



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



27
20

**TEMPLE INTERRUMPIDO EN AGUA Y
ACEITE DE UN ACERO PARA
HERRAMIENTA W2**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

HUGO MENDOZA GARCIA

ASESOR: ING. FELIPE DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1994



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR

DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLAN



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE
EXAMENES PROFESIONALES

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:

" Temple interrumpido en agua y aceite de un acero para herramienta. ' W2 " .

que presenta el pasante: Mendoza García Hugo.

con número de cuenta: 8501627-1 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Mecánico Electricista .

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 24 de Marzo de 1994

PRESIDENTE Ing. Ma. Soledad Alvarado Martínez

VOCAL Ing. Gerardo Sosa

SECRETARIO Ing. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

PRIMER SUPLENTE Ing. Enrique Cortés González

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Jesús García Lira

Con respeto y agradecimiento a mis
padres y hermanos, por su apoyo y
motivación que me brindaron.

A mis profesores mi agradecimiento
por su contribución a mi desarrollo
profesional.

Al Ing. Felipe Diaz del Castillo R.
por su apoyo para la realización
de este trabajo.

A todos mis amigos.

GRACIAS ..

" LA MENTALIDAD HUMANA SOLAMENTE
ALCANZA A SABER LO QUE PUEDE
SABER, PERO NO A SABER LO QUE
IGNORA, PORQUE ESTA IGNORANCIA
ES INFINITA ".

SOCRATES.

ARRIBA Y ADELANTE.

I N D I C E .

Capítulo .	Página.
I.- Introducción . -----	1 .
II.- Aleaciones . -----	3 .
III.- Diagrama de fases hierro- carburo de hierro($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$).-----	13.
IV.- Panorama general de los aceros para herramientas.-----	28.
V.- Tratamientos térmicos apli- cables a los aceros para herramientas. -----	47 .
VI.- Temple interrumpido en agua y aceite de un acero para herramientas W2. -----	62 .
VII.- Parte práctica. -----	64.
VIII.- Conclusiones . -----	91 .
Bibliografía. -----	92 .

I.- INTRODUCCION.

Ningun otro sistema de aleación tiene la importancia industrial del hierro - carbono.

Los aceros son inigualables en cuanto a la amplitud de su utilización y la diversidad de propiedades que ofrecen al ingeniero.

Aunque el hombre ha utilizado el acero durante miles de años ha sido sólo en el siglo XX que la ciencia metalúrgica se ha comenzado a poner al nivel del arte de trabajar el acero, y que a veces ha superado.

La gran variedad de propiedades de los aceros es, en gran parte, consecuencia de la transformación de la fase α en γ , en el hierro, y de los sorprendentes efectos producidos por el carbono. Este elemento influye de muchos modos en la transformación de α en γ , pero en su efecto más importante es producir una gran dureza y resistencia mecánica en los aceros tratados térmicamente.

Comunmente conocemos como "acero tratado térmicamente" al acero endurecido por medio de un tratamiento térmico. Sin embargo, el tratamiento térmico del acero incluye, en un sentido más amplio, cualquier tratamiento de esta clase efectuado con objeto de controlar o transformar las propiedades del acero.

En este trabajo se considerarán las bases del temple interrumpido en agua y aceite, aplicado a un acero templeable en agua, ya que este acero tiene una gran gama de aplicaciones en la industria.

El principal objetivo es someter al acero al temple interrumpido, en diferentes tiempos de permanencia en el medio de temple, en este caso será agua y posteriormente será enfriado totalmente en aceite, así por medio de este tratamiento térmico obtendremos una dureza más uniforme y la transformación de la microestructura del acero.

En el capítulo dos tenemos los diferentes tipos de aleaciones más utilizadas en la industria, así como sus diferentes formas en que se pueden encontrar ó utilizar.

El capítulo tres tenemos un repaso del diagrama de fases ó mejor conocido como diagrama Hierro-Carbono de hierro.

El capítulo cuatro trataremos a los aceros para herramientas, sus aplicaciones, clasificación y principales propiedades mecánicas.

En el capítulo cinco tendremos los tratamientos térmicos más utilizados en los aceros para herramientas y el diagrama TTT.

En los dos últimos capítulos tendremos el procedimiento que se siguió para llevar a cabo este tratamiento térmico y los resultados que se obtuvieron durante el mismo.

II.- ALEACIONES.

En su estado puro, los metales tienen excelentes propiedades físicas pero sus propiedades mecánicas son bastante limitadas, en consecuencia para que sean de utilidad al ingeniero es preciso incrementar dichas propiedades.

En la práctica generalmente se utiliza una combinación de elementos para obtener mejores propiedades, a esta combinación se le conoce como "Aleación".

La definición más conocida de aleación es la siguiente:

" Una aleación es un material con propiedades metálicas constituido por dos o más elementos, y al menos uno de ellos tiene que ser un metal".

Así mismo, a las aleaciones las podemos dividir en dos grandes grupos, que son los siguientes :

- Aleaciones ferrosas.
- Aleaciones no ferrosas.

Aleaciones ferrosas: Las aleaciones ferrosas son principalmente combinaciones de hierro y carbono que contienen pequeñas cantidades de azufre, fósforo, silicio y manganeso. Algunas aleaciones contienen níquel, cromo, molibdeno, vanadio y otros elementos en pequeñas cantidades, los cuales son empleados para alterar sus propiedades mecánicas y físicas.

Las dos formas más comunes de las aleaciones ferrosas son :

- 1.- Los aceros.
- 2.- Los hierros fundidos o colados.

II.1.- ACEROS.

Es una composición de hierro y carbono en diferentes porcentajes, lo que da lugar a la obtención de aleaciones que difieren entre sí en sus propiedades físicas y químicas.

El contenido de carbono y de varios metales tienen una gran influencia en la clasificación y sus usos en los distintos tipos, por lo cual tenemos la siguiente clasificación:

- Aceros de bajo contenido de carbono.
- Aceros de medio contenido de carbono.
- Aceros de alto contenido de carbono.
- Aceros alta aleación.
- Aceros aleados.

II.1.1.- Aceros de bajo contenido de carbono:

Estos aceros comúnmente llamados aceros dulces ó de maquinaria, contienen hasta 0.30% de C y son blandos y muy dúctiles. Estos aceros se pueden forjar, soldar y maquinar con facilidad. Como el contenido de carbono es bajo, estos aceros no responden al tratamiento térmico y se usan generalmente para la fabricación de remaches, placas y perfiles estructurales, etc.

II.1.2.- Aceros de mediano contenido de carbono:

Los aceros de mediano contenido de carbono son los que contienen de 0.30% a 0.50% de C y son de mayor resistencia y tenacidad que los aceros de bajo contenido de carbono; estos aceros se pueden maquinar bien y responden a los tratamientos térmicos.

Se usan comunmente para fabricar flechas, piezas forjadas grandes, rieles, pernos, tuercas, etc.

II.1.3.- Aceros de alto contenido de carbono.

Estos aceros se conocen por su alto contenido de carbono que es arriba de 0.50% y responden fácilmente al tratamiento térmico, con el cual adquieren una alta dureza y resistencia, pero no son tan dúctiles como los aceros de medio y bajo contenido de carbono.

Cuando el contenido de carbono es muy alto, arriba de 1.1%, la extrema dureza es también acompañada por la alta fragilidad. Cuanto más alto es el contenido de carbono en los aceros, más difícil se hace soldarlos.

II.1.4.- Aceros alta aleación:

Estos aceros se conocen por su alto contenido de carbono como también por el contenido alto de otros elementos de aleación tales como el cromo, silicio y vanadio, etc.

Este grupo de aceros lo podemos dividir en dos grupos importantes, y que son: 1) Aceros para herramientas, y 2) Aceros inoxidables.

1) Los aceros para herramientas se pueden clasificar de varias maneras, estas clasificaciones las mencionaremos con más detenimiento en el capítulo .

2) Aceros inoxidables, los aceros inoxidables son una aleación de Fe+Cr y en algunos tipos una aleación FeCr-Ni(y/o Mn); un acero para poder ser considerado como acero inoxidable el contenido de Cr debe ser al menos de 10%.

Los aceros inoxidable se clasifican en función de su composición química y de su microestructura final, a saber son cuatro los principales clases o familias de aceros inoxidable y que son los que a continuación se mencionan:

- Aceros inoxidable martensíticos.
- Aceros inoxidable ferríticos.
- Aceros inoxidable austeníticos.
- Aceros inoxidable PH(Precipitation Hardening).

-Aceros inoxidable martensíticos.-De estos aceros podemos mencionar lo siguiente: Contenido de Cromo de 12 a 17%, y con la cantidad suficiente para formar martensita. Estos aceros pueden ser endurecidos por medio de tratamiento térmico, es decir temple y revenido, por su contenido relativamente bajo de Cr, es el acero inoxidable menos resistente a la corrosión y a la oxidación. Son los aceros inoxidable más baratos.

Sus principales aplicaciones son: Cuchillería, navajas de afeitado instrumental quirúrgico.

-Aceros inoxidable ferríticos.-Este tipo de aceros se puede dividir en dos grupos: Grupo 1.-Con porcentaje de Cr de 13 a 18% con 0.06% de C. Grupo 2 con porcentaje de Cr de 25 a 30% con 0.08% de C, y presentan las siguientes características. No pueden ser endurecidos por medio de tratamiento térmico, se pueden endurecer por medio de trabajo en frío, buena resistencia a la oxidación y corrosión.

Sus principales aplicaciones son: Partes de válvulas, instrumental quirúrgico y en monedas.

-Aceros inoxidables austeniticas.-Estos aceros inoxidables contienen:18% de Cr y aproximadamente 8% de Ni más un bajo contenido de Carbono.Entre sus características podemos mencionar las siguientes: No pueden ser endurecidos por medio de tratamineto térmico,se pueden endurecer por medio de trabajo en frio,de todos los aceros inoxidables son los más resistentes a la corrosión y a la oxidación,y son los más caros.

Sus aplicaciones son:en la idustria petro-quimica,alimenticia, y cervecera,en la fabricacion de tanques de almacenamiento,tuberias.

-Aceros inoxidables PH(Precipitación Hardening);Estos aceros inoxidables son equiparables en composición química a los aceros inoxidables austeniticas,pero,además cpntienen pequeñas cantidades de otros elementos,como:molibdeno,aluminio,cobre,o titanio;que son los elementos que se precipitan durante el tratamiento de precipitación ó envejecimiento.Estos aceros se utilizan donde se requiere alta resistencia a la oxidación y corrosión,pero,que además posean buena dureza y resistencia.

II.1.6.-Aceros aleados:

Los aceros aleados se obtienen añadiendo al acero metales y elementos tales como el magnesio,silicio,cromo,niquel,molibdénno,tugsteno, manadio y cobalto,para mejorar sus características físicas y mecánicas para dar al acero propiedades especiales,con mayor resistencia mecánica,resistencia a la corrosión,a la abración,a las altas temperaturas y resistencia al impacto y al choque.

II.2.-Influencia de los elementos de aleación en los aceros.

Los elementos y efectos de los diferentes elementos de aleación usados para el acero se enumeran a continuación:

Carbono:No se considera normalmente como una aleación, sin embargo, es el elemento de más importancia en el acero. Al aumentar el contenido de carbono aumenta también la resistencia a la tensión y la dureza, proporcionando al acero resistencia a la abrasión y al desgaste, disminuye la tenacidad y la facilidad de maquinado.

Manganeso:Se utiliza para desoxidar y desgasificar al acero, contrarresta la fragilidad debida al azufre y se combina con el mismo para dar mayor facilidad de maquinado. Aumenta la resistencia a la tensión, así como la dureza y la resistencia a la abrasión y al desgaste. Disminuye la tendencia a la inestabilidad y aumenta la facilidad de cementado y aumenta la templabilidad, siendo muy económico su empleo.

Fósforo:En los aceros de alto contenido de carbono aumenta la dureza, la resistencia a la tensión y la facilidad de maquinado, pero produce una tendencia a la fragilidad, mejora la resistencia a la corrosión.

Azufre:Aumenta la facilidad de maquinado, pero disminuye la tendencia y la facilidad para soldar.

Silicio:Se usa como elemento desoxidante y desgasificación del acero.

Aumenta la resistencia a la tensión, así como la dureza y la maquinabilidad magnética.

Cromo: Aumenta la resistencia a la tensión así como la dureza y la tenacidad, mejora la resistencia a la abrasión y oxidación, mantiene alto la resistencia a altas temperaturas.

Níquel: Aumenta la resistencia a la tensión y la dureza, sin sacrificar la tenacidad. Tiende también a retardar el incremento del grano, lo cual permite un mayor rango de calentamiento sin daño, ya que no se llega a estructuras de grano basto, también aumenta la resistencia a la corrosión.

Molibdeno: Este elemento actúa bajo muchos aspectos de la misma manera que el cromo, pero es mucho más poderoso en su actuación. Aumenta la resistencia a la tensión, así como la dureza y la tenacidad, mantiene la dureza a temperaturas elevadas.

Tungsteno: Aumenta la dureza y la tenacidad, mejora la dureza y resistencia a altas temperaturas y como forma partículas duras y resistentes a la abrasión, mantiene el filo de las herramientas.

Vanadio: Se usa para aumentar la tenacidad y la resistencia del acero, aumenta la dureza y produce resistencia a golpes y choques, mantiene un grano fino y tiene en efecto de aumentar la vida de las herramientas e intensifica el efecto de otras aleaciones.

Cobalto: Mantiene la dureza del acero que se ha calentado al rojo, aumenta la tenacidad e intensifica el efecto de otras aleaciones.

II.3.-Hierros fundidos ó colados.

Hasta ahora se ha supuesto que la forma más estable del carbono es cuando éste se encuentra combinado, formando un carburo de hierro. Sin embargo, se ha observado que su estado más estable es cuando éste se encuentra en forma de grafito, lo que sucede es una disociación de la cementita en hierro y carbono en forma de grafito. Sin embargo, en los aceros esta disociación es muy difícil que se presente.

En las fundiciones es muy fácil que se presente si se controla adecuadamente los siguientes factores:

- La temperatura: Una temperatura permite una rápida disociación
- El silicio: La presencia de silicio en la fundición actúa como catalizador que aumenta la reacción.

A continuación se enlistará la clasificación de las fundiciones ó hierros colados:

- Fundición blanca.
- Fundición maleable.
- Fundición gris.
- Fundición nodular.
- Fundición aleada.

-Fundición blanca: Esta fundición se caracteriza porque el carbono se encuentra en forma combinada (cementita).

Este tipo de fundición no tiene grafito, ya que tiene un contenido bajo de silicio (menos del 1%), además es una fundición que se obtiene cuando se enfría a la velocidad normal.

