

No. Adq.

2

No. Título

Clas.

No. Adq.

I50067

No. Título

672.36

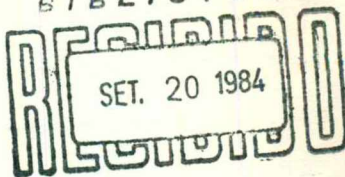
Clas.

E824



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA
BIBLIOTECA



U. A. Q.

TEMPLE POR INDUCCION

TESIS

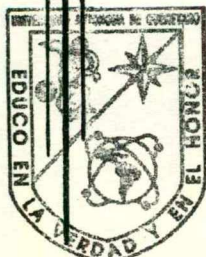
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICO METALURGICO

PRESENTA LA PASANTE:

ESTHER ESTRELLA GUTIERREZ

FACULTAD DE
QUIMICA



BIBLOTECA

28 DE SEPTIEMBRE DE 1984.

"UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO"

FACULTAD DE QUIMICA

TEMPLE POR INDUCCION

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO
DE QUIMICO METALURGICO
PRESENTA LA PASANTE

ESTHER ESTRELLA GUTIERREZ

28 DE SEPTIEMBRE DE 1984

JURADO:

I.Q.M. JOSE ANTONIO UGALDE ZEPEDA

Q.M.SALVADOR ALVARADO BALLEZA

Q.M. JUAN MANUEL MONREAL ESPINOSA.

SUPLENTE:

QUIM. ALFONSO PEREZ BUENROSTRO.

A MI DIOS Y MIS PADRES POR EL DON MAS VALIOSO QUE
TENGO: MI VIDA

" LA VIDA DE CADA HOMBRE ES UN HERMOSO CUENTO DE HADAS
ESCRITO POR LA MANO DE DIOS "

GRACIAS A TODAS LAS PERSONAS QUE HAN FORMADO PARTE
DEL BELLO CUENTO DE MI VIDA.

INDICE

- OBJETIVO
- INTRODUCCION (1)
- GENERALIDADES (3)
- FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO. (8)
- REVENIDO (28)
- VENTAJAS Y DESVENTAJAS (29)
- COMPARACION ENTRE UN TEMPLE CONVENCIONAL Y UN TEMPLE POR INDUCCION. (30)
- DEFECTOS (32)
- PROCESO DE PRODUCCION DE LA BARRA DE BALANCINES V-8. (35)
- ORIGEN DEL PROBLEMA (42)
- ALTERNATIVAS PARA RESOLVERLO (43)
- GRAFICAS
- FOTOGRAFIAS
- DESCRIPCION DE FOTOGRAFIAS (a y b)
- CONCLUSIONES (I, II y III)

OBJETIVO:

Este trabajo tiene como objetivo resolver de la manera más adecuada el problema de obtención de bajas durezas en el proceso normal de endurecimiento por inducción de la barra de balancines para motor ocho cilindros; así como de resaltar los aspectos más importantes del "Temple por Inducción" y sus ventajas con relación al temple convencional.

En base a esto se plantean dos hipótesis:

- 1.- La baja dureza se obtiene debido a la decarburización superficial de la materia prima.
- 2.- La recarburización de la barra y el temple posterior constituye la mejor opción para lograr la barra dentro de especificación.

El desarrollo del trabajo se ha dividido en dos partes y las conclusiones. La primera, una parte teórica con fundamentación bibliográfica cuyo objetivo es el de recopilar las bases técnicas y dar a conocer las bondades del endurecimiento por inducción. La segunda, la constituye una parte práctica en la que se exponen las alternativas para resolver el problema y sus resultados. En las conclusiones se resumen las observaciones y experiencias obtenidas, así como las respuestas a las hipótesis planteadas.

INTRODUCCION

Para obtener dureza en la capa superficial de las piezas, conservando la tenacidad de su núcleo, lo que asegura la resistencia al desgaste y al mismo tiempo un núcleo suave, se utiliza el temple superficial o el tratamiento termoquímico.

El temple superficial tiene ventaja sobre el tratamiento termoquímico, puesto que es un proceso en el que se invierte mucho menos tiempo.

Todos los métodos de temple superficial constan de un calentamiento de la capa superficial de la pieza y del temple posterior. El mecanismo de cualquier procedimiento de temple superficial consiste en que las capas superficiales de la pieza se calientan rápidamente hasta una temperatura superior a los puntos críticos y se crea un gradiente brusco de temperaturas, obteniéndose como productos de un enfriamiento rápido, una capa superficial con temple completo y un núcleo suave que no se temple.

Los métodos de calentamiento pueden ser diversos:

- A) En metales o sales fundidas.
- B) Con llama oxiacetilénica o soplete de gas.
- C) En electrólitos
- D) Por corriente eléctrica inducida en las capas superficiales de las piezas (temple por inducción).

Ultimamente el procedimiento que más se emplea es el temple por inducción.

El temple por inducción es un procedimiento de endurecimiento superficial del acero que se caracteriza porque el calor se forma en el seno de la capa externa de la pieza, debido a las corrientes inducidas y porque es posible limitar el calentamiento a la capa externa deseada, siempre y cuando las piezas a templar presenten una microestructura homogénea.

El temple por corrientes de alta frecuencia fué utilizado por primera vez por V.P. Vologdin, con la finalidad de tratar térmicamente piezas de automóvil. Esto trajo como consecuencia problemas metalográficos relacionados con el calentamiento rápido del acero, problemas que fueron estudiados por N.V. Gueveling, I.N. Kidin, M.G. Lozinski y K.Z. Shepeliakovski. (A.P. Gulláev).

Actualmente el temple por inducción es un proceso comúnmente usado, debido a que presenta un alto grado de automatización, además de gran facilidad para ser adaptado directamente a las líneas de producción, preferentemente cuando ésta representa grandes volúmenes.

TEMPLE POR INDUCCION GENERALIDADES

Cuando una corriente eléctrica pasa a través de un conductor, un campo electromagnético se crea a su alrededor. Si el conductor consiste en una bobina, el campo magnético fluye a través de ella, y este campo persiste aún cuando una barra sea introducida a la bobina.

Si el flujo magnético es creado por una corriente alterna de alta frecuencia, ésto da origen a un remolino de corriente en la superficie de la barra de metal. La cual consecuentemente se calienta, debido a la corriente inducida que genera calor de acuerdo con la relación $H=I R$, donde:

R = Resistencia Eléctrica

I = Corriente Eléctrica

H = Potencia

En el acero, cuya estructura es primeramente cúbico centrado en el cuerpo y es ferromagnético, las pérdidas por histéresis también contribuyen en algo a la elevación de temperaturas arriba del punto curie (768°C), en el cual el cambio rápido en la dirección de la magnetización interna de la pieza de acero, también genera calor. Al rebasar el punto curie el acero deja de ser magnético.

El calentamiento por inducción sólo se produce en las zonas superficiales de las piezas, que se encuentran dentro del campo de acción de la bobina, ya que las corrientes de Foucault inducidas por la corriente de alta frecuencia no se distribuyen uniformemente a través de la sección transversal, sino que circulan en su mayor parte en las capas superficiales, mientras que las capas interiores son inducidas en menor escala.

Todo ésto da origen al efecto de película como consecuencia del campo magnético contrario que aumenta al acercarse al eje de la pieza y debilita al campo excitador.

En base al efecto de película resulta muy adecuado el calentamiento por inducción para temple superficial del acero.

La capa de penetración del calor es controlada principalmente por la potencia y la frecuencia empleada, ya que al aumentar la frecuencia decrece la profundidad de penetración.

En el temple por inducción se endurecen sólo las capas superficiales de la pieza que se calientan por encima de AC_3 .

La profundidad de la capa endurecida no es por esto igual a la profundidad de penetración, sino que además depende de la conductividad térmica del material y de la potencia específica.

Se le llama potencia específica a la potencia inducida en la zona de temple por 1cm^3 de material.

La profundidad de endurecimiento es tanto más pequeña cuanto mayor es la velocidad de calentamiento y cuanto menor es la duración de éste.

Existen diferentes métodos de temple por inducción:

A) TEMPLE EN REPOSO:

En este procedimiento no se mueven ni la pieza ni la bobina, de tal manera que ésta última cubre enteramente la zona a temprar y la calienta simultáneamente; el temple se realiza de manera que toda la zona a endurecer se enfríe bruscamente por el riego de una ducha de agua.

Este tipo de temple sólo resulta costeable cuando las piezas pueden colocarse en posición rápidamente.

B) TEMPLE SIN DESPLAZAMIENTO PERO CON ROTACION:

Se realiza de manera que la superficie se caliente mientras que la pieza gira dentro de la bobina para compensar las irregularidades de la forma de ésta.

La bobina debe cubrir la superficie total a endurecer, y la pieza debe girar aproximadamente 200 R.P.M.

C) TEMPLE POR AVANCE:

Aquí, la bobina se desplaza linealmente a lo largo de la pieza a temprar, o ésta pasa a través de la bobina. La velocidad de avance va de 2 a - 50 mm/seg. Detrás de la bobina se localiza la ducha de temple, por lo que el calentamiento y el enfriamiento se realiza en una sola operación.

En esta forma, la profundidad de endurecimiento depende de la distancia que separa a la bobina de la ducha. Comúnmente el temple por avance se emplea para piezas planas y rectangulares.

D) TEMPLE POR AVANCE Y ROTACION:

Se caracteriza debido a que la pieza gira y avanza simultáneamente a través de la bobina.

La velocidad de rotación varía entre 200 y 500 R.P.M. El giro rápido da como resultado un calentamiento uniforme y evita el efecto de las irregularidades de la forma de la bobina.

Aquí, la profundidad endurecida depende del número de revoluciones y de la velocidad de avance, disminuyendo cuando estas dos variables son elevadas. Este procedimiento de temple por lo general se utiliza para piezas cilíndricas largas.

En los procesos continuos, la velocidad a la que se desplaza la pieza a través de la bobina se ajusta para obtener la temperatura requerida. Por lo que el método de control de temperatura es indirecto y por consiguiente las condiciones que producen la profundidad endurecida requerida se determinan experimentalmente.

E) TEMPLE HELICOIDAL:

En este procedimiento, la bobina se desplaza helicoidalmente respecto a la superficie a templar, que es enfriada bruscamente, inmediatamente después de calentada, por una ducha de agua que sigue al inductor. En la región de superposición de los bordes de la banda helicoidal templada se producen pequeñas zonas blandas.

Estas zonas revenidas pueden limitarse a anchuras de solo 1 mm.

La profundidad de endurecimiento alcanzada depende de la velocidad de avance. Mediante este procedimiento se pueden templar superficialmente cilindros de laminación en frío, cigüeñales y árboles de levas.

F) TEMPLE DE RUEDAS DENTADAS:

Para este tipo de temple se utilizan inductores especiales, puesto que pueden templarse todos los dientes simultáneamente o bien diente por diente.

