

UNAM



13

TESIS-BCCT

896
Ca8c



INSTITUTO DE GEOLOGIA
BIBLIOTECA

I-36
(13)

6201
501

Eduardo Carstensen

Control Técnico
del Tratamiento
Térmico de los Aceros



96
a8c

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Instituto de Química

México, 1934.

13

CLASIF. CLE 1934 II

ADQUIS. I-36

FECHA _____

PROCED. _____

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS.
INSTITUTO DE QUIMICA.

CONTROL TECNICO DEL TRATAMIENTO TERMICO DE
LOS ACEROS.



T E S I S
QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA
EDUARDO CARSTENSEN LANDA.
México, D. F., Octubre de 1934.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
CHICAGO, ILLINOIS

896
Ca8c

RECEIVED
JAN 10 1950

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
CHICAGO, ILLINOIS

A. M. D. G.

A LA MEMORIA DE MI PADRE,

A MI MADRE, CON TODO CARIÑO,

A MIS HERMANOS,

A MIS MAESTROS,

A TODOS MIS COMPAÑEROS ES-
PECIALMENTE AL SR. Ing. Q.
F. GONZALEZ V., CON GRATI-
TUD POR SUS VALIOSOS CONSE-
JOS EN EL PRESENTE TRABAJO.

1880

A LA MEMORIA DE MI PADRE

A MI MADRE, CON TODO CARIÑO

A MIS HERMANOS

A MIS MAESTROS

A TODOS MIS COMPAÑEROS

ESPECIALMENTE AL SR. D. J. G.

F. GONZALEZ V. CON GRACIA

Y POR SUS VALORES COMO

YO EN EL PRESENTE TIENEN

CONTROL TECNICO DEL TRATAMIENTO TERMICO DE LOS
ACEROS.

1).- INTRODUCCION.

- a).- Explicación de la importancia del control industrial de los tratamientos térmicos de los ace
ros.
- b).- Qué son los tratamientos térmicos, qué ob
jeto tienen y su teoría.

2).- PARTES QUE COMPRENDE EL CONTROL:

- 1/a.- Control de la composición química.
 - a).- Elementos ligados intencionalmente.
(metálicas,
 - b).- Impurezas (sólidas no metálicas,
(gaseosas.
- 2/a.- Control metalográfico.
 - a).- Estudio de la estructura microscópi
ca.
 - b).- Estudio de las propiedades fisico-
mecánicas.
- 3/a.- Control de taller.
 - a).- Hornos industriales.
 - b).- Control de temperaturas.
 - c).- Control de enfriamiento.

3).- PROYECTO INDUSTRIAL DE UNA INSTALACION PARA TRATA-
MIENTOS TERMICOS.

CONTROL TECNICO DEL TRATAMIENTO TERMICO DE LOS

ACEROS.

1) -- INTRODUCCION.

- a) -- Explicación de la importancia del control industrial de los tratamientos térmicos de los aceros.
- b) -- Qué son los tratamientos térmicos, qué objetos tienen y su teoría.

2) -- PARTES QUE COMPRENDE EL CONTROL:

- I/a -- Control de la composición química.
- a) -- Elementos ligados intencionalmente (metálicos).
- b) -- Impurezas (sólidas no metálicas, gaseosas).

- II/a -- Control metalográfico.
- a) -- Estudio de la estructura microscópica.
- b) -- Estudio de las propiedades físicas-mecánicas.

- III/a -- Control de taller.
- a) -- Hornos industriales.
- b) -- Control de temperatura.
- c) -- Control de enfriamiento.

3) -- PROYECTO INDUSTRIAL DE UNA INSTALACION PARA TRATAMIENTOS TERMICOS.

1 a).- La importancia del control técnico, tanto físico como químico de los aceros, sobre todo de los tratamientos térmicos que sufren y deben pasar para poder servirse de ellos en la industria, es enorme. Consideremos por un momento que sin controlar un acero, se haga uso de él para una pieza de artillería, ¿qué resultados se obtendrían?, ¿qué servicio va a prestar esa pieza?, ¿qué efectos va a producir en el conjunto del arma?, ¿qué resistencia tendrá que sufrir?, ¿a qué temperaturas será sometido durante su trabajo?, ¿qué efectos traerán consigo dichas temperaturas?, ¿qué desgaste?, y viendo desde otro punto de vista ¿qué daños causará al individuo o individuos que lo manejen si no está bien controlado? Es necesario saber si se le ha sometido a todas las pruebas necesarias para tener la seguridad de que desempeñará el papel que se le encomienda, si su composición química es la adecuada para el trabajo que va a efectuar, si sus características cristalográficas se encuentran en el estado apropiado para que no sobrevengan rompimientos inter-cristalinos y consecuentemente una catástrofe, si al elevarse la temperatura en los lugares de frotamiento, etc., la constitución íntima del acero es la necesaria para resistir dichos calentamientos y no sufre cambios de estructura que resulten en perjuicio de la pieza de que se trata y puedan en caso no remoto ser la causa de la muerte del individuo que maneje la pieza de artillería; si la constitución cristalina esté de acuerdo con la composición química. Que haya sido sometido a las pruebas mecánicas necesarias para poderlo sujetar abajo de los límites de seguridad encontrados en las diversas pruebas estáticas, dinámicas, etc. Además de todo esto, que en el taller haya sido controlado durante los procesos de maquinación, temple, forja, etc., observando rigurosamente los tratamientos prescritos por el ingeniero químico que tenga a su cargo el control, no solo en lo general, sino muy especialmente en los tratamientos térmicos a que debe sujetarse dicha pieza.

Si como veníamos diciendo se tomase gran cuidado en calcular la pieza a que nos referimos, se le diese a un buen obrero a fin de que la tornease o maquinase, según el destino que fuere a dársele, se sujetase en la máquina rectificadora para apreciar sus condiciones y luego se le sujetase al tratamiento térmico sin hacerlo científicamente sino a ojo de buen cubero, desconociendo su composición química, ignorando sus puntos críticos, trabajando en hornos imperfectos y sin control térmico de las temperaturas, prescindiendo de los pirómetros o no empleándolos adecuadamente o no sabiendo si están en malas condiciones, si la pieza en cuestión no resulta completamente defectuosa será por pura casualidad; pero con seguridad podrá decirse que no resultará en estado perfecto ni tampoco en el que se tenía la mira de obtenerlo o sea no lejano al estado técnico deseado. Si la estructura es mala y estando en servicio falla la pieza, los resultados serán desastrosos, pondrá en peligro de muerte a las personas que la manejen, o al menos comprometerá el buen funcionamiento del arma.

No solamente es útil sino indispensable el control técnico de los tratamientos térmicos de los aceros. Si se trata del control de aceros para máquinas usadas en la industria, etc., es del todo necesario, y si consideramos científicamente el estudio de este control, podemos asegurar que irán perfeccionándose los métodos hasta aquí conocidos en la fabricación de las diversas piezas de máquinas en toda la gama de la industria y se logrará con estudios científicos bien orientados y llevados a toda conciencia, a lograr que los aceros en su variedad tan enorme como ahora se conocen, aumenten y vengán a sustituir a otros materiales que ahora se creen indispensables e insustituibles, pudiendo, como digo, no sólo sustituirlos sino hacer esto con ventajas, tanto en el resultado práctico como en el económico.

Como podremos darnos cuenta en el curso de este trabajo, el control físico y químico, así como el de taller, están íntimamente ligados y se completan unos con otros, pues bien sabemos que no basta conocer la composición química de un acero para darle la aplicación adecuada, aún teniendo las normas generales y pudiendo clasificar por sus componentes de lo que es capaz el acero, pues sabemos el carácter que le dá cada uno de los elementos que lo forman, así como la cantidad que de ellos hay en dicho acero, no sólo los esenciales y distintivos, sino también los que se encuentran como impurezas, y los efectos que dichas impurezas, en la proporción en que se encuentren, van a ejercer, influencias capaces de obrar ya sea debilitando su resistencia o su ductibilidad o, en fin, alguna de sus propiedades, sea que el acero se encuentre trabajando a temperaturas ordinarias, o bien que debiendo trabajar a temperaturas elevadas, las impurezas que contenga le dañen en el servicio que deba prestar. No es suficiente el conocimiento analítico de sus componentes, debemos saber en que forma se encuentran estos y si las impurezas que todo acero contiene están homogéneamente repartidas o acumuladas en ciertos lugares, debemos conocer el estado de agregación de las soluciones sólidas, su homogeneidad y en fin todo lo que se relaciona a la estructura interna de los tantas veces mencionados aceros.

Sabemos bien que los mismos elementos químicos que componen un acero y estando estos mismos en la misma cantidad en dos piezas diferentes, pueden dar lugar a muy diversos estados de agregación, dependiendo naturalmente de los tratamientos que hayan sufrido dichas piezas y decidiendo así de las propiedades del acero y en consecuencia de su aplicación.

Conociendo su composición química, los elementos estructurales que contiene, la proporción en que estos se encuentran, así como el estado de homogeneidad que guardan, necesitamos saber como va a trabajar dicho acero, si su composición y estructura realmente responden al trabajo que debe desempeñar un acero de esa calidad y para esto tenemos que sujetarlo a las pruebas mecánicas, al maquinado, etc., y observar los resultados obtenidos, pues sabemos que sus propiedades mecánicas dependen directamente de los componentes estructurales y de la cantidad de los mismos así como de su homogeneidad.

No solamente es útil sino indispensable el control técnico de los tratamientos térmicos de los aceros. Si se trata del control de aceros para máquinas usadas en la industria, etc., es del todo necesario, y si consideramos científicamente el control de este control, podemos asegurar que una parte considerable de los métodos hasta aquí conocidos en la fabricación de las diversas piezas de máquinas en toda la gama de la industria y se los trata con estudios científicos bien orientados y llevados a cabo de conciencia, a lograr que los aceros en su variedad tan enorme como ahora se conocen, aumenten y vengán a sustituir a otras materias que ahora se creen indispensables e insustituibles, pudiendo, como digo, no sólo sustituirlos sino hacer esto con ventajas, tanto en el resultado práctico como en el económico.

Como podemos darnos cuenta en el curso de este trabajo, el control técnico y químico, así como el de taller, están íntimamente ligados y se completan uno con otros, pues bien sabemos que no basta conocer la composición química de un acero para darle la aplicación adecuada, sin teniendo las normas generales y pudiendo clasificar por sus componentes de lo que es capaz el acero, pues sabemos el carácter que le da cada uno de los elementos que lo forman, así como la cantidad que de ellos hay en dicho acero, no sólo los esenciales y distintivos, sino también los que se encuentran como impurezas, y los otros que dichos impurezas, en la proporción en que se encuentran, van a ejercer influencia capaces de obrar ya sea debilitando su resistencia o su ductilidad, o, en fin, alguna de sus propiedades, así que el acero se encuentra trabajando a temperaturas elevadas, las impurezas que contiene le dan en el servicio que debe prestar. No es suficiente el conocimiento analítico de sus componentes, debemos saber en que forma se encuentran estos y si las impurezas que todo acero contiene están homogéneamente repartidas o no. Luego en ciertos lugares, debemos conocer el estado de agregación de las soluciones sólidas, su homogeneidad y en fin todo lo que se relaciona a la estructura interna de los metales con mencionados aceros.

Sabemos bien que los mismos elementos químicos que componen un acero y estando estos mismos en la misma cantidad en dos piezas diferentes, pueden dar lugar a muy diversas estados de agregación, dependiendo naturalmente de los tratamientos que ha sufrido dichas piezas y dependiendo así de las propiedades del acero y en consecuencia de su aplicación.

Conociendo su composición química, los elementos estructurales que contiene, la proporción en que estos se encuentran, así como el estado de homogeneidad que guardan, necesitamos saber como va a trabajar dicho acero, si su composición y estructura realmente responden al trabajo que debe desempeñar un acero de esa calidad y para esto tenemos que acudir a las pruebas mecánicas, al maquinado, etc., y observar los resultados obtenidos, pues sabemos que sus propiedades mecánicas dependen del tratamiento de los componentes estructurales y de la cantidad de los mismos así como de su homogeneidad.

Como los aceros no pueden trabajarse en el estado en que finalmente van a ser usados, pues estos según las operaciones que sufran durante el proceso de fabricación de las piezas deberán reventarse, templarse, recocerse, etc., y sufren con estos cambios, en su estructura interna, no sólo cuando hay elevaciones de temperatura, sino también durante el maquinado de los mismos, debe hacerse el control metalográfico de ellos, para que todo vaya guardando las relaciones que tienen unos con otros y verificando de una manera bastante completa el desarrollo de la pieza desde el principio de su manufactura hasta tenerla terminada y usarla en el lugar a que se le destina; teniendo controlado todo el proceso, puede fácilmente, en caso dado, encontrarse el porqué de una falla de dicha pieza y corregir la causa que produjo tal efecto.

Debido a los estudios metalográficos que tanto han progresado últimamente, las industrias del acero y de los metales y ligas metálicas han mejorado de una manera evidente, y ya no trabajan empíricamente, sino bajo bases científicas, que poco a poco hacen que los productos se perfeccionen y se tenga en ellos la confianza que debe tenerseles, sobre todo cuando son artículos de uso humano que ponen en peligro la vida del que tiene -- que servirse de ellos.

Para llegar a estos resultados los aceros deben ser sometidos a tratamientos térmicos adecuados.

Se da el nombre de tratamientos térmicos a los procesos que tienen por objeto modificar, por la acción del calor, la composición estructural de los metales o ligas metálicas, haciendo -- que varíen sus propiedades físico-mecánicas. Estos tratamientos se conocen con los nombres de revenido, temple, recocido, cementación, nitruración, etc. Para podernos dar cuenta de lo que -- son los tratamientos térmicos y de los efectos que producen en los aceros, así como de la forma en que deben aplicarse en la industria, haremos un estudio breve de las propiedades del fierro y de los cambios que sufre al ser sometido a diversas temperaturas.

El hierro puro funde a 1528° C. y puede presentarse bajo -- tres formas alotrópicas cada una de las cuales es estable a una zona determinada de temperaturas. Actualmente se dice que existe un nuevo estado alotrópico del hierro, que se le designa como hierro delta, pero aún no está bien definido este caso. La variedad denominada gama es estable desde la solidificación del fierro hasta la temperatura de 898° C., abajo de esta temperatura pasa a la variedad beta, que es estable hasta los 768° C., y luego se transforma en hierro alfa, estable a todas las temperaturas abajo de ésta, es decir, la variedad estable a la temperatura ordinaria. Las modificaciones alotrópicas en estado sólido son análogas a los cambios de estado y en ambos casos cambia la energía interna del sistema. A los puntos de transformación se les llama puntos críticos. Los puntos críticos se designan con la letra A., (A inicial de arre't), c (calescere) y r (recalcsere).

Como los aceros no pueden trabajarse en el estado en que se encuentran con sus defectos, para evitar estos defectos durante el proceso de transformación de las piezas deberán ser sometidos a tratamientos térmicos, tales como: revenido, temple, recocido, etc., y sufrir con estos cambios, en su estructura interna, no sólo cuando hay elevaciones de temperatura, sino también durante el maquinado de los mismos. Debe hacerse el control metalográfico de ellos, para que todo vaya guardando las relaciones que tienen unos con otros y verificando de una manera bastante completa el desarrollo de la pieza desde el principio de su manufactura hasta tenerla terminada y acada en el lugar a que se le destina; teniendo controlado todo el proceso, puede fácilmente, en caso de que, encontrarse el por qué de una falla de dichas piezas y corregir la causa que produjo tal efecto.

Debido a los estudios metalográficos que tanto han progresado últimamente, las industrias del acero y de los metales y ligas metálicas han mejorado de una manera evidente, y ya no tienen empíricamente, sino bajo bases científicas, que poco a poco hacen que los productos se perfeccionen y se pongan en ellas la confianza que debe tenerse, sobre todo cuando son aplicados los de uso humano que ponen en peligro la vida del que tiene que servir de ellos.

Para llegar a estos resultados los aceros deben ser sometidos a tratamientos térmicos adecuados. Se da el nombre de tratamientos térmicos a los procesos que tienen por objeto modificar, por la acción del calor, la composición estructural de los metales o ligas metálicas, haciendo que varíen sus propiedades físicas-químicas. Estos tratamientos se conocen con los nombres de revenido, temple, recocido, como: acción, nitruración, etc. Para poderse dar cuenta de lo que son los tratamientos térmicos y de los efectos que producen en los aceros, así como de la forma en que deben aplicarse en la industria, haremos un estudio breve de las propiedades del hierro y de los cambios que sufre al ser sometido a diversos tratamientos.

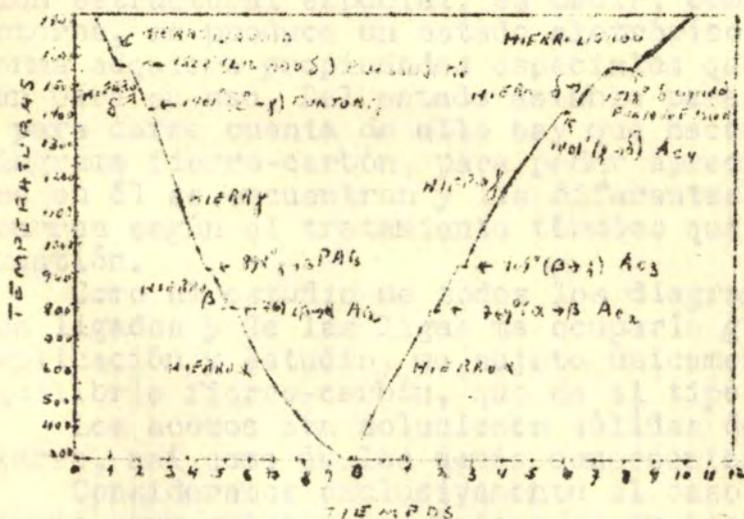
El hierro puro fonde a 1538°C . y puede presentarse bajo tres formas alotrópicas cada una de las cuales se establece a una zona determinada de temperaturas. Actualmente se dice que existe un nuevo estado alotrópico del hierro, que se le designa como δ , pero aún no está bien definido este caso. La variedad denominada δ gamma se establece desde la solidificación del hierro hasta la temperatura de 898°C . bajo de esta temperatura se pasa a la variedad beta, que se establece hasta los 768°C . y luego se transforma en hierro alfa, estable a todas las temperaturas bajo de ésta, es decir, la variedad estable a la temperatura ordinaria. Las modificaciones alotrópicas en estado sólido son análogas a los cambios de estado y en ambos casos cambia la energía interna del sistema. A los puntos de transformación se les llama puntos críticos. Los puntos críticos se designan con la letra A., (A inicial de austenite), o (calorífico) y r (traces).

Con elevación de temperatura, el hierro cambia de estado y pasa del alfa al beta, gama y delta. Los cambios son con aparición de calor. A las temperaturas a que esto sucede se les llama críticas. Durante la transformación las temperaturas permanecen constantes ya sea que haya aumento o disminución de calor. A esto se le llama punto estable y se le designa en el calentamiento por Ac2 y al siguiente punto por Ac3; en el enfriamiento por Ar2 y Ar3. A3 en el calentamiento es mayor que en el enfriamiento. La diferencia en grados centígrados se le llama Histéresis; la magnitud de la misma depende de la velocidad del calentamiento y enfriamiento respectivos. Según las últimas investigaciones para este caso la velocidad de calentamiento respectivo y de enfriamiento es igual a cero.

$$\begin{aligned} \text{Ac3} &= \text{Ar3} = 898^{\circ} \text{ C.} \\ \text{Ac2} &= \text{Ar2} = 870^{\circ} \text{ "}. \end{aligned}$$

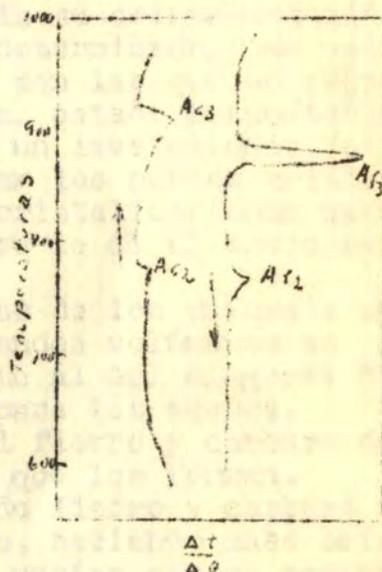
El tercer punto de transformación A4 o sea el que corresponde de gama a delta, fue determinado por Ruer; es a 1401° C. y prácticamente no tiene Histéresis.

Figura 1.



Curvas de solidificación y fusión del hierro puro (Goerens).

Figura 2.



Curvas de calentamiento y enfriamiento del hierro puro en la región crítica

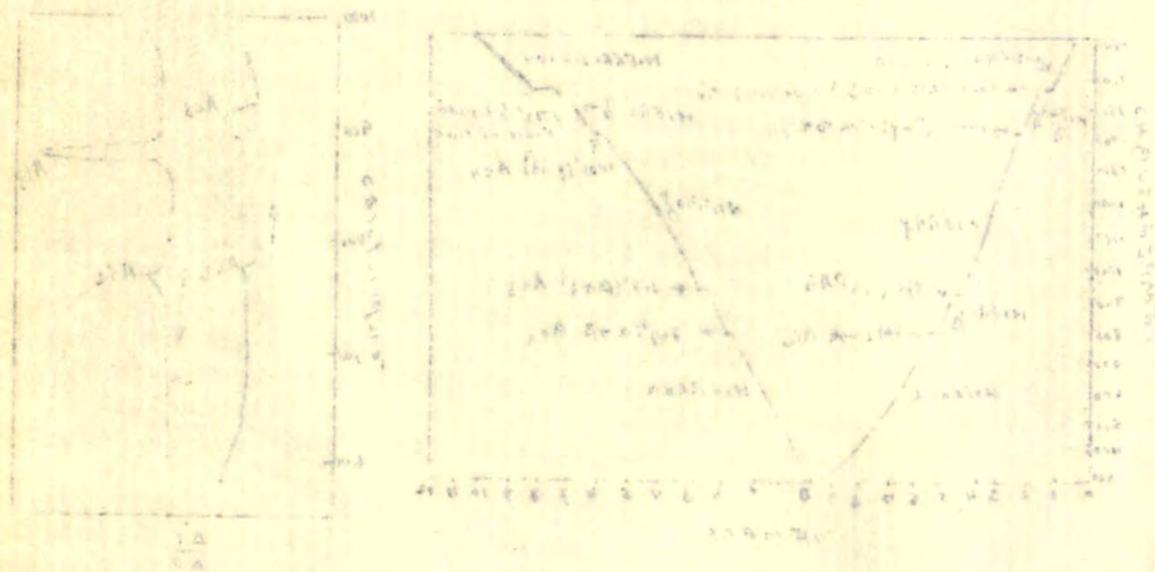
La histéresis es un fenómeno análogo a la sobrefusión y a la sobresaturación y confirma el hecho de que los sistemas ofrecen resistencia al cambiar de estado. El paso de una forma alotrópica a otra comienza cuando el número de los nuevos núcleos cristalinos y la velocidad de cristalización de la nueva variedad sean lo suficientemente grandes. Esto se verifica después de pasada la temperatura más alta que la teórica, y al enfriar a temperatura más baja que la teórica. La temperatura de equilibrio teórico se designa por Ae, que se encuentra entre Ac y Ar; pero que no ha sido posible determinar experimentalmente. Cuan-

Con elevación de temperatura, el hierro cambia de estado y pasa del alfa al beta, gamma y delta. Los cambios son con absorción de calor. A las temperaturas a que esto sucede se las llama críticas. Durante la transformación las temperaturas permanecen constantes ya sea que haya aumento o disminución de calor. A esto se le llama punto estable y se le designa en el calentamiento por Ac_1 y al siguiente punto por Ac_2 ; en el enfriamiento por Ar_1 y Ar_2 . Ac_1 en el calentamiento es mayor que en el enfriamiento. La diferencia en grados centígrados se le llama histeresis; la magnitud de la misma depende de la velocidad del calentamiento y enfriamiento respectivos. Según las últimas investigaciones para este caso la velocidad de calentamiento respectivo y de enfriamiento es igual a cero.

$Ac_1 = Ar_1 = 727^\circ C.$
 $Ac_2 = Ar_2 = 727^\circ C.$

El tercer punto de transformación Ac_3 o sea el que corresponde de gamma a delta, fue determinado por Ruess; es a $1401^\circ C.$ y prácticamente no tiene histeresis.

Figura 1. Figuras 2.



Curvas de solidificación y fusión del hierro puro (Gourens).
 Curvas de calentamiento y enfriamiento del hierro puro en la región crítica.
 La histeresis es un fenómeno análogo a la sublimación y a la supercalentación y confirma el hecho de que los sistemas están con resistencia al cambio de estado. El paso de una forma alotrópica a otra comienza cuando el número de las nuevas moléculas cristalinas y la velocidad de cristalización de la nueva variedad sean lo suficientemente grandes. Esto se verifica después de pasarse la temperatura más alta que la crítica y al entrar a temperaturas más bajas que la crítica. La temperatura de punto crítico se designa por Ac_1 , que se encuentra entre $727^\circ C.$ y $727^\circ C.$ pero que no ha sido posible determinar experimentalmente. Cuando

do descende la temperatura de un hierro en estado alfa y llega a 898° se presenta el punto crítico Ar3 y pasa de alfa a beta. Si la temperatura sigue descendiendo y llega a 768° , se presenta el punto crítico Ar2, pasando el hierro beta a gama. El punto Ar1 no se presenta en el hierro puro, pero si aparece en el que tiene algo de carbono y aumenta gradualmente hasta la liga con 0.85 % de carbono.

Si se calienta en vez de enfriar, el punto Ac2 que indica el paso del hierro alfa a beta, se presenta también a 768° , es decir, 10° más que el Ar3. El hierro alfa es paramagnético; el gama es diamagnético, beta también pero últimamente se ha demostrado experimentalmente por medio de rayos X que las redes atómicas del hierro alfa y las del supuesto hierro beta son idénticas, así que el hierro beta no existe como variedad alotrópica, al menos (al menos) desde el punto de vista cristalográfico. Hace algunos años que se encontró otra forma alotrópica del hierro, que se ha designado por delta; ésta se presenta a 1401° , cerca del punto de fusión y sólo tiene interés científico.

Un acero sometido a temperatura más elevada que su punto crítico superior y enfriado bruscamente, adquiere una composición estructural especial, es decir, cambia su cristalización interna, se produce un estado alotrópico determinado y en esta forma adquiere propiedades especiales que son las que se requieren para su uso. Del estado estable pasa al estado metaestable, y para darse cuenta de ello hay que hacer un leve estudio del diagrama fierro-carbón, para poder apreciar los puntos críticos que en él se encuentran y las diferentes cristalizaciones que ocurren según el tratamiento térmico que se le dé al acero en cuestión.

Como el estudio de todos los diagramas de los diversos aceros ligados y de las ligas ma ocuparía grandes volúmenes en su explicación y estudio, me sujeto únicamente al del diagrama de equilibrio fierro-carbón, que es el tipo para los aceros.

Los aceros son soluciones sólidas del fierro y carburo de fierro, así como de los demás componentes que los forman.

Consideramos exclusivamente el caso de fierro y carburo de fierro como substancias únicas en un acero, haciendo caso omiso de los demás elementos que contiene y que varían con su presencia las propiedades y el estado cristalino de ellos.

Siendo los aceros soluciones sólidas, están sujetos a las leyes de las soluciones y así como en una solución de una sal en agua al someterla a la ebullición observamos ciertos fenómenos característicos de la solución y si estudiamos con detenimiento su comportamiento al enfriar esta solución, hasta alcanzar su punto de congelación máximo, que es a una temperatura constante y con una proporción constante de sal disuelta, así podemos también estudiar la solución de fierro y carburo de fierro por medio de su diagrama de equilibrio, dándonos cuenta de la forma y casos en que se transforma su estado estable en metaestable y viceversa, siendo esto lo principal para la obtención de los aceros en los estados más perfectos, que pueden alcanzar

de desorden la temperatura de un hierro en estado sólido y líquido a 3080 se presenta el punto crítico Ar3 y gas de hierro a 3080. Si la temperatura sigue descendiendo y llega a 2080, se presenta el punto crítico Ar2, pasando el hierro por el gas, el líquido y el sólido. Si se calienta en vez de enfriar, el punto Ar3 indica el paso del hierro sólido a gas, se presenta también a 2080, es decir, 100 más que el Ar2. El hierro sólido es paramagnético; el gas es diamagnético, beta también por distanciamiento de los átomos. Se ha observado experimentalmente por medio de rayos X que las redes atómicas del hierro sólido y las del apuroso hierro beta son idénticas, así que el hierro beta no existe como variedad alotrópica, si menos (si menos) desde el punto de vista cristalográfico. Hace algunos años que se encontró otra forma alotrópica del hierro, que se ha designado por delta; ésta se presenta a 1401, cerca del punto de fusión y sólo tiene interés científico.

Un acero sometido a temperaturas más elevadas que su punto crítico superior y enfriado bruscamente, adquiere una composición estructural capotal, es decir, cambia su cristalización interna, se produce un estado alotrópico determinado y en esta forma adquiere propiedades especiales que son las que se requieren para su uso. Del estado estable para el estado metaestable y para darse cuenta de ello hay que hacer un leve estudio del diagrama hierro-carbono, para poder apreciar los puntos críticos que en él se encuentran y las diferentes cristalizaciones que ocurren según el tratamiento térmico que se le dé al acero en cuestión.

Como el estudio de todos los diagramas de los diversos sistemas ligados y de las ligas me ocuparía grandes volúmenes en su explicación y estudio, me ajueto únicamente al del diagrama de equilibrio hierro-carbono, que es el tipo para los aceros.

Los aceros son soluciones sólidas del hierro y carbono de hierro, así como de los demás componentes que los forman. Consideramos exclusivamente el caso de hierro y carbono de hierro como sustancias únicas en un acero, haciendo caso omiso de los demás elementos que contiene y que varían con su presencia las propiedades y el estado cristalográfico de ellas.

Siendo las aceros soluciones sólidas, están sujetos a las leyes de las soluciones y así como en una solución de una sal en agua al aumentar la evaporación observamos ciertos fenómenos característicos de la solución y al estudiarlos con detenimiento su comportamiento al enfriar esta solución, hasta alcanzar un punto de congelación máximo, que es a una temperatura constante y con una proporción constante de sal disuelta, así podemos también estudiar la solución de hierro y carbono de hierro por medio de su diagrama de equilibrio, dándonos cuenta de la forma y casos en que se transforman en estado estable en metaestable y viceversa, siendo caso lo principal para la obtención de los aceros en los estados más perfectos, que pueden alcanzarse.

se, teniendo en cuenta el uso a que se destina el acero que se estudia. El diagrama fierro-carbon es el A, B, C para el estudio de los tratamientos térmicos de los aceros, pues conociendo lo bien, no es muy difícil el estudio de los diagramas de equilibrio.

Las aleaciones de hierro y carbono tienen dos diagramas, - uno estable y otro metaestable. La razón de esto es que de las aleaciones de hierro y carbono fundidas y ricas en carbono pueden cristalizar dos sustancias distintas: grafito y carburo de fierro (Fe_3C), según sea la velocidad de enfriamiento. Si se le enfría rápidamente (en ciertas condiciones) cristalizará Fe_3C y si lentamente, puede cristalizar el grafito.

