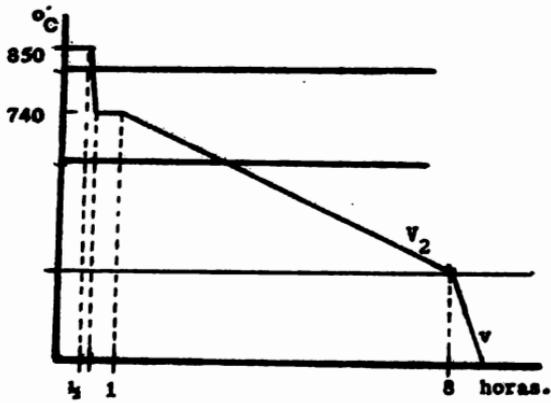
Tiempos de permanencia:

Austenización completa	Austenización incompleta
30 min.	30 min.
60 min.	60 min.

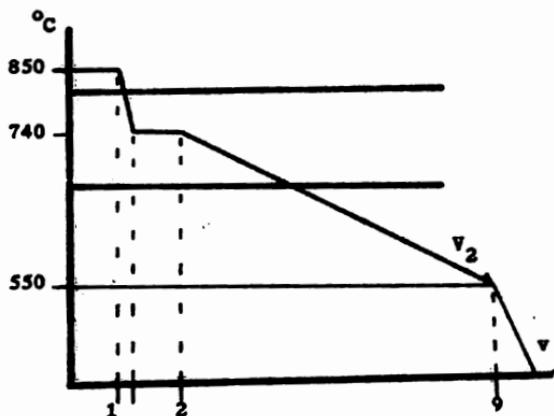
En el examen metalográfico se observa un pequeño porcentaje de globulización predominando en mayor grado la estructura de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza como en porciento de globulización pueden verse al final de la gráfica,

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION COMPLETA ,
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 4140
 β : 1/2 plg.



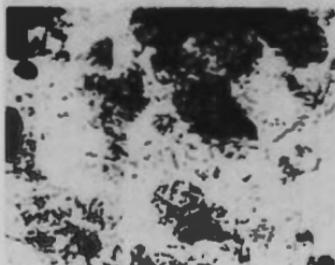
Grafica 37.



Gráfica 38.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
37	0	226	v = velocidad de enfriamiento al aire.
38	0	223	

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 $^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$



Ciclo 37.

400 X.



Ciclo 38.

400 X.

A C E R O 9 8 4 0

Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Dureza y estructura anterior al tratamiento:

ferrita y perlita laminar 265 NDB.

Las temperaturas de A_{c_3} y A_{c_1} se encontraron en forma experimental, obteniendo para $A_{c_3} = 814^{\circ}\text{C}$ y para $A_{c_1} = 712^{\circ}\text{C}$.

Las temperaturas de trabajo usadas son:

$$T_1 = 850^{\circ}\text{C}.$$

$$T_2 = 725^{\circ}\text{C}.$$

En las pruebas preliminares las piezas se metieron al horno cuando este tenía la temperatura de 100°C . y se aumento la temperatura a una velocidad de calentamiento de $50^{\circ}\text{C}/\text{hr}$. hasta alcanzar la temperatura de trabajo, otras piezas se metieron al

horno cuando este tenia la temperatura de 550 °C y con una velocidad de calentamiento de 100 °C/ hr. hasta la temperatura de trabajo. Esto se realizo para todos los ciclos y para cada uno de los diferentes diametros de barra, observando que no se encontro diferencia entre los procedimientos iniciales por lo cual se uso el segundo metodo.

Temperatura del horno 550 °C.

Velocidad de calentamiento 100 °C/ hr.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

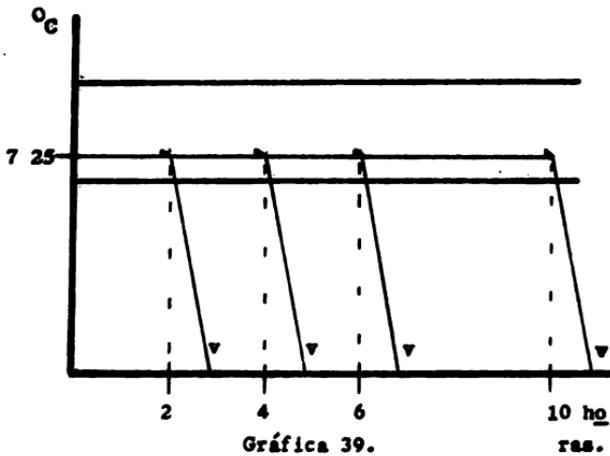
Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Cuando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia para cada uno de los diferentes diámetros son:

2, 4, 6, 10 horas.

Al término del tiempo de permanencia para cada probeta, estas, se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire, posteriormente se prepararon las probetas para el examen metalográfico y se observó en cada una de las probetas que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar y la dureza varió entre 230 - 238 NDB.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 9840
 δ : 1/2, 3/4, 1 plg.



Gráfica 39.

ras.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
39			
2 horas.	0	232	v = velocidad de
4 horas.	0	230	enfriamiento
6 horas.	0	230	al aire.
10 horas.	0	228	

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

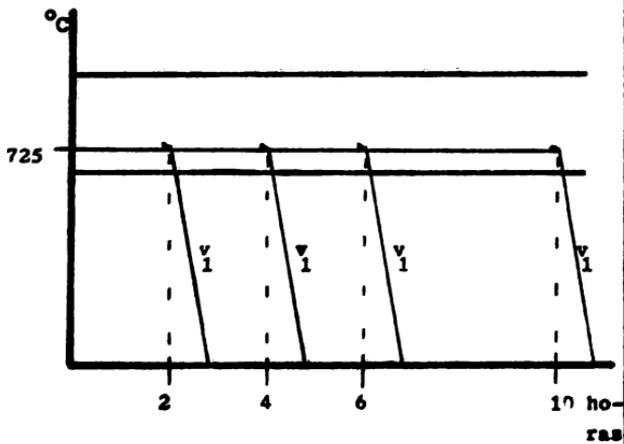
Cuando el horno tenía una temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia para cada uno de los diferentes diámetros de barra son:

2, 4, 6, 10 horas.

Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas el horno se apagó y las probetas se dejaron en el interior del horno enfriándose a la misma velocidad de este, con una velocidad de enfriamiento aproximada de 50 °C/ hr., hasta la temperatura ambiente.

En el examen metalográfico se observó en cada una de las probetas que apenas se iniciaba la coalescencia sin llegar a formar globulos y la dureza de las probetas varió entre 223 - 227 ND3.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION:
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 9840
 \bar{A} : 1/2, 3/4, 1 plg.



Gráfica 40.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
40			
2 horas.	0	228	V_1 = velocidad de enfriamiento 50 °C/ hr.
4 horas.	0	228	
6 horas.	0	225	
10 horas.	0	223	



Ciclo 40.

400 X.

4 hr.



Ciclo 40.

400 X.

2 hr.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diametro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia son:

1/2 plg.: 30, 45 minutos.

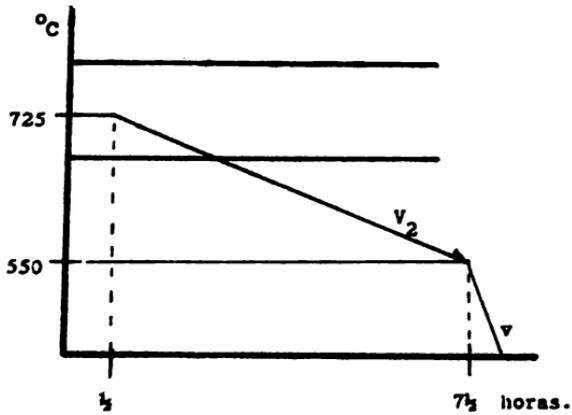
3/4 plg.: 30, 45, 60 minutos.

1 plg.: 30, 45, 60, 90, 120 minutos.

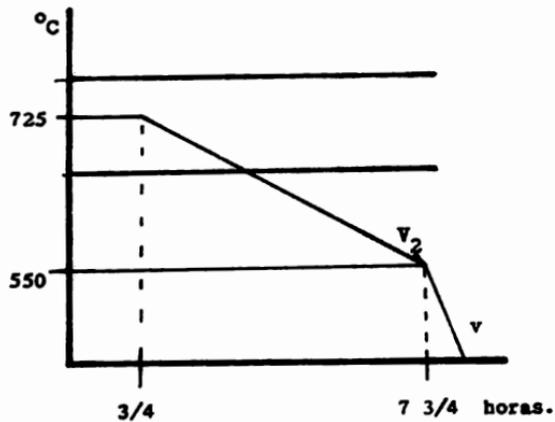
Al termino del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevo a cabo el enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de -- 25 °C/ hr. hasta llegar a la temperatura de 550 °C y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se pudo observar una globulización muy fina con una variación de dureza pequeña, los valores pueden verse en la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 9840
 ϕ : 1/2 plg.



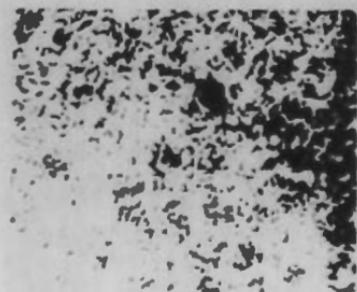
Gráfica 41.



Gráfica 42.

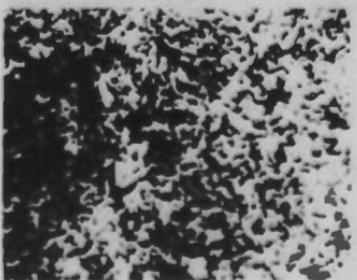
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
41	90	198	v = velocidad de enfriamiento al aire.
42	90	200	

V_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 41.

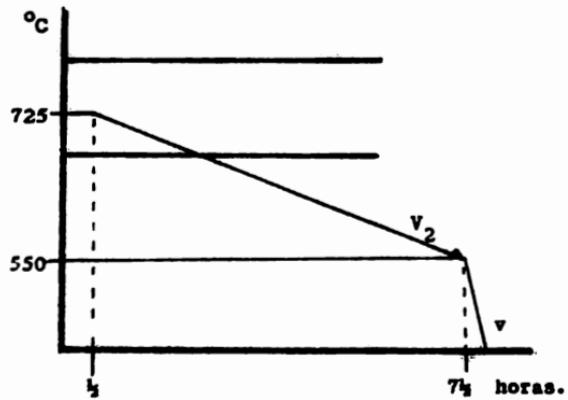
1000 X.



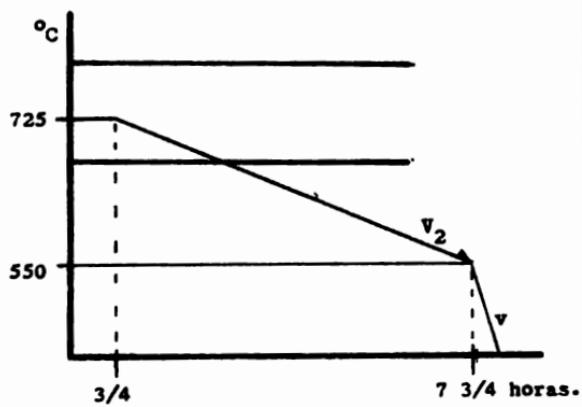
Ciclo 42.

1000 X.

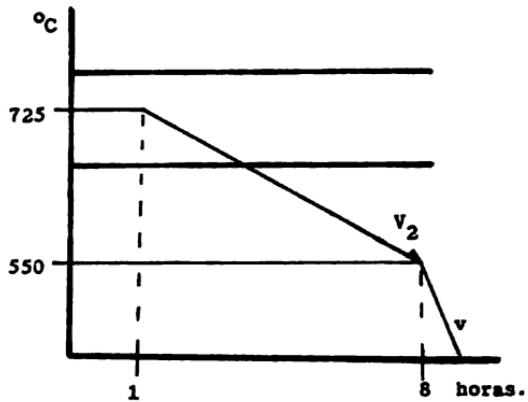
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 9840
 β : 3/4 pig.



Gráfica 43.



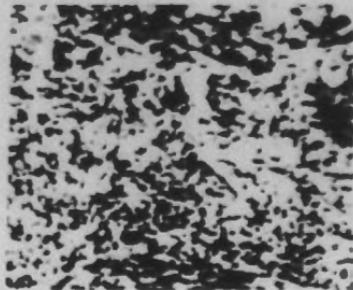
Gráfica 44.



Gráfica 45.

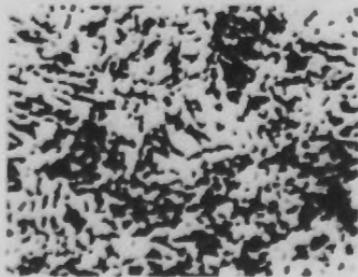
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
43	70 - 80	214	v = velocidad de enfriamiento al aire.
44	80 - 90	204	
45	80 - 90	205	

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 43.

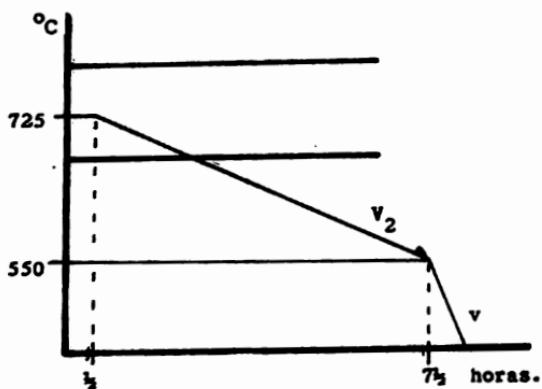
1000 X.



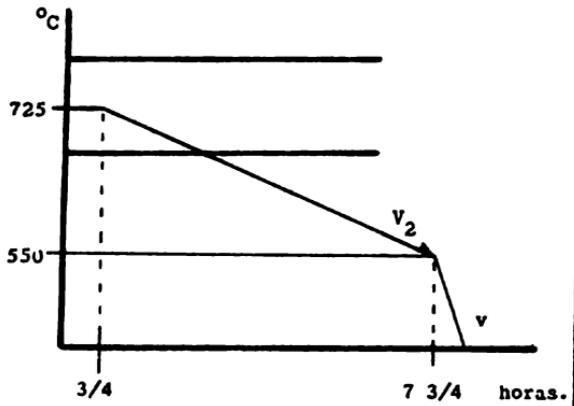
Ciclo 45.

1000 X.

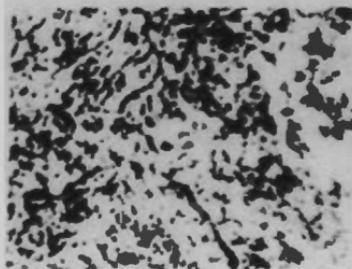
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 9840
 ϕ : 1 plg.



Gráfica 46.

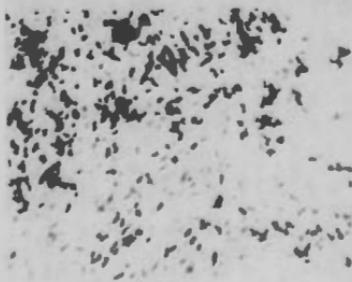


Gráfica 47.



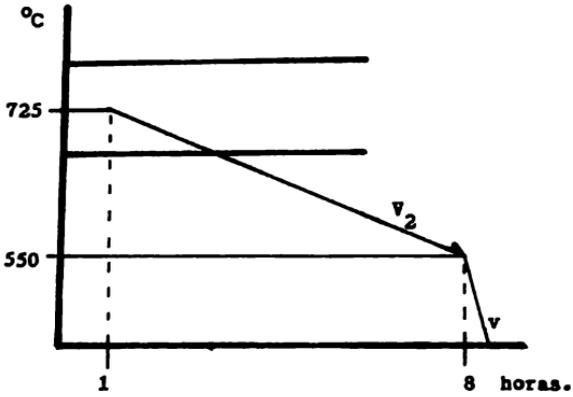
Ciclo 46.

1000 X.

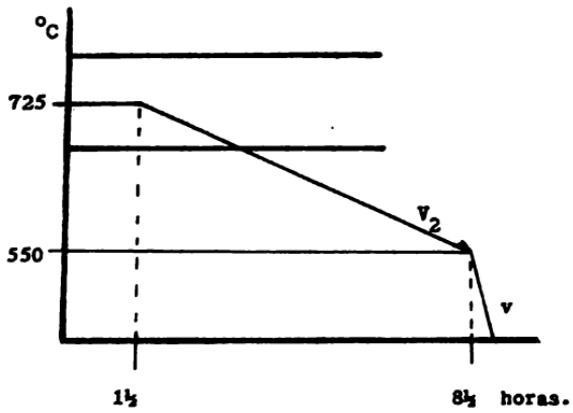


Ciclo 47.

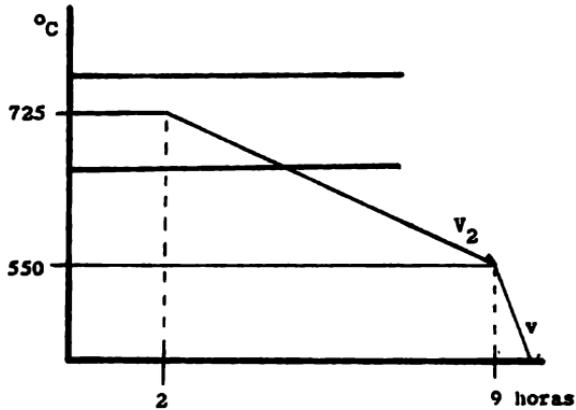
1000 X.



Gráfica 48.



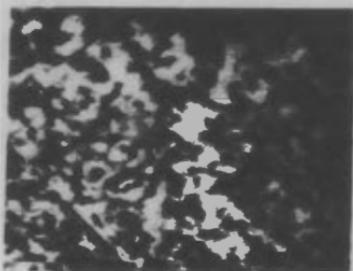
Gráfica 49.



Gráfica 50.

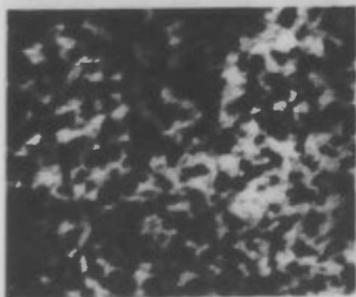
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
46	70 - 80	218	v = velocidad de enfriamiento
47	70 - 80	215	al aire.
48	80 - 90	209	
49	80 - 90	210	
50	80 - 90	216	

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 49.

1000 X.



Ciclo 50.

1000 X.

RECOCIDO SUBCRITICO

Diámetro de barras: 3/4, 1 pulgada.

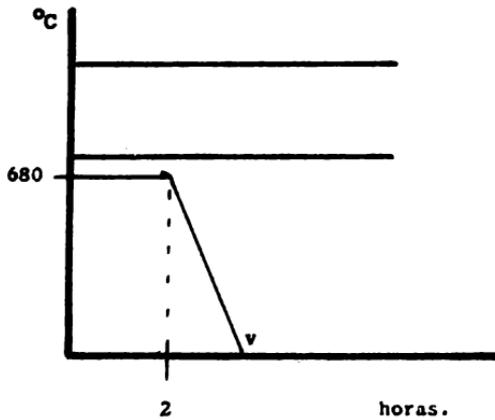
Cuando el horno tenia la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 680 °C, los tiempos de permanencia son:

3/4 pig.: 2, 8 horas

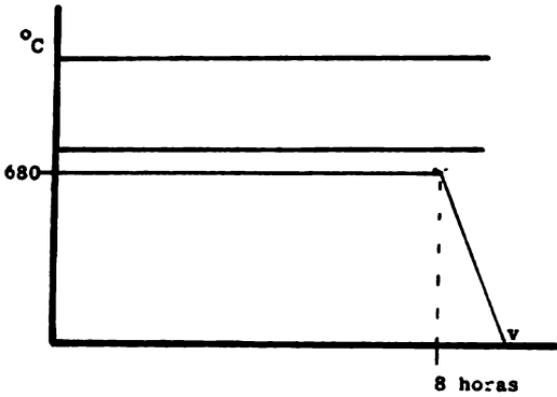
1 pig.: 4, 10 horas.

Al termino del tiempo de permanencia para cada una de las probetas, estas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire, posteriormente se prepararon las probetas para el examen metalográfico y se observo en cada una de las probetas que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar, la dureza obtenida puede verse al final de la grafica.

RECOCIDO DE SOBRECALORIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 9840
 β : 3/4 plg.



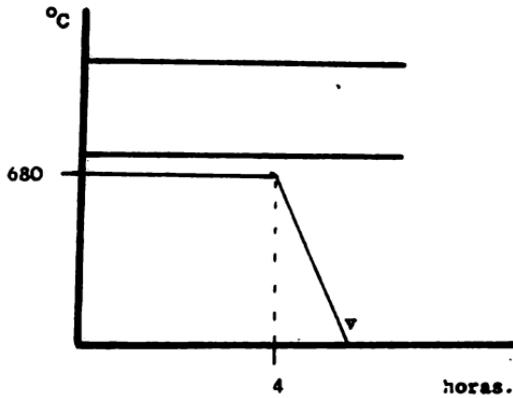
Gráfica 31.



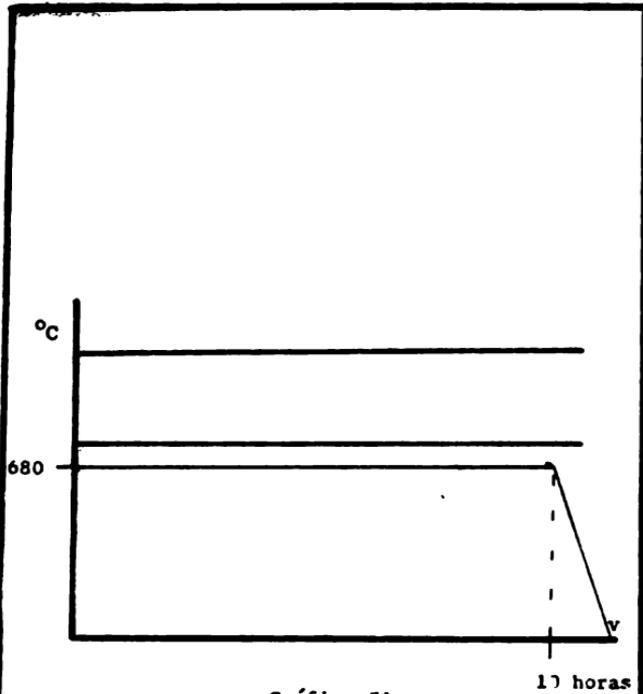
Gráfica 52

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones
51	0	232	v = velocidad de enfriamiento al aire.
52	0	230	

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 9840
 β : 1 μ g.



Gráfica 53



Ciclo	Globulización %	Dureza Jrinell	Observaciones
53	0	231	v = velocidad de enfriamiento al aire.
54	0	229	

RECOCCIDO SUBCRITICO

Diámetro de barras: 3/4, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 680 °C, los tiempos de permanencia son:

3/4 plg.: 2, 8 horas.

1 plg: 4, 10 horas.

Al termino del tiempo de permanencia para cada una de las probetas el horno se apago y las probetas se dejaron en el interior del horno enfriandose a la misma velocidad de este, con una velocidad de enfriamiento aproximada de 50 °C/ hr. hasta la temperatura ambiente.