Las ruedas dentadas pequeñas pueden templarse simultáneamente haciendo que la bobina cubra totalmente el contorno de la rueda.

Las ruedas muy grandes se templan diente por diente mediante una bobina que sólo abarca un diente, que se temple después de haberlo calentado.

Así, van templándose y enfriándose sucesivamente cada uno de los dientes. Luego se templan los valles mediante una bobina que debe tener una forma que se acople a ellos; se calienta y se temple un valle a la vez.

Todo ésto proporciona una superficie endurecida correctamente.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO, RELACIONADOS DIRECTAMENTE CON EL TAMAÑO DE CAPA ENDURECIDA DESEADA:

- A) DENSIDAD DE POTENCIA
- B) FRECUENCIA
- C) BOBINA
- D) TIEMPO Y VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO
- E) TEMPERATURA DE ENDURECIMIENTO
- F) COMPOSICION QUIMICA
- G) ESTRUCTURA PREVIA
- H) MEDIO DE TEMPLE

A) DENSIDAD DE POTENCIA:

El tamaño del convertidor o la intensidad que se requiere debe ser determinada sobre la base de densidad de la potencia, tamaño de la sección, método de calentamiento y requerimientos de la producción.

La densidad de potencia se presenta en kilowatts por pulgada cuadrada, y la adecuada se obtiene de ensayos previos en experimentos o bien de datos acumulados en tablas especiales que muestran las densidades más comúnmente utilizadas (tabla 1). (Página 12)

Al endurecer la superficie el área calentada a un tiempo, multiplicada por la potencia indica el total de intensidad de entrada en kilowatts. Esta área se obtiene al multiplicar el perímetro de la parte por la longitud del inductor.

Cuando se usa el método estático de calentamiento, el área que va a ser endurecida debe calentarse al mismo tiempo; pero si va a ser endurecida progresivamente es necesario calentar solamente un segmento a la vez, por lo tanto se puede utilizar un convertidor más pequeño para endurecimiento en forma progresiva.

La densidad de potencia debe ser controlada cuidadosamente, pues durante el calentamiento se verá afectada por las características eléctricas del convertidor de alta frecuencia, por las variaciones en el voltaje de la línea y en el enchufe, y por la simetría de la parte. Se puede lograr homogeneidad en la densidad de potencia mediante la regulación automática del voltaje de la fuente de poder para la unidad de calor inducida.

Existen reguladores de rotación y de voltaje capaces de controlar el voltaje de la línea generadora dentro de un $\pm 1\%$

B) FRECUENCIA:

Se define como frecuencia el número de ciclos por unidad de tiempo que presenta la corriente alterna.

Las consideraciones fundamentales para seleccionar la frecuencia son la profundidad del calentamiento y el tamaño de la parte.

Las frecuencias más bajas son más adecuadas cuando el tamaño de la parte y la profundidad de la superficie endurecida aumentan.

Para tener un punto de partida al seleccionar la frecuencia, existen tablas (1) que listan las frecuencias y las fuentes de potencia más comúnmente usadas en el endurecimiento por inducción.

Las corrientes alternas con la frecuencia de la red (50-60 Hz) sólo se emplean para piezas grandes, pero no para temple superficial, en el cual las frecuencias empleadas se agrupan en:

Frecuencias Medias: de 0.5 a 10KH para profundidades de 6 a 20mm

Altas frecuencias: de 100 a 2500KH para profundidades de 1 a

0.3 mm. (Wanke, Schramm)

Para aplicaciones especiales, como el temple superficial de agujas, se emplean frecuencias de hasta 30 MHz. garantizando así una penetración aún más pequeña.

Usar una frecuencia equivocada puede ocasionar una baja en la eficiencia eléctrica, que se reflejará en un abatimiento en el paso de la energía o de la eficiencia del calentamiento.

CARACTERISTICAS DE EQUIPOS DE TUBO DE VACIO PARA CALENTAMIENTO POR INDUCCION. (a)

KW.	SALIDA		VOLTAJE DE ENTRADA	ENFRIADO POR
	FRECUENCIA			
ENTRADA DE UNA FASE				
0.5	450Kc		110	Aire
1.0	400 Kc, 2.5 mc, 25 mc		110/220	Aire o Agua
1.1	500 Kc		220/440	Agua
1.5	450 Kc		110/220	Agua
2.5	450 Kc, 2.5 mc, 5 mc, 10 mc		220/440	Aire o Agua
3.0	450 Kc, 27 mc.		220/440	Aire
4.0	450 Kc		220/440	Aire
ENTRADA DE UNA O DE TRES FASES				
5.0	250 Kc, 450 Kc, 600 Kc, 3.5 mc, 4mc, 50 mc		220/440	Agua
7.5	250 Kc, 450 Kc, 600 Kc 3 mc, 5 mc		220/440	Agua
ENTRADA DE TRES FASES				
10	450 Kc, 3 mc, 4 mc, 5 mc		220/440	Agua
15	450 Kc, 1.4 mc, 3 mc, 4 mc, 5mc		220/440	Agua
20	180 Kc, 450 Kc, 600 Kc, 3 mc, 5 mc.		220/440	Agua
25	180 Kc, 400 Kc, 450 Kc.		220/440	Agua
30	180 Kc, 400 Kc, 450 Kc, 1.4mc		220/440	Agua
35	450 Kc		220/440	Agua
40	180 Kc, 450 Kc		220/440	Agua
50	150 Kc, 400 Kc, 450 Kc.		220/440	Agua
60	180 Kc, 450 Kc		440	Agua
70	450 Kc		440	Agua
75	180 Kc, 400 Kc		440	Agua
100	160 Kc, 180 Kc, 400 Kc, 450 Kc		440	Agua
140	450 Kc,		440	Agua
150	180 Kc, 450 Kc		440	Agua
200	450 Kc		440	Agua
250	180 Kc, 450 Kc		440	Agua
280	450 Kc		440	Agua
300	450 Kc		2300	Agua
450	450 Kc		2300	Agua
560	450 Kc		440	Agua
600	200 Kc		2300	Agua

a) Las demandas de corriente varían de acuerdo al equipo. Como promedio, la cantidad de kilovolt-ampères de entrada resulta ser la mitad a la salida. Por ejemplo, se necesita una entrada de aproximadamente 20 kilovolt-ampères para obtener una salida de 10 kilowatts.

C) BOBINAS:

La condición principal para el calentamiento por inducción sea correcto y lo más uniforme posible es la creación, para cada pieza, de una bobina de la forma y configuración correspondiente. Las bobinas transfieren la corriente alterna de alta frecuencia a las capas superficiales de la pieza por inducción electromagnética, y se conocen también con el nombre de inductores.

Debido a las altas densidades de corriente, sólo se emplean como materiales para ellas tubos de plata o de cobre que son enfriados durante el proceso mediante un flujo interno de agua. Por lo general se emplea cobre electrolítico ya que su superficie se libera de cascarilla por decapado, posee una alta conductividad térmica, es fácil de conseguir y además tiene bajo costo comparado con la plata.

En la creación de la bobina adecuada para cada proceso deben tenerse muy en cuenta los siguientes factores:

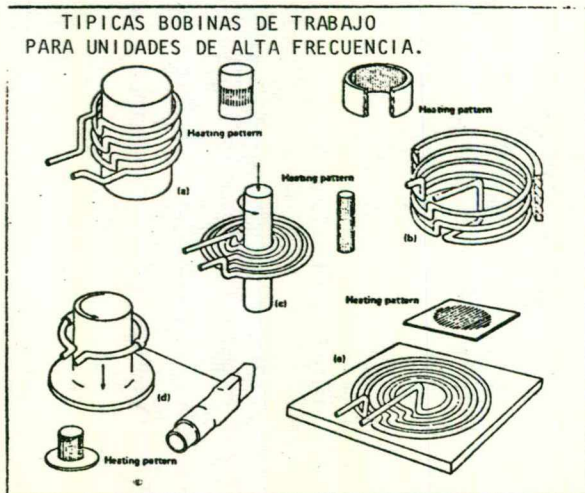
- A) Tamaño y configuración de la parte que se va a calentar,
- B) Tipo de temple a utilizar; ya sea un reposo o por avance, por avance y rotación helicoidal, o diente a diente.
- C) El número de partes que se vayan a calentar a un mismo tiempo.
- D) La cantidad de potencia disponible.

Existen cinco diseños básicos de bobinas de trabajo para usarse con unidades de alta frecuencia, que son las siguientes:

- A) Un selenoide simple para calentamiento externo.
- B) Una bobina para ser utilizada en el calentamiento de diámetros inferiores.
- C) Una bobina tipo placa para pastel, diseñada con el fin de proporcionar altas densidades de corriente en una banda angosta para aplicaciones en las que es necesario recorrer la superficie a lo largo.
- D) Una bobina de una sola vuelta para recorrer a lo largo una superficie giratoria, con un aditamento especial para ayudar a calentar el chaflán.
- E) Una bobina tipo "torta" para calentamiento localizado en un punto específico.

Las bobinas de tipo selenoide para calentamiento externo son más eficientes y deben ser usadas siempre que sea posible.

En la siguiente figura se muestran estos cinco tipos de bobinas y los esquemas por calor obtenidos de cada una de ellas.



En la fabricación de las bobinas puede emplearse tubo de cobre comercial, el cual debe ser bastante ancho para permitir en la bobina un flujo de agua adecuado.

El espesor de la pared de los tubos, así como el diámetro interno de los mismos depende de la frecuencia y de la densidad de potencia empleadas, siendo el espesor de 0.3 a 0.5 mm para alta frecuencia y de 1 mm aproximadamente para frecuencia media; el diámetro interno del tubo para utilizarse con baja potencia es de 3 mm, pero con frecuencias mayores va de 4.8 a 6.4 mm.

Las vueltas de la bobina normalmente están separadas de 1.6 a 2.4 mm. Además con una distancia de 1.6 a 3.0 mm entre la pieza a calentar y la bobina. Al variar esta distancia, la velocidad de calentamiento sufre grandes alteraciones. (Wanke, Sharamm, Nugent).

El inductor simple, de una sola vuelta, a menudo puede incluir un rociador con una serie de orificios por los que el medio de temple es dirigido al área calentada.

Este tipo de rociador puede utilizarse en el temple estacionario, realizándose casi simultáneamente el calentamiento y el enfriamiento; para el temple por avance resulta más conveniente la existencia de un ángulo en la dirección de los orificios rociadores, con el fin de sacar el medio de temple del inductor. Un ángulo de 30° resulta satisfactorio.

D) TIEMPO Y VELOCIDAD DE CALENTAMIENTO:

Después de que la frecuencia y la densidad de potencia han sido seleccionadas, la duración del ciclo de calentamiento se convierte en un valor fijo para un grupo específico de condiciones.

El ciclo de calentamiento se define como el tiempo empleado en llevar a la pieza de trabajo desde la temperatura ambiente, hasta la temperatura de endurecimiento, y de ésta al medio templante. En el endurecimiento por inducción, la duración del ciclo por lo general es bastante corta.