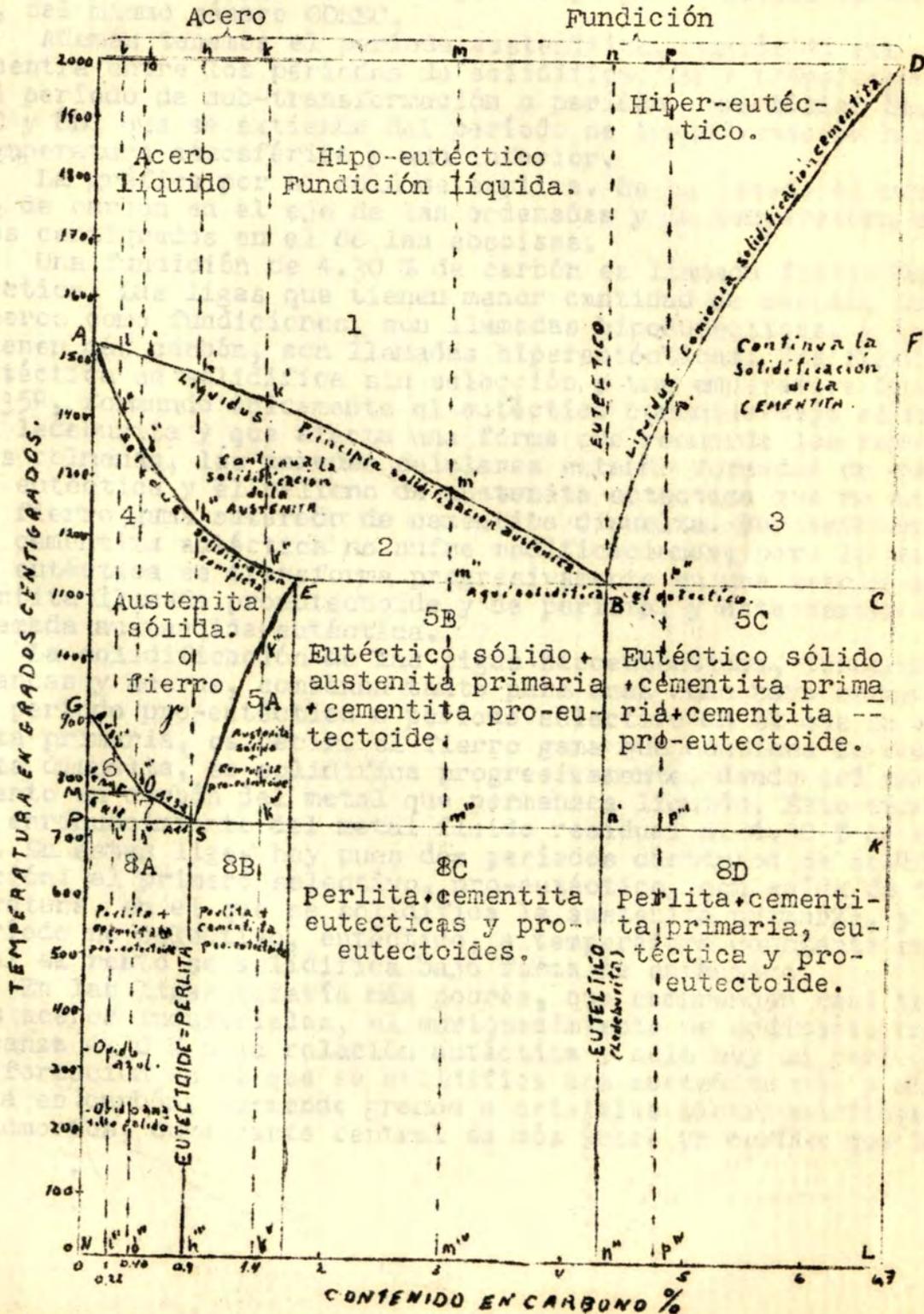


Fig.3.-Diagrama carbono-fierro metaestable o cementita-austenita

se, teniendo en cuenta el uso a que se destinan el acero que se estudia. El diagrama hierro-carbon es el A, B, C para el estudio de los tratamientos térmicos de los aceros, pues conociendo lo bien, no es muy difícil el estudio de los diagramas de equilibrio.

Las aleaciones de hierro y carbono tienen dos diagramas, uno estable y otro metastable. La razón de esto es que las aleaciones de hierro y carbono fundidas y ricas en carbono pueden cristalizar dos estructuras distintas: grafito y carburo de hierro (Fe₃C), según sea la velocidad de enfriamiento. Si se le enfria rápidamente (en ciertas condiciones) cristaliza Fe₃C y lentamente, puede cristalizar el grafito.

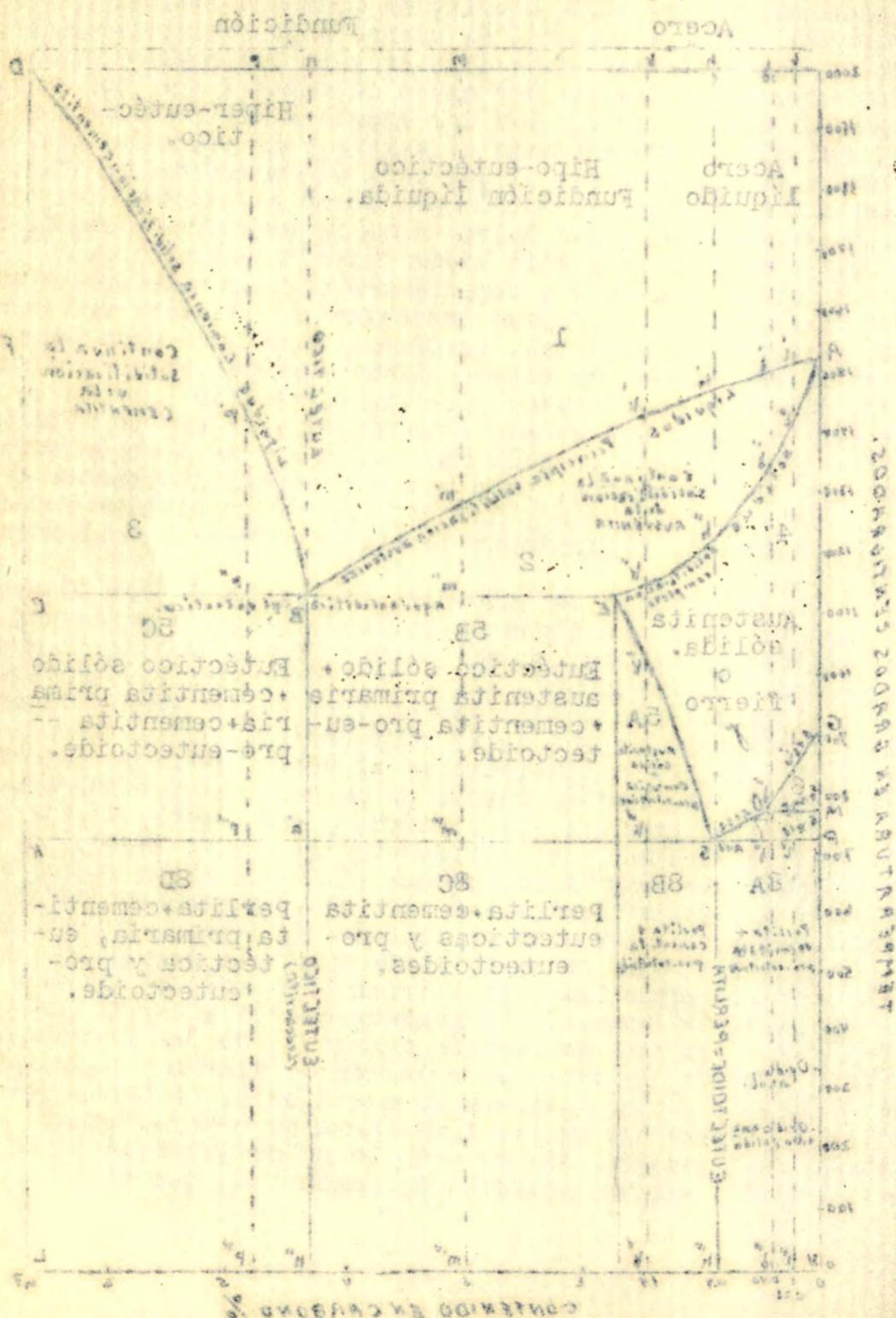


Fig. 2. Diagrama de equilibrio para el sistema hierro-carbono.

Las divisiones generales del diagrama son dos:

1/a.- El período de solidificación. Regiones 2 y 3, limitadas por las líneas "en forma de V" ABD y ABCE.

2/a.- El período de transformación, A este período le llaman a menudo crítico; pero es mejor llamarle de transformación, para acentuar mejor la distinción que hay entre transformación sólida y solidificación, además de que crítico es término vago. Regiones 5, 6 y 7, limitadas por un grupo de líneas en forma de V, del mismo género GOSEC.

Además tenemos el período austenítico, región 4, que se encuentra entre los períodos de solidificación y transformación y el período de sub-transformación o período perlítico 8A, 8B, 8C y 8D, que se extiende del período de transformación hasta la temperatura atmosférica y aun inferior.

La gráfica por si sola se explica. Se ha tomado el por ciento de carbón en el eje de las ordenadas y la temperatura en grados centígrados en el de las abscisas.

Una fundición de 4.30 % de carbón es llamada fundición eutéctica. Las ligas que tienen menor cantidad de carbón, tanto aceros como fundiciones, son llamadas hipoeutécticas, y las que tienen más carbón, son llamadas hipereutécticas. Una fundición eutéctica se solidifica sin selección a una temperatura única, -1135°, formando únicamente el eutéctico conocido bajo el nombre de ledeburita y que afecta una forma que recuerda los rayos de las colmenas, las paredes celulares estando formadas de cementita eutéctica y el relleno de austenita eutéctica que no es sino el fierro gama saturado de cementita disuelta. Por enfriamiento la cementita eutéctica no sufre modificaciones; pero la austenita eutéctica se transforma progresivamente en una mezcla de cementita llamada proeutectoide y de perlita, y esta mezcla es llamada austenoide-eutéctica.

La solidificación de las ligas hipoeutécticas, fundiciones blancas y aceros, comienza tanto para unas como para otros por un período pro-eutéctico o período selectivo en el que la austenita primaria, es decir, el fierro gama que contiene la cementita disuelta, se solidifica progresivamente, dando así nacimiento en carbón del metal que permanece líquido. Esto conduce al enriquecimiento del metal fluido residual al 4.30 % de carbono. En estas ligas hay pues dos períodos distintos de solidificación: el primero selectivo, pro-eutéctico, con caída de temperatura, en el que se solidifica la austenita primaria, y el período no selectivo, eutéctico, a temperatura constante en el cual el resto se solidifica bajo forma de eutéctico.

En las ligas todavía más pobres, que comprenden casi todos los aceros industriales, el enriquecimiento de ordinario no alcanza 4.30 % o la relación eutéctica y solo hay un período de formación en el que se solidifica una austenita más y más rica en carbón, formando granos o cristales alotriomórficos o xenomorfos, cuya parte central es más pobre en carbón que la --

Las divisiones generales del diagrama son dos:

1.a - El periodo de solidificación. Regiones 2 y 3, limitadas por las líneas "en forma de V" ABE y ACDE.

2.a - El periodo de transformación. A este periodo le llama-
 men a menudo crítico; pero es mejor llamarle de transformación
 para señalar mejor la distinción que hay entre transformación
 sólida y solidificación, además de que crítico es término usado
 Regiones 5, 6 y 7, limitadas por un grupo de líneas en forma de
 V, del mismo género COEGC.

Además tenemos el periodo austenítico, región 4, que se en-
 cuentra entre los periodos de solidificación y transformación y
 el periodo de sub-transformación o periodo "período 8A, 8B,
 8C y 8D, que se extiende del periodo de transformación hasta la
 temperatura atmosférica y aun inferior.

La gráfica por sí sola se explica. Se ha tomado el por cien
 de carbono en el eje de las ordenadas y la temperatura en gra-
 dos centígrados en el de las abscisas.

Una fundición de 4.30 % de carbono es llamada fundición eu-
 téctica. Las ligas que tienen menor cantidad de carbono, tanto
 aceros como fundiciones, son llamadas hipoeutécticas, y las que
 tienen más carbono, son llamadas hipereutécticas. Una fundición
 eutéctica se solidifica sin selección a una temperatura única,
 1130°. Formando únicamente el eutéctico conocido bajo el nombre
 de ledeburita y que afecta una forma que recuerda los rayos de
 las columnas, las paredes celulares estando formadas de cemento
 ta eutéctica y el relleno de austenita eutéctica que no es sino
 el hierro gamma saturado de cemento dialeto. Por enfriamiento
 la cemento eutéctica no sufre modificaciones; pero la austenita
 ca eutéctica se transforma progresivamente en una mezcla de ce-
 mentita llamada proeutectoide y de perlita, y esta mezcla es
 llamada austenitoide-eutéctica.

La solidificación de las ligas hipoeutécticas, fundiciones
 planas y aceros, comienza tanto para una como para otra por
 un periodo pro-eutéctico o periodo selectivo en el que la auste-
 nita primaria, es decir, el hierro gamma que contiene la cementi-
 ta dialeto, se solidifica progresivamente, dando así naci-
 miento en carbono del metal que permanece líquido. Esto comienza
 al empiezo del metal líquido residual al 4.30 % de carbono
 no. En estas ligas hay pues dos periodos distintos de solidifi-
 cación: el primero selectivo, pro-eutéctico, con caída de tem-
 peratura, en el que se solidifica la austenita primaria, y el
 periodo no selectivo, eutéctico, a temperatura constante en el
 cual el resto se solidifica bajo forma de eutéctico.

En las ligas todavía más pobres, que comprenden casi todas
 las aceros industriales, el empiezo del periodo de solidifica-
 ción 4.30 % o la relación eutéctica y solo hay un periodo de
 transformación en el que se solidifica una austenita más y más
 rica en carbono, formando granos o cristales austeníticos o
 xenoníticos, cuya parte central es más pobre en carbono que la

parte exterior, la que se solidifica en último término. Esta solidificación es selectiva y con descendimiento de temperatura.

Las fundiciones hiper-eutécticas o sean con más de 4.30% de carbón, solidifican progresivamente al estado de cementita; a la que se da el nombre de primaria, empobreciendo el metal líquido residual en carbono hasta que alcanza el contenido eutéctico 4.30 %; y se solidifican a temperaturas constantes y sin selección.

Operando sobre todo en los cambios que tienen lugar en el período de transformación y sobre el acondicionamiento estructural de los productos que de allí resultan, es como pueden darse a las diferentes clases de acero, las cualidades -- que los hacen propios para sus usos especiales. Por esto el período 1/o. o de solidificación es el de mayor importancia para la metalurgia de la fundición y el 2/o. o de transformación para la del acero.

Si consideramos de una manera somera la marcha de la fundición durante la solidificación, podremos darnos cuenta de los cambios que en ella se verifican. La fundición con 4.30 % de carbono o fundición eutéctica, correspondiente a la ordenada B n' n" nos muestra que su solidificación se efectúa sin selección y a una temperatura constante de 1135°, formando -- una mezcla de partículas finas de dos substancias, el fierro, llamado aquí austenita y la cementita o Fe_3C . Esta fundición es un eutéctico (del griego EUTEXTOS que significa literalmente fundiendo bien), y que es como acabamos de ver, el conglomerado o mezcla mecánica de esas dos substancias; este eutéctico posee el punto de solidificación o de fusión menos elevado, es decir es la liga más fusible entre los compuestos -- puros de carbón y fierro; el punto de solidificación o de fusión puede abatirse más por la presencia de impurezas, notablemente por el fósforo.

En la figura 4 podemos apreciar la marcha de la solidificación desde el punto de vista cuantitativo. En cada uno de los diagramas del I al IV, las abscisas de las diferentes curvas miden los contenidos % de las substancias presentes a las diferentes temperaturas. Así vemos en el diagrama I, las abscisas de la curva de solidificación j' j", miden la cantidad de austenita primaria que se ha separado, al estado sólido, de la parte fundida a cada temperatura. A 1475° C., su abscisa es 0, lo que significa que la cantidad de austenita a esta temperatura es nula todavía, y que la de la parte que permanece líquida es 100, por diferencia, y que la solidificación de la austenita está próxima a comenzar. A j" o 135°, su abscisa es 100, lo que significa que enfriando de j' a j", 1475° -- a 1350°, la cantidad de austenita primaria que se ha solidi-

parte exterior, la que se solidifica en último término. Esta solidificación es selectiva y los componentes de menor fusión.

Las fundiciones hiper-eutécticas se caracterizan por tener un punto de ebullición superior al estado de ebullición de los componentes que las forman, esto es, el punto de ebullición del metal líquido residual en carbono hasta que alcanza el estado de eutéctico 4.30% y se solidifica a temperatura constante y sin selección.

Operando sobre todo en los campos que tienen lugar en el período de transformación y sobre el eutectico, el producto de los productos que se allí resultan, es como que se dan a las diferentes clases de acero, las cualidades que los hacen propios para sus aplicaciones. Por esto el período 1% de solidificación es el de mayor importancia para la metalurgia de la fundición y el 2% de transformación para la del acero.

Si consideramos de una manera sencilla la marcha de la transformación durante la solidificación, podemos darnos cuenta de los cambios que en ella se verifican. La fundición con 4.30% de carbono o fundición eutéctica, correspondiente a la orden de 8 y 8 nos muestra que en solidificación se efectúa una selección y a una temperatura constante de 1130°, formando una mezcla de partículas finas de los componentes, el hierro llamado acero austenítico y la cementita o Fe₃C. Esta fundición es un eutéctico (del tipo eutéctico) y que es como nosamos de ver, el compuesto o mezcla mecánica de esas dos substancias; esta eutéctica posee el punto de solidificación o de fusión menor e incluso, se dice en la literatura más reciente entre los compuestos que puede separarse más por la presencia de impurezas, notablemente por el fósforo.

En la figura 4 podemos apreciar la marcha de la solidificación desde el punto de vista cuantitativo. En cada uno de los diagramas del I al IV, las abscisas de las diferentes curvas miden los contenidos de las substancias presentes a las diferentes temperaturas. Así vemos en el diagrama I, las abscisas de la curva de solidificación "1", miden la cantidad de austenita primaria que se ha separado, al estado sólido, de la parte fundida a cada temperatura. A 1470°C, su abscisa es 0, lo que significa que la cantidad de austenita a esta temperatura es nula todavía, y que la parte que permanece líquida es 100, por diferencia, y que la solidificación de la austenita está próxima a comenzar. A 1350°C, su abscisa es 100, lo que significa que durante de "1", 1470°C a 1350°C, la cantidad de austenita primaria que se ha solidificado

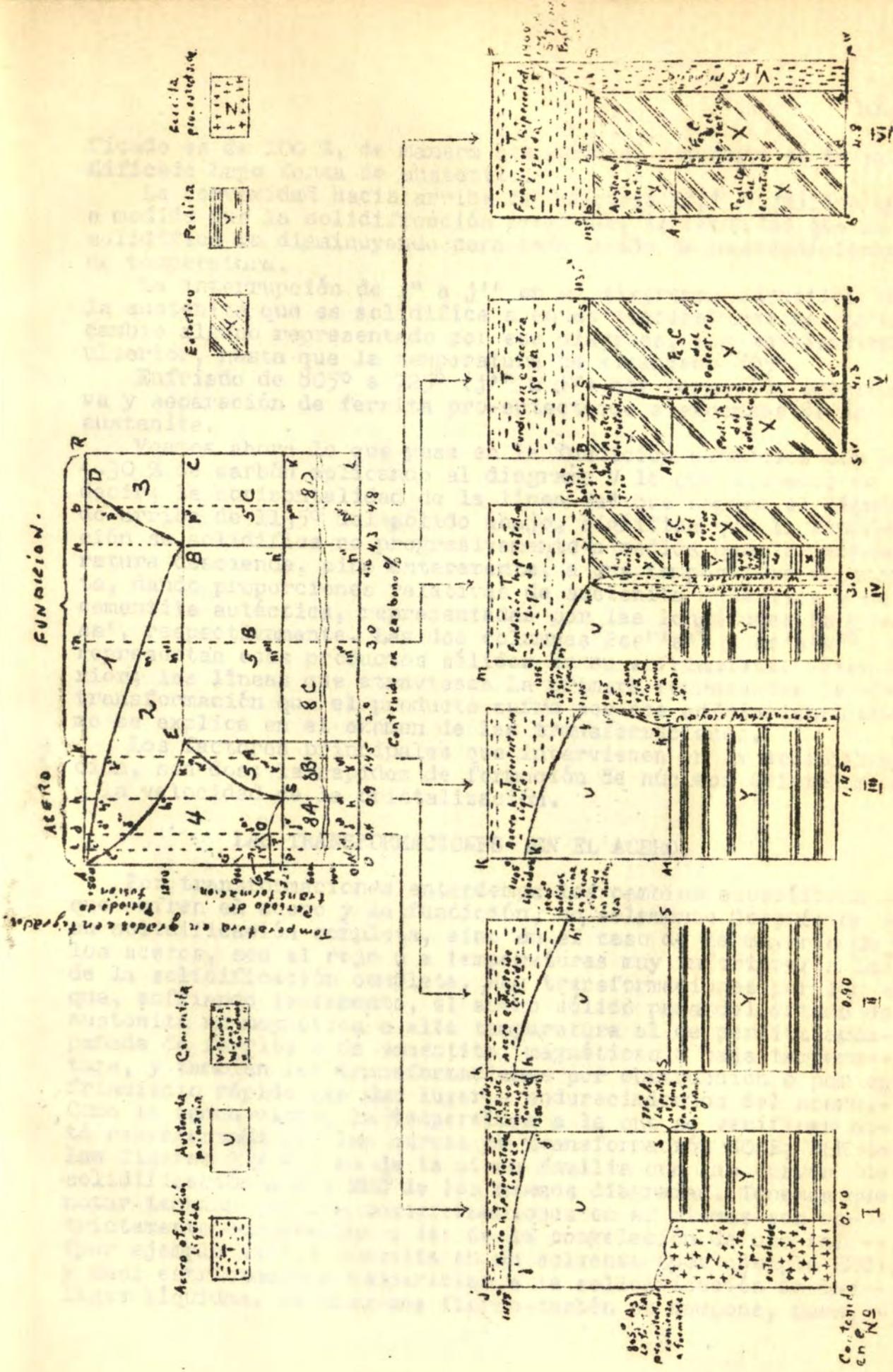
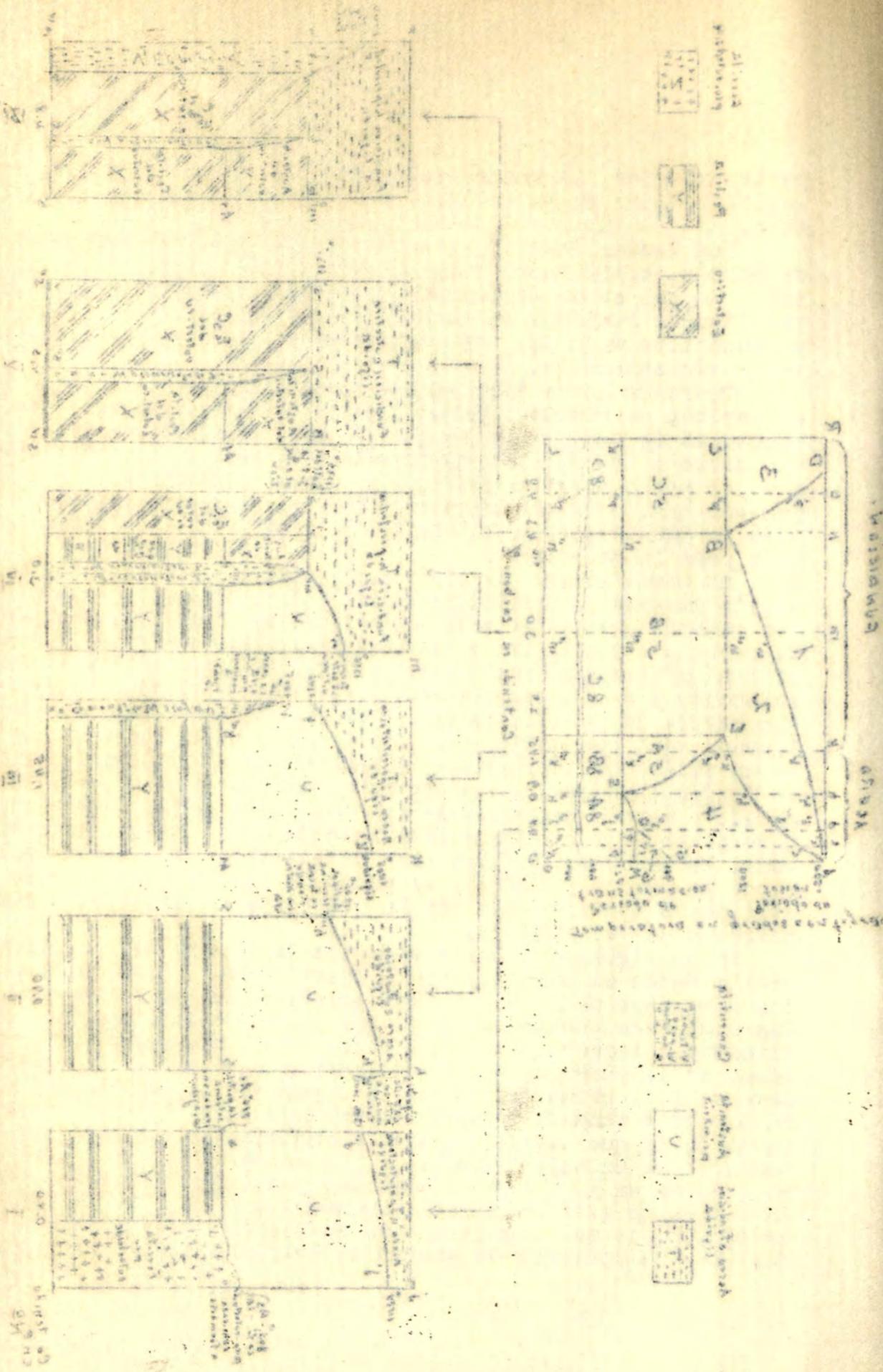


Fig. 4 - Marcha cuantitativa de la solidificación



ficado es de 100 %, de manera que todo el conjunto se ha solidificado bajo forma de austenita.

La convexidad hacia arriba de la curva $j'j''$ significa que a medida que la solidificación progresa, la cantidad que se solidifica va disminuyendo para cada grado de descendimiento de temperatura.

La interrupción de j'' a j''' en el diagrama, significa que la austenita que se solidifica a estas temperaturas no sufre cambio alguno representado por ese diagrama, por enfriamiento ulterior, hasta que la temperatura ha alcanzado 805° .

Enfriado de 805° a 725° (j''' a j^v) hay formación progresiva y separación de ferrita pro-eutectoide a expensas de la austenita.

Veamos ahora lo que pasa en la fundición eutéctica con 4.30 % de carbón aplicando al diagrama V lo que acabamos de decir; la horizontalidad de la línea Bs' que separa el líquido arriba de 1135° del sólido abajo, significa que la fundición se solidifica no progresivamente a medida que la temperatura desciende, sino enteramente, a una temperatura constante, dando proporciones relativas de austenita eutéctica y de cementita autéctica, representadas por las longitudes Bs y ss' , respectivamente. Las dos columnas $Bss''s'v$ y $ss's''s'''$, representan esos productos sólidos en su enfriamiento ulterior; las líneas que atraviesan la primera representan la transformación que el producto sufre por ese enfriamiento como se explica en el examen de las transformaciones.

Los factores principales que intervienen en la solidificación, son dos: la rapidez de formación de núcleos cristalinos y la velocidad de la cristalización.

LAS TRANSFORMACIONES EN EL ACERO.

Por transformaciones entendemos los cambios específicos que sufren el acero y la fundición, no solamente después de su solidificación completa, sino en el caso de la mayoría de los aceros, sea al rojo o a temperaturas muy inferiores a las de la solidificación completa. Hay transformaciones por las que, enfriando lentamente, el acero sólido pasa del estado de austenita no magnética a alta temperatura al de perlita acompañada de ferrita o de cementita, magnéticas a baja temperatura, y también las transformaciones por obstrucción o por enfriamiento rápido que dan lugar a endurecimientos del acero. Como lo hemos visto, la temperatura a la que se verifican está representada por las curvas de transformación GOSE, PSK de las figuras 3 y 4 y es de la misma familia que las curvas de solidificación ABD y EBC de los mismos diagramas. Tenemos que notar también que las transformaciones en sí mismas son estrictamente comparables a las de la congelación de una sal (por ejemplo NaNO_3) disuelta en un solvente (por ejemplo H_2O), y casi estrictamente comparables a la solidificación de las ligas líquidas. El diagrama fierro-carbón se compone, pues, -

de dos series de carbón absolutamente comparables, la superior ABD, EBC que representa la solidificación y la inferior GOSE, PSK que representa las transformaciones que se efectúan en el seno del metal sólido, rojo todavía.

En particular, las transformaciones son (1) selectivas; (2) comienzan cuando el enfriamiento alcanza al líquido GOSE; (3) por la separación del exceso o sustancias pro-eutectoides; (4) a una velocidad tal, que el residuo no transformado, el metal madre (sólido) austenita, enfriándose sigue al liquidarse, su contenido en carbón y su temperatura siendo representados a cada instante por la abscisa y la ordenada de esas curvas; hasta que (5) alcanza el contenido en carbón y la temperatura de transformación del eutectoide, exactamente como la parte líquida residual de las ligas en vía de solidificación sigue su liquidus, hasta que su contenido en carbón y su temperatura alcanzan simultáneamente las del eutéctico; (6) se transforma luego en un eutectoide compuesto, la perlita, exactamente como el autéctico fundido, se solidifica en un eutéctico compuesto, la ledeburita. La austenita de este contenido en carbón 0.90 % es a menudo designada bajo el nombre de hardenita.

Se designan como sigue los límites del período de transformación: el límite inferior PSK es llamado A₁, o, cuando la temperatura va disminuyendo, recalcencia. La parte hipoeutectoide del límite superior GOS se le llama A₃. La línea o zona MO a la que tiene lugar especialmente el cambio de la ferrita beta en ferrita alfa en el enfriamiento y el cambio inverso en el recalentamiento A₂.

Cuando el por ciento en carbono está comprendido entre 0.48 y 0.90, la ferrita que se forma durante la transformación parece pasar, toda de una vez, al estado alfa; de manera que aquí las líneas A₂ y A₃ parecen coincidir. Por esto es que la parte OS, del límite superior, se llama A₂₋₃. En el acero hiper-eutectoide y en la fundición, la línea SK puede ser llamada A₃₋₂₋₁ porque a esta línea tienen lugar simultáneamente, las transformaciones designadas respectivamente A₃, A₂ y A₁. El punto S puede llamarse Ar-2-1.

Para cada uno de estos puntos, A₁, A₂, etc., existe una temperatura de equilibrio a la cual el cambio que representa debe producirse, aunque, en realidad, puede no producirse realmente, durante el calentamiento, más que cuando la temperatura se haya elevado arriba de este punto de equilibrio, y, durante el enfriamiento, que cuando la temperatura se haya abatido debajo de este punto. Esta temperatura puede ser llamada Ae; de manera que Ae₁ representa la temperatura a la que el cambio A₁ debería teóricamente producirse, la temperatura exacta a la que se produciría si no hubiera retardo de ninguna clase. Ae₁, Ae₂ representan pues, respectivamente, la temperatura de equilibrio para la recalcencia durante el enfriamiento y para el punto de absorción durante el recalentamiento, la gran pérdida y el gran restablecimiento de las pro

de dos series de carbon de carbon absolutamente comparables, la super-rior AHD, EBC que representa la solidificacion y la inferior GOSB, PSK que representa las transformaciones que se efectúan en el seno del metal sólido, rojo todavía.

En particular, las transformaciones son (1) selectivas; (2) comienzan cuando el enfriamiento alcanza al líquido GOSB; (3) por la separación del exceso o substancias pro-eutecticoas; (4) a una velocidad tal, que el residuo no transformado el metal madre (sólido) austenita, enfriándose sigue al líquido, su contenido en carbon y su temperatura siendo repre-sentados a cada instante por la abscisa y la ordenada de esas curvas; hasta que (5) alcanza el contenido en carbon y la tem-peratura de transformación del eutectoide, exactamente como la parte líquida residual de las ligas en via de solidifica-ción sigue su líquida, hasta que su contenido en carbon y su temperatura alcanzan simultáneamente las del eutectoico; (6) se transforman luego en un eutectoico compuesto, la ferrita, exactamente como el eutectoico fundido, se solidifica en un eutectoico compuesto, la ledeburita. La austenita de este con-tenido en carbon 0.90 % es a menudo designada bajo el nombre de hardenita.

Se designan como sigue los límites del período de trans-formación: el límite inferior PSK es llamado A₁, o, cuando la temperatura va disminuyendo, recalescencia. La parte hiper-eutectoide del límite superior GOS se llama A₂. Las líneas A₁ y A₂ la que tiene lugar exactamente el cambio de la ferrita beta en ferrita alfa en el enfriamiento y el cambio inverso en el recalescimiento A₂.

Cuando el por ciento en carbon está comprendido entre 0.48 y 0.90, la ferrita que se forma durante la transforma-ción parece pasar, toda de una vez, al estado alfa; de manera que aquí las líneas A₁ y A₂ parecen coincidir. Por esto es que la parte OS, del límite superior, se llama A₂-3. En el acero hiper-eutectoico y en la fundición, la línea SK puede ser llamada A₂-2-1 porque a esta línea tienen lugar simultáneamente, las transformaciones designadas respectivamente A₂, A₁ y A₁. El punto S puede llamarse A₂-2-1.