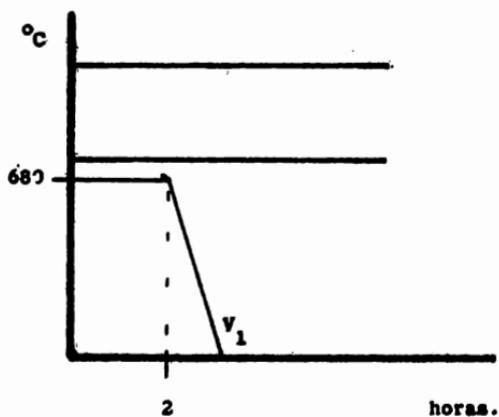
En el examen metalográfico se observo en cada una de las probetas un muy pequeño inicio de coalescencia sin llegar a formar globulos y la dureza obtenida puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION

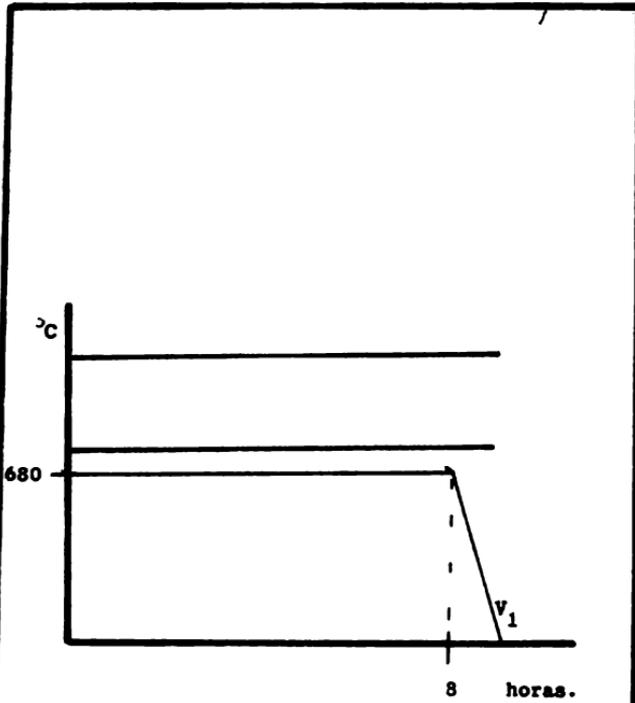
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.

ACERO 9840

β : 3/4 pig.



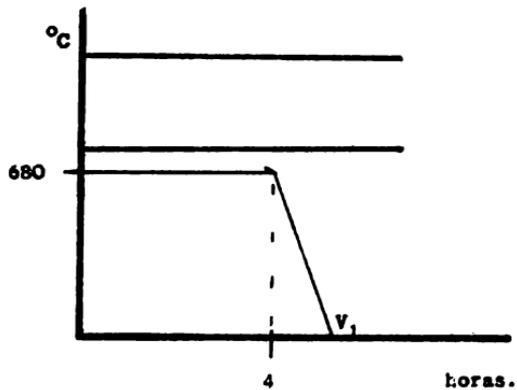
Gráfica 55



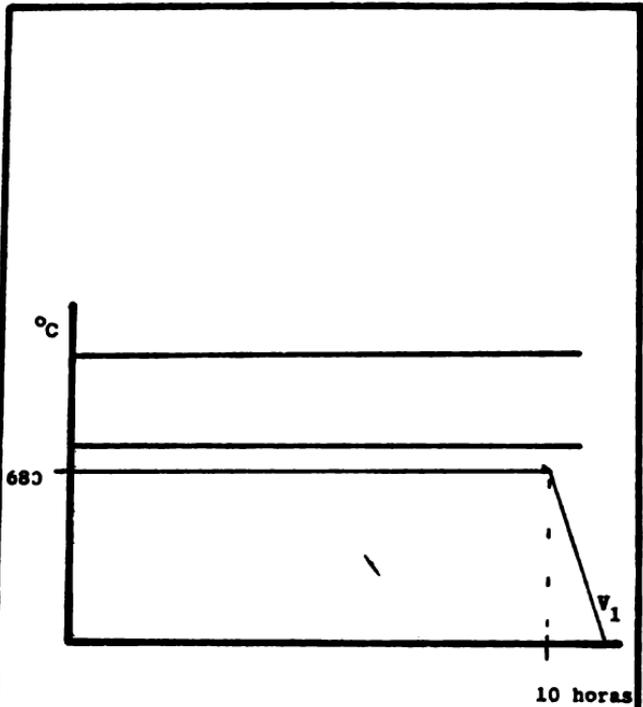
Gráfica 56

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
55	3	228	V_1 = velocidad de enfriamiento 50°C/ hr.
56	0	227	

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 9840
: 1 plg.

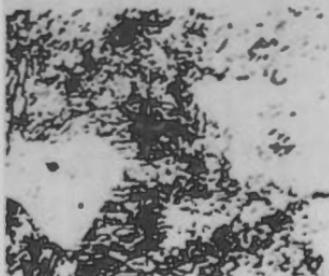


Gráfica 57



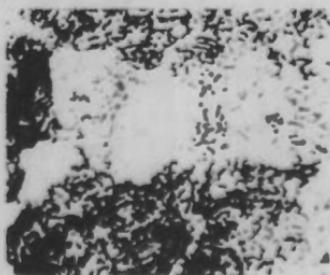
Gráfica 58

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones
57	0	227	V_1 = velocidad de enfriamiento 50 °C/hr.
58	0	227	



Ciclo 56.

1000 X.



Ciclo 58.

1000 X.

RECOCIDO SUBCRITICO

Diámetro de barras: 3/4, 1 pulgada.

Quando el horno tenia la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 680 °C, los tiempos de permanencia son:

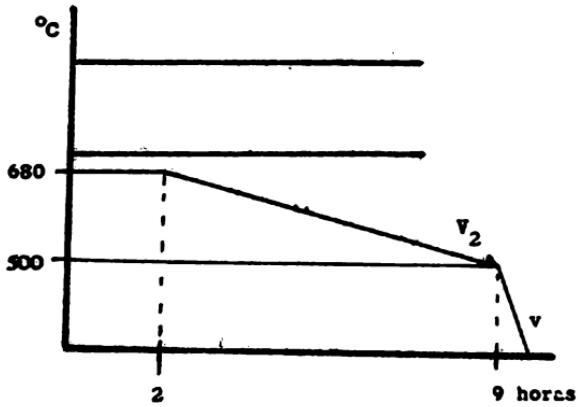
3/4 plg.: 2, 8 horas.

1 plg.: 4,10 horas.

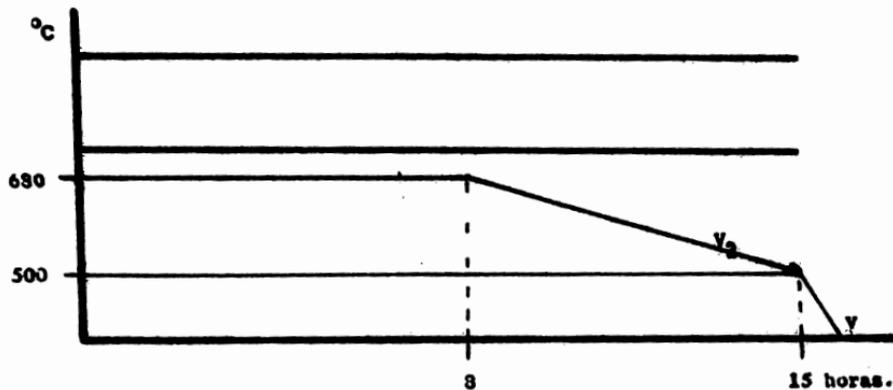
Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevo a cabo el enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de -- 25 °C/ hr. hasta llegar a la temperatura de 500 °C y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se observó una globulización parcial y con una dureza relativamente -- alta, los valores pueden verse en la gráfica.

RECOCIDO DE GLUBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 984)
 ϕ : 3/4 pulg.



Gráfica 59



Gráfica 60

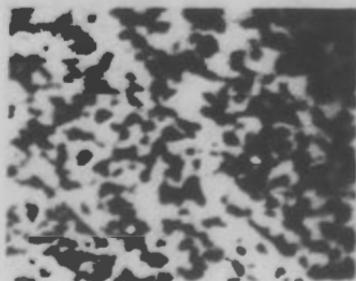
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
59	80 - 90	204	v = velocidad de enfriamiento al aire.
60	80 - 97	209	

v_0 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 59.

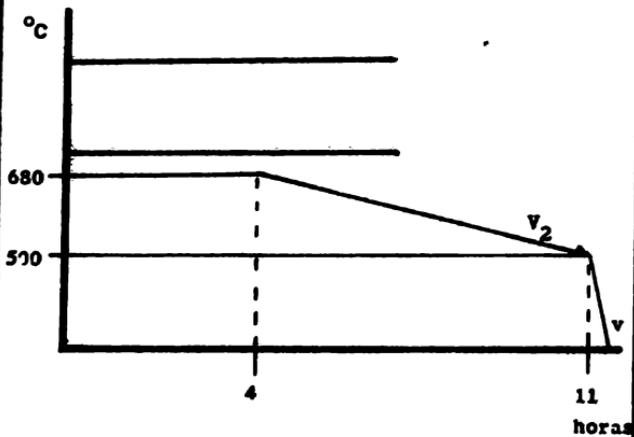
400 X.



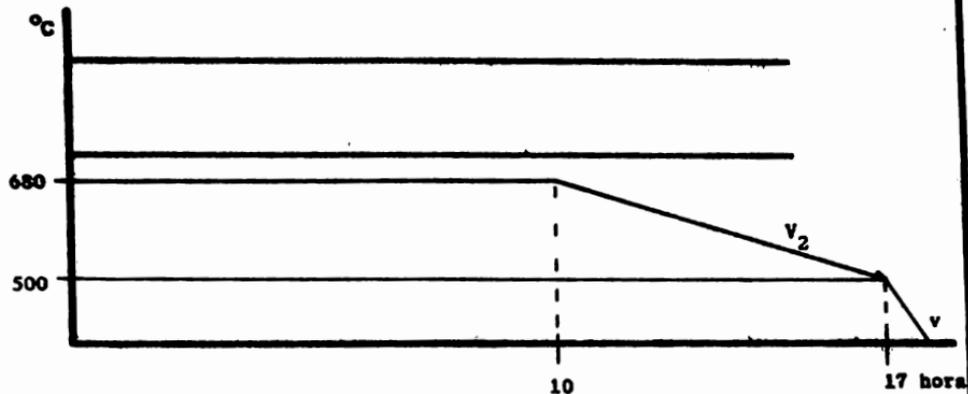
Ciclo 60.

1000 X.

RECIBIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 9840
 λ : 1 μ m.

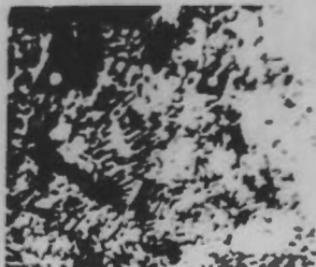


Gráfica 61



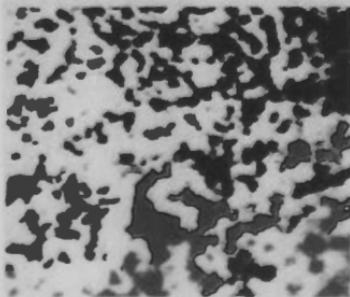
Gráfica 62

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
61	80 - 90	204	v = velocidad de enfriamiento al aire.
62	80 - 93	210	V_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 61.

400 X.



Ciclo 62.

1000 X.

RECOCIDO OSCILANTE

Díámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Quando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 675 °C con un tiempo de permanencia de 30 minutos despues se elevó la temperatura hasta 725 °C con una velocidad de calentamiento de 100 °C/ hr., al llegar a esta temperatura se inicio el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 675 °C formando así un ciclo, el cual se repite cuantas veces sea necesario. Posteriormente para finalizar el tratamiento térmico, al llegar a la temperatura de 675 °C se sacaron las probetas del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

En este caso el tratamiento fue:

2 ciclos, tiempo total 5 hr. 30 min.

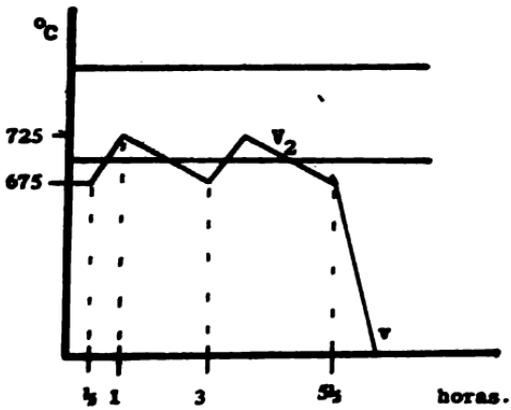
6 ciclos, tiempo total 15 hr. 30 min.

para cada uno de los diferentes diámetros.

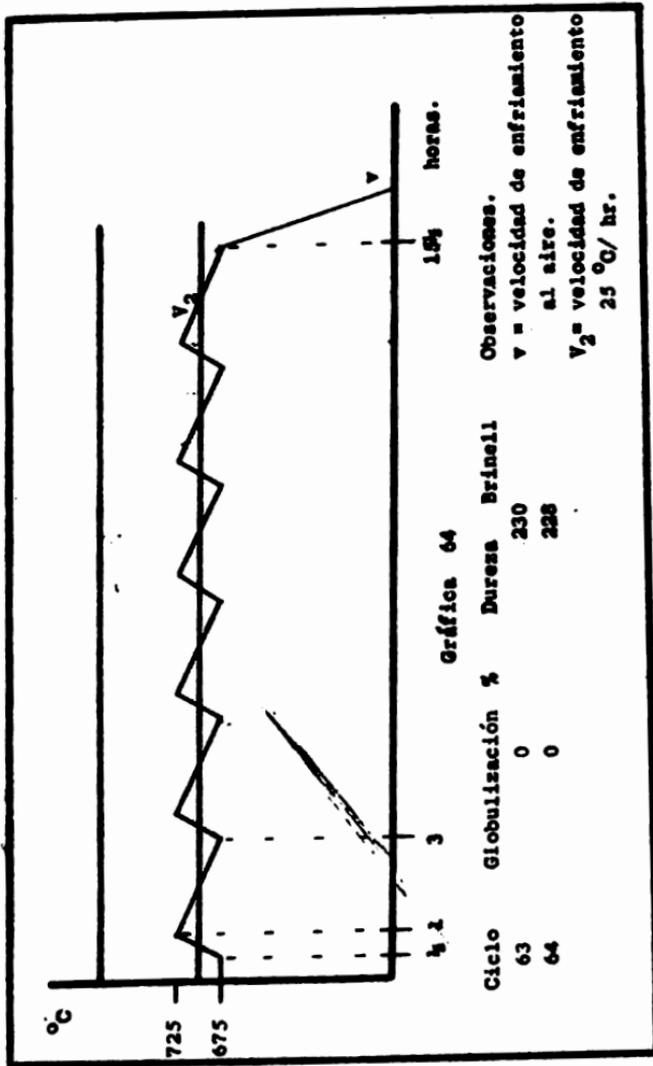
En el examen metalográfico se observó que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza pueden verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO 9840
 β : 1/2, 3/4, 1 plg.



Gráfica 63



RECOCIDO OSCILANTE

Díámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 675 °C dando un tiempo de,30 minutos, permanencia despues se elevó la temperatura hasta 725 °C con una velocidad de calentamiento de 100 °C/ hr., al llegar a esta temperatura se inicio el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 675 °C formando asi un ciclo el cual se repite cuantas veces sea necesario, posteriormente para finalizar el tratamiento térmico, al llegar a la temperatura de 675 °C se sigue bajando la temperatura con la misma velocidad de enfriamiento hasta la temperatura de 600 °C ; se sacaron las

probetas del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

En este caso el tratamiento fue de:

2 ciclos, tiempo total 8hr. 30 min.

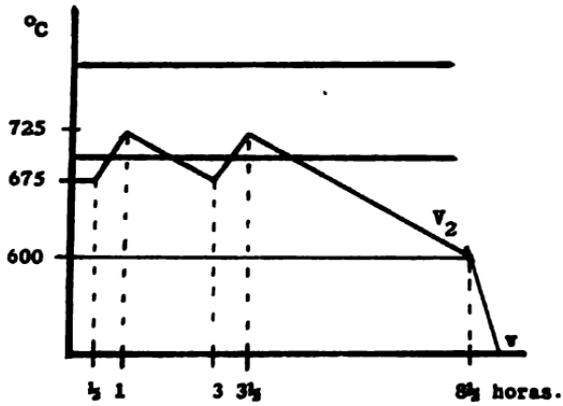
4 ciclos, tiempo total 13 hr. 30 min.

6 ciclos, tiempo total 18 hr. 30 min.

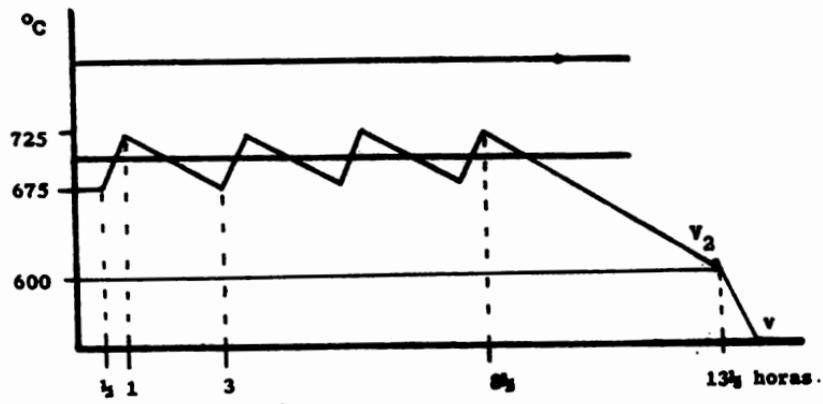
En el examen metalográfico se observó una ~~mayor~~ pequeña globulización manteniendo en mayor grado la estructura de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza como en porcentaje de globulización pueden verse al final de la gráfica.

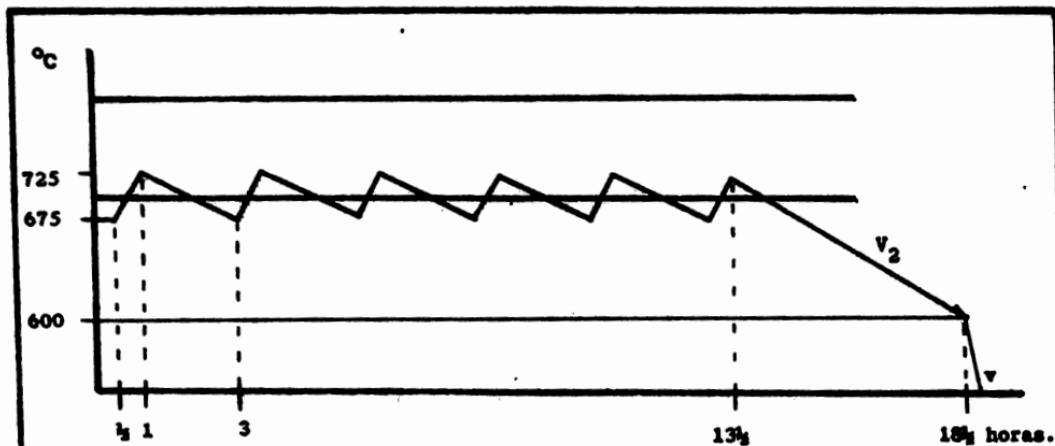
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO 9340.
 β : 1/2 plg.



Gráfica 65

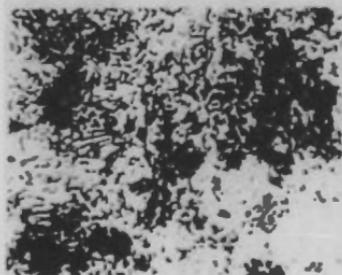


Gráfica 66



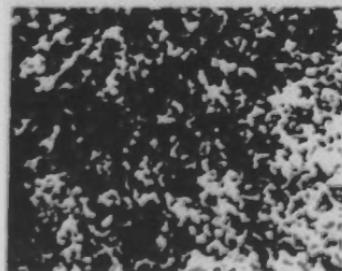
Gráfica 67

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
65	55 - 65	228	v = velocidad de enfriamiento al aire.
66	55 - 65	226	
67	70 - 80	223	v ₂ = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 65.

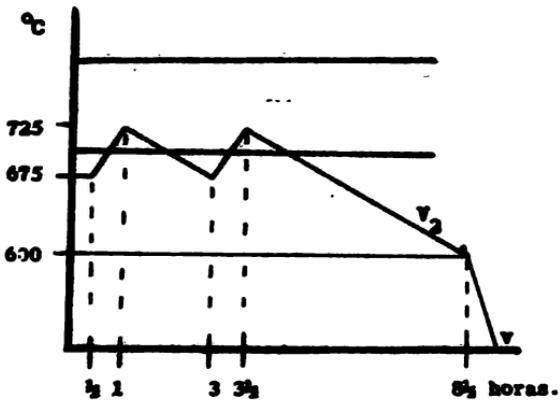
1000 X.



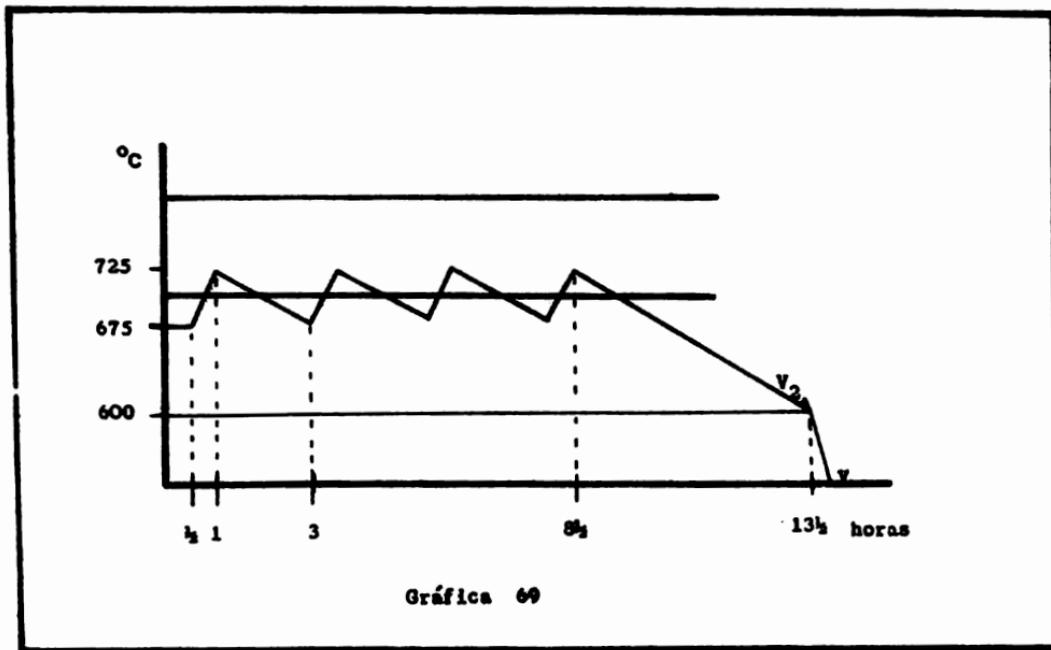
Ciclo 67.