Para elevar la temperatura desde la ambiente hasta la de endurecimiento, el tiempo empleado es muy breve, puesto que para el temple superficial se encuentra en el orden de 6 a 10 seg., aumentando hasta 60 seg. para temple de piezas relativamente anchas.

Este tiempo está directamente relacionado con la potencia específica del material, la masa y volumen de la pieza y las temperaturas tanto inicial como final.

Debe tenerse estricto cuidado sobre el control de tiempo de calentamiento, ya que para tiempos de 10 seg. o menos, la tolerancia es de ± 0.1 seg.

Para tiempos superiores a 10 seg. pero inferiores a 60 seg. el control debe realizarse dentro de ± 0.2 seg. y para tiempos de calentamiento de 60 seg. dentro de una tolerancia de ± 1.0 seg. Este control se puede lograr empleando un Cronómetro o Cronomedidor de circuito múltiple adecuadamente operado y mantenido en buen estado.

De todo esto se deduce que la velocidad de calentamiento es muy elevada, ya que la pieza pasa de la temperatura ambiente a la temperatura de austenización en segundos; la velocidad de calentamiento no es uniforme puesto que es mayor en el intervalo de temperatura en el que el acero es magnético y decae al pasar el punto de curie en el cual el acero pierde sus propiedades de magnetismo; una rapidez promedio puede tomarse de 70 a 100°C por segundo.

El tiempo de permanencia es el intervalo entre el momento en que se corta la potencia y el tiempo en que el medio de temple hace contacto con la pieza de trabajo. Ordinariamente los tiempos de permanencia son extremadamente cortos, y en la mayoría de los casos no hay tiempo de permanencia, puesto que una ducha con el medio de temple entra en funcionamiento inmediatamente después de alcanzar la temperatura de endurecimiento deseada.

E) TEMPERATURA DE ENDURECIMIENTO:

Para aceros al carbono y aceros baja aleación que no contengan elementos formadores de carburos y que presentan una buena estructura, la temperatura de endurecimiento es por lo general 50°C mayor a la temperatura de transformación AC_3 obtenida por el método normal empleado por temple en horno; el aumento de temperatura compensa el tiempo de calentamiento que es muy breve.

Cuando en la composición del acero se encuentran presentes elementos que forman carburos, como cromo, molibdeno, vanadio y tungsteno, es necesario elevar la temperatura de endurecimiento hasta 200°C arriba de AC_3 ; el aumento exacto de temperatura depende del tamaño del ciclo de calentamiento, de los elementos presentes en la aleación, de los efectos que se deseen y de la dureza superficial que se requiera. Estas temperaturas más altas en la superficie tienen como finalidad obtener la adecuada solución de carburos en la austenita mediante ciclos de calentamiento muy cortos.

TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA ENDURECIMIENTO POR INDUCCION Y DUREZAS NORMALES DE SUPERFICIE ESPERADAS, PARA DISTINTOS METALES (a)

METAL	TEMPERATURA DE ENDURECIMIENTO		MEDIO DE TEMPLE (b)	DUREZA (c) HRC
	°C	°F		
Acero (Carbono y Aleación) (d)				
0.30% C	900-925	1650-1700	Agua	50
0.35	900	1650	Agua	52
0.40	870-900	1600-1650	Agua	55
0.45	870-900	1600-1650	Agua	58
0.50	870	1600	Agua	60
0.60	845-870	1550-1600	Agua	64
			Aceite	62
			Agua	64
	825-845	1500-1550	Aceite	62
Hierro Colado (e)				
Hierro Gris	870-925	1600-1700	Agua	45
Perlítico				
Maleable	870-925	1600-1700	Agua	48
Nodular	900-925	1650-1700	Agua	50
Acero Inoxidable (f)				
Tipo 420	1095-1150	2000-2100	Aceite o Aire	50

- a) Los metales arriba listados son característicos entre los que con toda eficacia se pueden endurecer por inducción. La lista es descriptiva, no exclusiva.
- b) La selección del medio de temple depende de la capacidad de endurecimiento del acero utilizado, del diámetro o sección cruzada del área calentada, de la profundidad y dureza requeridas, de la necesidad de minimizar la distorsión, y de la propensión a grietas de temple.
- c) Mínimo de endurecimiento de superficie, Rockwell C.
- d) Los grados de metales fáciles de fresado y las aleaciones con contenidos equivalentes de carbono pueden también ser endurecidas mediante inducción.
Los aceros de aleación que contienen elementos que forman carburo (cromo, molybdeno, vanadio, o tungsteno) deben ser calentados de 55° a 110°C (100° a 200°F) arriba de las temperaturas indicadas.
- e) El carbono combinado debe ser de 0.40 a 0.50% mínimo. La dureza variará de acuerdo a la cantidad presente de carbono combinado.
- f) Otros grados martensíticos de acero inoxidable, tipos 410, 416, y 440, han sido ya endurecidos mediante inducción.

G) ESTRUCTURA PREVIA

Para determinar el ciclo de calentamiento a ser usado, es importante tomar en cuenta la microestructura que presenta el acero antes de ser templado.

Los aceros que por temple fácilmente endurecen son aquellos que poseen una microestructura que tiende a austenizarse con facilidad.

Las microestructuras FERRITICO PERLITICAS, típicas de aceros rolados en caliente, normalizados y recocidos conteniendo 0.40 a 0.50% de carbono, responden aceptablemente al temple por inducción.

Los aceros que contienen más de 0.50% de carbono frecuentemente presentan microestructura esferoizada con el fin de mejorar su maquinabilidad; tales estructuras responden muy poco al endurecimiento por inducción.

Microestructuras con esferoizado grueso requieren temperaturas de endurecimiento de 165°C o más, arriba de la temperatura de transformación para redissolver los carburos y obtener un endurecimiento uniforme.

Estas altas temperaturas en la superficie pueden dar origen al crecimiento de tamaño de grano austenítico, a martesitas gruesas y a cantidades significantes de austenita retenida; todo esto afecta con un decremento en la resistencia a la fatiga.

H) MEDIO DE TEMPLE

La mayoría de los procesos de endurecimiento por inducción emplean agua como medio de temple. En algunos casos, se puede utilizar algún aceite de temple común; también, agua modificada con un polímetro orgánico, y ocasionalmente aire comprimido.

El medio de enfriamiento usado depende del tipo de temple, ya sea en reposo o por avance y de las consideraciones metalúrgicas requeridas.

AGUA: El agua es fácil de manejar, su instalación y mantenimiento son sencillos y generalmente es menos peligrosa que otros medios. No existen especificaciones rigurosas para el agua usada en sistemas de temple, únicamente que sea razonablemente limpia y que exista un adecuado suministro de la misma a temperatura controlada.

No debe utilizarse agua demasiado dura puesto que produce depósitos de sales en los orificios de temple y en las superficies expuestas al calor.

Generalmente los sistemas de temple se encuentran separados del suministro de agua por unidades de enfriamiento, puesto que es necesario tener un adecuado rango de temperatura y presión controlados.

Estos sistemas consisten en torres de enfriamiento, tanques, bombas e intercambiadores de calor. La presión requerida para el agua va de 30 a 85 PSI y la temperatura varía de 15 a 40°C.

SOLUCIONES DE ALCOHOL POLIGLICOLICO: Estas soluciones están formadas de mezclas de 1 a 20% de polímero orgánico en agua, y pueden usarse con magníficos resultados en el temple de partes para las cuales el acero seleccionado presenta un diagrama T - T - T en el cual, si se emplea aceite como medio de temple, éste no provee la rapidez necesaria en la velocidad de enfriamiento para rebasar el punto crítico en el diagrama y así obtener la microestructura y dureza requeridas. Y si se utiliza agua como medio, ésta origina en el material grietas de temple.

Estas soluciones presentan la ventaja de no ser inflamables, de no producir vapores venenosos y de no causar irritación en la piel.

ACEITE: En contraste con el peligro potencial de fuego que presenta su uso, el aceite como medio de temple se emplea en diversos casos con magníficos resultados.

El cambio de aceite por agua depende primordialmente del tipo de acero empleado, de la templabilidad que presente éste y si el tiempo de enfriamiento que le proporciona el aceite es el suficiente para lograr la dureza requerida. Como resultado de este cambio, se obtiene la eliminación de grietas de temple que se presentan al enfriar bruscamente en agua piezas de sección irregular como las ruedas dentadas y otros.

Las características de este tipo de aceite son muy importantes ya que deben de cumplir con una viscosidad apropiada y sobre todo con alta temperatura de inflamación e ignición.

Los sistemas de temple están formados por tanques de almacenamiento, bombas e intercambiadores equipados con controles automáticos; las presiones de temple varían de 205 a 620 KPA (30 a 90 PSI) y la temperatura de 25 a 65°C.

Ya que en los procedimientos con avance, avance y rotación o helicoidal, el inductor calienta sólo una parte de la superficie a templar, es necesario enfriar esa parte seguidamente por medio de un sistema de ducha con espreas. Entónces el flujo de aceite necesario va en relación al tamaño del espacio a endurecer, al diámetro de las espreas, a la velocidad de avance del inductor y al tamaño de capa endurecida requerida.

Debe tenerse en cuenta que la temperatura inicial del aceite debe ser de 25 a 30°C, y para mantenerla homogénea en el depósito, es necesario una agitación cuidando que el aceite no produzca espuma.

Al emplear aceite es necesario cuidar que el contacto entre él y la pieza caliente sea el mínimo para así evitar la evaporación, también una velocidad excesiva de rocío en la ducha con una cantidad insuficiente de aceite puede causar atomización o vaporización provocando así un peligro potencial de fuego.

Por todo esto los aceites no son el medio de temple más adecuado para el enfriamiento con sistema de espreas, por lo cual con el fin de disminuir los riesgos pueden emplearse aceites solubles en agua.

AIRE A PRESION

Ultimamente se ha empleado una modificación del "Autotemple", aplicada principalmente a pequeñas ruedas dentadas, tratadas por el método de avance. Esta técnica emplea aire comprimido como medio de temple a través de orificios con un sistema similar a las duchas usadas para líquidos.

El aire a presión se utiliza porque la acción de auto-enfriamiento del centro frío de la pieza, no proporciona la velocidad de temple necesario para obtener la dureza deseada.

AUTO TEMPLE

Existe una técnica especial de temple empleada algunas veces en piezas con bastante tamaño y masa, tales como ruedas dentadas y gruesas, piezas largas y anchas, etc. Se le nombra "Auto-Temple", porque la mayoría de el calor que existe en la superficie de la parte es absorbido rápidamente por la masa fría de metal que existe abajo de ésta por un proceso simple de transferencia de calor.

Este tipo de temple se debe emplear luego de asegurarse que el endurecimiento con algún medio líquido dará como resultado alta dureza, que no es necesaria, además de poder ocasionar grietas de temple.

