

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO SOBRE LA VARIACION DE LAS
PROPIEDADES MECANICAS DE LOS ACEROS; 1045,
4140 Y 8620. CON DIFERENTES CICLOS TERMICOS

9

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Ingeniero Químico Metalúrgico
P R E S E N T A

CARLOS ALBERTO ALBARRAN LUNA

MEXICO, D. F.

1974



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

Tesis

DE 1974

ICHA

DE 1178



QUIMICA

H. J U R A D O:

PRESIDENTE Ing. FERNANDO MALDONADO MENDOZA
VOCAL Ing. KURT H. NADLER GUDEISHEIMER
SECRETARIO Ing. JOSE CAMPOS CAUDILLO
PRIMER SUPLENTE. Ing. ENRIQUE MARTINEZ MARTINEZ
SEGUNDO SUPLENTE Dra. DORA KALB. DE GRINBERG

Sitio donde se desarrolló el tema :

FACULTAD DE QUIMICA
CIUDAD UNIVERSITARIA. D.F.

SUSTENTANTE

CARLOS ALBERTO ALBARRAN LUNA

ASESCR

Ing.
FERNANDO MALDONADO MENDOZA



Elenita y Amorig.

Si de algo pudiera estar orgulloso seria de mis padres, que para mi es lo mejor que me pudo dar la vida.

Les dedico este trabajo, que simboliza la culminación de un sin numero de esfuerzos que sin su ayuda no se hubieran realizado.

Con el más profundo cariño y agradecimiento que un hijo pueda tener para con sus padres

Carlos

A mis queridos hermanos:

Ricardo, Rosa Elena y paco

A mi esposa Cristina, con amor.

A mis maestros.

Al Ing. Humberto Malagon Romero.

A mis amigos

I N D I C E

| | Pág. |
|--|------|
| CAPITULO I. INTRODUCCION | 5 |
| CAPITULO II. TRATAMIENTOS TERMICOS | |
| A) Definición | 6 |
| B) Descripción general del diagrama Hierro-Carbono | 7 |
| 1.- Austenita | 7 |
| 2.- Ferrita | 7 |
| 3.- Cementita | 8 |
| 4.- Perlita | 8 |
| C) Enfriamiento en el equilibrio. | 9 |
| D) Enfriamiento fuera del equilibrio | 9 |
| 1.- Perlita fina | 10 |
| 2.- Martensita | 10 |
| 3.- Bainita | 11 |
| E) Tiempo y temperatura en la transformación de la austenita | 11 |
| F) Tratamientos térmicos más usados | 15 |
| 1.- Temple | 15 |
| a) Procesos de enfriamiento en el temple de los aceros | 15 |
| b) Elección del medio de temple. | 16 |
| c) Método de enfriamiento más empleado en el temple | 16 |
| d) Templabilidad | 19 |
| e) Diversos métodos para estudiar el comportamiento de los aceros en el temple | 20 |
| f) Diametro critico ideal | 21 |
| g) Ensayo jominy | 22 |
| 2.- Normalizado | 24 |
| 3.- Recocido | 27 |
| a) De austenización completa | 27 |
| b) De austenización incompleta | 27 |
| c) Recocido subcritico | 28 |
| d) Velocidad de enfriamiento y uniformidad de la temperatura | 29 |
| 4.- Revenido | 30 |
| CAPITULO III. TECNICAS EXPERIMENTALES | 35 |
| A) Equipo, materia prima y técnicas metalograficas | 35 |
| B) Características generales de los aceros 1045, 4140 y 8620 | 36 |

| | | |
|---------------|---|----|
| | C) Analisis Quimico | 39 |
| CAPITULO IV. | PARTE EXPERIMENTAL | 40 |
| | A) Probetas de acero 4140 | |
| | Primera etapa | 41 |
| | Gráficas | 42 |
| | Segunda etapa | 43 |
| | Gráficas | 45 |
| | Tercera etapa | 47 |
| | Gráficas | 50 |
| | Fotografías | 53 |
| | B) Probetas de acero 8620 | |
| | Primera etapa | 57 |
| | Gráficas | 58 |
| | Segunda etapa | 59 |
| | Gráficas | 61 |
| | Tercera etapa | 63 |
| | Gráficas | 66 |
| | Fotografías | 69 |
| | C) Probetas de acero 1045 | |
| | Primera etapa | 72 |
| | Gráficas | 73 |
| | Segunda etapa | 74 |
| | Gráficas | 76 |
| | Tercera etapa | 78 |
| | Gráficas | 81 |
| | Fotografías | 84 |
| CAPITULO V. | DISCUSION DE RESULTADOS | 87 |
| CAPITULO VI. | CONCLUSIONES | 88 |
| CAPITULO VII. | RECOMENDACIONES PARA FUTUROS - TRABAJS | 88 |
| BIBLIOGRAFIA | | 90 |

I.- INTRODUCCION

En la construcción de maquinaria se tienen diferente clase de problemas, uno de los más importantes es el que se refiere a las propiedades mecánicas, y estas propiedades se modifican al variar los ciclos térmicos de los aceros; en la construcción de maquinaria se usan entre otros los aceros 1045, 4140 y 8620, y en general podemos decir que se utilizan con mucha frecuencia en la Industria Metalúrgica. Por tal motivo estos aceros requieren de un estricto control de calidad puesto que cualquier falla puede ocasionar problemas, y en algunos casos de consecuencias catastróficas, por esto los aceros deben alcanzar propiedades mecánicas óptimas.

En este trabajo se pretende mostrar una serie de experimentos sobre la variación de las propiedades mecánicas con diferentes ciclos térmicos, de los aceros 1045, 4140 y 8620.

Con estos estudios se pueden resolver una gran cantidad de problemas con respecto a las propiedades mecánicas, con la simple aplicación de diagramas sencillos.

Es decir, la finalidad de este trabajo es la de obtener ciclos térmicos con la aplicación de diagramas sencillos.

II.- TRATAMIENTOS TÉRMICOS

A).- Definición:

En este capítulo se dará una descripción de los tratamientos térmicos, considerándolo de gran importancia para la comprensión de este trabajo.

Los tratamientos térmicos son ciclos de calentamiento, permanencia y enfriamiento, con el fin de destruir una, o varias microestructuras para generar otras que nos darán las propiedades físicas y mecánicas buscadas.

Los tratamientos térmicos se realizan siempre en estado sólido, con la restricción de que deben llevarse a cabo dentro de ciertos intervalos de temperatura.

Los tratamientos térmicos tienen como finalidad la modificación de las propiedades mecánicas del metal por un cambio adecuado en su estructura metalúrgica. Normalmente se pretende aumentar la resistencia del metal manteniendo una cierta tenacidad o ductilidad, pero en otros casos lo que se desea es ablandarlo para aumentar la maquinabilidad.

Las propiedades mecánicas están determinadas por los microconstituyentes del metal, la forma, cantidad y distribución de los constituyentes pueden controlarse mediante los tratamientos térmicos, a fin de lograr las estructuras que proporcionen las propiedades necesarias para su empleo.

La palabra tratamiento térmico, tiene carácter general e indica que se ha realizado un ciclo de calentamiento, permanencia y enfriamiento para modificar de alguna forma las propiedades del metal. El tratamiento térmico no sólo se aplica a los aceros, sino también, y con igual éxito, a muchas aleaciones no ferrosas.

La clave del tratamiento térmico consiste en las reacciones en estado sólido que ocurren durante el calentamiento y el enfriamiento tanto en los aceros como en las aleaciones no ferrosas.

B).- Descripción general del diagrama hierro-carbono, de la -- sección de los aceros.

El diagrama hierro-carbono, indica los cambios de fase que ocurren en el calentamiento y en el enfriamiento, así como la naturaleza y composición de los componentes que existen a cualquier temperatura.

El sistema hierro-carbono presenta un eutéctico, salvo que en el no existe fase líquida a esas temperaturas, sin embargo, en el enfriamiento se descompone la fase de alta temperatura, -- llamada austenita. Esta transformación en la que el sólido se transforma de manera eutectoide, formando la composición eutectoide.

En el tratamiento térmico ordinario es raro que el acero se caliente a más de 1000°C . pueden existir en las estructuras de equilibrio las fases; austenita, ferrita, cementita y el producto eutectoide llamado perlita. Como las propiedades del producto final dependen de los constituyentes, serán examinados -- primero:

1.- Austenita.- La austenita es una fase compuesta por hierro-gamma, hierro de estructura cristalina cúbica de caras centradas que tiene disuelto el carbono (solución sólida).

La solubilidad máxima del carbono en la austenita es de 2.0% & aproximadamente a 1130°C . Del diagrama de fases se deduce que la austenita sólo es estable a temperaturas elevadas, pero en -- aceros lo suficientemente aleados puede serlo a la temperatura ambiente.

2.- Ferrita.- La ferrita es el nombre dado a las soluciones -- sólidas en las que el solvente es hierro alfa, es decir, la forma alotrópica del hierro es cúbica centrada, y en la que el soluto es normalmente el carbono y diversas proporciones de los elementos de aleación corrientes en el acero, como manganeso, -- silicio, etc.

Tiene aproximadamente una resistencia a la tensión de $28\text{Kg}/\text{mm}^2$ & un alargamiento de 35% & y una dureza Brinell de 90 &. Es el constituyente de menor dureza del acero, es dúctil y maleable.

Referencia & N^o1

3.- Cementita.- La cementita es el constituyente más duro del acero, es un carburo de hierro de fórmula Fe_3C , que alcanza aproximadamente una dureza de 68 Rockwell C, es frágil, como su contenido de carbono es muy superior al 2% & que se considera el máximo para que el material se llame acero, nunca se encuentra como único constituyente estructural, siempre va acompañado de otros, que generalmente son ferrita o perlita.

4.- Perlita.- La perlita es una estructura laminar formada por placas alternadas de ferrita y cementita, que tiene propiedades mecánicas intermedias entre las dos fases que la constituyen. Es más blanda y dúctil que la cementita, pero más dura y resistente que la ferrita.

La perlita tiene su característica laminar, fácil de reconocer por su forma de crecimiento. Al enfriarse lentamente la austenita se forman núcleos de cementita en los bordes de grano de la primera, y crecen como placas hacia adentro de la austenita. Tiene una resistencia de 80 Kg/mm^2 , y un alargamiento de 15%, y una dureza aproximada de 22 Rockwell

.. C

C).- ENFRIAMIENTO EN EL EQUILIBRIO :

Cuando el acero se enfría con lentitud suficiente se forma las fases que indica el diagrama de equilibrio.

El acero resulta relativamente blando y dúctil y está libre de tensiones internas.

Para explicar los resultados del enfriamiento en el equilibrio

& Ref.

nos referiremos a los cambios estructurales de dos aceros. El primer acero es hipoeutectoide con un contenido de carbono de 0.20% en adelante sin llegar a 0.80% de carbono, a 900°C, temperatura en la cual el acero es completamente austenítico. Al enfriarse se empieza a formar ferrita y cuando llega a la temperatura de la línea A_3 la aleación entra en una región en la que coexisten juntas austenita y ferrita. Al continuar el descenso de temperatura se va formando más ferrita, hasta que al alcanzarse la temperatura A_e se descompone toda la austenita restante en una mezcla de ferrita y cementita (perlita). Si un acero con 1.0% de carbono se calienta por encima de la línea A_{cm} , se transforma totalmente en austenita, y cuando esta se enfría, empieza a descomponerse al llegar a la temperatura A_{cm} con la formación de cementita en los bordes de grano, y su cantidad aumenta al descender la temperatura. Cuando la temperatura es la A_e toda la austenita restante se transforma en perlita por lo que la estructura final es una mezcla de cementita y perlita. Al enfriarse bajo condiciones de equilibrio los aceros con poco carbono, tienen muy poca formación de cementita; tienen casi únicamente ferrita y, por ello son blandos y dúctiles.

Al aumentar el contenido de carbono se forma más cementita y menos ferrita, por lo que aumentan la resistencia y la dureza, y disminuye la ductilidad. Modificando las proporciones de perlita, ferrita y cementita de un acero, se consigue cambiar relativamente poco las propiedades mecánicas. Se obtiene un efecto mucho mayor enfriando rápidamente.

- D).-Enfriamiento fuera del equilibrio.- La formación de ferrita y cementita a partir de la austenita requiere desplazamientos de los átomos de carbono a través de distancias relativamente largas, y modificaciones de la red cristalina. Esto necesita tiempo, por que los átomos se mueven en el estado sólido por difusión lenta. La temperatura afecta a la velocidad de transformación por dos causas: nucleación y difusión. A temperaturas muy poco por debajo de aquella a la que la austenita es capaz de transformarse se nuclean muy pocas placas de cementita, y el carbono ha de llegar hasta ellas recorriendo distancias largas; el crecimiento de la perlita es lento. A temperaturas bajas, por el contrario, la cementita se nuclea en muchos puntos.

Pero la velocidad de difusión de carbono es tan baja que no puede crecer la perlita. Por estas dos influencias opuestas a la nucleación y de la difusión resulta que la perlita se forma tan lentamente a la más alta temperatura posible como a la más baja. La reacción es más rápida a temperaturas intermedias. Si se enfria con suficiente rapidez (temple) no hay tiempo para los movimientos atómicos a las temperaturas altas, y a las bajas está tan reducida la movilidad que no se pueden engendrar los mismos cambios que a las elevadas. Se produce entonces nuevo tipo de reacción, en el que la austenita no se descompone a perlita gruesa con un exceso de ferrita o cementita, sino que forma otras estructuras llamadas bainitas y martensita. Son frecuentes las mezclas de estas estructuras.

- 1.- **Perlita fina.**— Como se desprende de su nombre, es una estructura en la que las láminas de cementita y ferrita son mucho más delgadas que las que se forman en el enfriamiento lento. Al nuclearse en el enfriamiento rápido se forman más láminas de cementita, la perlita se hace tan fina que no puede resolverse con el microscopio óptico, aunque no hay ningún indicio de que se altere el mecanismo de formación. Esta estructura irresoluble es la que se llama perlita fina y también troostita primaria.
- 2.- **Martensita.**— Si el enfriamiento es suficientemente rápido e impide cualquier transformación de la austenita por encima de unos 300°C , se forma martensita al continuar el enfriamiento. La martensita es muy resistente y dura, pero frágil. Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa, es decir, una ferrita sobresaturada, y el exceso de carbono distorsiona la estructura cúbica centrada y la convierte en una tetragonal, sujeta a tensiones. El mecanismo de formación de la martensita es muy distinto al que origina las otras estructuras del acero. Las placas de martensita se forman por cizallamientos a lo largo de planos cristalográficos y no por difusión de átomos, como en el caso de la ferrita y la cementita. Este cizallamiento es muy rápido y, prácticamente no se puede suprimir aumentando la velocidad de enfriamiento. Para una composición determinada empieza a formarse la martensita a una temperatura dada, y va en continuo aumento hasta completarse prácticamente a una temperatura también fija.

A temperatura ambiente puede existir todavía austenita - no transformada, que sería necesario convertir en martensita - enfriando aún más; se dice en estos casos que a la temperatura ambiente hay austenita retenida.

Cada placa de martensita tiene forma lenticular. Suelen ser - muy pequeñas y no fáciles de resolver en el microscopio.

3.- Bainita.- Entre el intervalo de temperaturas a las que puede - formarse la perlita y aquel otro correspondiente a la martensita cabe que se produzca bainita. Como la perlita, se forma por nucleación y crecimiento, y puede impedirse aumentando - la velocidad de enfriamiento. El aspecto microscópico de la - bainita es muy variable: gruesa y parecida a plumas de ave, - la formada a temperaturas más elevadas, y más fina y acicu - lar la de temperaturas bajas.

La bainita se suele formar en los aceros al carbono, por - transformación isoterma de la austenita. Este constituyente - se temple hasta una temperatura que puede en el intervalo - - bainítico, y se mantiene en ésta el tiempo necesario para - que la transformación sea completa. En algunos aceros aleados se forma bainita durante el enfriamiento continuo hasta la - temperatura ambiente.

E).-Tiempo y temperatura en la transformación de la austenita.-

Ya se ha visto que la austenita se descompone en ferrita - y cementita en el enfriamiento lento, y origina perlita fina, bainita o martensita en el más rápido. Como en el tratamiento térmico se pretenden lograr estructuras metalográficas que - den lugar a las propiedades deseadas, es necesario poder - - predecir la estructura que se formará en un ciclo dado del - tratamiento.

El diagrama hierro-carbono es necesario para esta predicción, pero no es suficiente, porque no informa sobre la estructuras formadas en condiciones que no son de equilibrio absoluto.

Las transformaciones que ocurren fuera del equilibrio se describen mejor mediante los diagramas de tiempo-transformación-temperatura (diagramas TTT o curvas en S) y los diagramas de enfriamiento continuo, que se pueden considerar como diagramas TTT modificados.

Las curvas TTT indican el tiempo necesario para que la austenita se transforme a una temperatura mantenida constante. También indican los diagramas el tipo de estructura formado. Las curvas de enfriamiento continuo se parecen a las TTT, pero, como su nombre lo indica, se refieren a la descomposición de la austenita en un enfriamiento continuo y no a una temperatura constante.

Fundamentalmente los diagramas TTT se emplean para predecir las estructuras metalográficas y las propiedades mecánicas, de muestra de aceros templadas desde la temperatura de austenización y mantenidas luego a temperatura constante, inferior a 723°C ,

Si una probeta de acero del tipo eutectoide mostrado en el diagrama TTT de la figura 3, se enfría rápidamente hasta los 600°C , y se mantiene a esta temperatura durante unos 2.5 seg., empieza a formarse ferrita. Después de 8 seg. cesa la formación de ferrita y comienza la formación de perlita, la cual sigue hasta completarse la transformación de la austenita a los 100seg. Empieza a formarse bainita, si el mismo acero es templado de 790°C a 315°C al transcurrir más o menos 19 seg. y después de 1000seg la estructura es completamente bainítica.

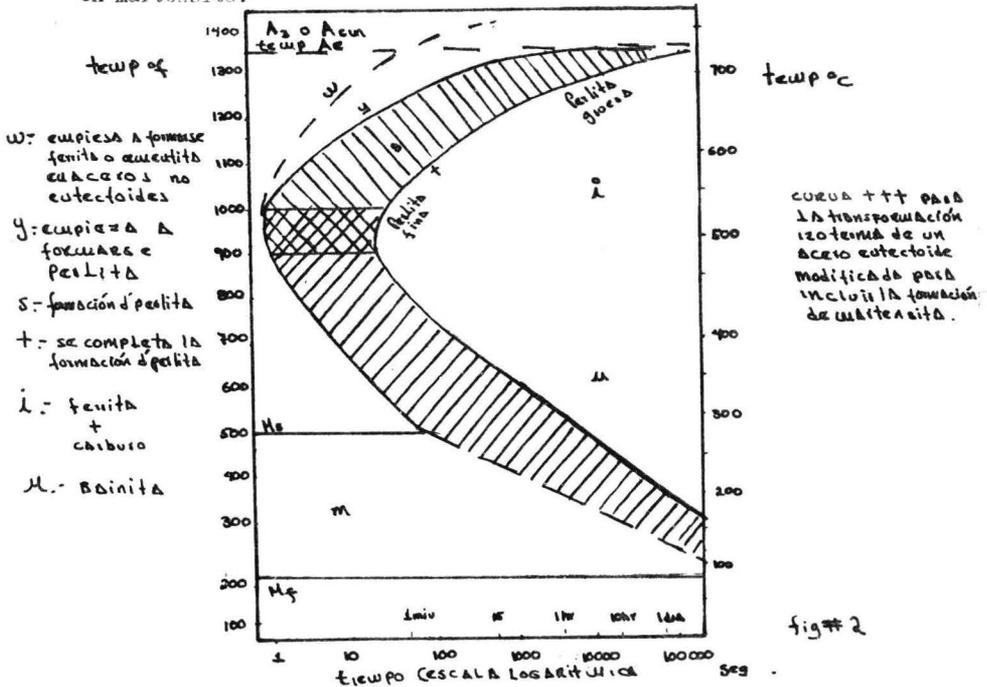
En estos dos casos la transformación se ha producido a temperatura constante. Si se temple ahora desde los 790°C a 190°C se provoca otro tipo de transformación de la austenita. A unos 260°C se empieza a formar martensita, y a la temperatura de 190°C un 40% aproximadamente, de austenita se ha transformado en martensita. Si mantenemos esta temperatura no conseguiremos más transformación hasta que, aproximadamente a los 2000seg. empieza a descomponerse la austenita restante, formándose bainita. La transformación bainítica es completa después de un día y la estructura final contendrá el 40% de martensita y el 60% de bainita.

