

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Ciencias Químicas

ESTUDIO DE UN ACERO ALTO
MANGANESO AUSTENITICO

TESIS

Que para sustentar examen profesional de
QUIMICO METALURGICO

presenta

Ricardo López L.



QUIMICA

MEXICO, D. F.

1951



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

*Con todo respeto para mis
Padres:*

Para mis queridos Maestros.

*Hago patente mi más sincero agradecimiento
a todas aquellas personas que me dieron fa-
cilidades para llevar a cabo este trabajo, así
como a mi Maestro*

Ing. FERNANDO GONZALEZ V.

CAPITULOS

- I.—Introducción
- II.—Generalidades sobre aceros al Manganeso Austeníticos.
- III.—Influencia de la composición Química en las propiedades de estos aceros.
- IV.—Diagrama Fe - Mn - C.
- V.—Estudio práctico del tratamiento térmico, estudio fotomicrográfico de la estructura.
- VI.—Conclusiones prácticas.



El acero, el más útil de los metales ha sido y está objeto de investigaciones profundas tendientes a cubrir las exigencias de la Industria en general, que en su constante evolución reclama aceros que reúnan los requisitos del momento, frente a esta creciente necesidad se yergue entre otras Ciencias, la Metalografía que con su estudio íntimo de las redes cristalinas hace posible perfeccionar, o bien dada el caso producir nuevas.

Junto a los adelantos de la Óptica, la Metalografía se ha unido, ya que disponiendo de mayores aumentos, tiene conocimientos más amplios de las estructuras, de éstas como se verá en el transcurso de esta exposición, dependerán las propiedades del acero.

La Metalografía es una Ciencia por demás nueva en la Industria Siderúrgica de México, pero está llamada a ocupar un lugar preponderante, por la esencia misma de su estudio.

El estudio del acero Alto Manganeso, tema de este trabajo, es conocido con el nombre de "Hadfield" en honor de su inventor, las muestras estudiadas proceden de "The Teziutlán Copper Co.", fundidas en horno eléctrico de arco del tipo "Electromelt"; es una breve consideración desde el punto de vista Metalográfico, contando para ello con la cooperación del "I. P. N.", ya que permitió al que esto escribe, efectuar en su Laboratorio Metalúrgico, pruebas de dureza y temple, así como la de mi Maestro, Ing. Quím. F. González V. por las fotomicrografías.

—II—

La austenita, se considera como una solución sólida de carbono, o de carburo de hierro en hierro gamma, aunque se encuentra en todos los aceros no siempre se mantiene en su forma, debido entre otras cosas, a la velocidad de enfriamiento, lo que origina que esta se transforme en Sorbita o Martensita.

Para evitarlo es necesario:

1. Sea alto en Carbono.
2. Temple de 1000° C o más.
3. Enfriamiento rápido para lograr la mayor cantidad de austenita.

Honda y Osawa, encontraron con la ayuda de los rayos X, que en las piezas templadas, la cantidad de austenita retenida, es mayor en la superficie que en la parte interna, también que la cantidad de austenita se eleva a medida que la temperatura de temple aumenta.

Midiendo la intensidad de los Rayos X, es decir su espectro Sekito, reporta la presencia de 31.2% de austenita en un acero de 1.10% C calentando la muestra a 900° C y enfriando en agua.

Por lo expuesto en líneas anteriores, los aceros austeníticos contienen mayor cantidad de carbono, es decir se encuentra en la división de aceros hipereutectoides, necesario para formar Mn₂C y también probablemente mezclas isomórficas con el carbono. A elevada temperatura, esos carbonos se disuelven en hierro gamma y quedan retenidos en solución mediante un enfriamiento rápido, de no suceder así, se originará la formación de perlita y cementita, sufriendo una alteración en sus propiedades tales como la ductilidad, resistencia etc., para producir una reabsorción de carburos libres, se calienta a elevada temperatura, unos 1000° C o m. s., enfriando rápidamente, cuando hay grandes cantidades de manganeso y carbono, fácilmente se forman los carburos de que se hablaba.

Según Guillet el diagrama Constitucional de los aceros al Manganeso es la fig. 1.

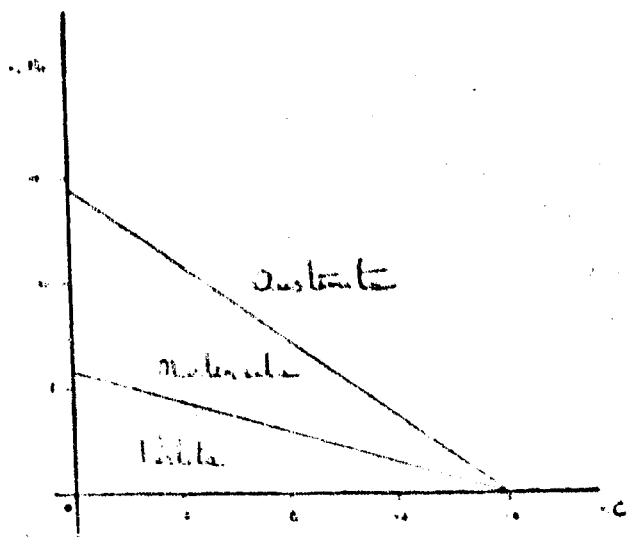
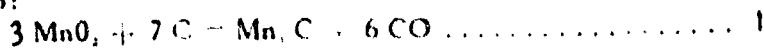
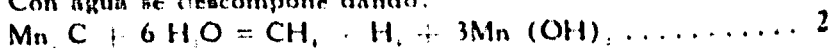


Fig 1

El Mn₂C se forma con MnO, y exceso de carbón en el horno eléctrico:



Con agua se descompone dando:



Este tipo de acero no resiste los efectos de corrosión, reacción (2), comparables con las aleaciones austeníticas Cr-Ni si lo fuera, esta clase de aceros si hubiera conocido antes de 1900 y a un costo menor; sin embargo el manganeso se emplea con cromo para formar un tipo de acero inoxidable. La característica austenítica, no explica la resistencia al desgaste cuando se emplea en máquinas donde la fricción es grande, ya que muchas otras composiciones austeníticas, han resultado inútiles, el acero alto manganeso es susceptible de transformarse en martensita cuando se trabaja en frío, lo que hace que tenga aplicaciones donde las condiciones mecánicas son muy severas, se ha encontrado que piezas de este acero tienen mayor vida, cuando se encuentran en un servicio tal que soportan grandes presiones, o como herramientas de impacto, por ejemplo: trituradoras de rocas o minerales, que cuando el desgaste es puramente abrasivo, pues aquí no se efectúa un trabajo endurecedor.

Al efectuar el temple, deberá cuidarse que la pieza se encuentre uniformemente calentada, esto requiere mayor tiempo, ya que su conductibilidad térmica es baja, si la pieza es de acción irregular, suele deformarse y aún sufrir roturas, dada su gran expansión térmica, propia de este acero. En algunas ocasiones, las tensiones originadas por un enfriamiento desigual puede causar roturas. Su naturaleza no magnética, debido al temple, lo hace útil en las aplicaciones eléctricas, tales como en magnetos, o partes en motores.

Al tratar de soldar algunas partes rotas, se tuvieron dificultades, hasta que se emplearon electrodos especiales, conteniendo 3% a 5% de Ni y 6% a 8% de C y una cantidad grande de manganeso, más o menos la del acero; después los inconvenientes se originaron por la precipitación de carburos y una alteración total de la estructura donde se produjo la soldadura. Cuando se emplea soplete, la zona afectada es mayor y se hace necesario un tratamiento térmico general, para tener nuevamente una estructura austénica.

Una de las limitaciones en la aplicación de este acero es su tendencia a volverse frágil, cuando se calienta a una temperatura de 380° C la causa es la precipitación de carburos.

11.—Influencia de la Composición Química en las propiedades de estos aceros.