Por lo regular este tipo de piezas están manufacturadas con acero de alta templabilidad, la cual aunada a la gran parte fría del centro de la pieza, da origen a la acción de temple que resulta de una pérdida del calor por radiación hacia el ambiente y un efecto de enfriamiento interno, esto produce una dureza superficial de aproximadamente 42 a - 47 HR"C".

REVENIDO

Al endurecer por Inducción una capa exterior poco profunda, el volumen de expansión asociado con la formación de martensita da origen a esfuerzos de compresión en la superficie y esfuerzos de tensión en el interior.

Los esfuerzos de tensión generalmente se originan en la parte donde termina la capa endurecida y comienza el núcleo. Los esfuerzos de compresión en la superficie son independientes de la aleación y del tamaño de capa.

El temple con aceite provoca esfuerzos más débiles que si se usara como medio de temple agua.

Luego de templear, la distribución final de esfuerzos no sólo depende de la expansión que acompaña a la martensita durante su formación, sino que en menor escala depende también de la deformación plástica localizada originada por la expansión térmica no uniforme debida al rápido calentamiento para alcanzar temperatura de temple y a la contracción no uniforme durante el enfriamiento a la temperatura donde se inicia la formación de martensita.

Por todo esto la distribución de esfuerzos obtenida depende de la velocidad de calentamiento, de la capa endurecida y del acero mismo.

Todos estos esfuerzos incluyendo los cercanos a la superficie pueden reducirse por medio del revenido.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS:

- 1.- La profundidad de la capa endurecida puede regularse con bastante exactitud.
- 2.- Se obtienen resultados uniformes y constantes.
- 3.- El tiempo total empleado es corto.
- 4.- La decarburización superficial es mínima.
- 5.- No se produce oxidación ni cascarilla.
- 6.- La deformación es pequeña.
- 7.- No es necesario mano de obra especializada.
- 8.- Los operarios no están expuestos a las molestias del calor.
- 9.- Los rechazos son escasos.
- 10.- Se puede intercalar fácilmente en una fabricación automática.

DESVENTAJAS:

- 1.- El costo de las instalaciones necesarias es elevado.
- 2.- Sólo resulta económico realizarlo para grandes volúmenes de producción.
- 3.- Este tipo de temple requiere formas de piezas relativamente sencillas.
- 4.- Sólo un limitado número de grados de acero puede ser endurecido por inducción.

COMPARACION ENTRE UN TEMPLE CONVENCIONAL Y UN TEMPLE POR INDUCCION

VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

El uso de equipo de calentamiento por inducción para endurecimiento, presenta muchas ventajas sobre el endurecimiento en horno, esto incluye al endurecimiento superficial. Algunas de esas ventajas son: no presenta decarburización superficial ni cascarilla, en muchas aplicaciones elimina atmósferas protectoras, mejora las condiciones de trabajo, el equipo de endurecimiento puede intercalarse fácilmente en la línea de producción, se adapta al manejo automático y mejora la calidad del producto.

Además, las partes de acero endurecidas superficialmente por inducción muestran generalmente baja deformación total o una más fácilmente controlable que la observada en las partes templadas en un horno convencional. Esta baja en la deformación es el resultado del soporte rígido dado por el centro frío del metal, del manejo individual y del calentamiento y enfriamiento uniformes. En el temple por avance la deformación se controla mejor, debido a que el calentamiento y enfriamiento se tienen en una estrecha banda de acero a la vez.

Pero en contraste, presenta también desventajas, siendo la más importante el alto costo de sus instalaciones, que sólo resultan rentables en el caso de que se tengan grandes volúmenes de producción y que la configuración de las piezas sea sencilla. Sin embargo el endurecimiento por inducción contribuye a salvar los costos de acuerdo a los siguientes puntos:

- A) Sustituye el acero al carbono por aceros aleados.
- B) Incrementa la producción.
- C) Reducción de mano de obra calificada.
- D) Eliminación de una operación de maquinado.
- E) Eliminación de la operación de enderezado.
- F) Incorporada a la línea de producción.
- G) Menor manejo de materiales.
- H) Automatización en la operación de endurecimiento.
- I) Menor equipo de mantenimiento
- J) Ocupa menos espacio.
- K) Menor consumo de energía por pieza.
- L) Menor inspección.
- M) Reduce cantidad de piezas de desecho.

Al tomar en cuenta el costo de endurecimiento por inducción, debemos ubicarlo en dos categorías:

- 1.- Donde el endurecimiento por Inducción es la única solución al problema, debido a requerimientos especiales y el costo es secundario.
- 2.- Donde el endurecimiento por inducción compite con otros métodos de tratamiento térmico y el costo es importante.

DEFECTOS

Podemos definir como defectos a las imperfecciones en el temple; éstos son: Sobrecalentamiento, baja dureza y grietas.

Los fenómenos de sobrecalentamiento requieren de:

Un avance demasiado pequeño, una duración de calentamiento excesiva o de la existencia de una reducida distancia entre la superficie de la pieza y la bobina. Debe tomarse en cuenta que las piezas a calentar por inducción no deben presentar aristas ni vértices agudos, porque éstos se sobrecalientan antes.

La baja dureza puede atribuirse a diversas causas, tales como:

- A).- Utilización de un acero con menor contenido de carbono que el adecuado para lograr la dureza establecida.
- B).- Contenido de carbono más bajo del especificado, como resultado de la decarburización de la superficie antes del endurecimiento por inducción. Ya que este tipo de endurecimiento no origina una decarburización apreciable debido al corto tiempo de calentamiento que emplea.
- C).- Temperatura o tiempo inadecuado o ambos a la vez. Estos factores pueden provocar una transformación austenítica incompleta antes del temple que dará por resultado un endurecimiento bajo y una mezcla final de microestructuras. EL efecto de la temperatura y tiempo es más evidente al emplear aceros aleados que contienen elementos formadores de carburos y aceros con microestructuras previas inapropiadas.

D).- Una velocidad de enfriamiento demasiado pequeña y una viscosidad de medio de temple escasa, producen zonas blandas.

Estas zonas pueden también ser consecuencia de un movimiento poco intenso de la pieza en el medio de temple.

E).- Condiciones de temple insatisfactorias. Si el medio de enfriamiento presenta su temperatura mayor a lo requerido, ocasionará una dureza baja e irregular; esto puede también deberse a una baja de presión en el agua o aceite. Los orificios de temple tapados por mal filtrado del medio también pueden traer problemas.

F).- Algunos aceros rolados en caliente pueden presentar distintas microestructuras debido a la deformación no uniforme durante el rolado en caliente. Aunque estas estructuras son deformadas linealmente durante el rolado en caliente, al enfriarse muestran una especie de espirales, debidas a la decarburización superficial en la dirección en que fueron rolados.

Después de temprar este material se encuentran durezas altas y bajas al checar alrededor del diámetro. Un examen a lo largo por diámetro mostrará que estas bajas de dureza poco a poco se convierten en espirales.

En el endurecimiento por inducción algunas piezas se agrietan durante el temple; las grietas son originadas por esfuerzos residuales y las fuerzas que originan la deformación. Esto se debe a que dichas piezas presentan grandes discontinuidades en su configuración y esto las hace particularmente propensas a fracturarse.

En piezas con configuración continua las grietas, pueden ser originadas por varios factores, tales como, uso del medio de temple inadecuado, tipo de acero, temperatura y otros.

Para CHRYSLER DE MEXICO, S.A. el proceso de producción de la barra de balanciones V-8 es el siguiente:

PASO DEL PROCESO:

1.- Inspección de recibo de la materia prima

Mat. Prima: Tubo de acero sin costura

SAE 1035 normalizado.

2.- Seccionado del material.

3.- Rebabeo de los extremos de la barra.

4.- Rectificado burdo en el diámetro exterior de la barra.

5.- Careado de lados frontales.

6.- Barrenado y rimado de la caja para el alojamiento del tapón.

7.- Manufactura del chaflán ranura para seguro.

8.- Taladro de barrenos

4 de (3/8)" de \emptyset 9.525 mm

1 de (11/32)" de \emptyset 8.73125 mm

8 de (3/16)" de \emptyset 4.7625 mm

9.- Rebabeado interior y exterior.

10.- Tratamiento Térmico.

Endurecimiento por inducción a un mínimo de 48 HR"C" superficial, y a una profundidad de 0.020" 45 HR "C", en las zonas previamente marcadas.

Condiciones:

- Voltaje: 3X440 Volts \pm 5%
- Densidad de potencia: 8-12 KW/in²
- Frecuencia: 180 KHZ.
- Tiempo de calentamiento: 56 seg. total para la barra.
- Temperatura de endurecimiento: 850-900°C
- Medio de Temple: Agua
- Consumo de agua: 18 lts/min. recirculable.
- Presión del medio de temple: 2.5-4.0 atm.
- Velocidad de rotación del centro: 260/520 RPM

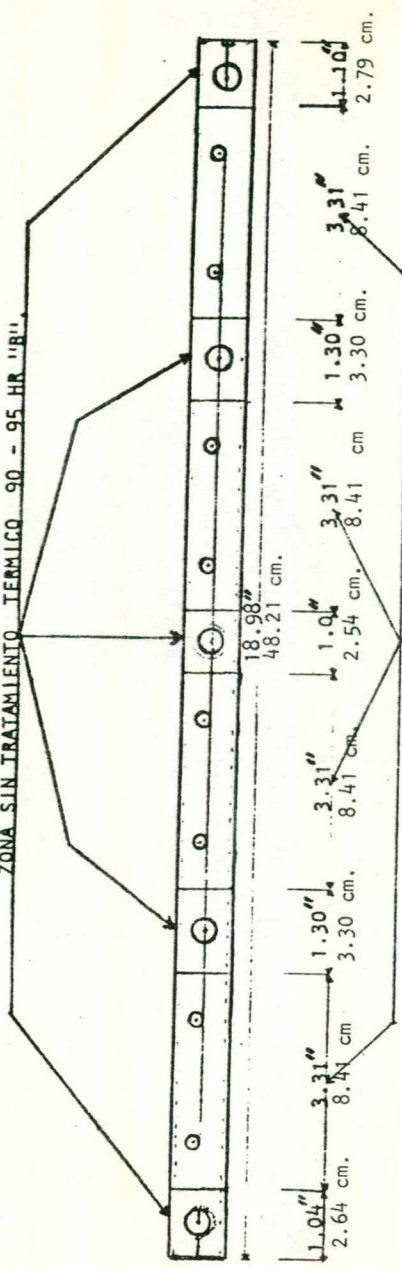
11.- Enderezado.

12.- Rectificado final del diámetro exterior.

13.- Fosfatado (de ?).

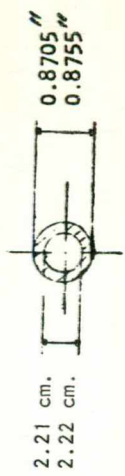
14.- Taponeado.