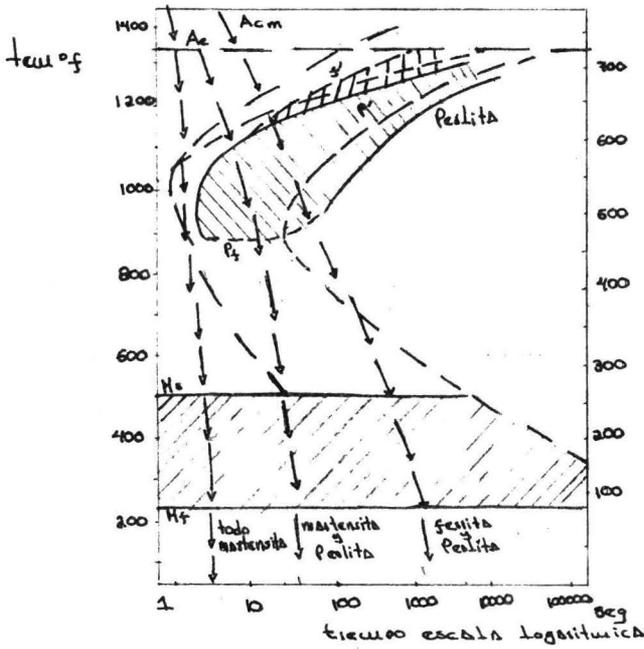
La información que proporcionan los diagramas TTT sólo es válida para reacciones isotérmicas, pero no es cuantitativamente aplicable al temple y recocido ordinarios, porque en ellos el enfriamiento es continuo y las descomposiciones se producen en un intervalo de temperatura.

Los diagramas TTT pueden modificarse para que, al menos cualitativamente, resulten útiles para las condiciones del enfriamiento continuo.

Se ha comprobado que los diagramas de enfriamiento continuo son semejantes a los isotérmicos, producen las reacciones perliticas y bainiticas a temperaturas algo más bajas, y necesitando más tiempo para completarse. Un diagrama modificado, que incluye las curvas de enfriamiento continuo y las isotérmicas, es el de la figura 4.

Cuando en el enfriamiento continuo las velocidades de enfriamiento son superiores a unos 141°C por segundo, no se forma perlita y se asegura la transformación total a martensita al alcanzarse las temperaturas bajas. Con enfriamientos a velocidades inferiores los $34^{\circ}\text{C}/\text{seg}$, toda la austenita tiene tiempo de descomponerse en perlita y no se origina ninguna martensita. Para $55^{\circ}\text{C}/\text{seg}$, se empieza a formar perlita, a unos 55°C sigue formándose; hasta los 480°C , aproximadamente por debajo de esta temperatura ya no puede formarse más perlita, y no se producen más cambios hasta llegar a la temperatura M_s . Durante el enfriamiento a través del intervalo $M_s - M_f$ la austenita restante se transforma en martensita.





temp °C

- S: empieza a formarse ferrita
- P: empieza a formarse perlita
- Pf: se detiene la formación de perlita

fig # 3

Diagrama de transformación en enfriamiento continuo para un acero eutectoide

F).- TRATAMIENTOS TERMICOS MAS USADOS:

- 1.- TEMPLE
- 2.- RECOCIDO
- 3.- NORMALIZADO
- 4.- REVENIDO

I.- TEMPLE:

La finalidad principal del temple es la de alcanzar una dureza elevada o tenacidad de la pieza. Con este tratamiento, se pretende obtener en el acero una estructura totalmente martensítica, calentando previamente hasta la zona de austenización y enfriarlo despues en condiciones adecuadas - para que la austenita se transforme totalmente en martensita. En otras palabras, podemos decir que el temple es el enfriamiento rápido de un metal, logrado normalmente por inmersión en un baño de agua o aceite.

El temple es necesario cuando hay que suprimir la estructura de equilibrio, constituida por las fases del diagrama de la aleación y formar una estructura metaestable; es decir, para impedir la transformación de austenita a ferrita y perlita, y conseguir la formación de martensita.

A).- Procesos de enfriamiento en el temple de los aceros:

Para conocer la influencia que sobre el temple ejercen los diferentes medios de enfriamiento, es importante estudiar las etapas que se presentan durante el proceso.

Pilling y Lynch al determinar las curvas de enfriamiento del acero empleando diversos medios refrigerantes, estudiaron las variaciones que experimentan los poderes de enfriamiento de los líquidos en los procesos de temple en función de la temperatura del acero. Sus observaciones revelan la existencia de tres mecanismos muy diferentes de disipación de calor en la figura # 4 puede verse una curva muy típica de enfriamiento, se puede observar que la velocidad de enfriamiento al principio es es lenta, va aumentando, alcanza un maximo y luego disminuye, llegando por fin a igualarse la temperatura del acero y la de el liquido, advirtiendose tres fases muy señaladas,

Primera etapa.- Cuando el acero es introducido al líquido, como su temperatura es muy alta, se forma una capa de vapor que rodea al metal y el enfriamiento se hace por conducción y radiación a través de la capa gaseosa. El enfriamiento en el comienzo de esta fase es relativamente lento, influyendo en ello la temperatura de ebullición del líquido y también la conductibilidad del vapor.

Segunda etapa.- Cuando desciende la temperatura de la superficie del metal, la película de vapor va desapareciendo. Sin embargo - el líquido hierve todavía al rededor de las piezas y se forman - muchas burbujas que rodean al acero. Estas burbujas son transportadas generalmente por corrientes de convección. El vapor se va separando de la superficie de la pieza y va siendo remplazado - por líquido. Esta es la etapa de más rápido enfriamiento y es - llamado de enfriamiento por transporte de vapor.

Tercera etapa.- Esta etapa se presenta generalmente por debajo - de 300⁰C. El enfriamiento lo hace el líquido por conducción y - convección, cuando la diferencia de temperatura, entre la superficie y el medio refrigerante es ya pequeña. Esta etapa se llama de enfriamiento por líquido y es más lenta que las anteriores, - dependiendo su importancia de la conductibilidad térmica del líquido y de su agitación.

B).- Elección del medio de temple:

Para obtener del temple los mejores resultados, conviene - utilizar el medio de temple o sea el medio de enfriamiento - menos enérgico que sea capaz de comunicar al acero una velocidad de enfriamiento superior a la crítica.

De esta forma, se obtiene una estructura totalmente martensítica, la máxima dureza compatible con su composición y se evitan en lo posible las grietas y deformaciones. En los enfriamientos rápidos siempre existe el peligro de que se creen tensiones, debido al desigual enfriamiento de las piezas, ya que la periferia se enfria rápidamente, mientras que en el corazón el acero está todavía a elevadas temperaturas. En los enfriamientos lentos, en cambio, la temperatura es más uniforme en toda la masa de las piezas, y son menos frecuentes las grietas y deformaciones.

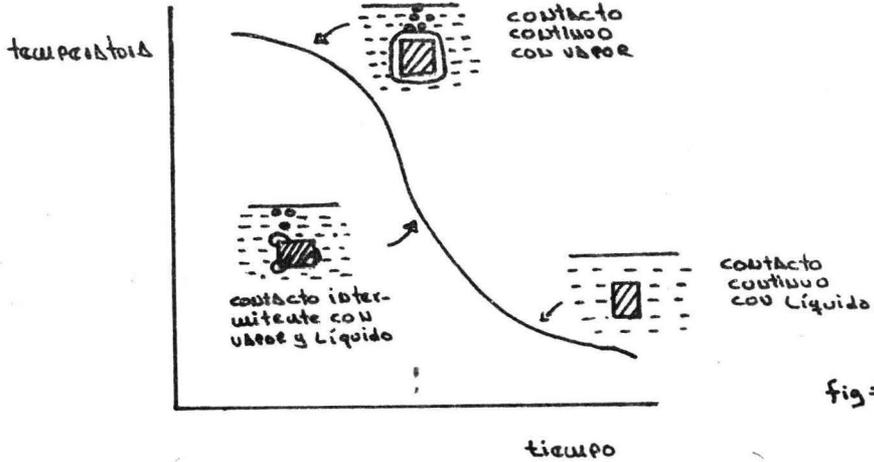
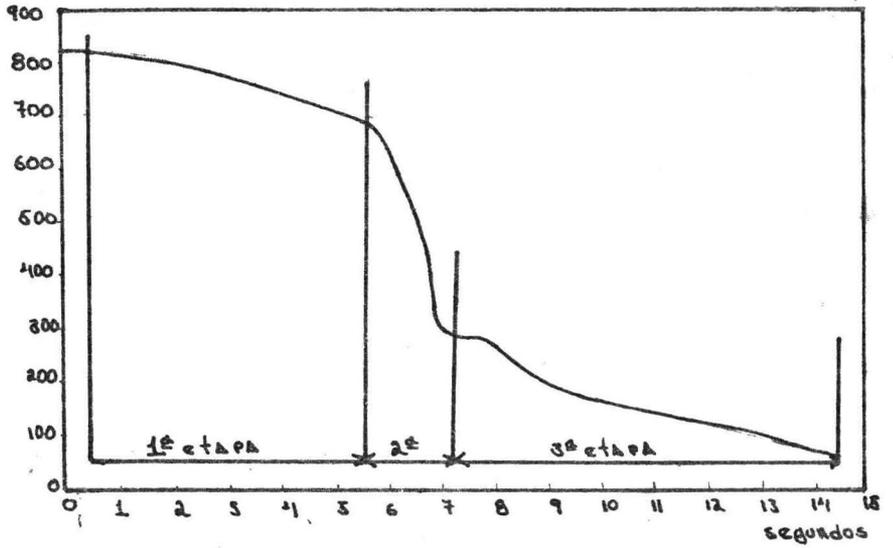


fig # 4

Velocidad de ensiamiento durante el temple a diferentes temperaturas.

C).- Medios de enfriamientos más empleados en el temple

Agua.- Debe evitarse que el agua se caliente durante el temple. Conviene que la temperatura del agua oscile entre 15°C y 20°C pues si la temperatura es superior a 30°C , se prolonga exageradamente la primera etapa, del enfriamiento, lo que es un gran inconveniente, porque con ello disminuye la velocidad de enfriamiento en la zona $750 - 500^{\circ}\text{C}$ y se favorece, sobre todo en aceros de poco poder templante, la formación de estructuras blandas.

Aceite.- Se suelen emplear aceites animales, vegetales y minerales. Los aceites animales y vegetales con el uso continuo a temperaturas de 50 a 125°C se descomponen, espesan y se vuelven gomosos dando temples bastante irregulares. además suelen resultar caros y de olor desagradable.

Los mejores aceites para el temple son los aceites minerales - obtenidos de la destilación fraccionada del petróleo, un buen aceite de temple debe poseer las siguientes propiedades :

Su viscosidad debe estar comprendida entre ciertos límites. Si el aceite es demasiado viscoso, la película de aceite próxima a la superficie del metal tiende a carbonizarse, porque las corrientes de convección son muy lentas. Esa carbonización disminuye el poder refrigerante del aceite y limita su utilización . Si la viscosidad es baja, el aceite se adhiere menos a las piezas, pero se volatiliza rápidamente con la consiguiente pérdida de líquido. Por tanto la viscosidad debe estar comprendida entre ciertos límites, que a la temperatura ambiente son de 5 a 9° Engler, y a 50°C son de 2 a 4° Engler.

Con el uso la viscosidad del aceite aumenta, llegando algunas veces después de varios meses de empleo a 15 ó 30° Engler a la temperatura ambiente, siendo necesario evitar el uso de aceites en estas condiciones.

La volatilidad no debe ser demasiado elevada porque se pierde aceite con el uso y se espesa el baño, con la consiguiente pérdida en la velocidad de enfriamiento.

Las temperaturas de inflamación y combustión deben ser lo más elevadas posible, para evitar excesivo humo en el taller y también el peligro de que se inflame el baño.

Deben tener gran resistencia a la oxidación .

Plomo.- El plomo posee una gran conductibilidad, por lo cual el calentamiento del baño se hace bastante rápido y también enfría con relativa rapidez las piezas que se templean.

Su elevado peso específico es un inconveniente, pues las piezas flotan y hay que preparar dispositivos especiales, para que se introduzcan en el baño. Como el plomo se oxida fácilmente, hay que evitar que la superficie del baño esté en contacto con la atmósfera, cubriéndolo con pequeños trazos de carbono vegetal.

Mercurio.- Para el temple de piezas muy delicadas, como instrumentos de cirugía, etc. o para piezas de gran dureza, se empleaba algunas veces el mercurio, pero su elevado peso específico y precio limitan su aplicación, por lo que en la actualidad no se emplean.

Salas fundidas.- Para el tratamiento térmico de los aceros; son cada día más usados los baños de sales fundidas. Están constituidos principalmente por cantidades variables de cloruros, carbonatos, nitritos, nitratos y cianuros de sodio, potasio y bario y se utilizan para temperaturas variables desde 150 a 1300°C.

Unas veces se usan como medio de enfriamiento y sustituyen con ventaja al aceite y al plomo fundido, y otras veces, en cambio, se utilizan para calentar las piezas y también para cementarlas o nitrurarlas.

D).- Templabilidad o penetración de temple:

La dureza que se obtiene en el temple de los aceros y la templabilidad o penetración de temple, son dos características que se confunden con mucha frecuencia y que, sin embargo, conviene diferenciar con claridad.

Si templemos varias clases de aceros, podemos ver que unos se endurecen más y otros menos. También vemos que la penetración de la dureza hacia el interior es también unas veces mayor que otros.

La dureza es la resistencia que opone el material a la penetración y la templabilidad viene determinada por la profundidad y distribución de la dureza en el interior de la pieza.

E).- Diversos métodos para estudiar el comportamiento de los aceros en el temple.

Como el comportamiento de los aceros es de gran interés para decidir su utilización, se han desarrollado numerosos procedimientos para ponerlo de manifiesto. Entre ellos los más utilizados son: El examen de la fractura de barras templadas, El estudio de las curvas de dureza, el ataque químico de las secciones transversales templadas, la determinación de la zonas de 50% de martensita, y el ensayo Jominy.

Los factores que hay que conocer y tener en cuenta para determinar la penetración de temple de un acero son dos: La dureza y la distribución de la dureza en el interior de las piezas.

I.- Examen de la fractura.- Se utiliza en los aceros de herramientas al carbono-vanadio u otros de baja aleación.

Consiste en preparar una serie de barretas cilíndricas, entalladas de 3/4 de pulgada de diámetro o sea unos 19 mm ; y 125mm de longitud, que son templadas en agua a temperaturas de 790⁰C - 815 , 850 y 875⁰C. después se rompen por choque y se examinan las fracturas.

Por la diferencia entre el grano de la fractura, generalmente grosero en la zona central, y fino en el exterior, se conoce fácilmente la profundidad de temple alcanzada en cada caso.

2.-Curvas de dureza de redondos de diferentes diámetros templados.- Otro de los procesos empleados para conocer la templabilidad de los aceros, consiste en determinar después del temple la dureza en el interior de redondos de acero.

Se comienza preparando por forja o laminación una serie de barras de diversos diámetros, que después de un ligero torneado se dejan a medidas escalonadas, luego se temple esos redondos y a continuación se cortan las barras y se determinan las durezas en la sección transversal, desde la periferia al centro.

Con los resultados obtenidos se puede, finalmente construir las curvas de dureza, llamadas generalmente, curvas U, que caracterizan a cada tipo de acero.

3.- Ataque químico de las secciones templadas :

Este ensayo es también muy práctico para conocer la profundidad de temple en algunas clases de aceros. Consiste en observar las secciones transversales de las barras de acero rotas después del temple y atacadas posteriormente con ácido. Se comienza entallando las barras, luego se templean y se rompen y se planean por rectificadas las secciones transversales. A continuación se atacan esas secciones con ácido nítrico al 5% - observándose que las partes que han quedado sin templar se colorean, y quedan en cambio blancas y son muy poco atacadas las templadas.

4.- Determinación de la zona con 50% de martensita:

Se suelen emplear cuatro métodos principales:

a).- El método metalográfico, que es el más utilizado para determinar con precisión las zonas con 50% de martensita.

b).- El método de fractura y ataque con ácido, que conviene, como Hemos explicado anteriormente, para aceros en los que la transición de la zona dura a la zona blanda es brusca.

En ellos la zona de 50% de martensita se halla en el límite de separación entre la zona de grano fino y grano grueso que corresponde en las secciones atacadas al límite, entre la zona blanca y la negra.

F).- DIAMETRO CRÍTICO IDEAL:

Son valores absolutos que sirven para conocer comparativamente la templabilidad correspondiente a un acero de composición y tamaño de grano determinado.

Se denomina diámetro crítico ideal de un acero, al diámetro - expresado en pulgadas del mayor redondo de ese acero, en cuyo centro se consigue una estructura microscópica con 50% de martensita, después de ser enfriado, desde la temperatura de temple, en un medio de enfriamiento teórico, cuya capacidad de absorción de calor fuese infinita.

Empleando ese medio teórico de enfriamiento, se conseguiría - que la temperatura de la superficie de la barra bajase instantáneamente a la temperatura del medio de temple y se mantuviera así durante todo el proceso de enfriamiento.

G.- ENSAYO JOMINY :

El ensayo Jominy ha adquirido a partir de 1940, una divulgación extraordinaria.

Este ensayo que es muy utilizado para aceros de menos de 0.60% de carbono, consiste en templar una probeta cilíndrica de 25mm de diámetro y 100mm de longitud aproximadamente, por medio de un chorro de agua que enfria solamente la base inferior. La temperatura del agua sera de 20 a 25°C, las probetas deben obtenerse de perfiles de más de 28mm de espesor, para que despues de mecanizado quede eliminada cualquier capa superficial descarburada que pudiera existir. Antes de comenzar el mecanizado, se normaliza el material a una temperatura de 80°C, más elevada que el punto- A_{c3} , para regularizar las condiciones del ensayo.

El calentamiento para el temple se hace a una temperatura de --- 60°C más arriba de la línea A_{c3} , colocándose la probeta en el horno dentro de un molde de grafito o de una caja con viruta de fundición, para evitar descarbonaciones u oxidaciones superficiales. El acero debe permanecer a la temperatura de austenización 30 minutos; la colocación de la probeta en el aparato de enfriamiento debe ser muy rápida para que se evite el enfriamiento antes de iniciar el temple por la base, efectuándose esta operación en menos de 5 seg. El enfriamiento se efectua con el chorro de agua o en el aire. Despues se esmerila longitudinalmente rebajando 0.5mm de profundidad. A continuación se mide la dureza en la línea central de la superficie plana, a distancias de -- 1/16 de pulgada, apoyando la probeta en un bloque en V, con los valores obtenidos, se trza la curva Jominy, en ordenadas dureza Rokwell C y en abcisas distancia a la base de temple.

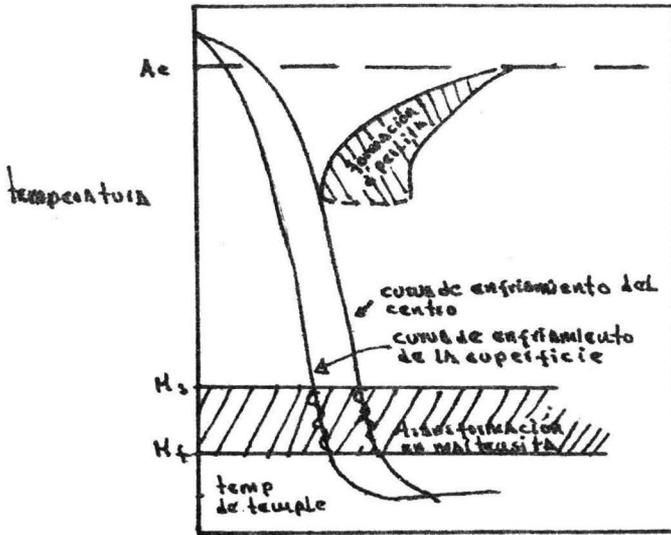


fig # 5

(tiempo escala logarítmica)

Representación esquemática de 1 temple ordinario

2.- NORMALIZADO:

El normalizado es definido como un calentamiento de una aleación ferrosa a una temperatura conveniente por encima del rango de transformación y su enfriamiento en el aire a una temperatura suficientemente por debajo del rango de transformación.

Una buena práctica para la normalización requiere:

- a).- Que la pieza tratada sea uniforme, calentada a una temperatura suficientemente alta para alcanzar la transformación completa de la ferrita en austenita.
- b).- Que permanezca a esta temperatura un tiempo lo suficientemente largo para alcanzar uniformidad de temperatura a través de toda su masa.
- c).- Que se permita el enfriamiento en el aire quieto de manera uniforme.