-Fundición maleable: Esta fundición tiene carbono libre en masas pequeñas, en lugar de hojuelas, en una matriz de ferrita y algunas veces con perlita.

Esto lo hace dúctil, resistente al impacto y con facilidad de maquinado. La estructura se obtiene produciendo primero en forma esencial una fundición blanca, calentando nuevamente la fundición arriba del límite de transformación, manteniéndolo a esa temperatura por cierto tiempo y enfriándolo después con lentitud. Esto separa el grafito de la cementita mientras el metal está sólido y evita el crecimiento de hojuelas como las que surgen cuando se endurece el metal fundido.

-Fundición gris: La fundición gris se caracteriza porque el carbono se encuentra en forma de hojuelas de grafito, dado que el carbono se encuentra, de esta forma es lo que les da un aspecto gris a la fractura de una pieza y de ahí su nombre.

-Fundición nodular: Esta fundición se caracteriza porque el carbono se encuentra en forma de nódulos más o menos esféricos.

Esta fundición se obtiene agregando magnesio y/o cerio a una fundición con el objeto de formar nódulos en vez de escamas de grafito.

-Fundición aleada: En las fundiciones aleadas están contenidas cantidades variadas de ciertos materiales, como el níquel, silicio, cromo y molibdeno, y son muy usados en las industrias en general.

II.4.-Aleaciones no ferrosas.

Se consideran aleaciones no ferrosas a aquellas materiales metalicos en los cuales el contenido de hierro es minimo ó nulo.

En los últimos años, los metales no ferrosos tales como el aluminio, magnesio, titanio, etc, han sustituido muchas aplicaciones a las aleaciones ferrosas, esto, debido a que se han desarrollado aleaciones con mejores propiedades. Los materiales no ferrosos utilizados en dichas aleaciones se usan puros debido a propiedades superiores como conductividad eléctrica y térmica, resistencia a la corrosión, a la temperatura de fundición, propiedades opticas especiales y propiedades típicas especiales. Como en el caso de las aleaciones ferrosas, la aleación de los metales no ferrosos por lo común resulta en propiedades mecánicas mejoradas.

La resistencia a la cedencia, resistencia a la tensión, resistencia a la fatiga y resistencia a la alta temperatura por lo general se mejoran por aleación juiciosa. Por esta razón, estas aleaciones tienen uso más comun que las aleaciones de metales duros cuando el comportamiento mecánico es el criterio primario de rendimiento. Además, las aleaciones algunas veces producen composiciones cuyas propiedades mecánicas pueden mejorarse más por tratamiento térmico.

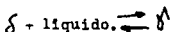
III.-DIAGRAMA DE FASES HIERRO-CARBURO DE HIERRO(Fe-Fe₃C).

Este representa la herramienta fundamental para el estudio de los aceros. El diagrama hierro-carburo de hierro es un diagrama de aleación binaria, en donde el soluto es el carbono el cual alcanza un 6.67% de contenido en la aleación. Dicho diagrama es de los más importantes y de los más utilizados en la industria porque constituye la base para la producción del acero, en él se representan las transformaciones que sufre el acero en estado sólido al variar la temperatura.

El diagrama hierro-carburo de hierro se caracteriza por tener tres puntos importantes que son: Eutéctico, Peritético y eutécticoide, marcados con las letras P, E₁ y E, fig. 3.1.

Punto peritético: En la parte superior izquierda del diagrama hierro-carburo de hierro, se muestra un círculo punteado dentro del cual está el área donde se encuentra el punto peritético que se muestra ampliada en la figura 3.2. El punto peritético se encuentra localizado a la temperatura de 1495°C con una composición de 0.16% de carbono, y se denota con la letra "P", este es el punto en el cual se sucede la relación peritética que involucra el cambio de fase delta + líquida en austenita, cuando se enfría el material en condiciones de equilibrio.

La reacción se representa como sigue:



El doble sentido de las flechas indica que la transformación se presenta durante el enfriamiento o bien durante el calentamiento a temperatura de 1495°C.

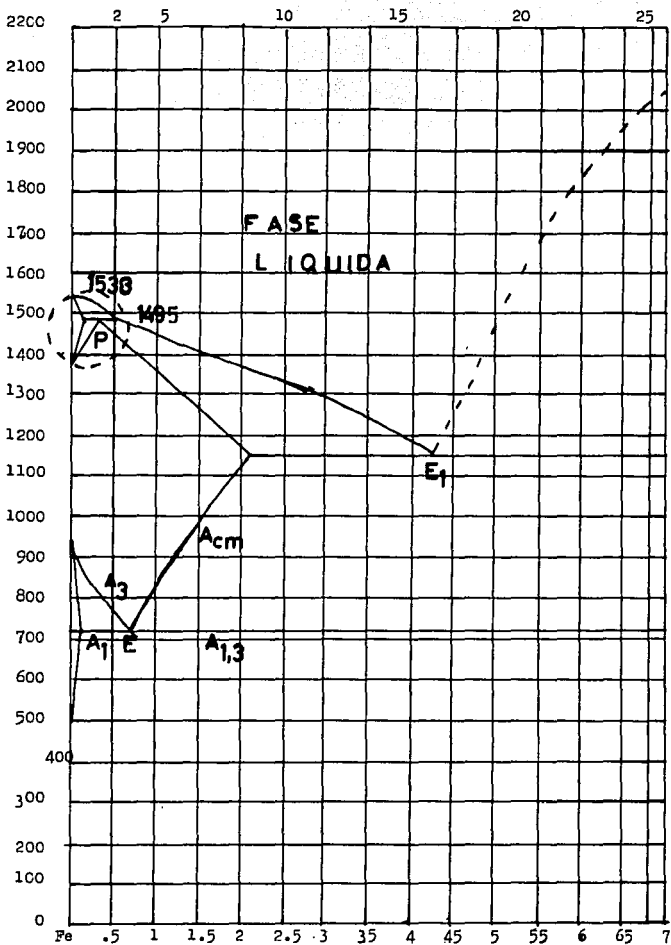
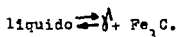


Fig. 3.1. Diagrama Hierro-Carburo de Hierro.

El área comprendida entre las líneas AB, AM, MB, muestra la región líquida + delta, por lo tanto, cualquier aleación que contiene más del 0.5% de C, no presenta la reacción peritética y solidifica directamente en austenita.

Punto Eutético: Según se muestra en el diagrama, el punto eutético se localiza a 1145°C con un contenido de carbono de 4.3%, siendo éste el punto de transformación de la fase líquida en las fase sólidas austenita + cementita ($\delta + Fe_3C$). Una de las características que presenta la aleación de composición eutética, es que a una temperatura apenas por encima de 1145°C se obtiene la fase líquida y que a una temperatura muy cercana a 1145°C, se observa que la transformación que se obtiene es en estado sólido y está formada por austenita + cementita, esta reacción se expresa de la siguiente forma:



El sistema de aleación de composición eutética marca la división para clasificar a los hierro fundidos de bajo y alto contenido de carbono, en otras palabras, aquellas aleaciones que contienen más del 2.11% de C y menos del 4.3% de C, se consideran como hierros fundidos hipoeutéticos y aquellas aleaciones que contienen más del 4.3% de C y menos del 6.6% de C, se conocen como hierros fundidos hipereutéticos.

Punto Eutectoide: Es el de mayor importancia para el estudio de los aceros debido a que éste se considera para clasificar a los aceros de bajo contenido y alto contenido de carbono. Dicho punto se localiza a una temperatura de 723°C y una composición de 0.8% de C.

El eutectoide es el punto en que ocurre la transformación de austenita en perlita, reacción que se expresa de la siguiente forma:



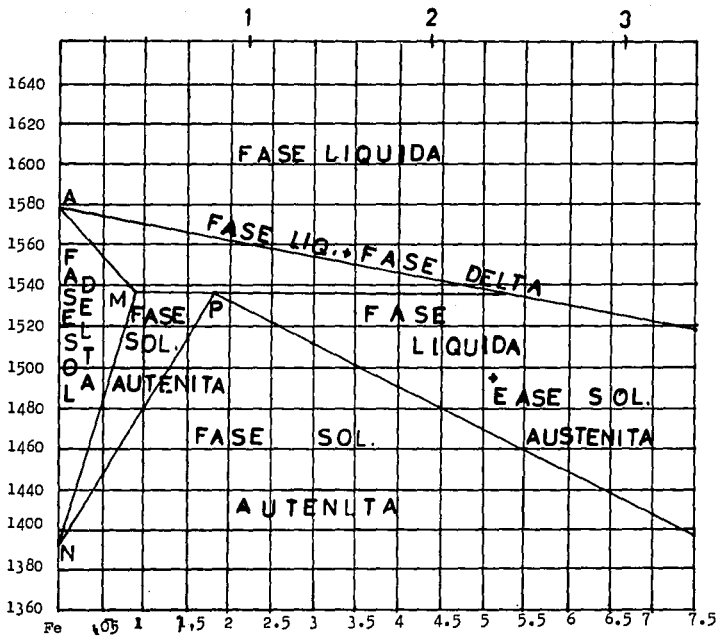


Fig. 3.2. Porcentaje de carbono por peso.

Los aceros cuyo contenido de carbono es menor de 0.8%, se conocen como aceros hipoeutectoides, y los aceros cuyo contenido es mayor de 0.8% y menor de 2.11% de C, se conocen como aceros hipereutectoides.

III.1.-Temperaturas críticas de los aceros : Las líneas de temperaturas críticas se muestra en la figura 3.3, y se forman por la sucesión de puntos que determinan las temperaturas críticas para cada composición en los aceros al carbono, siendo éstas las siguientes:

Línea A_3 , formada por la unión del punto E, también conocida como línea de temperatura crítica superior. Esta línea durante el enfriamiento el principio de la transformación de austenita en ferrita proeutectoide. Conforme disminuye la temperatura (912°C-723°C), la cantidad de carbono incrementa hasta alcanzar la composición eutectoide.

Línea A_1 , también conocida como la línea de temperatura crítica inferior marca el fin de la transformación de austenita en ferrita y perlita del lado hipoeutectoide. Esta línea se encuentra ubicada a temperatura constante en 723°C para cualquier composición de carbono hasta de 0.8% de C, en donde toda la austenita se transforma en perlita.

Línea A_{cm} , se forma al unir los puntos E y Q, dicha línea parte del punto E que se encuentra a la temperatura de 723°C y con 0.8% de C, y llega hasta el punto Q que esta a la temperatura de 1145°C y composición de 2.11% de C. La línea A_{cm} marca el inicio de la transformación de austenita a cementita proeutectoide.

Línea $A_{3,1}$, se conoce como la línea de temperatura crítica inferior (del lado hipereutectoide), esta línea marca el fin de la transformación de austenita en perlita durante el enfriamiento y se encuentra a una temperatura de 723°C que comprende el intervalo de composiciones de 0.8% a 2.1% de C.

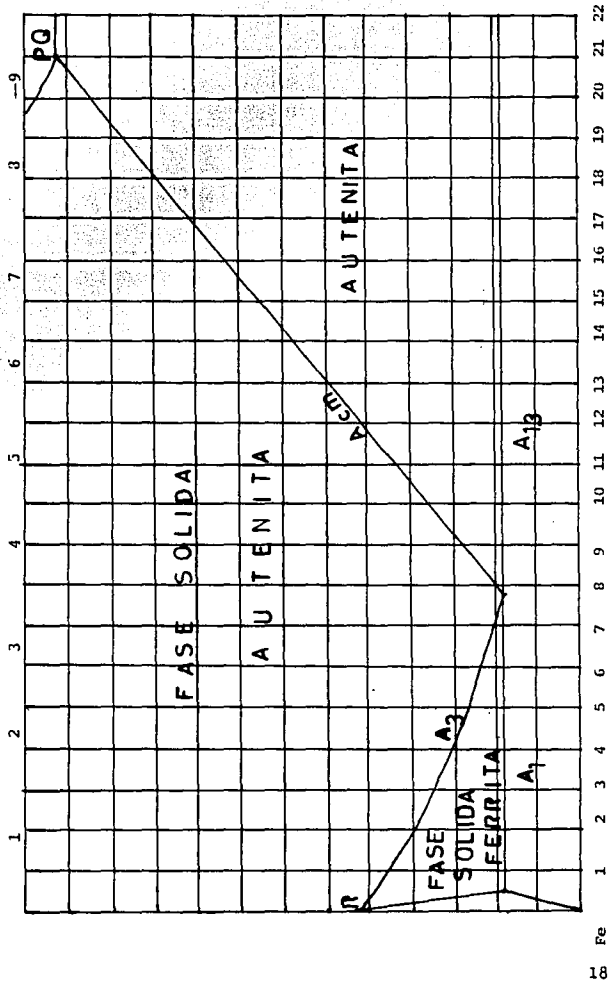


Fig. 33. Porcentaje de carburo por peso.

Las líneas y puntos de transformación de fase que se muestran en el diagrama hierro-carburo de hierro varían durante el enfriamiento en comparación con el calentamiento.

Para fines prácticos, normalmente se toma el diagrama hierro-carburo de hierro, que se muestra en la figura 3.1.

Cuando se habla del diagrama $Fe-Fe_3C$, se refiere a enfriamientos o calentamientos muy lentos, lo que en principio se toma como base para manifestar que la transformación de la austenita en perlita ocurre a $723^{\circ}C$.

Características de las fases que presenta el diagrama $Fe-Fe_3C$.
Hierro alfa ó ferrita (α).

El diagrama de la figura 3.2 muestra la región que ocupa el hierro alfa, el cual posee una estructura cristalina tipo BCC. Debido al tipo de estructura, los espacios intersticiales son pequeños, lo que ocasiona que el índice de solubilidad del carbono en la ferrita sea bajo y que sólo admita como máximo un 0.025% de C a una temperatura de $723^{\circ}C$.

Hierro gama ó austenita (γ): La austenita posee una estructura FCC, debido a ello puede admitir entre sus espacios intersticiales mayor cantidad de carbono, en comparación con la cantidad de carbono disuelto en la ferrita; así el límite de solubilidad de carbono en austenita es de 2.11% a una temperatura de $1145^{\circ}C$.

Perlita ($\alpha + C$): La perlita es una estructura estable desde $723^{\circ}C$ hasta temperatura ambiente, la cantidad de perlita que posee un acero se incrementa conforme aumenta el contenido de carbono hasta 0.8% y su microestructura está formada por laminillas alternadas de ferrita y cementita.

Cementita(Fe_3C): La cementita es la estructura más dura que posee el acero, es magnética a temperatura ambiente y pierde esta propiedad a la temperatura de $218^{\circ}C$. La cementita durante el enfriamiento se cristaliza formando una estructura ortorrómbica y su fórmula es Fe_3C que contiene 6.67% de C y 93.33% de hierro.