Generalmente el Carbono se encuentra en la proporción de 1.2% y la de manganeso de 12-13% como elementos esenciales; sin embargo en las aleaciones comerciales esas cantidades pueden cambiar en la forma siguiente: 1.0-1.4% de carbono y de 10 a 14% de manganeso con relación a la cantidad de manganeso, el 12% disminuye un poco las propiedades de tenso, en cambio con el 13% es antieconómico.

Carbono—Una disminución en el contenido de este elemento trae consigo una reducción en la Resistencia a deformación predeterminada, fig 2, además de que influye en el tamaño del grano, a este respecto parece ser que el contenido óptimo es de 1.15%, si por el contrari existe mayor cantidad, causa molestias durante el tratamiento térmico, o aún en la misma fundición. El bajo carbono evita la fragilidad, originada por la precipitación de carburos, por esta razón se emplea generalmente en las aleaciones para soldadura y otras modificaciones donde el tratamiento térmico que incluya temple en agua es impracticable.

Manganeso—Es el principal estabilizador de la austenita, retardando su formación, así un acero común que contenga 1.1% la transformación se efectúa a 370° C, mientras que con 13% necesita dos días. Abajo de 250° C los cambios de fase y la precipitación de carburos es tan lenta que para propósitos prácticos puede despreciarse.

Entre los límites de 10-14% casi no tiene efecto sobre la resistencia a la deformación predeterminada, pero sí sobre la resistencia a la tracción y ductilidad, mayores cantidades, dependen sólo del costo de la aleación, que de las propiedades metalúrgicas.

Silicio—Elemento presente en todos los procesos metalúrgicos, aunque raramente excede de 1%, un incremento hasta 2% produce un aumento en la resistencia a la deformación predeterminada y resistencia la fatiga, con un porcentaje mayor las propiedades citadas disminuyen. Figs. 2 y 3.

Azufre.—Este elemento tiene poca influencia en un acero alto manganeso, pues dada la alta proporción de manganeso actúa como desulfurante, o bien se elimina en la escoria, también puede fijarse en forma de inclusiones.

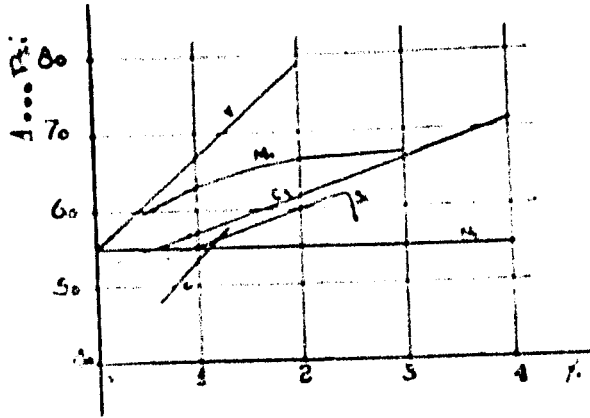


Fig 2

Fósforo.—Existe la opinión de que abajo de 0.10% este elemento no causa ningún daño en los aceros, sin embargo, dicha opinión se basa en las propiedades mecánicas a la temperatura ambiente; en cantidad arriba de 0.06% disminuye la resistencia y ductibilidad en caliente, como se ha demostrado experimentalmente en pruebas de tensión a 1000° C, esta tendencia está relacionada con las roturas en caliente que sufren las piezas fundidas, creando nuevos problemas en la fundición; por lo tanto, como límite máximo se puede establecer 0.10%. Fig. 4

Como elementos que suelen agregarse se tienen: Cromo, Vanadio, Titanio, Molibdeno.

Cromo.—Aumenta el límite elástico, de gran importancia si la pieza va a ser laminada, generalmente se agrega alrededor de 1.0 a 1.8%, generalmente este elemento se agrega cuando el acero va a resistir un efecto abrasivo, esta adición debe ser la adecuada si el contenido del carbono es arriba de 1.3% el acero resultara quebradizo, particularmente si la relación C-Mn no es la óptima, generalmente se considera de 11 a 1 por otra parte si se agrega menos de 0.75% de cromo los efectos contra el desgaste no son satisfactorios.

Vanadio, Titanio, Molibdeno—Estos elementos tienen como propiedades las de ser desoxidantes, refinan el grano, aumentan la resistencia al choque y a la fatiga.

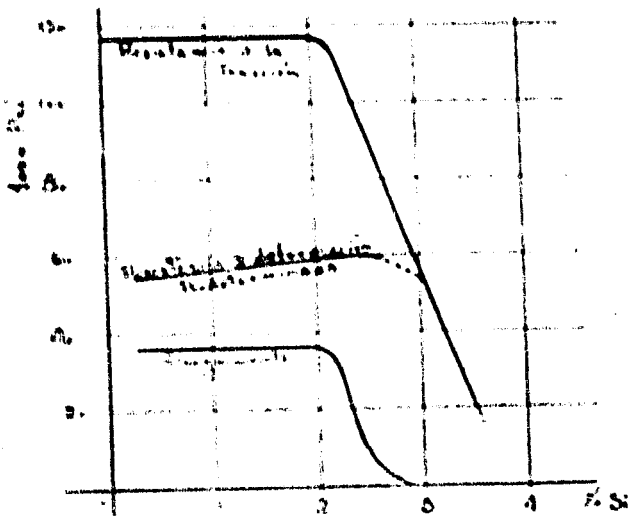


Fig. 3 Efecto del contenido de Silicio en las propiedades mecánicas del Acero alto Manganeso.

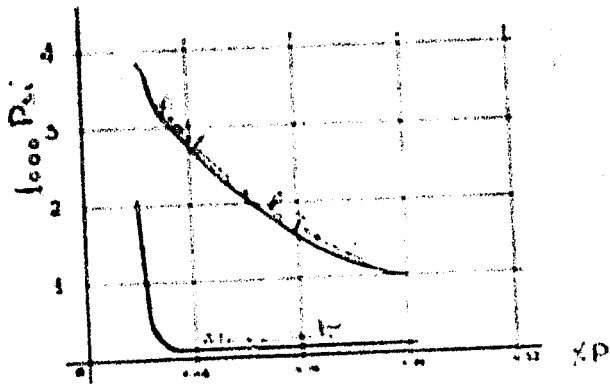


Fig. 4 Efecto del contenido de Fósforo en las propiedades mecánicas del Acero alto Manganeso.

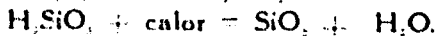
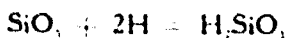
Análisis Químico—En un acero se determinan los elementos: carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre, pues son elementos que normalmente forman la aleación, en el presente caso, por haber agregado deliberadamente elementos convenientes para mejorar sus propiedades, también se analizará su contenido de Cromo y Vanadio.

El Carbono y el Azufre, en los laboratorios de control de las fundiciones, se cuantean rápidamente quemándolos en oxígeno a elevada temperatura 1300-1400° C en un horno especial y leer en las buretas graduadas de cada aparato las cantidades respectivos.

Determinación de silicio.—Este elemento es un constituyente de todos los aceros, para su cuanteo se disponen de métodos gravimétricos y colorimétricos, entre los primeros, son comunes dos a saber: el de clorhídrico y el sulfo—nitrico, siendo éste el más exacto, fuera del tungsteno, ningún otro elemento interfiere.

Proceso: A dos gramos de muestra se le agregan 30 cc. de una mezcla sulfo—nitrica, ésta se prepara de la manera siguiente: Sulfúrico concentrado: 150 cc., Nitrico concentrado: 450 cc., Agua: 600 cc.; agregar poco a poco, esperar a que termine de reaccionar, luego calentar hasta sequedad se deja enfriar, se agrega 50 centímetros de clorhídrico para disolver las sales solubles, filtrar, lavar con aguas hasta que no se dé reacción ácida, papel tonarsol, se incinera en un crisol a elevada temperatura 800° C. hasta que el precipitado quede blanco, se enfría en desecador, se pesa, este peso multiplicado por el factor 0,4693 por 100 y dividido entre el peso de muestra dará la cantidad de Silicio.

Reacciones:



de SiO₂ se parte para encontrar el factor y así obtener Si.