Un normalizado puede ablandar, endurecer o relevar en un acero dependiendo de la condición del material antes del normalizado. Así, las funciones del normalizado pueden superponerse y a veces confundirse con las del recocido, el endurecimiento y el relevado de tensiones. Por ejemplo, un acero que ha sido endurecido por templado en un líquido o trabajado en frío, será ablandado por normalizado.

Por otro lado un acero recocido será endurecido por normalizado.

El empleo del Normalizado:

Un normalizado puede ser empleado en cualquiera de las siguientes funciones.

- 1).- Refinar el grano y homogenizar la microestructura para mejorar la respuesta del acero en una operación de endurecimiento.
- 2).- Mejorar las características de maquinabilidad.
- 3).- Modificar y refinar las estructuras dendríticas de colada.
- 4).- Proveer propiedades mecánicas deseadas.

El normalizado puede aplicarse a aceros al carbono o aleados ya sea de colada o aquellos en que la estructura de colada ha sido destruida por laminado o swaging. Aunque el procedimiento se aplica generalmente para mejorar las propiedades mecánicas, el normalizado de los aceros hipereutectoides puede producir la formación de cementita a los límites de grano, causando un deterioro en las propiedades mecánicas.

Según las propiedades mecánicas requeridas, el normalizado puede sustituir a un endurecimiento convencional cuando el tamaño y forma de la pieza a tratar son tales que un temple en un líquido puede producir fisuras, distorsión o cambios dimensionales excesivos. Así, piezas que cambian abruptamente de sección o con formas complejas pueden ser normalizadas y revenidas para adquirir propiedades estables.

Debido a diferencias en las velocidades de solidificación y en enfriamiento de las piezas coladas con estructura destruida son frecuentemente no uniformes en microestructura. Esta no uniformidad puede ser a menudo disminuida por normalización.

Frecuentemente la modificación de la estructura colada ó mejor dicho de colada, también mejora las características de maquinabilidad.

La normalización de aceros aleados de forja, de laminación de colada; se usa como un tratamiento previo al tratamiento térmico final. Las temperaturas de normalización son generalmente de alrededor de 550°C por encima de la temperatura superior de transformación (A_{c3}) de un acero particular.

El normalizado también sirve para refinar las estructuras de forja, de los productos de laminación y colada que han sido enfriados en forma no uniforme desde altas temperaturas.

Estabilidad Estructural.

La normalización es el tratamiento preferencial para producir estabilidad estructural de aleaciones resistentes al calor.

Efecto sobre las propiedades mecánicas.

Las diferencias en las propiedades mecánicas obtenidas por normalización y revenido de las obtenidas por templado y revenido, son el resultado de diferencias en la velocidad de enfriamiento a partir de la temperatura de austenitización, y por lo tanto son función de la templabilidad del acero y del tamaño de la sección de las partes a tratar.

Un aumento en el tamaño de la sección requiere un contenido de aleante más alto para compensar la disminución en la templabilidad que se produce en un enfriamiento en el aire comparado con un temple en líquido.

La dureza no es la única propiedad que es afectada por las diferentes velocidades de enfriamiento. Otras propiedades mecánicas pueden esperarse que difieran en el normalizado y revenido, respecto a un temple y revenido aún cuando la dureza de superficie es la misma. Por ejemplo, aunque la resistencia a la tensión es mas o menos la misma, la resistencia a la fluencia, la elongación y la reducción en area será disminuída en el normalizado y revenido respecto a la que se obtiene por temple y revenido.

3.- RECOCIDO:

Los aceros son recocidos con el fin de reducir la dureza - mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajo en frío, producir una microestructura deseada, u obtener propiedades mecánicas y físicas.

Se define como recocido completo, a una austenización seguida de un enfriamiento lento a través del rango de transformación. Cuando uno quiere significar otra cosa que un recocido completo es necesario agregar terminos específicos a la palabra recocido para, identificar la condición del material luego del tratamiento.

Así podemos dividir en:

a).- Recocido de austenización completa.

b).- Recocido de austenización incompleta

c).- Recocidos subcriticos

a).- El recocido de austenización completa, tambien conocido como recocido de regeneración, es el que se obtiene calentando la pieza un poco arriba de A_{c3} , 30 ó 50°C esto para evitar el crecimiento de grano, luego se da a la pieza un tiempo de permanencia de una hora por pulgada de sección y finalmente se enfría lentamente, dentro del horno.

b).- El recocido de austenización incompleta, se les da a los aceros con el fin de ablandarlos y mejorar su maquinabilidad. Este tratamiento consiste en efectuar calentamientos prolongados a temperaturas intermedias es decir entre la crítica superior y la crítica inferior, dando despues un enfriamiento lento. En este tipo de tratamiento podemos incluir al recocido global oscilante, en el que el recocido se efectua en un ciclo oscilante de temperaturas, que unas veces son superiores y otras inferiores a A_{x1} . Podemos mencionar tambien al recocido global de austenización incompleta en el que las temperaturas son ligeramente arriba de A_{c1} .

c).- Recocido Subcrítico.- Este tipo de tratamiento se usa en los casos en que se quiere eliminar las tensiones del material y aumentar su ductilidad.

El tratamiento se realiza por medio de un calentamiento por debajo de la temperatura crítica inferior, y el enfriamiento puede ser lento ó enfriado al aire sin peligro de que se eleve su dureza . Dentro de este tipo de tratamiento podemos catalogar, al recocido de ablandamiento, recocido contra acritud - y al recocido globular.

Velocidad de enfriamiento:

En muchas ocasiones el enfriamiento a partir de la temperatura de austenitización y de la transformación puede ser hecha rápidamente con un ahorro considerable en el tiempo total de recocido. En otros casos sin embargo, dicho enfriamiento no puede ser rápidamente ya sea porque la masa de acero a ser recocido en una carga es muy grande o porque el tamaño de las piezas sea muy grande.

Uniformidad de la temperatura;

Una posible falla en la operación de recocido, es la falta de conocimientos de la distribución de las temperaturas en el interior de la carga de acero. En hornos de recocido grandes, capaces de recocer veinte toneladas o más, de una sola vez, no es común. Cuanto más grande es el horno, más difícil es establecer y mantener condiciones de temperatura uniforme en la carga de acero y más difícil es que la carga de acero mantenga su temperatura correcta, ya sea durante el calentamiento o enfriamiento.

Los termopares de los hornos indican generalmente la temperatura por debajo, por encima o al costado de la carga de un horno pero la temperatura leída por estos termopares puede ser hasta 30°C, diferentes de la temperatura del acero, especialmente cuando el acero esta en forma de tubos, barras, o cintas empaquetadas, en una atmosfera quietacuando estas condiciones existen, es conveniente establecer la temperatura a traves de la carga durante el calentamiento y el enfriamiento colocando termopares entre las barras y la regulación del horno durante la operación de recocido de hacerse con la temperatura indicada por los termopares en contacto con el acero y no con los termopares que indican la temperatura en los costados o en el techo del horno.

4.- REVENIDO:

Los aceros después del temple suelen quedar generalmente demaciados duros y frágiles para los usos a que van a ser destinados. Estos inconvenientes se se corrigen por medio del revenido que es un tratamiento que consiste en calentar el acero a una temperatura m's baja que su temperatura crítica inferior A_{c1} , enfriándolo luego generalmente al aire y otras veces en aceite o agua, según la composición. El objeto del revenido no es el de eliminar los efectos del temple sino modificarlos, disminuyendo la dureza y resistencia, aumentando la tenacidad y eliminando también las tensiones internas que tienen siempre los aceros templados.

Para comprender el fundamento de este tratamiento, es interesante estudiar el efecto que ejerce sobre las propiedades mecánicas del acero y sobre su microestructura.

Modificación de las características mecánicas.

Comenzaremos estudiando primero la influencia que el revenido ejerce sobre las propiedades de los aceros al carbono templados, recordando que estos aceros después de un temple teóricamente perfecto, están constituidos por cristales de martensita.

El acero en esa forma es muy resistente, pero tiene muy poca ductilidad y tenacidad. Si el acero templado se vuelve a calentar a diferentes temperaturas comprendidas entre la temperatura ambiente y 700° , y después se enfría al aire, la resistencia a la tracción disminuye progresivamente a medida que se eleva la temperatura del revenido y al mismo tiempo aumenta la ductilidad y la tenacidad.

La resistencia al choque o resiliencia, que es generalmente muy baja cuando el revenido se hace a temperaturas inferiores a 450° , aumenta en cambio notablemente cuando el revenido se efectúa a temperaturas más elevadas. Un acero de 0,45% de carbono, por ejemplo, templado en agua tiene aproximadamente una dureza de 550 Brinell y una resistencia de 190 Kg por milímetro cuadrado y después de ser revenido a 300° , queda aproximadamente con 150 Kg/mm² de resistencia, 7,5% de alargamiento y 3Krm/cm² de resiliencia; con un revenido de 500° , queda con 110 Kg por milímetro cuadrado de resistencia, 12% de alargamiento y 7,5 Kgm/cm²

de resiliencia, y si la temperatura de revenido se eleva a 600° - quedará con $R=85 \text{ Kg/mm}^2$, $A=15,5\%$ y $p= 13,6 \text{ Kgm/cm}^2$.

La pérdida de dureza que experimentan con el revenido los aceros al carbono de herramientas de 0,70% a 1.30% de C templados se puede ver en la figura 228.

En ciertos aceros especiales de alta aleación en los que después del temple queda además de martensita algo de austenita residual sin transformar, se presenta un curioso fenómeno de aumento de dureza cuando el revenido se hace en la zona de temperaturas comprendida entre 350° y 550° . Entonces la austenita residual de baja dureza se transforma en otros constituyentes, apareciéndose por ese motivo un sensible aumento de dureza (dureza secundaria). En las curvas de revenido correspondientes al acero de 13% de cromo se ve que cuanto más elevada es la temperatura de austenización, menor es la dureza que se obtiene después del temple, por ser mayor la cantidad de austenita residual que queda sin transformar. Luego, al efectuarse el revenido, es mayor el aumento de dureza cuanto más elevada haya sido la temperatura de temple, debido a que entonces es mayor que en otros casos el porcentaje de austenita residual blanda, que se transforma en otras estructuras más duras.

Modificación de volumen en el revenido:

Los aceros por efecto de las transformaciones que experimentan en el revenido, en general se contraen. En general los aceros en la zona de 150° a 225° la austenita se transforma en otros constituyentes y el acero en lugar de contraerse, como en los demás casos, se dilatan.

Modificación de los constituyentes microscópicos:

Las variaciones de características que experimentan los aceros por efecto del revenido son debidas a cambios de microestructuras que consisten, principalmente, en la descomposición más o menos completa de la martensita que se había obtenido en el temple y que se transforma en otros constituyentes más estables. Durante muchos años se pensó que la martensita, que se formaba en el temple, se transformaba, luego en el revenido en troostita y sorbita, según fuera la temperatura de revenido.

También se creía que la austenita residual, en el caso de que estuviera presente, se transformaba en el revenido sucesivamente en martensita, troostita y sorbita. Se daban esas interpretaciones porque con los microscopios ópticos se observaban constituyentes que parecían ser los que acabamos de señalar y era natural que se pensara de esa manera. A continuación se estudian las microestructuras obtenidas después del revenido de un acero templado de 0,90% de carbono observadas en un microscopio óptico normal con 1.000 aumentos.

Se observa que la estructura obtenida en la temple es una martensita blanca difícil de resolver con pocos aumentos, sobre todo si la estructura es fina y no hay austenita retenida. Al estudiar el revenido se puede ver a 200^o-250 un ligero oscurecimiento de las agujas de martensita debido a la transformación de la martensita de red tetragonal en martensita de red cúbica, transformación que muchos autores denominan transformación de martensita alfa en martensita beta.

Al continuar el revenido, a unos 400^oC, se observa un oscurecimiento muy intenso. Antiguamente se pensaba que correspondía a la formación de troostita.

Luego, al aumentar la temperatura de revenido, se acentúa y desarrolla la coalescencia de la cementita. Antiguamente a esta microestructura que se formaba a 600^o-650 se le denominaba sorbitica.

Modernas teorías sobre las transformaciones que ocurren en el revenido:

Recientemente, con ayuda del microscopio electrónico y de los rayos X, se han podido estudiar con más detalle todos estos fenómenos. Se han dado nuevas interpretaciones y se ha llegado actualmente a la conclusión de que el revenido se produce en tres etapas principales.

1^a.- La primera etapa se realiza a bajas temperaturas, inferiores a 300^o, y en ella se precipita un carburo de hierro (épsilon) y el contenido en carbono de la martensita baja a C=0,25%.

El carburo épsilon cristaliza en el sistema hexagonal; su fórmula es Fe_{2,4}C y es un carburo diferente de la cementita Fe₃C.

Esa precipitación de carburo épsilon se realiza en los límites de los subgranos heredados de la austenita, los cuales se siguen manifestando en la martensita. En esa fase de formación de carburo épsilon origina, como ya se ha indicado, una pérdida importante de carbono en martensita, que al final de esta fase queda aproximadamente con 0.25% de carbono y su red tetragonal se transforma en red cúbica.

La segunda etapa sólo se presenta cuando aparece austenita retenida en la microestructura del acero templado, y en esa etapa la austenita retenida se transforma en bainita. La zona de temperatura en que se produce esta segunda etapa solapa a las temperaturas en las que se producen las etapas primera y tercera. Esta bainita, al ser luego calentada en el revenido a altas temperaturas, sufre también una precipitación de carburo de hierro con formación final de cementita y ferrita.

La tercera etapa el carburo épsilon que apareció en la primera etapa, se transforma en cementita Fe_3C al aumentar progresivamente la temperatura del acero se forma primero un precipitado de cementita en los límites de las agujas de martensita y también en su interior luego, al aumentar la temperatura se redissuelve la cementita que envuelve la martensita. Luego, al continuar elevándose todavía más la temperatura, se va rompiendo la envoltura de cementita que se va presentando cada vez más discontinua en las zonas límites de las antiguas agujas de martensita. Al progresar el calentamiento, la coalescencia y globulización de la cementita prosigue, y a $600^{\circ}C$, con grandes aumentos, es ya clara y definida y la matriz queda ya constituida por ferrita. Al final la martensita se ha transformado en cementita y ferrita.

En los revenidos, la martensita obtenida en el temple, va perdiendo carbono que aparece primero en forma de carburo épsilon y luego en forma de cementita. En los aceros al carbono después del revenido a $650^{\circ}C$ los constituyentes fundamentales son ferrita y cementita, que al ser observados con pocos aumentos presentan un aspecto muy difuso, que con los microscopios ópticos y con menos de 1.000 aumentos son muy difíciles de reconocer.

En los aceros de alta aleación se presenta otra cuarta etapa, en las temperaturas altas de revenido, que corresponde a la precipitación de carburo de aleación que dan lugar a un endurecimiento secundario.

Todas estas fases del revenido se han descubiertas recientemente como ya hemos dicho anteriormente, con microscopios electrónicos y aparatos de difracción de rayos X. Esas transformaciones no se pueden observar con microscopios ópticos ordinarios de 100 a 1000 aumentos que son los que se usan normalmente en la práctica industrial.

Por tanto se considera que los constituyentes que aparecen en el revenido son diferentes de los que se estudiaban antiguamente. La martensita que es en realidad hierro alfa sobresaturado con carburo de hierro, sufre en el revenido un verdadero proceso de precipitación. Se precipitan carburos y se conserva la red cristalina de cuerpo centrado (hierro alfa) de la martensita. En cambio, en las transformaciones que la austenita experimenta en el temple, normalizado y recocido al ser enfriada, el hierro gamma con caras centradas, cambia a hierro alfa, de red cristalina de cuerpo centrado.

Resumiendo se puede decir que en los revenidos a temperaturas relativamente elevadas, la martensita se transforma en ferrita y partículas de cementita globular que por ser de tamaño muy fino son difíciles de observar si no se emplean grandes aumentos.

III.- TECNICAS EXPERIMENTALES

A continuación se da una lista del equipo, materia prima y técnicas metalográficas que se usaron en la elaboración de este trabajo.

1.- EQUIPO

- a) Montadora (BUEHLER LTA)
- b) Pulidora (WIRTZ)
- c) Muflas (TYPE I500 FURNACE THERMOLYNE)
- d) Microscopios metalográficos con cámara fotográfica:
(BAUSCH Y COMB? LEITZ Y REICHERT F-1)
- e) Máquina de dureza (FRANK)
- f) Tanques de enfriamiento

2.- MATERIA PRIMA

- a) Baquelita
- b) Alumina
- c) Reactivos Metalográficos
- d) Reactivos fotográficos
- e) Abrasivos
- f) Resinas
- g) Medios de enfriamiento, agua y aceite.

3.- TECNICAS METALOGRAFICAS

- a) De preparación y montaje
- b) Pulido y ataque
- c) Fotografía

B.-CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS ACEROS, ESTUDIADOS:

I045, 4I40 y 8620

I.- I045.-

TRATAMIENTOS

Forjade 1100 a 850°C
 Recocidoa 835/855°C
 Normalizadoa 860/855°C
 Templea 825/845°C
 RevenidoTenaz a 650°C

Diametro crítico normal en agua = 9mm

CARACTERISTICAS MECANICAS

| Aplicación | Estado | diametro mm | resistencia Kg/mm ² | elongación Kg/mm ² | A % | ρ Kgm/cm ³ | HB |
|--------------------|-----------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------|-------------------------------|--------------|
| Mínimo en probeta | templado y revenido | 9 | 70 | 50 | I2 | 7 | 200 |
| uso normal | normalizado templ. y reven. | 9 9 | 62-70 90 | 40-42 | I6-I3 8 | I0-7 6 | 247 a 277 |
| resistencia maxima | templado y reven. duro | 9 | I05 | 83 | 6 | 5 | 302 |
| resistencia mínima | templado y reven. tenaz | 9 | 75 | 58 | II | 9 | 2I7 |

APLICACIONES: se usa en ejes y elementos de máquinas, piezas de bastante resistencia, transmisiones, cilindros de motor de explosión. Puede emplearse en estado normalizado para la fabricación de gran número de piezas de máquinas y motores de no gran responsabilidad. Piezas de resistencia media de pequeños espesores y formas poco complicadas, etc.

3.- 4I40.-

TRATAMIENTOS

Forja de 1200 a 900⁰C

Normalizado a 850/870⁰C

Recocido a 810/830⁰C

Temple a 830/860⁰C

Revenido Tenaz a 650⁰C

TEMPLABILIDAD : Minima Jominy.- J₅₀ = 15mm J₄₀ = 25mm

Diámetro crítico normal en aceite = 80mm

CARACTERISTICAS MECANICAS:

| APLICACION | ESTADO | DIAMETR mm | RESISTENCIA Kg/mm | ELONGACION Kg/mm | A % | Kgm/cm | HB |
|---------------------------|-------------------------|---------------|----------------------|---------------------|--------|--------|-----|
| minimo en probeta | templado y reven. | | 90 | 70 | 10 | 9 | 262 |
| uso normal | templado y reven. | 80 | 100 | 80 | 10 | 9 | 300 |
| resistencia maxima | templado y reven. duro | 80 | 115 | 100 | 7 | 7 | 340 |
| resistencia minima | templado y reven. tenaz | 80 | 85 | 65 | 13 | 12 | 241 |
| límites maximos de empleo | diámetro m m | 100 | 125 | | | | |
| | resistencia Kg/mm | 80 | 80 | | | | |

APLICACIONES : Se usa para piezas de máquinas y motores de no muy grandes espesores.

2.- 8620.-

TRATAMIENTOS

Forja de 1200°C a 900°C
 Normalizado..... a 870/890°C
 Recocido..... a 840/860°C
 Temple a 870/890°C
 Revenido Tenaz a 650°C

Templabilidad minima JominY : J₄₇ = 9mm J₂₆ = 20mm
 Diámetro crítico normal en aceite = 36mm

CARACTERISTICAS MECANICAS :

| APLICACION | ESTADO | DIAMETRO mm | RESISTENCIA Kg/mm | ELONGACION Kg/mm | A % | Kgs/cm | HB |
|---------------------------|-------------------------|----------------|----------------------|---------------------|--------|--------|-----|
| mínimo en probeta | templado y reven. | | 100 | 80 | 10 | 9 | 290 |
| uso normal | templado y reven. | 35 | 105 | 90 | 11 | 10 | 300 |
| resistencia maxima | templado y reven. duro | 35 | 130 | 115 | 7 | 6 | 380 |
| resistencia minima | templado y reven. tenaz | 35 | 90 | 70 | 14 | 13 | 262 |
| límites maximos de empleo | diámetro mm | 50 | 75 | 100 | | | |
| | resistencia kg/mm | 115 | 100 | 83 | | | |

APLICACIONES : Se usa en piezas de resistencia media. Piezas de maquinaria y motores de no muy grandes espesores que deban tener gran resistencia y buena tenacidad.