III.2.- Estructuras metalográficas y propiedades asociadas.

Se dice que las microestructuras que se obtienen cuando se enfría el acero desde el estado austenítico hasta la temperatura ambiente, dependen no solamente de la naturaleza del ciclo de enfriamiento, si no también de la concentración de carbono original en la austenita, así por ejemplo se cita un acero de composición eutécticoide que es el más sencillo de analizar, éste contiene 0.8% de C, y cae entre los aceros hipoeutéctoides y los aceros hipereutéctoides.

Durante el enfriamiento del acero de composición eutécticoide, sobresale como punto importante, el cambio de fases sólida que experimenta la austenita al cambiar totalmente a perlita bajo enfriamiento en condiciones de equilibrio.

Aceros eutéctoides: Estos contienen 0.8% de C y se toman como ejemplo para el entendimiento claro de la transformación de austenita en perlita. La figura 3.4 muestra la aleación L_1 de composición eutécticoide para analizar la transformación de fase que experimenta el acero cuando es enfriado desde $1600^{\circ}C$ (estado líquido), hasta la temperatura ambiente.

Al enfriarse la aleación L_1 en condiciones de equilibrio desde el estado líquido, cruza la línea " BE_1 ", y se empiezan a nuclear granos de austenita dentro del volumen del líquido, conforme se sigue enfriando en condiciones de equilibrio, L_1 corta a la línea "PQ", en donde toda

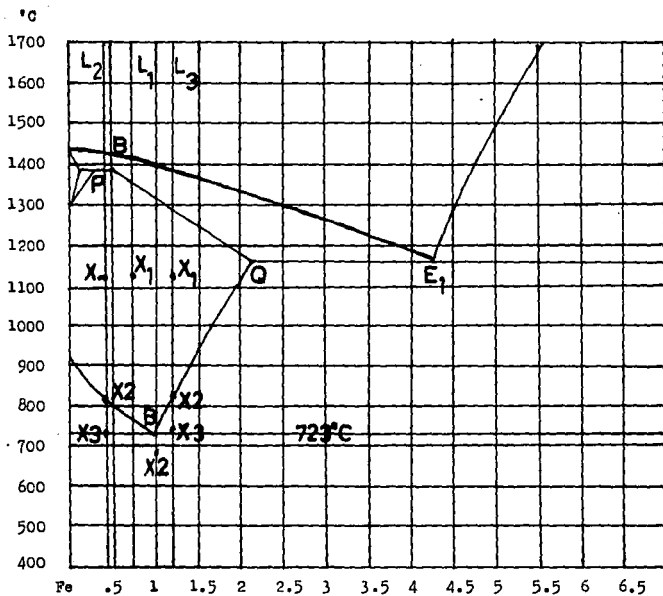


Fig. 3.4. Porcentaje de carbono por peso.

la aleación se transforma en la fase sólida austenita. Si se sigue enfriando el acero de composición eutécticoide, en el punto $L_1 X_1$, la austenita se ha formado a partir de la fase líquida y su microestructura es completamente homogénea como se muestra a continuación.



$L_1 X_1$

Si se sigue enfriando en condiciones de equilibrio, es inevitable que la aleación pase por el punto eutécticoide ($723^\circ C$), en el que toda la austenita se transforma en perlita que es una mezcla de la fase sólida ferrita más la fase sólida cementita, su microestructura se representa así :



$L_1 X_2$

Aceros hipoeutéctoides: Estos contienen menos del 0,8% de C, se utiliza el prefijo griego "hipo" que significa bajo para distinguirlos de aquellos que contienen más del 0,8% de C.

Los aceros bajos en carbono son los más importantes del grupo debido a la amplia gama que tienen, así por ejemplo, aceros estructurales para carrocerías de automóviles, fundiciones de acero como las partes de los vagones de los ferrocarriles, etc.

Para analizar los cambios de fase en estado sólido que se presentan en el acero hipoeutécticoide, cuando este es enfriado en condiciones de equilibrio desde el estado líquido, se ha elegido un acero con un contenido de 0,45% de C. Esta aleación se muestra en la figura 3.4, y se denota por L_2 . Esta se enfria desde el estado líquido hasta llegar nuevamente a la fase sólida totalmente austenita ($L_2 X_1$).

La estructura formada en el punto L_2X_1 contiene el 0.45% de C disuelto en la microestructura reticular de la austenita.

La microestructura de la fase sólida austenita se representa a continuación:



L_2X_1

Si se sigue enfriando lentamente la aleación cruza la línea A_3 creando el punto L_2X_2 , en este momento, en los límites de los granos se empiezan a precipitar granos de ferrita, que también es llamada ferrita proeutectoide, por que durante el enfriamiento, esta se forma antes de que la aleación cruce la línea de temperatura eutécticoide o A_1 , su microestructura se representa a continuación:



L_2X_2

Siguiendo el enfriamiento en condiciones de equilibrio la aleación L_2 se cruza con la línea A_1 formando el punto L_2X_3 , en donde los granos de austenita que aun están presentes en la estructura, se transforman totalmente en perlita, la estructura resultante se representa en la siguiente forma:



L_2X_3

La cantidad de ferrita proeutectoide que existe en la estructura depende básicamente del contenido de carbono. Si el acero es de muy bajo contenido de carbono habrá mayor cantidad de ferrita proeutectoide, ésta disminuye conforme el contenido de carbono se acerca al 0.8%.

Una vez que se ha realizado la transformación completa de la austenita, la estructura no sufre cambio alguno en sus fases y se mantienen con la misma estructura hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Aceros hipereutectoides: Los aceros hipereutectoides son todos aquellos que poseen alto contenido de carbono, los cuales están comprendidos entre 0.8% y 2.11% de C. Debido a que contienen mayor cantidad de carbono, son útiles cuando se requiere mayor resistencia a la tracción, mayor dureza y mayor resistencia al desgaste, tal como una hoja de cuchillo u otras herramientas de corte, así como cojinetes de bolas.

A diferencia de los aceros hipoeutectoides en que la ferrita proeutectoide se presipita en los límites de grano de austenita, en los aceros hipereutectoides, el constituyente que se presipita en los límites de grano de la austenita es la cementita proeutectoide. Esta última a temperatura de 723°C forma totalmente una red de cementita.

Al presipitarse la cementita proeutectoide se reduce el contenido de carbono que originalmente se encontraba en la austenita que aún se encuentra presente, se transforma en perlita.

Una vez que se ha realizado la transformación, la estructura no sufre cambio alguno, y se mantiene hasta la temperatura ambiente.

Nuevamente partimos desde el estado líquido y conforme se va enfriando en condiciones de equilibrio, la aleación L_3 solidifica hasta alcanzar la fase sólida austenita. La estructura es homogénea como se presenta en la siguiente figura:



L_3X_1

Si la aleación L_3 se sigue enfriando en condiciones de equilibrio, esta indudablemente encontrará la línea Ac_m, en el cruce de ambas líneas forma el punto L_3X_2 . En este punto, se empiezan a precipitar granos de cementita proeutectoide en los límites de los granos de austenita. La microestructura resultante se ilustra a continuación:



L_3X_2

Si se continúa enfriando en condiciones de equilibrio, se precipitan más y más granos de cementita proeutectoide que en última instancia forman la red blanca de cementita, antes que la temperatura alcance los 723°C (punto L_3X_3), figura siguiente:



L_3X_3

Si se sigue enfriando en condiciones de equilibrio hasta rebasar la línea de temperatura eutectoide, toda la austenita que se encuentra entre la red blanca de cementita, se transforma en perlita y con ello se completa el último punto que se obtiene apenas por debajo de 723°C (punto L_3X_4), se mantiene hasta la temperatura ambiente que se presenta como sigue:



L_3X_4

Transformación de fase en estado sólido (condiciones de equilibrio)

Transformación de austenita a perlita es de bastante importancia

debido a que la transformación genera nuevas propiedades mecánicas, como lo puede ser un aumento en dureza. La transformación de austenita en perlita ocurre a 723°C dando lugar a la formación simultánea de ferrita más carburo que están mezclados entre sí. Al resultado de la transformación de la austenita que da origen a la formación de hierro (α) ó ferrita y carburo, recibe el nombre de perlita.

La perlita no es una fase, sino más bien, es una mezcla de dos fases en estado sólido, que son la fase sólida ferrita (α) y la fase sólida cementita (Fe₃C), ésta última conocida como carburo de hierro.

La perlita vista al microscopio tiene una estructura laminar, en donde la ferrita es la fase dominante o matriz y la cementita esta en forma de laminillas o también llamadas placas alternantes de carburos. La forma laminar que posee la perlita se ilustra en la siguiente figura.



En síntesis el diagrama hierro-carburo de hierro hasta el 2.11% de C, muestra la transformación de fase para todas las composiciones de acero, solamente para condiciones de enfriamiento o calentamiento o muy lentos, de tal manera que para fines prácticos las líneas de transformación de fase que dan forma al diagrama, se consideran uno y otro proceso.

Si en lugar de enfriar lentamente desde la temperatura de austenización hasta la temperatura ambiente, se aumenta la velocidad de enfriamiento, la austenita tiende a transformarse a bainita ó martensita según incrementa la velocidad de enfriamiento aplicada.

Transformación de austenita a bainita se obtiene a partir de la austenita y posee una característica de naturaleza doble, es decir, que en ciertas ocasiones revela características que son propias de la martensita. Al igual que la perlita, la bainita es una mezcla de fases que son ferrita y cementita. La bainita vista al microscopio tiene una apariencia acircular (en forma de aguja), y presenta mayor dureza en comparación con la perlita.

La pieza de acero se calienta hasta alcanzar la temperatura de austenitización y se mantiene para dejar que la estructura se homogenice, se saca del horno y se introduce en forma inmediata en un medio de temple como lo es el agua.

La estructura resultante es la martensita, y es la fase más dura que se obtiene a partir de la austenita, vista al microscopio asemeja un haz de pajitas.

IV.-PANORAMA GENERAL DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS.

IV.1.-Clasificación de los aceros para herramientas.

Cualquier acero utilizado como herramienta puede clasificarse técnicamente como acero para herramientas; sin embargo, el término puede limitarse a aceros especiales de alta calidad utilizados para corte ó formado.

Hay varios métodos para clasificar a los aceros para herramientas. Uno es según los métodos de temple que se usen, como aceros templados en agua, aceros templados en aceite y aceros templados en aire.

El contenido de la aleación es otro medio de clasificación, como aceros al carbono para herramientas, aceros de baja aleación para herramientas y aceros de mediana aleación para herramientas. Un último método de agrupación es el basado en el empleo del acero para herramientas, como aceros para trabajo en caliente, aceros resistentes al impacto, aceros de alta velocidad y aceros para trabajo enfrio.

El método de identificación de los aceros para herramientas adoptado por la AISI (American Iron And Steel Institute), tiene en cuenta el medio de temple, aplicaciones, características particulares y aceros para industrias específicas. Los aceros para herramientas que más se utilizan se han agrupado en siete grupos y cada grupo ó subgrupo se le ha asignado una letra del alfabeto, como lo mostraremos a continuación:

Grupo .	Símbolo y tipo.
Templados en agua.	W.
Resistentes al impacto.	S.
Trabajo en frío.	O. Templables en aceite. A. Mediana aleación y templables en aire. D. Alto carbono, alto cromo.
Trabajo en caliente.	H. (H1-H19, incluso base cromo). (H20-H33, incluso base tungsteno). (H40-H59, incluso base molibdeno).
Alta velocidad.	T. Base tungsteno. M. Base molibdeno.
Moldes.	P. Aceros para moldes (P1-P19, incluso bajo carbono; P20-P39, incluso, otros tipos).
Propósitos específicos.	L. Baja aleación. F. Carbono-Tungsteno.

A continuación mostraremos la identificación y el tipo de clasificación de aceros para herramientas hecha por la AISI.

IV.2.- Aceros para herramientas templables en agua. Grupo W.

Estos aceros tienen como principal elemento de aleación al carbono en porcentajes de 0.6% a 1.4%, el porcentaje más empleado es de 1.0%, además de pequeños porcentajes de cromo y vanadio; el cromo aumen-

ta la templabilidad y resistencia al desgaste, mientras que el vanadio ayuda al refinamiento del tamaño de grana y aumenta la tenacidad.

Estos aceros son los de menor costo debido a su baja aleación.

La tabla que a continuación se muestra, se enlista la clasificación de estos aceros y su composición química.

Clasificación de los aceros para herramientas templables al agua. Grupo W.

Tipo	C	Mn	V	W	Mo	Co	Cr
W1	.6-1.4						
W2	"		.25				
W3	"		.50				
W4	"						.25
W5	"						.50
W6	"		.25				.25
W7	"		.20				.50

Entre las características que podemos mencionar para este grupo de aceros es su baja templabilidad obteniéndose un núcleo tenaz apenas en un diámetro por encima de 12.7 mm. Deben de templarse en agua u otro medio de temple severo para obtener su máxima dureza acompañada de una relativamente alta deformación. Una buena propiedad es la alta maquinabilidad que ofrecen.

IV.3.- Aceros para herramienta, resistentes al impacto. Grupo S.

Los aceros resistentes al impacto tienen como principal característica la alta tenacidad por lo que son de contenido de carbono relativamente bajo (0.50%), los demás elementos de aleación son: cromo, silicio,

manganeso, tungsteno y molibdeno; el cromo y el silicio aumentan la templabilidad mientras que el tungsteno aumenta la dureza al rojo, el silicio además acelera la descarburación, por lo que se deben tomar precauciones para evitarla durante su tratamiento térmico.

Los aceros resistentes al impacto ofrecen regular dureza al rojo y resistencia al desgaste, la maquinabilidad de estos aceros es mediana, su temple generalmente se realiza en aceite y sólo en algunos casos en agua.

Clasificación de los aceros para herramienta resistentes al impacto. Grupo S.

Tipo	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
S1	.50			1.50		2.50		
S2	"		1				.50	
S3	"			.75		1		
S4	"	.80	2					
S5	"	"	"				.40	

IV.4.- Aceros para herramientas para trabajo en frío. Grupos O, A y D.

Los aceros para herramientas para trabajo en frío se dividen en tres grupos; aceros templables en aceite (grupo O), aceros de mediana aleación y templables en aire (grupo A) y aceros de alto contenido de cromo (grupo D). Se pueden observar en la siguiente tabla.

Los aceros del grupo O contienen: carbono, manganeso, cromo y tungsteno como principales elementos de aleación, sin embargo, algunos tipos contienen además silicio y molibdeno, lo que les da una mayor templabilidad que a los aceros del grupo W y como son templables en aceite tie-

nen menor deformación y tendencia al agrietamiento que éstos; su alto contenido de carbono les proporciona una alta dureza y resistencia al desgaste.