Cantidad de Silicio: 0.65 %.

Determinación de Fósforo—El método más empleado es aquél en el cual se precipita como fosfomolibdato de amonio, compuesto amarillo

característico, una vez obtenido el precipitado, se le disuelve en un álcali, para que este sea neutralizado con un ácido valorado. Cuando se tiene cierta práctica y el fósforo se encuentra en pequeñas cantidades se le puede calcular aproximadamente por el grado de turbidez de la solución.

Proceso. Disolver 2 grms de muestra en ácido nítrico 1:2 calentar hasta disolución total, agregar unas gotas de una solución saturada de permanganato de potasio, continuar calentando hasta tener un precipitado café de dióxido de manganeso, disolverlo con una pequeña cantidad de una solución de azúcar o bien con sulfito de sodio, hervir para tener una solución clara a la vez para alimentar los ácidos de nitrógeno y azufre, en caliente agregar la solución de molibdato de amonio, agitar fuertemente durante unos cinco minutos, enfriar y filtrar y lavar con agua hasta eliminar la reacción ácida, papel indicador.

El papel filtro junto con el precipitado se coloca en el mismo matraz donde se empezó la operación, agregar 10 cc. del álcali, se agita hasta disolver el precipitado, diluir con agua, agregar unas gotas de fenolftaleína y titular con el ácido, éste y el álcali deben tener, para mayor comodidad en la titulación, la misma concentración.

La solución de molibdato se prepara así.

150 grms. de la sal de 85% en 1000 cc. de agua

Sol. 1

300 cc. de Amoniaco QP

750 cc. Agua

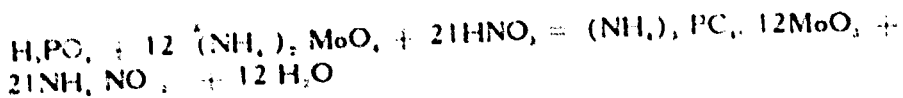
Sol 2

750 cc. Acido Nítrico con.

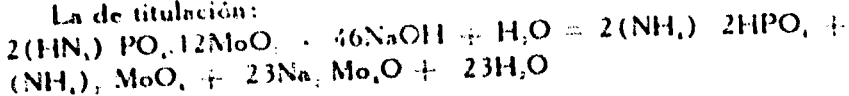
La solución 1, se vacía en la 2, que se encuentra refrigerada, las adiciones se hacen de manera lenta y agitando, de hacerse en esa forma la solución quedará clara, antes de emplearla se filtra, generalmente hasta para precipitar el fósforo, con cincuenta centímetros de reactivo.

Reacciones:

La reacción de precipitación es compleja, se le puede representar de la manera siguiente:



La de titulación:



Determinación de Manganeso.—Este elemento por sus propiedades benéficas se encuentra presente en todos los aceros.

Para el cuantico del Manganeso en grandes cantidades se emplea generalmente el método de Volhard pues es exacto y rápido, se basa en lo siguiente:

Cuando se agrega permanganato de potasio a una solución neutra y caliente de una sal manganesa, ésta se oxida y forma el dióxido de manganeso y el permanganato se reduce; ya que la formación del dióxido le da un carácter ácido a la solución, se agrega óxido de zinc para neutralizar, también para precipitar el hidrógeno férrico, el cual debe separarse permaneciendo el manganeso en solución de permanganato de potasio valorado.

Proceso:—Pesar 0.5 grms. de muestra, agregar Clorhídrico concentrado. Calentar suavemente, luego Nítrico concentrado, cuando la descomposición ha sido total, se deja enfriar y se agregan aproximadamente 8 cc. de Sulfúrico, calentando hasta eliminar el Clorhídrico y Nítrico, se enfría, se diluye con agua, se hierve agitando con objeto de disolver el sulfato de hierro anhidro.

La solución anterior se lleva a un matraz aforado de 500 cc., agregar una emulsión de óxido de zinc, para precipitar el hierro para ayudar la neutralización se puede emplear amoníaco, debe agitarse después de cada adición, cuidarse que en el fondo del matraz quede un ligero exceso de óxido de zinc, afórese con agua déjese asentarse el precipitado.

Tomar 100 cc. de líquido y llevarlos a un matraz de 250 cc. calentar a ebullición, agregando 2, 3 cc. de nítrico concentrado esto es con objeto de que precipite rápidamente el producto formado en la titulación, ésta se efectúa con permanganato valorado, de preferencia con otro acero. Durante la titulación deberá cuidarse que la solución esté caliente, dejar asentarse el precipitado después de agitar fuertemente, pa-

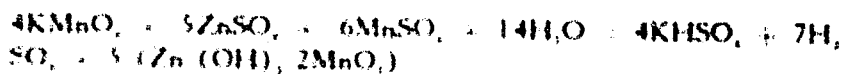
ta observar el líquido superior, ya que cuando presente un color rosa permanente indica el fin de la titulación; el manganeso precipitado está en forma tetraavalente

Reacciones:

Con el óxido de zinc:



Durante la titulación, se precipita el manganito de zinc y contiene al manganeso en su forma tetraavalente:



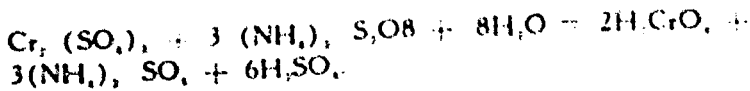
Determinación de Cromo y Vanadio:—Estos elementos casi siempre se determinan volumétricamente, oxidándolos hasta obtener los ácidos respectivos y titular con un agente reductor, como oxidantes se tienen el persulfato de amonio y ácido sulfúrico diluido, como catalizador, alguna sal de plata, como agente reductor, el sulfato ferroso.

Los métodos de oxidación-reducción, son de dos clases, primera: Métodos indirectos en los cuales, se determina la suma Cromo Vanadio, éstos en solución se oxidan para tener los ácidos crómico y vanádico, después eliminar el exceso de oxidante y los ácidos son titulados con sulfato ferroso valorando, conociendo el contenido de Vanadio, el de Cromo se deduce por diferencia, esto no representa un error grande, debido a que la cantidad de Vanadio generalmente es menor que la de Cromo, generalmente es menor que la de Cromo, además el peso equivalente de Cromo, es únicamente una tercera parte del de Vanadio.

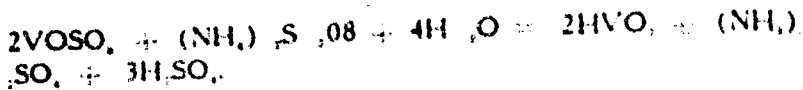
Segunda: Cuantear directamente Cromo, como en el caso anterior, se obtendrán los ácidos respectivos, pero para eliminar el exceso de agente oxidante, el proceso es diferente; se agrega un exceso de sulfato ferroso que cuantitativamente reduce los ácidos crómico y vanádico, el exceso de sulfato ferroso y el sulfato de vanadilo, se titulan con permanganato usado, da el volumen de sulfato empleado para reducir el ácido crómico. Conviene hacer antes una titulación en blanco entre el sulfato ferroso y el permanganato.

Reacciones:

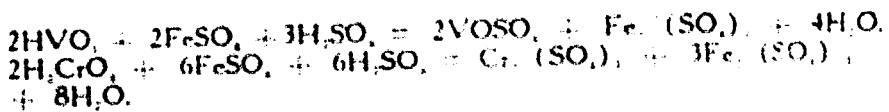
De oxidación para Cromo:



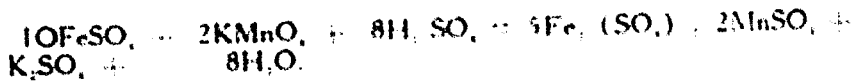
Para vanadio:



Con sulfato ferroso:



El exceso de FeSO_4 se valora con KMnO_4



En resumen, el resultado del Análisis Químico en el acero es

C	1.18 %
Mn	12.60 %
Si	0.65 %
P	0.050%
S	0.020%
Cr	1.86 %
V	0.070%

De acuerdo con los datos considerados, este metal es en suma una modificación del original Hadfield, que como se ha expuesto, conviene a las necesidades prácticas.