C.- ANALISIS QUIMICO:

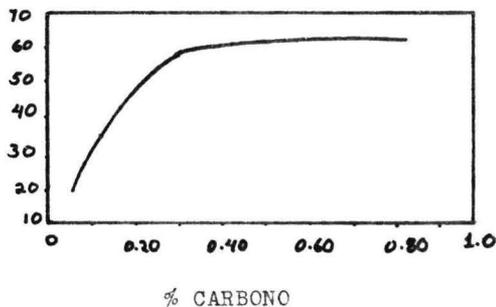
En esta parte del trabajo se considera importante mostrar el análisis químico de los aceros estudiados, aunque las propiedades de estos aceros no dependen principalmente de su composición química, sino de su tratamiento térmico; pero si es de gran importancia el contenido de carbono así como el contenido de aleantes.

Uno de los elementos que afecta más el comportamiento de un acero en los tratamientos termicos, es el contenido de carbono. El contenido de carbono en un acero tiene una gran influencia en sus propiedades mecánicas, principalmente con lo que respecta a la dureza; a mayor contenido de carbono mayor dureza, mayor resistencia, más distorsión en la estructura martensítica. La figura #I muestra como la dureza Rockwell C aumenta con respecto al porcentaje de contenido de carbono.

| | %C | %Mn | %Si | %Cr | %Ni | %Mo |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| 1045 | 0.45 | 0.65 | 0.35 | - | - | - |
| 8620 | 0.20 | 0.80 | 0.25 | 0.50 | 0.60 | 0.20 |
| 4140 | 0.42 | 0.65 | 0.25 | 1.0 | - | 0.20 |

Figura #I

DUREZA MAXIMA
ROCKWELL C



III.- PARTE EXPERIMENTAL:

EN esta parte del trabajo se muestra los tratamientos de 42 probetas de los aceros, 4I40 , IO45 y 8620. (A.I.S.I) numeradas respectivamente:

4I40.- De la probeta I a la II-4

IO45.- De la probeta I2 a la 22-4

8620.- De la probeta 23 a la 33-4

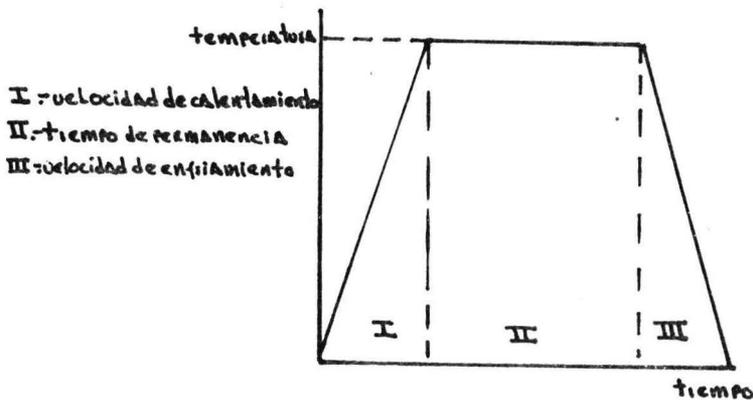
El material fue proporcionado por ACEROS FORTUNA S.A. EL estado de suministro de los aceros fue el que se da a continuación

| | Dureza (Brinell) | T.T. |
|--------|------------------|----------|
| 4I40.- | 230 | Recocido |
| IO45.- | 200 | Recocido |
| 8620.- | 205 | Recocido |

Las probetas se cortaron de barras en redondo de 50 Cm de largo y 2.54cm de diametro. Con un tratamiento Termico de Recocido.

A las probetas I, I2, y 22 se les tomo dureza así como una observación metalográfica, en estado de suministro.

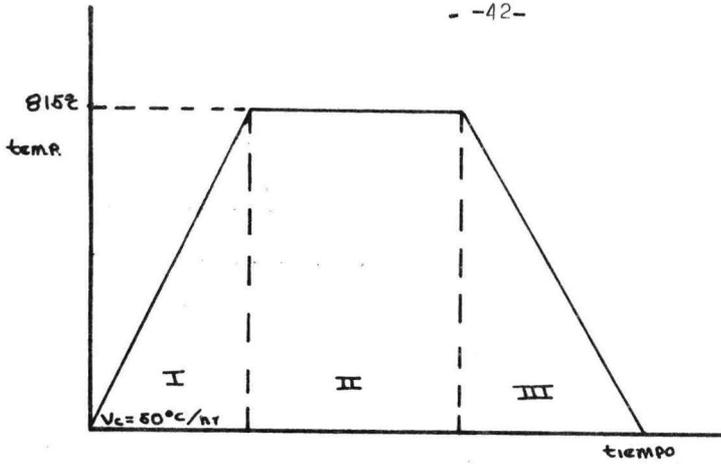
El trabajo se realizo, Haciendo tratamientos termicos a las probetas, modificando las etapas de sus ciclos termicos y tratando de obtener características mecánicas que ofrecieran ciclos termicos adecuados. Especificamente se utilizo el temple como tratamiento termico.



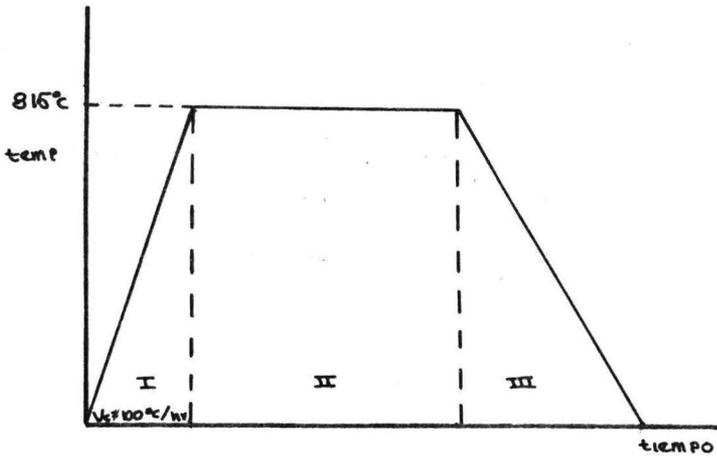
PROBETAS DE ACERO 4140

RESULTADOS

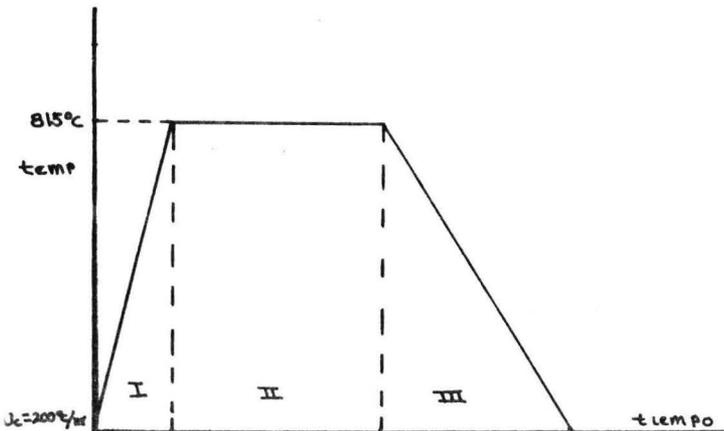
| | PROBETAS | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| | N ^o 2 | N ^o 3 | N ^o 4 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 50 | 100 | 200 |
| Temperatura de austenización °C | 815 | 815 | 815 |
| Tiempo de permanencia hr. | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| medio de enfriamiento | Agua | agua | agua |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | 5 | 5 |
| Volumen del M.E. cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta cm ³ | 6.27 | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 230 | 230 | 230 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 578 | 555 | 534 |
| Dureza despues del t.t. (Rockwell C) | 57 | 55 | 53 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 202 | 194 | 187 |



Probeta U°2
temple
I: $U_c = 50^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta G_0 \Delta$
Acero A1140



Probeta U°3
temple
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta G_0 \Delta$
Acero A1140



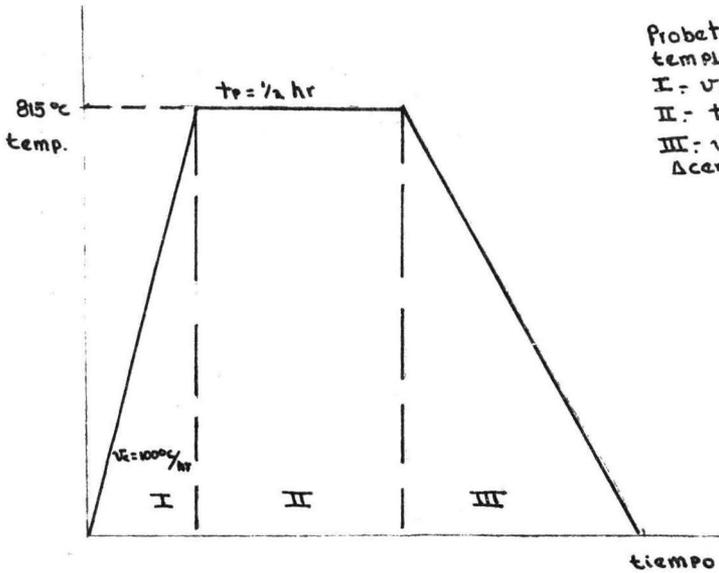
Probeta U°4
temple
I: $U_c = 200^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 0.5 \text{ hrs.}$
III: $m_e = \Delta G_0 \Delta$
Acero A1140

PROBETAS DE ACERO 4140
RESULTADOS

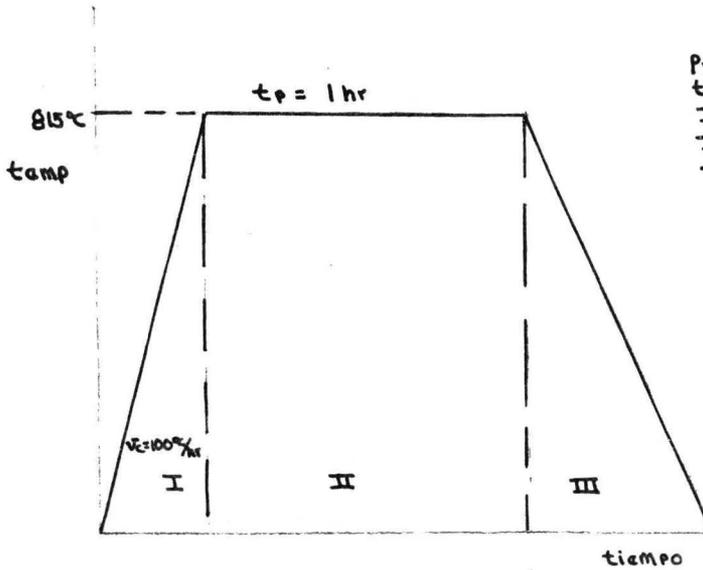
| | N°5 | PROBETAS | N°6 |
|--|----------------------|----------|----------------------|
| Tipo de tratamiento | Temple | | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 815 | | 815 |
| Tiempo de permanencia hr. | 0.5 | | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | Agua | | Agua |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | | 5 |
| volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | | 6.27 |
| Dureza del tratamiento antes del T.T. (Brinell) | 230 | | 230 |
| Dureza del tratamiento despues del T.T. (Brinell) | 514 | | 578 |
| Dureza del tratamiento despues del T.T. (Rockwell C) | 52 | | 57 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 180 | | 202 |

PROBETAS DE ACERO 4140
RESULTADOS

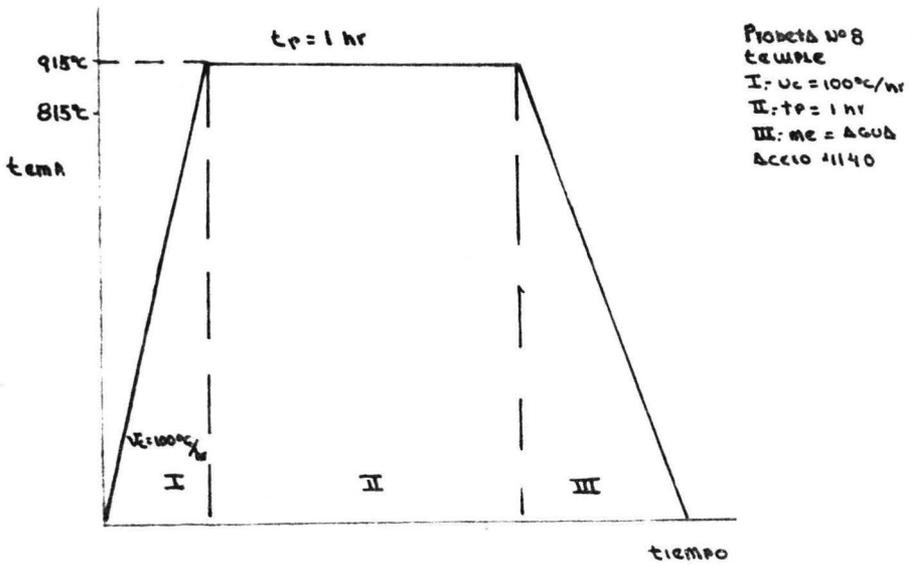
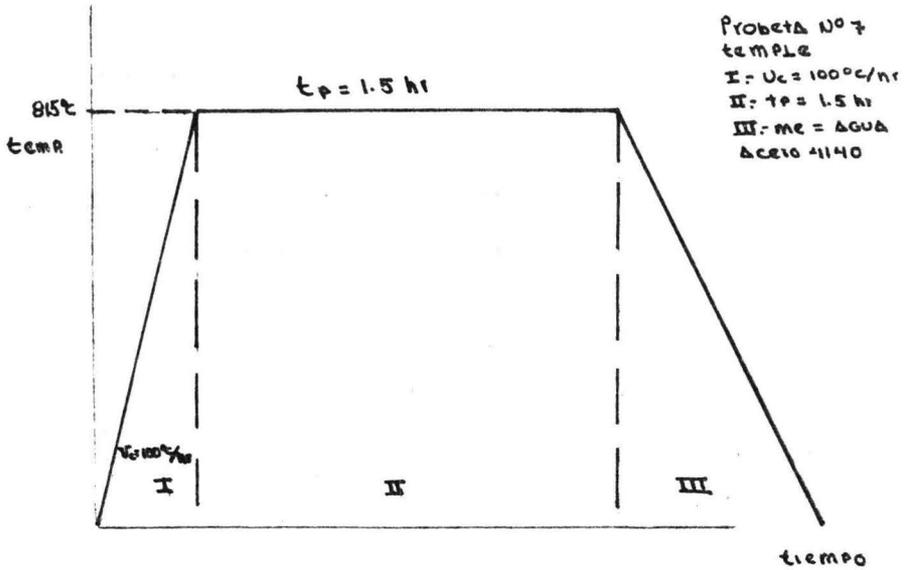
| TIPO DE TRATAMIENTO | PROBETAS | |
|--|----------------------|----------------------|
| | Nº7 | Nº8 |
| | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 815 | 915 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.5 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | Agua | Agua |
| Temperatura del medio de E. °C | 5 | 5 |
| Volumen del medio de E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 230 | 230 |
| dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 601 | 601 |
| dureza del acero despues del tratamiento (Rockwell C) | 58 | 58 |
| Resistencia a al tensión Kg/mm ² | 210 | 210 |



Probeta N°5
temple
I - $v_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II - $t_p = 1/2 \text{ hr}$
III - $v_c = \Delta 80^\circ\text{A}$
Acero 4140



Probeta N°6
temple
I - $v_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II - $t_p = 1 \text{ hr}$
III - $v_c = \Delta 80^\circ\text{A}$
Acero 4140



PROBETAS DE ACERO 4140
RESULTADOS

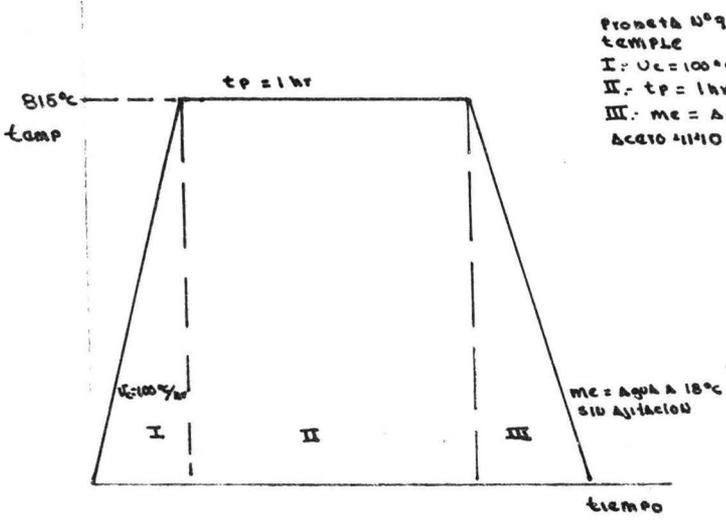
| | N ^o 9 | Probetas N ^o 10 | N ^o 11 |
|---|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 815 | 815 | 815 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua 75°C sin agitar | agua 18°C sin agitar | agua T.A. agitando |
| Temperatura del M.E. °C | 75°C | 18°C | T.A. |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 230 | 230 | 230 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 555 | 578 | 627 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell) | 55 | 57 | 60 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 194 | 202 | 218 |

PROBETAS DE ACERO 4I40
RESULTADOS

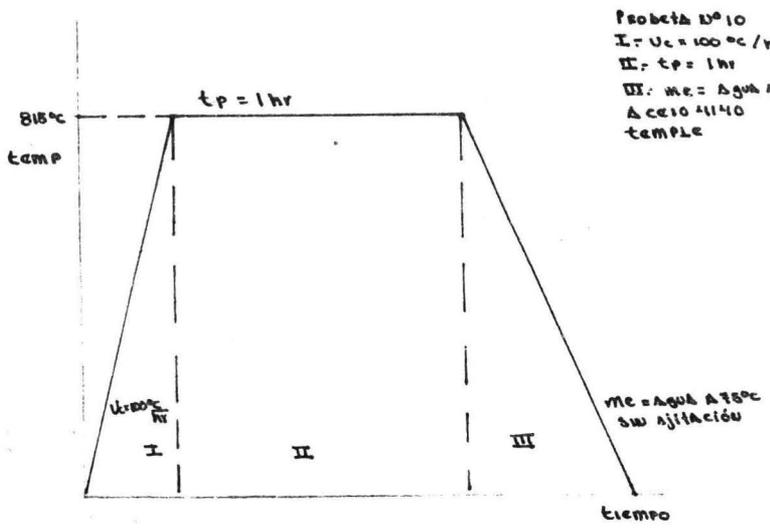
| | Probetas | |
|---|---------------------------------|------------------------------|
| | N°II-I | N°II-2 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 815 | 815 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua. agitando el medi de E. | aceite. agitando la pieza |
| Temperatura del M.E. °C | T.A. | T.A. |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 230 | 230 |
| dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 578 | 495 |
| dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 57 | 50 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 202 | 174 |