De los aceros del grupo A se puede mencionar que tienen mayor templabilidad y su temple se realiza al aire, lo que permite obtener una distorsión mínima y menor probabilidad de agrietamiento, esto debido al más alto contenido de manganeso, cromo y molibdeno. El manganeso provee al acero de alta dureza al rojo, a excepción de los tipos A2 y A7 que no los contienen en su composición. El alto contenido de carbono da al acero alta dureza y resistencia al desgaste.

El grupo D se caracteriza por alto contenido de carbono y un excepcional contenido de cromo (12%), con lo que se obtiene alta templabilidad y resistencia al desgaste, no así la dureza al rojo la cual tienen valores relativamente bajos.

Clasificación de los aceros para herramientas para trabajo en frío. Grupos O, A y D.

Grupo O, templables en aceite.

Tipo	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
O1	.9	1		.5		.5		
O2	"	1.6						
O6	1.45		1				.25	
O7	1.20			.75		1.75	" +	

Grupo A, mediana aleación y templable al aire.

A2	1			5			1	
A4	"	2		1			1	

Continúa.

Tipo	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
A5	1	3		1			1	
A6	.7	2		1			1	
A7	2.25			5.25	4.5		1	

Alto carbono, alto cromo. Grupo D.

D1	1			12			1	
D2	1.5			"			"	
D3	2.25			"				
D4	"			"			1	
D5	1.50			"		1	1	3
D6	2.25		1	"		1		
D7	2.35			"	4		1	

IV.5.- Aceros para herramientas para trabajo en caliente. Grupo H.

El grupo de los aceros para trabajo en caliente se divide a su vez en tres grupos de acuerdo al elemento de aleación predominante: cromo, tungsteno y molibdeno.

Los aceros de este grupo base cromo son los del tipo H11 al H16 son de mediano contenido de cromo, además de carbono, tungsteno, vanadio y molibdeno; poseen buena dureza al rojo, su bajo contenido de carbono les da buena tenacidad. Son templables al aire y de templabilidad profunda.

Los aceros de base tungsteno para trabajo en caliente son del tipo H20 al H26; tienen mejor resistencia al rojo y pueden templarse en aire, agua y salmuera. El último grupo de los aceros para trabajo en caliente es el de base molibdeno que abarca los tipos H41 al H43, son de

similar composición que los anteriores y por lo tanto de características similares pero menos propensos al agrietamiento durante su tratamiento térmico, aunque sí de mayor tendencia a la descarburización.

En general los aceros para trabajo en caliente tienen como principal característica una buena dureza al rojo combinada con una buena tenacidad; en el tratamiento térmico son propensos a descarburizarse y tienen buena estabilidad dimensional cuando se templean al aire.

Clasificación de los aceros para herramientas para trabajo en caliente. Grupo H.

Base cromo.

Tipo	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
H11	.35			5	.4		1.5	
H12	"			"	"	1.5	"	
H13	"			"	1		"	
H14	.4			"		5		
H15	"			"			5	
H16	.55			7		7		

Base tungsteno.

H20	.35			2		9		
H21	"			3.5		9.5		
H22	"			2		11		
H23	.30			12		12		
H24	.45			3		15		
H25	.25			4		"		
H26	.50			"	1	18		

Base molibdeno.

Tipo	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
H41	.65			4	1	1.5	8	
H42	.60			"	2	6	5	
H43	.55			"	"		8	

IV.6.-Aceros para herramientas para alta velocidad. Grupos T y M.

Este grupo de aceros se encuentra dividido en dos grupos dependiendo del elemento de aleación predominante. Las características generales de este grupo de aceros de alta aleación es su excelente dureza al rojo, buena resistencia al impacto dependiendo del contenido de carbono, son templables en aire, aceite y sales fundidas. En general son de alta templabilidad y de buena maquinabilidad.

Clasificación de los aceros para herramienta para alta velocidad.

Grupo T.

Tipo	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
T1	.7			4	1	18		
T2	.85			"	2	"		
T3	1.05			"	3	"		
T4	.75			"	1	"		5
T5	.8			"	2	2		8
T7	.75			"	"	14		
T8	.8			"	2	"		5
T15	1.5			"	5	12		"

Grupo M.

Tipo	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
M1	.8			4	1	1.5	8.5	
M2	.85			"	2	6.25	5	
M3	1			"	2.4	6	"	
M4	1.3			"	4	5.5	4.5	
M6	.8			"	1.5	4	5	12
M7	1			"	2	1.75	8.75	
M10	.85			"	"		8	
M15	1.5			"	5	6.5	3.5	5
M30	.8			"	1.25	2	8	5
M33	.9			3.75	1.15	1.75	9.5	8.25
M34	"			4	2	2	8	8
M35	.8			"	"	6	5	5
M36	.8			"	"	"	"	8

IV.7.- Aceros para herramienta para moldes. Grupos L y F.

Este grupo de aceros para herramienta tiene como principal elemento de aleación al níquel y al cromo además de vanadio, carbono, molibdeno y aluminio (tipo P21). Son de baja aleación por lo que tienen muy baja dureza en estado de recocido lo mismo que dureza al rojo, con excepción del tipo P4.

Clasificación de los aceros para herramientas para moldes.

Grupo P.

Tipo	C	Al	Ni	Cr	V	W	Mo	Co
P1	.1máx.							
P2	.7		.5	1.25			2	

Tipo	C	Al	Ni	Cr	V	W	Mo	Co
P3	.1		1.25	.6				
P4	.7			5				
P5	.1			2.25				
P6	"		3.5	1.5	.2			
P20	.3			.75			.25	
P21	.2	1.2	4					

IV.8.- Aceros para herramientas para propósitos especiales. Grupos L y F.

Los aceros para herramientas para propósitos especiales como su nombre lo indica son aceros de uso específico en la industria y que no se encuentran especificados en los grupos anteriores; éstos se encuentran divididos en dos grupos: Los aceros del grupo L son similares a los del grupo W, más cromo, vanadio, aluminio, níquel, lo que les da mayor resistencia al desgaste y templabilidad; son medianamente resistentes a los cambios dimensionales. En particular este grupo se puede catalogar como de buena tenacidad. Los aceros del grupo F son suficientemente resistentes al desgaste debido a su alto contenido de carbono, de 1 a 1.25%. Son templables al agua por lo que sufren distorsión considerable durante el temple además de ser frágiles; su templabilidad es superficial, y su dureza al rojo es baja.

Clasificación de los aceros para herramientas para propósitos especiales. Grupos L y F.

Tipo	C	Mn	Ni	Cr	V	W	Mo	Co
L1	1			1.25				
L2	.5-1.1			1	.2			

Tipo	C	Mn	Ni	Cr	V	W	Mo	Co
L3	1			1.5	.2			
L4	"	.6		"	"			
L5	"	1		1	"		.25	
L6	.7		1.5	.75			"	
L7	1	.35			1.4		.40	

Grupo F.

F1	1					1.25		
F2	1.25					3.5		
F3	"			.75		"		

IV.9.-PROPIEDADES DE LOS ACERO PARA HERRAMIENTAS.

Los materiales se seleccionan según su aplicación, adecuando las propiedades del material a las condiciones de funcionalidad y servicio.

Para una selección adecuada deben determinarse las características más importantes que deben poseer el material; debiendo ser consideradas algunas propiedades fundamentales .

Entre estas propiedades tenemos las siguientes: dureza después del tratamiento térmico, maquinabilidad, resistencia a la descarburización, profundidad de la dureza, dureza al rojo y medio de temple.

Estas propiedades las enlistaremos a continuación según el tipo ó grupo de acero.

Aceros templables en agua.(W)

Dureza después del tratamiento térmico: De 50 a 60 Rc.

Maquinabilidad : Alta.

Resistencia a la descarburización : Alta.

Profundidad de la dureza : Baja.

Dureza al rojo : Baja.

Medio de temple : Agua en piezas de dimensiones pequeñas, agua y aceite en piezas de grandes dimensiones.

Aceros resistentes al impacto.

Dureza después del tratamiento térmico : De 40 a 60 Rc.

Maquinabilidad : Media alta.

Resistencia a la descarburización : Baja.

Profundidad de la dureza : Media .

Dureza al rojo : Media.

Medio de temple : Aceite, agua en algunos casos.

Aceros para trabajo en frío.Grupo O.

Dureza despues del tratamiento térmico : De 55 a 65 Rc.

Maquinabilidad : Alta.

Resistencia a la descarburización : Alta.

Profundidad de la dureza: Media.

Dureza al rojo ; Bajs.

Medio de temple: Aceite, en algunos casos agua.

Aceros para trabajo en frío.Grupo A.

Dureza despues del tratamiento térmico: De 35 a 70 Rc.

Maquinabilidad : Media.

Resistencia a la descarburización : Media alta.

Profundidad de la dureza : Profunda.

Dureza al rojo ; Alta.

Medio de temple : Aire.

Aceros para trabajo en frío.Grupo D.

Dureza despues del tratamiento térmico: De 55 a 65 Rc.

Maquinabilidad ; Media baja.

Resistencia a la descarburización ; Media baja.

Profundidad de la dureza : Profunda.

Dureza al rojo ; Alta.

Medio de temple : Aire y en algunos casos especiales aceite.

Aceros para trabajo en caliente, Grupo H.

Dureza despues del tratamiento térmico: De 38 a 60 Rc.

Maquinabilidad : Media alta.

Resistencia a la descarburización: Media alta.

Profundidad de la dureza : Profunda.

Dureza al rojo : Alta.

Medio de temple : Aire y en algunos casos aceite.

Aceros para alta velocidad, Grupo T.

Dureza despues del tratamiento térmico: De 58 a 65 Rc.

Resistencia a la descarburización : Media alta.

Maquinabilidad: Media.

Profundidad de la dureza: Profunda.

Dureza al rojo : Alta.

Medio de temple : Aire, aceite ó baños salinos.

Aceros para alta velocidad, Grupo M.

Dureza despues del tratamiento térmico: De 60 a 70 Rc.

Maquinabilidad : Media.

Resistencia a la descarburización : Baja.

Profundidad de la dureza : Profunda.

Dureza al rojo : Alta.

Medio de temple : Aire, aceite ó baños salinos.

Aceros para moldes. Grupo P.

Dureza despues del tratamiento térmico : De 40 a 60 Rc.

Maquinabilidad : Media alta.

Resistencia a la descarburización : Alta.

Profundidad de la dureza : Media baja.

Dureza al rojo : Media.

Medio de temple : Aire ó aceite.

Aceros para propósitos específicos. Grupos L y F.

Dureza despues del tratamiento térmico: De 45 a 62 Rc.

Maquinabilidad : Media alta.

Resistencia a la descarburización : Alta.

Profundidad de la dureza : Media profunda.

Dureza al rojo : Media .

Medio de temple : Aire, aceite, en casos especiales agua.

IV.10.-PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS.

Los aceros para herramientas en la industria tienen diversas aplicaciones específicas, dadas a través de mucho tiempo, esto debido a las características de cada tipo de acero; no hay que olvidar, que pueden existir más de un acero que cumpla los requisitos necesarios para emplearlo en alguna herramienta, por lo que no es conveniente tomar sólo en cuenta las propiedades mecánicas de éstos, sino además tener en cuenta los aspectos como costos, disponibilidad en el mercado, facilidad de tratamiento térmico, etc. A continuación se presentan las aplicaciones más usuales para cada grupo de aceros, en base a sus aptitudes para desempeñar un trabajo específico de manera satisfactoria.

Aplicación de los aceros templables al agua. Grupo W.

Las aplicaciones de este grupo de aceros dependen del contenido de carbono (0.6 a 1.4%). Los aceros de contenido de carbono de 0.6 a 0.75 se ocupan en martillos, quijadas o conos de quebradoras, remachadoras y dados preformadores de uso no continuo, donde se requiere de un acero tenaz. Para los aceros de contenidos de carbono de .75 a .95 que tienen mayor dureza se utilizan en punzones, troqueles, cizallas, etc. Por último los aceros de contenido de carbono de .95 a 1.4 % son más duros que tenaces y se ocupan, debido a su alta resistencia al desgaste, en herramientas de carpintería, brocas, tarrajas, cinceles, escariadores y en general en herramientas de corte de materiales suaves como aluminio, latón, etc.

Aplicación de los aceros para herramientas resistentes al impacto. Grupo S.

Como su nombre lo indica, estos aceros deben de ser capaces de resistir golpes de impacto repetitivos, por lo que se utilizan en machuelos, troqueles de corte, herramientas para formado, herramientas neumáticas, hojas de cizallas, etc.

Aplicación de los aceros para trabajo en frío. Grupos O, A y D.

Estos aceros son muy versátiles en cuanto a su uso, ya que sirven para realizar varias de las aplicaciones de los grupos anteriores de manera satisfactoria. En grupo de aceros para trabajo en frío templeables en aceite, grupo O; se utiliza en la fabricación de machuelos, troqueles de corte, herramientas para formado, escariadores, etc. El grupo A, de los aceros para trabajo en frío de mediana aleación y templeables al aire tienen aplicaciones en punzones, machuelos, tarrajas, etc. Los aceros para trabajo en frío de alto contenido de carbono y alto cromo, grupo D, tienen amplia aplicación en dados de punzonar, de corte, dados para estirar alambre, barras y tubos.

Aplicación de los aceros para trabajo en caliente. Grupo H.

La aplicación de estos aceros puede dividirse en base al elemento de aleación predominante. Los aceros para trabajo en caliente base cromo, tipos H11 a H16 poseen buena dureza al rojo debido al cromo que

contienen, funcionan en troqueles de extrusión en caliente, troqueles para piezas fundidas, troqueles para forjar, mandriles y cizallas en caliente. Los aceros para trabajo en caliente de base tungsteno, tipos H22 al H26, son también utilizados a alta temperatura como todos los de este grupo, en mandriles y troqueles para extrusión de latón, de aleaciones de níquel y de acero. Los aceros para trabajo en caliente de base molibdeno, tipos H41 al H43, son de composición y uso similares a los de los aceros de base tungsteno.

Aplicación de los aceros para alta velocidad, Grupos T y N.

El uso principal y más difundido es en las herramientas de corte de todo tipo, aunque tienen buena funcionalidad en troqueles de extrusión, punzones y dados. Los aceros para alta velocidad tanto base tungsteno como molibdeno son utilizados en brocas, escariadores, tarrajas, machuelos, cortadores de fresa, sierras y herramientas de carpintería.

Aplicación de los aceros para moldes. Grupo P.