Para cada uno de estos puntos, A₁, A₂, etc., existe una temperatura de equilibrio a la cual el cambio que representa debe producirse, aunque, en realidad, puede no producirse realmente, durante el calentamiento, más que cuando la tempe-ratura se haya elevado arriba de este punto de equilibrio; y durante el enfriamiento, que cuando la temperatura se haya elevado debajo de este punto. Esta temperatura puede ser llama-da A_e; de manera que A_{e1} representa la temperatura a la que el cambio A₁ debería técnicamente producirse, la temperatura exacta a la que se produce si no hubiera retardo de ningún tipo. A_{e1}, A_{e2} representan pues, respectivamente, la tem-peratura de equilibrio para la recalescencia durante el en-friamiento y para el punto de absorción durante el recales-cimiento, la gran pérdida y el gran restablecimiento de las pro-piedades.

propiedades magnéticas al recalentamiento y al enfriamiento, el fin de la reabsorción de la ferrita al recalentamiento y el comienzo de su precipitación al enfriamiento. Las temperaturas exactas de estos diversos fenómenos se aproximan tanto más de estas temperaturas de equilibrio, cuanto el retardo es menor y menos acentuado; pero jamás pueden pasarlo y es dudoso que puedan alcanzarlo exactamente. En efecto, hay lugar a suponer la existencia de una región que pueda jugar el papel de obstáculo infranqueable, impidiendo las transformaciones, en el momento del enfriamiento, de llevarse a efecto a la misma temperatura que en el momento del enfriamiento.

Los puntos A_c y A_r se usan para las temperaturas a las que se producen estos diferentes cambios y para distinguirlos de los puntos A_e a los que estos cambios deberían producirse teóricamente cuando el sistema está en equilibrio. Los puntos A_c con las temperaturas reales a las que se producen los cambios durante el calentamiento y los A_r al enfriamiento. c es la inicial de "chauffer" y r la de "refroidir". Estos diversos símbolos A_c , A_3 , etc., significan no solamente las temperaturas reales a las que empieza una transformación dada, sino aún la misma transformación. La recalcificación, literalmente "el recalentamiento" es un término que se ha empleado primero de una manera específica para designar el cambio A_{r1} de la austenita en perlita, que en las condiciones favorables, provoca una reelevación visible de la temperatura, manifestándose por ponerse más claro el color del metal llevado ya al rojo sombra. Hay que restringir el empleo de este término en este sentido específico porque ya está identificado con este cambio y nada puede ganarse dándole un sentido genérico para el que es suficiente el término "transformación" y porque estas transformaciones no constituyen estrictamente una recalcificación, puesto que no provocan elevación de temperatura.

La temperatura del cambio inverso A_{c1} a veces es llamada "la temperatura de absorción" o "punto de absorción" a causa de la importante cantidad de calor absorbida por el metal cuando se le recalienta más allá de este punto. Este cambio es el índice cierto de la adquisición de la facultad de temple.

Los cambios de la estructura íntima que tienen lugar durante la transformación, nos lo muestra en forma general la figura 4 según Stead. Este cita las líneas GOS o A_3 y SE arriba, y PSK o A_1 abajo. Las letras de esta figura corresponden a las de las figuras 3 y 4.

Estos cambios son de dos especies, sea que se produzcan en la zona pro-eutectoide, sea que se produzcan en la matriz, formando mallas de perlita rodeadas por esta zona. La zona comienza a formarse cuando la temperatura desciende más allá de A_3 o SE, límite superior del período de transformación, y sus paredes se espesan gradualmente con el enfriamiento durante todo este período; al contrario, es reabsorbido gradualmente

... las temperaturas de equilibrio, cuando el retardo es menor y menos acentuado; pero jamás pueden pasarlo y es imposible que puedan alcanzarlo exactamente. En efecto, hay lugar a suponer la existencia de una región que pueda jugar el papel de opáculo infranqueable, impidiendo las transformaciones, en el momento del enfriamiento, de llevarse a efecto a la misma temperatura que en el momento del enfriamiento.

Los puntos A₁ y A₂ se usan para las temperaturas a las que se producen estos diferentes cambios y para distinguirlos de los puntos A₃ a los que estos cambios deberían producirse teóricamente cuando el sistema está en equilibrio. Los puntos A₁ con las temperaturas reales a las que se producen los cambios durante el calentamiento y los A₂ al enfriamiento. La inicial de "charnier" y la de "retrogrado". Estos diversos símbolos A₁, A₂, etc., significan no solamente las temperaturas reales a las que empieza una transformación dada, sino aún la misma transformación. La recalescencia, literalmente "el recalentamiento" es un término que se ha empleado primero de una manera específica para designar el cambio A₁ de la austenita en perlita, que en las condiciones favorables, provoca una recalescencia visible de la temperatura, manifestándose por ponerse más claro el color del metal lavado ya al rojo oscuro. Hay que restringir el empleo de este término en este sentido específico porque ya está identificado con este cambio y nada puede ganarse dándole un sentido genérico para el que es suficiente el término "transformación" y porque estas transformaciones no constituyen estrictamente una recalescencia, puesto que no provocan elevación de temperatura. La temperatura del cambio inverso A₂ a veces se llama "la temperatura de absorción" o "punto de absorción" a causa de la importante cantidad de calor absorbida por el metal cuando se le recalienta más allá de este punto. Este cambio es el índice cierto de la adquisición de la facultad de temple.

Los cambios de la estructura íntima que tienen lugar durante la transformación, nos lo muestra en forma general la figura A según Stead. Este cita las líneas GOS o A₁ y SE según P₁ y P₂ o A₁ según. Las letras de esta figura corresponden a las de las figuras 3 y 4.

Estos cambios son de dos especies, así que se producen en la zona pro-eutectoide, así que se producen en la matriz, formando mallas de perlita rodeadas por esta zona. La zona comienza a formarse cuando la temperatura desciende más allá del límite superior del período de transformación, y sus paredes se espesan gradualmente con el enfriamiento durante todo este período; al contrario, es resorbido gradualmente

por la matriz en el recalentamiento durante todo este mismo período.

La matriz está formada de austenita a todas las temperaturas arriba de A_1 (aquí se le indica en negro) y de perlita a todas las temperaturas abajo (aquí se le indica por rayas); - hay cambio brusco, la recalcificación, al pasaje de la austenita a perlita, cuando se enfría más allá de A_1 ; y cambio brusco, la absorción, al paso de la perlita a austenita, cuando se recalienta más allá de A_1 . El campo está formado de ferrita, es decir de hierro casi puro en los aceros con menos de 0.90 % de carbono, llamados aceros hipo-eutectoides y de cementita, Fe_3C , en los aceros con más de 0.90 % de carbono, -- llamados hiper-eutectoides. La austenita negra, como ya hemos visto, parece ser una solución sólida de cementita en hierro, mientras que la perlita es el conglomerado autectóide, -- láminas de cementita perlítica, Fe_3C , con la ferrita perlítica, en la relación aproximada de uno para la primera y 6.4 para la segunda. El límite superior de este período de transformación desciende de alrededor de 920° a 725° y recomenta de nuevo a 1135° cuando el contenido en carbono se eleva de 0 a -- 0.90 %, luego a 1.70 %.

Si hacemos el recorrido desde el punto h de la figura 3 -- que nos representa el acero eutectoide y en el punto H en forma líquida pues se encuentra a 2000° C., y seguimos su enfriamiento descendiendo por esta línea, nos damos cuenta que se solidifica en forma de austenita cuando la temperatura alcanza el punto h' o 1445° . Pero la solidificación en lugar de -- terminarse a esta temperatura, se continúa progresivamente -- hasta que la temperatura ha alcanzado el punto h'' está completamente sólido; entre las temperaturas h' y h'' hay mezcla de ciertas partículas de cementita sólida con ciertas partículas todavía líquidas. El diagrama II de la figura 4, muestra la -- marcha cuantitativa de esta solidificación como un crecimiento progresivo de la cantidad de austenita sólida, mientras -- que la temperatura baja de 1445° o h' sobre el líquido a -- 1205° o h'' sobre el sólido.

Si seguimos la marcha del enfriamiento en la ordenada, no encontramos cambio hasta que la temperatura del metal sólido -- ha alcanzado S. Pero en cuanto el acero comienza a enfriarse -- más allá de S, la austenita que formaba su substancia, se -- transforma súbitamente en perlita con un desprendimiento de -- calor tal, que el metal, apenas rojo, vuelve a brillar de una manera ostensible.

Esta transformación del eutectoide en perlita a una temperatura única es comparable a la de la fundición eutéctica con 4.30 % de carbono, bajo forma de ledeburita. Esto puede apreciarse cuantitativamente en la línea eutectoide de 725° del -- diagrama II de la figura 4, mostrando que la línea SS es la -- más simple posible.

Esto es de gran importancia. El temple del acero por enfriamiento rápido consiste en enfriarlo más allá de S lo sufi

por la matriz en el recalentamiento durante todo este mismo periodo.

La matriz está formada de austenita a todas las temperaturas. Las aristas de A1 (adul) se le indican en negro y de perlitita a todas las temperaturas (adul) se le indican por rayas. Hay cambio brusco, la recalcificación, al pasar de la austenita a perlitita, cuando se entra más allá de A1; y cambio brusco, al pasar de la perlitita a austenita, cuando se recalienta más allá de A1. El campo está formado de ferrita, se describe el hierro casi puro en los aceros con menos de 0.20% de carbono, llamados aceros hipoeutectoides y de cementita, Fe3C, en los aceros con más de 0.20% de carbono, llamados hiper-eutectoides. La austenita negra, como ya hemos visto, parece ser una solución sólida de cementita en hierro gamma, mientras que la perlitita es el conglomerado austenita-láminas de cementita perlitica, Fe3C, con la ferrita perlitica, en la relación aproximada de uno para la primera y 6.4 para la segunda. El límite superior de este periodo de transformación de austenita a ferrita y cementita de 720° a 750° y recuenta de nuevo a 1150° cuando el contenido en carbono se eleva de 0.20% a 0.90%, luego a 1.70%.

Si hacemos el recorrido desde el punto h de la figura 1 que nos representa el acero eutectoide y en el punto H en la línea líquida para aceros a 2000° C., y seguimos su entrada al punto descendiendo por esta línea, nos damos cuenta que se solidifica en forma de austenita cuando la temperatura alcanza al punto h' o 1445°. Pero la solidificación en lugar de terminarse a esta temperatura, se continúa progresivamente hasta que la temperatura ha alcanzado el punto h'' está completamente sólida; entre las temperaturas h' y h'' hay mezcla de ciertas partículas de cementita sólida con ciertas partículas líquidas. El diagrama II de la figura 4, muestra la marcha cuantitativa de esta solidificación como un crecimiento progresivo de la cantidad de austenita sólida, mientras que la temperatura baja de 1445° o h' sobre el líquido a 1205° o h'' sobre el sólido.

Si seguimos la marcha del enfriamiento en la ordenada, no encontramos cambio hasta que la temperatura del metal sólido ha alcanzado S. Pero en cuanto el acero comienza a enfriarse más allá de S, la austenita que forma su estructura, se transforma súbitamente en perlitita con un desprendimiento de calor latente, que el metal, apenas rojo, vuelve a brillar de una manera característica.

Esta transformación del eutectoide en perlitita a una temperatura única es comparable a la de la transformación eutética con 4.30% de carbono, bajo forma de ledeburita. Esto puede verse cuantitativamente en la línea eutectoide de 725° del diagrama II de la figura 4, mostrando que la línea SS es la más simple posible.

Esto es de gran importancia. El temple del acero por enfriamiento rápido consiste en enfriarlo más allá de S lo suficiente para que se forme la perlitita.

cientemente rápido para impedir el paso de la austenita que existe arriba de S, al estado de perlita al cual tiende el -- acero a pasar abajo de S, de manera de impedir la transformación y retener el acero al estado de martensita, intermedia-- rio entre la austenita y la perlita y más duro que cada uno -- de ellos. La martensita es el estado bien conocido del acero -- fuertemente templado. La recalcancia representa el cambio -- completo de la austenita a la perlita, pasando por la marten-- sita, cambio que no encuentra el tiempo necesario para su cum-- plimiento, más que por el enfriamiento lento. Una vez que el -- acero ha sufrido esta recalcancia por el enfriamiento lento, aun cuando sea muy poco abajo de S, no puede tomar el temple, cualquiera que sea la rapidez del enfriamiento posterior. La recalcancia representa pues la pérdida de la facultad de -- temple.

No hay en el enfriamiento ulterior cambio alguno que ame-- rite sea notado y el metal está formado de perlita.

Si recalentamos el acero, los cambios se verificarán en -- orden inverso. En realidad la mayor parte de las transforma-- ciones que ocurren en los metales sólidos se retardan, al me-- nos durante el enfriamiento. La temperatura de recalcancia -- es de 725° , pero en las condiciones ordinarias el enfriamien-- to sufre un retardo de 35° , así que se produce realmente -- cuando la temperatura es de 690° . Por varias razones hay me-- nos retardo calentando y aun puede no haberlo.

Aumentando el retardo es como el enfriamiento rápido es -- la causa del endurecimiento del acero. El retardo es enton-- ces tan grande, que, antes que la transformación en perlita -- haya tenido lugar de producirse, la temperatura ha descendido tan bajo, y la rigidez molecular se ha vuelto tan grande, -- que pone obstáculo al cambio y lo impide en gran parte.

A causa de la recalcancia la masa alcanza una tempera-- tura tal, a la que la transformación se produciría, si en vez de retardo hubiese equilibrio perfecto. En consecuencia aun-- que haya una temperatura única, alrededor de 725° , a la que -- esta transformación debiese producirse, en realidad existe -- una cierta serie de temperaturas a las que puede tomar naci-- miento, y puede, en realidad, extenderse a cierto número de -- grados de temperatura.

Los cambios de la microestructura durante la transfor-- mación del acero eutectoide, están esquematizados en el dia-- grama VII de la figura 5, y hay que hacer notar el cambio -- brusco en Al-2-3 de austenita negra arriba, a perlita extra-- tificada abajo.

lentamente rápido para impedir el paso de la austenita que
 existe arriba de S, el estado de perlitita al cual tiende el
 acero a pasar abajo de S, de manera de impedir la transforma-
 ción y retener el acero al estado de martensita, intermedia
 que entra la austenita y la perlitita y más duro que cada uno
 de ellos. La martensita es el estado bien conocido del acero
 fuertemente templado. La recalcificación representa el cambio
 completo de la austenita a la perlitita, pasando por la martens-
 ita, cambio que no encuentra el tiempo necesario para su com-
 pletamiento, más que por el enfriamiento lento. Una vez que el
 acero ha sufrido esta recalcificación por el enfriamiento lento,
 aun cuando sea muy poco abajo de S, no puede tomar el temple,
 cualquiera que sea la rapidez del enfriamiento posterior. La
 recalcificación representa pues la pérdida de la facultad de
 temple.

No hay en el enfriamiento ulterior cambio alguno que ame-
 nite sea notado y el metal está formado de perlitita.

Si recalcificamos el acero, los cambios se verifican en
 orden inverso. En realidad la mayor parte de las transforma-
 ciones que ocurren en los metales alidos se retardan, al me-
 nos durante el enfriamiento. La temperatura de recalcificación
 es de 725°, pero en las condiciones ordinarias el enfriamiento
 se sufre un retardo de 75°, así que se produce realmente
 cuando la temperatura es de 650°. Por varias razones hay me-
 nos retardo calentando y aun puede no haberlo.

Aumentando el retardo es como el enfriamiento rápido es
 la causa del endurecimiento del acero. El retardo es antes
 que tan grande, que, antes que la transformación en perlitita
 haya tenido lugar de producirse, la temperatura ha descendido
 tan bajo, y la rigidez molecular se ha vuelto tan grande,
 que pone obstáculo al cambio y lo impide en gran parte.

A causa de la recalcificación la masa alcanza una tempera-
 tura tal, a la que la transformación se produce, si en vez
 de retardo hubiese equilibrio perfecto. En consecuencia sup-
 que haya una temperatura única, alrededor de 725°, a la que
 esta transformación débilmente productiva, en realidad existe
 una cierta serie de temperaturas a las que puede tomar natu-
 ralmente, y puede, en realidad, extenderse a cierto número de
 grados de temperatura.

Los cambios de la microestructura durante la transforma-
 ción del acero eutectoide, están esquematizados en el dia-
 grama VII de la figura 5. Y hay que hacer notar el cambio
 brusco en A1-S de austenita negra arriba, a perlitita negra
 típicamente abajo.

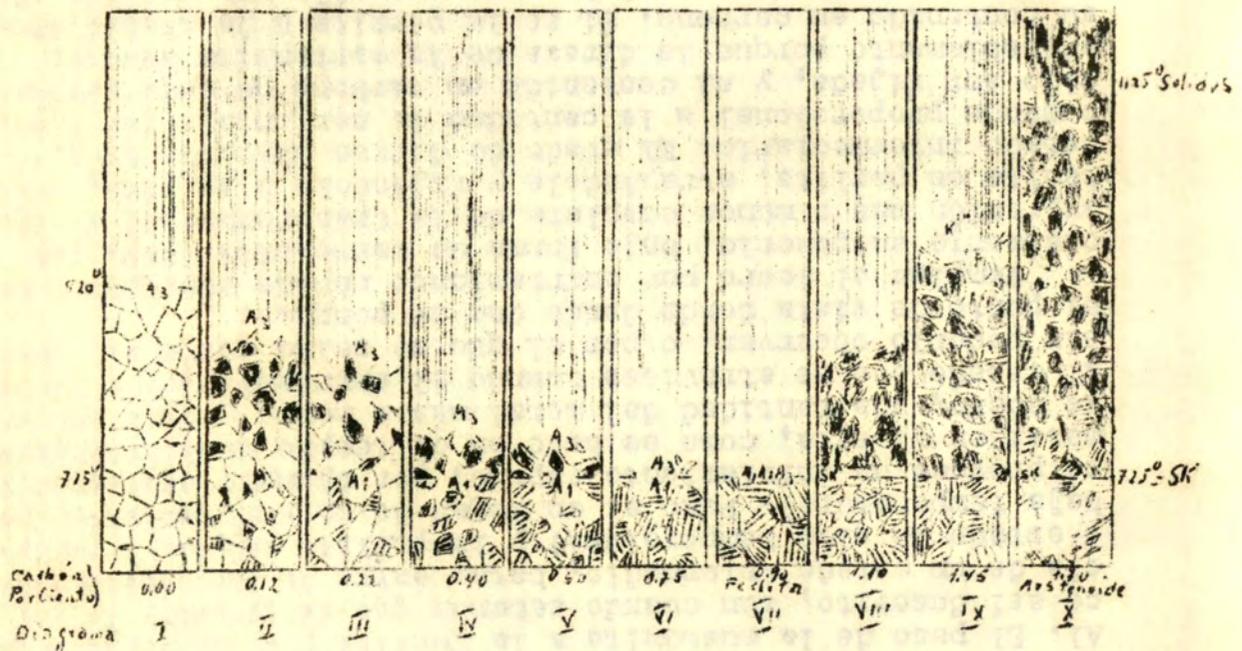
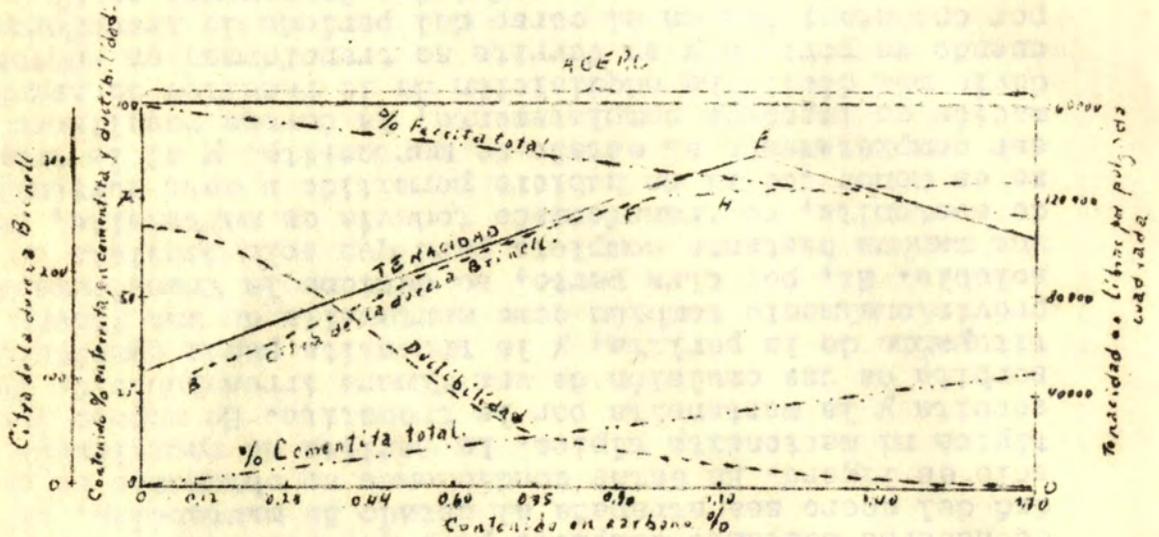
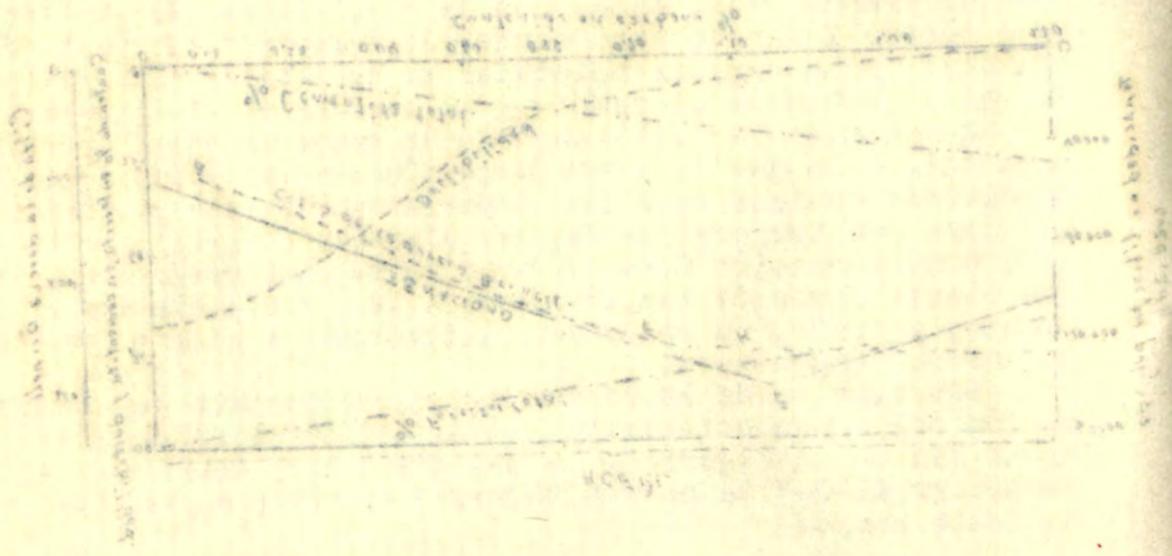
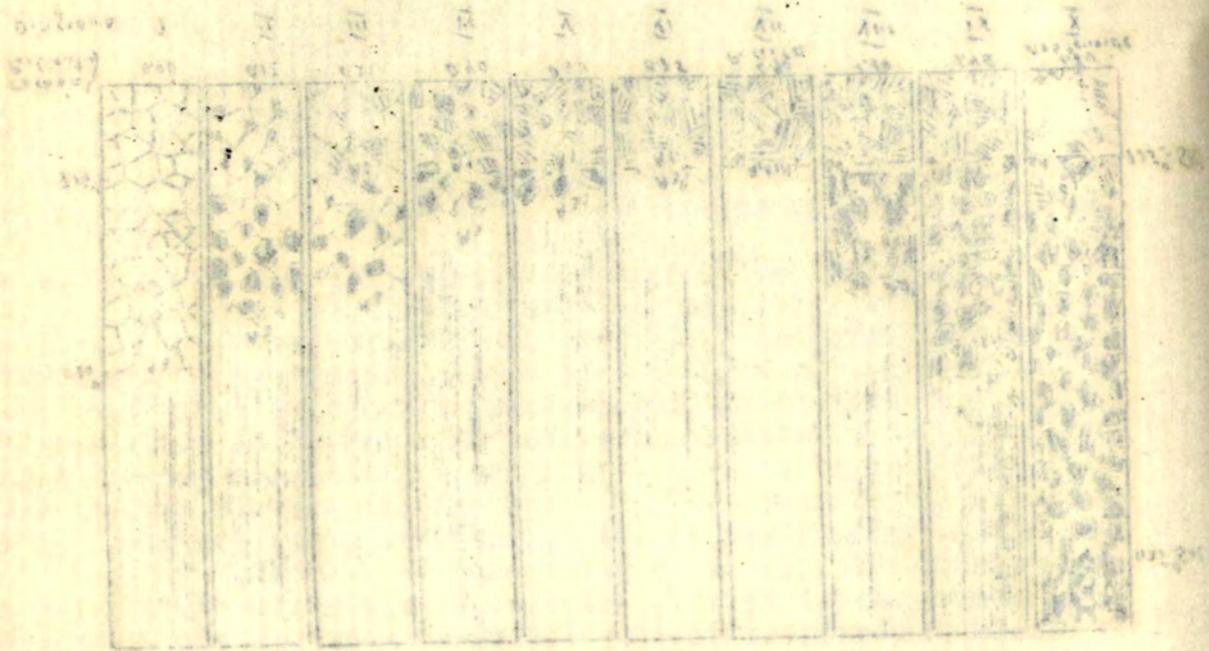


Fig. 5.- Cambios en la estructura del acero durante la transformación A3 a A1.-

С. 100
 1880
 1881
 1882
 1883
 1884
 1885
 1886
 1887
 1888
 1889
 1890
 1891
 1892
 1893
 1894
 1895
 1896
 1897
 1898
 1899
 1900



Y así podríamos ir escogiendo otros aceros con mayor o menor proporción de carbón y estudiándolos averiguar todos los cambios que sufren los mismos durante su solidificación y transformación.

La transformación consiste, durante el enfriamiento, primeramente en un cambio progresivo de la una parte de la austenita en ferrita pro-eutectoide cuando el enfriamiento progresa de A₃ a A₁, seguido por un cambio completo de lo que queda de austenita en perlita cuando el enfriamiento pasa a A₁. El paso de la austenita a la ferrita y a la perlita parece así descrito, aun cuando sabemos que se presume la existencia de un estado intermedio, beta, entre la austenita (gama, o estado de alta temperatura) y la perlita (alfa, o estado de baja temperatura). Pero si en lugar de un enfriamiento lento se provoca un enfriamiento rápido, por ejemplo sumergiendo el metal en el agua, como se hace en el temple de herramientas de acero, una cantidad del metal más o menos grande es cogida al estado que se atraviesa cuando el enfriamiento es lento -- sin poderlo observar, o por el que se salta sobre él, según el punto de vista desde donde uno se ponga.

Templar el acero por enfriamiento rápido consiste esencialmente en ponerlo, bajo forma de martensita dura, por la supresión más o menos completa de la transformación de la austenita en perlita, atrapándola y fijándola a su paso, en este estado intermediario. El grado de dureza obtenido es poco más o menos proporcional a la cantidad de martensita que haya podido ser fijada, y al contenido en carbono de esta martensita, probablemente porque la dureza de la martensita aumenta con su contenido en carbono. Si se le permite a la transformación de hacerse bastante completa para que sólo una pequeña cantidad del acero sea atrapada al estado de martensita, el temple solo es ligero. En estas condiciones no obtenemos ni perlita típica ni martensita típica. La perlita es reemplazada por la sorbita y la martensita por la troostita. Se supone que la sorbita es una emulsión de una finura irresoluble de la constituyente de la perlita, y la troostita puede considerarse provisionalmente también como martensita de una finura irresoluble. Si, por otra parte, se detiene la transformación de una manera bastante completa para que solo persista un poco de austenita, no transformada todavía en martensita, la dureza es menor que si se hubiera permitido a esta austenita pasar completamente al estado de martensita; y si la transformación es impedida completamente, la dureza resultante es todavía más débil. La adquisición de la facultad de temple es cuando su perlita y su ferrita se transforman en austenita -- por calentamiento en el curso del período de transformación y que la pierden cuando son enfriados lentamente en el curso de este mismo período.

Las principales teorías del temple son las siguientes: -- El endurecimiento es debido generalmente a la formación de la martensita, es decir a la posibilidad que se ha dejado a la --

Y así podríamos ir escogiendo otros aceros con mayor o menor proporción de carbono y estudiándolos averiguando los cambios que sufren los mismos durante su solidificación y transformación.

La transformación consiste, durante el enfriamiento, precisamente en un cambio progresivo de la parte de la austenita en ferrita proeutectóica cuando el enfriamiento progresa de A₃ a A₁, según por un cambio completo de la parte de austenita en ferrita cuando el enfriamiento pasa a A₁. El paso de la austenita a la ferrita y a la ferrita proeutectóica, son cuando sabemos que se presume la existencia de un estado intermedio, beta, entre la austenita (gamma) o estado de alta temperatura y la ferrita (alfa) o estado de baja temperatura). Pero si en lugar de un enfriamiento lento se provoca un enfriamiento rápido, por ejemplo sumergiendo el metal en el agua, como se hace en el temple de herramientas de acero, una cantidad del metal más o menos grande es cogida al estado que se atraviesa cuando el enfriamiento es lento, así podríamos observar, o por el que se sale sobre él, según el punto de vista donde uno se ponga.

Templar el acero por enfriamiento rápido consiste esencialmente en ponerlo, bajo forma de martensita dura, por la austenita más o menos completa de la transformación de la austenita en ferrita, atrayéndola y fijándola a su paso, en este estado intermedio beta. El grado de dureza obtenido es poco más o menos proporcional a la cantidad de martensita que haya podido ser fijada, y al contenido en carbono de esta martensita, probablemente porque la dureza de la martensita aumenta con el contenido en carbono. Si se le permite a la transformación de hacerse bastante completa para que sólo una pequeña cantidad del acero sea atrayida al estado de martensita, el temple solo es ligero. En estas condiciones no obtenemos ni ferrita típica ni martensita típica. La ferrita es reemplazada por la ferrita y la martensita por la troostita. Se supone que la ferrita es una emulsión de una finura irresoluble de la consistencia de la ferrita, y la troostita puede considerarse provisionalmente también como martensita de una finura irresoluble. Si, por otra parte, se detiene la transformación de una manera bastante completa para que solo persista un poco de austenita, no transformada todavía en martensita, la dureza es menor que si se hubiera permitido a esta austenita pararse completamente al estado de martensita; y si la transformación es impedida completamente, la dureza resultante es todavía más débil. La adaptación de la facultad de temple es cuando su ferrita y su ferrita se transforman en austenita y por calentamiento en el curso del período de transformación y que se pierden cuando son atraídos lentamente en el curso de este mismo período.

Las principales teorías del temple son las siguientes: El endurecimiento es debido generalmente a la formación de la martensita, es decir a la posibilidad que se ha debido a la

transformación de efectuarse hasta el estado de la martensita, pero no más allá, lo que puede hacerse: (1) enfriando rápidamente los aceros al carbón cuando estén al estado de austenita; (2) por la presencia de una proporción de elementos retardadores: carbón, níquel y manganeso, capaz de dejar alcanzar este estado solamente, por la transformación, aún por enfriamiento lento; (3) conduciéndolo a este estado por enfriamiento en el segundo grado del acero austenítico frío, por ejemplo en el acero líquido; o endureciendo (agriando) los aceros austeníticos por una deformación en frío, de manera de estimular el cambio retardado de austenita en martensita.

Además de estos cuatro métodos de temple, o, mejor de endurecimiento, existen otros dos que designaremos por las cifras (5) y (6). (5) es el endurecimiento de los aceros austeníticos por un recalentamiento bien regulado, que da bastante movilidad molecular para permitir la transformación avanzar hasta el estado intermedio duro; pero no tanto para permitirle alcanzar el estado final alfa. Este endurecimiento no tiene siempre lugar con formación de martensita. (6) es el endurecimiento de los metales maleables y de las ligas en general, el hierro alfa y el hierro gama incluidos, por deformación plástica. No existe razón alguna ni prueba que pueda hacer creer que esta deformación plástica actúe por formación de martensita, excepto en el caso del hierro gama.

2).- PARTES QUE COMPRENDE EL CONTROL

1/a.- Control de la composición química.

a)- Elementos ligados intencionalmente.

Es de suma importancia el control de la composición química de los aceros, pues sabiendo qué elementos contiene y en qué cantidad se encuentran dichos elementos, se podrá formar un criterio de la bondad del acero y de los usos a que puede ser destinado; si como venía diciendo el control químico no está aislado, sino que junto con él le acompañan el metalográfico y el de taller, el estudio y la opinión que pueda uno formarse por esto será bastante completo, permitiendo en esta forma usar de los aceros con toda seguridad en los artefactos donde se les emplee, sin temor a encontrar que el resultado de éstos en su uso vaya a ser perjudicial o imperfecto.