PROBETAS DE ACERO 4140
RESULTADOS

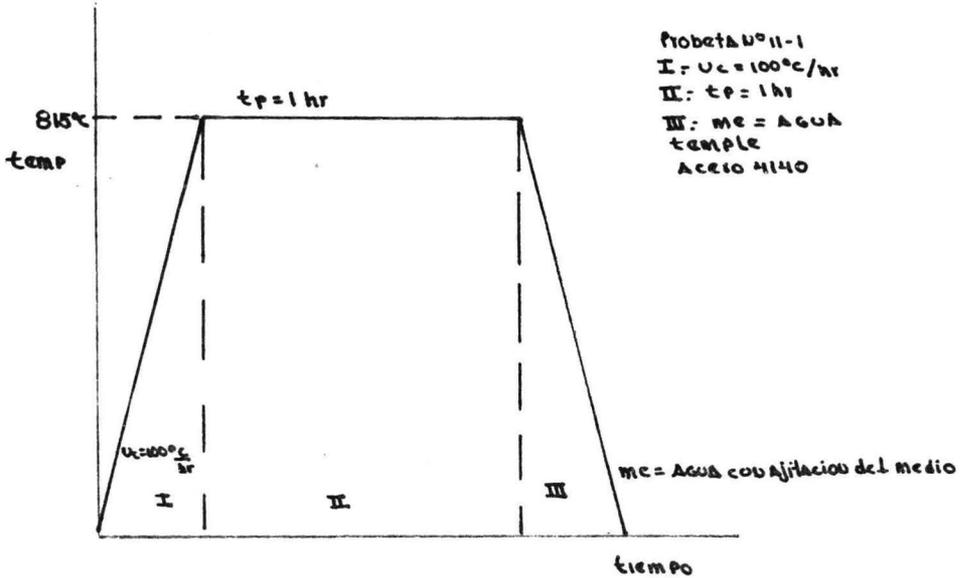
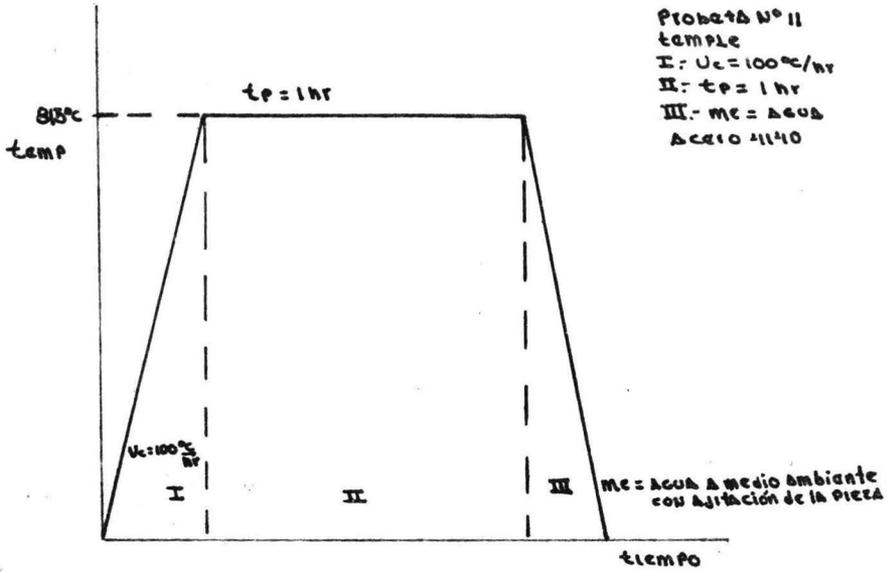
| | Probetas | |
|---|------------------------------------|----------------------------------|
| | Nº II- 3 | Nº II-4 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| temperatura de austenización °C | 815 | 815 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | aceite. agitando el medio de E. | agua + 10% NaCl con agitación |
| Temperatura del m.e. °C ^m | T.A. | T.A. |
| Volumen del m.e. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (brinell) | 230 | 230 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 495 | 601 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 50 | 58 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 174 | 210 |

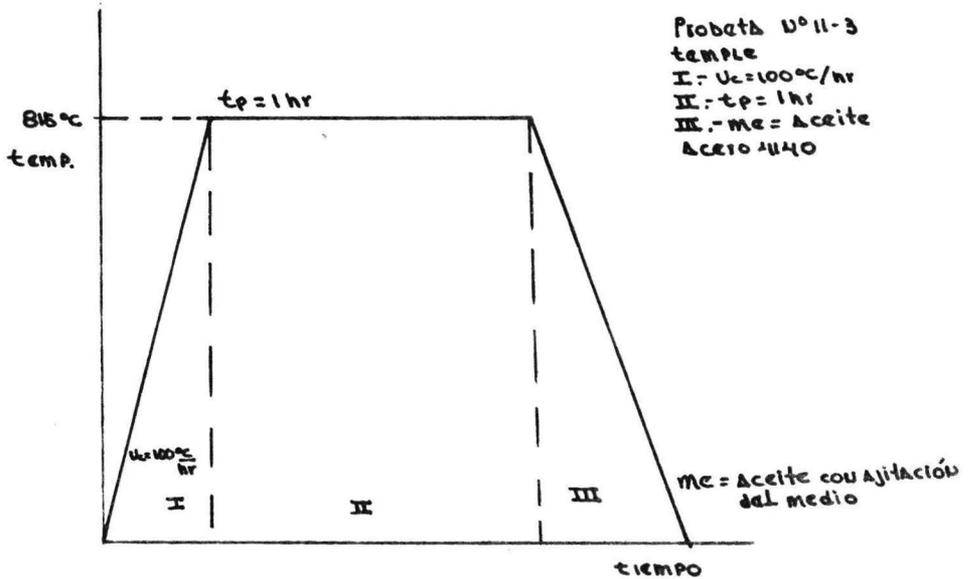
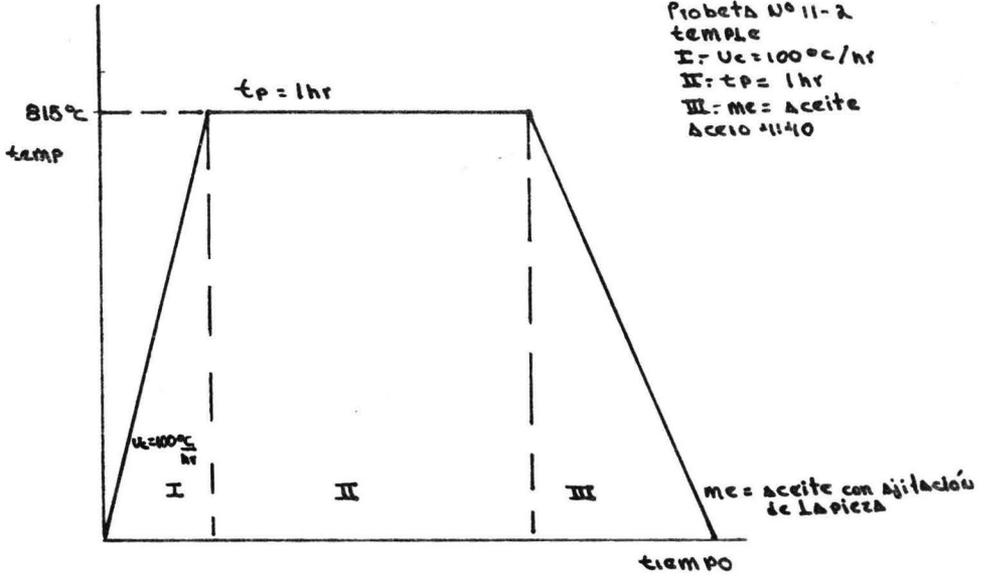


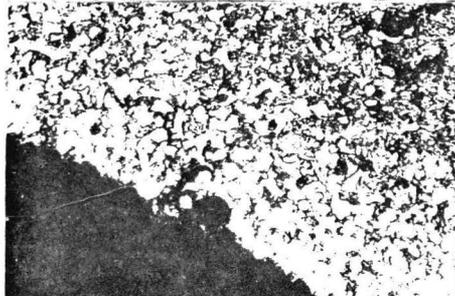
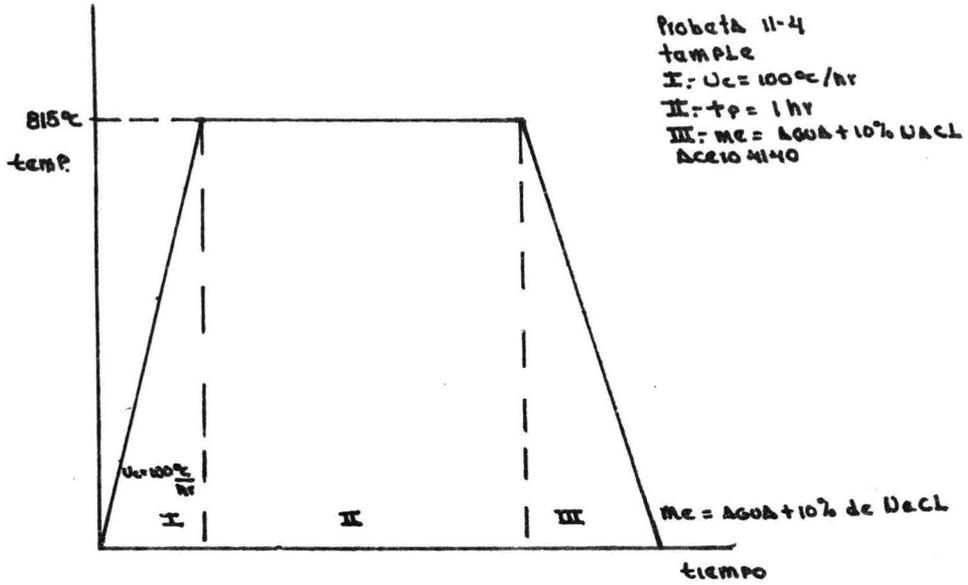
Prueba N°9
TEMPLE
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $tp = 1\text{hr}$
III: me = Agua a 15°C sin Agitación
Acero 4140



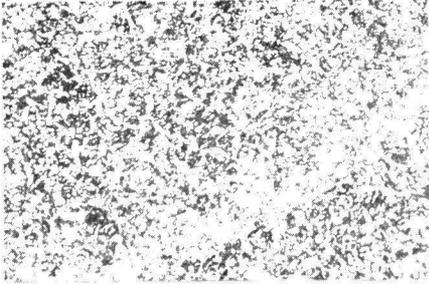
Prueba N°10
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $tp = 1\text{hr}$
III: me = Agua a 75°C sin Agitación
Acero 4140
TEMPLE



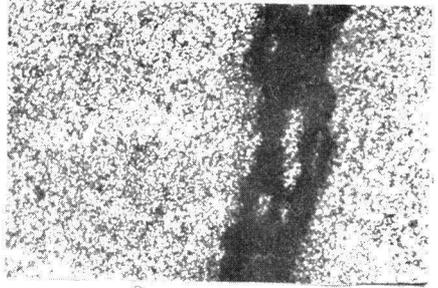




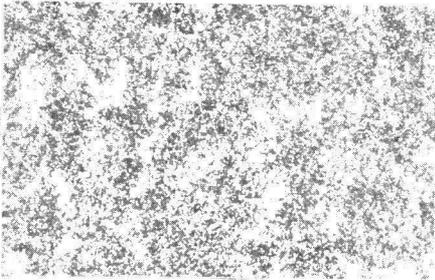
PROBETA N^o I. ACERO 4140
450X ATAQUE NITAL2%



PROBETA N°2. ACERO 4140
450X ATACQUE NITRAL 2%



PROBETA N°5. ACERO 4140
450X ATACQUE NITRAL 2%



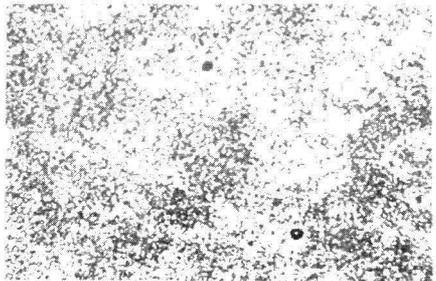
PROBETA N°3. ACERO 4140
450X ATACQUE NITRAL 2%



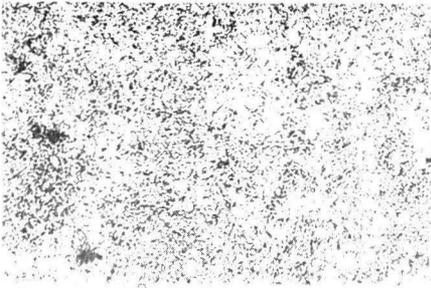
PROBETA N°6. ACERO 4140
450X ATACQUE NITRAL 2%



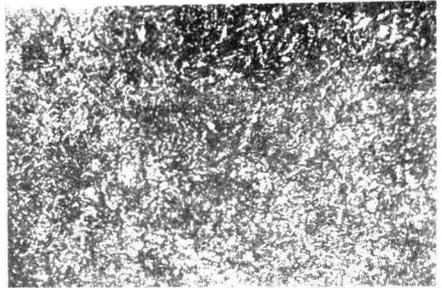
PROBETA N°4. ACERO 4140
450X ATACQUE NITRAL 2%



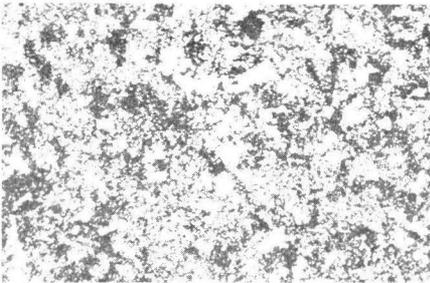
PROBETA N°6. ACERO 4140
450X ATACQUE NITRAL 2%



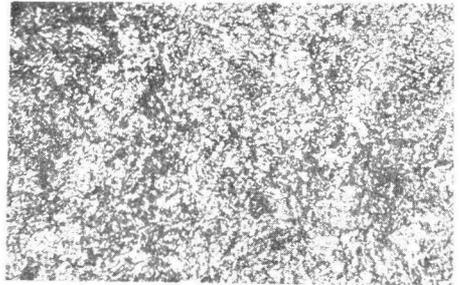
PROBETA N° 7. AG. NO. 7120
450X MAG. UN. 10 I 21



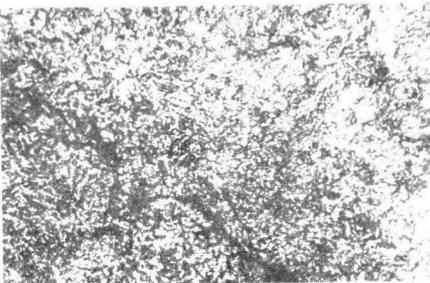
PROBETA N° 70. AG. NO. 7120
450X MAG. UN. 10 I 21



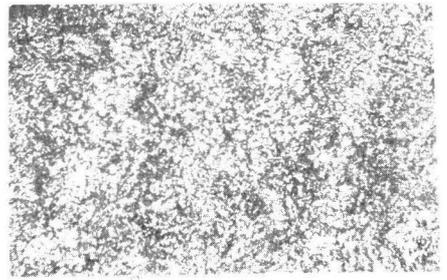
PROBETA N° 8. AG. NO. 7120
450X MAG. UN. 10 I 21



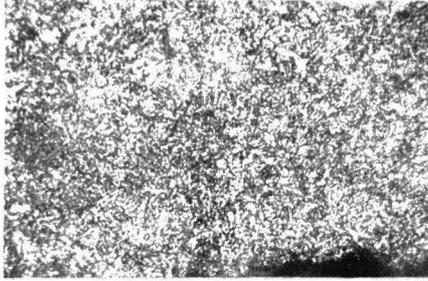
PROBETA N° 21. AG. NO. 7120
450X MAG. UN. 10 I 21



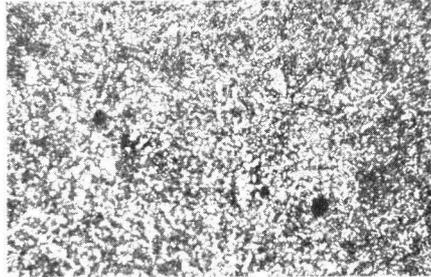
PROBETA N° 9. AG. NO. 7120
450X MAG. UN. 10 I 21



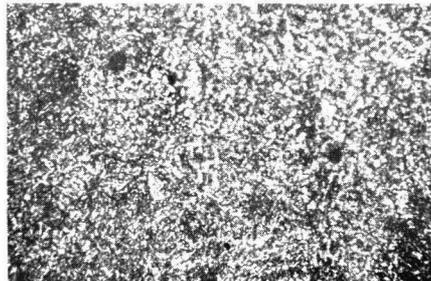
PROBETA N° 11-I. AG. NO. 7120
450X MAG. UN. 10 I 21



PROBETA N^o II-2 ACERO 4140
400X ATAQUE NITAL 2%



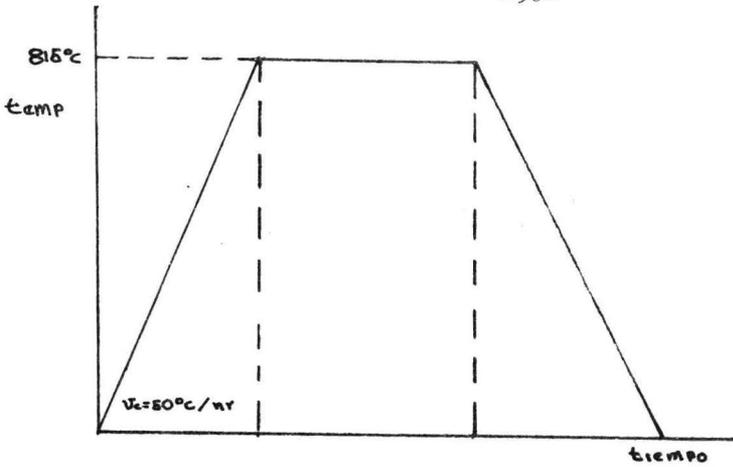
PROBETA N^o I-3 ACERO 4140
450X ATAQUE NITAL 2%



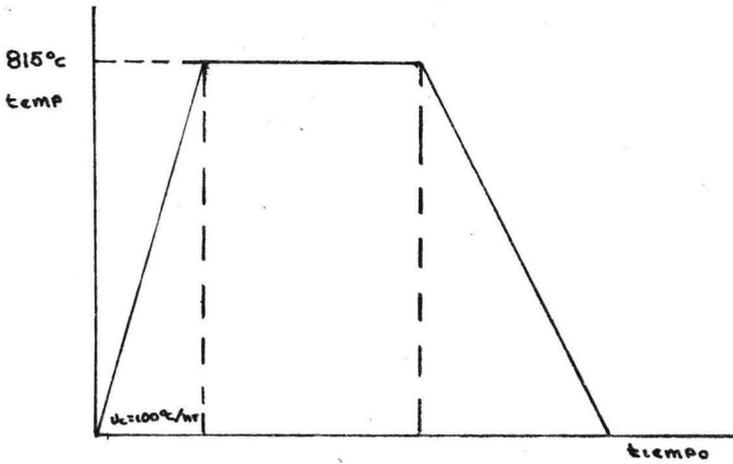
PROBETA N^o II-4 acero 4140
450X ATAQUE NITAL 2%

PROBETAS DE ACERO 8620
RESULTADOS

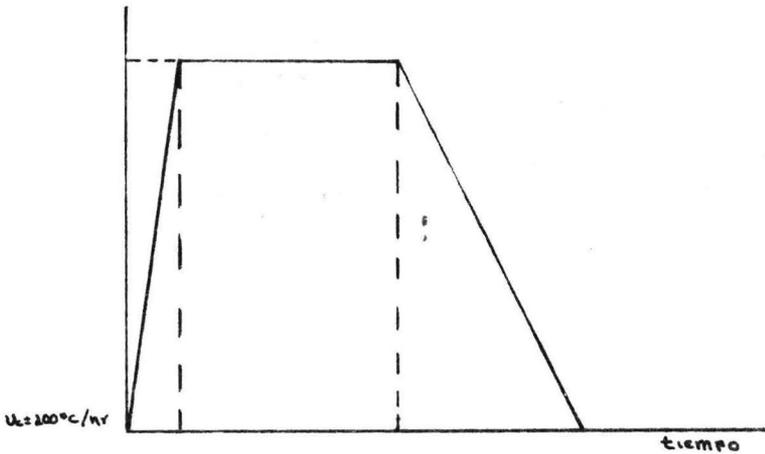
| | PRABETAS | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Nº24 | Nº25 | Nº26 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 50 | 100 | 200 |
| Temperatura de austenización °C | 845 | 845 | 845 |
| Tiempo de permanencia hr. | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Medio de enfriamiento | agua | agua | agua |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | 5 | 5 |
| Volumen del medio de E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 205 | 205 | 205 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 352 | 375 | 375 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwel C) | 37 | 40 | 39 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 120 | 128 | 128 |



Probeta U° 24
temple
I: $U_c = 50^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 0.5 \text{ hrs}$
III: $m_e = \Delta 60\Delta$
Acero 8620



Probeta U° 25
temple
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta 60\Delta$
Acero 8620



Probeta U° 26
temple
I: $U_c = 200^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta 60\Delta$
Acero 8620

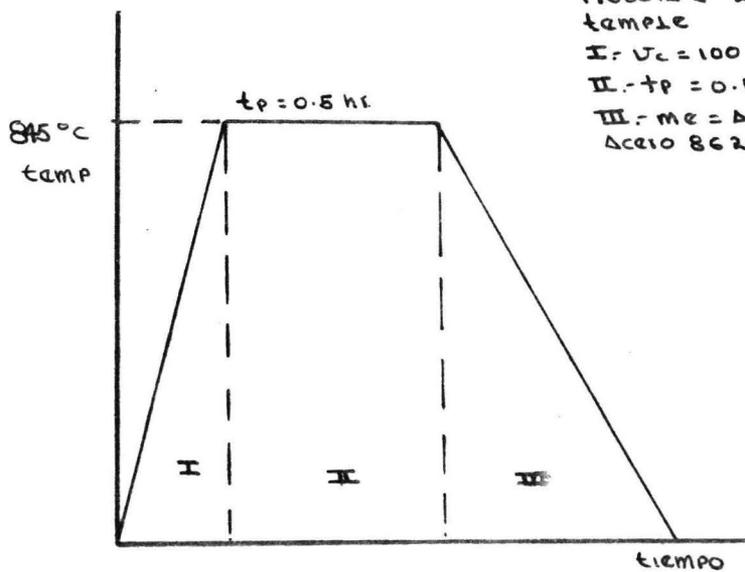
PROBETAS DE ACERO 8620
RESULTADOS

| | PROBETAS | |
|---|----------------------|----------------------|
| | N ^o 27 | N ^o 28 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 845 | 845 |
| Tiempo de permanencia hr. | 0.5 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua | agua |
| Temperatura del medio de E. °C | 5 | 5 |
| Volumen del medio de E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 205 | 205 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 331 | 375 |
| dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 35 | 40 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 112 | 128 |