—IV—

Durante mucho tiempo se tuvieron ideas vagas sobre la naturaleza de las aleaciones, pensaba que eran mezclas mecánicas, pues la existencia de la solución sólida, se desconocía, la aplicación de las curvas de solubilidad a este estudio ha sido de gran importancia para explicar el mecanismo de solidificación.

Actualmente se consideran las aleaciones como soluciones de alto punto de solidificación, y por tanto sólidas a la temperatura ambiente.

En la concepción antigua, solución solamente se aplicaba a las sustancias líquidas a la temperatura ambiente. En el caso del acero, se considera como una aleación de Fe—C es decir, como soluciones de estos elementos, líquidos a elevada temperatura y sólidos a la temperatura ordinaria, como son los componentes, se le llama aleación binaria.

La constitución de las aleaciones es revelada principalmente por:

1.—Mecanismo de solidificación.

2.—Estructura microscópica de la solidificación.

1.—Haremos una breve consideración sobre la solidificación de metales puros, para ello contaremos con la ayuda de un pirómetro y sus lecturas las haremos a intervalos, iguales de tiempo a la vez que se grafificarán, desde su punto de fusión hasta el de solidificación.

La curva resultante conocida como "Curva de Enfriamiento" para ese metal será análoga a la ilustración en Fig. 5, en A el metal se encuentra fundido a una temperatura T_1 , el enfriamiento desde A hasta B con temperatura T_1 , T_2 respectivamente, es uniformemente retardada, al llegar a T_2 se tiene un punto crítico que corresponde a la porción horizontal BC, que dura un tiempo $t-t'$, para luego continuar enfriando de la misma manera que al principio, hasta tener la temperatura del medio como indica CD, que de no ser por la porción horizontal BC sería una continuación de AB. Este retardo está íntimamente ligado con el punto de solidificación del metal, arriba y abajo de éste punto, su temperatura permanece constante, indicando que el calor liberado, será igual al perdido por radiación y conducción, ese calor liberado se conoce como "Calor latente de Solidificación".

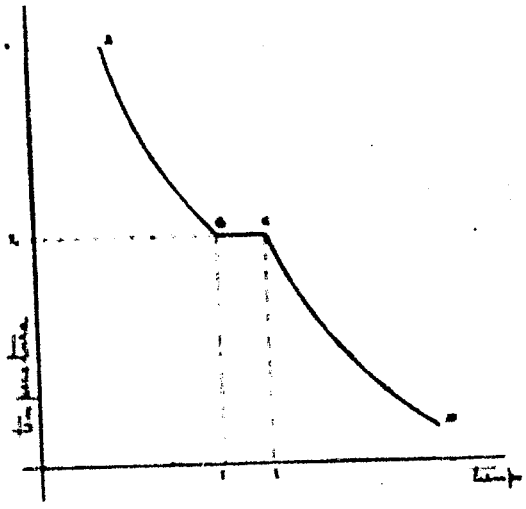


Fig. 5 Metal Puro.

De lo anterior se tiene: AB representa el enfriamiento del metal al estado líquido, BC su solidificación, CD su enfriamiento después que ha solidificado, si este mismo metal se somete a un calentamiento desde su estado sólido hasta fundirlo, se obtendrá una curva semejante en condiciones normales.

Esta manera de comportarse es típica de elementos compuestos puros de dos o más metales y una clase especial de aleaciones conocidas con el nombre de "Aleaciones Eutécticas".

Solidificación de una Solución Sólida.—Supongamos que una pequeña cantidad de un metal que es soluble en otro se agrega, cuando el segundo se encuentra fundido, como en el caso anterior se graficará obteniendo una curva como la Fig. 6, curvas semejantes las ofrecen las aleaciones binarias.

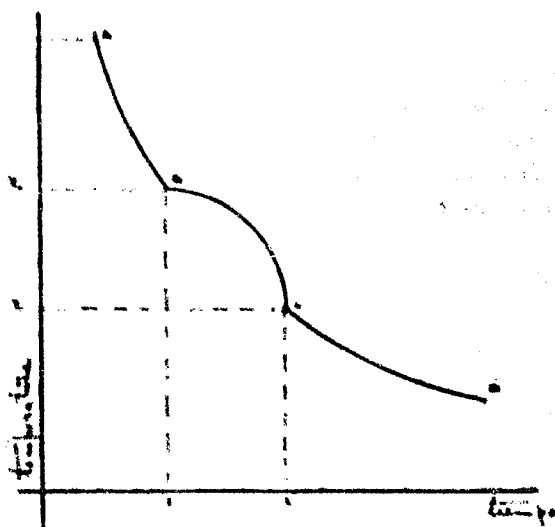


Fig 6 Curva de enfriamiento de una aleación binaria cuyos componentes forman una solución sólida.

Consideremos los fenómenos que ocurren, desde el estado de fusión a una temperatura T hasta T_b la curva descrita no presenta dificultad, al llegar a B sufre una desviación o desalojamiento, la temperatura $T_b T_c$ de enfriamiento es lenta, para que nuevamente de T_c a la temperatura ambiente, el enfriamiento sea normal; BC indica que hubo desprendimiento de calor y debido a esto, un retardo considerable en el tiempo de enfriamiento $t-t'$, este intervalo corresponde al punto de solidificación. Por tanto las aleaciones que muestran curvas como la anterior

pueden considerarse como metales puros, ya que solidifican a temperatura constante, además tendrán un retraso de $t-t'$ segundos, mientras la temperatura desciende de T_b a T_s .

En la misma Fig. 6, AB indica un enfriamiento normal, B punto donde principia la solidificación, T_b a T_c disminución de la temperatura durante la solidificación, CD enfriamiento normal de la aleación ya en su estado sólido. En B la aleación es líquida y de acuerdo con esto, se le llama "Punto de Liquidus"; en C la aleación ya es sólida y se llama "Punto de Solidus" arriba de B la aleación es líquida, abajo de C la aleación es sólida.

Cuando una aleación del tipo considerado es examinada al microscopio, se observa que no hay evidencia sobre la existencia de ambos metales, o de uno solo, a estas aleaciones se les llama "Soluciones Sólidas", esto es los metales que forman los componentes son completamente solubles uno en otro al estado líquido condición que perdura en estado sólido.

Para entender el mecanismo de formación de una solución sólida supondremos una aleación que contiene una cierta cantidad del metal A, con bajo punto de fusión, aleado, con una cantidad dada de otro metal B de mayor punto de fusión, también con la condición de que A es el solvente y B el soluto. Al iniciarse la solidificación, el metal sólido que primero se separa contiene una cantidad mínima de A, el metal líquido es por tanto, más rico en A que en su estado inicial, por esto, tiene un punto de fusión bajo, debido a esta variación en su composición, la solidificación se efectúa en un lapso de temperaturas siempre en descenso.

Por otra parte si los cristales formados tuvieran la misma composición que la aleación al estado líquido, la solidificación se llevaría a cabo a temperatura constante, como si fuera un metal puro, a medida que la temperatura desciende, se obtiene más sólido conteniendo mayor cantidad de A que el metal líquido del cual ha solidificado, este proceso continúa hasta que toda la aleación solidifica.

Durante los estados de solidificación, la aleación consta de núcleos sólidos que contienen un mínimo de A y capas sólido que lo rodean conteniendo mayor cantidad de A, esto representa una condición inestable, pero se encuentra que, a medida que la temperatura disminuye, len-

tamente a través del estado sólido se efectúa una difusión en los cristales de tal manera que tienden a formar una condición homogénea, condición que se obtiene si el tiempo ha sido suficiente para efectuar una difusión completa, de otra manera la condición inestable persistirá.