ZONA SIN TRATAMIENTO TERMICO 90 - 95 HR "RI"



1.04" 2.64 cm.
 3.31" 8.41 cm.
 1.30" 3.30 cm.
 3.31" 8.41 cm.
 1.04" 2.54 cm.
 3.31" 8.41 cm.
 1.30" 3.30 cm.
 3.31" 8.41 cm.
 1.10" 2.79 cm.
 18.98" 48.21 cm.

ZONAS TEMPLADAS POR INDUCCION



2.21 cm.
 2.22 cm.

En todas estas operaciones el Departamento de Control de Calidad verifica de la manera siguiente:

A.- Inspección de recibo de la materia prima.

- a) Los tubos no presentan óxido superficial.
- b) Diámetro exterior de 0.878" a 0.880" en todo el rededor y a lo largo.
- c) Espesor de la pared de 0.136" a 0.160"
- d) No presente defectos superficiales de más de 0.007" de profundidad.
- e) Que la microestructura corresponda a un acero SAE 1035 normalizado.
- f) La composición química se encuentre dentro de tolerancias.
- g) El tamaño de grano sea de 5-8 según ASTM E-112
- h) Contenido de inclusiones de acuerdo a ASTM E-45 debe ser de A1.
- i) En la prueba de templabilidad realizada previo rectificado a medida adecuada, los valores de dureza encontrados no deben ser menores de 48 HR"C".

Para las siguientes operaciones se toman al azar 3 barras cada hora; excepto en el tratamiento térmico en donde la frecuencia es de cada media hora.

B.- Seccionado del material.

- a) Verificar longitud de 18.970" - 18.990"

C.- Rectificado burdo en el diámetro exterior.

a) Diámetro de 0.875" min.

D.- Barrenado y rimado de la caja para el alojamiento del tapón.

a) Diámetro del rimado: 0.618" - 0.621"

b) Profundidad del rimado: 0.290" - 0.310"

c) Chaflán: 0.030" X 45°

E.- Manufactura del chaflán ranura para seguro.

a) Ancho de la ranura: 0.108" - 0.128"

b) Profundidad: 0.180" - 0.200"

c) Perpendicularidad y excentricidad no mayor de 0.020"

F.- Taladro de barrenos

a) Verificar distancia de los barrenos a un punto de referencia.

b) Diámetro de barrenos.

c) Centrado de los barrenos.

NOTA: Para facilitar esto se cuenta con un calibrador adecuado.

G.- Rebabeado interior y exterior.

a) Verificar que las barras no tengan rebabas en los barrenos.

b) Los barrenos no hayan sido maltratados con la fresa de limpieza.

c) El interior de la barra esté libre de rebabas.

H.- Tratamiento térmico. Temple por Inducción:

- a) La localización y la longitud de las zonas endurecidas sean las correctas.
- b) La dureza superficial no sea menor de 48 HR"C" en todas las zonas templadas.
- c) Al realizar el análisis metalográfico la dureza superficial sea el equivalente a 48 HR"C" como valor mínimo, y que la capa resultante de este tratamiento tenga una penetración mínima de 0.010" y máxima de 0.020". En este extremo la dureza no será menor de 45 HR"C".

I.- La microestructura de la capa sea de martensita, en una proporción no menor del 90%

J.- Enderezado

- a) La excentricidad de la pieza no será mayor de 0.010"

K.- Rectificado final del diámetro exterior.

- a) Diámetro final de 0.870" - 0.875" como valores extremos.
- b) No debe presentar rayaduras críticas que alteren el valor especificado de microacabado después del fosfato.

L.- Fosfatado

- a) Acabado final de 75 micro pulgadas.

M.- Taponeado

a) Los tapones estén bien ensamblados.

Costo de la barra en 1982

\$160.50 ciento sesenta pesos 50/100 para planta.

ORIGEN DEL PROBLEMA

El problema tiene su inicio en la materia prima empleada, tubo de acero SAE 1030 decarburizado superficialmente en forma total y parcial.

Esta decarburización se debe a la deformación no uniforme durante el rolado en caliente y se presenta a lo largo de la superficie en forma de espirales. La decarburización superficial total va de 0.004" - 0.008" y la parcial hasta 0.020"; la microestructura presenta 72% ferrita y 28% perlita, el contenido de carbono es de 0.26 - 0.28% obtenido por método gasométrico, el tamaño de grano va de 6 a 7. En estas condiciones se encuentran aproximadamente el 70% de los tubos y mezclados con ellos el 30% restante se encuentra de la siguiente manera:

Ferrita 87%, perlita 13%, decarburización total de 0.013" a 0.014".

Al templar este material en condiciones normales de proceso se obtienen durezas superficiales de 32 a 42 HR"C" que son muy bajas comparadas con la especificación de 48 HR"C".

Y en la microestructura se encuentran zonas de gran tamaño de ferrita libre acompañadas de martensita (en una matriz martensítica). La deformación en espiral se obtiene al determinar la dureza por diámetros consecutivos.

Una vez ubicado el problema se procederá a buscar alternativas para resolverlo.

ALTERNATIVAS PARA RESOLVERLO

1.- RECHAZAR EL MATERIAL.

Una vez encontrado el material fuera de especificaciones lo ideal es rechazarlo y lograr que el proveedor envíe material de buena calidad. Pero en este caso no puede hacerse puesto que dichos tubos son todos los que hay en existencia en el mercado nacional y el único proveedor de tubo no tiene promesa de entrega cuando menos en 6 meses e importar tubo implica tiempo, aproximadamente 3 a 4 meses.

Por todo esto se tiene que buscar una solución con el fin de cubrir la producción de motores de cuando menos 4 meses aproximadamente.

2.- ALTERAR EL PROCESO DE MANUFACTURA.

(DOBLE RECTIFICADO)

En condiciones normales, la barra es rectificada a tolerancia luego de templada, esta alternativa consiste en rectificar la barra antes de temprar lo más cercano al diámetro exterior especificado, con la finalidad de eliminar al máximo la decarburización superficial, luego temprar y llevar a cabo el rectificado final, dejando la barra en el diámetro exterior mínimo especificado.

Para llevar a cabo este proceso se mantuvieron constantes todos los factores que intervienen en el proceso excepto la frecuencia que se bajó a 160 KHZ, dando como resultado un aumento en la capa endurecida.

Los resultados obtenidos no fueron satisfactorios, puesto que el doble rectificado no alcanzó a desaparecer totalmente la decarburización superficial y además permanecen las zonas con decarburización parcial, dando como resultado del temple una mezcla de microestructuras: Martensita acompañada de zonas de ferrita libre, en menor proporción que en el templeado inicial. La dureza superficial así lograda es de 42.5 44 HR"C" a 0.003" de la superficie de 47 HR"C", luego baja a 44 HR"C"

Se corrió un lote piloto de aproximadamente 100 piezas encontrándose con los resultados antes mencionados, se realizó prueba funcional en dinamómetro dando como resultado desgaste en la barra originando desajuste en el tren de válvulas y por consiguiente ruido en el motor.

El costo de la barra así trabajada aumenta 15% por el doble rectificado.

3.- AUMENTO EN LA SEVERIDAD DEL MEDIO DE TEMPLE.

Esto consistió en cambiar el agua como medio de temple a salmuera, cuidando de no aumentar la severidad demasiado para no ocasionar grietas al enfriar el material, todo esto con el fin de lograr una transformación martensítica total.

Para esto también únicamente se varió la frecuencia, bajándola de 180 KHZ a 150 KHZ dando así oportunidad de una penetración mayor de calor en el material antes de templearlo. Como resultado aumentó la capa endurecida, pero permaneció la capa blanda debido a la decarburización. Siendo mayor el espesor de la capa con dureza baja y basada en el resultado de la prueba funcional anterior, ya no se sometió a dinamómetro.

Además presentaba otro problema, la aparición de incrustaciones en la tubería de la máquina debido a la sal que quedaba al evaporarse el agua. Este método no es efectivo.

El costo de la barra aumenta un 5% por este método.

4.- DOBLE TEMPLE

Consiste en someter a temple las barras ya templadas o sea partir de una microestructura martensítica previa. Para esto se requiere bajar el tiempo de calentamiento de ser de 56 segundos total para templear la barra a 50 segundos y además bajar aún más que en los procesos anteriores la frecuencia hasta 130 KHZ dando así mayor oportunidad de penetración al calor. Los resultados obtenidos son una capa endurecida de aproximadamente 0.050" y dureza superficial de - - 34 HR"C", a 0.005" de 48, a 0.007 de 49, luego baja a 46 y así permanece hasta los 0.052 en que se obtienen 39 HR"C". Al someter estas barras a prueba funcional presentaron el mismo problema que la primera alternativa.

El costo de la barra sometida a este proceso aumenta en 20% debido al doble gasto de energía eléctrica y mano de obra.

5.- RECARBURIZADO DE LA BARRA

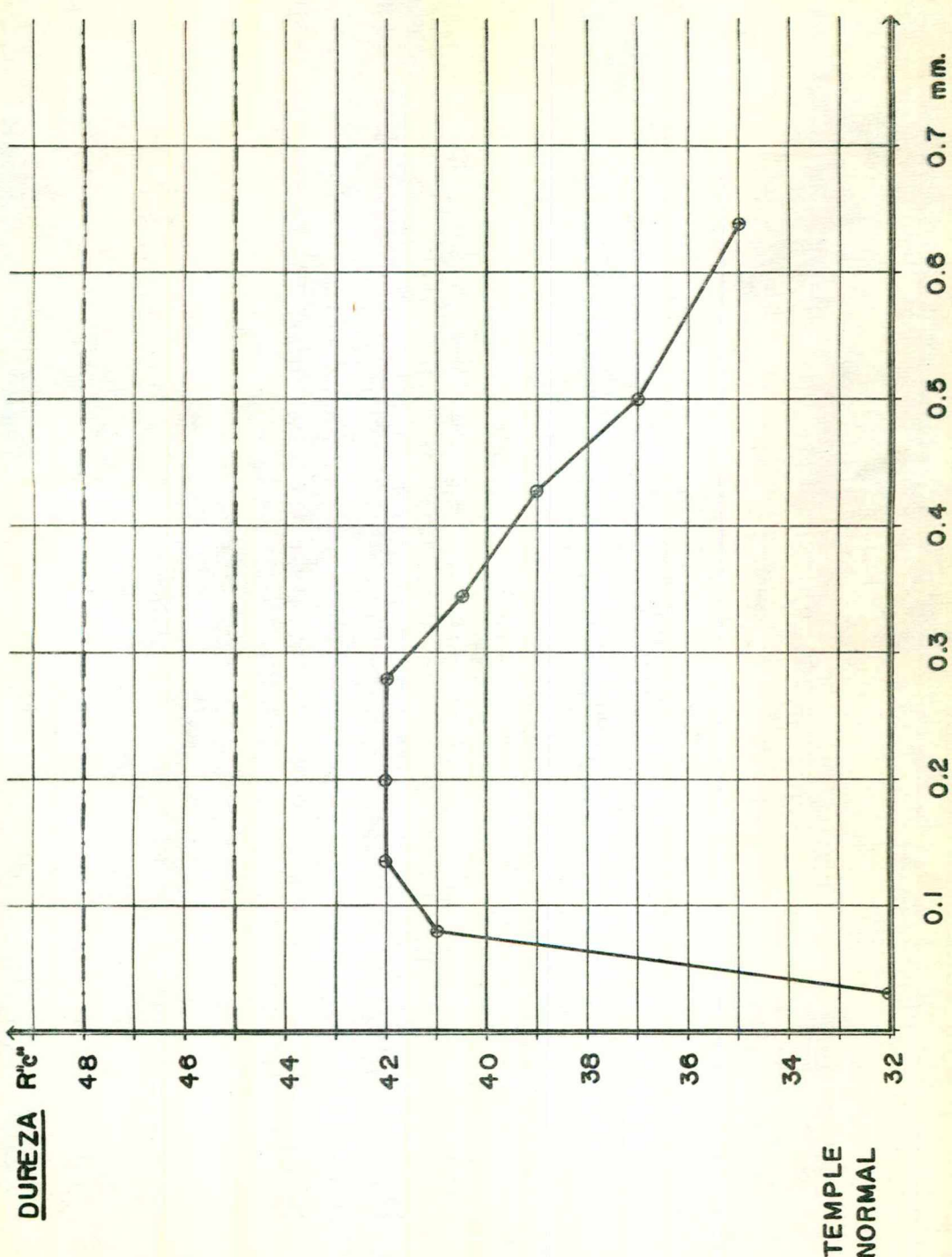
Esta opción consiste en recarburizar la barra de 0.010" a 0.012" antes del endurecimiento por inducción, con el objeto de eliminar la decarburización superficial y lograr la dureza requerida.