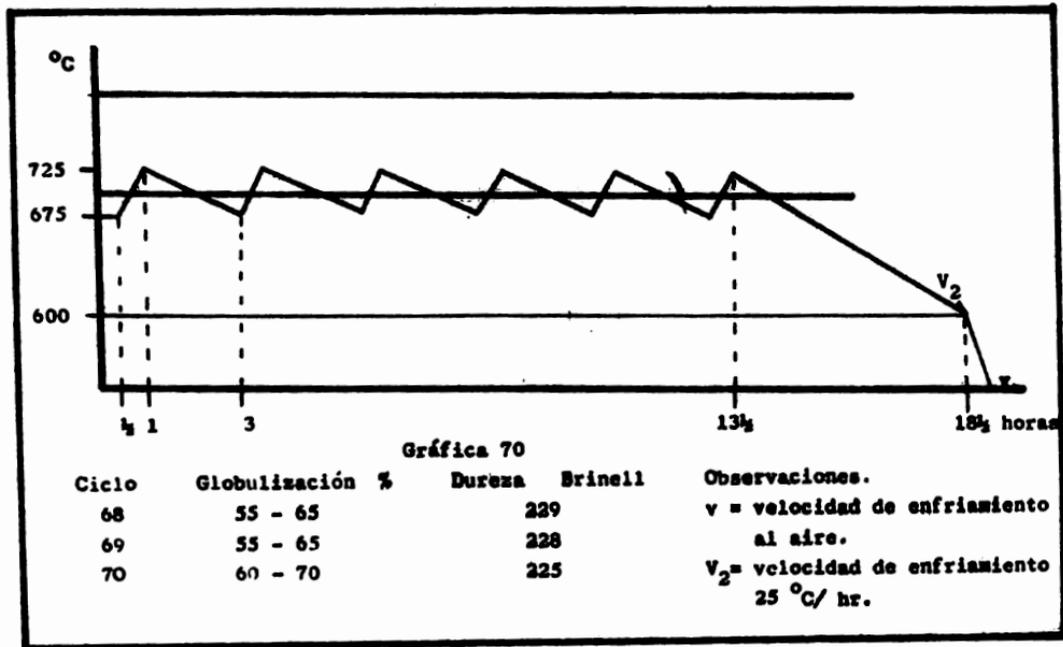
1000 X.

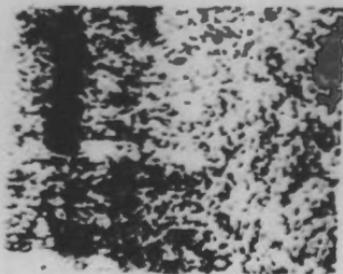
RECOCCIDO DE GLOBULIZACION
 TRATAMIENTO: OSCILANTE.
 ACERO 9840
 ϕ : 3/4 plg.



Gráfica 68

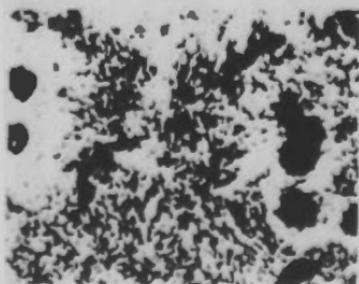






Ciclo 68.

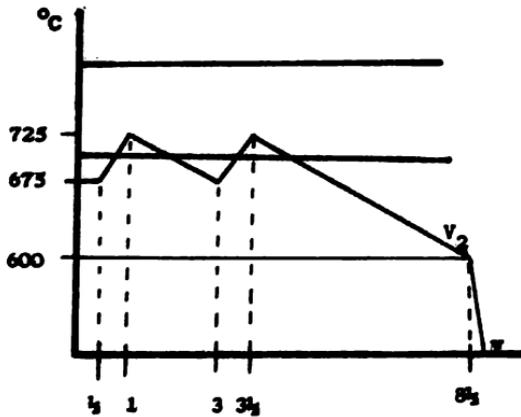
1000 X.



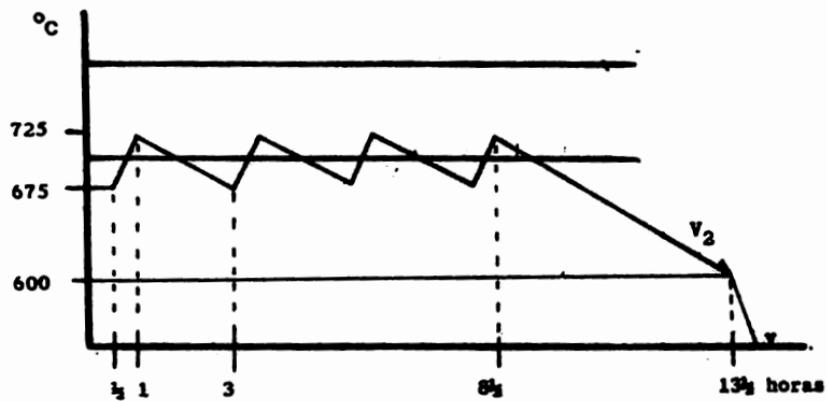
Ciclo 70

1000 X.

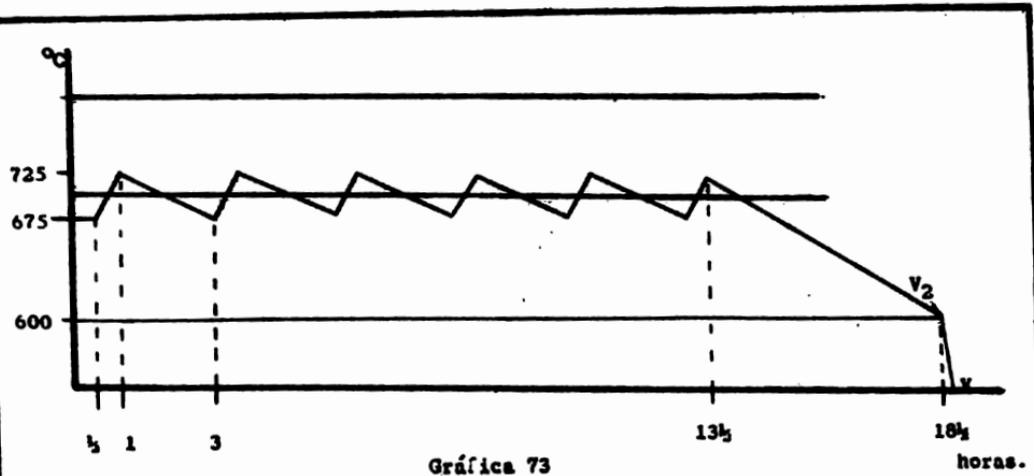
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO 9840
 δ : 1 pig.



Gráfica 71

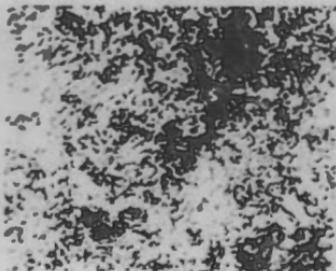


Gráfica 72



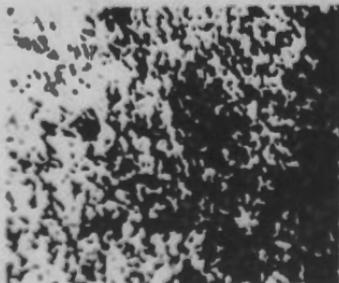
Gráfica 73

Ciclo	Globulización %	Dure.a Brinell	Observaciones.
71	55 - 65	228	v = velocidad de enfriamiento al aire.
72	55 - 65	226	v ₂ = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.
73	60 - 70	228	



Ciclo 71.

1000 X.



Ciclo 73.

1000 X.

**RECOCIDO DE .AUSTENIZACION COMPLETA
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA**

Diametro de barras: 1/2, 1 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 350 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno el cual tenía la temperatura de 725 °C y se da otro tiempo de permanencia, al término de este tiempo de permanencia las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

Tiempos de permanencia:

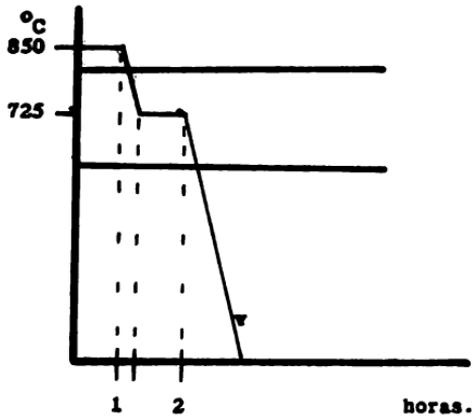
	Austenización completa.	Austenización incompleta.
1/2 pulg.	1 hora.	1 hora.
	1 hora.	2 horas.

1 pig.	1 hora.	2 horas.
	1 hora.	3 horas.

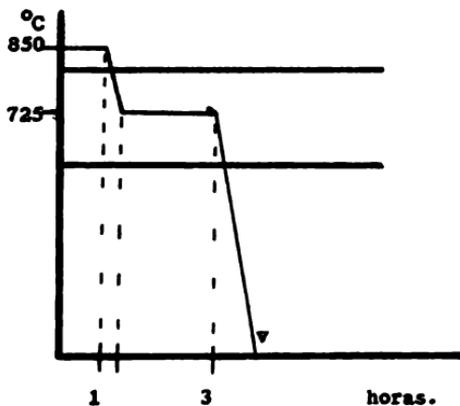
En el examen metalográfico se observó una estructura de ferrita y perlita laminar y bien puede decirse que era una estructura de normalizado.

Los valores obtenidos en dureza pueden verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION COMPLETA,
AUSTENIZACION INCOMPLETA
ACERO: 9840
 β : 1/2, 1 pig.

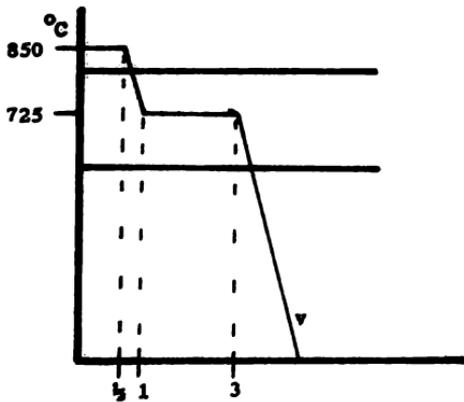


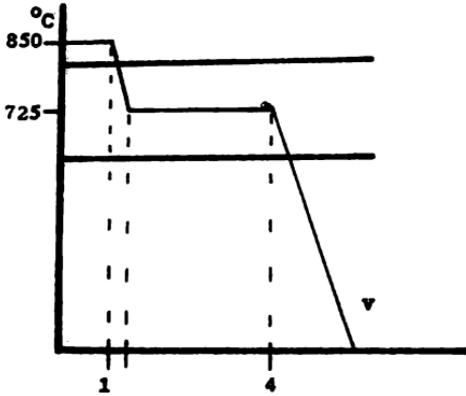
Gráfica 74



Gráfica 75.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
74	0	233	v = velocidad de
75	0	231	enfriamiento al aire.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION**TRATAMIENTO:****AUSTENIZACION COMPLETA,****AUSTENIZACION INCOMPLETA.****ACERO 9040** **β : 1 pig.****Gráfica 76.**



Gráfica 77.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
76	0	233	v = velocidad de
77	0	231	enfriamiento al aire.

**RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA**

Diámetro de barras: 1/2, 1 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 850 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno el cual tenía la temperatura de 725 °C y se da otro tiempo de permanencia al término de este tiempo se baja la temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 550 °C y se sacan las probetas del horno dejándose enfriar al aire.

Tiempos de permanencia:

	Austenización completa.	Austenización incompleta.
1/2 pig.	30 min.	30 min.
	60 min.	60 min.
	60 min.	120 min.

1 plg.	60 min.	60 min.
	120 min.	120 min.
	60 min.	130 min.

En el examen metalográfico se observó un pequeño porcentaje de globulización predominando en mayor grado la estructura de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza como en porcentaje de globulización pueden verse al final de la gráfica.

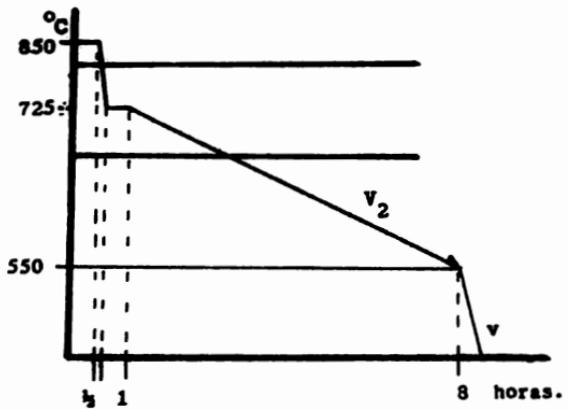
RECOCIDO DE GLOBULIZACION

TRATAMIENTO:

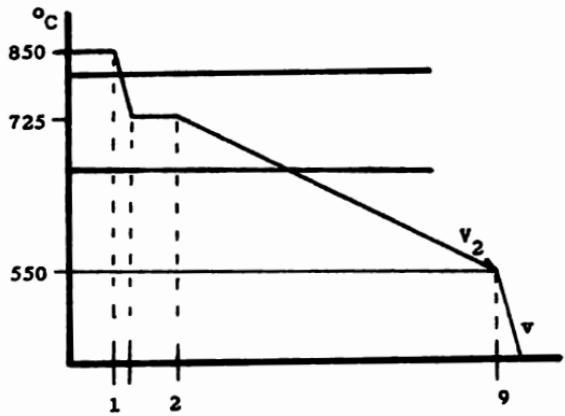
AUSTENIZACION COMPLETA,

AUSTENIZACION INCOMPLETA.

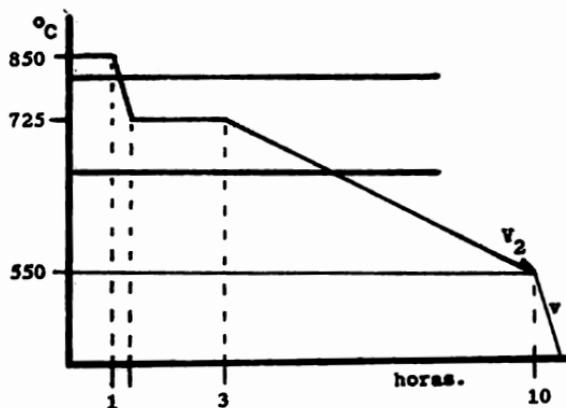
ACERO 9840

 β : 1/2 plg.

Gráfica 79.



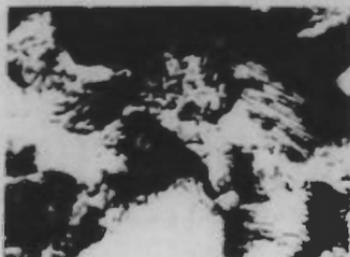
Gráfica 79.



Gráfica 80.

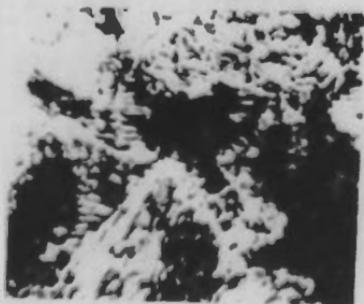
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
78	0	235	v = velocidad de
79	0	234	enfriamiento
80	0	233	al aire.

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 78.

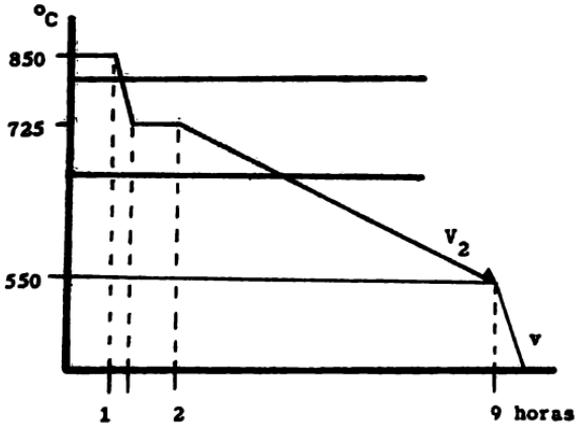
400 X.



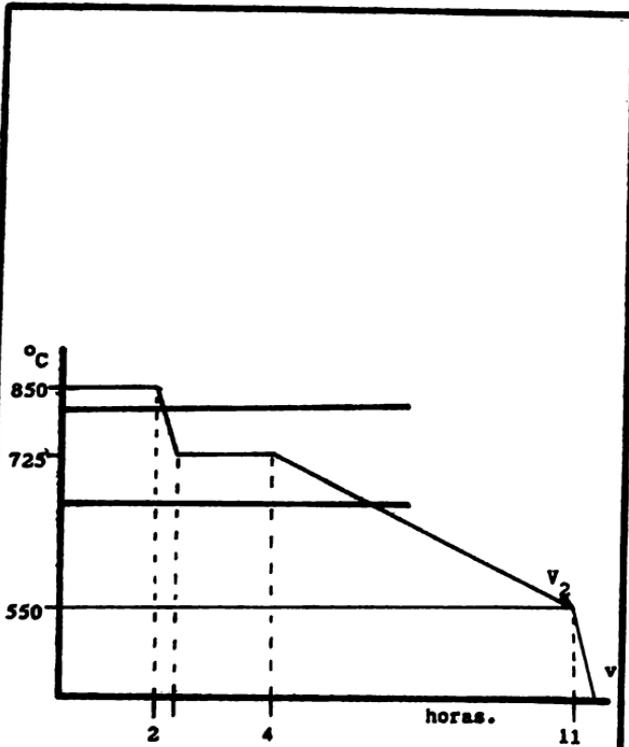
Ciclo 80.

1000 X.

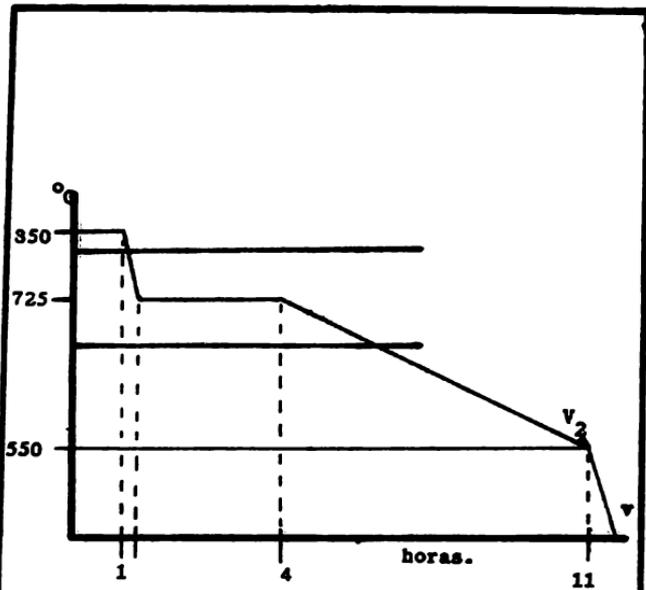
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION COMPLETA,
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 9840
 ϕ : 1 pig.



Gráfica 81.



Gráfica 82.



Gráficas 83.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
81	0	234	v = velocidad de enfriamiento
82	0	232	
83	0	233	

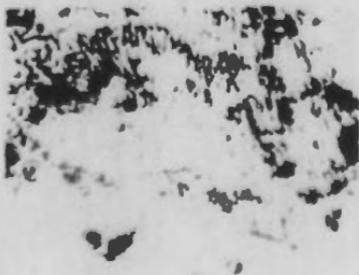
v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.

174



Ciclo 81.

400 X.



Ciclo 83.

1000 X.

A C B R O 1 0 4 5

Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Estructura y dureza anterior al tratamiento:

ferrita y perlita laminar 262 ND3.

Las temperaturas de Ac_3 y Ac_1 se encontraron en forma experimental, obteniendo para $Ac_3 = 770^{\circ}\text{C}$ y para $Ac_1 = 710^{\circ}\text{C}$.

Las temperaturas de trabajo usadas son:

$$T_1 = 800^{\circ}\text{C}.$$

$$T_2 = 725^{\circ}\text{C}.$$

En las pruebas preliminares las piezas se metieron al horno cuando este tenía la temperatura de 100°C y se aumento la temperatura a una velocidad de calentamiento de $50^{\circ}\text{C}/\text{hr}$. hasta alcanzar la temperatura de trabajo, otras piezas se metieron cuando el horno tenía la temperatura de 550°C y con una velocidad de calentamiento de $100^{\circ}\text{C}/\text{hr}$. hasta la temperatura de trabajo. Esto se realizo para todos los ciclos y para cada uno de los diferentes diámetros de barra, observando que no se encontro dife--

rencia entre dichos procedimientos, tomando en cuenta que los metodos industriales debido a factores de costos no llegan a temperaturas tan bajas como en el primer caso se opto por el segundo procedimiento

Temperatura del horno 550°C .

Velocidad de calentamiento $100^{\circ}\text{C}/\text{hr}$.

REGOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

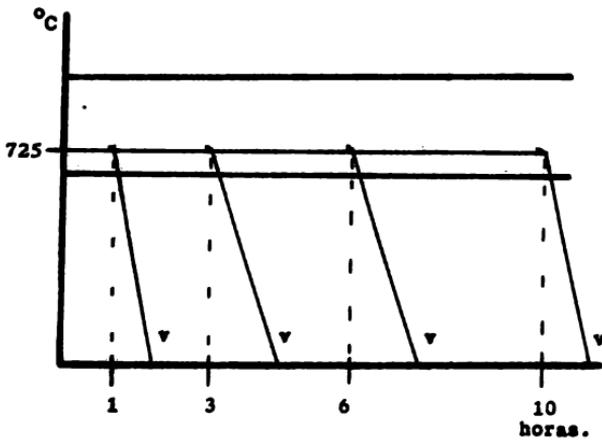
Quando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia para cada uno de los diferentes diámetros de barra son:

1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 14 horas.

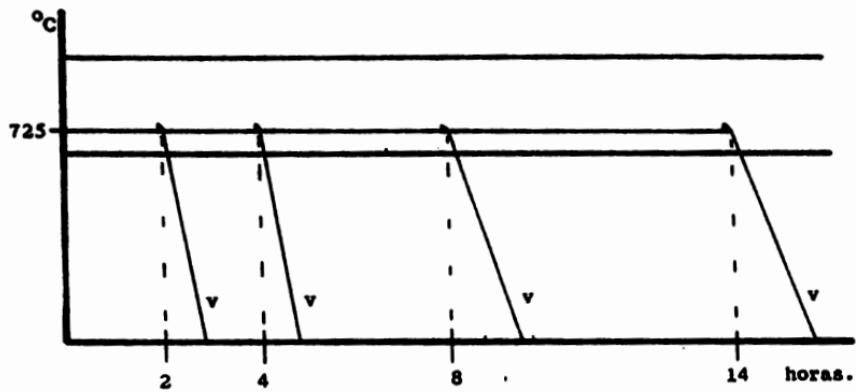
Al termino del tiempo de permanencia para cada probeta, estas, se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire, posteriormente se prepararon las probetas para el examen metalográfico.

Por medio del examen metalográfico se observo en cada una de las probetas que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar y no se presentó indicio alguno de globulización y la dureza de las probetas vario entre 228 - 232 NDB.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 1045
 ϕ : 1/2, 3/4, 1 plg.



Gráfica 84.



Gráfica 85.