2.—Las transformaciones pueden investigarse en metales y aleaciones, por medio del estudio de microestructuras de una serie de muestras, que previamente han sido templadas a temperaturas de una serie de muestras, que previamente han sido templadas a temperaturas cada vez más cercanas a la transformación. Este método es particularmente adaptable al estudio de las líneas de solubilidad de los sólidos o cuando es difícil precisar el verdadero equilibrio.

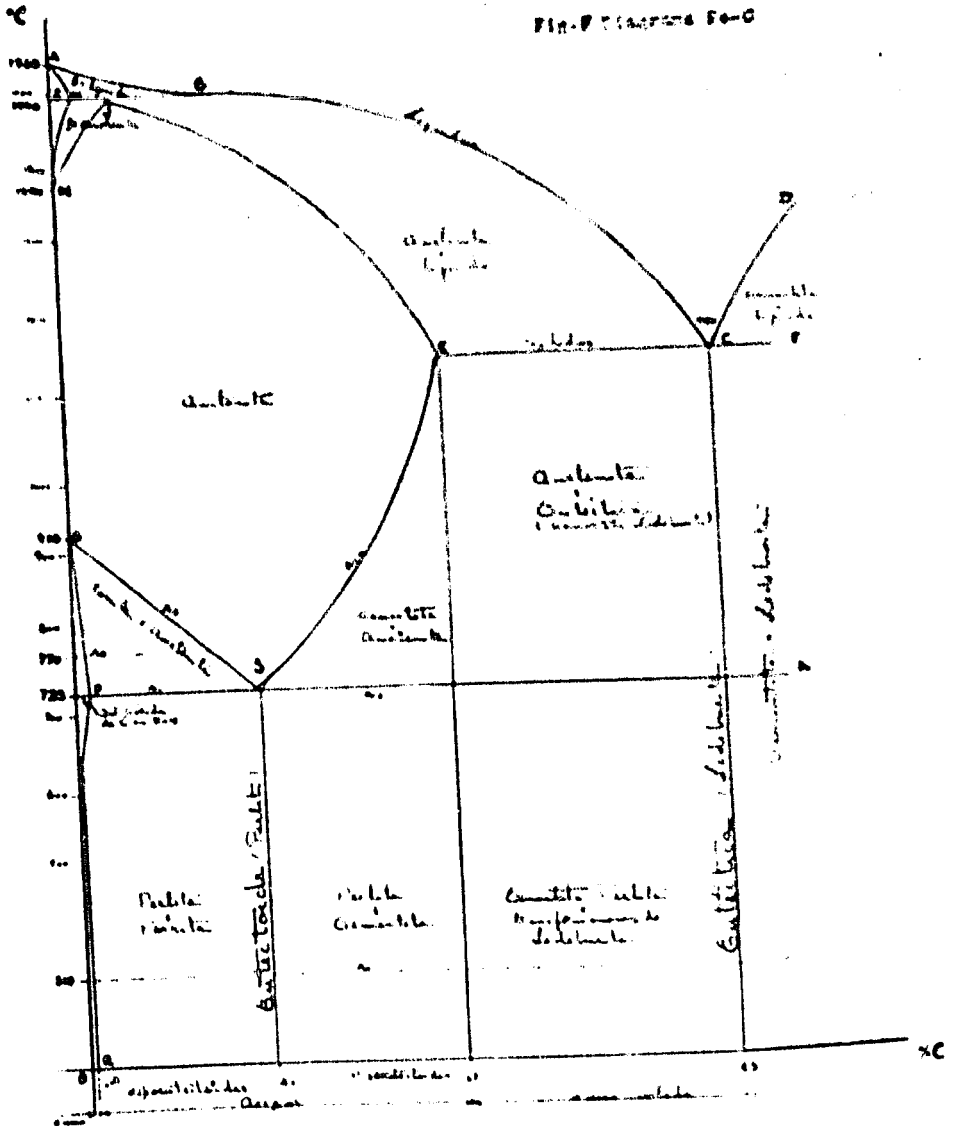
Diagrama Fe-C.—Este diagrama está formado por los datos obtenidos en diagramas binarios, los cuales se basan en el de "Solidificación de una Solución Sólida", por lo tanto representa las fases existentes, así como su porcentaje, pero no su estructura. Las temperaturas están como abscisas y la composición como ordenada, cualquier punto tiene una composición definida y una temperatura dada, basta proyectar ese punto a sus ejes respectivos. En la Fig. 7 la línea ABCD es la línea de "liquidus", arriba de la cual las aleaciones se encuentran fundidas, hacia abajo están parcial o totalmente sólidas. AHJECF la de "Solidus", abajo de ésta las aleaciones se encuentran en estado sólido. El área ABJN representa una reacción peritética, si JE se extendiera hasta A, eliminando por tanto el área en cuestión, se tendría la línea AESKFDC, que correspondería a un diagrama autéctico, con parcial o solubilidad en estado sólido. Conociendo que las líneas representan cambios de fase y las áreas las fases, definiremos éstas:

Ferrita: Hierro alfa, se encuentra a una temperatura de 910° puede retener en solución sólida elementos tales como C, Ni, P. Si manifiesta una solubilidad máxima para C de 0.035% a una temperatura de 725° C, su solubilidad decrece de acuerdo con la línea PQ hasta la temperatura del medio, donde tiene una solubilidad de 0.01%.

El término también se emplea para soluciones sólidas en las cuales el hierro delta o alfa son los solventes.

Hierro Alfa:—nombre dado al hierro cuya estructura atómica corresponde a la centrada en el cubo, estable a la temperatura inferior a 910° C.

Fig. 7 Diagrama Fe-C



Hierro delta:—Nombre metalúrgico dado al hierro con estructura semejante al anterior pero estable a una temperatura máxima de 1535° C. como mínima, de 1390° C.

Cementita:—El diagrama no ha sido calculado para más de 5% de C ya que este porcentaje carece de importancia comercial, las limitaciones actuales serían de 9.09% hasta 6.67% la razón es que el hierro y el carbono, se combinan para formar un compuesto intermetálico que contiene la cantidad citada y cuya fórmula es: Fe_3C , en la mayoría de las aleaciones Fe-C comerciales, aceros fundiciones blancas, etc., las reacciones efectuadas son más bien entre hierro y cementita que entre hierro y carbono; se ha encontrado conveniente emplear el valor 6.67% como límite superior, pues así se puede interpretar el sistema de 0 a 100% de Fe_3C o 100 a 0% de Fe.

Aunque la Cementita es uno de los constituyentes fundamentales de aceros y hierros, es imposible obtener un compuesto puro debido a las transformaciones originadas por los elementos que de una deliberada manera, se agregan, o porque se encuentran comercialmente con esa composición, a elevada temperatura, la cementita se descompone en hierro y grafito, por tanto no se observa su punto de fusión.

Austenita:—Este componente es estable a temperaturas comprendidas entre 910° y 1400° C, solubilidad depende de la relación, temperatura y composición, ésta debe estar comprendida en el área: N/ESG se le puede considerar como una solución sólida de C o Fe_3C en hierro gama, puede llegar a contener de 0.0 a 1.7% de C dependiendo de la temperatura.

Perlita:—Enfriando lentamente desde una temperatura de 710 C el compuesto austenita, que contenga 0.80% C se obtiene un constituyente llamado perlita que observado microscópicamente, presenta láminas o placas curvas, de ferrita y cementita, su nombre se debe al brillo, semejante al de perlas. Se le define como un agregado laminar de ferrita y cementita que es química y estructuralmente de composición eutectoide, la proporción de ferrita libre y cementita es aproximadamente de 7 a 1.

Ledoburita:—Una mezcla íntima de cristales puros de Austenita y Cementita, llamada "Eutéctica" contiene 4.3% de C.

"Curva de Solubilidad de Ferrita".—En el hierro puro la transformación de hierro gama en alfa se efectúa a 910° C si al primero se le agregan cantidades que varían de 9.0 a 0.80% de C la transformación disminuye hasta 710° C, en el diagrama Fe-C está indicado por la línea GS, por ella se conoce la solubilidad de ferrita en austenita y se llama "Curva de Solubilidad de la Ferrita".