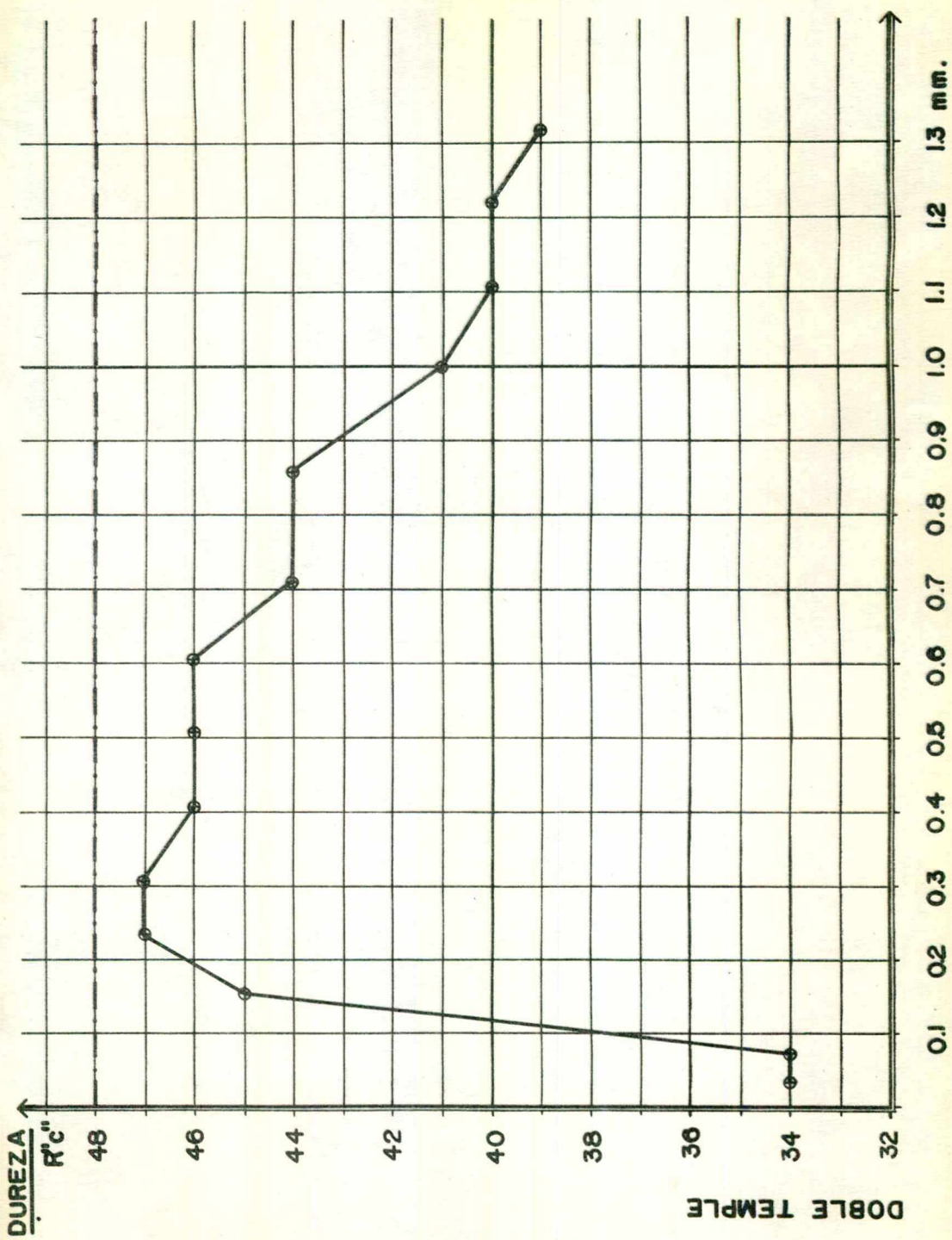
Los resultados obtenidos son una dureza superficial de 58 a - - 59 HR"C", y en la penetración de la capa endurecida la dureza fue de 45 HR"C" a 0.016", presentando una microestructura martensítica con un mínimo de austenita retenida.

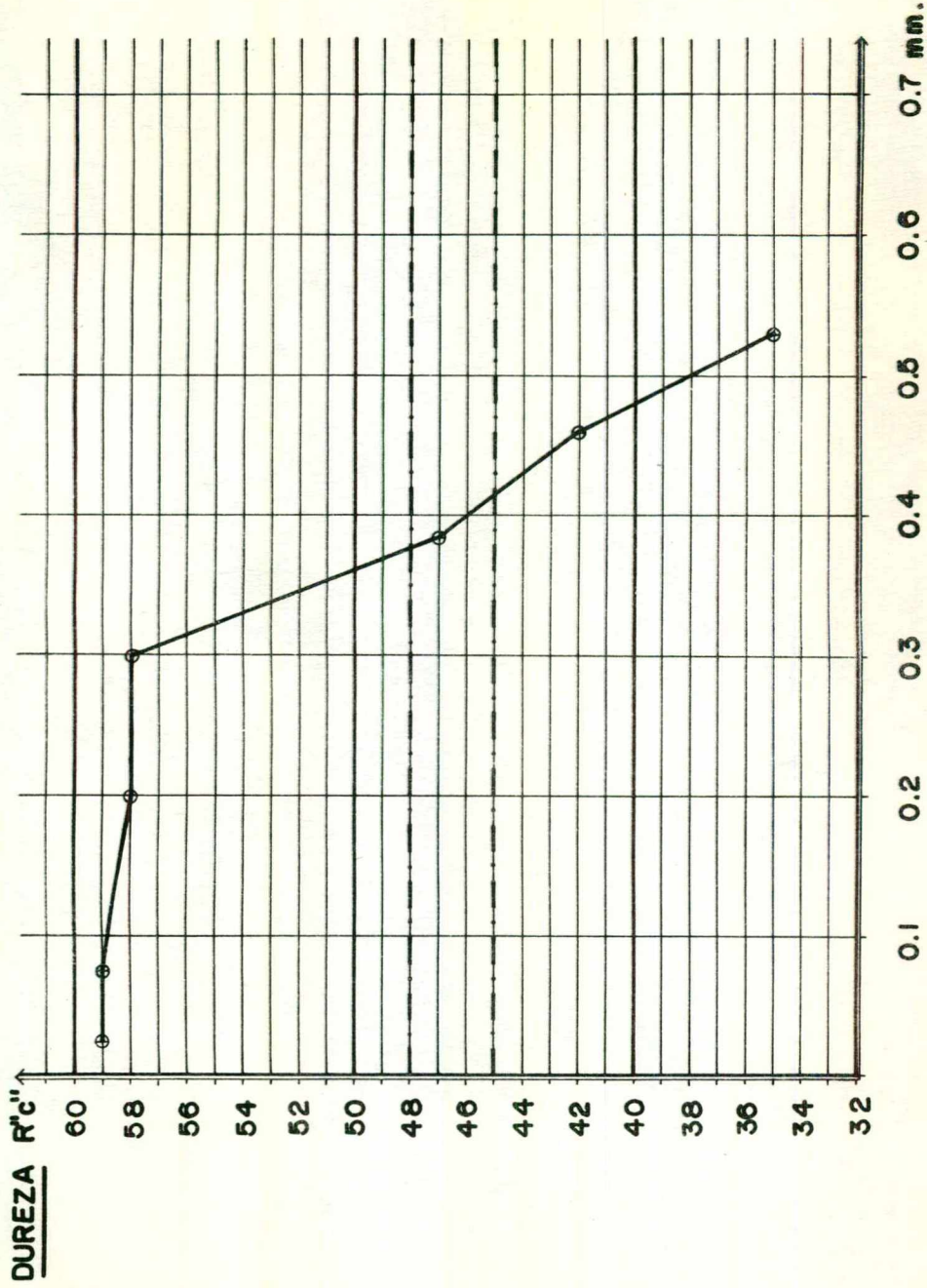
Para templar la barra en estas condiciones y evitar un aumento en la penetración de la capa, fue necesario aumentar la frecuencia, trabajándola en un rango de 190 a 200 KHZ, y la velocidad de temple se incrementó en un 20%.

Esta alternativa resulta efectiva y confiable, ya que elimina la decarburización en la materia prima y favorece la resistencia al desgaste debido a la dureza obtenida.