Son de poca dureza al rojo y se utilizan generalmente en moldes de inyección de plásticos.

Aplicación de los aceros para herramientas para propósitos especiales. Grupos L y F.

Los aceros para propósitos especiales de baja aleación, grupo L, tienen varias aplicaciones debido a su tenacidad y alta resistencia al

desgaste, como en cojinetes, rodillos, platos para embrage, llaves de tuercas, etc. Los aceros de este grupo con alto contenido de carbono se utilizan para ejes, troqueles, brocas, machuelos y calibradores. Los aceros para propósitos especiales de base carbono-tungsteno, grupo F, son usados en guillotinas para papel, dados para estirado de alambre, herramientas para formado y maquinado final.

V.-TRATAMIENTOS TERMICOS APLICABLES A LOS ACEROS PARA HERRAMIENTAS.

V.1.-DIAGRAMAS TTT.

Al enfriar un acero austenizado bajo condiciones de equilibrio éste sufre un cambio alotrópico de FCC a BCC y su estructura es predecible en el diagrama Fe-Fe₃C, pero cuando este enfriamiento sucede más rápido, fuera de equilibrio; el carbono cambia en la forma en la cual se distribuye en hierro, formando nuevas fases metaestables; ahora bien, estas transformaciones fuera de equilibrio pueden suceder isotérmicamente o durante un enfriamiento continuo.

La transformación isotérmica consiste en el enfriamiento del acero desde la temperatura de austenitización tan rápidamente que no se produzca transformación alguna hasta alcanzar una temperatura preestable inferior a A₁, permaneciendo el acero a esta temperatura por el tiempo necesario para completar la transformación de la austenita.

Esta transformación de fase como se dijo antes, requiere de cierto periodo de tiempo para que se realice y no ocurre proporcionalmente conforme transcurre el tiempo, sino que tiene un comportamiento como el mostrado en la figura 5.1, donde se encuentra graficado el porcentaje de la transformación vs. logaritmo de tiempo.

Si se divide el periodo de transformación en tres etapas se tiene que en la primer etapa la transformación es lenta y es un periodo de incubación de la nueva fase en cual comienza la formación de los núcleos, para la segunda etapa a mitad de la transformación la nucleación es máxima y muchos núcleos aparecen mientras los ya formados se desarrollan con lo que el porcentaje de transformación aumenta rápidamente;

en la tercer etapa, que es el final de la transformación, la velocidad de nucleación decrece al igual que el desarrollo de los núcleos ya formados, porque éstos chocan entre sí y se estorban impidiéndose el desarrollo, la velocidad de transformación es entonces demasiado lenta, lo que justifica el uso de la escala logarítmica en el tiempo. Entonces se grafica el tiempo en una escala logarítmica los puntos de inicio (1.0%), mitad (50%) y terminación (99%) de la transformación para una aleación determinada y para diversas temperaturas de transformación, se forma una curva mostrada en la parte inferior de la figura 5.2, conocida como la curva " S " y el diagrama recibe el nombre de diagrama TTT (Transformación-Temperatura-Tiempo), aunque también se le conoce como T-I (de Transformación Isotérmica). Este diagrama no es más que la representación gráfica, para una aleación determinada, de la relación entre la temperatura de transformación y el tiempo requerido para el inicio y el fin de dicha transformación; también predice la microestructura final obtenida, además de la dureza que alcanza dicha microestructura.

Los diagramas TTT presentan formas variadas de acuerdo al tipo de acero de que se trata, pero de manera general se agrupan en dos modelos; diagramas TTT de aceros al carbono y diagramas TTT de aceros aleados.

7.2.- Diagramas TTT de aceros al carbono.

Dentro de estos diagramas existen dos formas características; la del diagrama TTT para un acero eutectoide y la de los diagramas TTT para aceros hipoeutectoides e hipereutectoides.

El diagrama TTT para un acero de composición eutectoide se muestra en la figura 5.3, en el se muestra en la parte superior un área marcada con la letra A, de austenita, estable a alta temperatura y de limitada por la isóterma A_s . En la parte media del extremo izquierdo se muestra

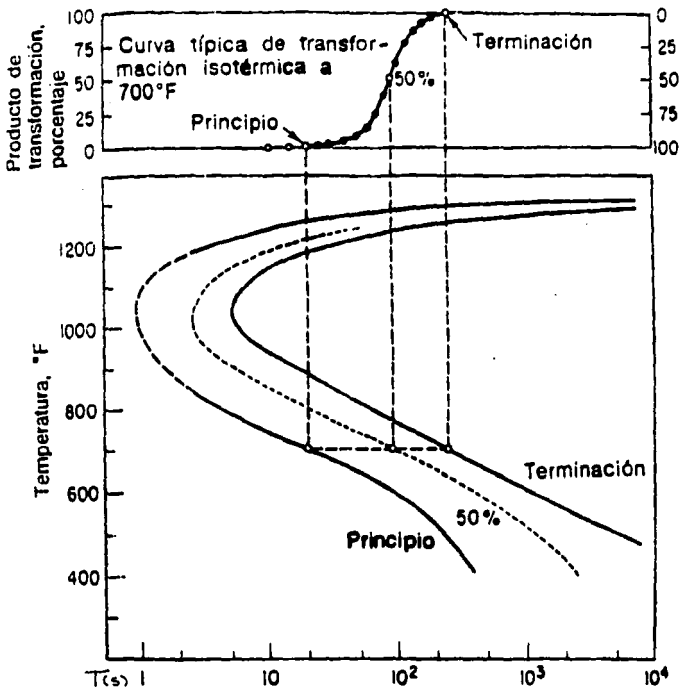


Figura. 5.1 Diagrama que muestra cómo se resumen las condiciones de la transformación isotérmica mediante el diagrama TTT.

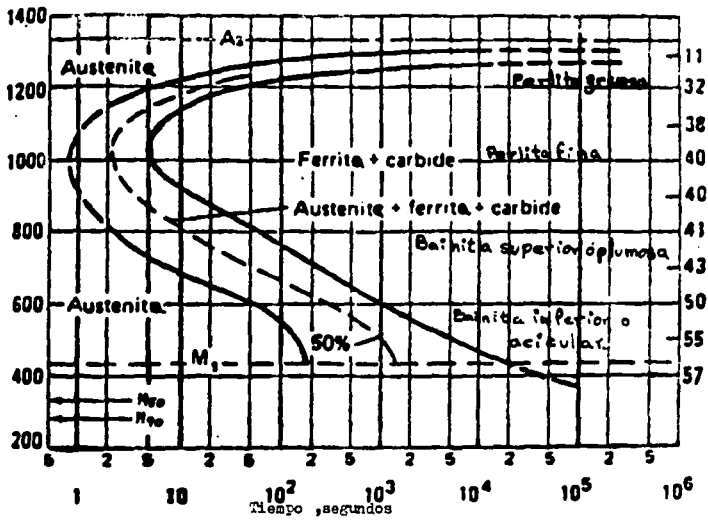


Figura. 5.2. Diagrama TTT de un acero eutectoide.
 Acero 1080, 0.79% C, 0.76% Mn. Austenitizado a 900°C. Tamaño de grano 6. Temperatura para la martensita estimada.

una área marcada también con la letra A, también se trata de austenita, pero metaestable, subenfriada y delimitada a la derecha por la curva "S" de inicio de transformación(1%), marcada en la línea continua. En el centro del diagrama se encuentra al área de transformación de la nueva fase a partir de la austenita, la curva "S" de la línea continua de la derecha marca el final de la transformación(99%), en medio de esta área aparece una curva de línea interrumpida marcada con 50% que indica la mitad de la transformación.

En esta misma parte del diagrama en el extremo derecho aparece el área F + C que es el producto final de la transformación, que puede ser perlita (parte media superior del diagrama) ó bainita (a más baja temperatura), además se observa la dureza promedio que alcanza dicha microestructura dependiendo de la temperatura a la cual se realiza la transformación.

En la parte media de esta área los productos de la transformación perlita y bainita se traslapan. En la parte inferior aparece el área de formación de la martensita, delimitada arriba por la isoterma Ms que indica la temperatura de inicio de formación; como se recuerda en este proceso es independiente del tiempo, es decir, depende exclusivamente del cambio de temperatura que experimenta la aleación, por la que la línea final de formación de la Mf también es una isoterma, que para el caso de los aceros de alto carbono y muchos otros aleados no aparece debido a que se ubica por debajo de la temperatura ambiente, existen además en esta misma área las isótermas de 50 y 90% de la transformación marcadas en la línea interrumpida; el porcentaje complementario del 100% de transformación a una temperatura determinada en austenita retenida. En estos diagramas además se indica el tipo de acero, composición, tamaño de grano, tiempo

, y temperatura de austenitización y tamaño de las piezas ó probetas utilizadas.

El diagrama TTT de un acero hipoeutectoide aparece en la figura y el diagrama de un acero hipereutectoide en la figura 5.3.

Al comparar éstos con el de un acero eutectoide se visualiza la aparición de una nueva área en la parte superior de la curva "S" en forma de ala delimitada por la línea que comienza en la cercanía de la punta de la nariz de la curva "S" de inicio y que conforme transcurre el tiempo se hace asintótica a la línea A_s . Observando primero el diagrama para un acero hipoeutectoide, se tiene que el área del ala se encuentra marcada con A - F y es el área de formación de ferrita proeutectoide y será mayor cuando más se aleje la composición del acero de la eutectoide.

En el diagrama TTT de un acero hipereutectoide también aparece un ala, marcada ahora con A + C de formación de cementita proeutectoide a partir de la austenita, que se ve aplicada cuanto más se aleja la composición de la eutectoide, aquí la línea A_s es la línea de estabilidad de la cementita y es la temperatura por debajo de la cual, para esta composición comienza a formarse la cementita proeutectoide.

V.3.- Diagrama TTT para aceros aleados.

La ubicación y la forma de las curvas "S" en los diagramas TTT para los aceros aleados son consecuencia de la combinación, cantidad y tipo de los elementos de aleación agregados. Existen elementos que tienen mayor influencia que otros para modificar los rangos de temperaturas y tiempos de transformación, entre ellos, carbono, níquel, manganeso, cromo, molibdeno, tungsteno y vanadio. Los diagramas TTT de los aceros aleados presentan formas variadas, la característica más común en ellos

T e m p e r a t u r a ° F

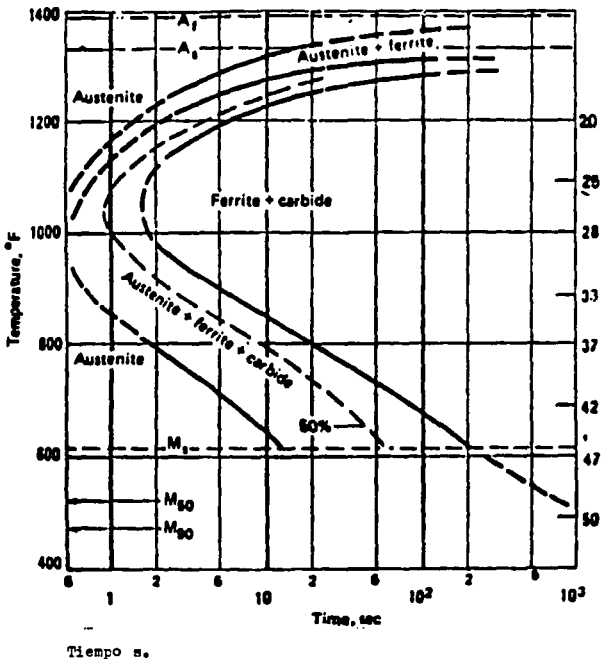
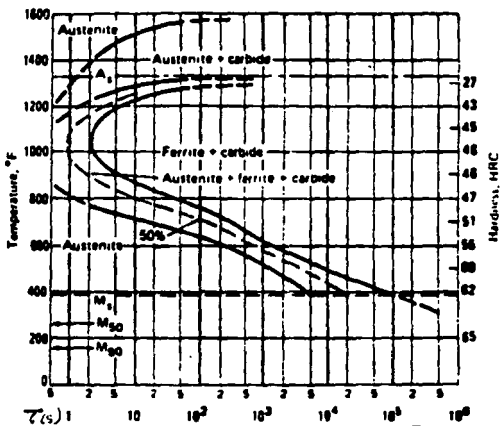


Figura 5.3. Diagrama TTT de un acero hipoeutectoide. Acero 1050, 0.94% C, 0.46% Mn. Austenitizado a 910°C. Tamaño de grano de 7 a 8. Temperatura de martencita estimada.

Temperatura



Dureza

Tiempo s.

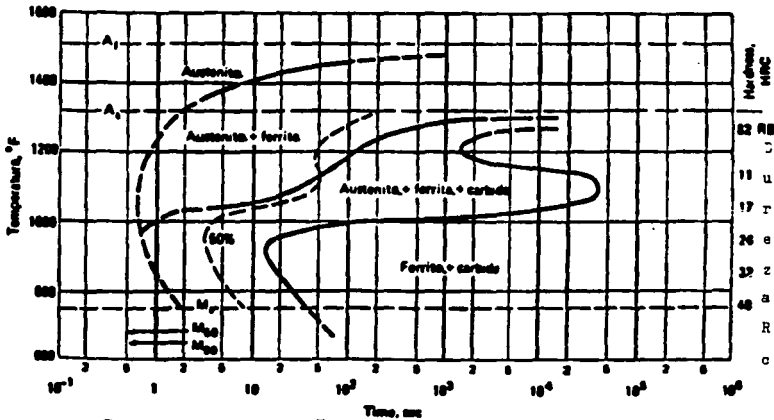
Figura 5.4. Diagrama TTT de un acero hipereutectoide. Acero 1095., 1.13% C, 0.37% Mn. Las temperaturas de la martencita son estimadas.

es la separación de las áreas de formación de la perlita de la bainita formándose dos narices o rodillas, la superior es la nariz perlitica y la inferior es la nariz bainitica. Otra característica en las curvas de los aceros aleados es que generalmente se encuentran más desplazadas a la derecha que las curvas de los aceros al carbono. Los elementos de aleación que desplazan las curvas hacia la derecha y disminuyen el intervalo Ms-Mf sin modificarlas substancialmente son: carbono, níquel, manganeso, de estos el que tiene mayor influencia es el carbono.

Entre los elementos de aleación existe el caso excepcional del cobalto que desplaza las curvas hacia la izquierda y el intervalo Ms-Mf hacia arriba. También hay elementos que además de desplazar las curvas son causantes de la aparición de la segunda nariz, la bainitica, en el diagrama, estos elementos son formadores de carburos como: cromo, molibdeno tungsteno, vanadio y manganeso. Los diagramas TTT de aceros aleados llegan a tener bastante variadas, por ejemplo los diagramas de las figuras 5.5 y 5.6 .