"Curva de Solubilidad de la Cementita".—A 1130° C, temperatura Eutéctica, la austenita contiene 1.7% C aproximadamente en solución sólida si se enfría lentamente, desde esa temperatura, la Cementita precipitará de su solución sólida, el contenido de carbono en la Austenita, también disminuirá, como resultado, la temperatura que precipite la cementita también será menor.

El enfriamiento lento del acero está acompañado de una precipitación constante de Cementita hasta alcanzar la temperatura de 710° C en la cual la Austenita remanente contiene 0.80% C.

La solubilidad de la Cementita en la Austenita a varias temperaturas, está indicada por la línea ES, llamada "Curva de Solubilidad de la Cementita."

A la temperatura de 710° C, la Austenita recristalizada, para formar una mezcla compleja de Ferrita y Cementita, este punto S, se conoce como Eutectoide.

Una vez conocido el Diagrama Fe-C puede hacer una clasificación como la siguiente de acuerdo con su contenido de C:

0.0 % C	Ferrita.
0.0- 0.80	Aceros Hipoeutectoides.
0.80	.. Eutectoides.
0.80- 1.7	.. Hipereutectoides.
1.7- 4.3	Hierros Hipoeutectoides.
4.3	.. Eutécticos (Ledeburita)
4.3- 6.67	.. Hipereutectoides.
6.67	Cementita.

Puntos Críticos:—Del estudio de las Curvas de enfriamiento y de los Diagramas de Fase, se ha visto que al efectuarse un cambio de fase, hay desprendimiento de calor cuando se enfría, o bien que absorbe calor si

se calienta; acompañando a estos fenómenos se tiene una interrupción. (Figs 5 y 6). esta detención indica a qué temperatura se efectúa el cambio de fase y a estos puntos se les llama: "Puntos Críticos", se acostumbra representarlos con la Letra "A" del Francés Arrêt, detener, interrumpir, para diferencias si se trata al calentar o al enfriar se agrega "c" para el primer caso, de "chauffage" "r" para el segundo de "refroidissement".

En estas condiciones se tiene Ac interrumpción al calentar y Ar al enfriar; cuando son varias las interrupciones como en el Diagrama Fe-C se distinguen entre sí poniendo a continuación las letras, números, sólo que en éste las condiciones de calentamiento o de enfriamiento han sido lentas, cuando esas condiciones se alteran, los puntos críticos no coinciden en la misma temperatura, este retraso para obtener las condiciones de equilibrio se llama: "Histeresis" se define como la resistencia que oponen algunos cuerpos para transformarse en otros; cuando mayor sea la rapidez con que se calienta o se enfría, Ac y Ar estarán más desplazados.

Al templar una pieza de acero, interesa mucho que la velocidad de enfriamiento sea tan grande como se pueda para prevenir la total transformación de Ar.

Puesto que las operaciones de tratamiento térmico se llevan a cabo en materiales sólidos, conviene estudiar aquellas porciones del diagrama, en las cuales se manifiestan las reacciones que se efectúan en los aceros a variar la temperatura, así se tienen las líneas GS, ES, PSK, GP, PQ, las tres primeras son conocidas con el nombre: "Líneas de Temperaturas Críticas", generalmente se representan:

GS como A1
PS como A1
ES como Acm
SK como A13

Junto con éstas se encuentran las siguientes:

A2 a una temperatura de 770.° C, representa la temperatura arriba de la cual el hierro gamma pierde su magnetismo.

Ao a 210° C arriba de la cual la Cementita se vuelve no-magnética.

Aleaciones Fe-Mn.—Las transformaciones efectuadas se encuentran representadas en la Fig. 8 de acuerdo con experiencias dilatométricas; el diagrama comprende únicamente el final de la fase Fe en el sistema Fe-Mn, que es la parte interesante para nosotros.

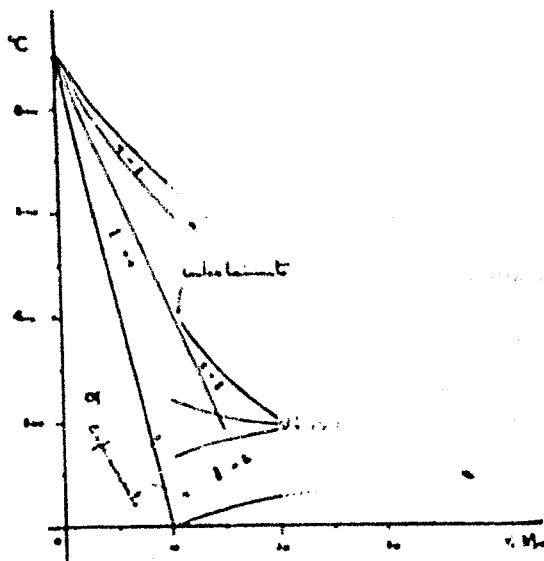


Fig. 8 Aleaciones Fe-Mn según el "Metals Handbook"

En el primer grupo, o sea el comprendido entre 0% y 10% de Mn, al solidificarse se tendrá la transformación: gama-alfa, estas aleaciones contienen solamente una fase a la temperatura ambiente ésta es hierro alfa.

El segundo grupo consta de aquellas aleaciones en las cuales la fase gama se transforma en "e" que a veces se vuelve en alfa, la fase "e" se descubrió recientemente, se ignora su naturaleza; su existencia se puso de manifiesto mediante estudios dilatométricos y por Rayos "X", además por observaciones microscópicas siempre y cuando el Mn esté en gran cantidad, más o menos 16% para evitar la transformación alfa-gama.

El siguiente grupo está formado por aleaciones que contienen de 30 a 60% de Mn en las cuales las transformaciones han sido totalmente suprimidas, y la fase gamma se mantiene desde elevada temperatura hasta la ambiente.

ALEACIONES Fe-Mn-C.—Los diagramas de fase, (Figs. 10, 11 y 12), representan secciones del sistema ternario Fe-Mn-C para aleaciones que varían desde 0.00, 2.50, 7.00, 13.00% de Mn, muestran las fases que están en equilibrio a varias temperaturas a medida que el porcentaje de carbono aumenta.

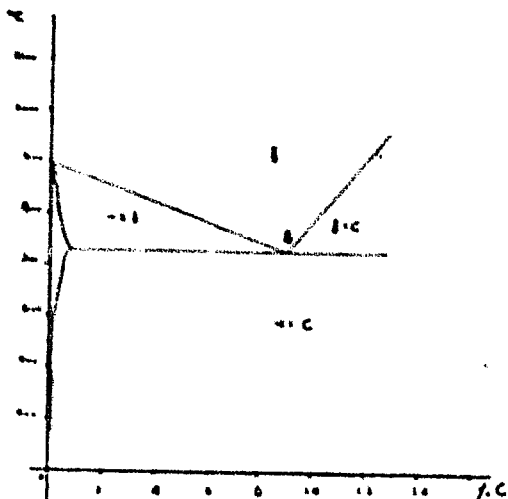
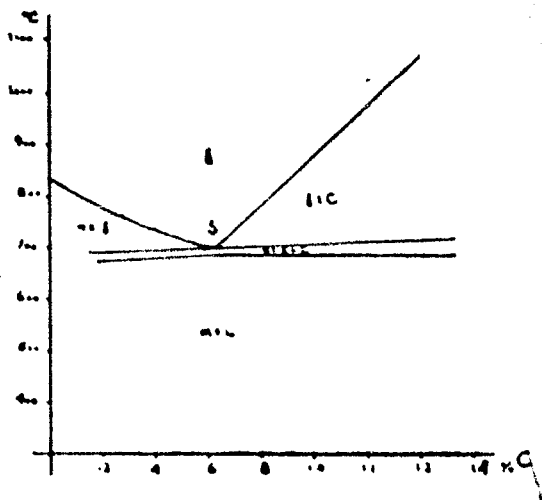


Fig. 9
Aleaciones Fe-C

Fig. 10
Sistema Fe-Mn-C
(2.5% Mn)



En general, se aprecia que las adiciones de Mn al acero, bajan la temperatura de transformación, esto es, las transformaciones alotrópicas no se efectúan a una temperatura definida sino que ocupan toda una serie, obedeciendo así a un principio general de las aleaciones, el de no tener una sola temperatura en su punto crítico, cuando se calienta, para eliminar ferrita, y la formación de Austenita; por tanto la designación A para estos aceros, es un poco arbitraria, dependiendo de la cantidad y naturaleza de los elementos que formen la aleación.