El control de los elementos ligados intencionalmente como son el carbono, manganeso, silicio, níquel, cromo, vanadio, tungsteno, molibdeno, cobre, etc., se efectúa por los métodos analíticos de rutina sumamente conocidos, teniendo sólo en cuenta el que dichos métodos sean de lo más rápidos posibles, cumpliendo a la vez con la precisión y exactitud requeridas para el acero. Así nos damos cuenta por ejemplo en la dosificación del carbono de los cambios en métodos tan radicales y provechosos que se han ido ideando con objeto de facilitar su dosificación y llegar a determinar el contenido de carbón en

transformación de estructuras hasta el estado de la martensita pero no más allá, lo que puede hacerse: (1) evitando rápidas enfriamientos al carbono cuando estén al estado austenítico; (2) por la presencia de una proporción de elementos retardadores: carbono, níquel y manganeso, capas de dejar alcanzar este estado solamente; (3) conduciéndolo a este estado por enfriamiento lento; (4) conduciéndolo a este estado por enfriamiento en el segundo grado del acero austenítico frío, por ejemplo en el acero líquido; o endureciendo (enfriando) los aceros austeníticos por una deformación en frío, de manera de evitar el cambio retardado de austenita en martensita.

A demás de estos cuatro métodos de temple, o mejor de endurecimiento, existen otros dos que destinamos por las siguientes (1) y (2) es el endurecimiento de los aceros austeníticos por un recalentamiento bien regulado, que da bastante movilidad molecular para permitir la transformación avanzar hasta el estado intermedio duro; pero no tanto para permitirle alcanzar el estado final blando. Este endurecimiento no tiene siempre lugar con formación de martensita. (3) es el endurecimiento de los metales maleables y de las ligas en general, el hierro y el hierro gama incluidos, por deformación plástica. No existe razón alguna ni prueba que pueda hacer creer que esta deformación plástica actúe por formación de martensita, excepto en el caso del hierro gama.

2) - PARTES QUE COMPRIENDE EL CONTROL

1.a - Control de la composición química.
 a) - Elementos ligados intencionalmente.
 Es de suma importancia el control de la composición química de los aceros, pues sabiendo qué elementos contiene y en qué cantidad se encuentran dichos elementos, se podrá formar un criterio de la bondad del acero y de los usos a que puede ser destinado; así como verla diciendo el control químico no está aislado, sino que junto con él se acompañan el metalográfico y el de taller, el estudio y la opinión que pueda uno formarse por esto será bastante completo, permitiendo en esta forma usar de los aceros con toda seguridad en los artículos donde se les emplee, sin temor a encontrar que el resultado de éstos en su uso vaya a ser perjudicial o imperfecto.

El control de los elementos ligados intencionalmente como el carbono, manganeso, níquel, cromo, vanadio, tungsteno, molibdeno, cobre, etc., se efectúa por los métodos analíticos de rutina sumamente conocidos, teniendo sólo en cuenta el que dichos métodos sean de lo más rápidos posibles, cumpliendo a la vez con la precisión y exactitud requeridas para el acero. Así nos damos cuenta por ejemplo en la acción del carbono de los cambios en métodos tan rápidos y provechosos que se han ido ideando con objeto de facilitar su clasificación y llegar a determinar el contenido de carbono en

un acero en poco menos de diez minutos, con una buena exactitud.

Los aceros se clasifican en general por los elementos que los integran como: aceros simples u ordinarios (o al carbono) y aceros especiales o ligados, siendo estos últimos los que -- contienen algún elemento agregado intencionalmente que le comunica ciertas propiedades mecánicas, físicas o químicas o mejora alguna de las que posee el acero simple.

Además se clasifican los aceros por su estructura microscópica y entonces se les denomina como: austeníticos, martensíticos, troostíticos, sorbíticos y perlíticos, según se encuentran integrados por unas u otras especies metalográficas.

Como veremos de una manera muy suscita, el carácter que imprimen los elementos ligados intencionalmente a los aceros -- es de suma importancia y muy variado, no sólo en lo que se relaciona a la diversidad de elementos que se agregan, sino también en relación con las cantidades que de los mismos entran -- en la liga y sería sumamente largo de explicar con detalle, haciendo los estudios completos, con gráficas, etc., la gama tan enorme de aceros ligados, no digo ya, con los elementos más -- usuales como níquel, cromo, manganeso, vanadio, tungsteno, molibdeno y silicio, sino aún en los más raros como cobalto, uranio, boro, zirconio y cerio, y de las combinaciones de ligas -- en que entren dos o más elementos aquí mencionados.

Una forma bastante práctica y acertada para la clasificación de aceros con números es la propuesta por el ingeniero -- Químico Fernando González, Químico de la Fundición Nacional de Artillería y que debería adoptarse, sobre todo en los grandes -- almacenes de acero y aun sería muy conveniente que el comercio se acostumbrara a denominar los aceros en una forma más racional y que a la vez sería de provecho para todos, dado que ahora sólo se denominan los aceros como suaves, medianos y duros -- en lo que se refiere a los aceros al carbón o simples y cromo níquel, alta velocidad, para herramientas; inoxidable, etc., -- a los ligados o especiales; siendo que como venía diciendo, no sólo hay que saber más o menos los elementos que componen la -- liga sino también en qué cantidad se encuentran dichos elementos, pues también por esto debe variar su precio.

El sistema consiste en denominar cada acero particular con una cifra, que expresa, a la vez en forma abreviada y bastante completa, su análisis químico, incluyendo los elementos esenciales y sólo dejando de expresar algunas impurezas.

En esta cifra van expresados los porcentajes de los elementos constitutivos, por números sencillos, dispuestos en un orden determinado, de acuerdo con su importancia y frecuencia -- en los aceros industriales. El orden siempre es el mismo y está en la forma siguiente:

Elementos: C - M_n - S_i - Ni - Cr - V - W - Mo - Co - Al

No. de orden: (1)-(2)-(3)-(4)-(5)-(6)-(7)-(8)-(9)-(10)

un acero en poco menos de tres minutos, con una buena exactitud.

Los aceros se clasifican en general por los elementos que los integran como: aceros simples u ordinarios (o al carbono) y aceros especiales o ligados, siendo estos últimos los que contienen algún elemento agregado intencionalmente que le confiere ciertas propiedades mecánicas, físicas o químicas o ambas a la vez.

Además se clasifican los aceros por su estructura microscópica y entoces se les denomina como: austeníticos, ferríticos, perlíticos y perlíticos, según se encuentran ligados por unas u otras especies metalúrgicas.

Como veremos de una manera muy sucinta, el carácter que imprimen los elementos ligados intencionalmente a los aceros es de suma importancia y muy variado, no sólo en lo que se refiere a la diversidad de elementos que se agregan, sino también en relación con las cantidades que de los mismos entran en la liga y serie elemental, tanto de explicar con detalle, cuando los estudios completos, con análisis, etc., la gama tan enorme de aceros ligados, no digo ya con los elementos más usuales como níquel, cromo, manganeso, vanadio, tungsteno, niobio y alúmina, sino en los más raros como cobalto, wolframio, etc., y de las combinaciones de ligas que entran en los mismos.

Una forma bastante práctica y sencilla para la clasificación de aceros con números es la propuesta por el ingeniero Químico Fernando González, Químico de la Fundación Nacional de Artillería y que deberá adoptarse, sobre todo en los grandes almacenes de acero y con series muy convenientes que el comercio se acostumbrara a denominar los aceros en una forma más sencilla y que a la vez sería de provecho para todos, dado que esto se denomina los aceros como suaves, medianos y duros en lo que se refiere a los aceros al carbono o simples y cromo-níquel, alta velocidad, para herramientas; inoxidables, etc., a los ligados o especiales; siendo que como vemos dichos elementos hay que saber más o menos los elementos que componen la liga sino también en qué cantidad se encuentran dichos elementos, pues también por esto debe variar su precio.

El sistema consiste en denominar cada acero particular con una cifra, que expresa, a la vez en forma abreviada y bastante completa, su análisis químico, incluyendo los elementos esenciales y sólo dejando de expresar algunas impurezas.

En esta cifra van expresados los porcentajes de los elementos constitutivos, por números sencillos, dispuestos en un orden determinado, de acuerdo con su importancia y frecuencia en los aceros industriales. El orden siempre es el mismo y es el siguiente:

Elementos: C - Mn - Si - Ni - Cr - V - W - Mo - Co - Al

No. de orden: (1)-(2)-(3)-(4)-(5)-(6)-(7)-(8)-(9)-(10)

Este ordenamiento es bien sencillo y es toda la clave del sistema.

Para dar a la vez el porcentaje en que se encuentra el elemento junto con su número de orden, se hace en la forma que abajo se expresa, la que ya ha sido adoptada en la práctica.

	1	indica	0.1 %
	2	"	0.2 "
	3	"	0.3 "
	10	"	1.0 " etc.

Porcentajes entermedios entre 0.1 a 0.2. Se indican según su mayor proximidad a 0.1 o 0.2 con los números 1 o 2. Si el porcentaje es precisamente 0.15 se tomará en cuenta, en cada caso particular, lo que tenga más importancia si considerarlo más cerca de 0.1 o de 0.2.

Entre el número que indica el porcentaje de un elemento y el del siguiente se intercala un guión que los separe. Cuando falta algún elemento antes que el que le sigue en el número de orden se pone un 0 y así agregando varios ceros, sin necesidad de separarlos con guiones, si faltan varios elementos seguidos, lo que facilita la denominación sin dar lugar a confusiones.

Ejemplos:

Acero al carbón.

Análisis: C..... 0.48 %
 Mn..... 0.72 "
 Si..... 0.39 "
 Cifra de clasificación: 5-7-4

Acero níquel cromo.

Análisis: C..... 0.29 %
 Mn..... 0.54 "
 Si..... 0.38 "
 Ni..... 2.60 "
 Cr..... 0.80 "

Cifra de clasificación: 3-5-4-26-8

Acero al tungsteno cromo vanadio (alta velocidad).

Análisis: C..... 0.76 %
 Mn..... 0.44 "
 Si..... 0.22 "
 Cr..... 4.00 "
 V..... 0.83 "
 W..... 17.00 "

Cifra de clasificación: 8-4-2-0-40-8-170.

En caso de no expresarse alguno de los elementos constitutivos, por no creerse necesario o por falta de análisis completo, se sustituirá éste, o éstos si son varios, por una X, la que no necesita separarse por guión.

Ejemplo:

Análisis incompleto: C..... 0.60 %
 Ni..... 3.00 "
 Cr..... 0.90 "

Cifra de clasificación: 6XX30-9.

El carbono forma carburos de hierro de la fórmula Fe_3C ; - produce, al ligarse con el hierro, un descenso en su peso específico siendo éste mayor cuanto más sea la cantidad de carbón ligado. El punto de fusión y respectivamente el de solidificación del hierro puro bajan por el carbono de 1528° a ---

Este ordenamiento es bien sencillo y es foga la clave del sistema.
 Para dar a la vez el porcentaje en que se encuentran el elemento junto con su número de orden, se hace en la forma que abajo se expresa, la que ya ha sido adoptada en la práctica.

1	índice 0.1 %
2	" 0.2 "
3	" 0.3 "
10	" 1.0 " etc.

Porcentajes intermedios entre 0.1 a 0.2. Se indican según su mayor proximidad a 0.1 o 0.2 con los números 1 o 2. Si el porcentaje es precisamente 0.15 se tomará en cuenta, en cada caso particular, lo que tenga más importancia al considerarlo más cerca de 0.1 o de 0.2.

Entre el número que indica el porcentaje de un elemento y el del siguiente se intercala un guión que los separa. Cuando falta algún elemento antes que el que le sigue en el número de orden se pone un 0 y así agregando varios ceros, sin necesidad de separarlos con guiones, si faltan varios elementos seguidos, lo que facilita la denominación sin dar lugar a confusiones.

Ejemplos:

Acero al carbono.
 Análisis: C.....0.48 %
 Mn.....0.72 "
 Si.....0.32 "
 Cifra de clasificación: 2-7-A

Acero níquel cromo.
 Análisis: C.....0.29 %
 Mn.....0.74 "
 Si.....0.38 "
 Ni.....2.60 "
 Cr.....0.80 "

Acero al tungsteno cromo vanadio (alta velocidad).
 Cifra de clasificación: 3-2-4-26-8
 Análisis: C.....0.76 %
 Mn.....0.44 "
 Si.....0.22 "
 Cr.....4.00 "
 V.....0.83 "
 W.....17.00 "

Cifra de clasificación: 8-4-2-0-40-8-170.
 En caso de no expresarse alguno de los elementos constitutivos, por no creerse necesario o por falta de análisis completo, se anulará éste, o éstos si son varios, por una X, la que no necesita separarse por guión.

Ejemplo:

Análisis incompleto: C.....0.60 %
 Mn.....3.00 "
 Cr.....0.90 "

Cifra de clasificación: 6XX30-9.
 El carbono forma carburos de hierro de la fórmula Fe₃C; produce, al ligarse con el hierro, un descenso en su peso específico siendo éste mayor cuanto más sea la cantidad de carbono ligado. El punto de fusión y respectivamente el de solidificación del hierro puro bajan por el carbono de 1538° a --

1145° con 4.2 %. El calor específico del hierro puro se aumenta, y probablemente proporcionalmente, con el contenido en -- carbono.

Calor de fusión: No cambia.

Calor de transformación: 1 gramo de cristales mixtos de -- 0.9 % de carbono en perlita da 15.9 calorías.

Dilatación térmica: Varía a diversas temperaturas y en la cantidad de carbono.

Conductibilidad térmica: Parece descender proporcionalmente con el % de aumento del carbono.

Conductibilidad eléctrica: Disminuye con el aumento de -- carbono.

Magnetismo: El acero al rojo muestra pequeña remanencia y alta permeabilidad; templado gran remanencia y pequeña permeabilidad.

Dureza: Aumenta con la cantidad de carbón, dependiendo de la constitución cristalina interna del -- material.

Propiedades de consistencia: Con el aumento de carbono -- hasta el 1 %. aumentan proporcionalmente estas propiedades, luego disminuyen hasta llegar al eutéctico o 4.2 % de carbono, además dependen en gran parte de los tratamientos térmicos a que se sujeten -- los aceros y de la forma en que se trabaja.

El silicio forma siliciuros de hierro, Fe_2Si , $FeSi$. Aumenta la permeabilidad y disminuye la coercibilidad; aumenta la resistencia del hierro a los agentes oxidantes y a los ácidos; disminuye la tenacidad. Comienza a verse su influencia en el 0. -- %. La elevación de resistencia que produce es a costa de la tenacidad. Disminuye notablemente la maleabilidad, la facultad de soldarse (caldear) y la entrada de gases disueltos en el hierro, y por esto se obtiene una fundición más compacta.

El fósforo forma fosfuros de hierro, Fe_3P y Fe_2P . Aumenta la resistencia a la tracción cuando se encuentra hasta en -- 0.5 %; por cantidad mayor, disminuye esta proporción. Con el descenso de la resistencia a la tracción, viene la fragilidad. El límite de elasticidad aumenta de 2.5 kilogramos por cada -- 0.1 % de fósforo. La dilatación y contracción se disminuyen -- por pequeñas cantidades de fósforo y para altos contenidos, -- prácticamente es nula. La resistencia a la ruptura en prueba entallada (Péndulo de Charpy) disminuye. La dureza aumenta -- proporcionalmente con el contenido en fósforo unas 12 unidades Brinell por cada 0.1 % de fósforo.

La conductibilidad eléctrica disminuye proporcionalmente con el contenido en fósforo.

Según la cantidad de carbono que contenga el acero así -- obra también el fósforo, en algunos sólo se tolera el 0.035 %

En los que tienen 0.1 % de carbono, puede tolerarse hasta el 0.1 % de fósforo y en otros algo más.

El fósforo produce en los aceros maleables lo que se llama fractura en frío. Aumenta el tamaño de los granos.

Propiedad desagradable del fósforo es la de tomar parte muy activa en el proceso de segregación. El eutéctico de fósforo de hierro tiene un punto de fusión muy bajo (953°), por lo que el intervalo de solidificación no es muy grande.

El manganeso es soluble en todas proporciones en el hierro, sea en estado líquido o sólido. Actúa en forma semejante al níquel, produce una fuerte elevación de la irreversibilidad de la transformación perlítica. Según Osmond, con 7 % de manganeso, se baja el punto A₁ hasta 0° , mientras el A₂ se sube en forma considerable (5 % manganeso a 580°). La transformación magnética disminuye, toma intensidad y se vuelve irreversible.

Se disminuye la gran velocidad de transformación de los cristales mixtos de hierro gamma-cementita en perlita por adición de manganeso a los aceros al carbono. Por esto los aceros al manganeso tienen la propiedad de volverse duros por sí mismos, y esto consiste en que la velocidad de enfriamiento normal es semejante al tiempo de enfriamiento que fuere necesario para obtener una estructura estable. Una parte del carbono permanece como carbón de temple disuelto (al estado de carburo).

La estructura de los aceros al manganeso cambia según las cantidades que del mismo contenga y en relación a la cantidad de carbono.

Con 0.2 al 0.8 % de carbono y con más de 12 respectivamente 7 % de manganeso, da estructura policentro austenítica.

Con la misma cantidad de carbono, es decir 0.2 respectivamente 0.8 % y 5 a 12 respectivamente, 3-7 % de manganeso, la estructura es martensita troostítica.

Con 0.2 % de C y 0 - 5 % de manganeso respectivamente, 0.8 % de carbono y 0-3 % de manganeso, perlítica.

Los aceros perlíticos se comportan como los aceros al carbono.

Los poliédricos, siendo de mayor dureza, son extraordinariamente tenaces. Poscen gran dilatación y límite elástico pequeño. El efecto del manganeso para la maleabilidad es muy desagradable, más si el contenido en carbono es a la vez mayor. Por contenido en carbono bajo, es deseable el manganeso porque así se eliminan los enemigos más grandes de la maleabilidad que son el azufre y el óxido de hierro. Ejerce acción desagradable sobre la propiedad de soldabilidad. La soldabilidad se acaba con el 1% de manganeso.

El azufre forma sulfuros con el hierro FeS , el que no es muy soluble en el hierro. El azufre no tiene influencia en las temperaturas de transformación A₃ y A₂ por el sulfuro de hierro. Este se vuelve polimorfo a los 289° y 138° . Esta transformación se produce con fuerte aumento en volumen en el

En los que tienen 0.1 % de carbono, puede tolerarse hasta el 0.1 % de fósforo y en otros algo más.

El fósforo produce en los aceros maleables lo que se llama estructura en frío. Aumenta el tamaño de las granas.

La propiedad desgrasable del fósforo es la de tomar parte muy activa en el proceso de segregación. El efecto de los fósforos en el punto de fusión muy bajo (920°) por lo que el intervalo de solidificación no es muy grande.

El manganeso es soluble en todas proporciones en el hierro, sea en estado líquido o sólido. Actúa en forma semejante al níquel, produce una fuerte elevación de la travesabilidad de la transformación perlitica. Según Omond, con 0.2 % de manganeso, se baja el punto A1 hasta 0°, mientras el del hierro en forma considerable (2 % manganeso a 380°). La transformación magnética disminuye, toma intensidad y se vuelve irreversible.

Se disminuye la gran velocidad de transformación de los cristales mixtos de hierro gamma-cementita en perlit por acción de manganeso a los aceros al carbono. Por eso los aceros al manganeso tienen la propiedad de volverse duros por el mismo, y esto consiste en que la velocidad de enfriamiento normal es semejante al tiempo de enfriamiento que fuera necesario para obtener una estructura cementita. Una parte del carbono permanece como carbono de temple cementita (el estado de carburo).

La estructura de los aceros al manganeso cambia según las cantidades que del mismo contenido y en relación a la cantidad de carbono.

Con 0.2 al 0.8 % de carbono y con más de 1% respectivamente de 2 % de manganeso, la estructura perlitica sufre modificaciones.

Con la misma cantidad de carbono, es decir 0.2 % respectivamente 0.8 % y 2 % respectivamente, 2-7 % de manganeso, la estructura se mantiene travesable.

Con 0.2 % de C y 0 - 2 % de manganeso respectivamente, 0.8 % de carbono y 0-2 % de manganeso, perlitica.

Los aceros perliticos se comportan como los aceros al carbono.

Los perliticos, al estar de mayor dureza, son extraordinariamente tenaces. Poseen gran elasticidad y límite elástico pequeño. El efecto del manganeso para la maleabilidad es muy desgrasable, más el efecto contenido en carbono es a la vez mayor. Por contenido en carbono bajo, se desahoga el manganeso porque así se eliminan los cambios más grandes de la maleabilidad que son el austenita y el óxido de hierro. Ejerce acción desgrasable sobre la propiedad de solubilidad. La solubilidad se reduce con el 1% de manganeso.

El austenita forma sulfuros con el hierro (Fe), si uno no es muy soluble en el hierro. El austenita no tiene influencia en las temperaturas de transformación A3 y A2 por el sulfuro de hierro. Esto se vuelve perlitico a los 289° y 138°. Para la transformación se produce con tanto aumento en volumen en el

enfriamiento y es la causa de ser quebradizo en frío.

La fragilidad al rojo del hierro que contiene azufre se debe probablemente a que el Fe-FeS eutéctico se vuelve blando y rodea a los cristales que funden más alto.

Por adición de azufre el hierro se vuelve líquido espeso. Por elevación de temperatura disminuye lo quebradizo de las ligas que contienen eutéctico, de modo que el material al rojo blanco se vuelve maleable en ciertos límites.

El azufre favorece en grado sumo la formación de grafito. Disminuye la propiedad de absorción que tiene el hierro por el carbón. La resistencia es muy poco influenciada por la adición de azufre al hierro, no así la tenacidad. La maleabilidad desaparece al rojo blanco, mientras que la soldabilidad disminuye notablemente.

El azufre forma con el manganeso un compuesto: el MnS, que es insoluble en el hierro.

El cobre se encuentra en la escoria como CuFeS_2 . Hasta ahora no se ha determinado bien la acción que ejerce el cobre en el hierro. Algunos autores dicen que la soldabilidad disminuye, la resistencia a la corrosión baja y la fluidez aumenta.

Por adición de cobre al acero se aumenta la conductibilidad eléctrica de éste.

El níquel es soluble en todas proporciones en estado líquido y sólido en el acero; forma compuesto con el hierro probablemente el FeNi_2 .

La propiedad del hierro de absorber carbono es disminuida por adición de níquel. Este favorece la formación de grafito, disminuye en cambio en gran porcentaje la acción corrosiva (la oxidación del acero).

La transformación magnética se disminuye por la adición de níquel; pero al mismo tiempo aumenta la irreversibilidad. Con 29 % de níquel la transformación magnética se vuelve súbitamente reversible.

La estructura de los aceros cambia por la adición de níquel, teniendo influencia también la cantidad de carbono que contengan.

Aceros con 0.12 a 0.8 de C. y 0 a 10 respectivamente 0 a 5 % de níquel, son perlíticos.

Aceros con 7 a 10% de Ni., martensíticos.

Con 15 a 27 % de níquel, poliédricos.

Los perlíticos se comportan como los aceros al carbón. Los martensíticos tienen gran dureza (519 con 0.8 % C. y 7 % Ni), gran resistencia (120 Kls./mm.²). Límite de elasticidad mayor (80 a 100 Kls./mm.²), menor dilatación y contracción y prácticamente ninguna resistencia al choque. Los poliédricos tienen a menor dureza mayor resistencia, límite elástico bajo, alta dilatación y contracción y extraordinariamente alta resistencia al choque.

El cobalto forma cristales mixtos con el Hierro delta cuando se encuentra en la proporción de 15% de su peso y a 1487°. De 20 a 100% de cobalto fórmase en la solidificación,-

El cobalto forma cristales mixtos con el hierro de esta
 cuando se encuentra en la proporción de 1% de su peso y a
 1480°. De 20 a 100% de cobalto forman en la solidificación
 Los martensíticos tienen gran dureza (H_R con 0.8% C y
 7% Ni), gran resistencia (120 Kila. mm²). Límite de elastici-
 dad mayor (80 e 100 Kila. mm²), menor dilatación y contrac-
 ción y prácticamente ninguna resistencia al choque. Los polí-
 cricos tienen a menor dureza mayor resistencia, límite elásti-
 co bajo, alta dilatación y contracción y extraordinariamente
 alta resistencia al choque.
 La estructura de los aceros cambia por la adición de ni-
 que, teniendo influencia también la cantidad de carbono que
 tamente reversible.
 Con 2% de níquel la transformación marténita se vuelve más
 de níquel; pero al mismo tiempo aumenta la irreversibilidad.
 La transformación marténita se disminuye por la adición
 (la oxidación del acero).
 disminuye en cambio en gran porcentaje la sección contraria
 por adición de níquel. Esto favorece la formación de grafito,
 La propiedad del hierro de absorber carbono se disminuye
 paulamente el FeNi₂.
 guido y sólido en el acero; forma compuesto con el hierro pro-
 El níquel es soluble en todas proporciones en estado li-
 dad eléctrica de éste.
 Por adición de cobre al acero se aumenta la conductibili-
 ta.
 nuye, la resistencia a la corrosión baja y la fluidez sumen-
 en el hierro. Algunos autores dicen que la solubilidad de
 ahora no se ha determinado bien la sección que ofrece el cobre
 El cobre se encuentra en la escoria como CuFeS₂. Hasta
 que es insoluble en el hierro.
 El azufre forma con el manganeso un compuesto: el MnS,
 disminuye notablemente.
 bad desaparece el rojo blanco, mientras que la solubilidad
 ción de azufre al hierro, no así la tenacidad. La maleabili-
 el carbón. La resistencia es muy poco influenciada por la ad-
 Disminuye la propiedad de absorción que tiene el hierro por
 El azufre favorece en grado sumo la formación de grafito,
 lo blanco se vuelve martensita en ciertos límites.
 ligas que contienen eutéctico, de modo que el material al re-
 Por elevación de temperatura disminuye la ductilidad de las
 Por adición de azufre al hierro se vuelve líquido espeso,
 y rodea a los cristales que también más alto.
 debe probablemente a que el Fe-FeS eutéctico se vuelve blando
 La fragilidad al rojo del hierro que contiene azufre se
 aumentamiento y de la causa de ser perjudicial en frío.

una larga serie de cristales mixtos de hierro gama-cobalto.

Las temperaturas de transformación A2, A3, se elevan fuertemente por adición de cobalto y se unen con el 15% de cobalto. La línea de transformación tiene su máximo con 45% de cobalto y 970° C., lo que demuestra la formación del compuesto Fe_4Co_3 .

El cromo se mezcla en todas proporciones con el acero en estado líquido, forma carburos Cr_3C_2 y Cr_4C , éste con el Fe_3C forma un carburo doble ($2Fe_3C, 3Cr_4C$). Hay señales de la formación de un compuesto de composición hasta ahora no conocida. Las ligas de cromo con 30 a 50% muestran a 1260° un retardo en la velocidad de enfriamiento.

Los carburos de cromo muestran gran dureza y resistencia a altas temperaturas. El cromo impide la formación de grafito. Por adición de cromo se eleva el autéctico. En los puntos críticos el efecto de la adición de cromo es el siguiente:

A3 (gama-beta-transformación) se abate.

A2 (transformación magnética) permanece sin cambio.

A1 (transformación perlítica) se eleva.

La situación del punto crítico depende en gran parte de la temperatura a que se calienta la liga.

En la estructura obra la adición de cromo según la siguiente tabla:

Compuesto:	% de Cr. con el 0.2 % de C.-	% de Cr. con el 0.8 % de C.
Perlita	0 a 7	0 a 3
Martensita o troostita	7 " 15	3 " 10
Carburo doble y martensita	15 " 20	10 " 18
Carburo doble	arriba de 20	arriba de 18.

La maleabilidad de los aceros es influenciada en forma cada vez más fuerte, mientras mayor carbono se encuentre presente; la soldabilidad de los aceros al cromo es pequeña, lo mismo que la propiedad de conductibilidad calorífica.

En los aceros perlíticos la resistencia y la fragilidad se elevan, lo mismo la dureza. Los martensíticos tienen muy fuerte resistencia con muy pequeña contracción, dilatación y resistencia al golpe. La dureza es mayor que en la de los aceros al níquel y depende completamente del contenido en cromo, pero no del de carbono. Los aceros con carburo doble tienen pequeña resistencia con alta contracción y dilatación media.

La influencia del cromo en los aceros cuaternarios (por ejemplo: aceros cromo-níquel) es muy vasta, dependiendo de las cantidades de los elementos que entren en función.

El tungsteno forma compuesto con el fierro, Fe_2W . Forma dos carburos: W_2C y WC y un carburo doble Fe_3WC .

El tungsteno abate el punto de fusión de los fierros y aceros de una manera continuada.

La influencia del tungsteno en los puntos críticos en los aceros hasta ahora no ha sido bien esclarecida.

La diferencia entre el recocido y el templado es mayor cuanto mayor es el contenido en tungsteno.

La resistencia, dureza y tenacidad de los aceros con carbu

una larga serie de cristales mixtos de hierro y manganeso.
 Las temperaturas de transformación A2, A3, se elevan fuertemente por adición de cobalto y se unen con el 1% de cobalto. Las líneas de transformación forman un máximo con 4% de cobalto y 2% de C, lo que demuestra la formación del compuesto FeCo3.

El cromo se mezcla en todas proporciones con el acero en estado líquido, forma carburos Cr3C2 y Cr7C3, pero con el 1% forma un carburo doble (FeCr3C). Hay señales de la formación de un compuesto de composición hasta ahora no conocida. Las líneas de cromo con 30 a 50% muestran a 1350° un rotar de la velocidad de enfriamiento.

Los carburos de cromo muestran gran dureza y resistencia a altas temperaturas. El cromo impide la formación de grietas. Por adición de cromo se eleva el austenítico. En los puntos críticos el efecto de la adición de cromo es el siguiente:

A3 (gamma-delta-transformación) se abata.
 A2 (transformación martensítica) permanece sin cambio.
 A1 (transformación perlítica) se eleva.
 La situación del punto crítico depende en gran parte de la temperatura a que se calienta la liga.
 En la estructura obra la adición de cromo según la siguiente tabla:

Componente	% de Cr. con el	% de Cr. con el
Perlita	0 a 7	0.2 a 0.5
Martensita o troostita	7 " 15	0.5 " 1.0
Carburo doble y martensita	15 " 20	1.0 " 1.8
Carburo doble	20 " 30	1.8 " 3.0

La maleabilidad de los aceros se influye en forma de dures más fuerte, mientras mayor carbono se encuentre presente; la solubilidad de los aceros al cromo es pequeña, lo mismo que la propiedad de conductibilidad calorífica.

En los aceros perlíticos la resistencia y la fragilidad se elevan, lo mismo la dureza. Los martensíticos tienen muy fuerte resistencia con muy pequeña contracción, dilatación y resistencia al golpe. La dureza es mayor que en la de los aceros al níquel y depende completamente del contenido en cromo, pero no del de carbono. Los aceros con carburo doble tienen pequeña resistencia con alta contracción y dilatación media.

La influencia del cromo en los aceros austeníticos (por ejemplo: aceros cromo-níquel) es muy variable, dependiendo de las cantidades de los elementos que entran en reacción. El tungsteno forma compuesto con el hierro, Fe3W. Forma dos carburos: W2C y WC y un carburo doble Fe3WC. El tungsteno abate el punto de fusión de los fierros y aceros de una manera continuada.

La influencia del tungsteno en los puntos críticos en los aceros hasta ahora no ha sido bien esclarecida. La diferencia entre el resaca y el templado es mayor cuando mayor es el contenido en tungsteno. La resistencia, dureza y tenacidad de los aceros con carburo

ro doble apenas cambia por aumento de tungsteno, disminuyendo en cambio a la vez que el contenido en carbono disminuye.

Cuando se somete a 110° C. a los aceros que contienen -- carburo doble, se encuentra que tienen una fina estructura -- martensítica, sin embargo en los altos en tungsteno, una parte del carburo permanece sin disolver; mientras mayor es la temperatura de temple, menor es la parte de carburo disuelta.

Debido a los motivos descritos, pueden calentarse hasta el rojo sombra sin que el acero entre en la parte pastosa. -- (Se reblandezca). Osmond observó en la investigación de aceros con 0.13 % de carbono y diversos contenidos de tungsteno, un descenso en la transformación perlítica, la que era mayor, cuanto mayor cantidad de tungsteno había y mayor era la temperatura inicial a la que se sometió la prueba; bajo ciertas -- condiciones entraba la separación del punto perlítico.

Según su estructura, Guillet ha dividido a los aceros al tungsteno en dos grupos: perlíticos y de carburo doble. Este último, cuando el tungsteno se encuentra arriba del 16 % con 0.2 % de carbono y arriba de 5 % con 0.8 % de carbono.

Por aumento de contenido en tungsteno, aumenta la dureza y resistencia de los aceros perlíticos, mientras que la dilatación, contracción y resiliencia disminuyen. El temple da el mismo cambio, como en los aceros al carbono.