Ciclo	Globalización %	Dureza Brinell	Observaciones.
84			
85			
1 horas.	0	234	v = velocidad de
2 horas.	0	233	enfriamiento
3 horas.	0	233	al aire.
4 horas.	0	230	
6 horas.	0	229	
8 horas.	0	228	
10 horas.	0	226	
14 horas.	0	226	

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

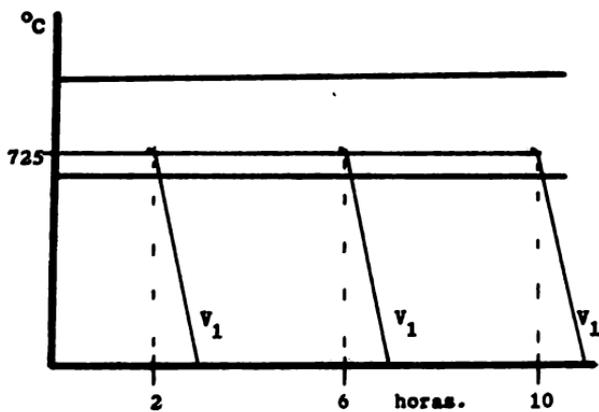
Cuando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia para cada uno de los diferentes diámetros de barra son:

2, 4, 6, 8, 10, 14 horas.

Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas el horno se apaga y las probetas se dejaron en el interior del horno enfriándose a la misma velocidad de este, con una velocidad de enfriamiento aproximada de 50 °C/ hr., hasta la temperatura ambiente.

En el examen metalográfico se observó en cada una de las probetas que apenas se iniciaba la coalescencia sin llegar a formar globulos y la dureza de las probetas vario entre 220 - 224 NDB.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 1045
 ϕ : 1/2, 3/4, 1 pig.



Gráfica 86.



Ciclo 86.

400 X.

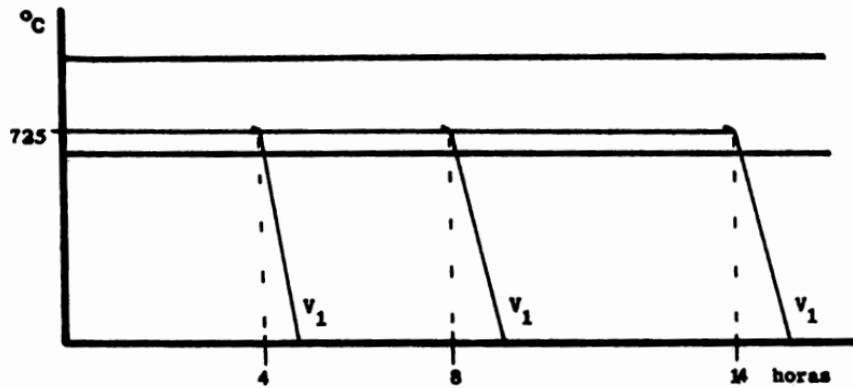
2 hr.



Ciclo 86.

1000 X.

10 hr.



Gráfica 87.

Ciclo	Globalización %	Dureza Brinell	Observaciones.
86			
87			
2 horas.	0	230	V_1 = velocidad de enfriamiento 50 °C/ hr.
4 horas.	0	230	
6 horas.	0	228	
8 horas.	0	227	
10 horas.	0	224	
14 horas.	0	221	



Ciclo 87.

400 X.

4 hr.



Ciclo 87.

1000 X.

14 hr.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Quando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia son:

1/2 plg.: 15, 30, 45 minutos.

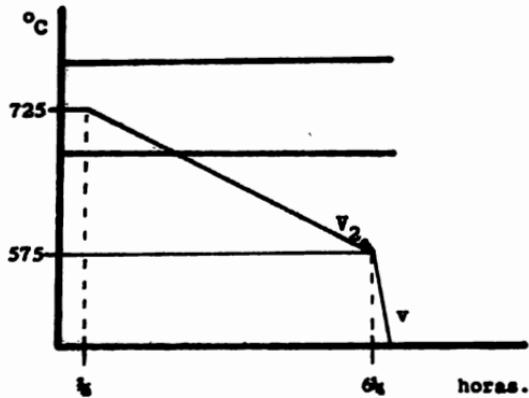
3/4 plg.: 30, 45, 60 minutos.

1 plg.: 30, 60, 90 minutos.

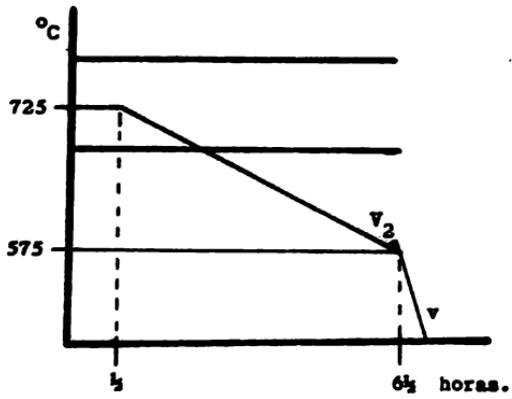
Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevo a cabo el enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta llegar a la temperatura de 575 °C y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se pudo observar una muy buena globulización con una pequeña variación de dureza, los valores pueden verse en la gráfica.

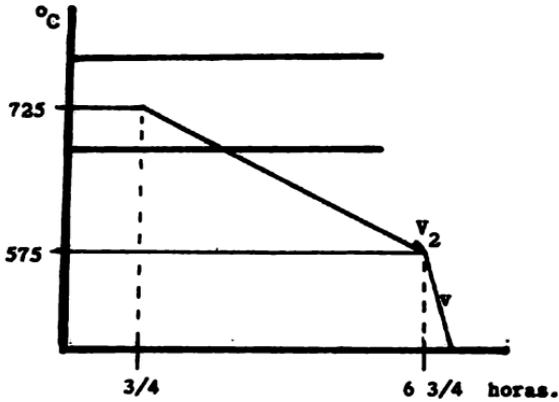
RECOCCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 1045
 $\phi = 1/2$ plg.



Gráfica 88.



Gráfica 89.



Gráfica 90.

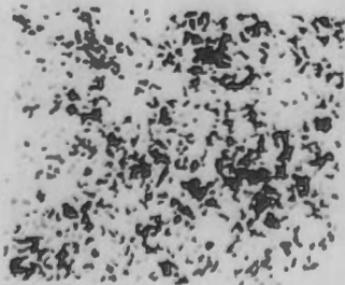
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
88	50 -60	227	v = velocidad de enfriamiento
89	75 -85	213	al aire.
90	75 -85	214	

v_2 = velocidad de enfriamiento $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$



Ciclo 88.

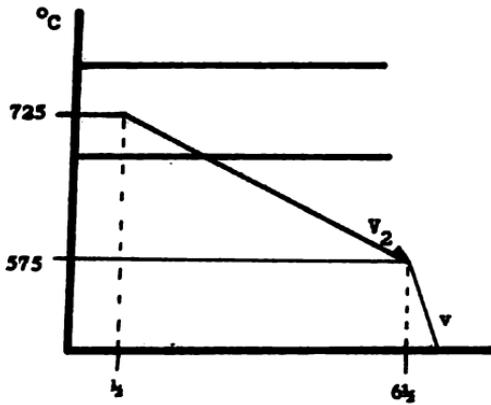
400 X.



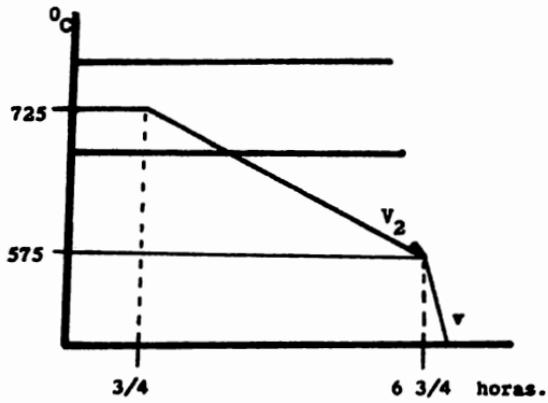
Ciclo 90.

400 X.

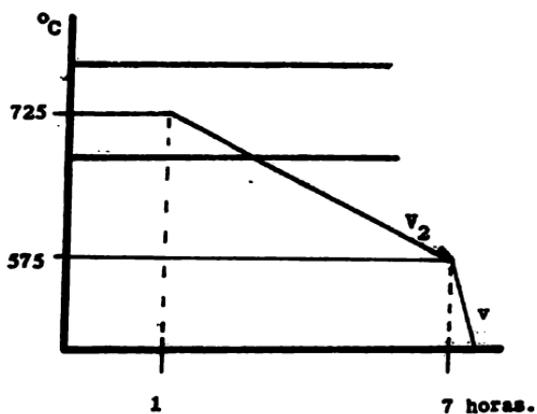
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 1045
Ø : 3/4 plg.



Gráfica 91.



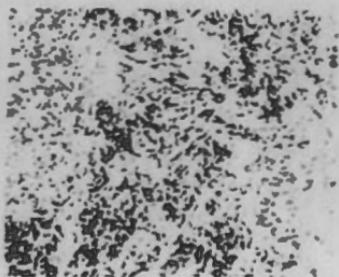
Gráfica 92.



Gráfica 93.

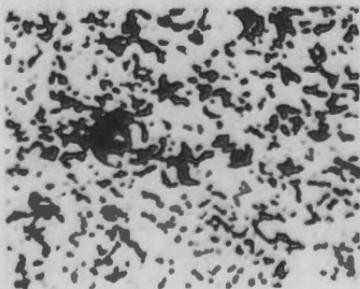
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
91	50 - 60	226	v = velocidad de
92	75 - 85	209	enfriamiento
93	75 - 85	211	al aire.

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 91.

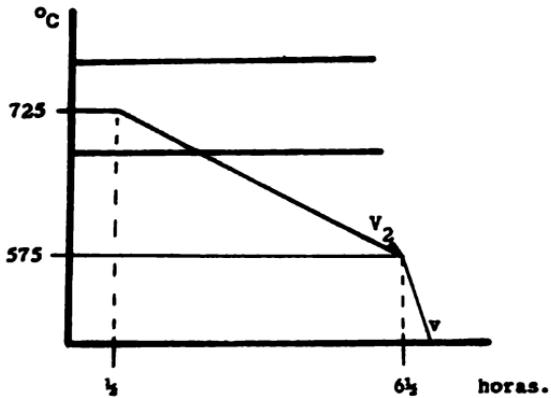
400 X.



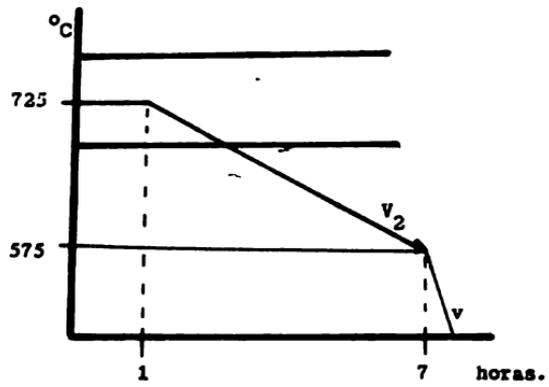
Ciclo 93.

1000 X.

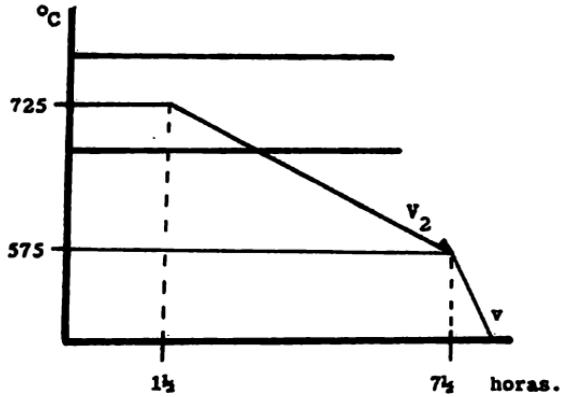
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 1045
 ϕ : 1 plg.



Gráfica 94.



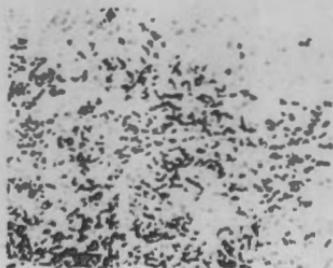
Gráfica 95.



Gráfica 96.

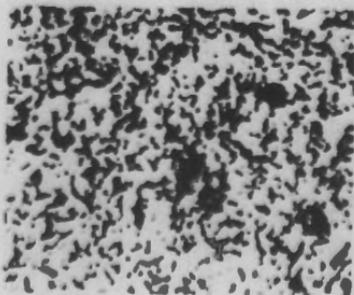
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
94	50 - 60	227	v = velocidad de enfriamiento
95	80 - 90	209	al aire.
96	80 - 90	210	

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 94.

400 X.



Ciclo 96.

1000 X.

RECOCIDO SUBCRITICO

Diámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 530 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 675 °C, los tiempos de permanencia son:

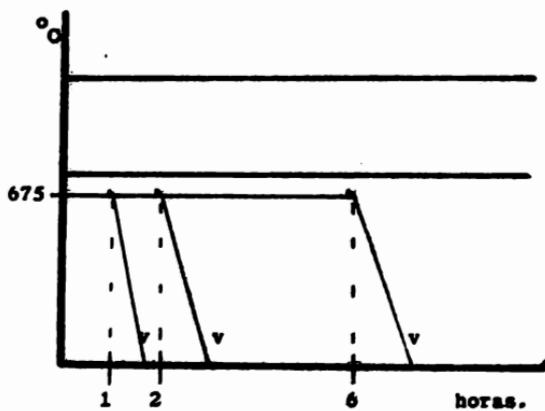
1/2 plg.: 1, 2, 6 horas.

3/4 plg.: 2, 4, 6 horas.

1 plg.: 4, 6, 9 horas.

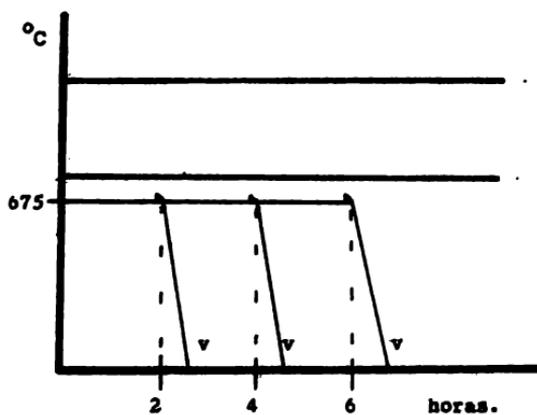
Al término del tiempo de permanencia para cada probeta, estas, se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente, posteriormente se prepararon las probetas para el examen metalográfico y se observo en cada una de las probetas que la estructura obtenida era de ferrita y perlita laminar, la dureza obtenida puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 ϕ : 1/2 plg.



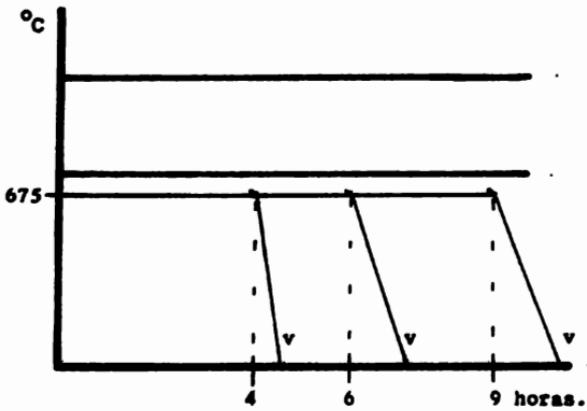
Gráfica 97.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO
ACERO 1045
 ϕ : 3/4 plg.



Gráfica 98.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 ϕ : 1 plg.



Gráfica 99.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
97			
1 hora.	0	232	v = velocidad de enfriamiento al aire.
2 horas.	0	229	
6 horas.	0	228	
98			
2 horas.	0	229	
4 horas.	0	229	
6 horas.	0	228	
99			
4 horas.	0	229	
6 horas.	0	227	
9 horas.	0	225	

RECOCIDO SUBCRITICO

Diámetros de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 675 °C, los tiempos de permanencia son:

1/2 plg.: 2, 6 horas.

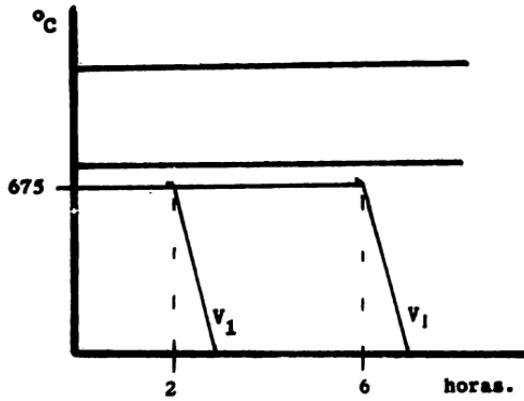
3/4 plg.: 4, 6 horas.

1 plg.: 6, 9 horas.

Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas el horno se apago y las probetas se dejaron en el interior del horno enfriándose a la misma velocidad de este, con una velocidad de enfriamiento aproximada de 50 °C/ hr., hasta la temperatura ambiente.

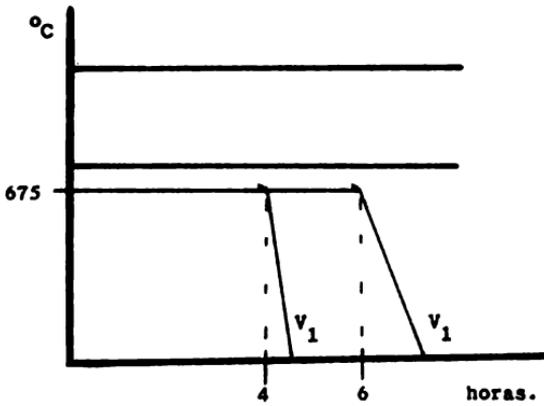
En el examen metalográfico se observó en cada una de las probetas un muy pequeño inicio de coalescencia y la dureza obtenida puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 β : 1/2 plg.



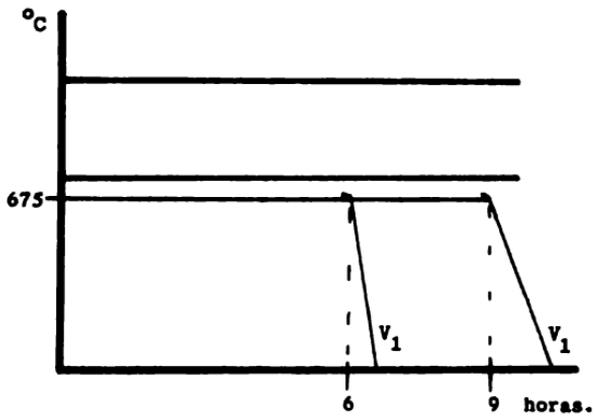
Gráfica 100.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 ϕ : 3/4 plg.



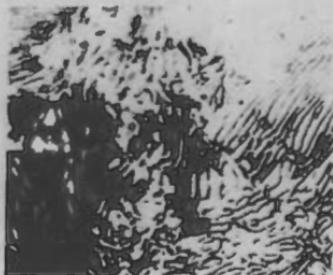
Gráfica 101.

RBCCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 β ; 1 pig.



Gráfica 102.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
100			
2 horas.	0	227	V_1 = velocidad de enfriamiento 50 °C/ hr.
6 horas.	0	225	
101			
4 horas.	0	226	
6 horas.	0	225	
102			
6 horas.	0	225	
9 horas.	0	223	



Ciclo 100.

400 X.

2 hr.



Ciclo 102.

400 X.

9 hr.

RECOCIDO SUBCRITICO

Díámetro de barras: 1/2, 3/4, 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 675 °C, los tiempos de permanencia son:

1/2 plg.: 30, 60, 120 minutos.

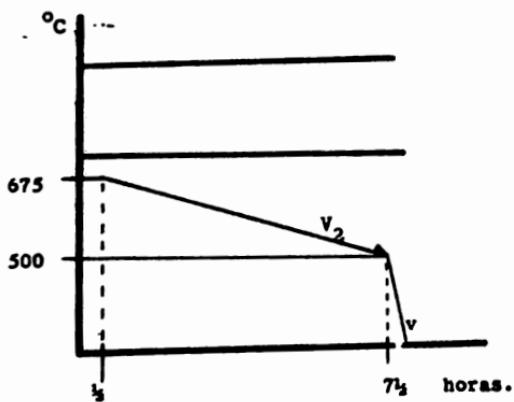
3/4 plg.: 45, 90, 180 minutos.

1 plg.: 60, 120, 180 minutos.

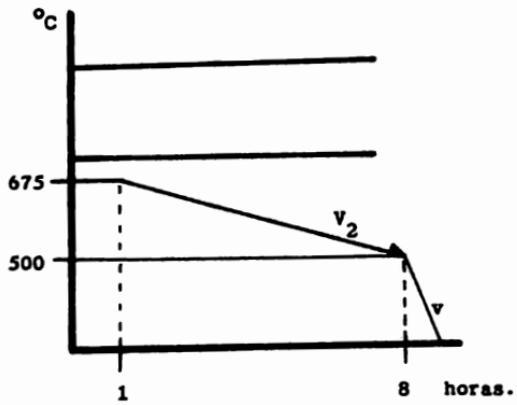
Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevo a cabo el enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de -- 25 °C/ hr. hasta llegar a la temperatura de 500 °C y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se observo una globulizacion parcial y con una dureza relativamente alta, los valores pueden verse en la gráfica.

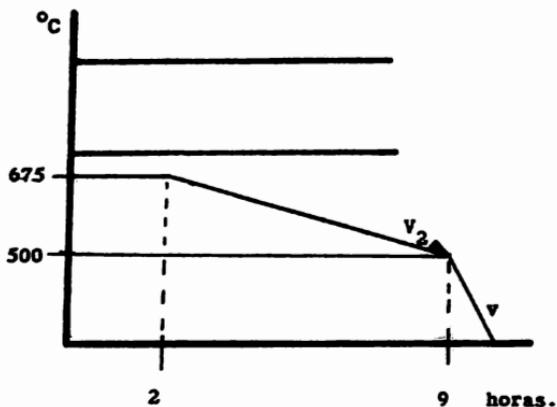
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 β : 1/2 plg.



Gráfica 103.



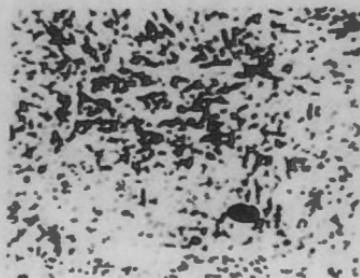
Gráfica 104.



Gráfica 105.

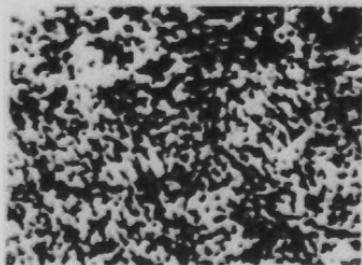
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
103	20 - 30	228	v = velocidad de enfriamiento
104	25 - 35	226	al aire.
105	25 - 35	225	

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 103.

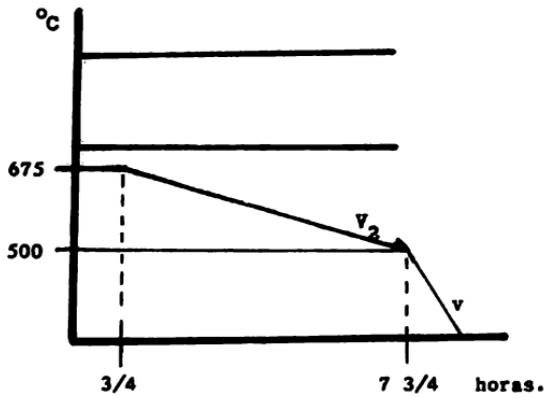
1000 X.