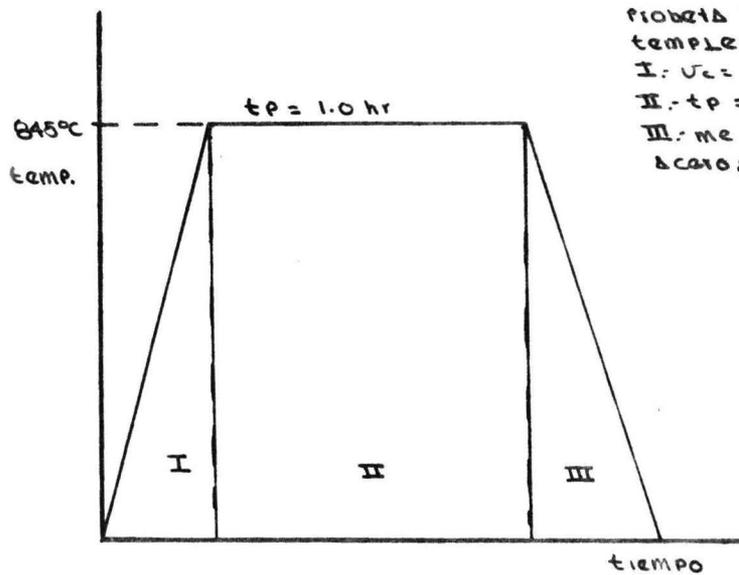
PROBETAS DE ACERO 8620

RESULTADOS

| | PROBETAS | |
|---|----------------------|----------------------|
| | Nº29 | Nº30 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 845 | 945 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.5 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua | agua |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | 5 |
| volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 205 | 205 |
| Dureza del acero despues del T.T. (BRinell) | 40I | 40I |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 42 | 42 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 138 | 138 |

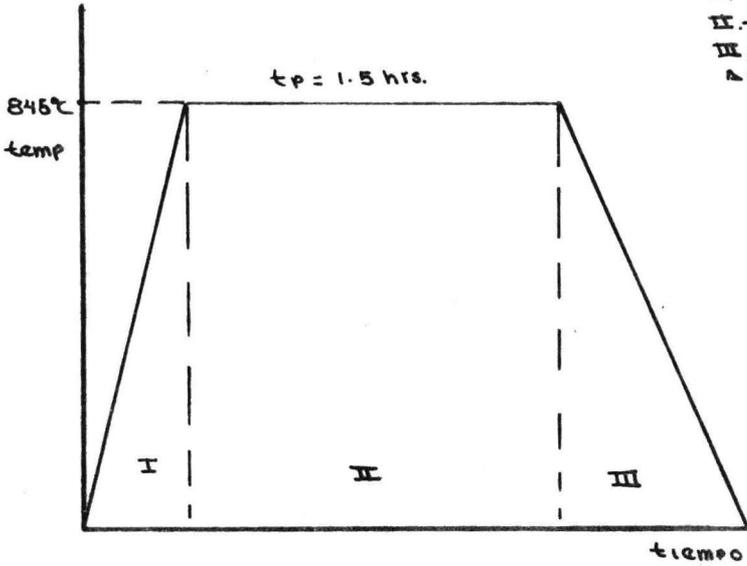


Probeta No 27
temple
I. $v_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II. $t_p = 0.5 \text{ hr}$
III. $m_e = \Delta 80^\circ\text{C}$
Acero 8620

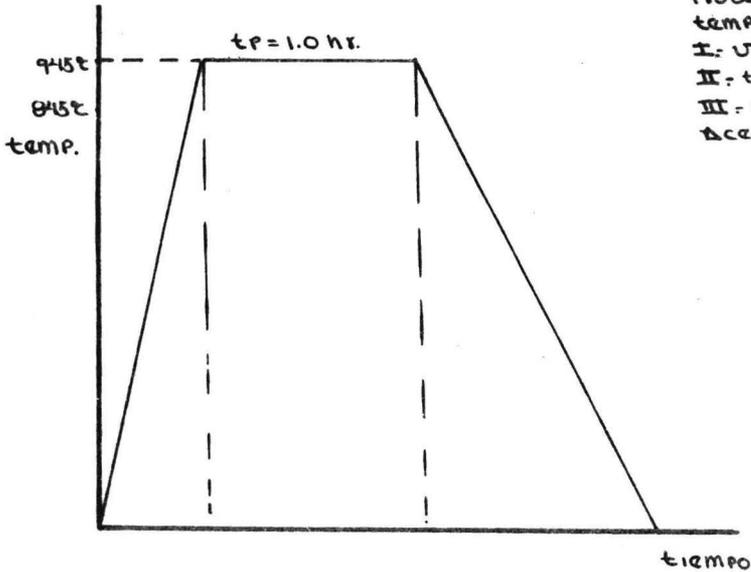


Probeta No 28
temple
I. $v_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II. $t_p = 1.0 \text{ hr}$
III. $m_e = \Delta 80^\circ\text{C}$
Acero 8620

PROBETA N° 29
temple
I. $v_c = 100^\circ\text{C}/\text{hr}$
II. $t_p = 1.5 \text{ hrs.}$
III. $m_c = \text{AGUA}$
Acero B620



PROBETA N° 30
temple
I. $v_c = 100^\circ\text{C}/\text{hr}$
II. $t_p = 1.0 \text{ hr}$
III. $m_c = \text{AGUA}$
Acero B620



PROBETAS DE ACERO 8620
RESULTADOS

| | PROBETAS | |
|---|-----------------------|-----------------------|
| | Nº31 | Nº32 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 845 | 845 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua sin agitación | agua sin agitación |
| volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Temperatura del M.E. °C | 75 | 18 |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 205 | 205 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 375 | 388 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 40 | 41 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 128 | 133 |

PROBETAS DE ACERO '8620'
RESULTADOS

| | PROBETAS | |
|---|----------------------------|----------------------------|
| | Nº33 | Nº34 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 845 | 845 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua. agitando la pieza | agua. agitando el medio |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | 5 |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 205 | 205 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 477 | 444 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 49 | 46 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 167 | 155 |

PROBETAS DE ACERO 8620
RESULTADOS

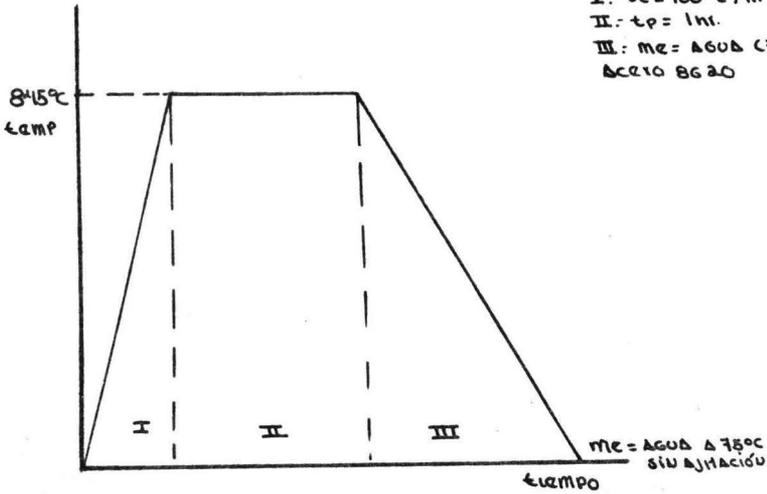
| | PROBETAS | | |
|---|---------------------------|----------------------|-------------------------------|
| | N ^o 33-1 | N ^o 33-2 | N ^o 33-3 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple | temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 845 | 845 | 845 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | aceite. agitando la pieza | aceite. agitando | agua+ el medio de E. 10% NaCl |
| Temperatura del M.E. °C | T.A. | T.A. | T.A. |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 | 6.27 |
| Dureza de la probeta antes del T.T. (Brinell) | 205 | 205 | 205 |
| Dureza de la probeta despues del T.T. (Brinell) | 331 | 331 | 363 |
| Dureza de la probeta despues del T.T: 35 (Rockwell C) | 35 | 35 | 38 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 112 | 112 | 124 |

Probeta U° 21
temple

I: $v_c = 100^\circ\text{C/hr}$

II: $t_p = 1\text{hr}$

III: $m_e = \Delta 60^\circ\text{C}$ (sin agitaci6n)
 $\Delta c_{10} \Delta 620$

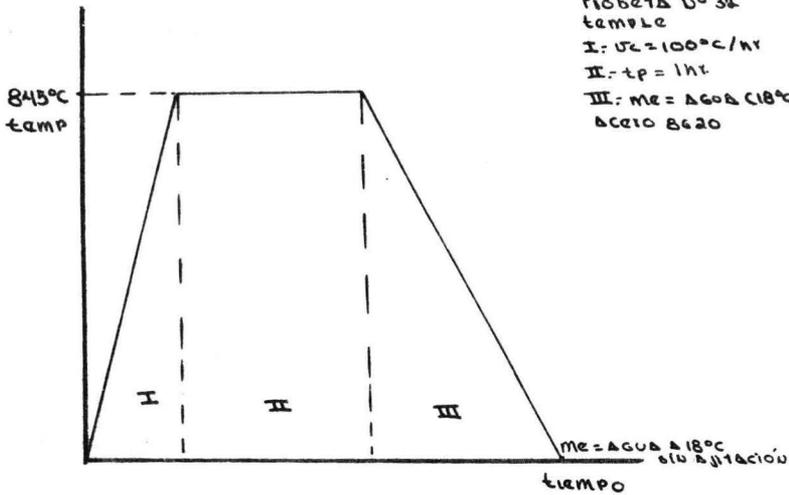


Probeta U° 38
temple

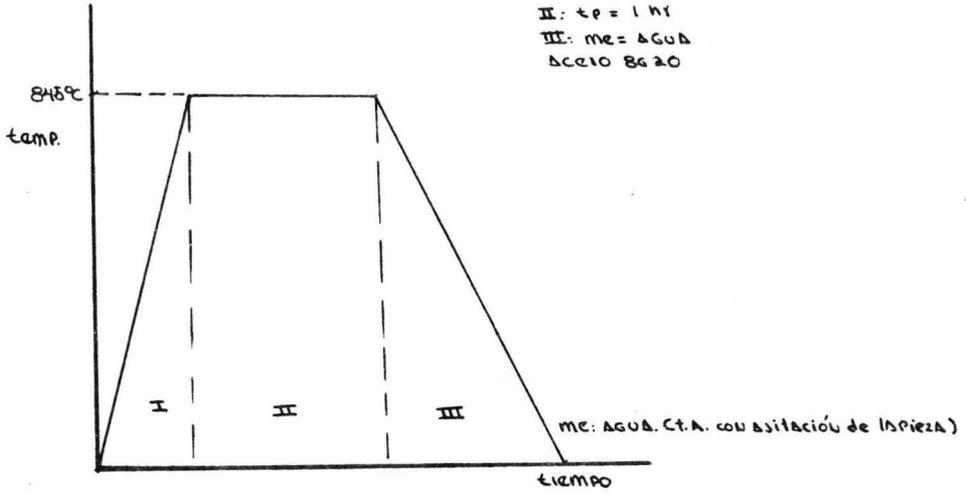
I: $v_c = 100^\circ\text{C/hr}$

II: $t_p = 1\text{hr}$

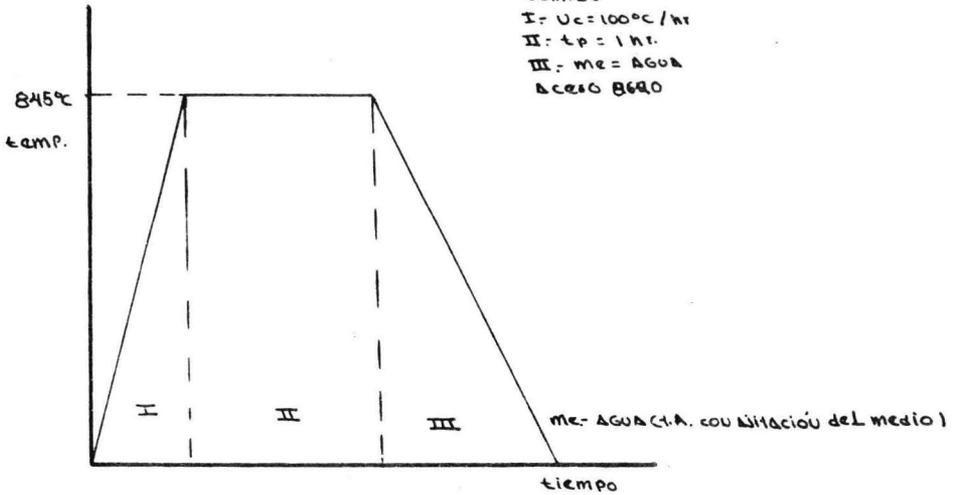
III: $m_e = \Delta 60^\circ\text{C}$ (sin agitaci6n)
 $\Delta c_{10} \Delta 620$



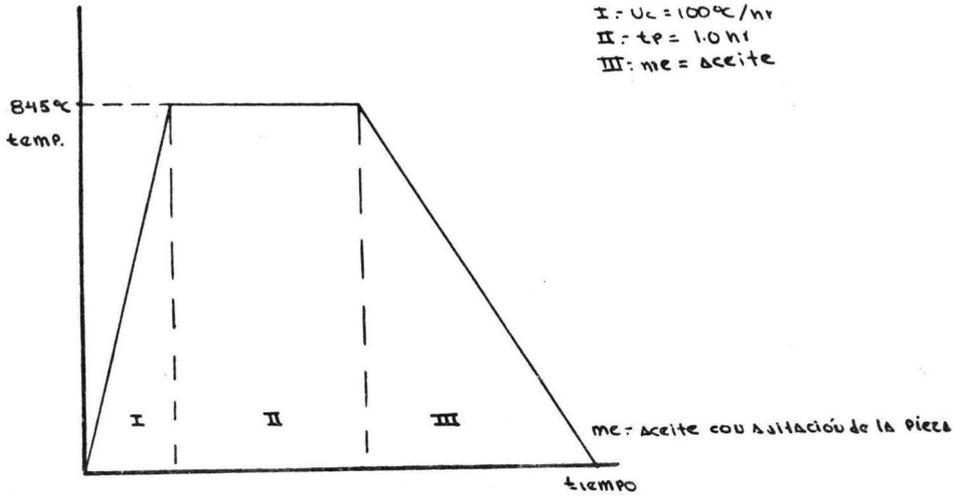
PROBETA Dº 33
TEMPLE
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 1 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta GUA$
ACERO B620



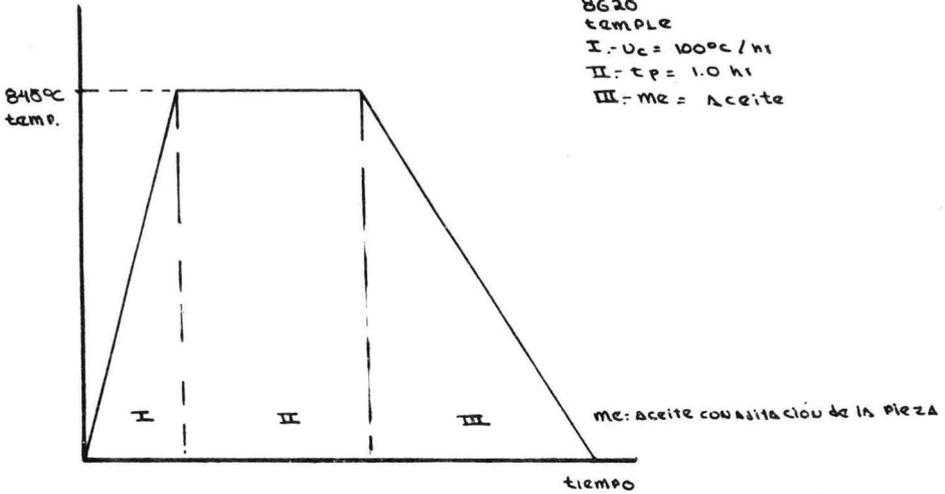
PROBETA Dº 31
TEMPLE
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 1 \text{ hr}$
III: $m_e = AGUA$
ACERO B690



PROBETA N° 33-1
8620
TEMPLE
I - $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II - $t_p = 1.0 \text{ hr}$
III - $m_e = \text{aceite}$



PROBETA N° 33-2
8620
TEMPLE
I - $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II - $t_p = 1.0 \text{ hr}$
III - $m_e = \text{Aceite}$



Probeta U^o 33-3

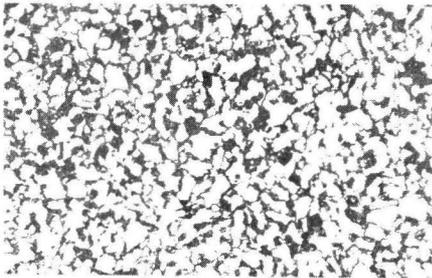
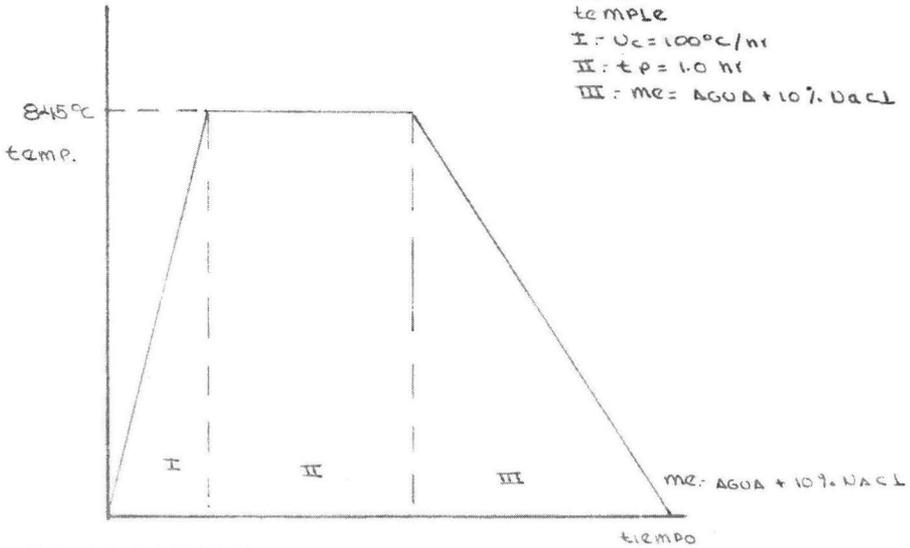
8620

temple

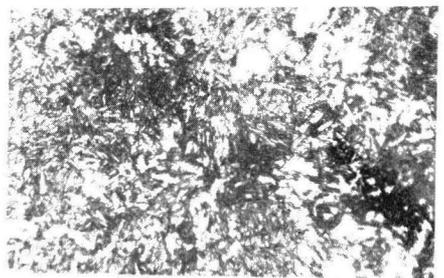
I: $U_c = 100^\circ\text{C}/\text{hr}$

II: $t_p = 1.0 \text{ hr}$

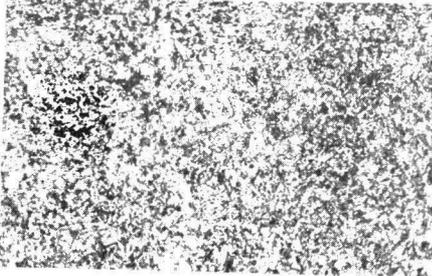
III: $m_c = \text{AGUA} + 10\% \text{ NaCl}$



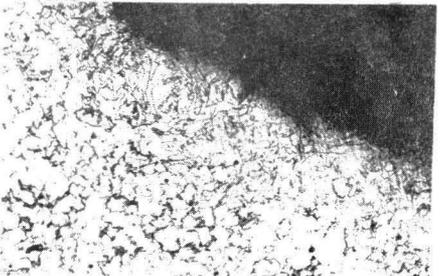
74. U^o 33. AG-80 100
450^o C. 1.0 hr. 10% NaCl