Semejante al cromo, el molibdeno forma dos compuestos -- con el fierro que se forman y descomponen lentamente y de -- constitución todavía ignorada, por lo que las proporciones se complican. Hay formación de carburo doble Fe_3Mo_3C . El molibdeno se encuentra por la influencia que ejerce en los aceros entre el cromo y el tungsteno.

Guillet diferencia, como en el caso del tungsteno, dos -- clases de aceros: perlíticos y con doble carburo. Para contenido bajo de carbono, es suficiente el 3 % de molibdeno para suprimir la formación perlítica. Para tener la misma acción -- que con el tungsteno, sólo es necesaria la tercera parte de molibdeno; a pesar de esto, los aceros son más caros y por esto se usan poco.

Según S. Curie los aceros al molibdeno son los mejores -- para imanes. Algunos aceros de alta velocidad contienen molibdeno, pero no por esto se ha alcanzado un producto favorable.

El vanadio se mezcla completamente con el fierro tanto -- en estado sólido como líquido.

El vanadio posee gran afinidad para el carbono y el oxígeno, por esto obra desoxidando, respectivamente reduciendo y eliminando los gases, pues descompone el óxido de carbono. El carburo de vanadio Va_4C_3 es muy duro, se licúa y sale fuera -- de la masa del acero y empeora las propiedades cuando su contenido es alto. Por esto el vanadio sólo entra en consideración en pequeña cantidad. (Abajo de 1%). Los aceros al vanadio son muy compactos, se dejan forjar. La soldabilidad sufre debido a la afinidad con el oxígeno.

Los aceros al vanadio se dividen por su estructura, según

Los aceros al vanadio se dividen por su estructura, según
 debido a la estinidad con el oxígeno.
 de los muy compactos, se dejan forjar. La solubilidad entre
 ción en pequeñas cantidades. (A bajo de 1%). Los aceros al vanadio
 tenido en alto. Por esto el vanadio sólo entra en consideración
 de la masa del acero y empeora las propiedades cuando su con-
 centración de vanadio Va₂O₅ es muy duro, se licia y sale fuera
 eliminando los gases, pues descompone el óxido de carbono. El
 geno, por este obra desoxidando, respectivamente reduciendo y
 El vanadio posee gran afinidad para el carbono y el oxí-
 en estado sólido como líquido.
 El vanadio se mezcla completamente con el hierro tanto
 geno, pero no por esto se ha alcanzado un producto favorable.
 para laminas. Algunos aceros de alta velocidad contienen metales
 Según S. Curtis los aceros al molibdeno son los mejores
 to se usan poco.
 molibdeno; a pesar de esto, los aceros son más caros y por es-
 que con el tungsteno, sólo es necesaria la tercera parte de
 suprimir la formación perlitica. Para tener la misma acción
 bajo de carbono, es suficiente el 3% de molibdeno para
 clases de aceros: perliticos y con doble carbono. Para conse-
 guir diferencias, como en el caso del tungsteno, dos
 tre el cromo y el tungsteno.
 no se encuentran por la influencia que ejerce en los aceros en
 complican. Hay formación de carbono doble Fe₃C. El molibde-
 con el hierro que se forman y descomponen lentamente y de-
 semejante al cromo, el molibdeno forma dos compuestos --
 mismo cambio, como en los aceros al carbono.
 fación, contracción y resiliencia disminuyen. El temple da el
 y resistencia de los aceros perliticos, mientras que la dis-
 Por aumento de contenido en tungsteno, aumenta la dureza
 0.2% de carbono y arriba de 5% con 0.8% de carbono.
 último, cuando el tungsteno se encuentra arriba del 1% con
 tungsteno en dos grupos: perliticos y de carbono doble. Este
 Según su estructura, Guillet ha dividido a los aceros al
 condiciones entra la separación del punto perlitico.
 ratura inicial a la que se sometió la prueba; bajo ciertas --
 cuanta mayor cantidad de tungsteno había y mayor era la tempe-
 un descenso en la transformación perlitica, la que era mayor
 ros con 0.1% de carbono y diversas cantidades de tungsteno,
 (Se replandeece). Omond observó en la investigación de aceros
 el rojo siempre sin que el acero entre en la parte pastosa.
 Debido a los motivos descritos, pueden calentarse hasta
 temperatura de temple, menor es la parte de carbono disuelta.
 de del carbono permanece sin disolver; mientras mayor es la
 martensitica, sin embargo en los alios en tungsteno, una parte
 carbono doble, se encuentran que tienen una fina estructura --
 Cuando se somete a 1100° C. a los aceros que contienen --
 en cambio a la vez que el contenido en carbono disminuye.
 ro óxido apenas cambia por aumento de tungsteno, disminuyendo

Guillet, en perlíticos y de carburo doble; perlíticos con los aceros con:

0.2% de C. y 0 - 0.7 % de Va.
0.8" " " " 0 - 0.5 " " "

Vanadio en mayor cantidad produce carburo, el que por el temple no es transformable en solución sólida como la perlita.

La dureza de los aceros al vanadio crece con el aumento - en contenido en vanadio, siempre que no pase de 0.7 % de vanadio.

En los aceros cuaternarios se usa a menudo el vanadio, pero sólo en pequeña cantidad. Así se alcanzan, por esto, aumentos muy significativos en su resistencia.

Ejemplo: un acero con 12 % de níquel y 0.5 % de vanadio, alcanzó una resistencia de 117 kilogramos por milímetro cuadrado con 16 % de dilatación.

El titanio aumenta la dureza con 21.5 % da 500 Brinell.

Con nitrógeno forma nitruros.

El boro forma carburos dobles de composición diversa, según la cantidad de carbono. Es parecido al silicio. Disminuye la maleabilidad. Aumenta la resistencia a costas de la tenacidad. Al mismo tiempo disminuye la dureza.

La proporción de admisión del fierro para el carbono la disminuye el estaño, lo mismo la tendencia a formación de grafito; le comunica una extraordinaria fragilidad al acero. - - Fe₃Sn y FeSn₂.

El antimonio forma compuesto Fe₃Sb₂ insoluble en estado sólido. Probablemente otro compuesto Fe₃Sb₂. Como metal de liga para el fierro no es de tomarse en consideración porque le comunica una gran fragilidad.

Sobre la solubilidad del fierro para el carbono no ejerce influencia hasta un porcentaje de 3 de antimonio, con éste -- aparece una disminución lenta, para a medida que el contenido en antimonio aumenta, aparece una rápida disminución de absorción del carbono. Favorece la formación de grafito, la fusibilidad y la fluidez aumentan por adición de antimonio.

El arsénico no ejerce acción en la solubilidad del fierro por el carbono hasta un contenido de 5 % de arsénico, tampoco sobre la formación de grafito. Aumenta la resistencia hasta con el 4 % en arsénico; pero estas ligas tienen una gran fragilidad, por lo que no tienen uso en la práctica. En pequeñas cantidad no ejerce acción aparente sobre la maleabilidad, mientras que la soldabilidad es fuertemente influenciada. Hierro pudelado con 0.15 % de arsénico, no se mostraba soldable. Mientras mayor es la cantidad presente de carbono y manganeso, mayor es la influencia que ejerce el arsénico.

Se comporta lo mismo que el fósforo y azufre en la acción que éstos ejercen sobre el acero.

El aluminio forma compuesto FeAl₃, con gran probabilidad. FeAl y Fe₂Al₃, no tan seguramente.

Hasta el 35 % es soluble el aluminio en el fierro formando cristales mixtos. La temperatura de solidificación baja el

Guillet, en perliticos y de carburo doble; perliticos con los aceros con:

- 0.2% de C. y 0.7% de Mn.
- 0.8% " " " 0.5% " " "
- 0.8% " " " 0.5% " " "

Variable en mayor cantidad produce carburo, el que por el tiempo no es transformable en solución sólida como la perlit. La dureza de los aceros al vanadio crece con el aumento en contenido en vanadio, siempre que no pase de 0.7% de vanadio.

En los aceros cuaternarios se usa a menudo el vanadio, lo que solo en pequeñas cantidades. Así se alcanzan, por esto, algunos de los muy significativos en su resistencia.

Ejemplo: un acero con 1% de níquel y 0.5% de vanadio, alcanza una resistencia de 117 kilogramos por milímetro cuadrado con 10% de dilatación.

El titanio aumenta la dureza con 21.5% de 500 Brinell. Con nitrógeno forma nitruros.

El boro forma carburos duros de composición diversa, según la cantidad de carbono. Ha parecido al silicio. Disminuye la maleabilidad. Aumenta la resistencia a cortas de la tenacidad. Al mismo tiempo disminuye la dureza.

La proporción de adición del hierro para el carbono la disminuye el estaño, lo mismo la tenacidad a formación de grietas; se comunica una extraordinaria fragilidad al acero. Fe₃C y Fe₃S.

El antimonio forma compuesto Fe₃Sb insoluble en estado sólido. Probablemente otro compuesto Fe₃Sb. Como metal de la que para el hierro no se da comarse en consideración porque la comunica una gran fragilidad.

Sobre la solubilidad del hierro para el carbono no ejerce influencia hasta un porcentaje de 3 de antimonio, con éste aparece una disminución lenta, pero a medida que el contenido en antimonio aumenta, aparece una rápida disminución de solubilidad y la fricción aumenta por adición de antimonio.

El arsénico no ejerce acción en la solubilidad del hierro por el carbono hasta un contenido de 2% de arsénico, tiempo en el que la formación de grafito. Aumenta la resistencia hasta con el 4% en arsénico; pero estas ligas tienen una gran fragilidad, por lo que no tienen uso en la práctica. En pocas veces cantidad no ejerce acción aparente sobre la maleabilidad, mientras que la solubilidad es fuertemente influenciada. Hasta el 0.1% de arsénico, no se muestra solubilidad. Mientras mayor es la cantidad presente de carbono y manganeso, mayor es la influencia que ejerce el arsénico.

Se comporta lo mismo que el teluro y selenio en la acción que éstos ejercen sobre el acero.

El aluminio forma compuesto FeAl₃, con gran probabilidad. FeAl y Fe₂Al₃, no tan seguramente.

Hasta el 3% es soluble el aluminio en el hierro formando cristales mixtos. La temperatura de solidificación baja el

punto de fusión del hierro a 1280° C. El aluminio baja la posibilidad de saturación del hierro para el carbón y tiene una influencia más favorable en la formación de grafito que el silicio. Disminuye la maleabilidad del hierro, aún cuando las ligas con 3 % y hasta con 5 % todavía son maleables. Perjudica la soldabilidad aún con muy poca cantidad. El aluminio aumenta hasta un máximo dado la resistencia, ésta es con el 0.75 % de aluminio. Arriba de este %, decrece la dureza rápidamente. Junto con la elevación de la resistencia viene unido un descenso de tenacidad.

Es poco el uso de aceros al aluminio, sin embargo se usa en la obtención de láminas de dinamo por la influencia del aluminio en la histéresis. Sin embargo se usa más para este objeto el material que contiene silicio. Artificialmente se agrega el aluminio al hierro como desoxidante.

La investigación de estos elementos se efectúa por los métodos analíticos conocidos y su determinación por los de rutina en los laboratorios de fundición y acererías, procurando escoger los más rápidos y al mismo tiempo de la exactitud que requieren estos análisis industriales.

Respecto a la forma como se encuentran en los aceros, formando ya sea carburos dobles, o sencillos o bien sin formar compuestos bien determinados, es necesario servirse del microscopio para investigar la estructura íntima de estas ligas.

IMPUREZAS GASEOSAS.

La afinidad del hierro por el oxígeno es mayor que la del cobre, níquel, estaño, zinc, arsénico, antimonio, por esto la oxidación de estos metales es más difícil que la del hierro y la reducción más fácil.

La aparición y subida de los colores es debida a la formación de capas delgadas de óxido. La escala de los colores es: amarillo oscuro, café, rojo, violeta, azul y gris plata. Se utiliza esta aparición de colores en los aceros para determinar de manera fija las temperaturas de revenido correctas.

El óxido de hierro se encuentra en las escorias ácidas. En el hierro se disuelve el óxido de hierro hasta un contenido determinado, hasta hoy no conocido, probablemente la solución se verifica sólo a altas temperaturas, mientras que en las bajas se forma una emulsión. Según Ledebur, el hierro puede admitir hasta el 1.5% de óxido de hierro (\approx 0.25% de oxígeno). Metalográficamente se reconoce el FeO por puntos negros regularmente repartidos.

En cuanto el contenido en óxido pasa de 0.5%, su influencia sobre las propiedades del hierro es muy perjudicial; el óxido de hierro produce fracturas en caliente como el azufre, pero termina esta influencia por mayores temperaturas como al rojo blanco. El óxido de hierro contenido en el hierro actúa oxidando los cuerpos extraños, silicio, manganeso, carbono y fósforo.

El proceso de enmohecimiento, esto es, la admisión de oxí

El aluminio pasa a 1380°C. El aluminio pasa la prueba de saturación del hierro para el carbono y tiene una influencia más favorable en la formación de grafito que el silicio. Disminuye la maleabilidad del hierro, aún cuando las ligas con 3% y hasta con 5% todavía son maleables. El aluminio en la soldabilidad aún con muy poca cantidad. El aluminio en menas hasta un máximo da las prestaciones, ésta es con el 0.25% de aluminio. Atrial de este 2%, decrece la ductilidad. Junto con la elevación de la resistencia viene unido un descenso de tenacidad.

Es poco el uso de aceros al aluminio, sin embargo se usa en la obtención de láminas de aluminio por la influencia del aluminio en la ductilidad. Sin embargo se usa para este objeto el material que contiene aluminio. Artificialmente se agrega el aluminio al hierro como desoxidante. La investigación de estos elementos se efectúa por los métodos analíticos conocidos y su determinación por los de prueba en los laboratorios de fundición y aceros, procurando escoger los más rápidos y al mismo tiempo de la exactitud que requirieren estos análisis industriales.

Respecto a la forma como se encuentran en los aceros, forman ya sea carburos duros, o sencillos o bien sin formar compuestos bien determinados, es necesario recurrir al microscopio para investigar la estructura íntima de estas ligas.

IMPUREZAS GASEOSAS.

La afinidad del hierro por el oxígeno es mayor que la del cobre, níquel, estaño, zinc, arsénico, antimonio, por eso la oxidación de estos metales es más difícil que la del hierro y la reducción más fácil.

La aparición y subida de los colores es debida a la formación de capas delgadas de óxido. La escala de los colores es: amarillo oscuro, café, rojo, violeta, azul y gris plateado. Se utiliza esta aparición de colores en los aceros para determinar de manera fija las temperaturas de revenido correctas.

El óxido de hierro se encuentra en las escorias ácidas. En el hierro se disuelve el óxido de hierro hasta un contenido determinado, hasta hoy no conocido, probablemente la solución se verifica sólo a altas temperaturas; mientras que en las bajas se forma una emulsión. Según Ledebur, el hierro puede admitir hasta el 1.5% de óxido de hierro (= 0.25% de oxígeno). Metalográficamente se reconoce el FeO por puntos negros regularmente repartidos.

En cuanto el contenido en óxido de hierro pasa de 0.25%, su influencia sobre las propiedades del hierro es muy perjudicial; el óxido de hierro produce fracturas en caliente como el hierro, pero termina esta influencia por mayores temperaturas como el rojo blanco. El óxido de hierro contenido en el hierro actúa oxidando los cuerpos extraños, silicio, manganeso, etc. El proceso de empujamiento, esto es, la admisión de oxígeno y hidrógeno.

geno por el fierro a temperaturas ordinarias no se ha esclarecido hasta ahora completamente. Para la oxidación es necesaria la presencia de agua y oxígeno libre. Los ácidos actúan de manera favorable a la oxidación. Comparaciones exactas de la intensidad del ataque de oxidación sobre las diversas clases de fierro no existen todavía. Determinados aceros, sobre todo los aceros al níquel, son relativamente difícilmente atacables.

Heyn y Bauer encontraron, así como Andstrom, que la oxidación se efectúa también en ausencia de CO_2 .

El nitrógeno es absorbido por el fierro tanto en estado sólido como en líquido. Por calentamiento en corriente de amoníaco arriba de 400°C ., aumenta el contenido en nitrógeno de una manera considerable. La mayor solubilidad se encuentra a 800°C ., y asciende al 11.1% en peso, correspondiendo a la fórmula Fe_4N_2 . El nitruro se descompone por calentamiento. Por esta razón no pueden estar contenidas grandes cantidades de nitrógeno en el fierro que haya sido elevado a altas temperaturas.

Un contenido alto en nitrógeno influencia altamente las propiedades del fierro. La resistencia eléctrica se aumenta, la inducción magnética máxima se disminuye, mientras que la fuerza coercitiva se aumenta. El peso específico se vuelve más pequeño, la velocidad de solución aumenta rápidamente con el aumento en contenido de nitrógeno. La resistencia se eleva algo, la dilatación y contracción son fuertemente disminuidas, la tenacidad también se vuelve más pequeña. El material se vuelve tanto más quebradizo cuanto más carbono se encuentre en él simultáneamente. El punto de fusión del fierro es fuertemente abatido por el nitrógeno.

El óxido de carbono es uno de los principales gases que retiene el fierro según Belloc y que a una temperatura de 400°C ., se desprende. Arriba del punto crítico A}, domina este gas. Sobre el estado del mismo fierro, no puede decirse nada determinado; no se sabe si el óxido de carbono proviene de la absorción de este gas de una atmósfera rica en él o si es producto de una reacción en el interior de la masa. Esto último es lo más probable, y debemos pensar de tal manera en las proporciones, que por solidificación lenta, las últimas partes líquidas de un block están más concentradas en FeO y C , en forma tal que estos dos cuerpos pueden reaccionar mutuamente formando CO . A causa de esto se obtiene un fuerte desarrollo de gas, que no es sólo el CO , sino que este gas en su desarrollo arrastra consigo los otros gases presentes. Para disminuir tales desarrollos violentos de gas, se busca la causa de los mismos, el óxido de fierro, el que se elimina por medios desoxidantes.

El hidrógeno es incorporado por el fierro tanto en estado sólido como en líquido. Si este gas forma con el fierro compuesto químico, o simplemente está disuelto no ha sido determinado. A decir verdad se ha obtenido sintéticamente el

genio por el hierro a temperaturas ordinarias no se ha observado. Esto basta ahora completamente. Para la oxidación es necesario la presencia de agua y oxígeno libre. Los ácidos actúan de manera favorable a la oxidación. Corrosiones exactas de la intensidad del estado de oxidación sobre las diversas clases de hierro no existen todavía. Determinados aceros, sobre todo los aceros al níquel, son relativamente difícilmente atacados.

Heyn y Bauer encontraron, así como Aabstrom, que la oxidación se efectúa también en ausencia de CO₂. El nitrógeno es absorbido por el hierro tanto en estado sólido como en líquido. Por calentamiento en corriente de agua hirviendo a 400° C., aumenta el contenido en nitrógeno de una manera considerable. La mayor solubilidad se encuentra a 800° C., y asciende al 11.1% en peso, correspondiendo a la fórmula Fe4N3. El nitrógeno se descompone por calentamiento. Por esta razón no pueden estar contenidas grandes cantidades de nitrógeno en el hierro que haya sido elevado a altas temperaturas.

Un contenido alto en nitrógeno influye altamente las propiedades del hierro. La resistencia eléctrica se aumenta, la inducción magnética máxima se disminuye, mientras que la fuerza coercitiva se aumenta. El peso específico se vuelve más pequeño, la velocidad de solución aumenta rápidamente con el aumento en contenido de nitrógeno. La resistencia se eleva algo, la dilatación y contracción son fuertemente disminuidas. La tenacidad también se vuelve más pequeña. El material se vuelve tanto más quebradizo cuanto más carbono se encuentra en él simultáneamente. El punto de fusión del hierro se fuertemente abate por el nitrógeno.

El óxido de carbono es uno de los principales gases que retiene el hierro según Bellow y que a una temperatura de 400° C., se descompone. Arriba del punto crítico A; domina el Fe gas. Sobre el estado del mismo hierro, no puede decirse nada determinado; no se sabe si el óxido de carbono proviene de la absorción de este gas de una atmósfera rica en él o si es producto de una reacción en el interior de la masa. Esto último no es lo más probable, y debemos pensar de tal manera en las proporciones, que por solidificación lenta, las últimas partes líquidas de un block están más concentradas en FeO y CO. En forma tal que estos dos cuerpos pueden reaccionar mutuamente formando CO. A causa de esto se obtiene un hierro desprovisto de gas, que no es sólo el CO, sino que este gas en su desarrollo arrastra consigo los otros gases presentes. Para disminuir tales destrucciones violentas de gas, se hace la causa de los mismos, el óxido de hierro, el que se elimina por métodos oxidantes.

El hidrógeno es incorporado por el hierro tanto en estado sólido como en líquido. Si este gas forma con el hierro un compuesto químico, o simplemente está disuelto no ha sido determinado. A decir verdad se ha obtenido sintéticamente el

compuesto FeH_2 , sin embargo parece que el hidrógeno se encuentra en estado naciente. Esto sucede por ejemplo si se trata alambre de hierro con ácido sulfúrico diluido. Entonces el hierro incorpora al hidrógeno y se vuelve quebradizo; entra la llamada quebradura por mordida, la que puede eliminarse nuevamente por calentamiento del alambre.

También en la obtención del hierro electrolítico tiene lugar una incorporación del hidrógeno. A temperaturas más elevadas, e specialmente al rojo, la incorporación es más fácil y las principales cantidades se absorben entre 700 y 10000 C. El proceso es, según Heyn, similar a la cementación; dejándolo reposar o por calentamiento de la prueba, el hidrógeno se separará nuevamente. Por calentamiento aparecen los puntos H_2 observados por Roberts-Austen, puntos que se hacen notables por el fuerte y especial desprendimiento de hidrógeno. Estos puntos son a 70, 261 y 487° C. El hidrógeno tiene la facultad de difundirse por el hierro.

El hierro en estado líquido absorbe grandes cantidades de hidrógeno, y la cantidad absorbida depende de la temperatura, presión y composición química.

El manganeso parece favorecer la absorción de hidrógeno, mientras que el carbono la disminuye. El silicio impide el desprendimiento de los gases en la solidificación.

En circunstancias comunes el hierro abandona los gases disueltos al pasar del estado líquido al sólido. Por la modificación lenta de los metales habrá mayor inclinación a la formación de burbujas que en las ligas de rápida solidificación. Este hecho es de importancia especialmente en el vaciado de blocks, por esto es a menudo muy difícil obtener blocks gruesos. La cantidad de hidrógeno que se encuentra en forma de burbujas depende también de la velocidad del intervalo de solidificación que se deje pasar. El hierro forjado y laminado contiene naturalmente menos hidrógeno que el material vaciado. Un alto contenido en hidrógeno es la causa de que a menudo ciertas clases de hierros tengan un comportamiento enigmático, que a menudo sean quebradizos, mientras que por el análisis deberían ser tenaces.

La determinación de los gases en los aceros se efectúa por el calentamiento del acero en el vacío y dosificación de los gases desprendidos por los métodos analíticos conocidos.

Entre las impurezas no metálicas tenemos también los silicatos, la sílice y la alúmina principalmente, así como las inclusiones de escoria. Estas últimas existen siempre en mayor o menor cantidad.

Estas impurezas producen grietas, disminuyen la resistencia del acero y lo vuelven frágil debido a la diferencia que éstas tienen en su punto de fusión y a su contracción en la solidificación con relación al acero; vuelven al material heterogéneo alterando completamente sus propiedades físicas y mecánicas.

Por lo que hasta aquí hemos visto, podemos darnos cuenta...

Por lo que hasta aquí hemos visto, podemos darnos cuenta
tergones al tiempo completamente sus propiedades físicas y
mecánicas.
éstas tienen en su punto de fusión y a su consecución en la
solidificación con relación al acero; vuelven al material
casto, la sílice y la alúmina principalmente, así como las
clausuras de escoria. Estas últimas existen siempre en mayor
cantidad que en el acero.
Entre las impurezas no metálicas tenemos también los silicatos,
los gases disueltos por los métodos analíticos conocidos.
por el calentamiento del acero en el vacío y desoxidación de
la determinación de los gases en los aceros se efectúa
lista deberían ser tenidas.
tíco, que a menudo sean perjudiciales, mientras que por el análisis
de ciertas clases de hierros tengan un comportamiento enzimático.
Un alto contenido en hidrógeno es la causa de que a menudo
contiene naturalmente menos hidrógeno que el material vaciado
librición que se deje pasar. El hierro forjado y laminado
purpuras depende también de la velocidad del intervalo de solidificación
so. La cantidad de hidrógeno que se encuentra en forma de
blocks, por esto es a menudo muy difícil obtener blocks gruesos
Este hecho es de importancia especialmente en el vaciado de
mación de purpuras que en las ligas de rápida solidificación.
ción lenta de los metales habrá mayor inclinación a la formación
gustos al pasar del estado líquido al sólido. Por la modificación
En circunstancias comunes el hierro abandona los gases de
desprendimiento de los gases en la solidificación.
mientras que el carbono la disminuye. El silicio también el
El manganeso parece favorecer la absorción de hidrógeno,
presión y composición química.
El hierro en estado líquido absorbe grandes cantidades de
de difundirse por el hierro.
puntos son a 70, 261 y 487° C. El hidrógeno tiene la facilidad
por el fuerte y especial desprendimiento de hidrógeno. Las
observados por Roberts-Austen, puntos que se hacen notables
separarse nuevamente. Por calentamiento aparecen los puntos de
lo reposar o por calentamiento de la prueba, el hidrógeno se
El proceso es, según Heyr, similar a la cementación; dejándola
las principales cantidades se absorben entre 700 y 1000° C.
gas, especialmente al rojo, la incorporación es más fácil y
gar una incorporación del hidrógeno. A temperaturas más elevadas
También en la obtención del hierro electrolítico tiene la
nuevamente por calentamiento del alambre.
la llamada quebradura por mordida, la que puede eliminarse
hierro incorporado al hidrógeno y se vuelve perjudicial; entre
alambre de hierro con ácido sulfúrico diluido. Entonces el
tra en estado nascente. Esto sucede por ejemplo si se trata
compuesto FeH₂, sin embargo parece que el hidrógeno se encuentra

de la importancia tan enorme que tiene el llevar un control químico de los aceros, con objeto de darnos cuenta de la clase de aceros que van a trabajarse, pues ya vemos los diversos caracteres que imprimen los elementos ligados intencionalmente y según el uso a que se destina el acero en cuestión, debe estar conforme en su composición química, sabido que las propiedades de los elementos ligados intencionalmente nos garantiza el trabajo que efectuará el acero de que vaya a hacerse uso. Como no solamente se le agregan intencionalmente elementos extraños sino que también tienen los aceros impurezas que no se pueden llegar a eliminar totalmente, debemos también fijar nuestra atención en dichas impurezas, saber cuáles y en qué cantidad están contenidas y si en caso dado no influenciarán el acero en cuestión de una manera intensa y desagradable en el trabajo que éste ha de efectuar. Además, la constitución interna del acero como veremos en las siguientes líneas, es también de una importancia capital y como no cuantitativa de los aceros, sino de una manera muy especial saber la forma en que se encuentren cristalizados, los elementos constituyentes, y si habiendo impurezas, éstas están homogéneamente repartidas o bien, acumuladas en ciertas partes del material, - si habiendo causado desperfectos, como por ejemplo grietas, - éstas son o no de importancia, es necesario tener lo indispensable para efectuar el control metalográfico y hacer éste con todo cuidado y en forma sistemática para completar el trabajo efectuado en el laboratorio químico y poder tener un criterio más amplio y bien fundado en el acero que estemos estudiando o verificando las condiciones que deba reunir.

CONTROL METALOGRAFICO.

2/a.- a).- El acero es una liga, cuyos principales constituyentes son el hierro y el carbón. Sabemos que a estos elementos acompañan siempre algunas impurezas, como fósforo, azufre y silicio, que no pudieron ser eliminadas durante el proceso de fabricación, así como manganeso. Algunas veces, como acabamos de ver en el capítulo anterior, se encuentran otros elementos, como níquel, cromo, etc., agregados intencionalmente al acero. En el acero ordinario, la cantidad de impurezas metálicas, es decir, el manganeso, fósforo, azufre y silicio juntos no llegan al 1%; el carbón varía desde unos centésimos por ciento hasta el 1 o a veces 2 %; lo restante para 100 es fierro.

En su constitución interna el acero no es una substancia simple como el cobre o el oro, sino que se parece más bien al granito, en que está formado por un número considerable de granos, que vienen a corresponder al cuarzo, mica y feldespato del granito. Así tenemos en el acero, enfriado lentamente desde una temperatura alta, la "ferrita", "Cementita" y "perlita". Y así como las cantidades relativas de cuarzo, mica y feldespato varían las rocas con las diversas clases de granito, así las proporciones de ferrita, cementita y perlita va-

de la importancia tan enorme que tiene el llevar un control químico de los aceros, con objeto de darnos cuenta de la clase de aceros que van a trabajarse, pues ya vemos los diversos caracteres que imprimen los elementos ligeros interaccionales y según el uso a que se destinan el acero en cuestión, debe estar conforme en su composición química, sabido que las propiedades de los elementos ligeros interaccionales nos garantizan el trabajo que efectuaremos el acero de que voy a hacer uso. Como no solamente se le agregan interaccionales elementos extraños sino que también tienen los aceros impurezas que no se pueden llegar a eliminar totalmente, debemos también fijar nuestra atención en dichas impurezas, saber cuáles y en qué cantidad están contenidas y si en caso dado no interaccionan el acero en cuestión de una manera intencional y despreciable en el trabajo que éste ha de efectuarse. Además, la constitución interna del acero como veremos en las siguientes líneas, es también de una importancia capital y como no cuantitativa de los aceros, sino de una manera muy especial saber la forma en que se encuentran cristalizadas, los elementos constituyentes, y al habiendo impurezas, éstas están homogéneamente repartidas o bien, acumuladas en ciertas partes del material, al habiendo causado desperfectos, como por ejemplo grietas, éstas son o no de importancia, es necesario tener la idea pensable para efectuar el control metalográfico y hacer éste con todo cuidado y en forma sistemática para completar el trabajo efectuado en el laboratorio químico y poder tener un criterio más amplio y bien fundado en el acero que estamos estudiando o verificando las condiciones que debe reunir.

CONTROL METALOGRAFICO.

2. - a) - El acero es una liga, cuyos principales constituyentes son el hierro y el carbono. Sabemos que a estos elementos les acompañan siempre algunas impurezas, como fósforo, azufre y silicio, que no pudieran ser eliminadas durante el proceso de fabricación, así como manganeso. Algunas veces, como sucede más de vez en el capítulo anterior, se encuentran otros elementos, como níquel, cromo, etc., agregados intencionalmente al acero. En el acero ordinario, la cantidad de impurezas más típicas, es decir, el manganeso, fósforo, azufre y silicio, juntas no llegan al 1%; el carbono varía desde unas centésimas por ciento hasta el 1 o a veces 2 %; lo restante para 100 es hierro.

En su constitución interna el acero no es un subproducto simple como el cobre o el oro, sino que se parece más bien al granito, en que está formado por un número considerable de granos, que vienen a corresponder al cuarzo, mica y feldspato del granito. Así tenemos en el acero, cristales lentamente desde una temperatura alta, la "ferrita", "cementita" y "perlitita". Y así como las cantidades relativas de cuarzo, mica y feldspato varían las veces con las diversas clases de granito, así las proporciones de ferrita, cementita y perlitita varían.

rían en las diferentes clases de aceros de acuerdo con la composición química específica del acero.

CEMENTITA.- Como se ha dicho antes, el carbón y el hierro, son los elementos esenciales y de control en el acero y particularmente el carbón lo es realmente. En los aceros que se han enfriado lentamente, desde alta temperatura, el carbón es el primero que se combina y siempre con una cantidad definida de hierro para formar un "carburo de hierro", correspondiendo a la fórmula química Fe_3C . Este compuesto consiste de 6.6% de carbón y 93.4% de hierro y micrográficamente se le conoce como "cementita". El resto es hierro prácticamente libre de carbono y se le conoce como "ferrita".

LEDEBURITA.- El eutéctico del sistema hierro-cementita - denominado Ledeburita está compuesto de cristales mixtos íntegros o rotos y cementita.

PERLITA.- Ahora, durante el proceso de enfriamiento, a velocidad moderada, desde temperaturas al rojo, esta cementita formará una mezcla mecánica con una cantidad definida de ferrita, de tal manera que la resultante contendrá aproximadamente 0.9% de carbón. Este nuevo constituyente es llamado - - "perlita" y generalmente consiste de capas interestratificadas o bandas de ferrita y cementita. La perlita se ve como un constituyente separado y distinto del acero, pues forma "granos" distintos cuando se halla presente en cualquier cantidad apreciable, siempre contiene este porcentaje definido de carbón y se forma siempre a un intervalo definido de temperaturas.

De esto se verá que un acero conteniendo 0.9% de carbón - consistirá enteramente de perlita. Tales aceros son conocidos como aceros eutectoide.