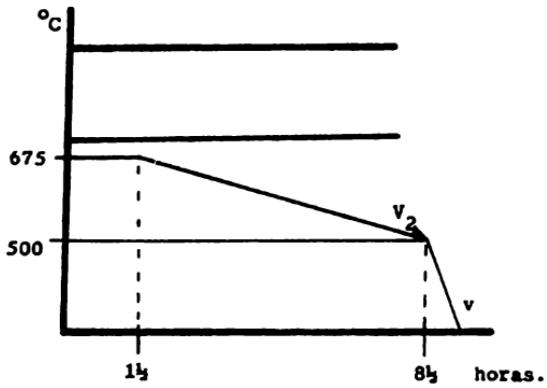
Ciclo 105.

1000 X.

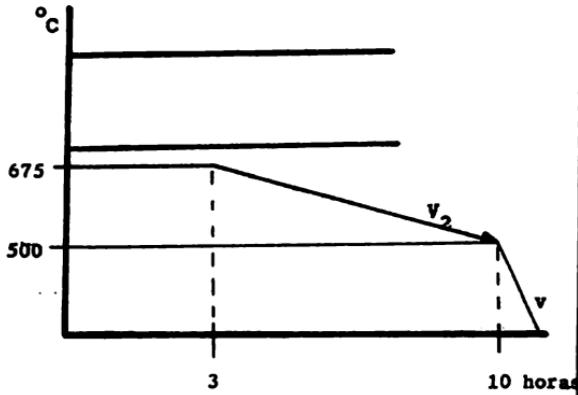
RECOCIDO DE GLOJULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 β : 3/4 plg.



Gráfica 106.



Gráfica 107.



Gráfica 108.

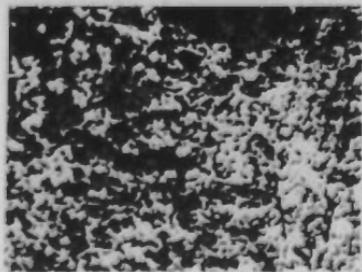
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
106	20 - 30	227	v = velocidad de
107	25 - 35	226	enfriamiento
108	25 - 35	224	al aire.

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 106.

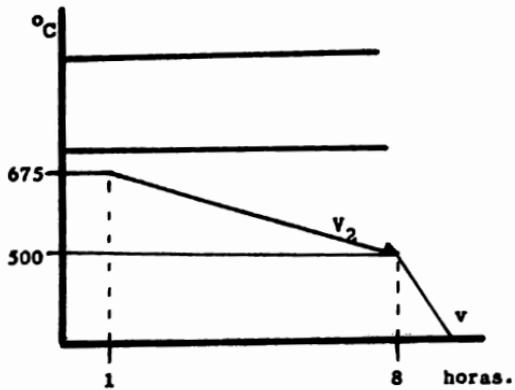
1000 X.



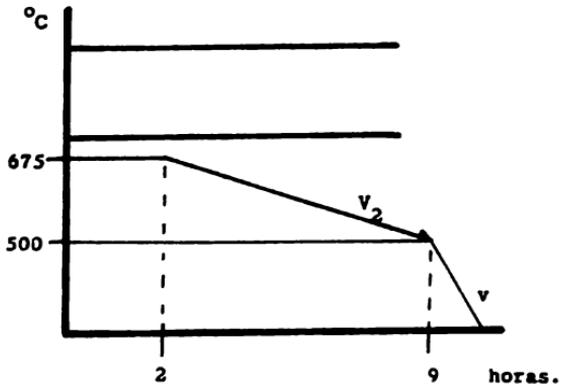
Ciclo 108.

1000 X.

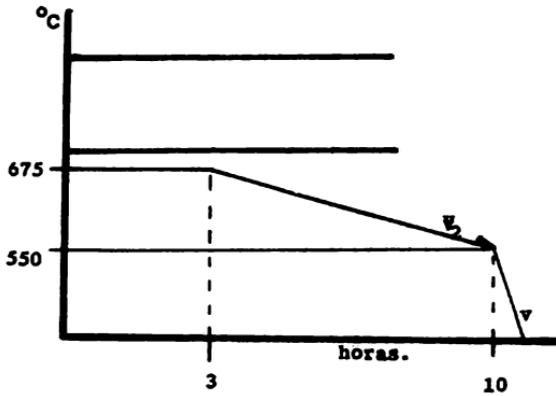
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
ACERO 1045
 ρ : 1 plg.



Gráfica 199.



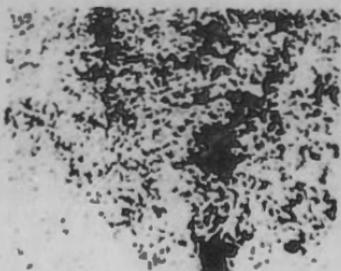
Gráfica 110.



Gráfica 111.

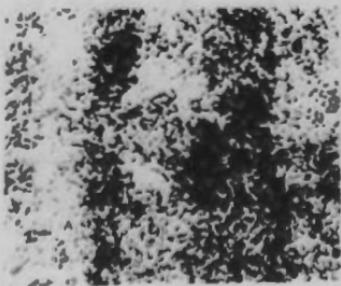
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
109	20 - 30	226	v = velocidad de
110	25 - 35	223	enfriamiento
111	25 - 35	222	al aire.

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 109.

1000 X.



Ciclo 111.

1000 X.

RECOCIDO OSCILANTE

Diámetro de barra: 1 pulgada.

Cuando el horno tenia la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevo la temperatura a 675 °C con un tiempo de permanencia de 30 minutos despues se elevo la temperatura hasta 725 °C con una velocidad de calentamiento de 100 °C/ hr., al llegar a esta temperatura se inicio el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 675 °C, formando asi un ciclo el cual se repite cuantas veces sea necesario, posteriormente para finalizar el tratamiento térmico, al llegar a la temperatura de 675 °C se sacaron las probetas del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

En este caso el tratamiento fue de:

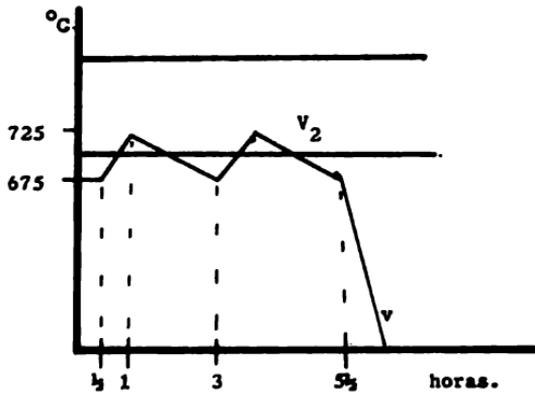
2 ciclos, tiempo total 5 hr. 30 min.

4 ciclos, tiempo total 10 hr. 30 min.

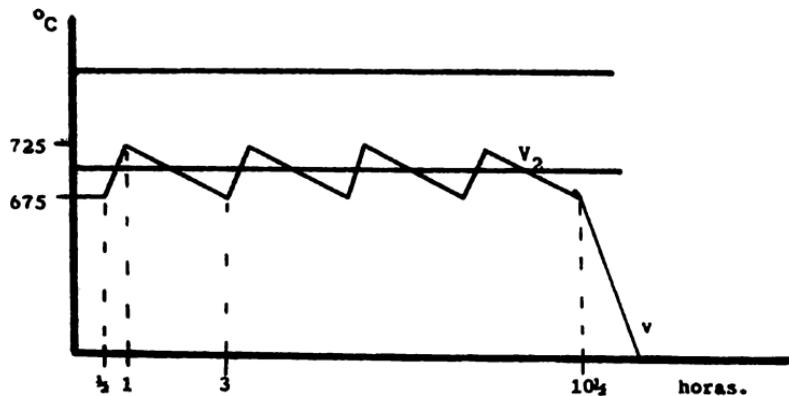
En el examen metalográfico se observó que la es
tructura obtenida era de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza pueden verse al
final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO 1045
 ϕ : 1 pig.



Gráfica 112.



Grafica 113.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
112	0	232	v = velocidad de enfriamiento al aire. V ₂ = velocidad de enfriamiento 25 °C/hr.
113	0	230	

RECOCIDO OSCILANTE

Diámetro de barra: 1 pulgada.

Cuando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 675 °C dando un tiempo de permanencia de 30 min. después se elevó la temperatura hasta 725 °C con una velocidad de calentamiento de 100 °C/ hr., al llegar a esta temperatura se inició el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 675 °C formando así un ciclo el cual se repite cuantas veces sea necesario, posteriormente para finalizar el tratamiento térmico, al llegar a la temperatura de 675 °C se sigue bajando la temperatura con la misma velocidad de enfriamiento hasta la temperatura de 575 °C después se sacaron las probetas del horno y se dejaron enfriar al aire.

En este caso el tratamiento fue:

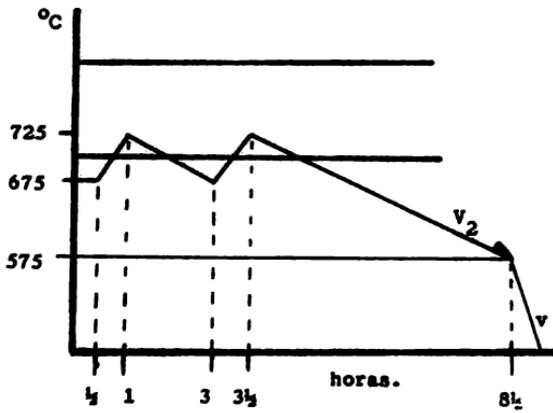
2 ciclos, tiempo total 8 hr. 30 min.

4 ciclos, tiempo total 13 hr. 30 min.

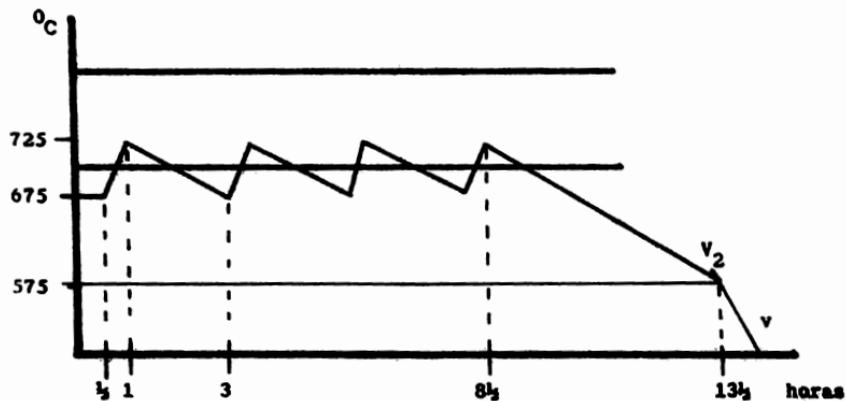
En el examen metalográfico se observó una muy pequeña globulización manteniendo en mayor grado la estructura de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza como en porcentaje de globulización pueden verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: OSCILANTE
ACERO 1045
 ϕ : 1 plg.

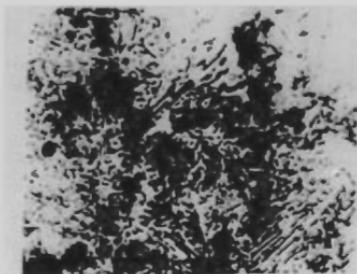


Gráfica 114.



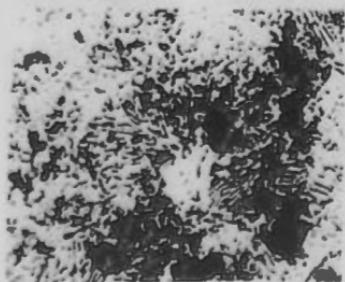
Gráfica 115.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
114	50 - 60	214	v = velocidad de enfriamiento al aire
115	50 - 60	218	v ₂ = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



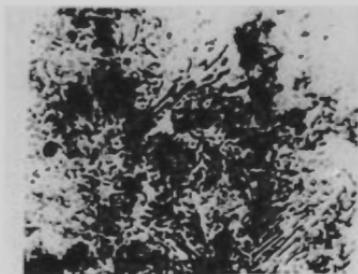
Ciclo 114.

400 X.



Ciclo 115.

400 X.



Ciclo 114.

400 X.



Ciclo 115.

400 X.

**RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA**

Diámetro de barra: 3/4 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 800 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno el cual tenía la temperatura de 725 °C y se da otro tiempo de permanencia, al término de este tiempo de permanencia las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

Tiempos de permanencia:

Austenización completa.	Austenización incompleta.
1 hora.	1 hora.
1 hora.	2 horas.

En el examen metalográfico se observó que la estructura obtenida en cada una de las probetas es de ferrita y perlita laminar y bien puede decirse que era una estructura de normalizado.

Los valores obtenidos en dureza pueden verse al final de la gráfica

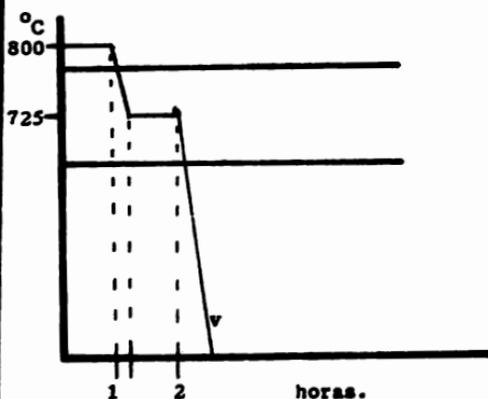
RECOCIDO DE GLOMULIZACION

TRATAMIENTO:

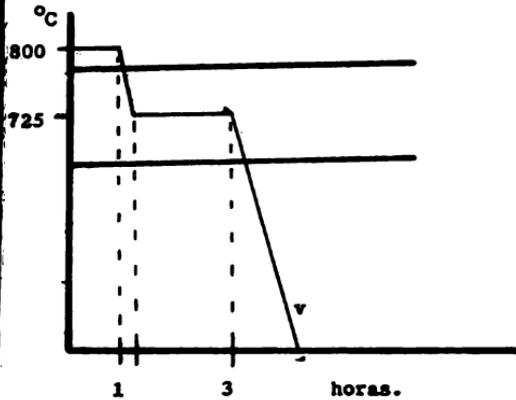
AUSTENIZACION COMPLETA,

AUSTENIZACION INCOMPLETA.

ACERO 1045

 β : 3/4 plg.

Gráfica 116.



Gráfica 117.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
116	0	231	v = velocidad de enfriamiento al aire.
117	0	228	

**RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA**

Diámetro de barra: 3/4 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 800 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno el cual tenía la temperatura de 725 °C y se da otro tiempo de permanencia al término de este tiempo se baja la temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 575 °C y se sacan las probetas del horno dejándose enfriar al aire.

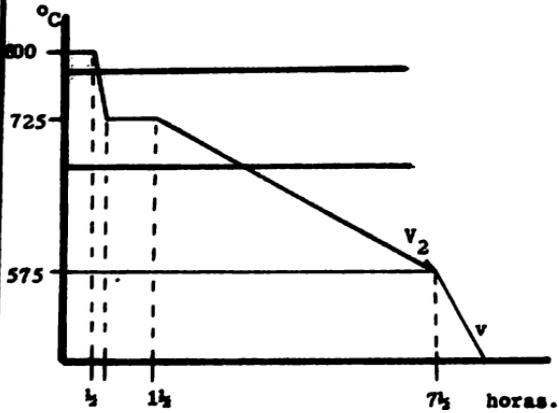
Tiempos de permanencia:

Austenización completa	Austenización incompleta
30 min.	60 min.
60 min.	120 min.

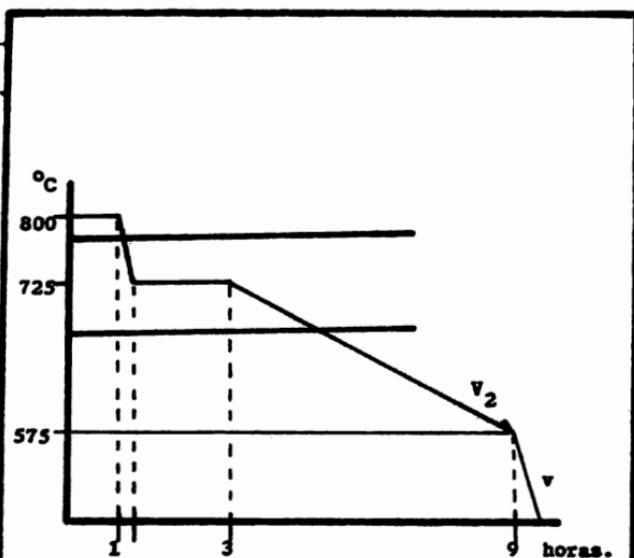
En el examen metalográfico se observó un pequeño porcentaje de globulización predominando en mayor grado la estructura de ferrita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza como en porcentaje de globulización pueden verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION COMPLETA,
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO 1045
 β : 3/4 pig.



Gráfica 118.



Gráfica 119.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
118	15 - 20	235	v = velocidad de enfriamiento al aire.
119	15 - 20	223	

V_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 118.

1000 X.



Ciclo 119.

1000 X.

A C E R O W - 2

Diámetro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Dureza y estructura anterior al tratamiento:

Perlita laminar y cementita 306 NDB.

Las temperaturas de A_{c_m} y A_{c_1} se encontraron en forma experimental, obteniendo para $A_{c_m} = 823$ °C y para $A_{c_1} = 714$ °C.

Las temperaturas de trabajo son:

$$T_1 = 850 \text{ °C.}$$

$$T_2 = 725 \text{ °C.}$$

En las pruebas preliminares las piezas se metieron al horno cuando este tenía la temperatura de 100 °C y se aumentó la temperatura a una velocidad de calentamiento de 50 °C/ hr. hasta alcanzar la temperatura de trabajo, otras piezas se metieron al

horno cuando este tenia la temperatura de 550°C y con una velocidad de calentamiento de $100^{\circ}\text{C} / \text{hr}$. hasta la temperatura de trabajo. Esto se realizo para todos los ciclos y para cada uno de los diferentes diámetros de barra, observando que no se encontro diferencia entre los procedimientos iniciales por lo cual se uso el segundo metodo.

Temperatura del horno 550°C .

Velocidad de calentamiento $100^{\circ}\text{C} / \text{hr}$.

Haciendo notar que tanto la temperatura de entrada como la velocidad de calentamiento es la misma - para todas las muestras, por lo cual no aparece en la gráfica, tomando como punto de partida en las gráficas solamente el inicio del tiempo de permanencia.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 1 pulgada.

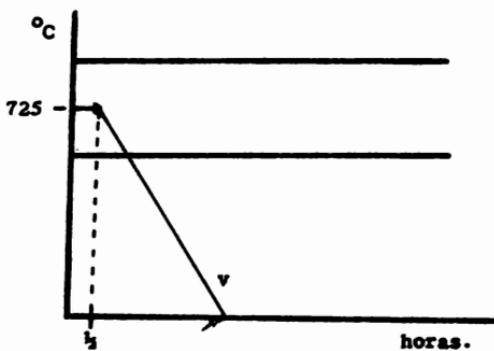
Quando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia para cada uno de los diferentes diámetros son:

1/2 pig.: 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6 horas.

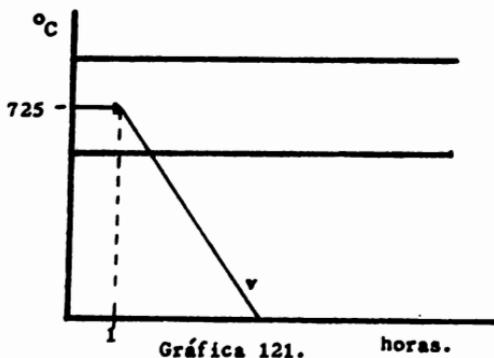
1 pig.: 1, 3, 6, horas.

Al término del tiempo de permanencia para cada probeta, estas, se sacaron del horno y se dejaron en friar al aire, posteriormente se prepararon las probetas para el examen metalográfico y se observó en ca da una de las probetas que la estructura obtenida era de cementita y perlita laminar, la dureza obtenida puede verse al final de la gráfica.

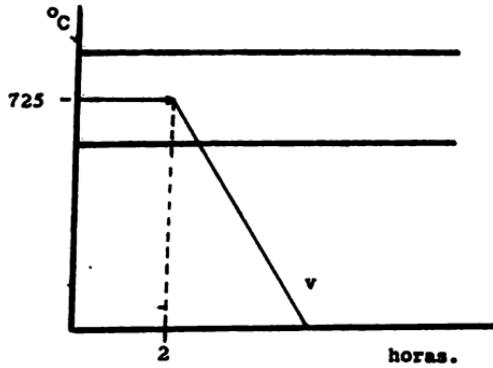
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO W - 2
 β : 1/2 plg.



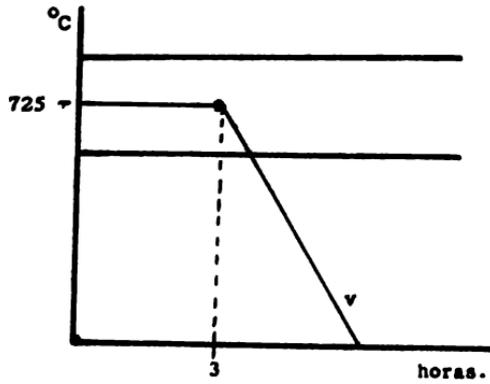
Gráfica 120.



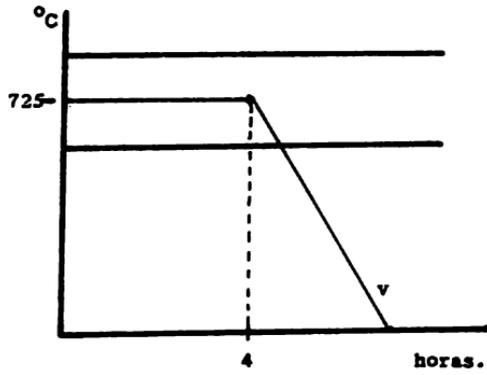
Gráfica 121.



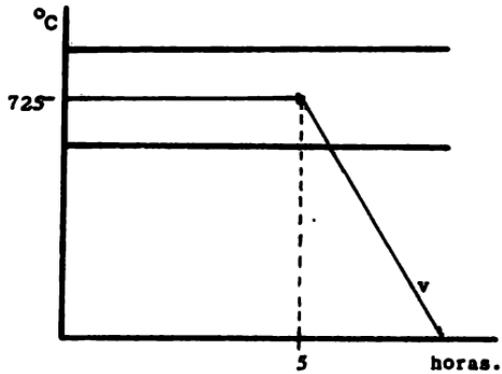
Gráfica 122.



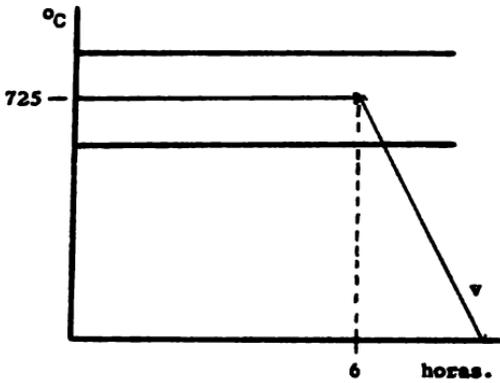
Gráfica 123.



Gráfica 124.



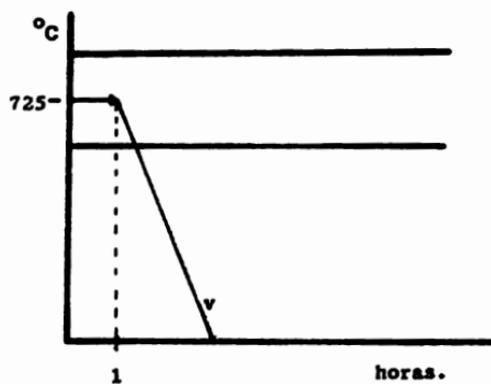
Gráfica 125.