V.4.-RECOCIDO.

El recocido en su ~~mantió~~ más amplio significa calentar un acero hasta donde ocurra un cambio y entonces se enfría lentamente. Una razón principal para el recocido es suavizar al acero, pero también sirve para ~~aliviar~~ esfuerzos, eliminar gases, alterar la ductilidad, la tenacidad ó para refinar los granos. El propósito final puede ser preparar al acero para otro tratamiento térmico, trabajo mecánico o para cumplir las especificaciones del producto terminado.



tiempo 5.

Fig. 5.5. Diagrama TTT. Acero 4027; Composición 0.26% C, 0.87% Mn. Austenitizado a 855°C. Tamaño de grano 7.

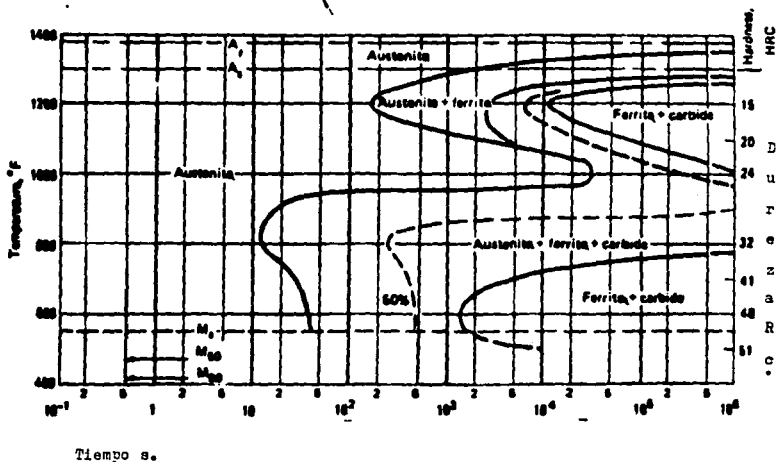


Fig. 5.6. Diagrama TTT de un acero aleado.

Acero 4340. Composición 0.42% C,
 0.78% Mn, 0.8% Cr, 0.33% Mo. Austenitizado a 845°C.

V.5.- DOBLE RECOCIDO.

Este tratamiento térmico se aplica cuando se desean obtener muy bajas durezas, se suele dar a los aceros primero un recocido de regeneración y luego otro subcrítico. En este tratamiento se calienta al acero a una temperatura inferior pero muy próxima a la línea crítica A_1 , debiendo luego enfriarse al acero lentamente dentro del horno.

V.6.- GLOBULIZADO.

Básicamente este tratamiento se aplica a los aceros de alto contenido de carbono, ya que posee una estructura de perlita y una red de Fe_3C que los hace bastante difíciles de ser maquinados. En forma esencial lo que se hace es romper la red de cementita y por lo tanto formar un carburo esferoidal en una matriz ferrítica, este se puede hacer de tres maneras diferentes, que son las siguientes:

- 1.- Calentar al acero un tiempo prolongado a una temperatura justamente por debajo de la línea A_1 .
- 2.- Calentando y enfriando de manera alternada al acero entre las temperaturas que están justamente por encima de la línea crítica inferior A_1 .
- 3.- Se calienta a una temperatura por encima de la línea crítica inferior y luego se enfría lentamente dentro del horno hasta una temperatura por debajo de la línea crítica A_1 .

Este proceso ayuda a disminuir la dureza y la resistencia en los aceros de alto contenido de carbono e incrementa su maquinabilidad.

V.7.- TEMPLE.

El temple es un tratamiento térmico que se aplica a los aceros, cuya finalidad es la de incrementar su dureza y su resistencia mecánica, pero otras propiedades se reducen tales como la ductilidad y la tenacidad.

El temple consiste en calentar al acero a la temperatura de austenización, manteniéndolo un cierto tiempo a esta temperatura, a fin de evitar la transformación de $\gamma\text{-Fe}_3\text{C}$, obteniéndose una fase metaestable conocida como martensita que tiene una estructura tetragonal de cuerpo centrado (BCT), es decir, se puede hablar de una celda cúbica alargada como consecuencia de que los átomos de carbono no tuvieron el tiempo suficiente para emigrar y formar Fe_3C , y quedan atrapados en las aristas de la celda, produciéndose así un alargamiento.

V.8.- REVENIDO.

Es un tratamiento térmico que se aplica a los aceros que han sido previamente templados y cumple dos objetivos principales que son:

- 1.- Conferir al acero templado una estructura más estable.
- 2.- Elevar la tenacidad y ductilidad del acero, aunque su dureza y resistencia disminuye un poco.

El revenido consiste en calentar al acero previamente templado por debajo de su temperatura de transformación (línea A_1), manteniéndolo un cierto tiempo a esta temperatura y por último se enfría al aire.

La temperatura de revenido y tiempo se enlistan a continuación:

- Aceros simples de 200 a 350°C.
- Aceros aleados de 300 a 450°C.
- Aceros de alta aleación de 400 a 650°C.

El tiempo de revenido es de 15 minutos a 1 hora.

V.9.- TEMPLE INTERRUPTIDO EN AGUA Y ACEITE.

Es un temple normal con la diferencia de que el enfriamiento primero se hace en agua para que sea lo suficientemente rápido para revasar la velocidad crítica y luego se enfría en aceite mientras tiene lugar la transformación de la austenita. Este tratamiento se utiliza para templear piezas en forma intrincada fabricadas en acero templeable en agua, y tiene por objeto evitar mediante el enfriamiento más suave de aceite que las diferencias de temperatura en la masa de la pieza sean demasiado grandes durante la transformación de la austenita en martensita, lo que evita que se desarrollen tensiones demasiado elevadas que produzcan deformaciones y grietas. Como orientación, para piezas de 20mm de espesor se mantiene 10 segundos en agua y después se pasa al aceite; el constituyente final es martensita ó cementita dependiendo del contenido de carbono. Ver figura 5.1 .

V.10.- TEMPLE INTERRUPTIDO EN AGUA Y AIRE.

Es un temple variante del temple normal y es parecido al anterior. Consiste en interrumpir el enfriamiento de una pieza en agua, sacandola al aire cuando la temperatura haya bajado hasta 250°C, se tiene la ventaja de que se igualan las temperaturas en diferentes zonas y se evitan las deformaciones y agrietamientos, se aplica a aceros aleados. Otra variante es enfriar primero en aceite y luego en aceite.

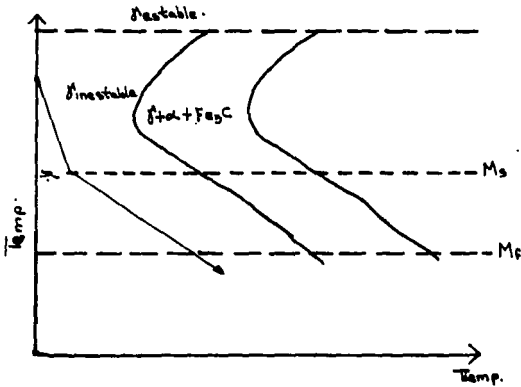


Fig. 5.1. Diagrama TTT para determinar la temperatura y el tiempo para el temple interrumpido en agua y aceites.

VI.- TEMPLE INTERRUPTO EN AGUA Y ACEITE DE UN ACERO PARA HERRAMIENTAS W2.

VI.1.- JUSTIFICACION.

El presente trabajo se enfocó hacia la observación del comportamiento del acero W2 sometido al temple interrumpido en agua y aceite, al someterse a diferentes tiempos de permanencia en el agua, desde un segundo hasta 6 segundos de permanencia en este medio de temple y posteriormente enfriándolo totalmente en aceite. El efecto del tiempo en la transformación de la microestructura del acero W2, según la teoría, debe reflejarse en los cambios de dureza que experimente el acero.

Por lo tanto el objetivo de este trabajo fue la comparación de las curvas tiempo dureza y temperatura dureza, de temple interrumpido del acero W2. El registro de las durezas van acompañadas de observaciones de las probetas en los puntos característicos.

VI.2.- DESCRIPCION.

Como ya se menciona con anterioridad el temple interrumpido es un temple semejante a un temple normal, con la diferencia que el enfriamiento se lleva a cabo en dos medios diferentes, eso es, primero en agua y posteriormente en aceite hasta el enfriamiento total de las probetas.

Para el desarrollo de este trabajo se designaron diferentes tiempos de permanencia en el primer medio de temple (en este caso agua), y el segundo medio de temple es el aceite, en este último las piezas o probetas se enfriarían en su totalidad. El tiempo que se asignó a cada probeta se determinó por medio del diagrama TTT, ver figura , así con ayuda de

este diagrama se determinaron los tiempos y temperatura para llevar a cabo este tratamiento térmico en el acero V2.

VI.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Como en todos los tratamientos térmicos, se corren riesgos en la aplicación de estos, pero no son sólo riesgos los que se tienen al practicar un tratamiento térmico, si no también se obtienen algunas ventajas y beneficios.

Entre las ventajas que se obtienen mediante el temple interrumpido son: dureza uniforme en las piezas, tenacidad, también se evitan tensiones que puede sufrir el acero y se disminuye el riesgo de agrietamiento.

Entre las desventajas que se tienen mediante este tratamiento se pueden mencionar a las siguientes:

-Si no se calcula bien el tiempo de permanencia en el agua hay posibilidad de tener una baja dureza por la formación de perlita.

-El doble trabajo que significa templar primero en agua y luego en aceite, y el control del tiempo de permanencia.

-Únicamente se pueden tratar piezas relativamente pequeñas.

VII.-PARTE PRACTICA.

VII.1.-METALOGRAFIA.

La metalografía ó microscopia estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto científico como técnico. Es posible determinar el tamaño de grano y la forma y distribución de varias fases e inclusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revelará el tratamiento mecánico y el térmico del metal y ,bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento esperado.

La experiencia ha mostrado que el éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra. El microscopio más costoso no revelará la estructura de una muestra que haya sido preparada en forma deficiente. El procedimiento que se sigue en la preparación de una muestra es comparativamente sencillo y requiere de una técnica desarrollada sólo después de práctica constante. El último objetivo es de obtener una superficie plana, sin rayaduras, semejante a un espejo. Las etapas necesarias para preparar adecuadamente una muestra metalográfica son :Corte de probetas, desbaste, pólido y ataque químico.

VII.2.- CORTE DE PROBETAS.

El tamaño de las probetas seleccionado fue de 19.1 mm de diámetro por 25.4 mm de largo aproximadamente, debido a que con este tamaño se facilita su manejo. El corte de las probetas se realizó con disco de corte abrasivo de 250mm X 3mm X 25.4mm y empleando soluble para corte como refrigerante para evitar el calentamiento excesivo en la zona de corte, que pudiera ocasionar la modificación drástica de la microestructura del acero; además de que la superficie obtenida fue de buena calidad.

La cantidad de probetas cortadas fueron 15. Después de cortadas las probetas se marcaron con cinta masking tape y se les asignó un número el cual las identificó durante todo el experimento.

VII.3.- DESBASTE.

El siguiente paso en la preparación de probetas es el desbaste.

Se comenzó limando las rebabas de los bordes dejadas por el corte con el disco en las dos caras y después se desbasta solamente una de las dos caras; éste se realizó con papel de lija de carburo de silicio (SiC). Los números de los papeles de lija y el orden de utilización fueron 180, 220, 400 y 600; en este orden se pasó de un desbaste burdo a uno más fino. En el desbaste se colocó el papel de lija sobre una superficie lisa como un vidrio y se humedeció constantemente con agua que actuó como refrigerante y lubricante para evitar que las partículas de

La muestra se sujeto firmemente con los dedos y se presionó moderadamente contra el paño de billar humedecido con agua y la solución de alumina, rotando la muestra contrario al sentido del giro del disco de la pulidora y desplazándola del centro hacia afuera. Después de cierto número de repeticiones de este paso se lavó la probeta con agua y se secó con algodón para observar que la cara pulida quedará libre de rayaduras, si era así, entonces se lavaba nuevamente pero ahora con alcohol y se secaba con aire quedando lista para la segunda operación de pulido el cual se realizó de la misma manera que el anterior pero en otro paño de billar para evitar la contaminación del líquido pulidor, en la segunda etapa, en el pulido fino, se hizo necesario checar la ausencia de rayas en el microscopio óptico a pocos aumentos debido a lo pequeño que pudieran ser éstas. Después de las dos operaciones de pulido anteriores las muestras quedaron listas para su ataque químico con algún reactivo y su posterior observación al microscopio. Las operaciones de pulido y de ataque químico se efectuarán sólo a las probetas de interés, y sólo después de realizado el tratamiento térmico final.

VII.4.- ATAQUE QUIMICO.

El propósito del ataque químico en la superficie pulida a examinar es precisamente el de revelar la microestructura del material, debido básicamente a un proceso de corrosión resultante del ataque químico en la superficie de la probeta, por la cual se atacan los microconstituyentes a diferentes velocidades, debido principalmente a sus heterogeneidades físicas y químicas. Por lo que es de entenderse que para una muestra en específico de acero, diferentes reactivos químicos presentan diferentes velocidades de ataque y además pueden atacar fases diferentes, es decir, para cada acero en un estado dado existen reactivos

que pueden revelar diferentes características, ya sea el límite de grano, distribución de carburos, presencia de alguna fase, etc. El ataque químico de una probeta es un procedimiento sencillo; primero es necesario el preparar el reactivo, en este experimento se utilizaron dos tipos diferentes de reactivo recomendados por la ASTM, para los aceros para herramientas. Los reactivos químicos son aplicados por la inmersión o por el frotado de la probeta. Más comúnmente a temperatura ambiente.

En la aplicación por inmersión la muestra debe ser suavemente agitada dentro del reactivo para que los productos de la reacción no se asienten sobre la superficie de la probeta y se produzca un desigual y turbio ataque químico. El tiempo de ataque se determinó empíricamente, de acuerdo a la experiencia. El control del tiempo fue importante para obtener una imagen nítida que permita la resolución de los detalles finos. Cuando la muestra fue atacada por frotación, ésta se realizó con un algodón humedecido con el reactivo y luego observada y limpiada continuamente la superficie atacada hasta obtener el contraste necesario que revelará la microestructura. Inmediatamente después de atacada la muestra, por cualquiera de los métodos anteriores se hizo necesario retirar el reactivo restante que permanece en la superficie bañando la probeta en alcohol y secándola con algodón para luego observarla en el microscopio para verificar que el ataque realizado haya sido el deseado. A continuación se presenta una lista de los reactivos utilizados en este trabajo .

- Picral = Alcohol + 4 gr de ácido picrico.
- Nital = 100ml de alcohol + 2.5 ml de ácido nítrico.