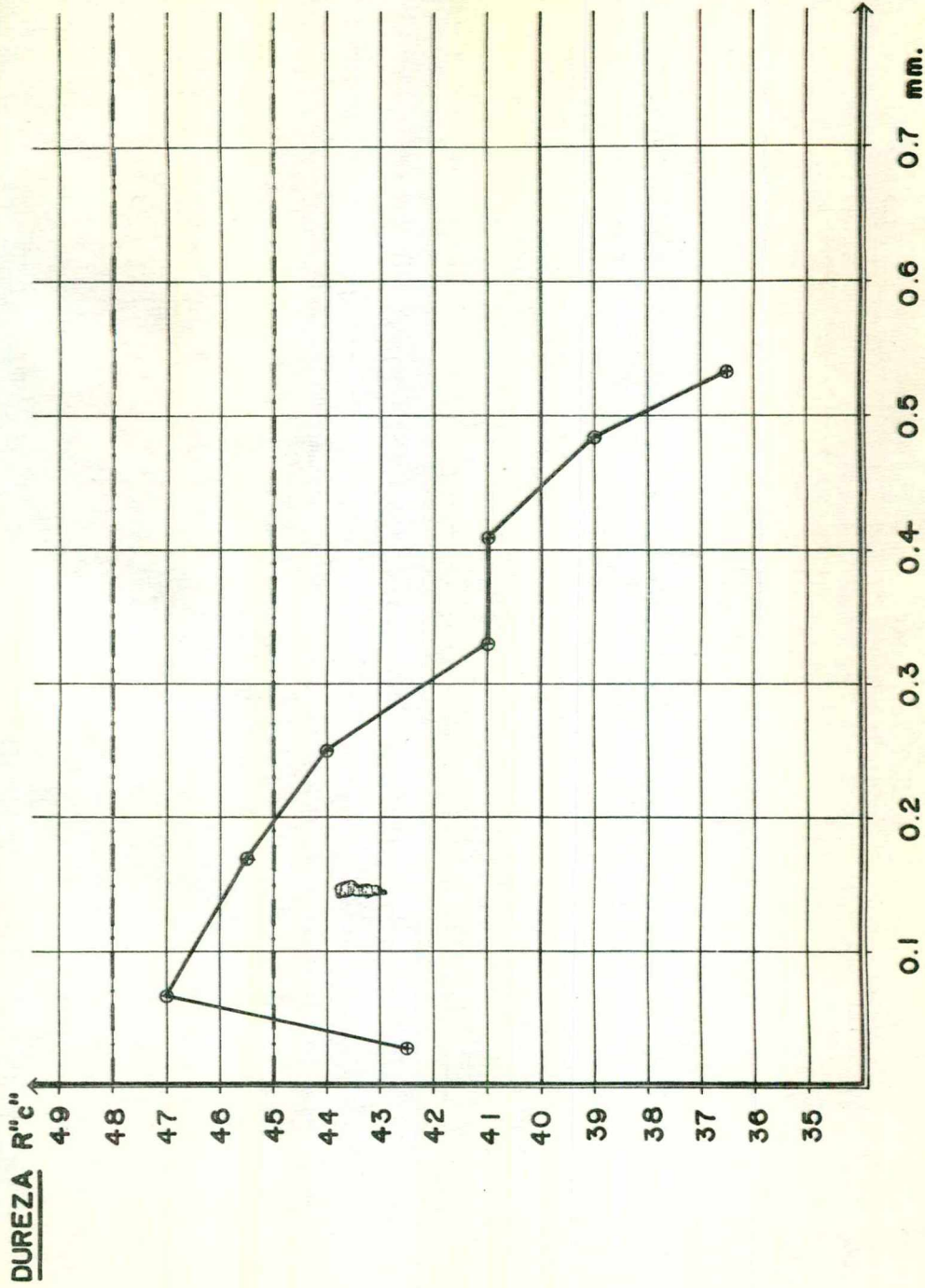
El costo de la barra ya recarburizada y templada aumenta un 35%