Gráfica 126.

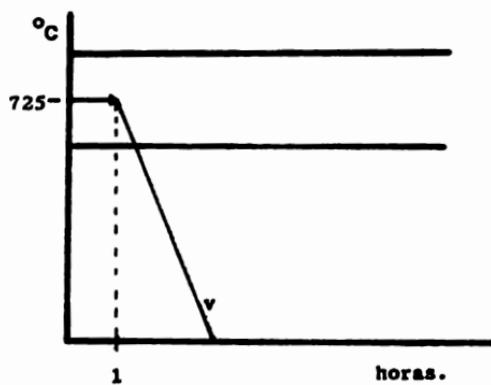
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
120	0	280	v = velocidad de enfriamiento al aire.
121	0	280	
122	0	276	
123	0	274	
124	0	276	
125	0	280	
126	0	275	

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO W - 2
 β : 1 plg.

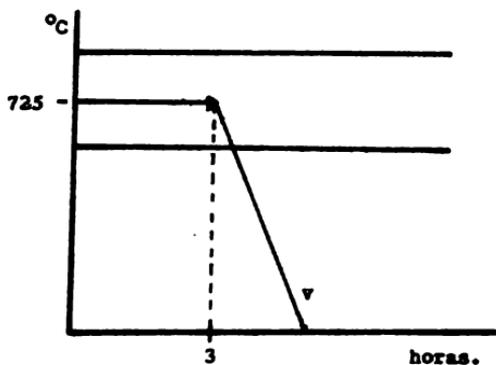


Gráfica 127.

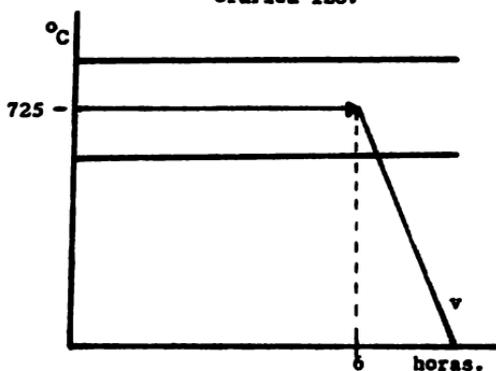
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO W - 2
 ϕ : 1 plg.



Gráfica 127.



Gráfica 128.



Gráfica 129.

Ciclo	Globulización %	Dureza 3rinell	Observaciones.
127	0	279	v = velocidad de
128	0	274	enfriamiento
129	0	281	al aire.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 1 pulgada.

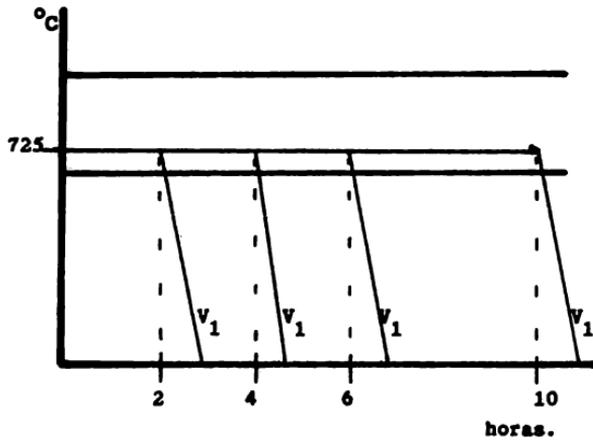
Cuando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia para cada uno de los diferentes diámetros de barra son:

2, 4, 6, 10 horas.

Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas el horno se apagó y las probetas se dejaron en el interior del horno enfriándose a la misma velocidad de este, con una velocidad de enfriamiento aproximada de 50°C/ hr., hasta la temperatura ambiente.

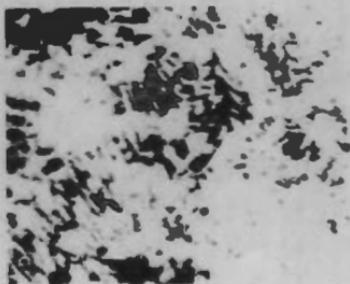
En el examen metalográfico se observó en cada una de las probetas que apenas se iniciaba la coalescencia sin llegar a formar glóbulos y la dureza obtenida puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO W- 2
 ϕ : 1/2, 1 plg.



Gráfica 130.

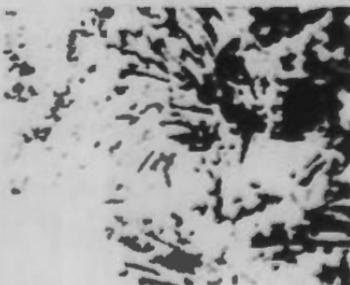
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
	130		
2 horas.	0	259	V_1 = velocidad de enfriamiento 50 °C/ hr.
4 horas.	0	256	
6 horas.	0	255	
10 horas.	0	256	



Ciclo 130.

1000 X.

4 hr.



Ciclo 130.

1000 X.

10 hr.

RECOCIDO DE AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetro de barras: 1/2, 1 pulgada.

Cuando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 725 °C, los tiempos de permanencia son:

1/2 plg., recocido: 30, 60 minutos.

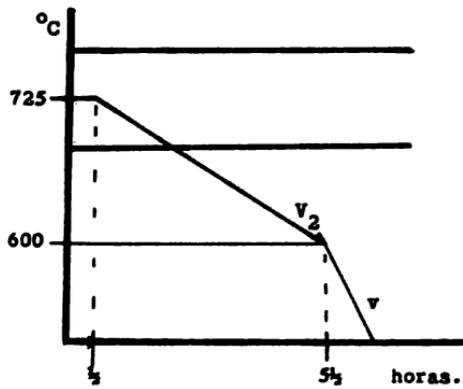
1 plg., normalizado: 30 minutos.

1 plg., recocido: 30, 60, 120 minutos.

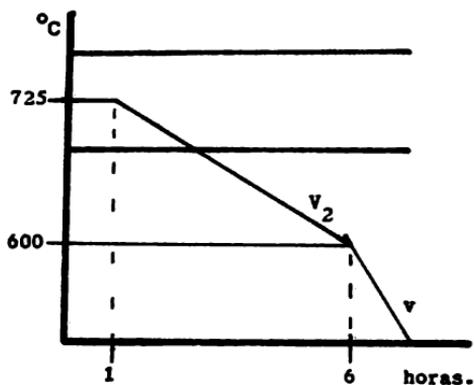
Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevó a cabo el enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25°C sobre hora hasta llegar a la temperatura de 600 °C y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se pudo observar una muy buena globulización, la dureza obtenido puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION INCOMPLETA
ACERO W- 2
 ϕ : 1/2 pig.



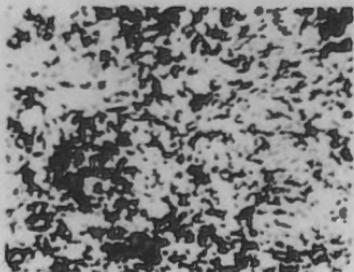
Gráfica 131.



Gráfica 132.

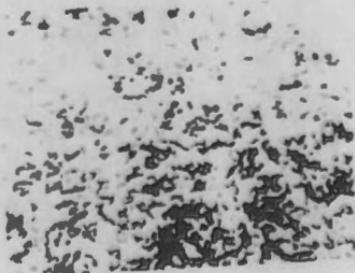
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
131	100	192	v = velocidad de enfriamiento al aire.
132	100	189	

V_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 131.

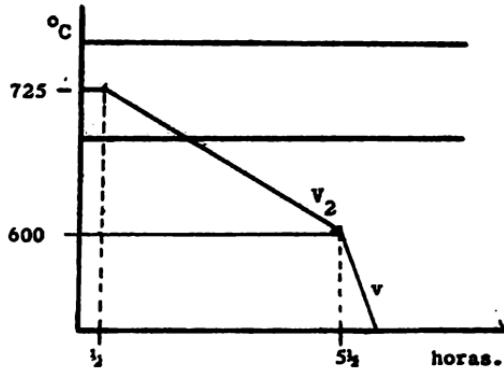
400 X.



Ciclo 132.

400 X.

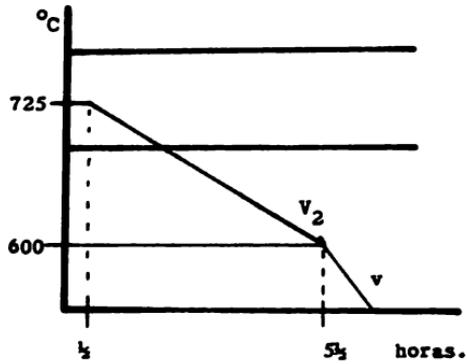
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
 TRATAMIENTO:
 AUSTENIZACION INCOMPLETA.
 ACERO W - 2
 ϕ : 1 plg.



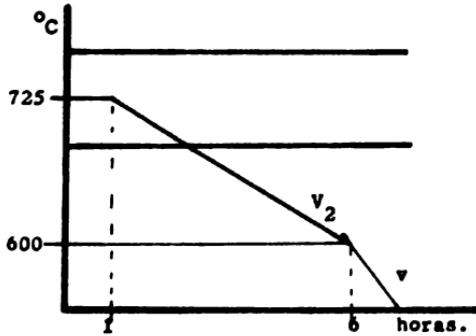
Gráfica 133.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
133	80 - 90	201	v = velocidad de enfriamiento al aire. V_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.

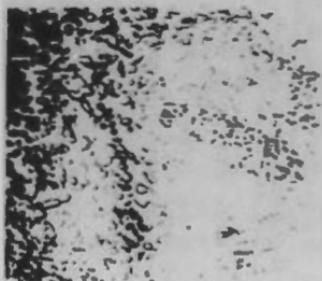
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
 TRATAMIENTO:
 AUSTENIZACION INCOMPLETA.
 ACERO V - 2
 β : 1 pig.



Gráfica 134.

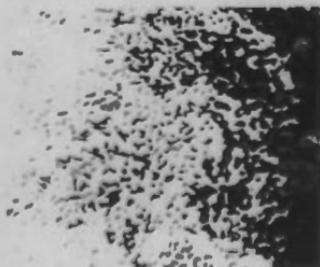


Gráfica 135.



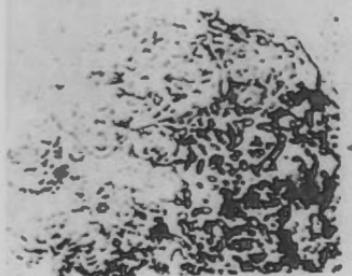
Ciclo 133.

400 X.



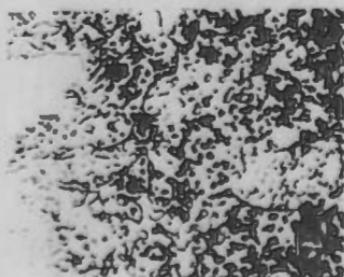
Ciclo 134.

400 X.



Ciclo 135.

400 X.



Ciclo 136.

400 X.

RECOCIDO SUBCRITICO

Diámetro de barra: 1 pulgada.

Cuando el horno tenía la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 670 °C, los tiempos de permanencia son:

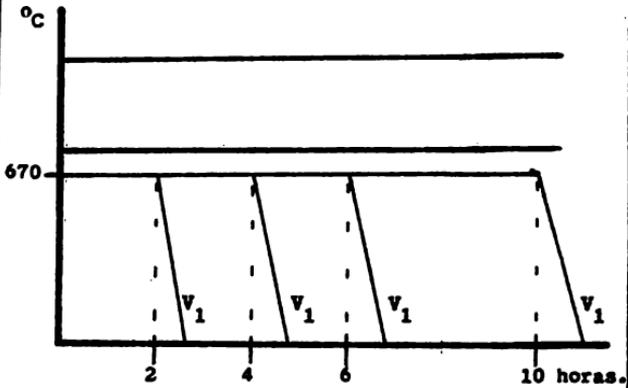
2, 4, 6, 10 horas.

Al termino del tiempo de permanencia para cada probeta, estas se sacaron del horno y se dejaron en frír al aire, posteriormente se prepararon las pro betas para el examen metalográfico y se observó en cada una de las probetas que la estructura obtenida era de perlita laminar y cementita, la dureza obte- nida puede verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION

TRATAMIENTO: SUBCRITICO.

ACERO W - 2

 ϕ : 1 plg.

Gráfica 138.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
138			
2 horas.	0	254	V_1 = velocidad de enfriamiento 50 °C/ hr.
4 horas.	0	251	
6 horas.	0	248	
10 horas.	0	250	

RECOCIDO SUBCRITICO

Diámetro de barra: 1 pulgada.

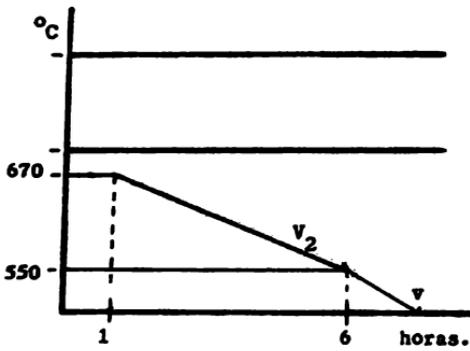
Cuando el horno tenía la temperatura de 500 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 670 °C, los tiempos de permanencia son:

1, 2, 3, 4 horas.

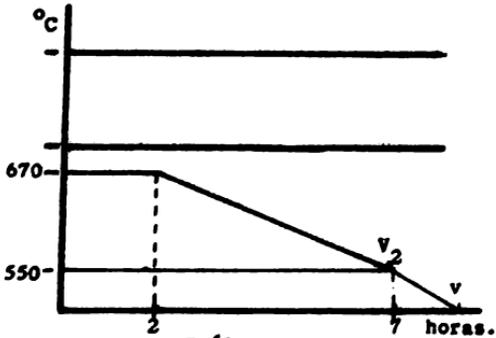
Al término del tiempo de permanencia para cada una de las probetas se llevó a cabo el enfriamiento lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta llegar a la temperatura de 550 °C y posteriormente las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire.

En el examen metalográfico se observó una globulización parcial y con una dureza relativamente alta, los valores pueden verse en la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
 TRATAMIENTO: SUBCRITICO.
 ACERO W - 2
 ϕ : 1 pig.



Gráfica 139.



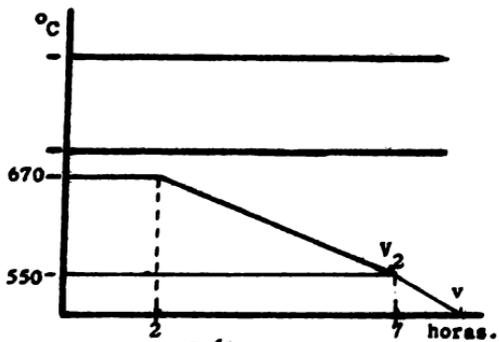
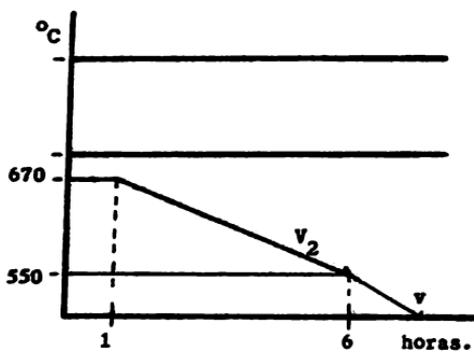
Gráfica 140.

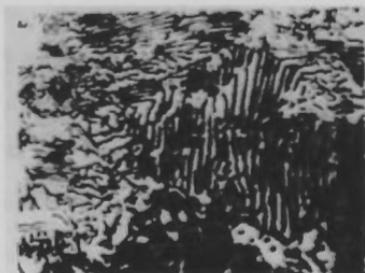
RECOCIDO DE GLOBULIZACION

TRATAMIENTO: SUBCRITICO.

ACERO W - 2

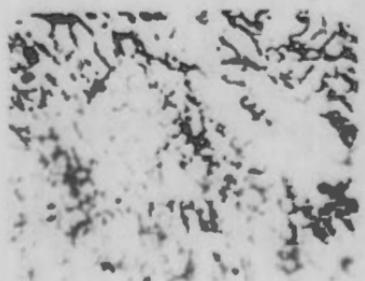
Ø : 1 plg.





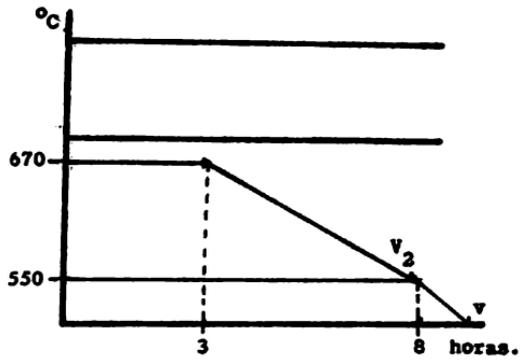
Ciclo 139.

1000 X.

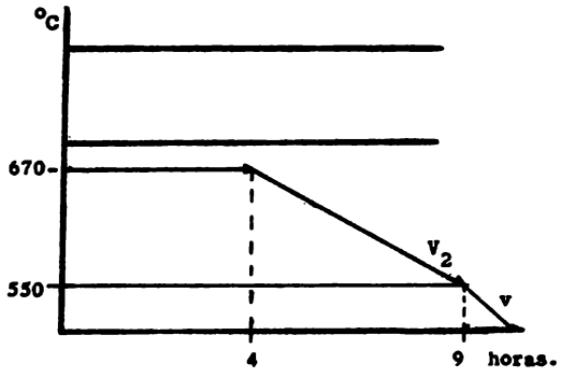


Ciclo 140.

1000 X.



Gráfica 141.



Gráfica 142.

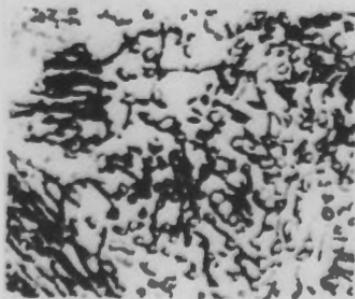
Cilo	Globulización \bar{v}	Dureza Brinell	Observaciones.
139	10 - 20	231	v = velocidad de
140	10 - 20	228	enfriamiento
141	10 - 20	227	al aire.
142	10 - 20	228	

V_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 141.

1000 X.



Ciclo 142.

1000 X.

6 ciclos, tiempo total 15 hr. 30 min.

En el examen metalográfico se observó que la estructura obtenida era de cementita y perlita lamel

Los valores obtenidos en dureza pueden verse final de la gráfica.

6 ciclos, tiempo total 15 hr. 30 min.

En el examen metalográfico se observó que la es
tructura obtenida era de cementita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza pueden verse al
final de la gráfica.

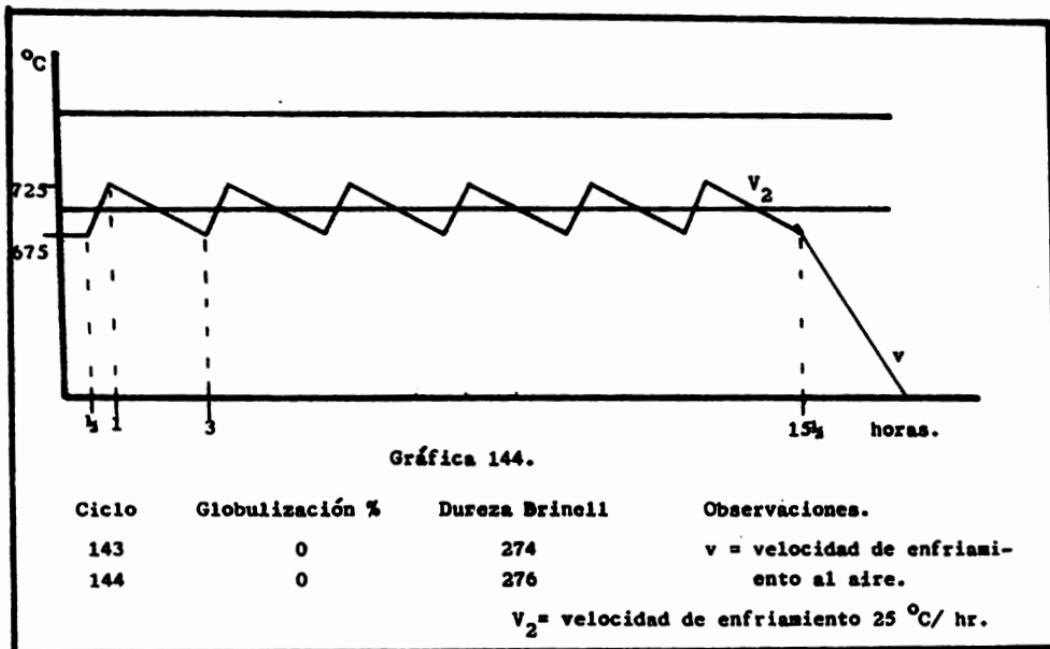
RECCIDO OSCILANTE

Diámetro de barra: 1 pulgada.

Quando el horno tenía la temperatura de 550°C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 675°C con un tiempo de permanencia de 30 minutos después se elevó la temperatura hasta 725°C con una velocidad de calentamiento de $100^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$, al llegar a esta temperatura se inicio el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$ hasta la temperatura de 675°C , formando así un ciclo el cual se repite cuantas veces sea necesario, posteriormente para finalizar el tratamiento térmico, al llegar a la temperatura de 675°C se sacaron las probetas del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

En este caso el tratamiento fue:

2 ciclos, tiempo total 5 hr. 30 min.



RECOGIDO OSCILANTE

Díámetro de barra: 1/2, 1 pulgada.

Cuando el horno tenía la temperatura de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 675 °C con un tiempo de permanencia de 30 minutos después se elevó la temperatura hasta 725 °C con una velocidad de calentamiento de 100 °C/hr., al llegar a esta temperatura se inició el descenso de temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 675 °C formando así un ciclo el cual se repite cuantas veces sea necesario, posteriormente para finalizar el tratamiento térmico, al llegar a la temperatura de 675 °C se sigue bajando la temperatura con la misma velocidad de enfriamiento hasta la temperatura de 600 °C y se sacaron las probetas del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

En este caso el tratamiento fue:

2 ciclos, tiempo total 8 hr. 30 min.

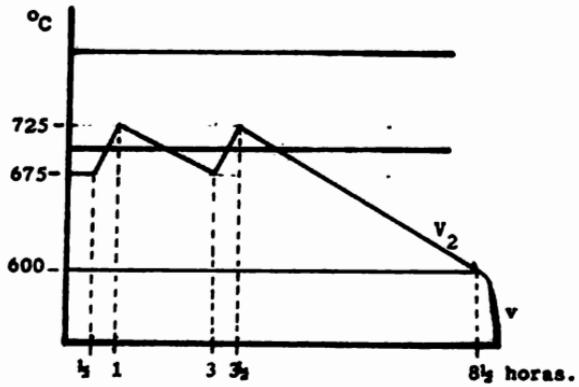
4 ciclos, tiempo total 13 hr. 30 min.

6 ciclos, tiempo total 18 hr. 30 min.