Los aceros que contengan menos que la relación eutectoide de carbón, consistirán de una cantidad definida de perlita, variando de acuerdo con el contenido en carbón del propio acero y el resto para el equilibrio ferrita "libre" o en "exceso". Estos aceros se llaman aceros hipoeutectoides y tienen - menos de 0.9% de carbón.

De una manera semejante si el contenido en carbón excede a 0.9% no habrá ferrita suficiente para interestratificar con toda la cementita, de tal manera que estos aceros consistirán de perlita y cementita libre. Tales aceros se llaman aceros hipereutectoides.

Expresando esto en forma diferente, diremos que los aceros con muy poco carbón están constituidos por ferrita con un poco de perlita. Aumentando el contenido en carbono en el acero, la cantidad de perlita aumentará simultáneamente, con la correspondiente disminución en la cantidad de ferrita libre, - hasta que a 0.9% de carbón el acero sea completamente perlítico. Pasando este punto la cantidad de perlita disminuirá, con el correspondiente aumento en la cantidad de cementita libre.

En los aceros enfriados lentamente, podemos por esto, decir con gran exactitud la composición estructural aproximada

rían en las diferentes clases de aceros de acuerdo con la composición química específica del acero.

CIMENTITA.- Como se ha dicho antes, el carbono y el hierro, son los elementos esenciales y de control en el acero y particularmente el carbono lo es realmente. En los aceros que se han enfriado lentamente, desde alta temperatura, el carbono es el primero que se combina y siempre con una cantidad definida de hierro para formar un "carburo de hierro", correspondiendo a la fórmula química Fe₃C. Este compuesto consiste de 0.8% de carbono y 92.4% de hierro y microquímicamente se le conoce como "cementita". El resto es hierro prácticamente libre de carbono y se le conoce como "ferrita".

LABOURITA.- El eutéctico del sistema hierro-cementita denominado Labourita está compuesto de cristales mixtos intergrotes y cementita.

PERLITA.- Ahora, durante el proceso de enfriamiento, a velocidad moderada, desde temperatura al rojo, esta cementita se formará una mezcla mecánica con una cantidad definida de ferrita, de tal manera que la resultante contendrá aproximadamente 0.8% de carbono. Este nuevo constituyente es llamado "perlita" y generalmente consiste de capas alternadas de bandas de ferrita y cementita. La perlita se ve como un constituyente separado y distinto del acero, pues forma "granos" distintos cuando se halla presente en cualquier cantidad apreciable, siempre contiene este porcentaje definido de carbono y se forma siempre a un intervalo definido de temperatura.

De esto se verá que un acero conteniendo 0.8% de carbono estará enteramente de perlita. Tales aceros son conocidos como aceros eutécticos.

Los aceros que contienen menos que la relación eutéctica de de carbono, consistirán de una cantidad definida de perlita variando de acuerdo con el contenido en carbono del propio acero y el resto para el equilibrio ferrita "libre" o en "exceso". Tales aceros se llaman aceros hipoeutécticos y tienen menos de 0.8% de carbono.

De una manera semejante si el contenido en carbono excede a 0.8% no habrá ferrita suficiente para interestructuras con toda la cementita, de tal manera que estos aceros consistirán de perlita y cementita libre. Tales aceros se llaman aceros hipereutécticos.

Expresando esto en forma diferente, diremos que los aceros con muy poco carbono están constituidos por ferrita con un poco de perlita. Aumentando el contenido en carbono en el acero, la cantidad de perlita aumentará simultáneamente, con la correspondiente disminución en la cantidad de ferrita libre. Hasta que a 0.8% de carbono el acero sea completamente perlítico. Pasando este punto la cantidad de perlita disminuirá, con el correspondiente aumento en la cantidad de cementita libre. En los aceros enfriados lentamente, podemos por tanto, decir con gran exactitud la composición estructural aproximada

del acero. Y viceversa, conociendo las proporciones relativas de perlita y ferrita o cementita, determinados microscópicamente, podemos determinar el contenido aproximado de carbón del acero.

En el diagrama de Suveur está esto representado gráficamente, figura 66 en las abscisas el por ciento de carbono y en las ordenadas el por ciento de constituyentes.

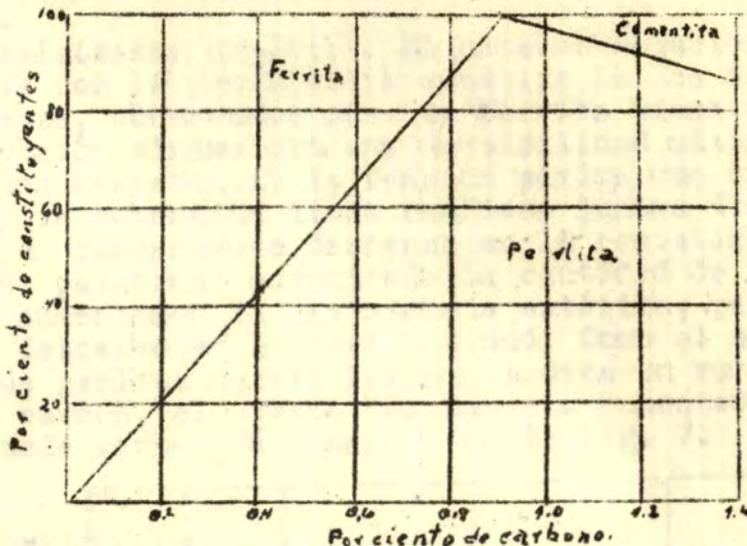


Fig. 6.
Diagrama
Ferrita-Perlita-
Cementita
(Suveur).

De las proporciones relativas de estos constituyentes dependerán las propiedades físicas del acero enfriado lentamente, descuidando el tiempo de su acomodamiento relativo. Cada uno de estos componentes (ferrita, perlita y cementita) tienen ciertas características físicas con las que debemos estar familiarizados para tener alguna idea de las propiedades de tales aceros.

La ferrita es suave, dúctil y relativamente débil. Tiene una resistencia a la tracción aproximadamente de 28.1 a 32.5 kilos por milímetro cuadrado. Con un alargamiento de alrededor de 40% en 51 mm. La ferrita en sí misma no tiene poder de temple para aplicarse en objetos industriales. Su apariencia microscópica es de cristales poliédricos en los aceros de bajo carbono ()

Como antes se ha dicho, la perlita ocurre comunmente en los aceros enfriando lentamente en forma laminar compuesta de capas alternas de ferrita y cementita. ()

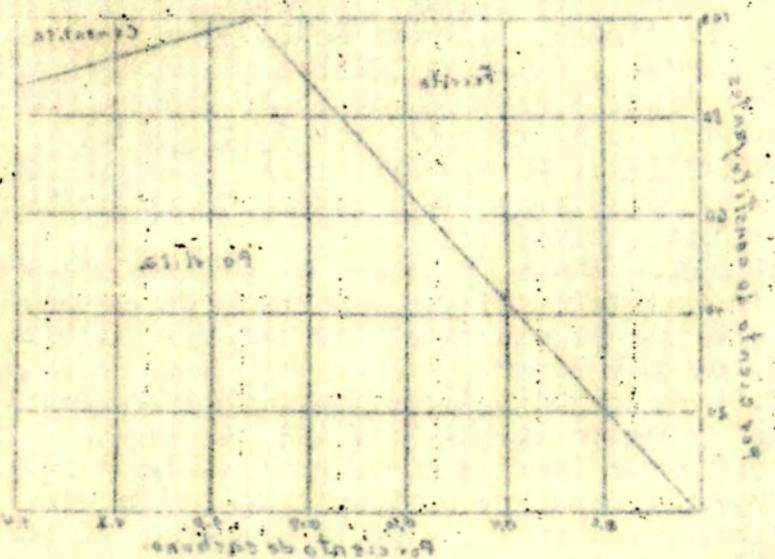
Como podemos ver más adelante, a diferentes velocidades de enfriamiento la perlita puede existir en otras formaciones, dependiendo del acomodamiento relativo de la ferrita y cementita de las que está compuesta (). La perlita normal, es decir, las bandas intraestratificadas de ferrita y cementita (), tienen una resistencia a la tensión de aproximadamente 88 a 91.4 kilos por milímetro cuadrado, con un alargamiento de alrededor de 10% en 51 mm.

Las propiedades de la cementita son muy poco conocidas, ..

del acero. Y viceversa, conociendo las proporciones relativas de perlita y ferrita o cementita, determinados microscópicamente, podemos determinar el contenido aproximado de carbono del acero.

En el diagrama de Sauer este está representado gráficamente, figura 5, en las abscisas el porcentaje de carbono y en las ordenadas el porcentaje de constituyentes.

Fig. 5.
Diagrama
Ferrita, Perlita
(Sauer)



De las proporciones relativas de estos constituyentes de perderán las propiedades físicas del acero entrado lentamente, descomponiendo el tiempo de su acomodamiento relativo. Cada uno de estos componentes (ferrita, perlita y cementita) tiene ciertas características físicas con las que debemos estar familiarizados para tener alguna idea de las propiedades de tales aceros.

La ferrita es suave, dúctil y relativamente débil. Tiene una resistencia a la tracción aproximadamente de 28.1 a 32.5 kilos por milímetro cuadrado. Con un alargamiento de alrededor de 40% en 51 mm. La ferrita en sí misma no tiene poder de temple para aplicarse en objetos industriales. Su apariencia microscópica es de cristales poliédricos en los aceros de bajo carbono.

Como antes se ha dicho, la perlita ocurre comúnmente en los aceros entrados lentamente en forma laminar compacta de capas alternas de ferrita y cementita. Como podemos ver más adelante, a diferentes velocidades de enfriamiento la perlita puede existir en otras formaciones, dependiendo del acomodamiento relativo de la ferrita y cementita. La perlita normal, es decir, las bandas intracrystalinas de ferrita y cementita, tienen una resistencia a la tracción de aproximadamente 68 a 91.4 kilos por milímetro cuadrado, con un alargamiento de alrededor de 10% en 51 mm.

Las propiedades de la cementita son muy poco conocidas.

con excepción de su gran dureza y fragilidad que son máximas. Cementita libre, esto es, cementita que no esté asociada con ferrita para formar perlita, probablemente no tiene una resistencia a la tensión mayor de 3.5 kilos por milímetro cuadrado. Ocurre ordinariamente en los aceros enfriados lentamente (carbón mayor de 0.9%) sea en forma de red, o como espigas y agujas.

Resistencia estática. Si hacemos relación de estas propiedades con la resistencia estática de los aceros enfriados lentamente, observamos que: la ferrita tiene una resistencia a la tensión mínima con una ductibilidad máxima; la perlita tiene una resistencia la tensión máxima con una ductibilidad baja; y la cementita libre confiere juntas dureza y fragilidad, y un consecuente descenso en la resistencia a la tensión. En otras palabras, aumentando la cantidad de perlita en el acero, aumentamos la resistencia estática, pero con un consecuente descenso en la ductibilidad. Como el aumento en la cantidad de perlita necesariamente indica un aumento en la cantidad de carbón, el efecto del carbono aumentado será el mismo. Esto puede verse gráficamente en la Fig. 7.

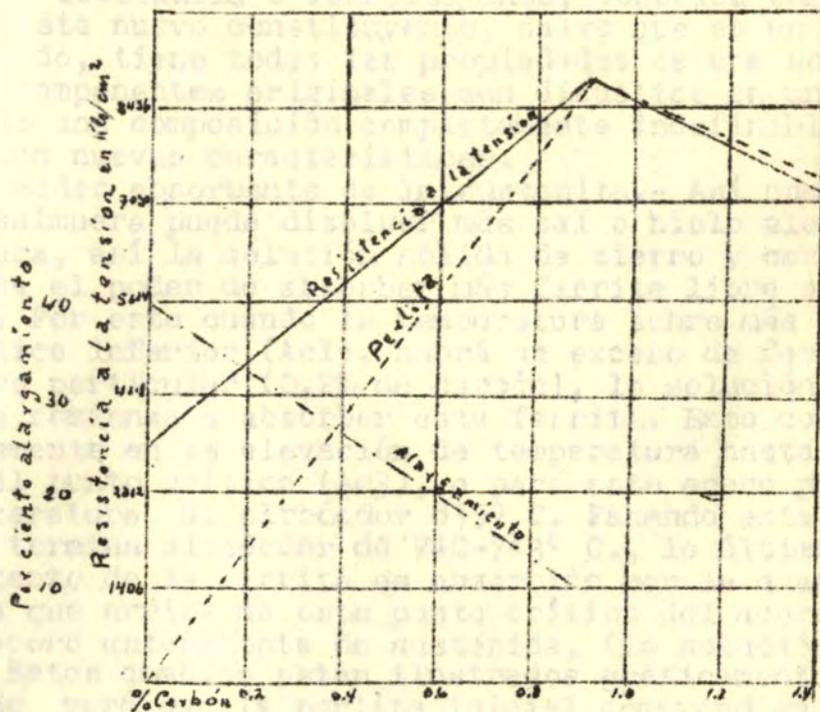


Fig. 7.- Influencia aproximada del carbono en la resistencia y ductibilidad del acero.

Tratamiento térmico.- En general el tratamiento térmico consiste en cambiar o regular la estructura del acero por varios métodos de calentamiento y enfriamiento. Por el término "estructura" se quiere decir: l/o.- Los constituyentes metalú

con excepción de su gran dureza y fragilidad que son máximas
 Geminita libre, esto es, cementita que no está asociada con
 ferrita para formar perlita, probablemente no tiene una resis-
 tencia a la tensión mayor de 2.5 kilos por milímetro cuadrado.
 60. Coque ordinariamente en los aceros enfriados lentamente
 (carbón mayor de 0.2%) es en forma de red, o como espinas y
 agujas.

Resistencia estática. Si hacemos relación de estas pro-
 piedades con la resistencia estática de los aceros enfriados
 lentamente, observamos que la ferrita tiene una resistencia
 a la tensión mínima con una ductilidad máxima; la perlita
 tiene una resistencia a la tensión máxima con una ductilidad
 baja; y la cementita libre confiere dureza y fragili-
 dad, y un consecuente descenso en la resistencia a la tensión.
 En otras palabras, aumentando la cantidad de perlita en el
 acero, aumentamos la resistencia estática, pero con un conse-
 cuente descenso en la ductilidad. Como el aumento en la canti-
 dad de perlita necesariamente indica un aumento en la canti-
 dad de carbón, el efecto del carbón aumentado será el mismo.
 Esto puede verse gráficamente en la Fig. 7.

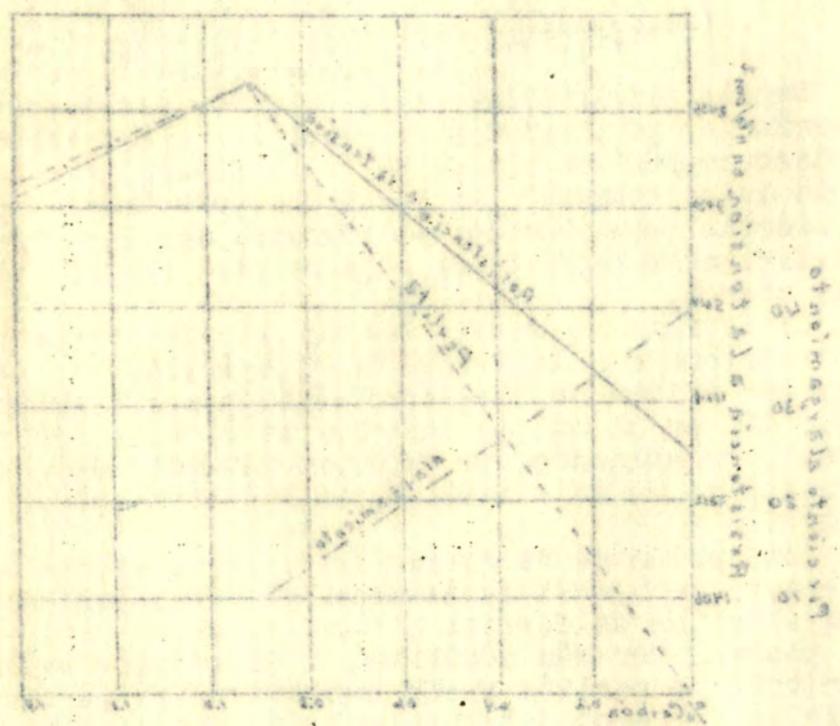


Fig. 7. - Influencia aproximada del carbono en la resistencia y ductilidad del acero.

Tratamiento térmico. - En general el tratamiento térmico
 consiste en cambiar o regular la estructura del acero por va-
 rios métodos de calentamiento y enfriamiento. Por el término
 "estructura" se quiere decir: 1.º - Las constituyentes meta-

gráficos, respecto a lo que acabamos de describir; 2/o.- El tamaño del grano, y 3/o.- la red. Para comprender la naturaleza de estos cambios y su aplicación, es necesario entender claramente el mecanismo en que se efectúan.

La naturaleza del acero, como explicábamos antes, es compleja. La estructura de un acero particular puede ser modificada o cambiada completamente por varios grados de calentamiento. Estos cambios de estructura tienen lugar en el acero mientras está en condición sólida a temperaturas conocidas como en los puntos críticos del acero.

Soluciones sólidas.- Para comprender mejor la naturaleza de los nuevos componentes consideremos la interacción entre la sal y el hielo. Cuando se ponen en contacto estas dos substancias sabemos, que bajo condiciones de temperatura convenientes la sal y el hielo se mezclan una en otro y así pasan del estado de substancias separadas o mezcla mecánica a una substancia sola o solución de sal. Un proceso semejante tiene lugar en el caso de la perlita, excepto que la solución resultante es sólida en vez de ser un líquido. Las placas individuales de ferrita y cementita que habían caracterizado los granos de perlita, se incorporan una en otra, formando una nueva substancia o constituyente, conocida como solución sólida. Este nuevo constituyente, salvo que es un sólido y no un líquido, tiene todas las propiedades de una solución líquida. Sus componentes originales son disueltos en una sola entidad, dando una composición completamente indefinible, y enteramente con nuevas características.

Poder absorbente de la austenita.- Así como la solución de salmuera puede disolver más sal o hielo elevando la temperatura, así la solución sólida de hierro y carburo de hierro posee el poder de absorber más ferrita libre o cementita libre. Por esto cuando la temperatura sube más allá del punto crítico inferior (A_{c1}), habrá un exceso de ferrita, en este acero particular (0.2% de carbón), la solución sólida o austenita comienza a absorber esta ferrita. Esto continúa progresivamente en la elevación de temperatura hasta que se alcanza el punto crítico (A_{c3}), o para este acero particular la temperatura de alrededor $835^{\circ} C$. Pasando esta temperatura que termina alrededor de $740-743^{\circ} C$., lo último del exceso restante de la ferrita es absorbido por la austenita, de manera que arriba de este punto crítico del acero, se compone el acero enteramente de austenita, (la solución sólida).

Estos cambios están ilustrados gráficamente en la figura 8. Se verá que la perlita inicial comprendiendo alrededor de 25% del acero normal, se cambia en austenita (la solución sólida). A una temperatura correspondiente a la del punto crítico más bajo, A_{c1} , y después absorbe progresivamente la ferrita libre, hasta que a una temperatura que corresponde al fin del último punto crítico A_{c3} , el acero consiste enteramente de austenita.

gráficos, respecto a lo que acabamos de describir; 2/0 - III - tamaño del grano, y 3/0 - la red. Para comprender la naturaleza de estos cambios y su aplicación, es necesario entender claramente el mecanismo en que se efectúan.

La naturaleza del acero, como explicamos antes, es compleja. La estructura de un acero particular puede ser modificada o cambiada completamente por varios grados de calentamiento. Estos cambios de estructura tienen lugar en el acero mientras está en condición sólida a temperaturas conocidas como en los puntos críticos del acero.

Soluciones sólidas. - Para comprender mejor la naturaleza de los nuevos componentes consideremos la interacción entre la sal y el hielo. Cuando se ponen en contacto estas dos sustancias sabemos, que bajo condiciones de temperatura convenientes la sal y el hielo se mezclan uno en otro y así pasan del estado de sustancias separadas a mezcla mecánica a una sustancia sola o solución de sal. Un proceso semejante tiene lugar en el caso de la ferrita, excepto que la solución resultante es sólida en vez de ser un líquido. Las placas individuales de ferrita y cementita que habían caracterizado los granos de ferrita, se incorporan una en otra, formando una nueva sustancia o constituyente, conocida como solución sólida. Este nuevo constituyente, salvo que es un sólido y no un líquido, tiene todas las propiedades de una solución líquida. Sus componentes originales son disueltos en una sola entidad, dando una composición completamente indefinida, y enteramente con nuevas características.

Poder absorbente de la austenita. - Así como la solución de salmuera puede disolver más sal o hielo elevando la temperatura, así la solución sólida de hierro y carbono de hierro posee el poder de absorber más ferrita libre o cementita libre. Por esto cuando la temperatura sube más allá del punto crítico inferior (A₁), habrá un exceso de ferrita, en esta acero particular (0.2% de carbono), la solución sólida o austenita comienza a absorber esta ferrita. Esto continúa progresivamente en la elevación de temperatura hasta que se alcanza el punto crítico (A₂), o para este acero particular la temperatura de transformación es 740-745°C. Pasando esta temperatura que termina alrededor de 740-745°C., el último del exceso restante de la ferrita es absorbido por la austenita, de manera que arriba de este punto crítico del acero, se compone el acero enteramente de austenita (la solución sólida).

Estos cambios están ilustrados gráficamente en la figura 8. Se verá que la ferrita inicial comprendiendo alrededor del 2% del acero normal, se cambia en austenita (la solución sólida). A una temperatura correspondiente a la del punto crítico más bajo, A₁, y después absorbe progresivamente la ferrita libre, hasta que a una temperatura que corresponde al fin del último punto crítico A₂, el acero consiste enteramente de austenita.

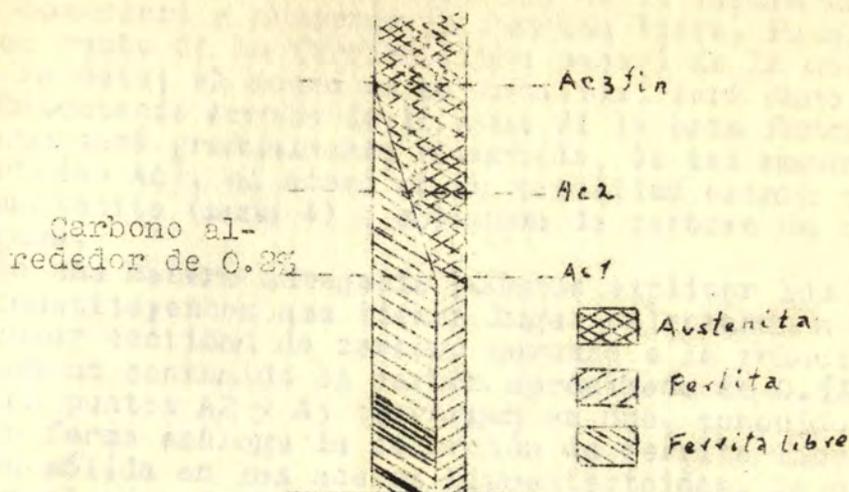


Fig. 8.- Cambio de perlita y ferrita libre en austenita durante el calentamiento.-

Modificación alotrópica de la ferrita.- Asociado en estos puntos críticos también hay un cambio en la forma alotrópica de la ferrita (hierro). Así la ferrita pura (distinguida de la ferrita asociada con la cementita para formar perlita) en su condición normal es llamada ferrita "alfa" o hierro "alfa" y es caracterizada por su extrema ductibilidad y propiedades magnéticas. Calentando esta alfa ferrita un poco arriba de 778°C . correspondiendo al punto crítico Ac_3 , hay un cambio en la modificación alotrópica del hierro, conocido como ferrita "gamma". El hierro gamma tiene la propiedad de disolver carbón o carburo de hierro, una característica que no posee el hierro alfa.

Reunión de los puntos críticos.- Refiriéndonos al diagrama del hierro carbón, se notará que en la relación eutectoide del carbón, esto es, alrededor de 0.9% de carbón, los tres puntos críticos Ac_1 , Ac_2 y Ac_3 convergen en uno. Esto es, aceros que sólo consistían de perlita, cuando son calentados a una temperatura más allá de este punto, se cambiarán directamente en la solución sólida austenita, que consiste de una solución sólida de carburo (o carbón, de acuerdo con algunas autoridades) en hierro gamma. De una manera semejante como la perlita normal siempre representa esta relación eutectoide, el mismo cambio de perlita en una solución sólida de carburo en hierro gamma siempre ocurrirá a esta temperatura en los aceros ordinarios al carbón, independientemente del contenido en carbono del acero en su totalidad.

Cambios en el calentamiento de los diversos aceros.- Con esta explicación clara nos referimos de nuevo al ejemplo del acero con 0.2% de carbono y explicaremos más detalladamente los cambios que tienen lugar en los constituyentes. En condiciones normales, este acero consistirá de perlita más ferrita alfa. Después de calentarla arriba de Ac_1 , la perlita se cambiará en austenita, el hierro que hubiere a la modificación gamma

ma; la ferrita libre permanecerá en la condición alfa. Calentando luego arriba de la zona VII de la figura uno, la austenita comenzará a absorber la ferrita libre. Pasando arriba de Ac_2 el resto de la ferrita libre pasará de la modificación alfa a la beta; el acero en su totalidad será duro y no magnético. Calentando arriba de la zona VI la beta ferrita libre remanente será gradualmente absorbida, de tal manera que pasando crítico Ac_3 , el acero en su totalidad estará constituido por austenita (zona 4) o solución de carburo de hierro en hierro gama.

De una manera semejante podemos explicar los cambios en los constituyentes que tienen lugar calentando a 0 normal con cualquier cantidad de carbono cercana a la relación autectoide. Con un contenido en carbón aproximado de 0.5%, se notará que los puntos A_2 y A_3 convergen en uno, conocido como A_2-3 .

En forma análoga la absorción de ferrita libre por la solución sólida en los aceros hipoeutectoides, la cementita libre en el caso de los hipereutectoides, la solución final teniendo lugar a un punto de temperatura indicado por la línea SE (figura 3). La única diferencia, y ésta muy práctica, es que la solución de la cementita libre tiene lugar más súbitamente que la solución de la ferrita libre de los aceros bajo carbón.

Cambios en el enfriamiento lento.- Cuando se efectúa el enfriamiento lento desde antes del punto crítico más elevado, la solución sólida comienza a rechazar el exceso de ferrita (o, naturalmente, el exceso de cementita en el caso de los aceros hipereutectoides) a la vez que la temperatura decrece de Ar_3 a Ar_1 . Los cambios inversos en la naturaleza física y propiedades del hierro, ocurren en los puntos críticos durante el enfriamiento como se ha descrito anteriormente en el calentamiento. Cuando se ha alcanzado el punto crítico más bajo, el exceso de ferrita o cementita habrá sido enteramente expulsado, y en cuando el acero pase de este punto crítico, la solución sólida (conteniendo ahora 0.9% de carbón) habrá cambiado a perlita. En condiciones semejantes de enfriamiento, el acero original y el presente calentado y enfriado tendrán la misma estructura.

Refinamiento.- Antes de dejar el asunto de la influencia que tiene el calentamiento a través de los diversos puntos críticos en la estructura del acero, hay varios puntos que conciernen al refinamiento y que mencionaremos aquí brevemente. Asumiendo nuevamente que el acero está en condiciones normales, ningún cambio en la estructura tendrá lugar hasta que la temperatura haya alcanzado al menos el punto crítico más bajo. A esta temperatura los granos de perlita original son completamente cambiados y poseerán el refinamiento máximo que puede impartir la formación de la austenita, esto es el refinamiento completo. Si el acero tiene un contenido en carbono diferente al de la relación eutectoide (esto es contiene ferrita libre o cementita libre), el acero no será refinado en

Así; la ferrita libre permanecerá en la condición Alfa. Calentando luego arriba de la zona VII de la figura uno, la austenita comenzará a absorber la ferrita libre. Pasando arriba de A2 el resto de la ferrita libre pasará de la modificación al 1 a la beta; el acero en su totalidad será duro y no magnético. Calentando arriba de la zona VI la beta ferrita libre gradualmente será gradualmente absorbida, de tal manera que pasará de crítico A2; el acero en su totalidad estará constituido por austenita (zona 4) o solución de carbono de hierro en hierro gamma.

De una manera semejante podemos explicar los cambios en los constituyentes que tienen lugar calentando a 0 normal con cualquier cantidad de carbono cercano a la relación eutectoide. Con un contenido en carbono aproximado de 0.7%, se notará que los puntos A2 y A3 convergen en uno, conocido como A2-3.

En forma análoga la absorción de ferrita libre por la solución sólida en los aceros hipereutectoicos, la cementita libre en el caso de los hipereutectoicos, la solución final teniendo lugar a un punto de temperatura indicado por la línea SE (Figura 3). La única diferencia, y ésta muy práctica, es que la solución de la cementita libre tiene lugar más rápidamente que la solución de la ferrita libre de los aceros bajo carbono.

Cambios en el enfriamiento lento. - Cuando se efectúa el enfriamiento lento desde antes del punto crítico más elevado, la solución sólida comienza a rechazar el exceso de ferrita (o, naturalmente, el exceso de cementita en el caso de los aceros hipereutectoicos) a la vez que la temperatura decrece de A3 a A1. Los cambios inversos en la naturaleza física y propiedades del hierro, ocurren en los puntos críticos durante el enfriamiento como se ha descrito anteriormente en el caso de calentamiento. Cuando se ha alcanzado el punto crítico más bajo el exceso de ferrita o cementita habrá sido enteramente expulsado, y en cuando el acero pase de este punto crítico, la solución sólida (conteniendo ahora 0.7% de carbono) habrá cambiado a ferrita. En condiciones semejantes de enfriamiento, el acero original y el presente calentado y enfriado tendrán las mismas estructuras.

Refinamiento. - Antes de dejar el acero de la influencia que tiene el calentamiento a través de los diversos puntos críticos en la estructura del acero, hay varios puntos que conviene mencionar y que mencionaremos aquí brevemente. Asimismo nuevamente que el acero está en condiciones normales, ningún cambio en la estructura tendrá lugar hasta que la temperatura haya alcanzado al menos el punto crítico más bajo. A esta temperatura los granos de ferrita original son completamente cambiados y poseerán el refinamiento máximo que puede impartir la formación de la austenita, esto es el refinamiento completo. Si el acero tiene un contenido en carbono diferente al de la relación eutectoide (esto es contiene ferrita libre o cementita libre), el acero no será refinado en

su totalidad; el exceso de ferrita o cementita permanecerá inalterable y el acero retendrá su tamaño de grano original. El completo refinamiento del acero en su totalidad no resultará hasta que el acero haya sido calentado a una temperatura ligeramente más alta a la de su punto crítico más elevado, como es evidente de las discusiones previas.

Cuando un acero al carbón al ser tratado térmicamente para obtener propiedades físicas que no tenía o bien mejorar las que poseía, se efectúa lo que nosotros conocemos por el nombre general de temple, aún cuando este nombre sólo se emplea para designar la operación que consiste en sujetar un acero a una temperatura un poco más elevada que la de su punto crítico superior y enfriarlo entonces bruscamente en algún líquido; observamos que junto con las variaciones en sus propiedades físicas, se efectuaron cambios internos que originaron estas variaciones. Estos cambios internos son en la estructura interna de la liga, que por estas variaciones bruscas de temperaturas se logran obtener cristalizaciones que siendo estables en temperaturas elevadas no lo son en bajas temperaturas y por esto al descender bruscamente de una temperatura alta a una baja no se le da tiempo al material de modificar su constitución cristalina para permanecer en forma estable como vimos en los enfriamientos lentos de los aceros. Como la cristalización obtenida por medio del temple no es únicamente propia de este sistema sino que existen otros varios métodos para llegar a la misma cristalización, al hablar de las cristalizaciones aludidas y estudiar su constitución, explicaremos de una manera breve los métodos de obtención de las mismas.

AUSTENITA.- Ya hemos visto que la solución sólida del carburo de hierro en hierro gama se denomina austenita; las cantidades de carbono que pueda contener esta especie metalográfica varía desde muy poca cantidad hasta el 1.7%; esta especie es estable en la región 4 de la figura 3. Cuando un acero con alto contenido en carbono se enfría lo más rápidamente posible desde una temperatura muy elevada, se logra obtener una estructura austenítica (cristales mixtos de hierro gama y carburo de hierro). El manganeso favorece la obtención de la austenita. Cuando la cantidad de manganeso es pequeña, no se obtiene austenita pura sino mezclada con martensita. También por cantidades fuertes de níquel, como por ejemplo con el 25%, se consigue una estructura completamente austenítica, aún cuando el enfriamiento sea lento.