VII.5.- PRUEBA DE DUREZA.

La prueba de dureza se realizó de acuerdo a la norma de la ASTM. Dentro de los puntos más importantes considerados en ella para la toma de lecturas están los siguientes:

-El metal inmediato alrededor de la muesca de un ensayo de dureza rockwell sufre un trabajo en frío; la profundidad del material afectado durante el ensayo es del orden de 10 veces la profundidad de la muesca, por lo tanto el menor espesor de un material a ser mostrado no debe ser menor de 10 veces la profundidad de la muesca. Esta consideración debe ser tomada únicamente como una aproximación.

-En adición al límite anterior, hay un factor que limita el ancho mínimo del material, así la muesca se localiza demasiado cerca del borde, se deformará hacia afuera y el número de dureza rockwell se decrementará.

La experiencia muestra que la distancia del centro de la muesca al borde de la muesca debe ser de por lo menos de dos y media veces el diámetro de la muesca para asegurar la precisión del ensayo. Para propósitos prácticos la distancia mínima puede determinarse visualmente.

-La distancia de centro a centro de muesca debe ser de por lo menos tres diámetros de la muesca para la mayoría de los metales, con el fin de evitar valuar el trabajo en frío en la zona próxima a otra muesca.

- El número de dureza debe mostrarse a continuación se muestra ; 60 HRc (Hardness Rockwell C).

El procedimiento para la toma de lecturas en las probetas fue como sigue :

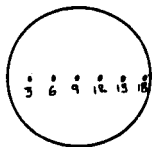
Tratándose de una probeta templada; sobre su cara desbastada fue necesario el realizar nuevamente un desbaste fino con papel de lija del número 400 y 600 para desprender la cascarilla de escama que se presenta en la superficie de la probeta, en la cara opuesta también se trabajó para evitar el asiento incorrecto de la probeta en el yunque que pudiera provocar lecturas erróneas de dureza. Para cuando las probetas estaban revenidas se requirió únicamente del desbaste fino con el papel de lija del número 600. Al estar las probetas ya limpias de las caras se procedió a medir la dureza, se realizaron cuatro lecturas en la cara pulida de las probetas como lo muestra la figura, quedando dos lecturas cercanas al borde, dos lecturas a mitad de la probeta y se tomó el promedio de ellas como el valor de la dureza de la probeta, dichas lecturas aparecen en el siguiente capítulo.



Una vez tomadas las lecturas de dureza en las probetas, se procedió a cortar las probetas por la mitad, esto se realizó para tomar las

lecturas de dureza en la parte central de las probetas, y así saber si la dureza en la parte central de las probetas, y así saber si la lectura fue uniforme en la superficie de las probetas.

Para realizar estas lecturas se procedió, como ya se sabe a pulir las caras que se someteran para tomar las lecturas de dureza. La siguiente figura muestra la forma en la cual se tomaron las lecturas, para tomar las lecturas se procedió a trazar un diametro en todas las probetas, posteriormente se trazaron divisiones cada 3mm de separación entre cada marca y finalmente se realizó la toma de las lecturas de dureza en todas las probetas. Los resultados de estas lecturas aparecen en el capítulo VII.7.



VII.6.- APLICACION DEL TRATAMIENTO TERMICO.

El temple se realizo en el laboratorio, en donde se utilizo el equipo necesario para llevar a cabo este tratamiento termico. La temperatura de temple utilizadas fueron las recomendadas para el acero nacional, de 780°C a 860°C (1440-1480°C). Las condiciones del temple en el laboratorio fueron las siguientes:

Temperatura de precalentamiento del horno .	600°C.
Temperatura de temple.	840°C.
Tiempo.	15 minutos.
Tiempo de permanencia en el medio de temple.	De 1 segundo hasta 6 segundos.
Temperatura de revenido.	300°C.
Tiempo.	30 minutos.
Medios de temple.	Primer medio de temple agua. 2do medio de temple aceite mineral.

El temple en el laboratorio se inicio con el precalentamiento del horno a una temperatura de 600°C, ya que este se encontraba totalmente frio, a esta temperatura se mantuvo 15 minutos, posteriormente se elevo la temperatura del horno hasta 840°C, a esta temperatura se metieron las probetas al horno, y por medio del diagrama TTT del acero W2, (ver. figura 6.1), se selecciono el tiempo de permanencia en el primer medio de temple, en este caso de un segundo hasta 6 segundos.

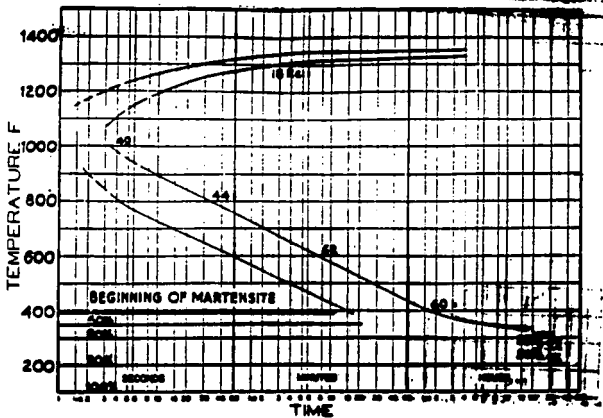


Figura 6.1 . Diagrama TTT para aceros W 2.

Una vez que las probetas alcanzaron la temperatura de austenitización dentro del horno se procedió a sacar las probetas con la ayuda de unas pinzas y protegiéndose las manos con los guantes de asbesto para evitar algún accidente, y se pasó rápidamente de la mufla u horno al tanque con agua donde se agito constantemente la probeta hasta que transcurrió el tiempo que se selecciono mediante el diagrama TTT, esto es un segundo, inmediatamente se pasó al segundo medio de temple en este caso aceite mineral, aquí la probeta permanecio hasta que alcanzó la temperatura ambiente, una vez alcanzada dicha temperatura se sacó la probeta, el mismo procedimiento se realizó con las demás probetas con la diferencia de que variaron los tiempos de permanencia en el primer medio de temple.

Una vez que todas las probetas pasaron por este procedimiento se sometieron a un revenido debido a que se presnetaron diferencias considerables en las durezas alcanzadas por las probetas, se hizo someter a todas las probetas al revenido, que se efectuo a una temperatura de 300°C con un tiempo de permanencia dentro de la camará del horno de 30 minutos.

Después de tomar las lecturas de la dureza a las probetas se procedía cortar las probetas por la mitad y posteriormente se repitió el procedimiento del pulido para tomar las lecturas de dureza en la parte central de dichas probetas, cuyas lecturas se muestran en el capítulo .

Una vez obtenidas las lecturas de dureza se graficaron las lecturas, dichas graficas son tiempo-dureza y distancia-dureza.

Además de estas graficas se prepararon las probetas para obtener por medio de fotografias su microestructura, el procedimiento que se siguió fue el ya mencionado. Dichas fotografias se muestran en en siguiente capítulo.

VII.7.-RESULTADOS.

En este capítulo tendremos el registro de resultados de las pruebas de dureza de las probetas después del tratamiento térmico, en este caso temple interrumpido y del revenido, estos resultados estarán en una tabla.

Posteriormente se mostrarán las gráficas de comparación de estos resultados.

Para terminar este capítulo tendremos las fotografías en las cuales se mostrarán las microestructuras de las probetas y su consistencia o sea los microconstituyentes de estas.

Tabla de resultados de dureza despues del temple y despues del
 revenido de las probetas.

Probeta #	Tiempo de permanencia en agua.	Dureza de temple (Promedio)	Dureza de Revenido.
1	1 segundo.	X=44 Rc	X=49 Rc
1'	" "	X=42 "	X=45 "
2	2 "	X=60.8 Rc	X=59 "
2'	" "	X=62.5 Rc	X=59 "
3	3 "	X=61 Rc	X=59 "
3'	" "	X=61.5 Rc	X=58.7
4	4 "	X=61.2 Rc	X=58 Rc
4'	" "	X=68.8 Rc	X=61.7 Rc
5	5 "	X=62.5 Rc	X=60.5 Rc
5'	" "	X=66.7 Rc	X=58.7 Rc
6	6 "	X=65.7 Rc	X=60.7 Rc
6'	" "	X=66 Rc	X=59.2 Rc
7	Enfriada totalmente en agua.	X=68.2 Rc	X=58.2 Rc
7'	" "	X=68.2 Rc	X=59.7 Rc

Temperatura de temple = 849 'G.

Tiempo en el horno = 15 minutos.

Temperatura de revenido = 300'C.

tiempo = 30 minutos.

Tabla de resultados de dureza en la parte central de las probetas con una separación de 3mm cada lectura.

Probeta #	Distancia de separación(cada 3mm).					
	3mm	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm
1	1) 49	48	45.5	47	48.5	49
	2) 50	47.5	45.5	46	47.5	50
	3) 48.5	46.5	47	46.5	47.5	47.5
	4) 49.5	48.5	45.5	44.5	47.5	48.5
	X=49.2	X=47.6	X=45.8	X=46	X=47.7	X=48.7
2	1) 58	51	49	49	51	59
	2) 51	59	51.5	52	50	53
	3) 56	51	49	49	51	63
	4) 55	49	46.5	47	48	62
	X=55	X=52.5	X=49	X=49.2	X=50	X=59.2
3	1) 54	45.5	43.5	42	45	26
	2) 47.5	47	45.5	46.5	50.5	50.5
	3) 53	53	48	50	54	60.5
	4) 52.5	48.5	45	50	47	60
	X=51.7	X=46.5	X=45.5	X=47.1	X=49.1	X=49.2
4	1) 50	59	52	47	49.5	65
	2) 51	59	51.5	52	50	53
	3) 51	47	46	47	50	53
	4) 58.5	46	58.5	58.5	51	62
	X=52.6	X=52.7	X=52	X=51.1	X=50.1	X= 58.2

Probeta #	Distancia de separación (cada 3 mm).					
	3mm	6mm	9mm	12mm	15mm	18mm
5	1) 57	53.5	58	60	61	62
	2) 62.5	62.5	62.5	62	59	59
	3) 61.5	59.5	60	60	60	63
	4) 60	62	62	61	60.5	60
	X=60.2	X=60.6	X=60.6	X=60.7	X=60.1	X=61
6	1) 50	48	50	43	43.5	45
	2) 45	44.5	41	41	46	45.5
	3) 31.5	46	50	50	44	45
	4) 50	42	46	47	45.5	59.5
	X=44.1	X=45.1	X=46.7	X=45.2	X=44.7	X=46.5
7	1) 60.5	60	59.5	59.5	60	60
	2) 62	60	61	60.5	62	62
	3) 58.5	59	59	58.5	60	59.5
	4) 61.5	61	61	60.5	61.5	61
	X=60.6	X=60	X=60.1	X=59.7	X=60.8	X=60.6

Nota: Las probetas número 7 son enfriadas totalmente en agua.

Fig.7.1.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza con respecto al tiempo de permanencia en el agua.

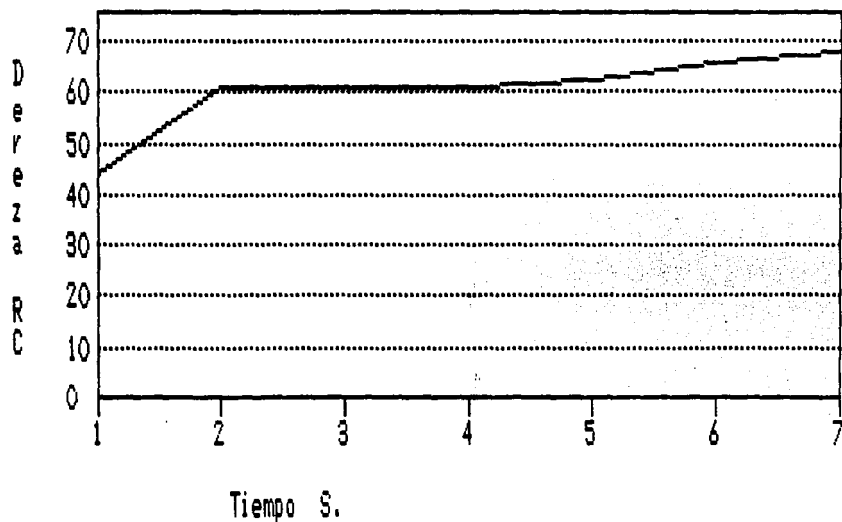
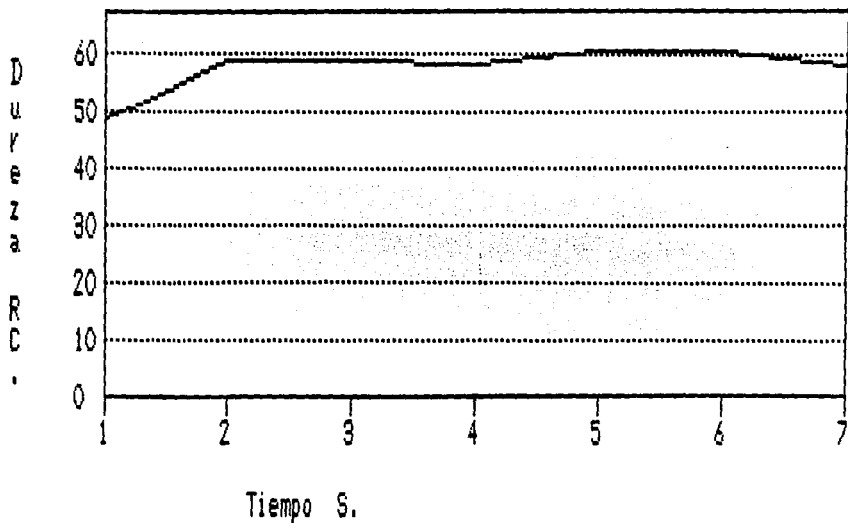


Fig.7.2.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza con respecto al tiempo de revenido.



ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Fig.7.3.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza sobre la seccion transversal de la probeta No.1.