Es de notarse que la temperatura eutectoide S desciende a la vez que se desplaza hacia la izquierda a medida que el contenido de Mn aumenta. En los diagramas no se encuentra el porcentaje de composición en las fases, esto, desde el punto de vista práctico no interesa, si en cambio la temperatura y límites de composición en los diversos campos de esos diagramas.

V.—Objeto. Lo que se persigue con el tratamiento es obtener ciertas propiedades físicas, cambios debidos a la acción del calor.

Para dicho estudio consideramos:

- 1.—Estructura antes del tratamiento
- 2.—Cambios efectuados después del tratamiento
- 3.—Estructura final.

Se ha visto que las aleaciones Fe-C y por tanto el acero están formados por una solución sólida de Carbono o Carburo de Hierro en Hierro gama llamado Austenita, y que al enfriarlo lentamente se convierte en perlita y ferrita en aceros hipoeutectoides o bien en perlita y cementita en los hipereutectoides.

Regulando la velocidad de enfriamiento desde su punto crítico en los aceros del segundo tipo, es posible obtener en diversos grados, la formación y retención de los llamados compuestos de transición de dos componentes Perlita-Sorbita, Sorbita-Troostita, Troostita-Martensita cada uno de ellos imparte propiedades específicas al acero.

Antes de proseguir, conviene definir ciertos términos empleados en el tratamiento térmico, según la A.S.M. "Metals Handbook".

Recocido.—(Annealing).—Se distinguen dos clases de recocido, completo e incompleto, al primero se considera así, someter a un calentamiento, la pieza de que se trata, arriba de su temperatura crítica

durante cierto tiempo, especial en cada caso, seguido de un enfriamiento. La temperatura de recocido es generalmente unos 50° C arriba de la crítica, no menos de una hora por cada pulgada de sección, después dejar enfriar la pieza dentro del horno.

Para el incompleto se calienta a una temperatura inferior a la crítica y el enfriamiento se hace tan lento como se desee, generalmente se aplica a láminas y alambres, estos dos tratamientos producen resultados diferentes aunque ambos tienen por objeto disminuir las tensiones internas, a la vez que refinar la estructura cristalina, homogenizarla.

Revenido —(Tempering o Drawing) —Como todos los tratamientos térmicos, tienen como objeto eliminar las tensiones internas producidas por el temple, así como regular sus propiedades mecánicas, dicho tratamiento se efectúa a una temperatura inferior a 723° C.

Normalizado —(Normalizing) —Consiste en calentar 50° C arriba de su punto crítico seguido de un enfriamiento fuera del horno, hasta adquirir la temperatura ambiente. En el comercio tiene como objeto producir materiales de grano uniforme.

1.—Estructura antes del tratamiento —Este acero al enfriarse en las lingoteras o piezas vaciadas se encuentra en lo que se llama colada en bruto, en estas condiciones el metal presenta poca resistencia, es frágil, quebradizo, propiedades debidas a lo siguiente por su velocidad de enfriamiento, considerable cantidad de cementita se separa de la austenita, formando una red cristalina que envuelve los granos de austenita, según se observa en las Figs. 10 y 11, siendo las partes oscuras, cementita; dadas las propiedades de ésta, dura pero frágil, el metal presenta esas características.

2. Cambios efectuados después del tratamiento:—Variando algunos factores tales como la temperatura, tiempo de enfriamiento, etc., es posible obtener una gran variedad de propiedades físicas y a medida que se eleva la temperatura, la cementita entrará en solución para dar como resultado final, tales de austenita pura. Para ilustrar las transformaciones véanse las Figs. 12, 13, 14, 15, 16 y 17. El tiempo de calentamiento fué de veinte minutos.

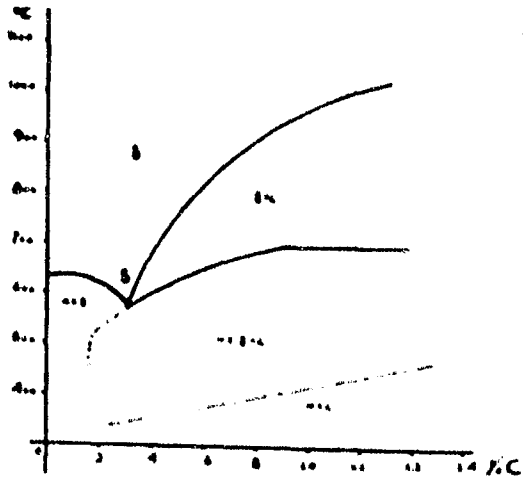
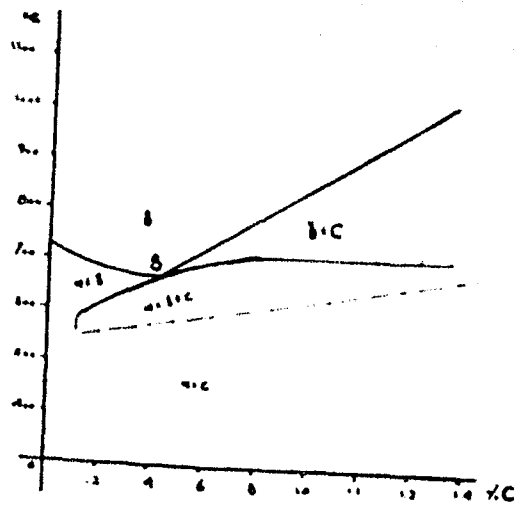


Fig 11 Sistema Fe-Mn-C (7% Mn)

Fig 12 Sistema Fe-Mn-C (13% Mn)



3.—Para endurecer y dar resistencia al acero las piezas se calientan a una temperatura de 1000, C seguido de un enfriamiento rápido mediante la inmersión en agua, en casos extremos o por investigación se emplea agua enfriada con hielo, con objeto de disminuir las transformaciones. La operación anterior se le conoce con el nombre de temple y sirve para que los carburos formados que se han segregado entren nuevamente en solución, con respecto a esta operación, la relación entre el Carbono y el Manganeso determinan cuando un acero se debe temprar en agua o en aceite y evitar roturas en las piezas. Cuando la composición química del acero es correcta, el tratamiento térmico produce una estructura austenítica uniforme. Figs. 18, 19, 20 y 21.

Con respecto a las propiedades físicas, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Dureza Rockwell Escala C:

Colada en bruto:	41—42—42	5—40—41
750-C	32—31—32	—29—30
850-C	30—30—29	29—29
950-C	17—17—17	—18—18
1000-C	15—15—15	—16—16
1100-C	15—15—15	—16—16