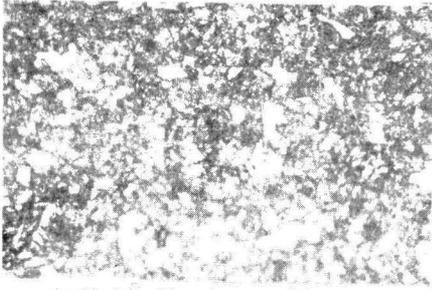
75. U^o 33. AG-80 100
450^o C. 1.0 hr. 10% NaCl



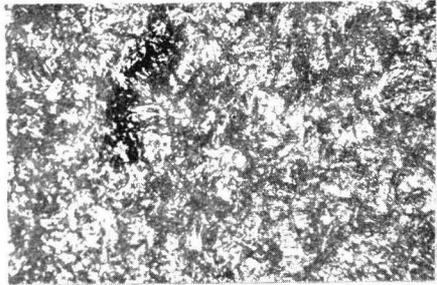
76. U^o 33. AG-80 100
450^o C. 1.0 hr. 10% NaCl



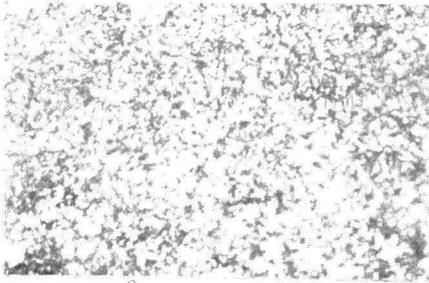
77. U^o 33. AG-80 100
450^o C. 1.0 hr. 10% NaCl



PROBETA N° 32. ACERO 8620
450X ATAQUE NITAL 2%



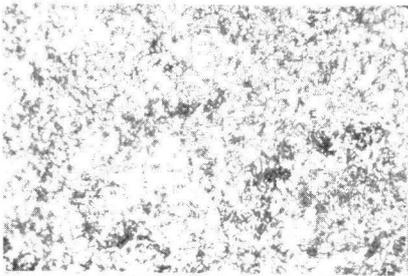
PROBETA N° 33-I. ACERO 8620
450X ATAQUE NITAL 2%



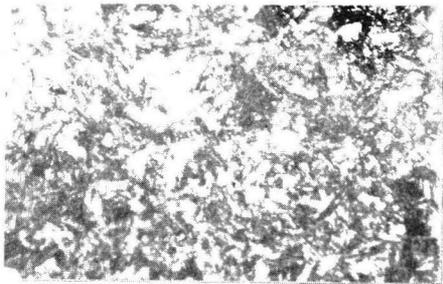
PROBETA N° 34. ACERO 8620
450X ATAQUE NITAL 2%



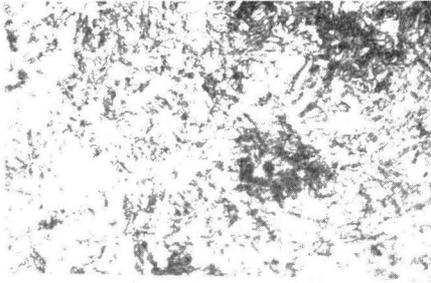
PROBETA N° 33-2. ACERO 8620
450X ATAQUE NITAL 2%



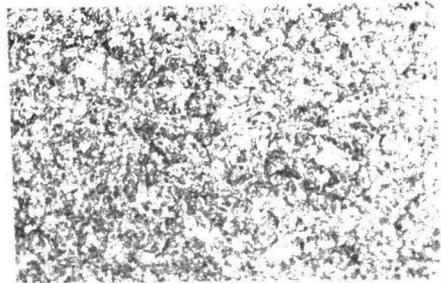
PROBETA N° 34. ACERO 8620
450X ATAQUE NITAL 2%



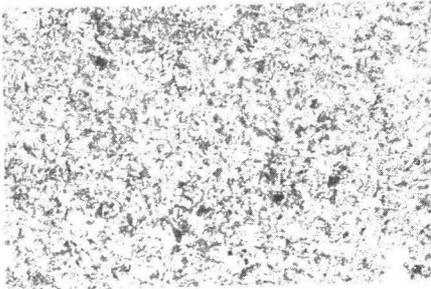
PROBETA N° 33-3. ACERO 8620
450X ATAQUE NITAL 2%



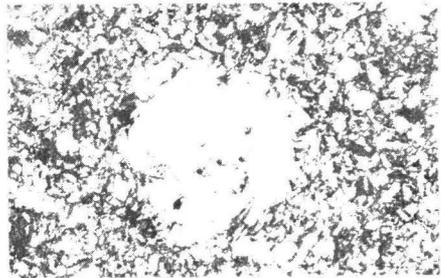
PROBETA N°26. ACERO P620
450X ATAQUE NITAL 2%



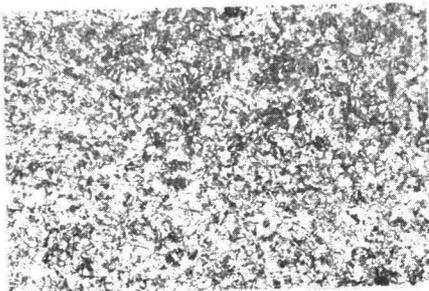
PROBETA N°29. ACERO P620
450X ATAQUE NITAL 2%



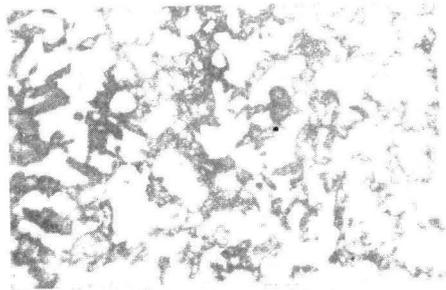
PROBETA N°27. ACERO P620
450X ATAQUE NITAL 2%



PROBETA N°30. ACERO P620
450X ATAQUE NITAL 2%



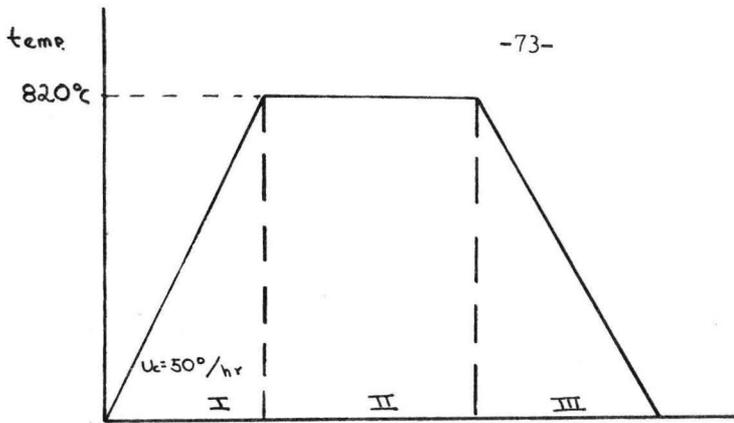
PROBETA N°28. ACERO P620
450X ATAQUE NITAL 2%



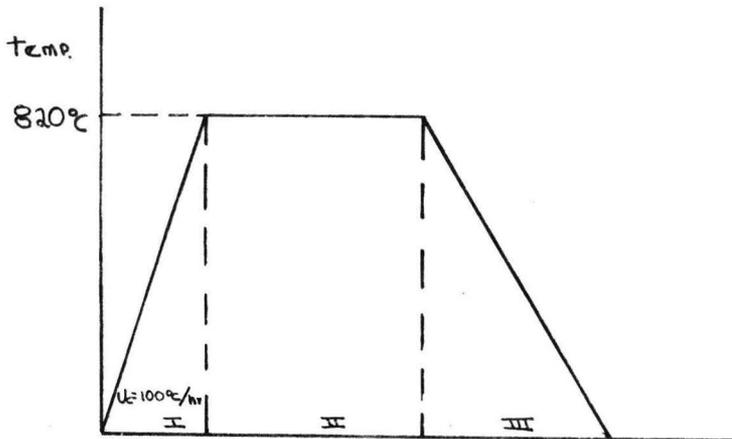
PROBETA N°31. ACERO P620
450X ATAQUE NITAL 2%

PROBETAS DE ACERO I045
RESULTADOS

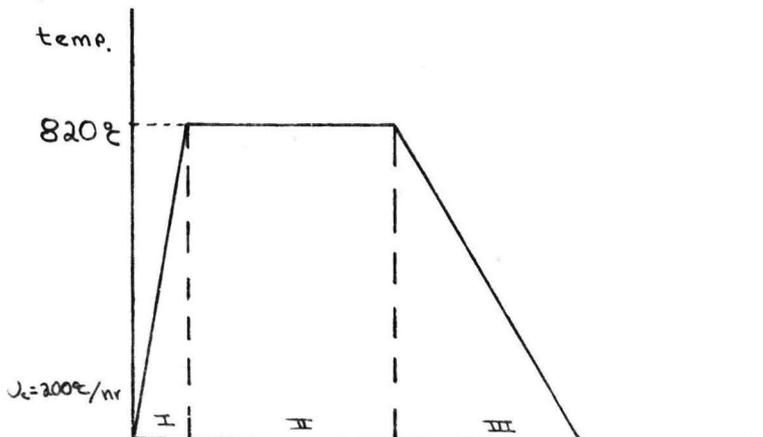
| | PROBETAS | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Nº13 | Nº14 | Nº15 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 50 | 100 | 200 |
| Temperatura de austenización °C | 820 | 820 | 820 |
| Tiempo de permanencia hr. | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Medio de enfriamiento | agua | agua | agua |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | 5 | 5 |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ⁵ | 5.10x10 ⁵ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 200 | 200 | 200 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 627 | 653 | 627 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 60 | 62 | 60 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 218 | 228 | 218 |



Probeta U°13
 temple
 I: $U_c = 50^\circ/\text{hr}$
 II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
 III: $m_c = \Delta G_{0.8}$
 $\Delta C_{0.10} 10^{13}$



Probeta U°14
 temple
 I: $U_c = 100^\circ/\text{hr}$
 II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
 III: $m_c = \Delta G_{0.8}$
 $\Delta C_{0.10} 10^{14}$



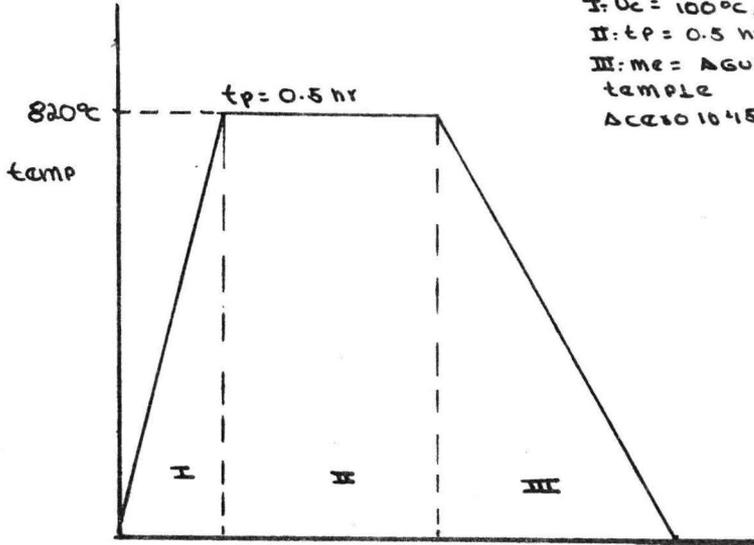
Probeta U°15
 temple
 I: $U_c = 200^\circ/\text{hr}$
 II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
 III: $m_c = \Delta G_{0.8}$
 $\Delta C_{0.10} 10^{15}$

PROBETAS DE ACERO I045
RESULTADOS

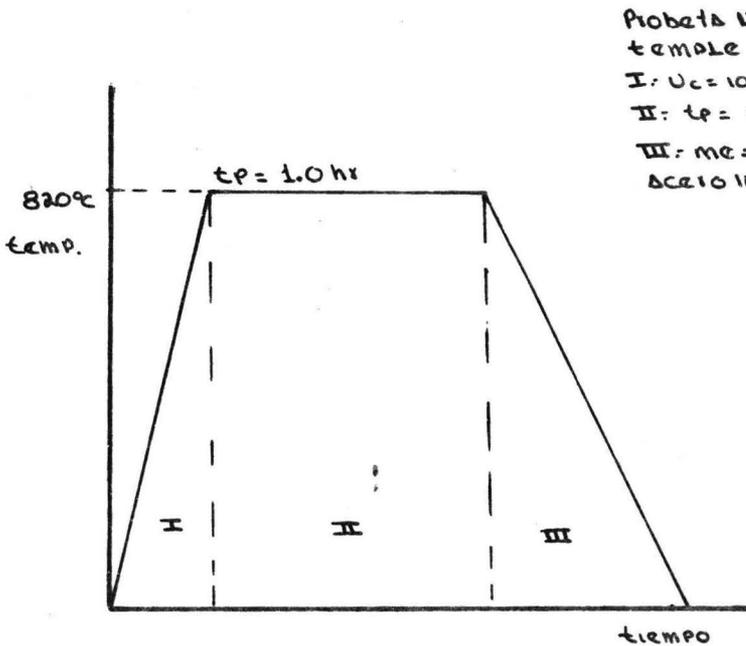
| | PROBETAS | |
|---|----------------------|----------------------|
| | Nº I6 | Nº I7 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 820 | 820 |
| Tiempo de permanencia hr. | 0.5 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua | agua |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | 5 |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 200 | 200 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 578 | 653 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 57 | 62 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 202 | 228 |

PROBETAS DE ACERO I045
RESULTADOS

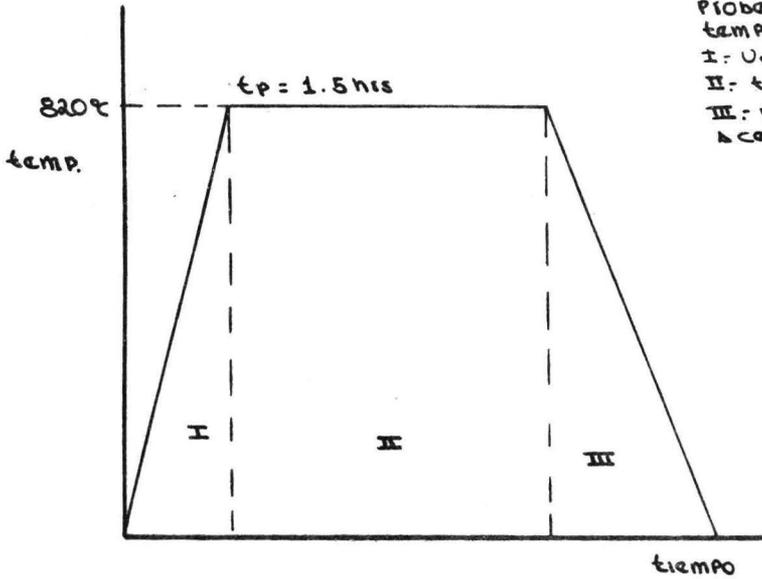
| | PROBETAS | |
|---|----------------------|----------------------|
| | Nº18 | Nº19 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 820 | 920 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.5 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua | agua |
| Temperatura del M.E. °C | 5 | 5 |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 200 | 200 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 237 | 260 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 64 | 67 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 237 | 245 |



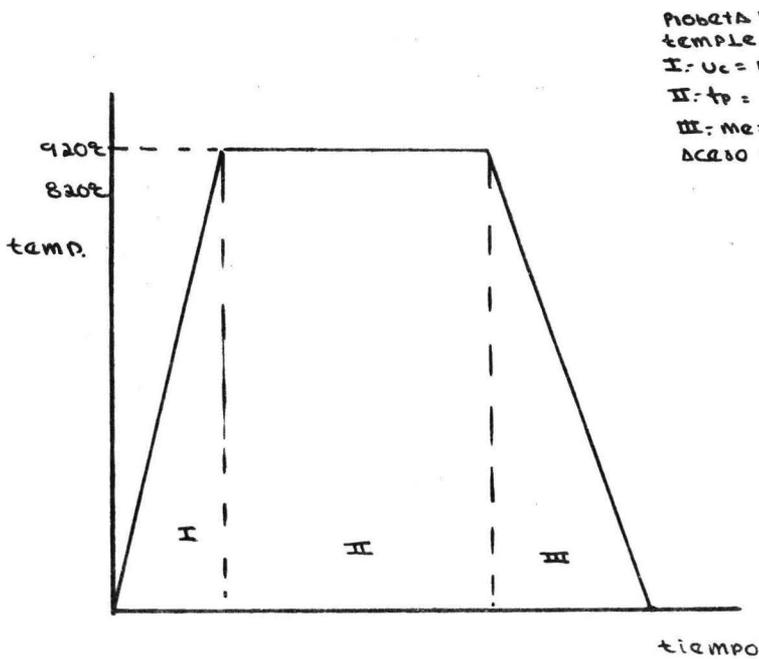
Probeta U° 16
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 0.5 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta GUA$
temple
 $\Delta Cc10 10415$



Probeta U° 17
temple
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 1.0 \text{ hrs}$
III: $m_e = \Delta GUA$
 $\Delta Cc10 10415$



Prueba U°18
temple
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 1.5 \text{ hrs}$
III: $m_e = \text{Agua}$
 $\Delta C_{p10} 10/15$



Prueba U°19
temple
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 1 \text{ hr}$
III: $m_e = \text{Agua}$
 $\Delta C_{p10} 10/15$

PROBETAS DE ACERO I045
RESULTADOS

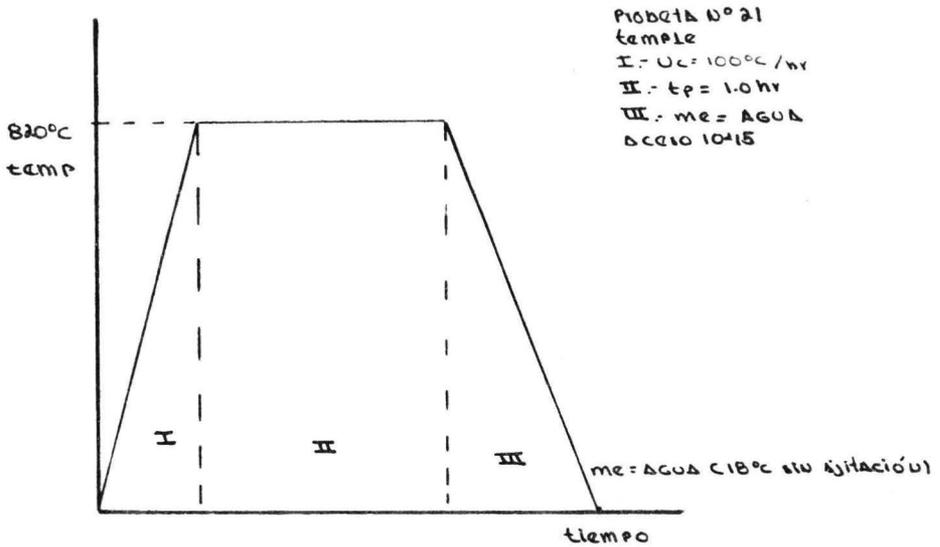
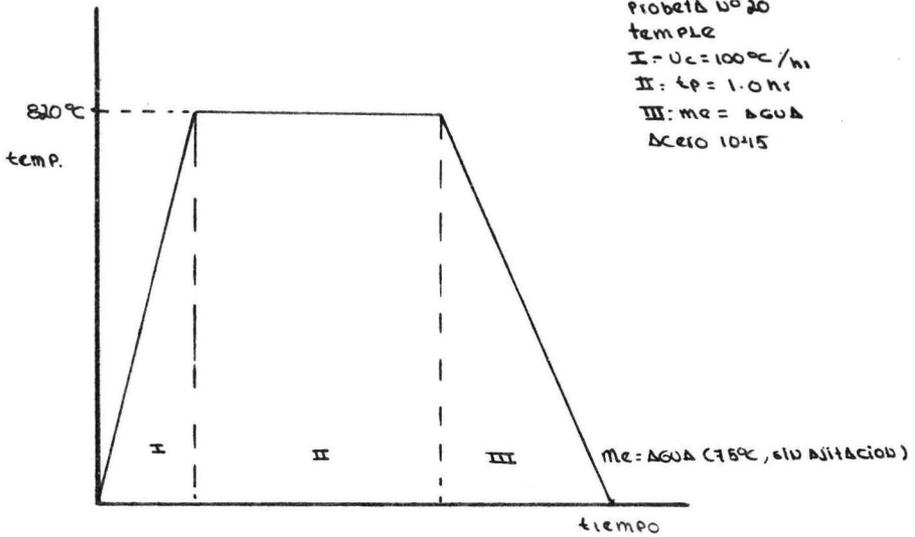
| | PROBETAS | |
|---|----------------------|----------------------|
| | Nº20 | Nº21 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 820 | 820 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua sin agitación | agua sin agitación |
| Temperatura del M.E. °C | 75 | 18 |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 200 | 200 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 555 | 627 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 55 | 60 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 194 | 218 |