La austenita homogénea forma granos poligonales, frecuentemente gemelos y semejantes en su apariencia general al latón recocido. Cuando crece libremente, sus cristales son octaedros regulares. Es muy suave, siendo un poco más dura que la ferrita, y no magnética. Aumentando la cantidad de carbono en el acero, la austenita aumenta su resistencia y su dureza, y disminuye su ductibilidad. La resistencia al paso de la corriente eléctrica es análoga a la del hierro gama, muy alta. Los aceros austeníticos, níquel o manganeso, son muy dúctiles cuando están bien tratados, son muy resistentes al trabajo por rozamien

en totalidad; el exceso de ferrita o cementita permanecerá inalterado y el acero retendrá su tamaño de grano original. El completo refinamiento del acero en su totalidad no resultará hasta que el acero haya sido calentado a una temperatura ligeramente más alta a la de su punto crítico más elevado, como es evidente de las discusiones previas.

Cuando un acero al carbono se trata térmicamente para obtener propiedades físicas que no tenía o bien mejorar las que poseía, se efectúa lo que nosotros conocemos por el nombre general de temple, sin cuando este nombre algo de amplio para designar la operación que consiste en sujetar un acero a una temperatura un poco más elevada que la de su punto crítico superior y enfriarlo entonces bruscamente en algún líquido; obtenemos que junto con las variaciones en sus propiedades físicas, se efectuaron cambios internos que originaron estas variaciones. Estos cambios internos son en la estructura interna de la liga, que por estas variaciones bruscas de temperatura se logra obtener cristalizaciones que siendo estables en temperaturas elevadas no lo son en bajas temperaturas y por esto al descender bruscamente de una temperatura alta a una baja no se le da tiempo al material de modificar su constitución cristalina para permanecer en forma estable como vimos en los ejemplos anteriores. Como la cristalización obtenida por medio del temple no es únicamente propia de este sistema sino que existen otros varios métodos para llegar a la misma cristalización, al hablar de las cristalizaciones estudiadas y estudiar su constitución, explicaremos de una manera breve los métodos de obtención de las mismas.

AUSTENITA. - Ya hemos visto que la solución sólida del carbono de hierro en hierro gamma se denomina austenita; las cantidades de carbono que pueda contener esta especie metalúrgica varía desde muy poca cantidad hasta el 1.7%; esta especie es estable en la región 4 de la figura 3. Cuando un acero con alto contenido en carbono se enfria lo más rápidamente posible desde una temperatura muy elevada, se logra obtener una estructura austenítica (cristales mixtos de hierro gamma y carbono de hierro). El manganeso favorece la obtención de la austenita. Cuando la cantidad de manganeso es pequeña, no se obtiene austenita pura sino mezclada con martensita. También por cantidades fuertes de níquel, como por ejemplo con el 2%, se consigue que una estructura completamente austenítica, sin embargo el enfriamiento sea lento.

La austenita homogénea forma granos poligonales, frecuentemente gemelos y semejantes en su apariencia general al latón recocido. Cuando crece libremente, sus cristales son octaédricos regulares. Es muy suave, siendo un poco más dura que la ferrita y no magnética. Aumentando la cantidad de carbono en el acero, la austenita aumenta su resistencia y su dureza, y disminuye su ductilidad. La resistencia al paso de la corriente eléctrica es análoga a la del hierro gamma, muy alta. Los aceros austeníticos, níquel o manganeso, son muy dúctiles cuando están bien tratados, son muy resistentes al trabajo por rozamiento

to y se trabajan con dificultad a pesar de que su dureza Brinell no es muy elevada.

MARTENSITA.- Es el constituyente principal en el temple correcto de los aceros; es el constituyente esencial de los aceros duros y es el causante de su dureza. Representa el primer grado en la resolución de la austenita en acero alfa y cementita, durante el enfriamiento. Se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros calentados arriba de su punto crítico superior. Tiene aspecto de agujas dispuestas en forma de ángulos agudos a los que Osmond les dió el nombre de "fer de lance" por su semejanza a la punta de una lanza. Las líneas representan realmente macles de octaedros. El tamaño de las agujas varía según las condiciones en que ha sido obtenido. Cuando la cantidad de carbono es grande, la temperatura de temple muy elevada y el enfriamiento rápido. Las agujas son muy grandes. Cuando las condiciones de temple no son exageradas, la martensita resulta con estructura más fina. La martensita contiene hierro alfa y por tanto es magnética. Es el constituyente esencial de los imanes permanentes. El examen por rayos X ha demostrado que la martensita tiene el espacio de red molecular característico del hierro alfa.

Por el ataque en los aceros templados con solución alcohólica de HCl, la martensita toma color oscuro mucho más rápidamente que la austenita. La martensita es el elemento constitutivo más duro que tienen los aceros. Es de gran fragilidad. Generalmente la proporción de carbón de la martensita varía desde vestigios hasta 1%. En los aceros hipereutectoides siempre se encuentra mezclada con cementita a pesar de que se sujetó el temple en condiciones extremadas.

Cuando el temple del acero no es suficientemente exagerado para obtener martensita pura y por otra parte no es tan lento para permitir la transformación a perlita se obtienen constituyentes intermedios entre la martensita y la perlita.

Hardenita.- Es una martensita casi sin estructura. Cuando la temperatura de temple es la más baja posible, pero siempre superior a la zona crítica, se obtiene la hardenita. Esta variedad no presenta una estructura tan típica como las anteriores, probablemente está constituida por solución de carburo de hierro en hierro alfa, como la martensita, pero no presenta la estructura en agujas; su dureza es igual a la de la martensita y se diferencia de ésta esencialmente por carecer de su estructura típica. Suele presentarse en los aceros que para ser templados se calientan corto tiempo y a la temperatura más baja posible. Su aspecto es claro, sin agujas y difícil de atacar.

Troostita.- Este constituyente se encuentra frecuentemente en los aceros endurecidos, después de haber sido parcialmente recocidos; se caracteriza por la superficie café claro o negro producida por el ataque, especialmente por reactivos que contengan nitro-compuestos. Es un nuevo constituyente en la escala de desdoblamiento austenita, martensita, hardenita, troostita, osmondita, sorbita, perlita. No ha llegado a definirse - -

to y se trataban con dificultad a pesar de que su dureza Brinell no es muy elevada.

MARTENSITA. - Es el constituyente principal en el temple en acero de los aceros; es el constituyente esencial de los aceros templados y es el responsable de su dureza. Representa el primer grado en la resolución de la austenita en acero alfa y cementita durante el enfriamiento. Se obtiene por enfriamiento rápido de los aceros carboníferos antes de su punto crítico superior. Tiene aspecto de agujas dispersas en forma de arborescencia. Los aceros que Camong lee el nombre de "temple de lance" por su semejanza a la punta de una lanza. Las líneas representativas de martensita en los aceros. El tamaño de las agujas varía según las condiciones en que ha sido obtenido. Cuando la cantidad de carbono en el acero es pequeña, la temperatura de temple muy elevada y el enfriamiento rápido. Las agujas son muy finas. Cuando las condiciones de temple no son exageradas, la martensita resulta con estructura más fina. La martensita constituye esencialmente el elemento esencial. Es el constituyente esencial de los aceros templados. El examen por rayos X ha demostrado que la martensita tiene el espacio de red molecular característico del hierro alfa.

Por el espacio en los aceros templados con solución sólida de HCl, la martensita toma color oscuro cuando más rápida mente que la austenita. La martensita es el elemento constitutivo más duro que tienen los aceros. Ha de gran fragilidad. Generalmente la proporción de carbono de la martensita varía de 0.25 a 1.0. En los aceros hipereutectoides siempre se encuentran mezclada con cementita a pesar de que se temple en condiciones extremadas.

Cuando el temple del acero no es suficientemente exagerado para obtener martensita pura y por otra parte no es tan lento para permitir la transformación a perlita se obtienen constituyentes intermedios entre la martensita y la perlita.

Hardenitas. - En una martensita casi sin estructura. Cuando la temperatura de temple es la más baja posible, pero siempre superior a la zona crítica, se obtiene la hardenita. Esta variedad no presenta una estructura tan típica como las anteriores, probablemente está constituida por solución de carbono de hierro en hierro alfa, como la martensita, pero no presenta la estructura en agujas; su dureza es igual a la de la martensita y se diferencia de ésta esencialmente por carecer de su estructura típica. Suele presentarse en los aceros que para ser templados se calientan corto tiempo y se enfrían rápidamente a baja temperatura. Su aspecto es claro, sin agujas y difícil de atacar.

Trocantitas. - Este constituyente se encuentra frecuentemente en los aceros endurecidos, después de haber sido parcialmente recocidos; se caracteriza por la superficie más clara o negro producida por el ataque, especialmente por resacas que con- tengan nitrógeno. Ha un nuevo constituyente en la estructura de desdoblamiento austenita, martensita, hardenita, trocantita, cementita, sorbita, perlita. No se ligada a delimitar -

exactamente a la troostita, sin embargo sus propiedades físicas y químicas indican que es una mezcla de cementita y ferrita, algunos indican que es una solución coloidal de los componentes de la martensita (solución sólida de Fe_3C en hierro alfa) y de la sorbita (Fe_3C , y hierro alfa cristalizado), de hierro solamente, de la perlita en su estado de división extremadamente fino. La troostita es un estado de transición inestable entre la martensita y la sorbita. Puede obtenerse en condiciones lo más puras, templando acero que contenga 0.9% de carbono de $725^{\circ} C.$ y enfriando rápidamente. Se presenta en forma de nódulos oscuros muy típicos. La troostita aunque dura es mucho más blanda que la martensita.

Especie metalográfica	Dureza relativa.	Dureza Brinell.
Ferrita	1 Hierro (coml.puro)	90
Perlita	4.5 Acero normalizado 0.9%C	225
Sorbita	52.0 " sorbitico 0.9%C	270
Troostita	88.0 " Troostítico 0.9% C	400
Austenita	104.0 Austenita	155
Martensita	239.0 Acero martensítico 1.6%C	720
Cementita	272.0 Cementita (1)	820

(1)- Según Belaiew la cementita tiene dureza 6 de la escala de Mohr.- Dureza Brinell 400 si se acepta, con Howe, que la de la ferrita es 75.

OSMONDITA.- El estado intermediario que existe entre la troostita y la sorbita es al que Heyn y Bauer le dieron el nombre de osmondita. Al revenir los aceros cambian de estructura y no todas las especies lo hacen a la misma temperatura, pues no todas tienen el mismo grado de inestabilidad a la temperatura ordinaria. El pasaje de la martensita a perlita calentando, tiene lugar en forma tal que su valor máximo es de 400° , temperatura a la que se descompone totalmente dando la especie metalográfica llamada osmondita, que se caracteriza por la velocidad máxima de solubilidad en H_2SO_4 . La cantidad de carbón que es libertada en el estado elemental disolviendo en sulfúrico al 10% (distinguiéndola de la libertada como carbono) aumenta de la martensita pasando por la troostita a la osmondita, y luego disminuye pasando de la osmondita por la sorbita a la perlita. La naturaleza de la osmondita es análoga a la de la troostita, no tiene estructura microscópica característica. Algunos autores designan a las especies metalográficas troostita y osmondita con sólo este último nombre.

SORBITA.- Sólo difiere de la perlita por su estructura granular fina, aspecto difuso. Contiene una cantidad de ferrita o de cementita mayor que la que corresponde a la perlita normal. Mecánicamente considerada, es más tenaz y menos dúctil que la perlita. Tiene alto límite elástico. El acero estructural contiene más sorbita que perlita granular. Se obtiene por recalentamiento (revenido) del acero a temperatura po-

existente a la tróscita, sin embargo sus propiedades físicas y químicas son diferentes a las de la tróscita y algunas indican que es una especie diferente a las comunes de la manténita (solución sólida de Fe₃O₄ en hierro (Fe) y de la sorbita (Fe₃O₄ y hierro en estado oxidado) de hierro solamente, de la perita en un estado de división extremadamente fino. La tróscita es un estado de transición inestable entre la manténita y la sorbita. Puede observarse en condiciones de más pures, templando acero que contiene 0.2% de carbono de 750° C. y enfriando rápidamente. Se presenta en forma de nodulos oscuros muy típicos. La tróscita aparece en un mucho más abundante que la manténita.

375.0	Cementita (1)	275.0	Cementita
239.0	Acero manténítico 1.02	239.0	Manténita
104.0	Austenita	104.0	Austenita
88.0	Tróscita 0.2%	88.0	Tróscita
52.0	" sorbita 0.2%	52.0	Sorbita
4.5	Acero normalizado 0.2%	4.5	Perita
90	Hierro (com. puro)	90	Perita

(1) - Según Belaw la cementita tiene dureza de de la escala de Mohr. - Dureza Brinell 400 al ser sometida a un golpe, que es de la ferrita es 75.

OSMONDITA - El estado intermedio que existe entre la tróscita y la sorbita es el que Hayn y Bauer le dieron el nombre de osmondita. Al aumentar los aceros cambian de estructura y no todas las especies lo hacen a la misma temperatura, pues no todas tienen el mismo grado de inestabilidad a la temperatura ordinaria. El grado de la inestabilidad a perita cambia, tiene lugar en forma tal que su valor último es de 400° temperatura a la que se descomponen totalmente dando la especie metalográfica llamada osmondita, que se caracteriza por la velocidad máxima de solubilidad en H₂SO₄. La cantidad de osmondita que se forma en un estado elemental disolviéndose en ácido nítrico al 10% disminuye a medida que la temperatura (como) aumenta de la inestabilidad por la tróscita a la osmondita, y luego disminuye también de la osmondita por la ferrita a la perita. La estructura de la osmondita es análoga a la de la tróscita, no tiene estructura microscópica característica. Algunos autores designan a las especies metálicas tróscita y osmondita con este último nombre.

SORBITA - Sólo existe de la perita por su estructura granular fina, aspecto grisáceo. Contiene una cantidad de ferrita de cementita mayor que la que corresponde a la perita normal. Mecánicamente consideramos, es más tenaz y menos dúctil que la perita. Tiene alto límite elástico. El acero estructural contiene más sorbita que perita granular. Se obtiene por recalentamiento (revenido) del acero a temperatura po-

Dureza
Brinell.

Dureza metalográfica
lativa.

Especie metalográfica

co menor de la de temple, cuando empieza otro nuevo estado, - el de la descomposición, el cambio de troostita a sorbita, la formación de esta última no tiene lugar espontáneamente, sino que aumenta gradual y progresivamente.

La importancia de la sorbita es debida a sus propiedades físicas.

Todas estas especies cristalográficas se producen al temple o endurecer los aceros comunes, dándoles las diversas -- formas y constituciones según los tratamientos térmicos a que han sido sujetos los aceros. Dado que sus propiedades físicas y mecánicas varían, así deberá adaptarse el proceso térmico a que se sujete para obtener las propiedades deseadas según el uso a que se destine el acero en cuestión.

Los procedimientos de temple y endurecimiento de los aceros son muy variados y su aplicación difiere según la clase -- de acero de que se trate y el uso a que deba destinársele.

Así tenemos, el temple del acero común y que más se usa es el de calentarlo a temperatura elevada, arriba de su punto crítico superior y enfriarlo rápidamente en agua; así en este temple los detalles varían, pudiendo obtenerse muy diversas -- especies de cristalizaciones en una misma clase de acero y como ya hemos dicho debe apropiarse siempre el tratamiento térmico a la clase de acero que se trate y a las propiedades físico-mecánicas que se desea adquiriera el mismo.

Los temples son fuertes y suaves, así puede hacerse el enfriamiento muy brusco enfriando en líquidos muy fríos como -- agua con hielo o bien en líquidos menos fríos como aceite. -- Los temples pueden efectuarse también con baño de sales o en fin por procedimientos especiales.

2. b).- Los ensayos físico-mecánicos de los aceros tienen por objeto el descubrir no sólo su constitución física si no también la resistencia de sus elementos constitutivos a la deformación de los mismos por fuerzas exteriores.

Como hemos visto por lo antes descrito, las propiedades -- mecánicas de los aceros dependen además de la composición química, de la estructura del metal; y esta estructura como vimos también, depende de un sinnúmero de factores mecánicos y físicos que haya podido influir en el proceso del material -- hasta llegar al producto definitivo.

Los ensayos mecánicos pueden dividirse en tres clases:

1/o.- Estáticos: Esfuerzos producidos por una carga constante o por una carga aplicada tan lentamente que la velocidad de aplicación es despreciable. Los ensayos estáticos son: resistencia a la tracción, a la compresión, flexión, torsión, corte, dobladura y pandeo.

2/o.- Dinámicos: Esfuerzos producidos por una carga aplicada tan rápidamente que el esfuerzo es apreciablemente mayor que el producido por el mismo peso lentamente. El ensayo dinámico es la resistencia al choque.

3/o.- De fatiga: Esfuerzos momentáneos y alternados en -- sentido, pero insuficientes para que cada esfuerzo de por sí

co menor de la de temple, cuando empieza otro nuevo estado, el de la descomposición, el estado de los cristales a ser el de la formación de esta última no tiene lugar espontáneamente, sino que aumenta gradual y progresivamente.

La importancia de la teoría es debido a sus propiedades físicas. Todas estas especies cristalográficas se producen al temple y endurecer los aceros comunes, dándose las diversas formas y constituciones según los tratamientos térmicos a que han sido sometidos los aceros. Dado que sus propiedades físicas y mecánicas varían, así deberá adaptarse el proceso térmico a que se ajuste para obtener las propiedades deseadas según el uso a que se destine el acero en cuestión.

Los procedimientos de temple y endurecimiento de los aceros son muy variados y su aplicación difiere según la clase de acero de que se trate y el uso a que deba destinarse.

Así tenemos, el temple del acero común y que más se usa es el de calentarlo a temperaturas elevadas, arriba de su punto crítico superior y enfriarlo rápidamente en agua; así en este temple los detalles varían, pudiendo obtenerse muy diversas especies de cristalizaciones en una misma clase de acero y como ya hemos dicho debe apropiarse siempre el tratamiento térmico a la clase de acero que se trate y a las propiedades físicas-mecánicas que se desee adquirir al mismo.

Los templeos son fuertes y suaves, así puede hacerse el endurecimiento muy brusco enfriando en líquidos muy fríos como agua con hielo o bien en líquidos menos fríos como aceite. Los templeos pueden efectuarse también con baño de sales o en un per procedimientos especiales.

2. b) - Los ensayos físico-mecánicos de los aceros tienen por objeto el descubrir no sólo su constitución física sino también la resistencia de sus elementos constitutivos a la deformación de los mismos por fuerzas exteriores. Como hemos visto por lo antes descrito, las propiedades mecánicas de los aceros dependen además de la composición química, de la estructura del metal y esta estructura como veremos también, depende en gran medida de factores mecánicos y físicos que hay que tener en cuenta en el proceso del material hasta llegar al punto definitivo.

Los ensayos mecánicos pueden dividirse en tres clases: 1.º - Estáticos: En estos pruebas son una carga constante o por una carga aplicada tan lentamente que la velocidad de aplicación es despreciable. Los ensayos estáticos son: resistencia a la tracción, a la compresión, flexión, torsión, corte, dobladura y pandeo.

2.º - Dinámicos: En estos pruebas por una carga aplicada tan rápidamente que el esfuerzo es prácticamente mayor que el producido por el mismo peso lentamente. El ensayo más usual es la resistencia al choque.

3.º - De fatiga: En estos momentos y esfuerzos en un sentido, pero intermitentes para dar una idea de los esfuerzos de por sí.

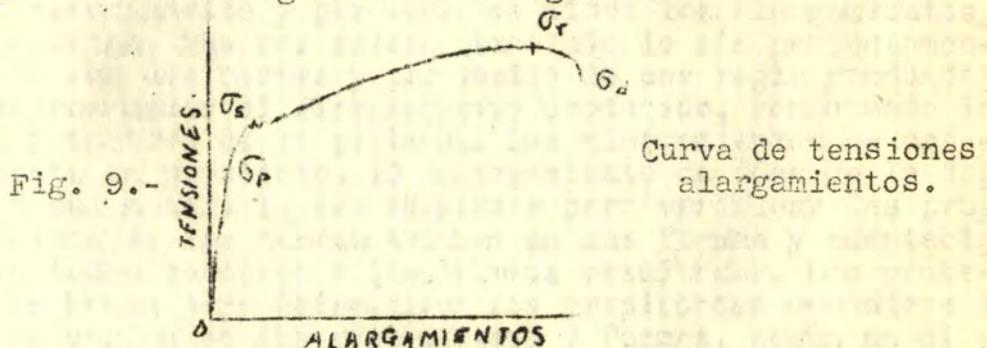
provoque la ruptura (en la probeta) del material.

Pueden efectuarse también ensayos tecnológicos, pero éstos son para investigar si el material responde a determinadas cualidades técnicas como por ejemplo si se puede soldar, forjar, etc.

Además, se examinan también los aceros en su dureza.

El más común de los ensayos que se efectúan en los aceros es el de la resistencia a la tracción. En una máquina hecha para el objeto se sujetan los extremos de una barra de dimensiones determinadas por medio de mordazas, de las que una permanece fija y sobre la otra se hace actuar una fuerza de tracción, que hará que la barra se vaya alargando hasta romperse. Si llevamos sobre un sistema de coordenadas los resultados del experimento que acabamos de mencionar, en el que los alargamientos sean las abscisas y las ordenadas las tensiones (o esfuerzos sucesivos de tracción) obtendremos el digrama de la figura 9. En la curva resultante se han de considerar los valores siguientes:

- a).- Límite de proporcionalidad σ_p .
- b).- " " extensión σ_s .
- c).- Carga máxima de ruptura σ_r .
- d).- " de desgarramiento σ_d .



a).- Es la carga a la que dejan de ser proporcionales los alargamientos y los esfuerzos de tensión. Bajo cargas inferiores al límite, los aceros trabajan en condiciones elásticas, es decir, una vez que las tensiones cesan, el material vuelve a su forma primitiva. Este límite de proporcionalidad y el límite teórico de elasticidad del material son prácticamente idénticos. A pesar de existir aparatos de precisión para medir el límite de proporcionalidad del material, ha sido imposible hallar la carga exacta del límite elástico, se ha convenido en tomar como límite la tensión que origina un alargamiento permanente de 0.03% de longitud, es decir, de la longitud marcada sobre la barreta de ensayo.

b).- El límite de extensión es el que señala la deformación permanente mayor que se obtiene después de las deformaciones elásticas. Los alargamientos ya no crecen proporcionalmente a las cargas, sino que cada vez se hacen mayores para esfuerzos iguales. Unas veces se produce este aumento gradualmente, otras bruscamente. (La determinación del límite de ex-

tensión se practica mucho en los laboratorios de ensaye). En el caso de los aceros, las deformaciones permanentes se verifican generalmente de una manera gradual y es imposible apreciar el límite de extensión. Para estos casos se ha convenido denominar límite de extensión a la carga que produce un alargamiento permanente de 0.2% en la longitud de la probeta empleada en la operación.

c).- La carga de ruptura es el esfuerzo máximo resistido por el material antes de romperse. Corresponde al punto sigma r, figura 9. A partir de esta carga, comienza a romperse el material por su parte más débil y acaba por separarse la barreta en dos trozos, llamándose el último esfuerzo carga de desgarramiento (signa d, figura 9). Las cargas de los límites a), b) y c) se dan en diferentes unidades, según los países. En los que siguen el sistema métrico decimal, se da en kilogramos por milímetro cuadrado (kg.mm.^2). En Inglaterra en toneladas por pulgada cuadrada y en Estados Unidos de Norte América, en libras por pulgada cuadrada.

Se determina igualmente los alargamientos producidos en el material que se sujeta a la prueba de tracción. Para este objeto existen varios aparatos que lo efectúan de una manera más o menos aproximada, pero industrialmente no se requiere una gran aproximación y por esto se miden los alargamientos en las probetas, una vez rotas, juntando lo más perfectamente posible sus dos partes y por medio de una regla graduada en milímetros medir el alargamiento producido, conociendo la longitud primitiva de la probeta. Los alargamientos se dan generalmente en por ciento. El alargamiento da idea de la ductibilidad del material. Las máquinas para verificar las pruebas mecánicas de los aceros varían en sus formas y adaptaciones; pero todas conducen a los mismos resultados. Las probetas que se hacen para determinar las propiedades mecánicas de los aceros varían en sus dimensiones y formas, según en el país en que se verifiquen. Las adoptadas aquí, en los Estados Unidos y en otras muchas partes, se rigen por las especificaciones alemanas, así en lo que se relaciona a las formas, como a las dimensiones y fórmulas.

Es de sumo interés tener conocimiento de la precisión de las máquinas que se usan en los ensayos para saber el error que pueden tener y en su caso corregir las pruebas con los datos adquiridos. Existen probetas tipo para la verificación de las fórmulas y mejor todavía cajas de tara o aparatos que acusan los errores y exactitud de las máquinas de ensaye.

Hasta hace poco no se ha dado importancia a los ensayos dinámicos y de fatiga, sujetándose solamente a los datos obtenidos en los ensayos estáticos; como es de sumo interés el verificar los ensayos de resiliencia y los de fatiga sobre todo en ciertas clases de aceros dedicados a trabajos especiales, en piezas de máquinas que se sujetan a trabajos determinados, como por ejemplo en los ejes, en los ferrocarriles, etc. Se han seguido haciendo estudios encaminados al

En el caso de los aceros, las deformaciones permanentes se ven influenciadas por el grado de deformación y es imposible predecirlas con exactitud. En el caso de los aceros, el límite de deformación permanente de 0.2% en la mayoría de los casos se logra con la aplicación de un esfuerzo de tracción de 0.2% en el límite de deformación permanente de 0.2% en la mayoría de los casos.

c) - La carga de ruptura es el esfuerzo máximo resistido por el material antes de romperse. Corresponde al punto máximo de la curva de esfuerzo-deformación, como se muestra en la figura 9. A partir de este punto, comienza a romperse el material por su parte más débil y se separa la parte superior en dos trozos, llamándose el último esfuerzo resistido de desgarramiento (figura 9). Las curvas de los materiales a) y c) se dan en diferentes unidades, según los países. En los que siguen el sistema métrico decimal, se dan en kilogramos por milímetro cuadrado (kg./mm.²). En Inglaterra se dan en toneladas por pulgada cuadrada y en Estados Unidos de América, en libras por pulgada cuadrada.

Se determinan igualmente los alargamientos producidos en el material que se sujeta a la prueba de tracción. Para este objeto existen varios aparatos que lo efectúan de una manera más o menos aproximada, pero industrialmente no se requiere una gran aproximación y por esto se miden los alargamientos en los probetas, una vez rotas, juntando la más perfectamente posible sus dos partes y por medio de una regla graduada en milímetros medir el alargamiento producido, conociendo la longitud primitiva de la probeta. Los alargamientos se dan generalmente en por ciento. El alargamiento de las probetas de la prueba de tracción, las máquinas para verificar las propiedades mecánicas de los aceros varían en sus formas y adaptaciones; pero todas conducen a los mismos resultados. Las probetas que se hacen para determinar las propiedades mecánicas de los aceros varían en sus dimensiones y formas, según en el país en que se verifican. Las probetas usuales en los Estados Unidos y en otros muchos países, se rigen por las especificaciones siguientes, así en lo que se refiere a las formas, como a las dimensiones y fórmulas.

Es de suma importancia el conocimiento de la precisión de las máquinas que se usan en los ensayos para saber el error que pueden tener y en el caso de ser necesario, las pruebas con los aparatos automáticos. Existen probetas para la verificación de las fórmulas y mayor o menor exactitud de los aparatos que miden los errores y la precisión de las máquinas de ensayo. Hasta hace poco no se ha dado importancia a los ensayos automáticos y de tracción, estudiándose solamente a los datos de tracción en los ensayos estáticos, como es de suma importancia verificar los ensayos de resistencia y los de fatiga, sobre todo en ciertos casos de aceros, debido a trabajos capatazados, en piezas de máquinas que se sujetan a trabajos de tracción, como por ejemplo en los ejes de los ejes de las máquinas, etc. Se han seguido haciendo estudios acerca de la

perfeccionamiento de los ensayos para materiales y hasta ahora, de los ensayos dinámicos o de resiliencia se usa más generalmente el ideado por Charpy, empleando su péndulo y adecuando la probeta a las especificaciones apropiadas. Este ensayo se efectúa haciendo caer un péndulo con un peso conocido, desde una altura determinada sobre una probeta con una entalla y dimensiones son conocidas, expresando la prueba en kilogrametros por centímetro cuadrado.

El ensayo de resiliencia indica la fragilidad del material.

Las pruebas de fatiga o ensayos de duración consisten en someter el material a una serie de esfuerzos momentáneos y alternados, siendo cada uno de estos pequeñísimos con relación al esfuerzo necesario para romper de una vez la probeta de ensayo; en estas condiciones el material siempre se mantiene con sus propiedades elásticas.

Cuando los esfuerzos que resisten las piezas de acero son alternados, su carga de ruptura es bastante más baja que cuando los esfuerzos son estáticos. Los alternados hacen variar las características mecánicas que se obtienen para un acero por los ensayos estáticos, disminuyendo particularmente el límite de extensión y la carga de ruptura. No sólo varían las características mecánicas sin que esto suceda a causa de las variaciones de la estructura interna.

Existen varios tipos de máquinas para efectuar esta clase de pruebas, pero todas están basadas en el mismo principio que es el de someter el material a esfuerzos alternos y pequeños, logrando esto en forma tal que la probeta de ensayo gire continuamente y reciba el esfuerzo en la parte superior, así que esta parte trabaja por compresión a la vez que la inferior trabaja por tensión o viceversa, en la prueba de compresión. En la tensión, se sujeta la probeta por medio de unas mordazas apropiadas, y se somete a golpes momentáneos e interrumpidos, muy pequeños en relación a su carga de ruptura, que son recibidos en una de las mordazas que sostienen la probeta y en los que al principio el material permanece elástico y después de cierto número de golpes empieza a sufrir de deformaciones permanentes hasta que termina por la ruptura, la que es debida al cambio de constitución íntima. Al efectuarse las pruebas hay que tener mucho cuidado en que la probeta no se encuentre rayada, aún por incisión de 0.02 a 0.06 mm. de profundidad porque esto disminuye en un 30% la resistencia a la fatiga.

Se le ha llamado límite de fatiga a la carga de kilogramos por milímetro cuadrado que produce la ruptura de la probeta de ensayo después de un millón de revoluciones.

La dureza es de mucha importancia en las pruebas de los aceros, pues da datos que permiten saber la calidad de material que se trabaja. Como hasta ahora no se ha conseguido uni-

El ensayo de resistencia indica la fragilidad del material. Las pruebas de fatiga o ensayos de duracion consisten en someter el material a una serie de esfuerzos momentaneos y al tornados, siendo cada uno de estos peducialismos con relacion a algunos necesarios para romper de una vez la prueba de ensayo en estas condiciones el material siempre se mantiene con sus propiedades elasticas.

Cuando los esfuerzos que soportan las piezas de acero son alternados, su carga de ruptura es bastante mas baja que cuando los esfuerzos son estaticos. Los alternados hacen variar las caracteristicas mecanicas que se obtienen para un acero por los ensayos estaticos, disminuyendolas particularmente el limite de elasticidad y la carga de ruptura. No solo varian las caracteristicas mecanicas sin que esto suceda a causa de las variaciones de la estructura interna.

Existen varios tipos de maquinas para efectuar este tipo de pruebas, pero todas estan basadas en el mismo principio que es el de someter el material a esfuerzos alternos y podun los, formando parte de un tipo tal que la prueba de ensayo tiene un determinado y preciso estacion en la parte superior, del que parte el trabajo por compresion a la vez que la inferior trabaja por tension o viceversa. En la prueba de compresion, la tension, se aplica la prueba por medio de un conjunto apropiado, y se somete a golpes momentaneos e intermitentes, muy pesados en relacion a su carga de ruptura, que son recibidos en uno de las mordazas que sostienen la proba y en los que el principio de material permanece estatico y despues de cierto numero de golpes empieza a salir de su posicion permanente hasta que termina con la ruptura. Al efectuarse que se cobija el cambio de estructura interna. En el ensayo de prueba hay que tener mucha cuidado en que la proba no se agriete revaga, con un coeficiente de 0.02 a 0.05 mm. de longitud porque este disminuye en un 30% la resistencia a la fatiga.

Se le llama limite de fatiga a la carga de kilogramos por millimetro cuadrado que produce la ruptura de la proba de ensayo despues de un millon de revoluciones. En algunas de las pruebas de duracion se de mucha importancia en las pruebas de fatiga, pues de estos que dependen sobre la calidad de material que se trabaja. Como hasta ahora no se ha conseguido un

El ensayo de resistencia indica la fragilidad del material. Las pruebas de fatiga o ensayos de duracion consisten en someter el material a una serie de esfuerzos momentaneos y al tornados, siendo cada uno de estos peducialismos con relacion a algunos necesarios para romper de una vez la prueba de ensayo en estas condiciones el material siempre se mantiene con sus propiedades elasticas.