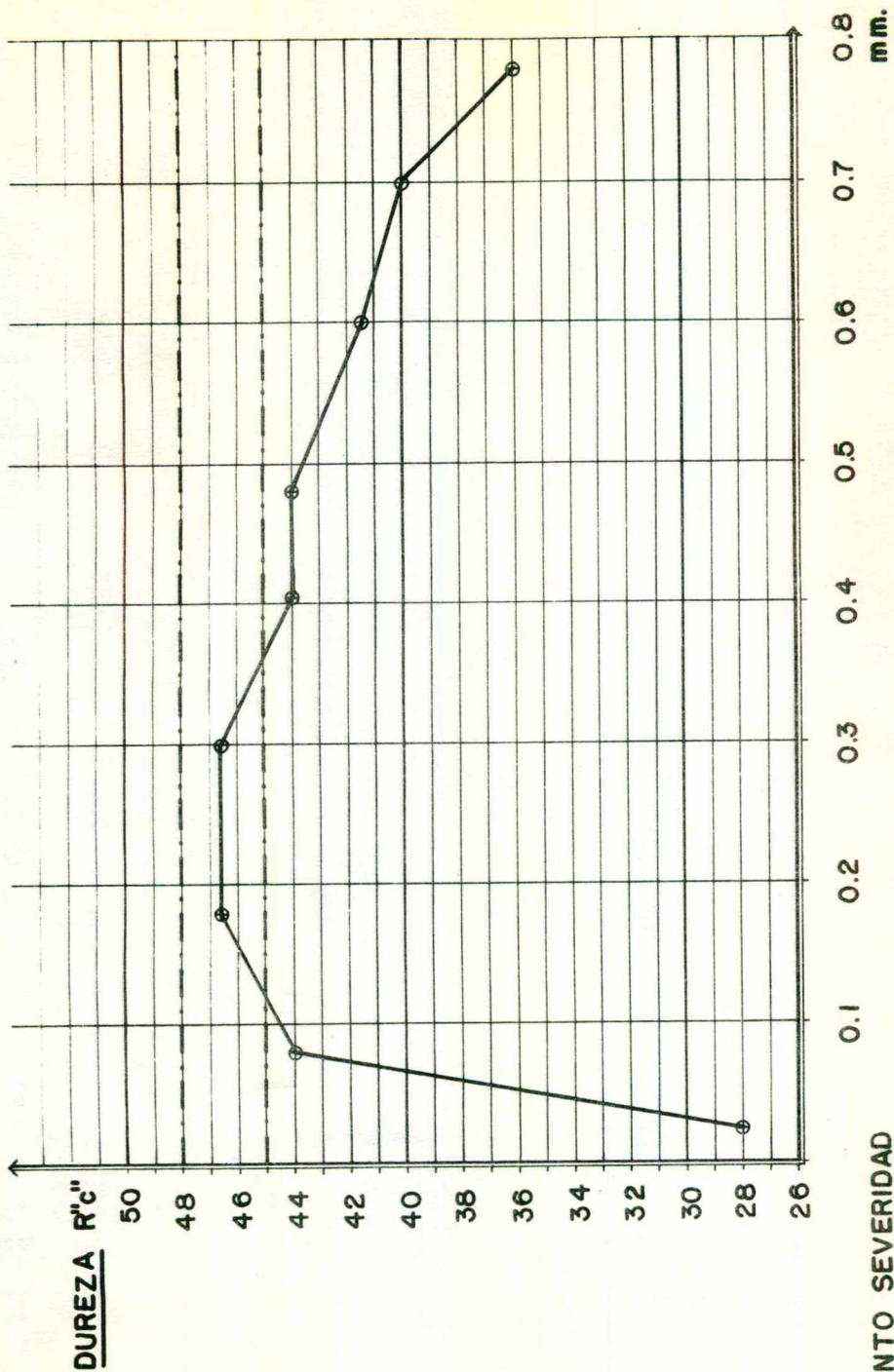




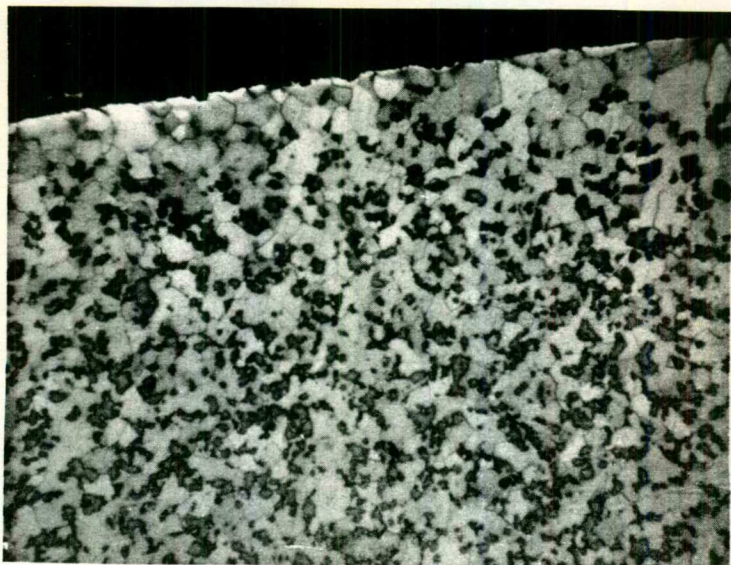
RECARBURIZADO



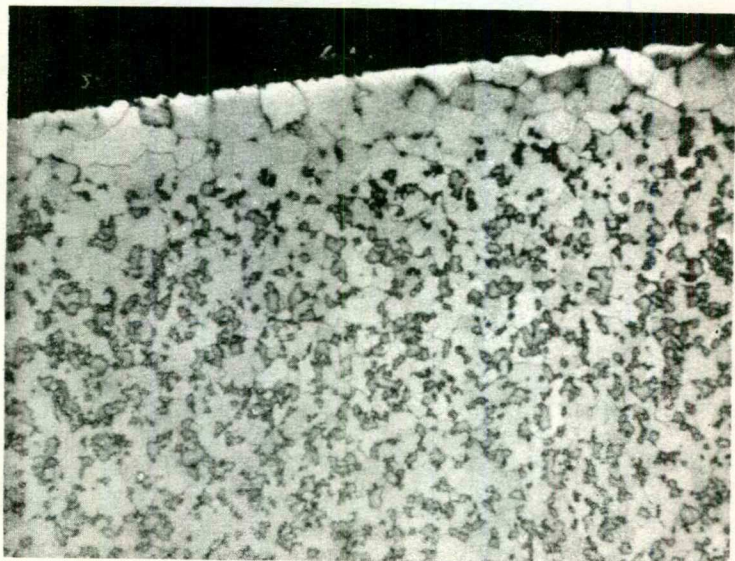
DOBLE RECTIFICADO



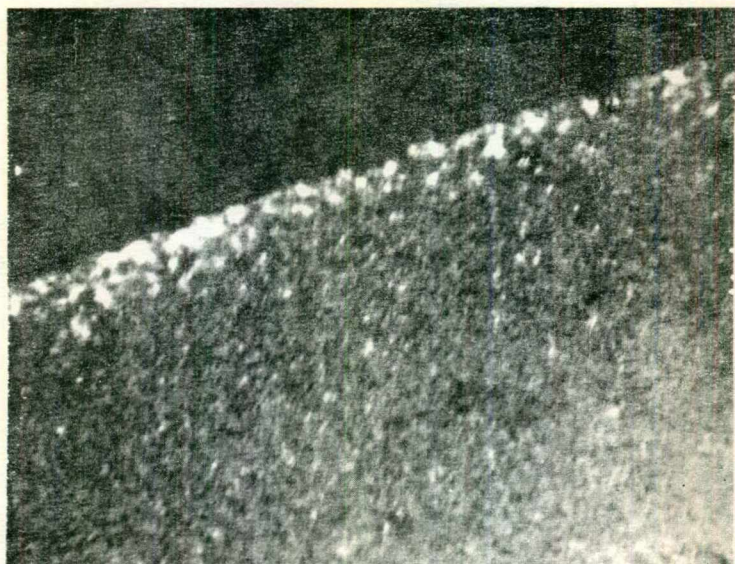
AUMENTO SEVERIDAD
MEDIO DE TEMPLE



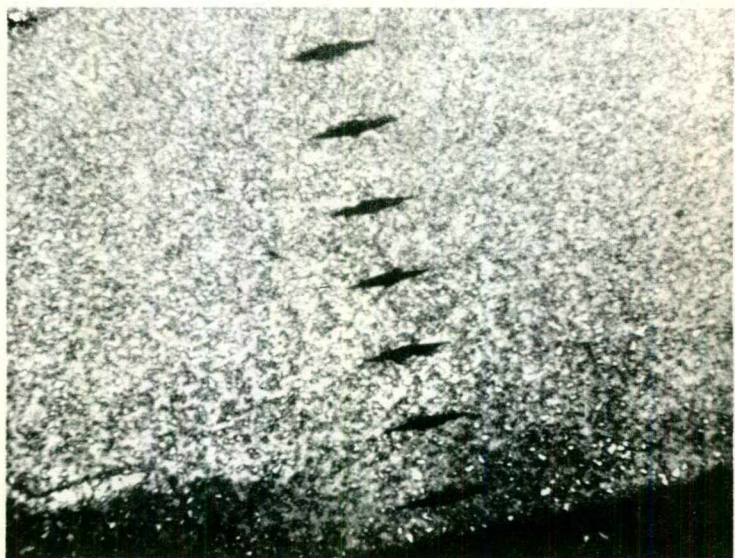
No. 1



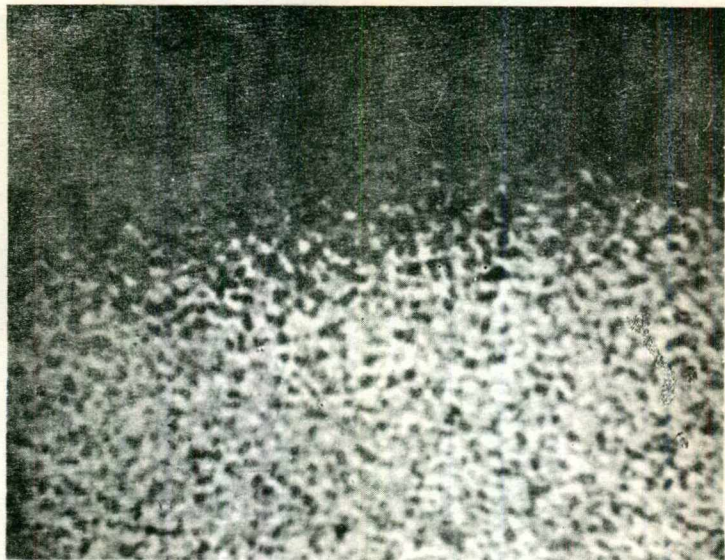
No. 2



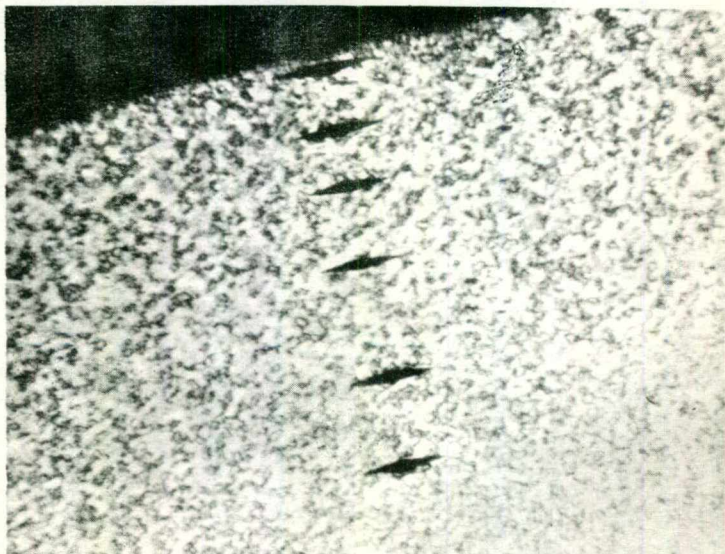
No.3



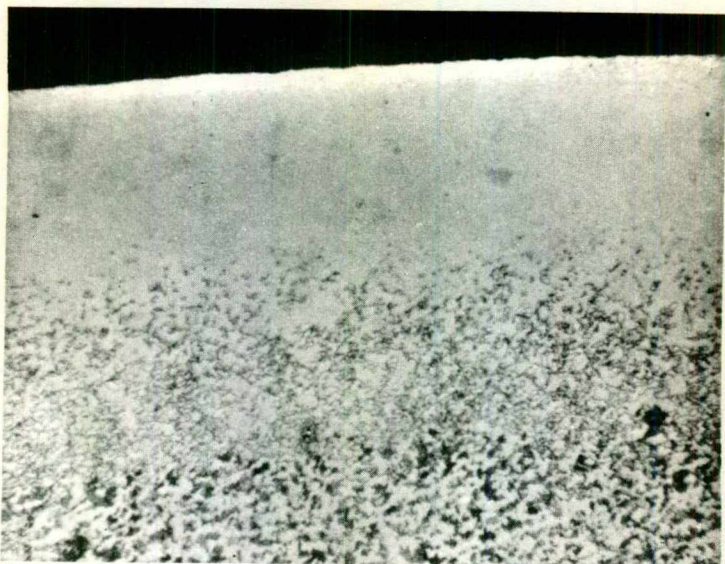
No.4



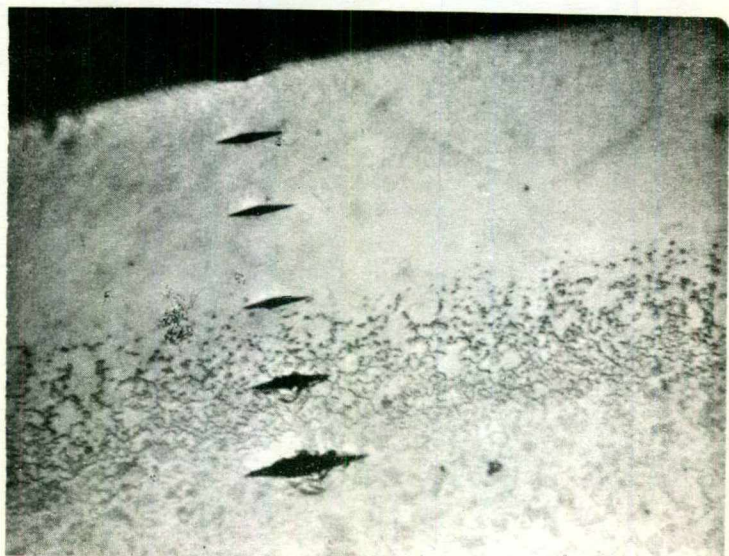
No. 5



No. 6



No. 7



No. 8

DESCRIPCION DE FOTOGRAFIAS

No. 1 y No. 2

100 X

Ataque: Nital 5%

Estas fotografías corresponden a la materia prima.

Presenta una microestructura ferrítica - perlítica acompañada de la decarburización superficial, origen del problema.

No. 3

100 X

Ataque: Nital 5%

La fotografía corresponde a la materia prima con el tratamiento térmico normal.

La microestructura presenta martensita acompañada de ferrita libre.

No. 4

100 X

Ataque: Nital 5%

Corresponde a la alternativa del doble rectificado.

Presenta martensita con ferrita libre.

No. 5

100 X

Ataque: Nital 5%

Corresponde a la alternativa de aumentar la severidad del medio de temple; presenta también martensita acompañada de ferrita libre.

No. 6

100 X

Ataque: Nital 5%

Esta, corresponde a la alternativa del doble temple.

Se aprecia el aumento de la capa templada. Presenta la microestructura similar a la fotografía anterior.

No. 7 y 8

100 X

Ataque: Nital 5%

Corresponden a las barras recarburizadas. Se ve claramente la capa de martensita y la microestructura ferrítico-perlítica que conserva el núcleo.

- Al analizar a fondo el problema se encontró que la causa de la baja en la dureza era la decarburización superficial de la materia prima; lo cual comprobó nuestra primera hipótesis.
- En base a esto, para ocasiones posteriores debe tomarse en cuenta el no utilizar para la manufactura de estas barras material deformado en caliente, puesto que ésta fue la causa de la decarburización superficial.
- La primera opción representa una forma fácil y utópica de resolver el problema, puesto que éste era el único material disponible.
- Las tres opciones siguientes no tuvieron mayor complicación en su realización, ya que las alteraciones que tienen con respecto al proceso normal fueron fácilmente realizables en planta, aunque los resultados no fueron satisfactorios.
- La quinta opción constituye la más adecuada forma de resolverlo y se llevó a efecto aproximadamente durante cinco meses, después de los cuales se obtuvo materia prima en excelentes condiciones.
- Los resultados obtenidos en la quinta alternativa confirman la segunda hipótesis planteada.

- A partir de los resultados obtenidos se propuso un cambio en las especificaciones, utilizar tubo de acero SAE 1045 en lugar de SAE 1035, con lo cual se asegura un gran margen de seguridad en la dureza especificada.

- El metalúrgico actual debe mantenerse siempre en continua evolución e informado de los avances en el campo que le compete, puesto que actualmente el problema aquí planteado presenta una nueva alternativa que es el nitrurado, proceso que desde hace once meses se encuentra ya en nuestro país.

- Por último debemos tener en cuenta que al tratar de resolver cualquier problema no debemos temer cometer errores, pues son éstos los que nos ayudan a progresar.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- ASM COMMITTEE ON INDUCTION HARDENING.
INDUCTION AND FLAME HARDENING.
1979.
- 2.- A.P.Guliãev
METALOGRAFIA TOMO 1
E.D. MIR.
Moscu 1977.
- 3.- R.J. KASPER
INDUCTION HEATING SYSTEM DESING
Paper No. EPH-WED 3
Cleveland, Ohio.
- 4.- Ed. Nugent
INDUCTION HARDENING
Canadian Metalworking
Feb. 1961.
- 5.- H.B. OSBORN Jr.
SURFACE HARDENING BY INDUCTION HEAT
... Its Metalurgical Aspects.
METAL PROGRESS Dic. 1955.
- 6.- N. STEVENS
INDUCTION HARDENING AND TEMPERING
General signal corporation (paper).
- 7.- TOCCO
Basic Principles of Induction Heating
Park Ohio Industries
Cleveland Ohio, 1973.
- 8.- Wanke - Schramm
TEMPLE DEL ACERO
Ed. Aguilar
España 1972.