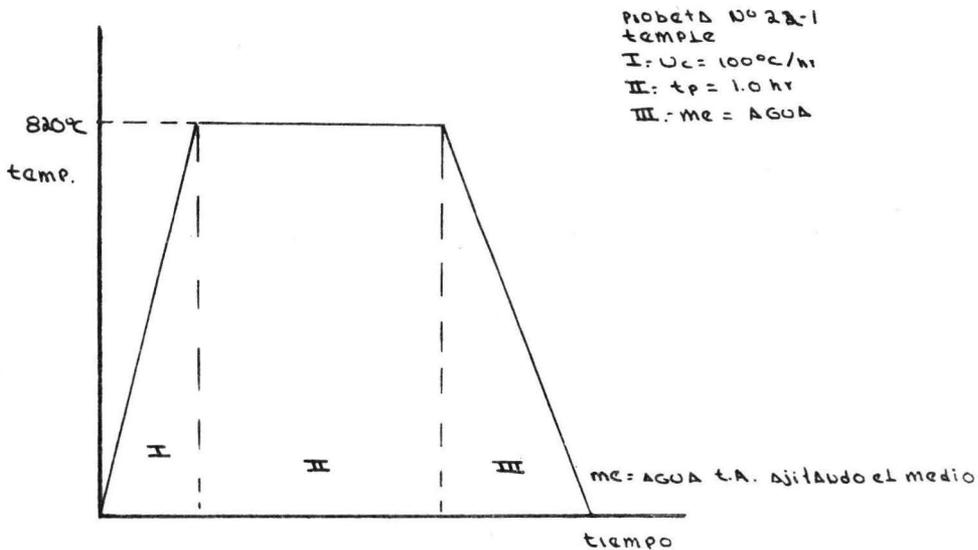
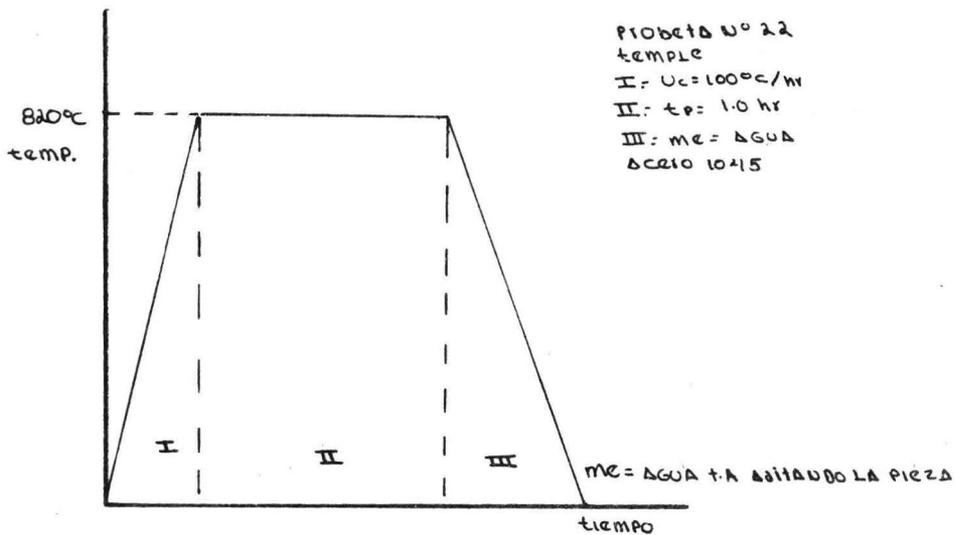
PROBETAS DE ACERO IO45
RESULTADOS

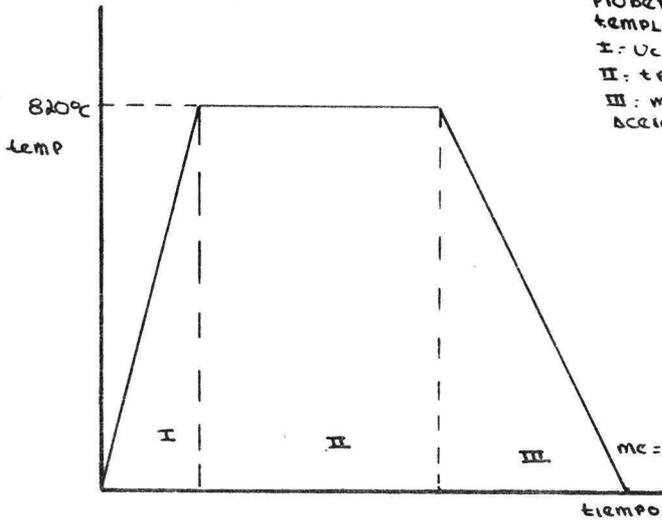
| | PROBETAS | |
|---|----------------------------|----------------------------------|
| | Nº22 | Nº22-I |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 820 | 820 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | agua. agitando la pieza | agua. agitando el medio de E. |
| Temperatura del M.E. °C | T.A | T.A. |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 200 | 200 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 682 | 682 |
| Dureza del acero despues del T.T. (rockwell C) | 64 | 64 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 237 | 237 |

PROBETAS DE ACERO I045
RESULTADOS

| | PROBETAS | | |
|---|------------------------------|--------------------------|-----------------------|
| | Nº22-2 | Nº22-3 | Nº22-4 |
| Tipo de tratamiento | Temple | Temple | Temple |
| Velocidad de calentamiento °C/hr | 100 | 100 | 100 |
| Temperatura de austenización °C | 820 | 820 | 820 |
| Tiempo de permanencia hr. | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Medio de enfriamiento | aceite. agitando la pieza | aceite agitando el M. | agua + 10% de NaCl |
| Volumen del M.E. Cm ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ | 5.10x10 ³ |
| Volumen de la probeta Cm ³ | 6.27 | 6.27 | 6.27 |
| Temperatura del M.E. °C | T.A | T.A | T.A. |
| Dureza del acero antes del T.T. (Brinell) | 200 | 200 | 200 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Brinell) | 477 | 477 | 534 |
| Dureza del acero despues del T.T. (Rockwell C) | 49 | 49 | 53 |
| Resistencia a la tensión Kg/mm ² | 167 | 167 | 187 |

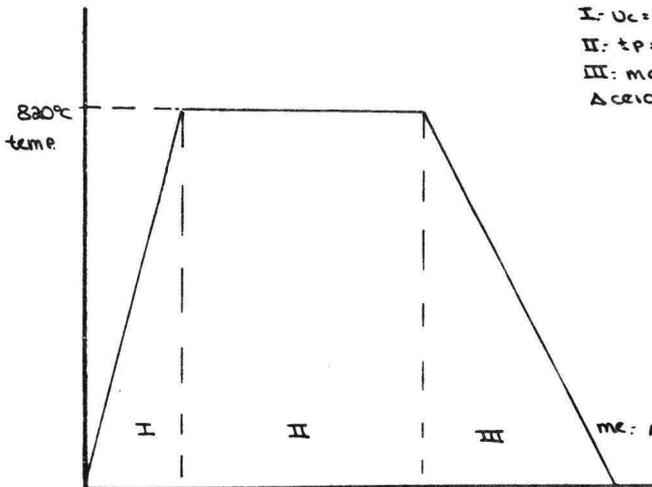






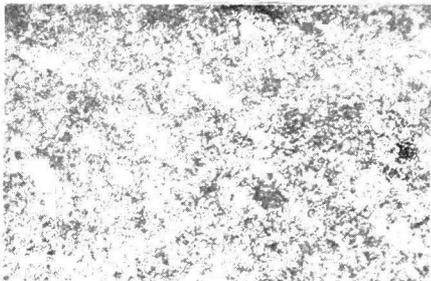
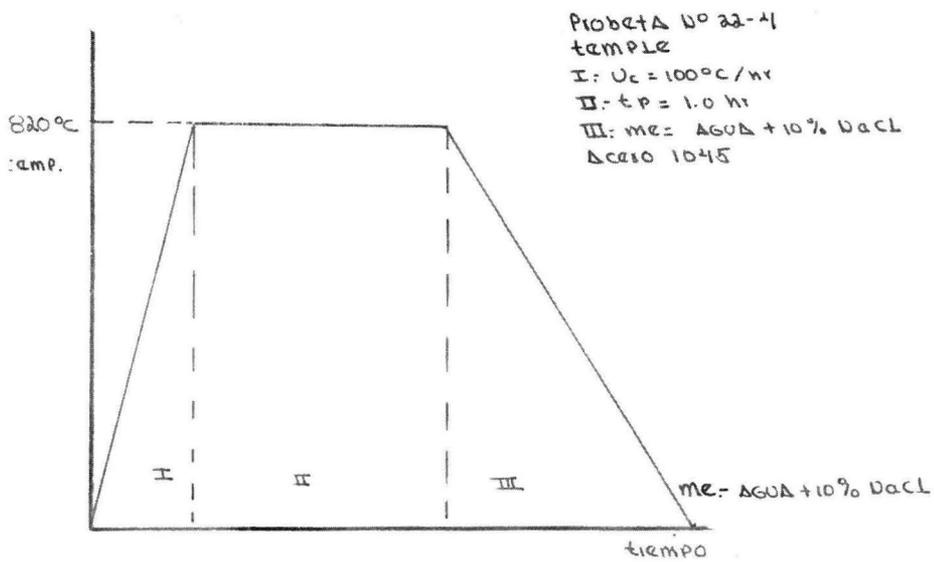
Probeta No 22-2
temple
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 1.0 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta\text{aceite}$
 $\Delta\text{aceite } 1045$

$m_e = \Delta\text{aceite, con agitación de}$
 $\Delta\text{ la pieza}$



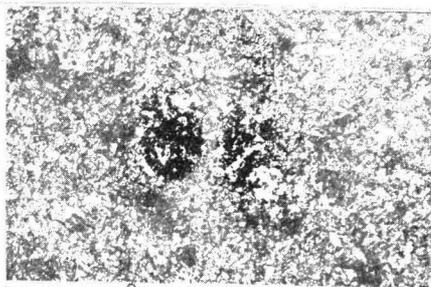
Probeta No 22-3
temple
I: $U_c = 100^\circ\text{C/hr}$
II: $t_p = 1.0 \text{ hr}$
III: $m_e = \Delta\text{aceite}$
 $\Delta\text{aceite } 1045$

$m_e = \Delta\text{aceite, agitando el medio}$



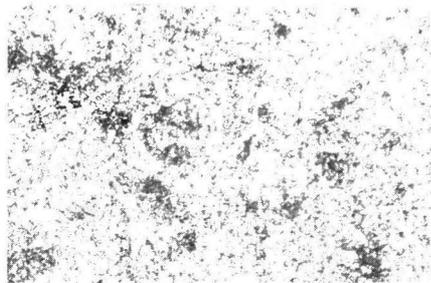
PROBETA N° 13. ACERO 1045

450X ATAQUE NITAL 2%



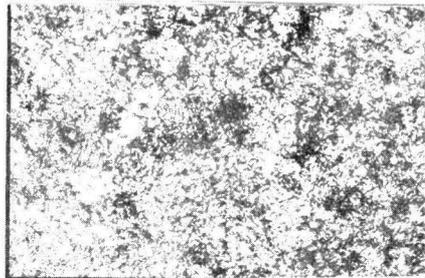
PROBETA N° 15. ACERO 1045

450X ATAQUE NITAL 2%



PROBETA N° 14. ACERO 1045

450X ATAQUE NITAL 2%



PROBETA N° 16. ACERO 1045

450X ATAQUE NITAL 2%

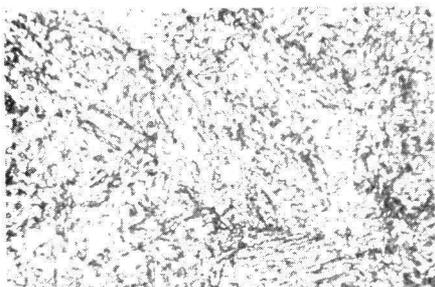


PHOTO 18. 17. 1045
450X MICRO TOTAL 2%

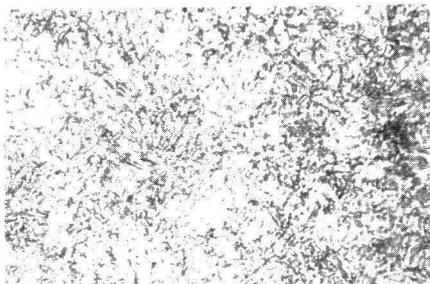


PHOTO 19. 1045
450X MICRO TOTAL 2%

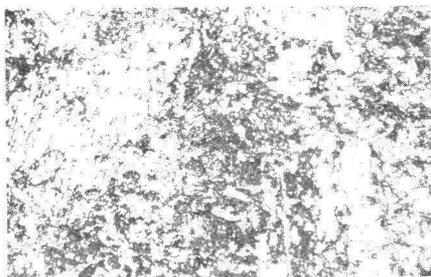


PHOTO 20. 1045
450X MICRO TOTAL 2%

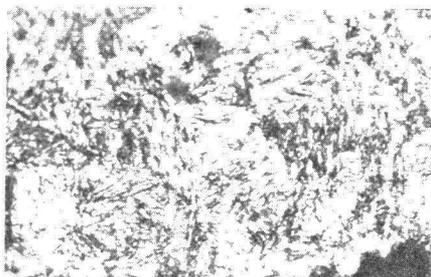
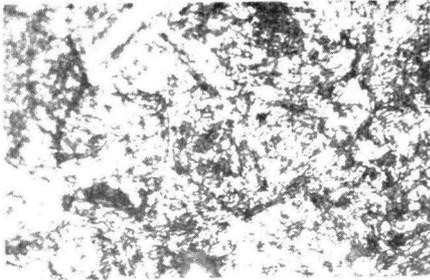
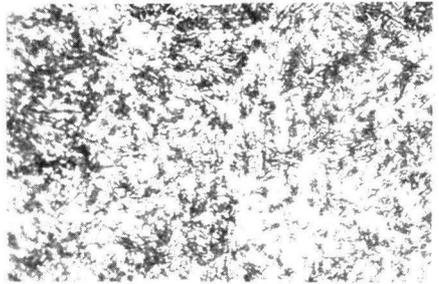


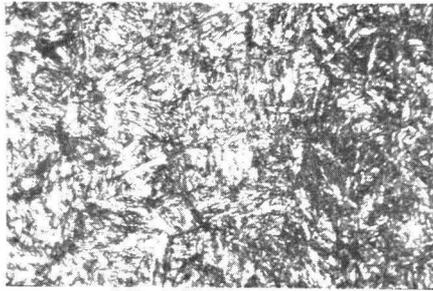
PHOTO 21. 1045
450X MICRO TOTAL 2%



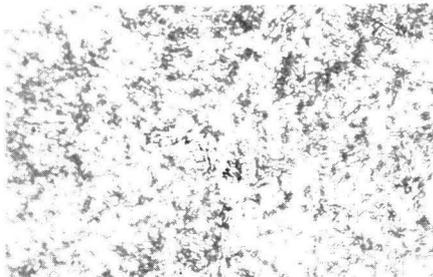
PROBETA N°21. ACERO IO45
450X ATACQUE NITAL 2%



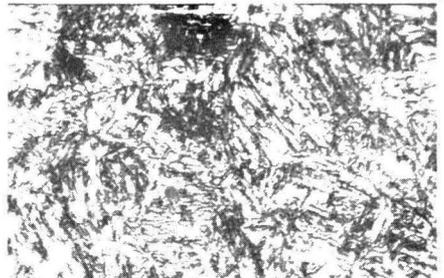
PROBETA N°20-I. ACERO IO45
450X ATACQUE NITAL 2%



PROBETA N°22-3. ACERO IO45
450X ATACQUE NITAL 2%



PROBETA N°22. ACERO IO45
450X ATACQUE NITAL 2%



PROBETA N°22-2. ACERO IO45
450X ATACQUE NITAL 2%

V.- DISCUSION DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos decir que las propiedades mecánicas de los aceros, 1045, 4140 y 8620 - dependen de:

- a) Espesor de la pieza
- b) Volumen del medio de enfriamiento
- c) Temperatura del medio de enfriamiento
- d) Severidad del medio de enfriamiento
- e) Grado de agitación

a) Espesor o sección de la pieza.-

Al disminuir la sección de la pieza, aumenta la dureza de la misma, esto es debido a que, el enfriamiento es más rapido

b) Volumen del medio de enfriamiento.-

Este debe ser tal que, medida la temperatura antes y después del temple do debe sufrir un cambio sensible en la temperatura. (de 2-4°C)

c) Temperatura del medio de enfriamiento.-

Esta debe ser de 15-18°C, ya que si es mayor, nos retarda el enfriamiento dandonos micro constituyentes de menor dureza

d) Severidad del medio de enfriamiento.-

Esta puede variar desde 1 a 15

e) Grado de agitación.-

El grado de agitación es muy importante ya que, nos aumenta la velocidad de la primera etapa de enfriamiento, evitando en esta forma la transformación a otros micro constituyentes.

En varias de las fotografías aparecen fracturas, unas provocadas por esfuerzos internos (cambio de volumen).

Se muestran fotografías que presentan fractura, tales como la fotografía 7 y 9. La fotografía 9 corresponde a un acero 4140- presenta una fractura que no debería presentar ya que fué en - friada en agua a 75°C sin agitación.

Las posibles causas de la fractura de la probeta 9 son:

- a) Posición y orientación de la pieza en el momento de introducción al medio de enfriamiento.
- b) La forma geométrica de la probeta.

VI.- CONCLUSIONES

De acuerdo con los experimentos y ensayos efectuados en este trabajo se pudieron obtener las siguientes conclusiones:

1.- Primera etapa.- Se refiere a la velocidad de calentamiento. Se llevo a cabo a 50, 100 y 200°C/hr, observando que, la velocidad de calentamiento de 100°C fue la mejor.

Al aumentar la velocidad de calentamiento al doble disminuye de 2 a 3 unidades de dureza Rockwell C. con la respectiva disminución de la resistencia a la tensión.

2.- Segunda etapa.- Se refiere al tiempo de permanencia. Al aumentar el tiempo de permanencia a lhr/in de sec. se obtienen los números de dureza más elevados.

Se aplicaron tiempos de permanencia de 5, 1hr y 1.5hr, siendo la de 1hr la más correcta.

3.- Tercera etapa.- Se refiere a la velocidad de enfriamiento esta etapa la podemos considerar como la más importante dentro del ciclo térmico de los aceros, ya que, de esta dependen fundamentalmente la variación de las propiedades mecánicas.

VII.- RECOMENDACION PARA TRABAJO FUTURO

En este trabajo no se pudieron obtener las propiedades mecánicas óptimas debido a :

- 1.- Las limitaciones del equipo
- 2.- Descarburación
- 3.- control del análisis de los aceros

Por tal motivo se recomienda. tratar de contar con el - equipo suficiente, para poder realizar las pruebas mecánicas adecuadas, así como también que el equipo este perfectamente calibrado.

Otro aspecto importante es el de contar con el material suficiente para poder realizar un sin numero de ensayos y pruebas mecánicas.

Se recomienda también realizar un análisis químico del material estudiado.

Para evitar las fracturas se recomienda revenir inmediatamente después del temple.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- METALURGIA APLICADA
MALCOLM S. BURTON
Aguilar S.A. 1965
- 2.- TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS
JOSE APRAIZ BARREIRO
Dussat Madrid, 1968
- 3.- PRONTUARIO METALOTECNICO TOMO I
RAFAEL CALVO RODES
Instituto nacional de Técnica Aeronáutica
Madrid 1963
- 4.- TECNOLOGIA DE LOS METALES
A. MALISHEV, G. NIKOLAIEV, YU. SHUVALOV
MIR. Moscú 1970
- 5.- LA ESTRUCTURA DE LOS METALES
Dra. NORA LINDENVALD
Prensa Universitaria Argentina
Buenos Aires 1972
- 6.- FALLAS DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS
Dra. NORA LINDENVALD
Prensa Universitaria Argentina
Buenos Aires 1972
- 7.- MANUAL DEL FUNDIDOR
J. Duponchelle
- 8.- METALURGIA Y METALOGRAFIA
N. BARINOV A. LANDA
MIER. Moscú 1970
- 9.- ANALISIS DE METALES, TOMA DE MUESTRAS
Comisiones especiales de quimicos de la sociedades
de Metalurgicos y mineros y siderurgicos Alemanes
Aguilar 1965
- 10.- TRATAMIENTOS TERMICOS DE LOS ACEROS DE BAJO Y ALTO CARBONO
PARA HERRAMIENTAS. (Tesis profesional. IEM Humberto Malañon R.)