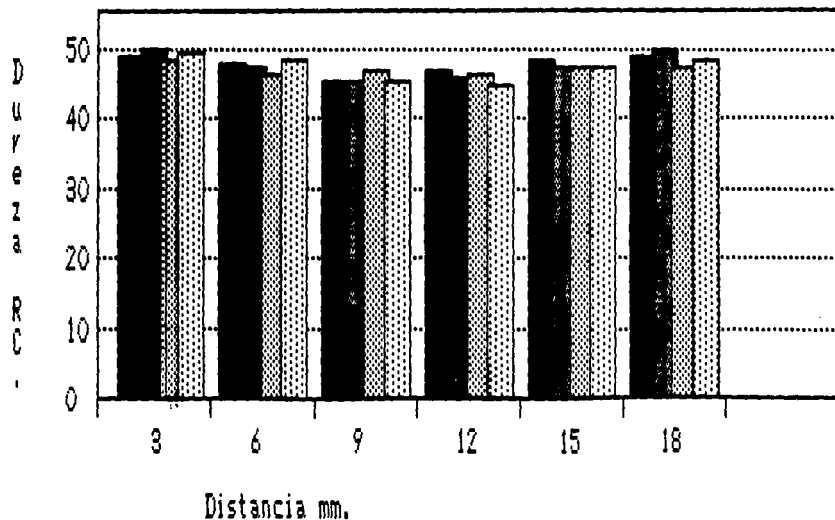


Fig.7.4.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza sobre la seccion transversal de la probeta No.2.

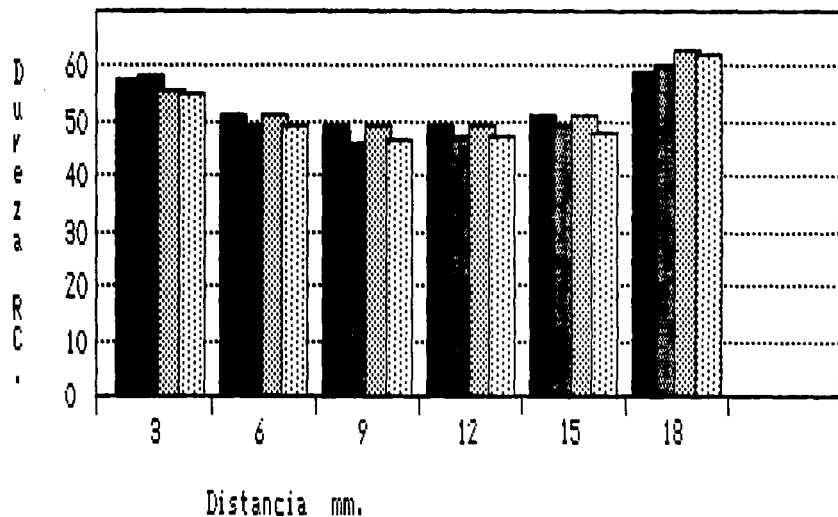


Fig.7.5.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza sobre la seccion transversal de la probeta No.3.

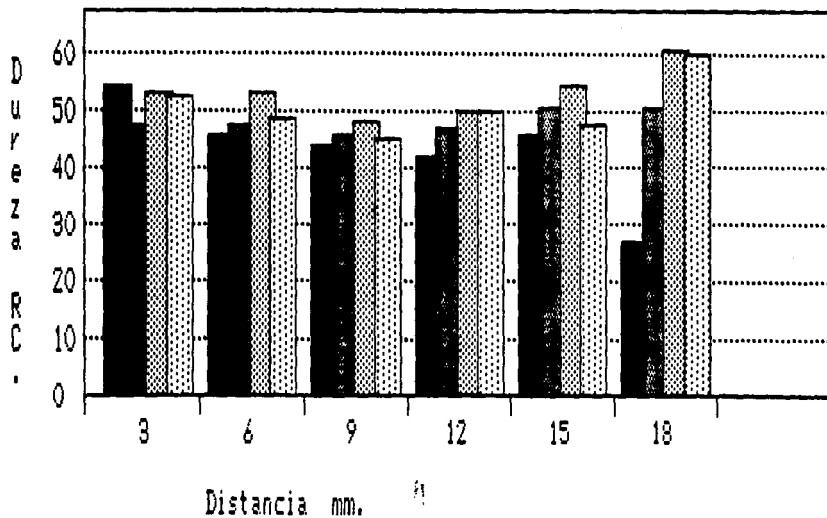


Fig.7.6.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza sobre la seccion transversal de la probeta No.4.

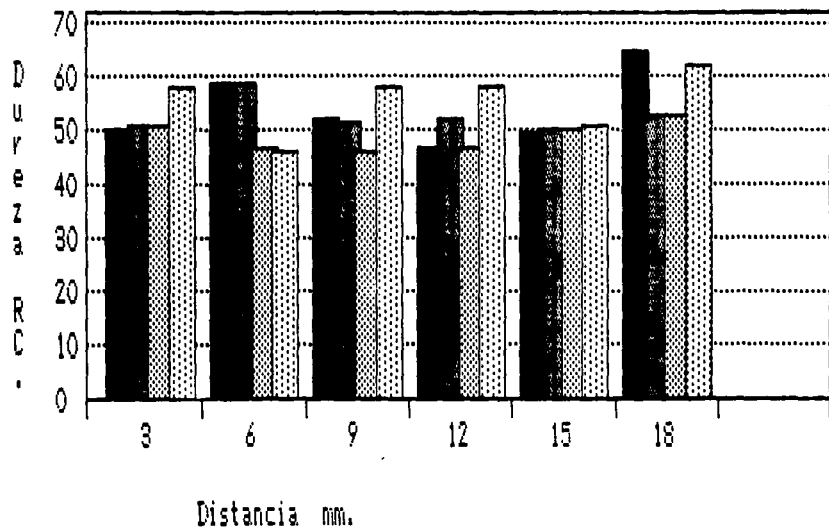


Fig.7.7.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza sobre la seccion transversal de la probeta No.5.

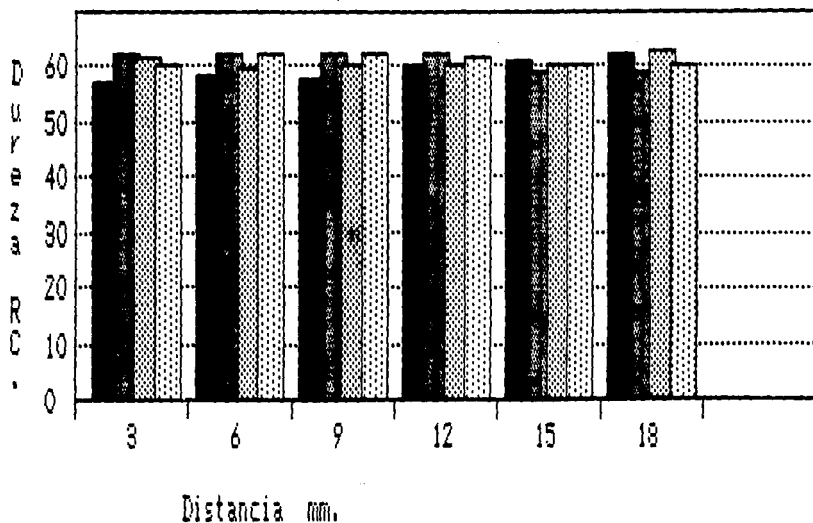


Fig.7.8.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza sobre la seccion transversal de la probeta No.6.

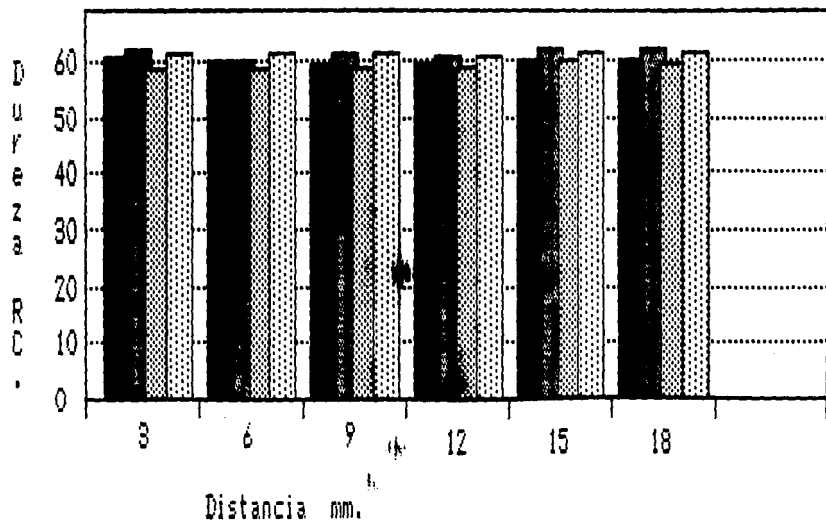


Fig.7.9.Grafica que muestra el comportamiento de la dureza sobre la seccion transversal de la probeta No.7

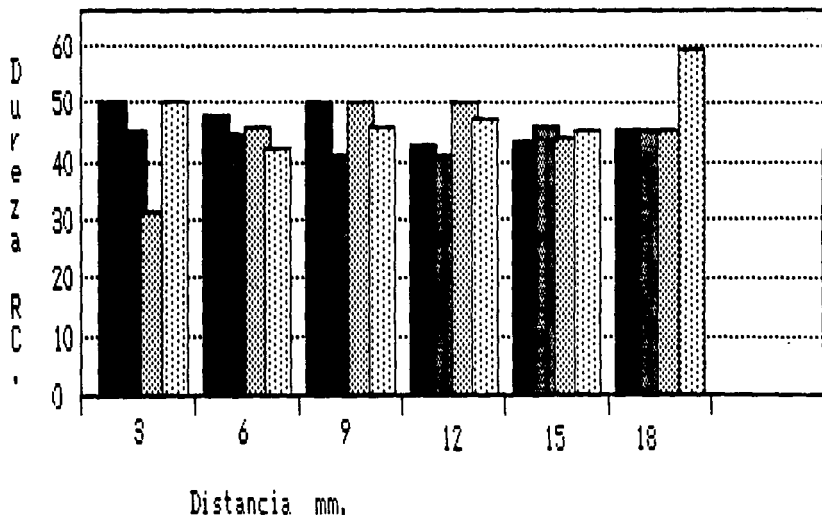




Foto # 1. Acero W2. sin tratamiento térmico. Atacada con nital al 4%. por inmersión durante 4 seg. Dureza 44Rc. Tenemos perlita+carburo globulizado. A 600X, tiempo de exposición 1/15.

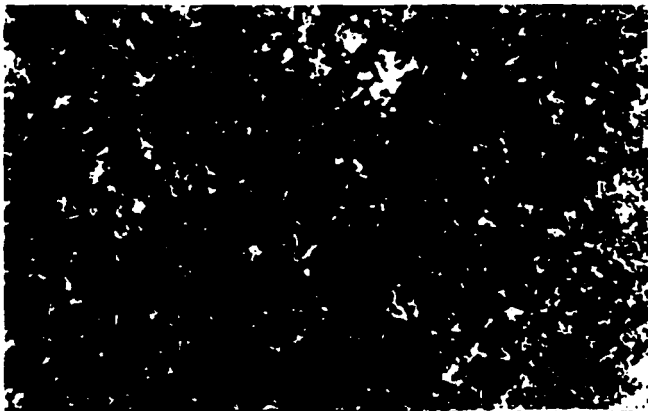


Foto # 2. Acero W2. Templado a 340°C durante 30 minutos y temple de en agua durante 1 seg. Revenido a 300°C durante 15 minutos. Dureza 44Ro. Atacada con Picral al 4% por frotación. A 600X, tiempo de exposición 1/15. Tenemos martensita-ferrita (y algunas partículas de carburo).



Foto # 3. Acero W2. Templado a 840°C durante 30 minutos y templada en agua durante 2 seg. Revenido a 300°C durante 15 minutos. Dureza 62.5 Rc. Atacada con picroal al 4% por frotación. A 600X, tiempo de exposición 1/15. Tenemos martensita+ferrita(poca), y carburo.



Foto # 4. Acero W2. Templado a 840°C durante 30 minutos y templada en agua durante 5 seg. Revenido a 300°C durante 15 minutos. Dureza 66.5 R c . Atacada con picral al 4% por frotación. A 600X, tiempo de exposición 1/15. Tenemos martensita+ algunas particulas de carburo.

VIII.- CONCLUSIONES.

El trabajo de investigación que se planteó como objetivo, someter al temple interrumpido en agua y aceite al acero W2 y comprobar la microestructura y dureza antes y después de dicho tratamiento, tanto en la parte experimental como en la teórica, puede decirse en términos generales, luego a realizarse, sin faltar las dificultades prácticas que toda labor de investigación tiene y que hubo que superar.

Por lo tanto, al término del presente trabajo se puede concluir lo siguiente :

- Se obtuvo una dureza homogénea en las probetas, esto a consecuencia del cuidado que se tuvo al momento de aplicar el tratamiento térmico.
- Se obtuvieron las microestructuras esperadas en las probetas, ya que en la mayoría de las probetas se obtuvo martenita, perlita y carburo de vanadio.

Estos resultados como ya se dijo, se devieron a los cuidados que se tuvieron en el momento de llevar a cabo este tratamiento térmico.

La semejanza de los resultados obtenidos con lo planteado, nos permite decir por último que el acero W2 responde satisfactoriamente al temple interrumpido en agua y aceite, el cual resulta de bajo costo y sin la utilización de instalaciones complejas.

BIBLIOGRAFIA .

- APRAIZ BARREIRO, JOSE. Tratamientos térmicos de los aceros.
3a. ed. España; Editorial Dossat, S.A.
1974.
- ALBERT G, GUY. Metalografía física para ingenieros.
1a. ed. México; Fondo educativo interamericano, S.A.
1970.
- ASKELAND, DONALD R. La ciencia e ingeniería de los materiales.
Grupo editorial iberoamericana.
1987.
- FLIMM RICHARD, A. y TROYAN, PAUL K. Materiales de ingeniería y sus
aplicaciones. 1a. ed. México; Mc Graw-Hill Co.
1979.
- KEHL, GEORGE L. Fundamentos de la práctica metalográfica.
2a. ed. España; Aguilar S.A.
1963.
- LASHERAS .Tecnología de los materiales industriales.
España. Ediciones Cedel.
1971.
- Metals Hand Book. ASM. 1961.
Vols. 2, 3, 7 y 8.
- PALMER, FRANK R.; LUERSSEN, GEORGE V. & PENDLETON, JOSEPHS.
Aceros para herramienta. México; Representaciones y
servicios de ingeniería.
1986.

REED-HILL, ROBERT E. Principios de metalurgia física.
1a ed. México: Mc Graw-Hill.
1979.

ROBERT M. BRICK. Structure and properties of engineering
materials.
México: Mc Graw-Hill
1977.

SMITH, WILLIAM F. Structure & properties of engineering alloys.
U.S.A.: Mc Graw-Hill.
1981.

STUDEMANN, HANS. Tratamientos térmicos de los aceros.
1a. ed. España. Ediciones Urmo S.A.,
1982.

VANDER VOORT, GEORGE F. Metallography, principles and practice.
U.S.A.: Mc Graw-Hill.
1984.

VAN VLACK, LAWRENCE H. Materiales para ingeniería.
3a. ed. México: C.E.C.S.A.,
1991.