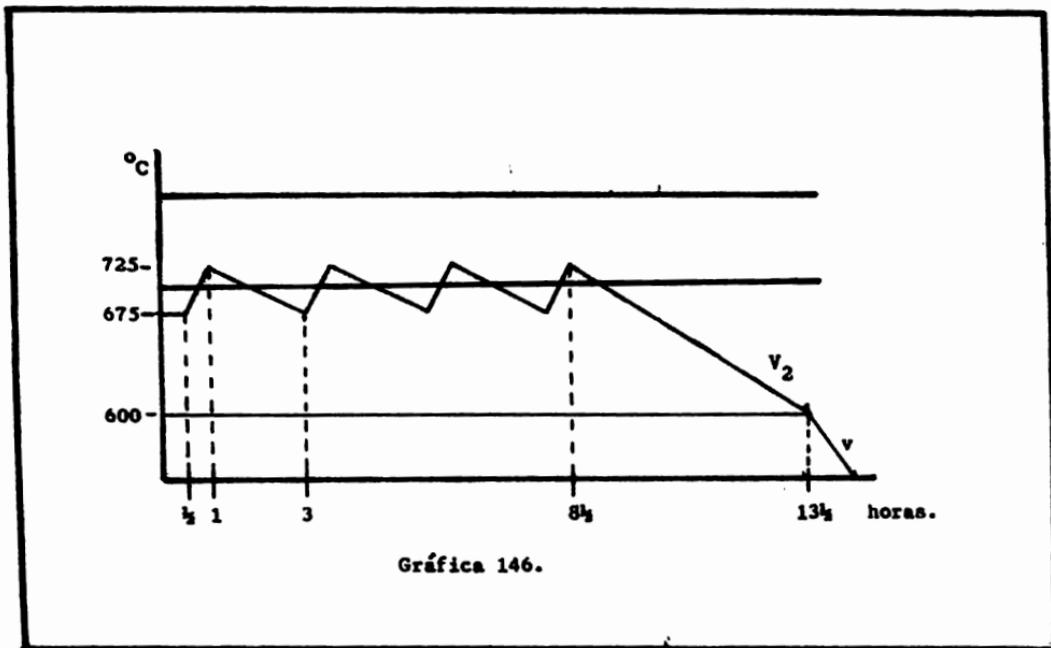
En el examen metalográfico se observó una muy pequeña globulización manteniéndose en mayor grado la estructura de cementita y perlita laminar.

Los valores obtenidos en dureza como en por ciento de globulización pueden verse al final de la gráfica.

RECOCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO W - 2
 ϕ : 1/2 plg.



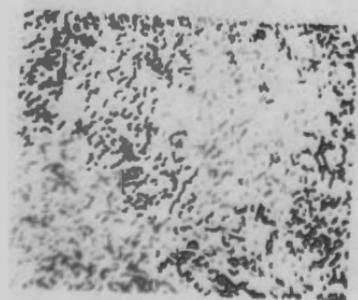
Gráfica 145.





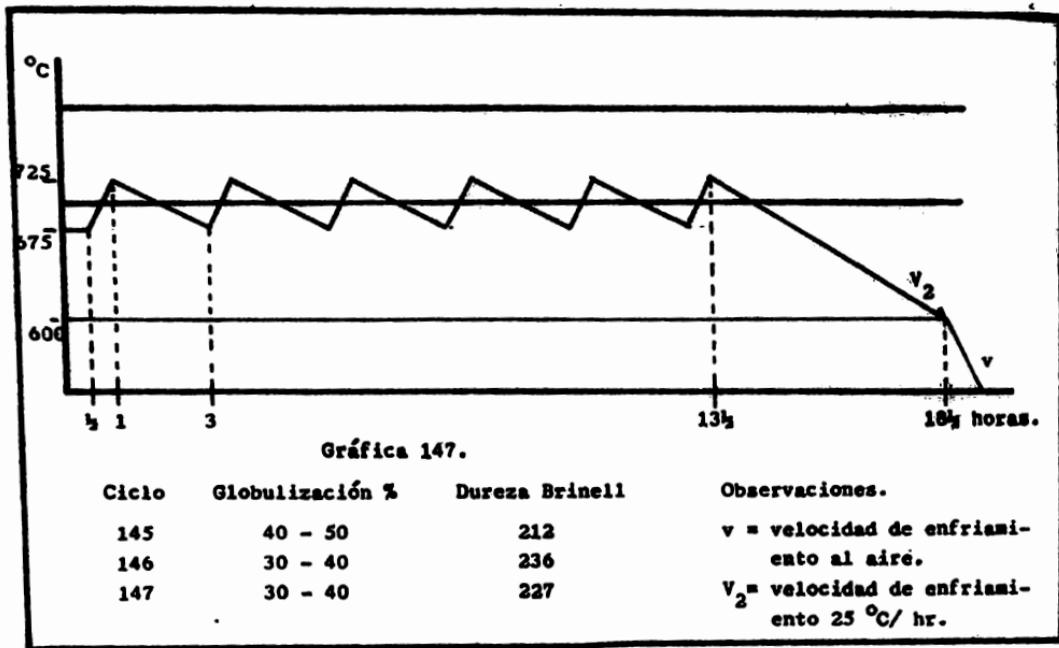
Ciclo 145.

400 X.

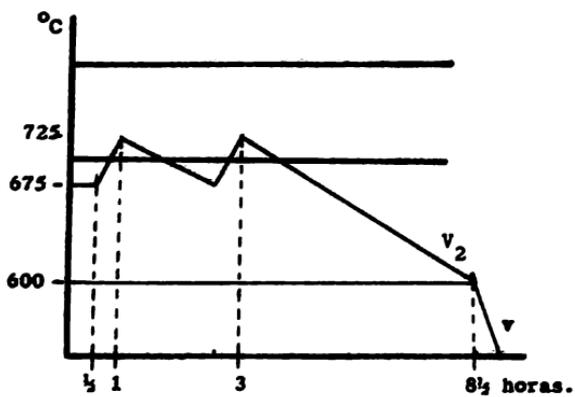


Ciclo 146.

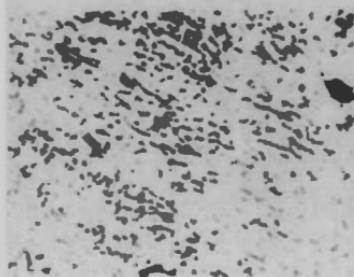
400 X.



RECOCIDO DE GLAJULIZACION
TRATAMIENTO: OSCILANTE.
ACERO W - 2
 ϕ : 1 pig.

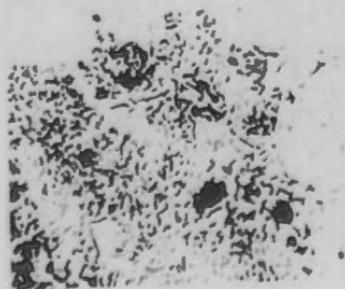


Gráfica 148.



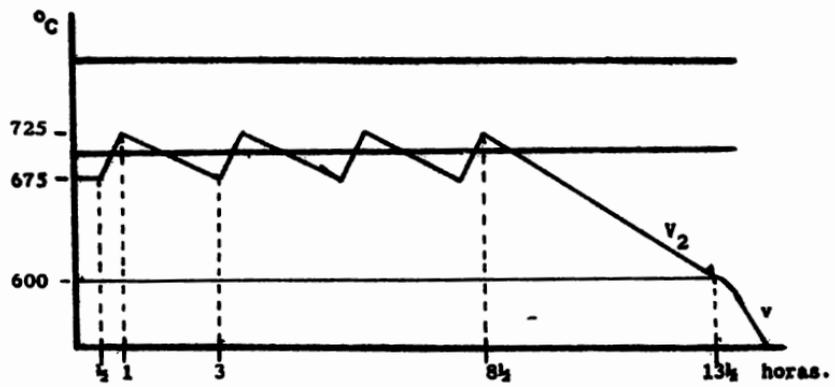
Ciclo 147.

400 X.

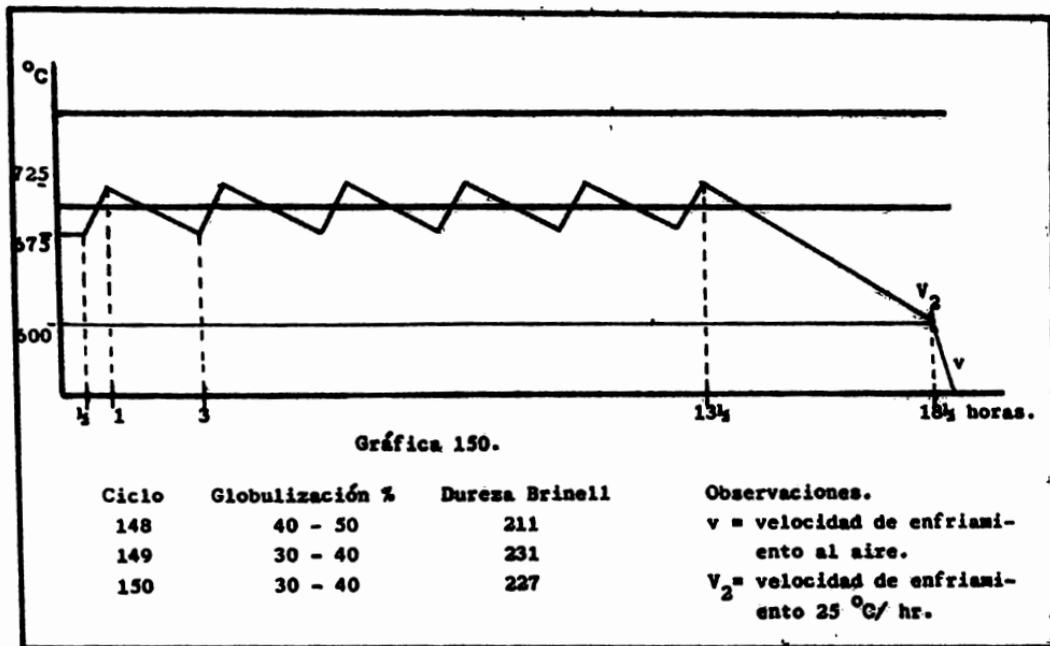


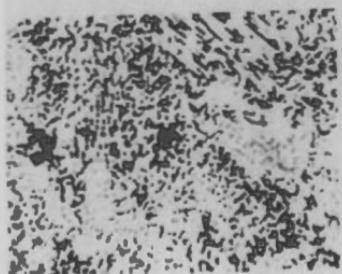
Ciclo 148.

400 X.



Gráfica 149.





Ciclo 149.

400 X.



Ciclo 150.

400 X.

**RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA**

Diámetro de barra: 1/2 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 850 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno el cual tenía la temperatura de 725 °C y se da otro tiempo de permanencia, al termino de este tiempo de permanencia las probetas se sacaron del horno y se dejaron enfriar al aire hasta la temperatura ambiente.

Tiempos de Permanencia

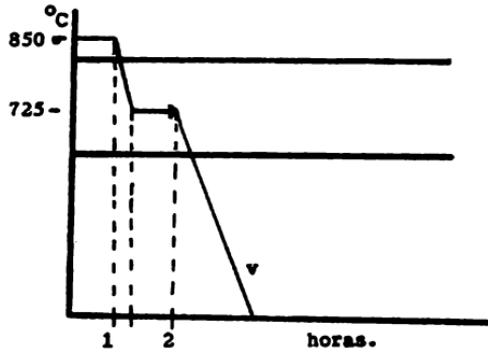
Austenización completa.	Austenización incompleta
1 hora.	1 hora
1 hora.	2 horas.
1 hora.	3 horas.

En el examen metalográfico se observó que la estructura obtenida era de cementita y perlita la-

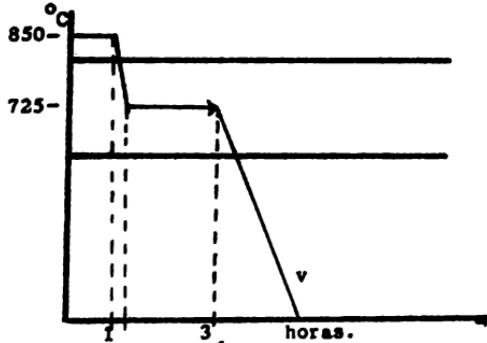
minar y bien puede decirse que era una estructura de normalizado.

Los valores obtenidos en dureza pueden verse al final de la gráfica.

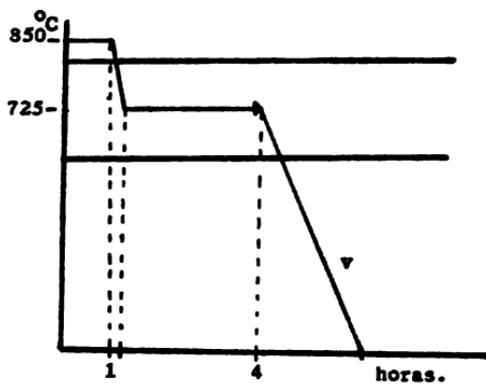
RECOCIDO DE GLOBULIZACION
 TRATAMIENTO:
 AUSTENIZACION COMPLETA,
 AUSTENIZACION INCOMPLETA.
 ACERO W - 2
 ϕ : 1/2 plg.



Gráfica 151.



Gráfica 152.



Gráfica 153.

Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
151	0	273	v = velocidad de enfriamiento al aire.
152	0	270	
153	0	271	

RECOCIDO DE AUSTENIZACION COMPLETA

Y AUSTENIZACION INCOMPLETA

Diámetros de barra: 1/2 pulgada.

A la temperatura del horno de 550 °C se metieron las probetas y se elevó la temperatura a 850 °C a la cual se mantienen las probetas durante el tiempo de permanencia y al finalizar este tiempo las probetas se pasaron a otro horno, el cual tenía la temperatura de 725 °C y se da otro tiempo de permanencia, al término de este tiempo de permanencia se baja la temperatura lentamente con una velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. hasta la temperatura de 550 °C y se sacan las probetas del horno dejándose enfriar al aire.

Tiempos de Permanencia

Austenización Completa.	Austenización Incompleta.
30 min.	30 min.
60 min.	60 min.

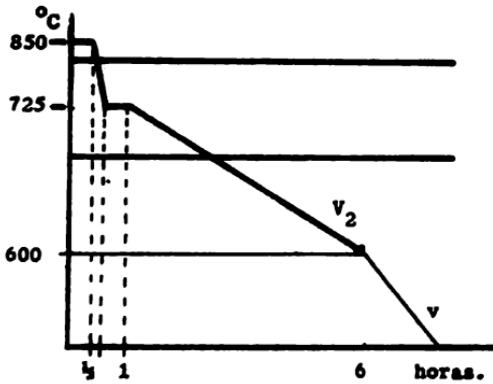
En el examen metalográfico se observó un pequeño porcentaje de globulización, predominando en mayor grado la estructura de perlita laminar y cementita.

Los valores obtenidos en dureza como en porcentaje en globulización pueden verse al final de la gráfica.

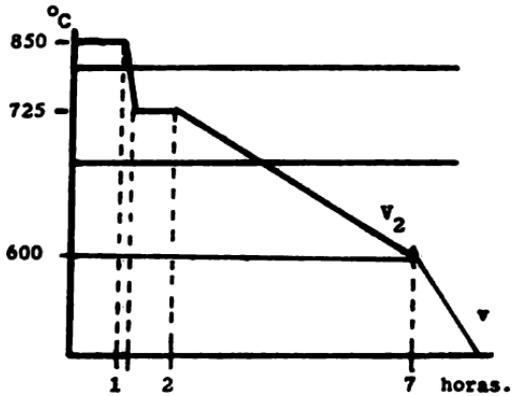
En el examen metalográfico se observó un pequeño porcentaje de globulización, predominando en mayor grado la estructura de perlita laminar y cementita.

Los valores obtenidos en dureza como en porcentaje en globulización pueden verse al final de la gráfica.

RECOCCIDO DE GLOBULIZACION
TRATAMIENTO:
AUSTENIZACION COMPLETA,
AUSTENIZACION INCOMPLETA.
ACERO W - 2
 β : 1/2 pig.



Gráfica 154.



Gráfica 155.

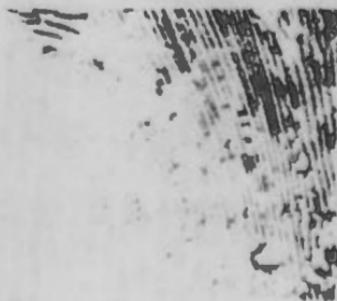
Ciclo	Globulización %	Dureza Brinell	Observaciones.
154	10 - 20	239	v = velocidad de enfriamiento al aire.
155	15 - 25	231	

v_2 = velocidad de enfriamiento 25 °C/ hr.



Ciclo 154.

1000 X.



Ciclo 155.

1000 X.

A N A L I S I S

D E

R E S U L T A D O S .

Este analisis se hace con el objetivo de tener una mayor y más clara comprensión de los resultados obtenidos en la parte experimental, en cada uno de los diferentes ciclos y de los diferentes diámetros de los materiales usados para llevar a cabo este estudio.

De esta forma tendremos una mejor visualización de los resultados y así poder obtener de una forma más clara y contundente las conclusiones correctas que se desprenden de este trabajo.

AUSTENIZACION INCOMPLETA

A C B R O 4 1 4 0

Ø : 1/2 plg.

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE

CICLO	GLOBALIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
1	0	230
2	0	228
3	0	228
4	0	226

Ø - 1 plg.

1	0	230
2	0	228
3	0	228
4	0	226

A C E R O 9 8 4 0

Ø : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION &	DUREZA BRINELL
39		
2 horas.	0	232
4 horas.	0	230
6 horas.	0	230
10 horas.	0	228

Ø : 3/4 plg.

39		
2 horas.	0	232
4 horas.	0	230
6 horas.	0	230
10 horas.	0	228

$\beta = 1$ pig.

39

2 horas.	0	232
4 horas.	0	230
6 horas.	0	230
10 horas.	0	228

A C B R O 1 0 4 5

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
84		
85		
1 horas.	0	234
2 horas.	0	233
3 horas.	0	233
4 horas.	0	230
6 horas.	0	229
8 horas.	0	228
10 horas.	0	226
14 horas.	0	226

Ø : 3/4 plg.

1 horas.	0	234
2 horas.	0	233
3 horas.	0	233
4 horas.	0	230
6 horas.	0	228
8 horas.	0	226

10 horas.	0	226
14 horas.	0	226

β ; 1 plg.

1 horas.	0	234
2 horas.	0	233
3 horas.	0	233
4 horas.	0	230
6 horas.	0	229
8 horas.	0	228
10 horas.	0	226
14 horas.	0	226

A C E R O W - 2

1/2 plg.

CICLO	GEOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
120	0	280
121	0	280
122	0	276
123	0	274
124	0	276
125	0	280
126	0	275

Ø : 1 plg.

127	0	279
128	0	274
129	0	281

AUSTENIZACION INCOMPLETA

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 50 °C/ hr.

A C B R O 4 1 4 0

 β : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
5	0	228
6	0	226
7	0	224
8	0	222

 β : 1 plg.

5	0	228
6	0	226
7	0	224
8	0	222

A C E R O 9 8 4 0

 β : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
40		
2 horas.	0	228
4 horas.	0	228
6 horas.	0	225
10 horas.	0	223

 β ; 3/4 plg.

40		
2 horas.	0	228
4 horas.	0	228
6 horas.	0	225
10 horas.	0	223

 β : 1 plg.

40		
2 horas.	0	228
4 horas.	0	228
6 horas.	0	225
10 horas.	0	223

A C E R O 1 0 4 5

 β : 1/2 pig.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
86		
87		
2 horas.	0	230
6 horas.	0	230
8 horas.	0	228
10 horas.	0	227
14 horas.	0	221

 β : 3/4 pig.

86		
87		
2 horas.	0	230
4 horas.	0	230
6 horas.	0	228
8 horas.	0	227
10 horas.	0	224
14 horas.	0	221

§ : 1 plg.

86		
87		
2 horas.	0	230
4 horas.	0	230
6 horas.	0	228
8 horas.	0	227
10 horas.	0	224
14 horas.	0	221

A C E R O W - 2

Ø : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
130		
2 horas.	0	259
4 horas.	0	256
6 horas.	0	255
10 horas.	0	256

Ø : 1 plg.

130		
2 horas.	0	259
4 horas.	0	256
6 horas.	0	255
10 horas.	0	256

AUSTENIZACION INCOMPLETA

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

A C E R O 4 1 4 0

Ø : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
-------	--------------------	-------------------

9	75 - 80	220
---	---------	-----

10	80 - 90	214
----	---------	-----

Ø : 1 plg.

11	55 - 65	214
----	---------	-----

12	80 - 90	198
----	---------	-----

A C E R O 9 8 4 0

 ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	SRINELL
41	90	198
42	90	200

 ϕ : 3/4 plg.

43	70 - 80	214
44	80 - 90	204
45	80 - 90	205

 ϕ : 1 plg.

46	70 - 80	218
47	70 - 80	215
48	80 - 90	209
49	80 - 90	210
50	80 - 90	216

A C E R O 1 0 4 5

Ø : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
88	50 - 60	227
89	75 - 85	213
90	75 - 85	214
	Ø : 3/4 plg.	
91	50 - 60	226
92	75 - 85	209
93	75 - 85	211
	Ø : 1 plg.	
94	50 - 60	227
95	80 - 90	209
96	80 - 90	210

A C E R O W - 2

Ø : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
131	100	192
132	100	189

Ø : 1 plg.

133	80 - 90	201
134	95	199
135	95	196
136	95	201

RECOCIDO SUBCRITICO
VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE
A C E R O 4 1 4 0
Ø : 1/2 plg.

13	0	228
14	0	225

Ø : 1 plg.

15	0	226
16	0	223

A C E R O 9 8 4 0

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	‰	BRINELL
	Ø : 3/4 plg.	
51	0	232
52	0	230
	Ø : 1 plg.	
53	0	231
54	0	229

A C E R O 1 0 4 5

 β : 1/2 pig.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
-------	--------------------	-------------------

97

1 horas.	0	232
2 horas.	0	229
6 horas.	0	228

 β : 3/4 pig.

2 horas.	0	229
4 horas.	0	229
6 horas.	0	228

 β : 1 pig.

4 horas.	0	229
6 horas.	0	227
9 horas.	0	225

A C E R O N - 2

 ϕ : 1 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
137		
2 horas.	0	258
4 horas.	0	255
6 horas.	0	254
10 horas.	0	256

RECOCIDO SUBCRITICO

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 50 °C/ hr.

A C E R O 4 1 4 0

 β : 1/2 pig.

CICLO	GLOBALIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
12	0	224
18	0	221

 β : 1 pig.

19	0	221
20	0	220

A C E R O 9 8 4 0

 ϕ : 3/4 plg.

CICLO	GLIOLIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
55	0	228
56	0	227

 ϕ : 1 plg.

57	0	227
58	0	227

A C E R O 1 0 4 5

 ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
100		
2 horas.	0	227
6 horas.	0	225

 ϕ : 3/4 plg.

101		
4 horas.	0	226
6 horas.	0	225

 ϕ : 1 plg.

102		
6 horas.	0	225
9 horas.	0	223

A C B R O W - 2

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
138		
2 horas.	0	254
4 horas.	0	251
6 horas.	0	248
10 horas.	0	250

RECOCIDO SUBCRITICO

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

A C E R O 4 1 4 0

 ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
21	60 - 70	224
22	65 - 75	214
	ϕ : 1 plg.	
23	65 - 75	214
24	70 - 80	212

A C B R O 1 0 4 5

 ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
103	20 - 30	228
104	25 - 35	226
105	25 - 35	225

 ϕ : 3/4 plg.

106	20 - 30	227
107	25 - 35	226
108	25 - 35	224

 ϕ : 1 plg.

109	20 - 30	226
110	25 - 35	223
111	25 - 35	222

A C E R O 9 8 4 0

 ϕ : 3/4 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
59	80 - 90	204
60	80 - 90	209

 ϕ : 1 plg.