Fig. 13 Atacada con Nital 200x



Fig. 14 Atacada con Nital 500 x



Fig. 15 Atacada con Nital
750oC ,200 x



Fig. 16 Atacada con Nital
750oC ,500 x

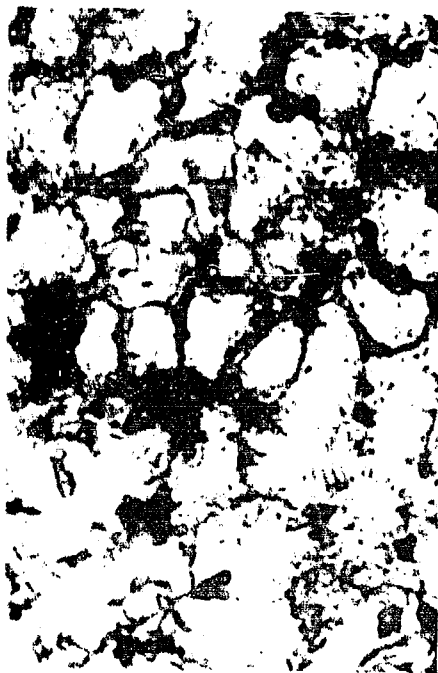
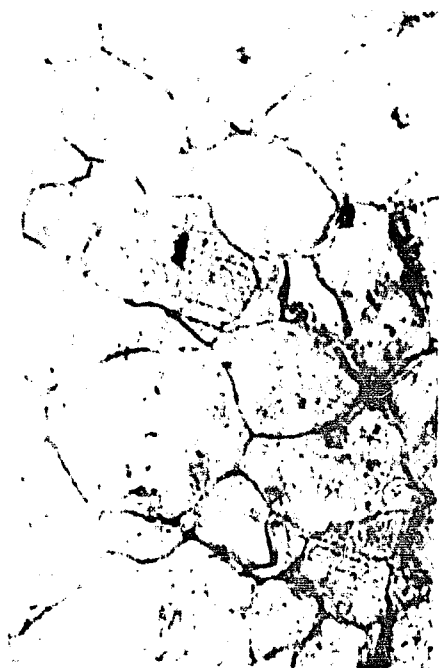


Fig 17 Atacada con Nital
850 C, 200 X



Fig 18 Atacada con Nital
850 C, 500 X



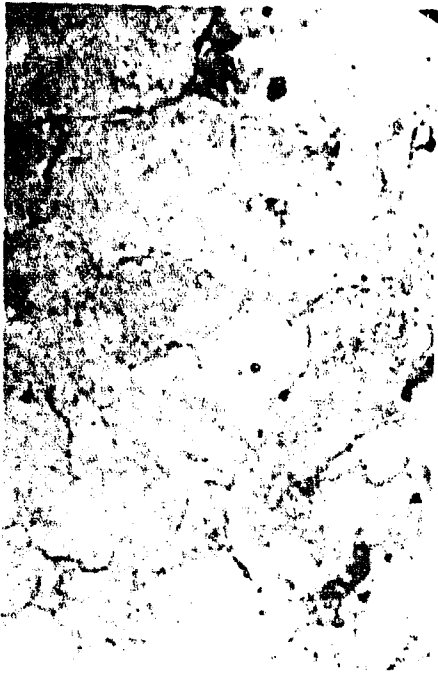


Fig. 21 Atacada con Nital
1000°C, 200 x

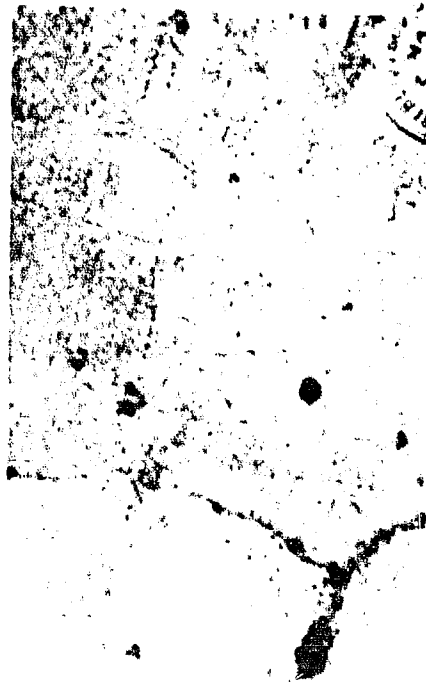


Fig. 22 Atacada con Nital
1000°C 600 x



Fig. 23 Atacada con Nital
1100°C, 200 x

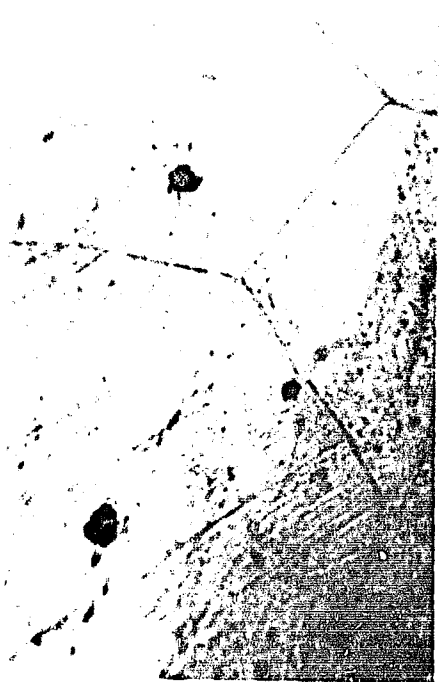


Fig. 24 Atacada con Nital
1100°C 600 x

LA INSTITUCIÓN
NACIONAL DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
MEXICO
QUÍMICA

IV.—Conclusiones.

Las conclusiones basadas en esta breve exposición son las siguientes:

- 1.—Para obtener la estructura adecuada en este acero, es decir, la austenítica, es necesario controlar la composición Química especialmente la relación C-Mn.
- 2.—Tratamiento térmico adecuado, especialmente el de temple, donde se tendrá cuidado de calentar uniformemente las piezas, más si son de sección irregular, para evitar roturas, ya que la conductibilidad térmica de este acero es baja, dependiendo de esto el tiempo que la pieza permanezca en el horno a la temperatura adecuada.
- 3.—En la adición de elementos extraños a la aleación original Hadfield para obtener propiedades especiales, tales como Cr, V, etc., las cantidades de éstos, su relación, lo determina la experiencia.
- 4.—Las propiedades Físicas dependerán del tratamiento térmico y composición Química.

BIBLIOGRAFIA

- "The Metallography and Heat Treatment of Iron and Steel". —A. Sauveur.
- "Metallography and Heat Treatment of Steel". —Teichert.— Vol. III.
- "Principles of Metallographic Laboratory Practice". —G. L. Kehl.
- "The Metallurgy of Quality Steels". —Parker.
- "Physical Metallurgy". —R. Heyer.
- "Steel and Its Heat Treatment". —D. K. Bullens.—Vols. I, II.
- "Modern Steel". —A. S. M.
- "Principles of Metallography". —Williams and Homerberg.
- "Sampling and Analysis of Carbon and Alloy Steels". —U. S. Steel Corp.
- "Análisis Químico Cuantitativo". —F. Orozco.
- "Technical Analysis of Steel and Steel Works Materials." —F. T. Sisco.
- "Commercial Methods of Analysis." —Snell and Biffin.
- "Advanced Quantitative Analysis". —Willard and Diehl.

ERRATAS ADVERTIDAS

Pág.	Línea	Dice	Debe decir
12	10	m. . s	más
14	3	si	se
14	17	acción	sección
15	10	contrari	contrario
18	16	s	se
18	20	aguas	agua
18	20	se	_____
19	11	alimentar	eliminar
19	12	solución	solución
19	28	hasta	basta
20	4	2(NH ₃)	2(NH ₃) ₂
20	5	(Mo ₄ O)	MoO ₄
20	15	hidroácido	hidróxido
20	16	_____	para finalmente ser
21	15	ferroso	titulada con una solu- ción ferroso
21	19	titulos	titulados
21	20	valorando	valorado
21	20	d	de
21	28	Crómico	Crómico
21	30	_____	valorado. La diferen- cia entre el volúmen de sulfato ferroso ngregado y el equiva- lente al de permanga- nato
23	1	vayas	vagas
23	2	_____	se
23	18	gratificará	graficarán
24	2	ilustración	ilustrado
25	15	ontervalo	intervalo
26	11	alcación	aleación
26	27	critales	cristales
26	29	mental	metal
27	9	a la trans- formación	a la de transformación
27	22	liminando	eliminando
27	24	autéctico	eutéctico
27	33	solventos	solventes
27	34	herro	hierro
29	10	coementita	cementita
29	11	convniente	conveniente
31	5	diferencias	diferenciar
31	8	interrupciñ	interrupción
31	10	las letras	de las letras
31	15	cuando	cuanto
35	14	Mormalizing	Normalizing
35	22	sustenita	austenita
35	23	austenita	austenita.