61	80 - 90	204
62	80 - 90	210

A C E R O W - 2

Ø : 1 pig.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
139	10 - 20	231
140	10 - 20	228
141	10 - 20	227
142	10 - 20	228

RECOCIDO OSCILANTE

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE

A C B R O 4 1 4 0

 ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
25	0	231
26	0	230

 ϕ : 1 plg.

27	0	231
28	0	230

A C B R O 9 8 4 0

 ϕ : 1/2 pig.

CICLO	GLOBULIZACION	DURIZA
	%	BRINELL
63	0	230
64	0	228

 ϕ : 3/4 pig.

63	0	230
64	0	228

 ϕ : 1 pig.

63	0	230
64	0	228

A C E R O 1 0 4 5

Ø : 1 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
112	0	232
113	0	230

A C E R O # - 2

Ø : 1 plg.

ACERO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
143	0	274
144	0	276

REGCIEDO OSCILANTE

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

A C B R O 4 1 4 0

Ø : 1/2 pig.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
29	60 - 70	228
30	60 - 70	225
31	65 - 75	223

Ø : 1 pig.

32	60 - 70	228
33	60 - 70	226
34	65 - 75	223

A C E R O 4 8 4 0

 ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
-------	--------------------	-------------------

65	55 - 65	228
----	---------	-----

66	55 - 65	226
----	---------	-----

67	70 - 80	223
----	---------	-----

 ϕ : 3/4 plg.

68	55 - 65	229
----	---------	-----

69	55 - 65	228
----	---------	-----

70	60 - 70	225
----	---------	-----

 ϕ : 1 plg.

71	55 - 65	228
----	---------	-----

72	55 - 65	226
----	---------	-----

73	60 - 70	228
----	---------	-----

ACERO 1045

Ø : 1 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
114	50 - 60	214
115	50 - 60	218

A C E R O 4 - 2

Ø : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
145	40 - 50	212
146	30 - 40	236
147	30 - 40	227

Ø : 1 plg.

148	40 - 50	211
149	30 - 40	231
150	30 - 40	227

AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA
VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE

A C B R O 4 1 4 0

β : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
35	0	229
36	0	227

β : 1 plg.

35	0	229
36	0	227

AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.

A C E R O 9 8 4 0

β : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION %	DUREZA BRINELL
74	0	233
75	0	231

β : 1 plg.

76	0	233
77	0	231

AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.

A C E R O 1 0 4 5

Ø : 3/4 pig.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
116	0	231
117	0	228

AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.

A C E R O 1 0 4 5

Ø : 3/4 pig.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
116	0	231
117	0	228

AUSTENIZACION COMPLETA.

Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.

A C E R O W - 2

Ø : 1/2 pig.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	0	BRINELL
151	0	273
152	0	270
153	0	271

AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

A C B R O 4 1 4 0

Ø : 1/2 pig.

CICLO	GLOBALIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
37	0	226
38	0	223

AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.

A C E R O 9 8 4 0

ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBALIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
78	0	235
79	0	234
80	0	233

ϕ : 1 plg.

81	0	234
82	0	232
83	0	233

**AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.**

A C E R O 1 0 4 5

Ø : 3/4 pig.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
118	15 - 20	225
119	15 - 20	223

**AUSTENIZACION COMPLETA,
Y AUSTENIZACION INCOMPLETA.**

A C B R O W - 2

ϕ : 1/2 plg.

CICLO	GLOBULIZACION	DUREZA
	%	BRINELL
154	10 - 20	239
155	15 - 20	231

AUSTENIZACION INCOMPLETA

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	1/2, 3/4, 1 plg.
1045	1/2, 3/4, 1 plg.
W-2	1/2, 1 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento no controlada, de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza podemos observar que: el diámetro de las probetas solamente debe de tomarse en cuenta para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La composición de los aceros en este caso no tiene influencia ni en contra ni a favor de la obtención de la estructura globular, ya que los carburos existentes en el material no alcanzan a disolverse debido a las bajas temperaturas a que es sometido el material durante el proceso, y en teoría estos carburos en parte sirven como elementos de nucleación para la estructura globular, y por lo tanto podemos decir que la composición de los aceros no es un factor que intervenga en la globulización.

Así como el tiempo de permanencia, aun cuando este sea grande, como se puede ver en las gráficas 3, 4, 39, 84, 85, 125, 126, aun cuando este sea - muy grande no es el factor que determine la obtención de la estructura globular.

AUSTENIZACION INCOMPLETA

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 50 °C/ hr.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	1/2, 3/4, 1 plg.
1045	1/2, 3/4, 1 plg.
W-2	1/2, 1 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento controlada pero con una velocidad relativamente grande, de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza podemos observar - que: el diámetro de las probetas solamente debe de tomarse en cuenta para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La composición de los aceros en este caso no tiene influencia ni en contra ni a favor de la obtención de la estructura globular, como se ha visto en los procesos anteriores.

Así como el tiempo de permanencia, aun cuando este sea grande, como se puede ver en las gráficas 6, 7, 8, 40, 86, 87, 130, aun cuando este sea muy grande no es el factor que determine la obtención de la estructura globular. El tiempo de permanencia debe ser únicamente el necesario para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La velocidad de enfriamiento aun siendo relativamente grande nos indica que tiene gran influencia en el proceso para obtener la estructura globular, puesto que en este ciclo hay presencia de una globulización parcial.

AUSTENIZACION INCOMPLETA

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	1/2, 3/4, 1 plg.
1045	1/2, 3/4, 1 plg.
W-2	1/2, 1 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento controlada de 25 °C/ hr., de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza, se observa que la composición de los aceros es un factor que tiene poca influencia en el proceso de globulización pero que en realidad no gobierna dicho proceso.

El tiempo de permanencia debe ser el necesario para que la temperatura sea homogénea en todo el material, en algunos casos el tiempo de permanencia fue grande y sin embargo no se observó que aumentase el grado de globulización.

La velocidad de enfriamiento de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$, de acuerdo con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta de que si es un parámetro de gran influencia en el proceso de globulización y además es el que gobierna dicho proceso.

S U B C R I T I C O

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	3/4, 1 plg.
1045	1/2, 3/4, 1 plg.
W-2	1 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento no controlada, de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza podemos observar que: El diámetro de las probetas - solo debe tomarse en cuenta para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La composición de los aceros en este caso no tiene influencia ni en contra ni a favor de la obtención de la estructura globular, ya que los carburos existentes en el material no alcanzan a disolverse debido a las bajas temperaturas a que es sometido el material durante el proceso, y en teoría estos carburos en parte sirven como elementos de nucleación para la obtención de la estructura globular, y por lo tanto podemos decir que la composición de los aceros no es un factor que intervenga en la globulización.

Así como el tiempo de permanencia, aun cuando este sea grande, como se puede ver en las gráficas 14, 15, 16, 52, 53, 54, 97, 98, 99, 137, aun cuando este sea muy grande no es el factor que determine la obtención de la estructura globular.

S U B C R I T I C O

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 50 °C/ hr.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	∅
4140	1/2, 1 pig.
9840	3/4, 1 pig.
1045	1/2, 3/4, 1 pig.
W-2	1 pig.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento controlada pero con una velocidad relativamente -- grande, de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globalización como en dureza podemos observar -- que: El diámetro de las probetas solamente debe de tomarse en cuenta para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La composición de los aceros en este caso no tiene influencia ni en contra ni a favor de la obtención de la estructura globular, como se ha visto en los procesos anteriores.

Así como el tiempo de permanencia, aun cuando este sea grande, como se puede ver en las gráficas 18, 19, 20, 56, 57, 58, 100, 101, 102, 133, no es un factor que tenga influencia o que determine la obtención de la estructura globular. El tiempo de permanencia debe ser únicamente el necesario para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La velocidad de enfriamiento aun siendo relativamente grande nos indica que tiene gran influencia en el proceso para obtener la estructura globular, puesto que en este ciclo hay presencia de una

S U 3 C R I T I C O

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	3/4, 1 plg.
1045	1/2, 3/4, 1 plg.
A-2	1 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento controlada de 25 °C/ hr., de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza, se observa que la composición de los aceros es un factor que tiene poca influencia en el proceso de globulización pero que en realidad no gobierna dicho proceso.

El tiempo de permanencia debe ser el necesario para que la temperatura sea homogénea en todo el material, en algunos casos el tiempo de permanencia fue grande, tomando en cuenta el número de ciclos, y sin embargo no se observó un aumento en el porcentaje de globulización.

La velocidad de enfriamiento de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$, de acuerdo con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta de que si es un parámetro de gran influencia en el proceso de globulización y además es el que gobierna dicho proceso. Aunque, como podemos ver, no es el proceso de mayor porcentaje en la obtención de la estructura globular.

O S C I L A N T E

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	1/2, 3/4, 1 plg.
1045	1 plg.
7-2	1 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento no controlada, de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza podemos observar que: El diámetro de las probetas - solo debe tomarse en cuenta para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La composición de los aceros en este caso no tiene influencia ni en contra ni a favor de la obtención de la estructura globular, ya que los carburos existentes en el material no alcanzan a disolverse debido a las temperaturas a que es sometido el material durante el proceso, y en teoría - estos carburos en parte sirven como elementos de - nucleación para la obtención de la estructura globular, y por lo tanto podemos decir que la composición de los aceros no es un factor que intervenga en la globulización.

Así como el tiempo de permanencia, aun cuando este sea grande, como se puede ver en las gráficas 25, 26, 63, 64, 112, 113, 143, 144, aun cuando este sea muy grande no es el factor que determine la obtención de la estructura globular.

O S C I L A N T E

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACERO	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	1/2, 3/4, 1 plg.
1045	1 plg.
4-2	1/2, 1 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento controlada de 25 °C/ hr., de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza, se observa que la composición de los aceros es un factor que tiene poca influencia en el proceso de globulización pero que en realidad no gobierna dicho proceso.

El tiempo de permanencia debe ser el necesario para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

El número de ciclos no tiene gran influencia en el proceso de globulización ya que la diferencia de durezas entre 2 y 6 ciclos es mínima como puede verse en las gráficas 29, 30, 31, 32, 33, 34, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 114, 115, 145, 146, 147, 148, 149, 150, y en el caso del acero W-2 se obtuvo menor dureza con 2 ciclos.

La velocidad de enfriamiento de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$, de acuerdo con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta de que si es un parámetro de gran influencia en el proceso de globulización y además es el que gobierna dicho proceso. Aunque, como podemos ver, no es el proceso de mayor porcentaje.

AUSTENIZACION COMPLETA,

AUSTENIZACION INCOMPLETA.

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO AL AIRE.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACEROS	Ø
4140	1/2, 1 pig.
9840	1/2, 1 pig.
1345	3/4 pig.
W-2	1/2 pig.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento no controlada, de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza podemos observar que: El diámetro de las probetas solo debe tomarse en cuenta para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La composición de los aceros en este caso no tiene influencia ni en contra ni a favor de la obtención de la estructura globular, ya que los carburos existentes en el material no alcanzan a disolverse debido a las temperaturas a que es sometido el material durante el proceso, y en teoría estos carburos en parte sirven como elementos de nucleación para la obtención de la estructura globular, y por lo tanto podemos decir que la composición de los aceros no es un factor que intervenga en la globulización.

Así como el tiempo de permanencia, aun cuando este sea grande, como se puede ver en las gráficas 74, 75, 76, 77, 116, 117, 151, 152, 153, aun cuando este sea muy grande no es el factor que determine la obtención de la estructura globular.

AUSTENIZACION COMPLETA,

AUSTENIZACION INCOMPLETA.

VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO 25 °C/ hr.

Los aceros usados así como los diámetros son:

ACEROS	Ø
4140	1/2, 1 plg.
9840	1/2, 1 plg.
1045	3/4 plg.
W-2	1/2 plg.

Para este ciclo, con velocidad de enfriamiento controlada de 25 °C/ hr., de acuerdo con los valores obtenidos tanto en globulización como en dureza, se observa que la composición de los aceros es un factor que tiene poca influencia en el proceso de globulización pero que en realidad no gobierna dicho proceso.

Los tiempos de permanencia, aun cuando estos sean grandes como puede verse en las gráficas 37, 38, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 113, 119, 154, 155, no es un factor que tenga influencia en el proceso de globulización.

El tiempo de permanencia debe ser el necesario para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La velocidad de enfriamiento de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$, de acuerdo con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta de que si es un parámetro de gran influencia en el proceso de globulización y ademas es el que gobierna dicho proceso. Aunque, como po demos ver, de acuerdo con los resultados obtenidos, no es el proceso más adecuado para la obtención de la estructura globular.

CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES.

De acuerdo con los tratamientos térmicos usados en este estudio y con los resultados obtenidos en porcentaje de globulización como en dureza para cada uno de los ciclos, podemos concluir en función del grado obtenido en globulización que:

El recocido de globulización más óptimo es el recocido de austenización incompleta con velocidad de enfriamiento de 25 °C/ hr. y con un tiempo de permanencia suficiente para que la temperatura sea homogénea en todo el material, además la composición de los aceros puede variar en un amplio rango, y la temperatura usada es relativamente baja ya que es ligeramente superior a la temperatura crítica inferior y tiene la ventaja de no tener que enfriar el horno hasta la temperatura ambiente, ya que la temperatura para sacar el material del horno como se muestra en las gráficas es sufi-

ciente para obtener una buena globulización, y por lo tanto esto es un gran ahorro en costos y tiempo permitiendo una mayor producción, además el control de la temperatura es relativamente sencillo.

En segundo lugar podemos decir que los recocidos de globulización subcrítico y oscilante son menos eficientes que el de austenización incompleta, además el recocido oscilante tiene grandes desventajas como son:

El tiempo de duración del proceso en general es grande, desde luego el tiempo dependerá del número de ciclos pero aun siendo pocos ciclos el tiempo es grande.

El control de la temperatura es bastante problemático, además a nivel industrial esto es más difícil de controlar ya que hay que subir y bajar

la temperatura con velocidades pequeñas lo cual -
complica más el control de temperatura.

Al recocido globular de austenización completa y austenización incompleta es el que mostro resultados más bajos, además de tener el inconveniente de tener que pasar el material de un horno a otro, y por lo mismo requiere de dos hornos lo cual aumenta los costos y el tiempo de permanencia es grande.

De acuerdo con los parámetros que se observaron durante la experimentación y con los datos obtenidos podemos concluir que:

Si el diámetro de las probetas o bien la sección transversal solo debe tomarse en cuenta para que la temperatura sea homogénea en todo el material.

La composición de los aceros tiene una pequeña influencia en la obtención de la estructura globular, de acuerdo con el contenido de carbono podemos ver que tanto con un contenido bajo en carbono como con un contenido alto en carbono se obtuvo un porcentaje muy bueno en globulización y por lo cual podemos decir que el contenido de carbono no es el factor que gobierne el proceso de globulización. Por otra parte los carburos presentes en el material no alcanzan a disolverse debido a las temperatu

ras usadas en los diferentes procesos, ya que estas son relativamente bajas para poder disolver dichos carburos, por lo tanto estos carburos que estan presentes en el material, en teoría, ayudan en forma parcial a la obtención de la estructura globular, ya que actuan como elementos o puntos de nucleación, pero la nucleación no se lleva a cabo exclusivamente por estos carburos y además no son los que gobiernan el proceso de globulización.

Por lo tanto la composición de los aceros tiene poca influencia en la obtención de la estructura globular.

El tiempo de permanencia como se ha podido ver en los diferentes procesos llevados a cabo debe ser básicamente el necesario para que la tempe-

ratura sea homogénea en todo el material, también se observa que cuando el tiempo de permanencia es muy grande provoca un aumento en el tamaño de glo-bulo, lo cual no es deseable ya que cuando el glo-bulo es grande durante el proceso de maquinado la superficie sufre desgarramientos lo cual nos da un mal acabado, además un aumento en el tiempo de per-manencia da como resultado mayores costos y menor producción.

De acuerdo con esta conclusión podemos darnos cuenta que el tiempo de permanencia no es el fac-tor más importante o que gobierne el proceso de globulización, tal como lo citan algunos libros de los cuales a continuación transcribimos la parte en donde se trata dicho tema.

Recocidos de austenización incompleta (globulares).- Son tratamientos que se suelen dar a los aceros al carbono o aleados, de más de 0.50 % de carbono. Consisten en calentamientos prolongados a temperaturas intermedias entre la crítica superior y la inferior.

En los aceros hipoeutectoides es algo más difícil obtener estructuras globulares. Sin embargo con permanencias prolongadas y oscilaciones de temperatura se consigue también en los aceros de bajo contenido de carbono esas estructuras.

Tratamientos técnicos de los aceros.

Pag. 70, 71.

JOSE APRAIZ.

Recocido globular, mediante el cual el carburo adopta una forma esférica o globular.

Los metodos más frecuentes para realizar este tratamiento son:

- 1.- Permanencia prolongada a una temperatura inmediatamente por debajo de la crítica inferior.

- 2.- Empleo de un ciclo oscilante de calentamiento y enfriamiento unas veces superior y otras inmediatamente inferior a la temperatura crítica inferior.

Introducción a la metalurgia física.

Pag. 202, 203.

Sidney H. Avner.

Recocidos esferoïdizantes.

Este fenómeno se utiliza, en el ablandamiento del acero de herramienta y un tanto en los aceros de aleación de endurecimiento al aire. Cuando es tán en esta condición, estos aceros pueden estirarse y también se maquinan con cierta facilidad.

La estructura esferoïdizada se produce recociendo el acero a una temperatura entre 650° y 700°C ; esto es, apenas abajo de la temperatura crítica inferior. Aun cuando no hay cambio básico en la fase, la tensión superficial hace que la cementita tome la forma globular.

Ingeniería metalurgica. Tomo I.

Pag. 236.

Raymond A. Higgins.

De acuerdo con los datos y valores obtenidos en los diferentes procesos llevados a cabo, podemos ver de acuerdo con los resultados que el parámetro principal y que gobierna el proceso de globulización es la velocidad de enfriamiento controlada y dicha velocidad debe ser de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$ o menor pero en ningún caso mayor.

Como se puede ver solo se ha presentado globulización cuando la velocidad de enfriamiento es controlada y la mejor globulización cuando la velocidad de enfriamiento es de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$

Cuando el proceso se lleva a cabo con una temperatura ligeramente arriba de la temperatura crítica inferior, en el caso de los aceros hipoculectoides tenemos ferrita y austenita en los hipercu-

rectoides tenemos austenita y cementita, en uno o en otro caso esto sera en todo el material cuando el tiempo de permanencia ha sido el necesario para que la temperatura sea homogénea en todo el material, en esta temperatura los átomos tienen cierta libertad de movimiento o bien hay cierta difusión de los átomos de carbono para pasar de la estructura perlítica a la estructura austenítica.

Quando la temperatura es mayor que la temperatura crítica superior nos encontramos en una zona totalmente austenítica en donde tenemos una mayor solubilidad de átomos de carbono con un cierto arreglo atómico, al disminuir la temperatura y que dar abajo de la temperatura crítica superior tenemos la fase de ferrita y austenita, por lo tanto esta ferrita para formarse debe disminuir su con-

tenido de carbono y estos átomos de carbono para poder permanecer en esta fase deben tener una forma más ordenada o bien un arreglo de mayor equilibrio, cuando estamos 30 ° o 40 °C arriba de la -- temperatura crítica inferior al bajar la temperatura lentamente pero en forma progresiva con una velocidad de enfriamiento controlada de 25 °C/ hr. conforme nos acercamos a la temperatura crítica inferior los átomos tienen la suficiente velocidad de difusión para tomar posiciones de mayor equilibrio, ahora bien al llegar a la temperatura crítica inferior (esta temperatura será menor que la -- temperatura usada durante el calentamiento debido a la histéresis térmica), los átomos de carbono en este punto tienen una cierta solubilidad y al bajar la temperatura y pasar la temperatura crítica inferior la solubilidad del carbono disminuye y cm

pieza a precipitar lentamente, pero como la disminución de la temperatura es también muy pequeña, permite que este precipitado tenga una forma más ordenada y por lo tanto le permite a este carbono tener la suficiente velocidad de difusión para tomar posiciones en estructuras de mayor equilibrio y así tomar la disposición globular ya que dicha estructura es de mayor equilibrio.

La velocidad de enfriamiento permite que la disminución de temperatura sea en forma lenta lo cual permite que los átomos de carbono tengan la suficiente velocidad de difusión y así poder formar la estructura globular, y no como en otros casos en que la velocidad de enfriamiento es muy rápida y no le permite a los átomos tener la suficiente difusión quedando atrapados y por lo tanto en una estructura de menor equilibrio.

No es necesario llegar hasta la temperatura ambiente con la misma velocidad de enfriamiento, 25 °C/ hr. , ya que ha cierta temperatura el material puede sacarse del horno sin sufrir cambio alguno la estructura ya obtenida, la temperatura para sacar el material del horno varia entre 200 ° a 300 °C abajo de la temperatura crítica inferior, pero lo recomendable es obtenerla en forma experimental para conocerla en forma más exacta.

De acuerdo con los artículos de los autores antes mencionados podemos ver que: se habla de largos tiempos de permanencia, de temperaturas elevadas, de temperaturas inferiores o superiores a la temperatura crítica inferior, de ciclos de austenización incompleta, subcríticos y oscilantes, pero en ningún momento se hace mención sobre la velocidad de enfriamiento controlada de que magnitud debe ser esta velocidad.

Este trabajo tiene como finalidad el poder conocer la influencia que tienen los diferentes parámetros en el proceso de globulización, ya que como se ha visto en los artículos antes mencionados y en otros textos de metalurgia no se encuentra suficiente información sobre el proceso de globulización, así como conocer las ventajas de los diferentes ciclos usados en la globulización.

La conclusión principal de este trabajo es que el parámetro principal que gobierna el proceso de globulización es la velocidad de enfriamiento controlada dentro del rango antes mencionado y que el mejor ciclo para la globulización por las ventajas que ofrece es el ciclo de austenización incompleta con velocidad de enfriamiento controlada.

R E C O M E N D A C I O N E S

Para el recocido de globulización el ciclo, de acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo, más recomendable es el recocido de austenización incompleta, para lo cual es necesario conocer la temperatura crítica inferior lo más preciso posible ya que se trabajara ligeramente arriba de esta temperatura.

Debido a la gran cantidad de aceros existentes es necesario hacer pruebas de laboratorio para determinar hasta que temperatura se deja de controlar la velocidad de enfriamiento y por lo tanto se puede sacar el material del horno sin que se vea afectada la estructura globular ya obtenida.

Si tiempo de permanencia sera solamente el necesario para que todo el material sea homogéneo en temperatura y en cuanto se obtenga esto poder iniciar el descenso de temperatura con velocidad de enfriamiento controlada.

Lo más importante es la velocidad de enfriamiento controlada y que debe ser de $25^{\circ}\text{C}/\text{hr.}$ o menor, pero no debe ser superior, el control de la velocidad de enfriamiento debe ser lo más exacta posible ya que de ello dependera el obtener una buena estructura globular.

BIBLIOGRAFIA

Tratamiento térmico de los aceros

JOSE ARAIZ BARREIRO

Octava edición

Steel and its heat treatment

KARL ERICK THIELING

Jofors handbook

Principios de metalurgia física

ROBERT E. REED HILL

Editorial Continental

Propiedades termodinámicas

JERIS H. DROPHY , ROBERT M. ROSE , JOHN WULFF.

Ciencia de los materiales

Ingeniería metalúrgica

ALYOND A. HIGGINS.

Compañia editorial continental