Se reconocen dos clases de recocido, el propiamente dicho en el que se somete el material a temperatura superior a su punto crítico más elevado y se deja enfriar lentamente y el recocido comercial que consiste en la operación de calentar a una temperatura predeterminada sin que sea necesario que ésta supere el punto crítico, y esto con objeto de suavizar el material o bien destruir en él los esfuerzos internos producidos por previo endurecimiento o por operaciones de elaboración.

En la aplicación de calor al material por recocer, hay una correlación entre los elementos de temperatura, tiempo, masa y superficie. En la práctica para obtener éxito en el recocido (o en cualquier proceso de tratamiento térmico, para esta materia) no es sólo suficiente la comprensión técnica del proceso sino también del juicio y arte del operador en el horno, al aplicar los principios básicos que se derivan de los factores del recocido antes expuestos. Así el operador es el que determina la manera de acomodar la carga en el horno, de regular flujo y composición de los gases calientes, de determinar cuando el acero ha sido calentado uniformemente y en su totalidad. De tener cuidado que el calor haya penetrado hasta el centro de la pieza, no sólo para adquirir la seguridad de un recocido uniforme, sino también para hacer lo más corto posible el tiempo de saturación, disminuir el tiempo de exposición de la parte superior y filos exteriores de la pieza al calor e influencias de la atmósfera de la cámara en el material. Se ha demostrado que una temperatura uniforme en la cámara no quiere decir el obtener un producto uniformemente calentado; la circulación del calor a través de la masa es más deseable que la mera aplicación del exterior; que, con la misma uniformidad de la cámara es posible variar la calidad del recocido, por la forma en que el acero ha sido puesto en la zona de calentamiento. Es conveniente colocar la carga un poco arriba del piso del horno por medio de blocks o soportes apropiados, de que cada pieza esté separada de las demás y evitar que el calor se localice en la parte superior de la cámara.

Fundamentalmente, la operación de recocido consiste en dos fases bien definidas y coordinadas, la fase de calentamiento y la de enfriamiento. Ya sea que se considere una u otra fase -- los factores básicos que intervienen son la temperatura y el tiempo. La temperatura de calentamiento debe normarse por el cambio deseado en el tamaño del grano, en los micro-constituyentes o en ambos. La temperatura de enfriamiento por el grado de transformación del acero que se recoce.

El otro elemento o sea el tiempo, en la fase de calentamiento, es la duración necesaria a la temperatura predeterminada, para obtener la saturación y depende metalúrgicamente de la microestructura del acero al recibirse para su recocido, de la masa y de la superficie. El elemento tiempo en la fase de enfriamiento es la expresión de la velocidad a la que debe enfriarse el acero a través de sus puntos críticos y está determinado por la microestructura deseada en el acero, la masa y

La reconocen las clases de resaca, el procedimiento
que en el que se somete el material a temperatura superior
a la temperatura crítica más elevada y se debe evitar
recoído comercial que consista en la operación de calentamiento
una temperatura predefinida sin que sea necesario que el
sobre el punto crítico, y esto con objeto de evitar el
tal o bien destruir en él los carbonos internos producidos
por el proceso industrial o por operaciones de elaboración.
En la aplicación de calor al material por resaca, hay
una correlación entre los elementos de temperatura, tiempo, ma-
terial y superficie. En la práctica para obtener éxito en el reco-
cido (o en cualquier proceso de tratamiento térmico, para este
material) no es sólo suficiente la comprensión técnica del pro-
cedo sino también del juicio y arte del operador en el horno.
Al aplicar los principios básicos que se derivan de los factor
res del recoído antes expuestos. Así el operador es el que
termina la manera de acomodar la carga en el horno, de regular
el tiempo y composición de los gases calientes, de determinar el
de la carga ha sido calentado uniformemente y en su totalidad.
De tener cuidado que el calor haya penetrado hasta el centro
de la pieza, no sólo para asegurar la seguridad de un recoído
uniforme, sino también para hacer lo más corto posible el tie-
po de saturación, disminuir el tiempo de exposición de la par-
te superior y filos exteriores de la pieza al calor e influen-
cia de la atmósfera de la cámara en el material. Se ha demost-
rado que una temperatura uniforme en la cámara no quiere de-
cir el obtener un producto uniformemente calentado; la circun-
stancia del calor a través de la masa es más decisiva que la ma-
nifestación del exterior; que, con la misma uniformidad de la
cámara es posible variar la calidad del recoído, por la forma
en que el acero ha sido puesto en la zona de calentamiento. Es
conveniente colocar la carga un poco arriba del piso del horno
por medio de bloques o soportes apropiados, de que cada pieza
esté separada de las demás y evitar que el calor se localice
en la parte superior de la cámara.
Por consiguiente, la operación de recoído consiste en dos
fases bien definidas y coordinadas, la fase de calentamiento y
la de entramiento. Ya sea que se considere una u otra fase
los factores básicos que intervienen son la temperatura y el
tiempo. La temperatura de calentamiento debe normarse por el
cambio deseado en el tamaño del grano, en los micro-consti-
tuyentes o en ambos. La temperatura de entramiento por el grano
de transformación del acero que se resaca.
El otro elemento o sea el tiempo, en la fase de calenta-
miento, es la duración necesaria a la temperatura predefinida
de la parte superior de la saturación y depende naturalmente de
la microestructura del acero al recibir para ser recoído, de
la masa y de la superficie. El elemento tiempo en la fase de
entramiento es la exposición de la velocidad a la que debe en-
trarse el acero a través de sus partes críticas y está deter-
minado por la microestructura deseada en el acero, la masa y

superficie del mismo.

El calentamiento inicial es conveniente hacerlo lento, con cuidado y uniformemente de acuerdo con la composición química o con las condiciones físicas del acero. Calentando a temperaturas tan elevadas como se usan generalmente en la práctica -- del recocido, necesariamente resultan cambios más o menos grandes de su condición física o reajuste molecular; mientras mayor haya sido el temple y la suma de los esfuerzos internos en el metal, mayor será el efecto deletéreo de tal calentamiento. Así, objetos de formas intrincadas, o con secciones variables, o un acero fuertemente templado, deben todos éstos tratarse -- con el mayor cuidado al calentarlos para que el abandono de -- cualquier esfuerzo no cause desgarramientos o cualquier defecto en el material. Tales piezas no deben meterse directamente al horno caliente, sino ser precalentadas cuidadosamente.

En los aceros hipocutectoides, al someterlos al calentamiento, mientras no se alcanza el primer punto crítico no hay refinamiento en el acero, no hay cambios cristalográficos. Una vez alcanzado éste, la perlita cambia totalmente en solución sólida, dando el refinamiento máximo a la austenita. Siguiendo la marcha ascendente de la temperatura, al alcanzar el punto crítico Ac₂, hay formación de hierro beta. La absorción del -- exceso de ferrita continúa progresivamente. Los cambios que -- ocurrían en la zona 7 continúan en la zona 6 (figura 3), pero -- más lentamente. Si la velocidad de calentamiento es lenta en -- esta zona se efectuará la absorción completa de la ferrita permanente antes de llegar al punto Ac₃. En general, en circunstancias ordinarias, la absorción es completa pasando el Ac₃. -- Al pasar este punto, el refinamiento del grano es completo. Si la temperatura pasa más allá de este punto, la resistencia del acero disminuye. El efecto que causa en las propiedades físicas del acero es muy grande. La resistencia a la tensión aumenta a medida que la temperatura avanza. El límite elástico -- crece hasta su máximo de unos 80 a 95° C. arriba del punto crítico más elevado, después de lo cual decrece. El alargamiento y reducción de área decrecen muy rápidamente. La verdadera operación del recocido requiere la producción de una estructura cristalina completamente nueva y el tamaño del grano lo más pequeño que pueda alcanzarse; esta operación elimina toda clase de esfuerzos y tensiones interiores. La temperatura de recocido completo debe ser un poco mayor que el punto crítico más -- elevado y depende de la composición química del acero y más -- particularmente del contenido en carbón.

La temperatura que recomienda la Sociedad Americana de -- Pruebas de Materiales (A.S.T.M.), son las siguientes:

Contenido en carbono:-	Límite de temp. de recocido:-
Menos de 0.12%	871° - 927° C.
de 0.12 a 0.29"	843° - 871° "
" 0.30 " 0.49"	816° - 843° "
" 0.50 " 1.00"	788° - 816° "

Estas temperaturas son un poco elevadas y mientras más bajas posibles sean, el material quedará mejor.

En la fase de calentamiento hay que tener en cuenta un factor importante que es el de llevar la masa total del acero a la temperatura uniforme apropiada. Si la pieza por recocer es muy grande, no debe elevarse mucho la temperatura arriba del punto crítico superior con objeto de que el recocido en el centro de la pieza sea completo, porque esto acarrearía una descarburation en la superficie de la pieza y a causa de esto la vida de la misma disminuiría considerablemente. Es menos peligroso tomar tiempo extra del requerido para el recocido del material, calentando más lentamente para llevar el acero en su totalidad a una temperatura uniforme.

El tiempo de duración del recocido debe ser el suficiente para que el acero se caliente uniformemente a la temperatura deseada y mantener a esta temperatura por un período suficiente para que se forme el nuevo grano de estructura. La duración del recocido se determina ordinariamente por la masa (la disminución máxima de sección) y la superficie expuesta al calor.

La velocidad de enfriamiento varía según la cantidad contenida en el acero y debe estar en relación con los elementos tiempo, masa, superficie, pudiéndose obtener un control bueno en la estructura final de acero recocido, si la fase de calentamiento se llevó a cabo conforme se ha descrito. Cuando la cantidad de carbono es muy pequeña, el enfriamiento puede hacerse más rápidamente que cuando el contenido en carbono sea mayor. En enfriamiento más lento se obtiene dejando las piezas dentro del horno para que se enfríen a la vez que éste. Puede sustituirse este enfriamiento sacando la pieza del horno y cubriéndola con una sustancia mala conductora del calor, como la cal, ceniza, o arena. A veces se obtiene un enfriamiento más lento por este procedimiento, que dejando enfriar el horno. No siempre es necesario un enfriamiento muy lento y entonces se deja enfriar las piezas al aire. Otras veces puede activarse el enfriamiento metiendo las piezas en algún líquido como agua o aceite; pero debe tenerse en cuenta que el enfriamiento en agua puede hacerse sólo cuando la cantidad de carbono es menor de 0.15% y en aceite cuando esta cantidad esté entre 0.15% y 0.25%. Pasando la cantidad de carbono de 0.25%, no puede hacerse el enfriamiento en líquido alguno, sin que quede algo templado.

Cuando el enfriamiento se efectúa en el mismo horno o lentamente, la estructura que se obtiene en el material es normal o reticular, pero si el enfriamiento se efectúa en el aire, entonces se obtiene la sorbita. Si el enfriamiento es sumamente lento en relación a los elementos masa y superficie, se obtiene una completa coalescencia del exceso de ferrita (coalescencia: fenómeno general en las aleaciones, que consiste en aglomerarse los elementos estructurales de igual fase para integrar elementos más grandes. Para esto podemos decir que la duración de enfriamiento en el horno, o su equivalente, debe es-

Las temperaturas en un caso elevadas y mientras más de
 las posibles sean, el material quedará mejor.
 En la fase de calentamiento hay que tener en cuenta en los
 momentos que se al de llevar la masa total del acero a
 la temperatura uniforme apropiada. Si la pieza por recibir se
 muy grande, no debe elevarse mucho la temperatura arriba del
 punto crítico superior con objeto de que el recocido en el cen-
 tro de la pieza sea completo, porque esta estructura una des-
 organización en la superficie de la pieza y a causa de esto la
 misma diámetro considerablemente. Es menos pe-
 rto tomar tiempo extra del recocido para el recocido del ac-
 ción, calentando más lentamente para llevar el acero en su
 totalidad a una temperatura uniforme.

El tiempo de duración del recocido debe ser el suficiente
 para que el acero se caliente uniformemente a la temperatura
 deseada y mantener a esta temperatura por un período suficiente
 para que se forme el nuevo grano de estructura. La duración
 del recocido se determina ordinariamente por la masa (la dimen-
 sión máxima de sección) y la superficie expuesta al calor.
 La velocidad de enfriamiento varía según la cantidad de acie-
 rre en el horno y debe estar en relación con los elementos
 de masa, superficie, pudiéndose obtener un control bueno
 en la estructura final de acero recocido, si la fase de calen-
 tamiento se llevó a cabo conforme se ha descrito. Cuando la
 cantidad de carbono es muy pequeña, el enfriamiento puede ha-
 cerse más rápidamente que cuando el contenido en carbono sea
 mayor. En el tratamiento más lento se evita dejando las piezas
 dentro del horno para que se enfríen a la vez que ésta. Puede
 utilizarse este enfriamiento sacando la pieza del horno y en-
 fríndola con un abundancia más conductores del calor, como
 la piel, cenizas, u arena. A veces se obtiene un enfriamiento
 más lento por este procedimiento, que dejando entrar el horno.
 No siempre es necesario un enfriamiento muy lento y entonces
 se deja entrar las piezas al aire. Otras veces puede activar-
 se el enfriamiento metiendo las piezas en algún líquido como
 agua o aceite; pero debe tenerse en cuenta que el enfriamiento
 en agua puede hacerse sólo cuando la cantidad de carbono es me-
 nor de 0.15% y en aceite cuando esta cantidad está entre 0.15
 y 0.35%. Pasando la cantidad de carbono de 0.35%, no puede ha-
 cerse el enfriamiento en líquido alguno, sin que quede algo
 de enfriamiento.

Cuando el enfriamiento se efectúa en el mismo horno o len-
 tamente, la estructura que se obtiene en el material es normal
 y regular, pero al el enfriamiento se efectúa en el aire, el
 enfriamiento se obtiene la superficie. Si el enfriamiento es su-
 brito en relación a los elementos mas y superficie, se obtie-
 ne una completa coalescencia del exceso de ferrita (coalescen-
 cia). También general en las aleaciones, que consisten en al-
 gunos de los elementos estructurales de igual fase para in-
 formar elementos más grandes. Para esto podemos decir que la in-
 tención de enfriamiento en el horno, o un equivalente, debe ser

tar en proporción inversa del tamaño de la pieza (esto es, los elementos masa y superficie). Al efectuarse el enfriamiento lento se obtiene como elemento estructural la perlita laminar, pero esto no representa el máximo de estabilidad estructural. Si el enfriamiento se hace sumamente lento, se obtiene la perlita globular, en la que la cementita se presenta bajo forma de glóbulos o esferoides. Algunos autores dicen que el estado más conveniente para someter un acero al temple, es el globular de la cementita. El estudio de la esferoidización de los elementos estructurales ha sido efectuado con mucho detenimiento debido a la importancia que esto tiene en la industria. Mientras más lento sea el enfriamiento, más bajo será el esfuerzo a la tensión del material y mayor su ductibilidad.

Si el tamaño del grano estructural es razonable antes de someter el acero al recocido, el elemento tiempo siendo normal y el calentamiento a temperatura apropiada es ordinario, se obtendrá un tamaño de grano pequeño.

Si el material estuviera siempre en estas condiciones, el trabajo sería relativamente fácil teniendo alguna experiencia. Desgraciadamente no ocurre siempre esto y entonces el tratamiento térmico es un problema complejo; esto sucede debido al forjado del material o a otras operaciones de elaboración. A veces el acero ha sido sujetado a trabajos mecánicos muy severos y el tiempo de saturación puede pasar de los límites normales y volverse un factor de suma importancia. En estos casos deben usarse métodos especiales de recocido para producir en el acero los cambios moleculares necesarios. La razón de esto se explica por la lentitud con que se efectúa la absorción o el fenómeno de difusión y homogeneización. Mientras mayores son los esfuerzos internos en el acero primitivo, más difícilmente son destruidos por el tratamiento y queda un resto de ellos aún después del cambio de los elementos constitutivos. A pesar de la nueva estructura producida por el calor del recocido, permanece por un tiempo bastante considerable, la tendencia de la nueva estructura a retornar, después del enfriamiento lento, a la condición de esfuerzos original, aún cuando los constituyentes mismos hayan tomado nacimiento en la nueva temperatura. Para poder dar cuenta de este fenómeno, recurriremos al caso de un grano de sal al ser disuelto por la salmuera. La solución inmediatamente vecina al grano es la que actúa como disolvente y no el volumen total de la salmuera. Sin embargo, con el tiempo la sal disuelta se difundirá eventualmente en el cuerpo total de la salmuera y entonces su composición será igual en todas sus partes. Un proceso semejante ocurre en el acero cuando la solución sólida (austenita) está absorbiendo el exceso de ferrita y se encuentra que la absorción completa no quiere decir la difusión completa en homogeneización. El proceso de homogeneización se verifica con la elevación de temperatura. Si el paso a través de las temperaturas inferiores al punto crítico más elevado es solo muy ligero, una gran parte de la difusión ocurrirá cuando se alcance el punto Ac_3 . En-

... la propagación inversa del tamaño de la pieza (esta
... Al estudiar el fenómeno de la
... se obtiene como elemento estructural la partícula laminar
... no representa el máximo de estabilidad estructural
... el enfriamiento se hace sumamente lento, se observa la
... en la que la cementita se presenta bajo forma
... o esféricas. Algunas zonas dicen que el estado
... para conseguir un acero al temple, en el globo
... de la cementita. El estudio de la estructura de los
... estructuras ha sido efectuado con mucho detenimiento
... a la importancia que esto tiene en la industria.
... más lento sea el enfriamiento, más bajo será el es-
... de la tensión del material y mayor su ductilidad.
... Si el tamaño del grano estructural es reducido antes de
... el acero el tiempo de recocido, el elemento tiempo siendo
... a temperatura apropiada es ordinario, se
... un tamaño de grano pequeño.
... Si el material estuviera siempre en estas condiciones, el
... sería relativamente fácil teniendo alguna experiencia
... no ocurre siempre esto y entonces el trata-
... es un problema complejo; esto sucede debido a
... y a otras operaciones de elástica. A
... se ha sido sujeto a trabajos mecánicos muy severos
... y el tiempo de saturación puede pasar de los límites normales
... un factor de suma importancia. En estos casos
... métodos especiales de recocido para producir en
... los cambios moleculares necesarios. La razón de esto
... por la lentitud con que se efectúa la separación
... y homogeneización. Mismas razones
... en el acero primitivo, más difícil-
... por el tratamiento y queda un resto de
... de los elementos constitutivos. A
... de la nueva estructura producida por el calor del recoci-
... por un tiempo bastante considerable, la tempera-
... a retomar, después del enfriamiento
... a la condición de esfuerzos original, sin cuando los
... nuevas mismas hayan tomado nacimiento en la nueva tem-
... Para poderse dar cuenta de este fenómeno, recurrimos
... un grano de sal al ser disuelto por la salmuera
... inmediatamente vecina al grano es la que actúa co-
... y no el volumen total de la salmuera. Sin embar-
... el tiempo la sal disuelta se distribuirá eventualmente
... el cuerpo total de la salmuera y entonces su composición se
... en todas sus partes. Un proceso semejante ocurre en
... la solución cuando la solución original está compuesta
... de exceso de ferrita y se encuentran que la solución compo-
... la difusión completa en homogeneización. El
... se verifica con la elevación de tem-
... Si el paso a través de las temperaturas inferiores
... más elevado es solo muy ligero, con gran par-
... cuando se alcanza el punto A₁. En

tonces la duración a una temperatura aproximada a Ac_3 deberá ser suficientemente larga para la refinación completa del grano y para que la difusión del exceso de ferrita absorbido sea también completa.

Cuando un acero ha sido sobrecalentado, puede ser refinado por un simple recocido, aun cuando las piezas grandes requieran doble recocido o bien durante el recocido primero dejar un tiempo largo de saturación, evitando así la segunda.

Uno de los puntos vitales para obtener un acero satisfactorio después del recocido, es la protección de su superficie. Cuando el acero ha sido calentado más allá del rojo sombra, exhibe una gran tendencia a oxidarse o a producir escamas, aumentando esta acción en presencia de oxígeno con la temperatura y la duración del tiempo a que se sujeten. Estas condiciones existen en los hornos que se operan de tal manera, que producen calores fuertes en vez de suaves, atmósferas reductoras ligeramente nebulares. Se obtiene descarburización del material cuando se aplica combustión impropia o se eleva el calor demasiado. Si el horno está mal proyectado y la operación de hacer burdamente, de existir tales condiciones con objeto de producir una superficie limpia, es necesario proteger la superficie expuesta en alguna forma. Para recocer este material hay que encerrar estas piezas en cajas y cubrirlas superficialmente con carbón de madera o substancia similar siempre que la superficie sea importante y carantice el costo extra para los tubos, el tiempo extra, el combustible y el trabajo incidental para su uso. Esto no se propone solamente en teoría sino que se efectúa en la práctica y con éxito, pues se obtiene economía en la designación del horno adecuado y en la operación.

El recocido en cajas se efectúa cuando la pieza que se somete a este tratamiento debe tener una superficie bien acabada y sin daños. Se mete el material en una caja de hierro fundido que puede estar provista de ladrillos refractarios. Se empaqueta el material cuidadosamente con una substancia tal como mica en polvo, carbón de madera, arena, cuero, cal, etc. Si el acero es de bajo carbón, no debe usarse material carbonoso o que genere monóxido de carbón porque se produciría una ligera cementación. Si el caso es de aceros al alto carbón, pueden usarse los agentes reductores, también es bueno mezclarle al carbón de madera cenizas limpias. La arena y la mica en polvo son probablemente los mejores materiales refractarios no reductores. Se pone la cubierta sobre la caja y se mete ésta con su contenido en el horno procurando que no toque el suelo del mismo para que los gases puedan circular alrededor de la misma con facilidad y se le deja un grado de duración de calor apropiado, sacándola luego para que se enfríe a la temperatura atmosférica.

Resumen de los métodos de recocido. La tabla siguiente da los datos condensados de los métodos de recocido previamente discutidos; hay que usarlos junto con una consideración cuidadosa de todos los elementos que influyen y pueden alterar las condiciones distintivas que siguen:

... la duración a una temperatura aproximada a 1000 debe ser satisficentemente larga para la refinación completa del gra... no y para que la difusión del exceso de ferrita absorbido sea también completa.

Cuando un acero ha sido sobrecalentado, puede ser refinado por un simple recocido, aun cuando las piezas grandes requieran doble recocido o bien durante el recocido primero dejan un tiempo largo de esturación, evitando así la segunda.

Uno de los puntos vitales para obtener un acero satifactorio después del recocido, es la protección de su superficie. Cuando el acero ha sido calentado más allá del rojo somero, exhibe una gran tendencia a oxidarse o a producir escamas, aunque esta acción en presencia de oxígeno con la temperatura y la duración del tiempo a que se sujeten. Estas condiciones existen en los hornos que se operan de tal manera, que producen calores fuertes en vez de suaves, estándares reductores lijeramente neutrales. Se obtiene descarburation del material cuando se aplica combustión impropia o se eleva el calor demasiado. Si el horno está mal proyectado y la operación de hacer recocido, de existir tales condiciones con objeto de producir una superficie limpia, es necesario proteger la superficie en algunas formas. Para recocer este material hay que exponer estas piezas en cajas y cubiertas superficialmente con carbón de madera o subatancia similar siempre que la superficie sea importante y garantice el costo extra para los tubos, el tiempo extra, el combustible y el trabajo incidental para su uso. Esto no se propone solamente en teoría sino que se efectúa en la práctica y con éxito, pues se obtiene economía en la desatención del horno adecuado y en la operación.

El recocido en cajas se efectúa cuando la pieza que se somete a este tratamiento debe tener una superficie bien acabada y sin daños. Se mete el material en una caja de hierro fundido que puede estar provista de ladrillos refractarios. Se emplea el material cuidadosamente con una subatancia tal como mica en polvo, carbón de madera, arena, cenizas, etc. Si el acero es de bajo carbono, no debe usarse material carbonoso o que genere monóxido de carbono porque se produciría una ligera oxidación. Si el caso es de aceros al alto carbono, pueden usarse los agentes reductores, también se puede mezclarle al carbono de madera cenizas limpias. La arena y la mica en polvo son probablemente los mejores materiales refractarios no reductores. Se pone la cubierta sobre la caja y se mete ésta con su contenido en el horno procurando que no toque el suelo del mismo para que los gases puedan circular alrededor de la misma con libertad y se le deje un grado de duración de calor apropiado, sacándolo luego para que se enfríe a la temperatura atmosférica.

Resumen de los métodos de recocido. La tabla siguiente de los datos condensados de los métodos de recocido previamente discutidos; hay que usarlos junto con una consideración cuidadosa de todos los elementos que influyen y pueden alterar las condiciones distintivas que siguen:

CLAVE DE REFERENCIAS PARA LOS METODOS DE RECOCIDO.

Clave	Resultado deseado	Temperatura.
A		Ac3 - 500° F. o Ac3 - 150° F.
B		Ac3 - 200° a 300° F.
C		Ac1 - 250° F.
D		Ac1 - 50° F.
		Saturación.
N		normal.
P		prolongada.
		Enfriamiento.-
Q		aire
R		retardado
		Estructura inicial.-
	Carácter	
I	razonable	
II	sobre calentada	
III	fuertemente sobre calentada	
IV	sobre calentado máximo	
V	trabajado en frío	
VI	piezas fundidas (fundiciones)	
X	tratamiento repetido si los resultados de los tratamientos previos no son satisfactorios.	

METODOS DE RECOCIDO.

Acero: Resultado deseado:	Secciones pequeñas.	Secciones grandes:
I Recocido completo comercial (refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANR	ANQ
II Recocido completo comercial (Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	APR	ANQ-ANQ o ANR-ANR.
III Recocido completo comercial (Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	APR o ANQ-ANR	BNQ - ANQ XANQ.
IV Recocido completo comercial (Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	BNQ-ANR	BPQ -- ANQ XAPQ o XENQ-ANQ.
V Recocido completo comercial (Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	APR	APQ
VI Recocido completo comercial (Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANR	APR

CLAVE DE REFERENCIAS PARA LOS METODOS DE RECOCIDO.

Clave	Caracter	Tratamiento
A	resonable	Tratamiento
B	sobre calentada	Tratamiento
C	trastamente sobre calentada	Tratamiento
D	sobre calentado máximo	Tratamiento
E	tratado en frío	Tratamiento
F	piezas fundidas (fundiciones)	Tratamiento
G	Tratamiento repetido al los resultados de los	Tratamiento
H	tratamientos previos no son satisfactorios.	Tratamiento

METODOS DE RECOCIDO.

Clave	Sección	Sección	Sección	Sección
I	Recocido completo comercial	(Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANG-ANG	ANG
II	Recocido completo comercial	(Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANG-ANG	ANG-ANG
III	Recocido completo comercial	(Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANG-ANG	ANG-ANG
IV	Recocido completo comercial	(Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANG-ANG	ANG-ANG
V	Recocido completo comercial	(Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANG-ANG	ANG-ANG
VI	Recocido completo comercial	(Refinamiento máximo y gran ductibilidad).	ANG-ANG	ANG-ANG

Acero: Resultado deseado:		Secciones pequeñas:	Secciones grandes:
I	Sólo buen maquinado	DNQ	DNQ
I	Ductibilidad máxima y re- finamiento	ANR-CNR	ANR-CNR
I	Ductibilidad resistente	ANQ-DNQ	ANQ-DNQ
VI	Recocido comercial.	ANR	APR

TEMPLE.

El temple del acero consiste en calentarlo un poco arriba de A_{r3} y enfriarlo en seguida, acelerando más o menos su enfriamiento por medio de un líquido o valiéndose de otros medios. Sabemos que por esta operación el acero adquiere una dureza considerable. Aumentan las características mecánicas siguientes: Resistencia a la tracción, elasticidad y dureza, y disminuyen el alargamiento, la estricción y la resiliencia.

Para poder discutir inteligentemente el mecanismo de endurecimiento (temple) de los aceros, es necesario obtener un conocimiento claro de las reacciones que tienen lugar a las temperaturas críticas en ambos tratamientos: en el calentamiento y en el enfriamiento de los mismos. Si la fase de calentamiento es una preparación para la de enfriamiento, es necesario -- llevarla a cabo de la manera debida para que el resultado de la segunda no sea inútil y se eche a perder económicamente todo el proceso. Lo más que puede hacer la fase de enfriamiento es retener y desarrollar las características impartidas por la primera fase. Así, calentando a una temperatura más baja que el punto crítico inferior y enfriando rápidamente, no habrá -- cambio alguno en el acero original, que consiste de perlita y ferrita (acero 0.4% de carbono en estado perlítico normal).

Calentando a una temperatura un poco mayor que el punto crítico inferior y enfriando, cambiará la perlita a la solución sólida; pero no afectará la ferrita libre. Se obtendrá un acero semi-templado (semi-endurecido).

Calentando a temperatura entre los puntos críticos menor y mayor, cerca del mayor, el efecto que producirá será una absorción progresiva de la ferrita libre por la solución sólida. Al enfriar el acero será más duro que en el caso anterior. Y calentando ligeramente arriba del punto crítico superior, durante un tiempo suficientemente largo para que la difusión y homogeneización sean completas, se obtendrá un acero refinado con el tamaño de grano lo más pequeño posible.

Si calentamos a una temperatura considerablemente mayor al punto crítico superior, el tamaño del grano tenderá a aumentar; al efectuar el enfriamiento se retendrá esta condición, dando por lo consiguiente, un acero quebradizo.

La relación que existe entre el recocido y el temple es -- que al calentar el acero los cambios que tienen lugar en los constituyentes microscópicos y en la estructura total, son semejantes en ambos casos. La diferencia esencial está en el resultado de los dos procesos, debido a la velocidad de enfria-

Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones
Secediones	Secediones	Secediones	Secediones

TEMPLE

El temple del acero consiste en calentarlo un poco arriba de los y entretanto en soquear, acelerando más o menos su enfriamiento por medio de un líquido o valiéndose de otros medios. Sabemos que por esta operación el acero adquiere unas duras características. Aumentan las características mecánicas siguientes: Resistencia a la tracción, elasticidad y dureza, y disminución del alargamiento, la contracción y la resiliencia. Para poder discutir inteligentemente el mecanismo de endurecimiento (temple) de los aceros, es necesario tener un conocimiento claro de las reacciones que tienen lugar a las temperaturas críticas en ambos tratamientos: en el calentamiento y en el enfriamiento de los mismos. Si la fase de calentamiento es una preparación para la de enfriamiento, es necesario llevarse a cabo de la manera debida para que el resultado de la segunda no sea inútil y se evite a perder considerablemente de el proceso. Lo más que puede hacer la fase de calentamiento es retener y desarrollar las características impuestas por la primera fase. Así, calentando a una temperatura más baja que el punto crítico inferior y enfriando rápidamente, no habrá ningún cambio en el acero original, que consista de ferrita y ferrita (acero 0.4% de carbono en estado físico normal). Calentando a una temperatura un poco mayor que el punto crítico inferior y enfriando, cambiará la ferrita a la ferrita con adición; pero no afectará la ferrita libre. Se obtendrá un acero semi-templado (semi-temperado). Calentando a temperatura entre los puntos críticos menor y mayor, cerca del mayor, el efecto que producirá será un abanico progresivo de la ferrita libre por la solución aditiva. Al entrar el acero será más duro que en el caso anterior. Y calentando ligeramente arriba del punto crítico superior, durante un tiempo suficientemente largo para que la difusión y homogeneización sean completas, se obtendrá un acero templado con el tamaño de grano lo más pequeño posible. Si calentamos a una temperatura considerablemente mayor al punto crítico superior, el tamaño del grano tenderá a aumentar; el efecto de enfriamiento se retardará esta condición, dando por lo consiguiente, un acero dúctil. La relación que existe entre el recocido y el temple es que al calentar el acero los cambios que tienen lugar en los constituyentes microscópicos y en la estructura total, son semejantes en ambos casos. La diferencia esencial está en el sentido de los procesos, debido a la velocidad de enfriamiento.

miento a través de los puntos críticos, y a causa de esto, a la naturaleza de los microconstituyentes que en el caso del temple son retenidos en el acero al ser enfriado.

Ya estudiamos en el recocado el enfriamiento lento de los aceros a través de sus puntos críticos. Al enfriar rápidamente, y teniendo en cuenta otros factores que en seguida se enumerarán, el cambio completo de la solución sólida que se formó (llamada austenita como vimos anteriormente) tiende a ser retardado y obtener otros productos. Estos se conocen con los nombres de "troostita" y "martensita", como explicamos en lo relativo a los constituyentes cristalográficos, y estos productos que se encuentran presentes junto con algo de solución sólida primaria, son los que causan la dureza en los aceros. Por esto es que en los procesos de endurecimiento de los aceros hay que prevénir, con métodos adecuados, la transformación de la austenita, y obtener un acero tanto más duro cuanto mayor sea la cantidad relativa de los "constituyentes duros", austenita, martensita y troostita.

Los principales factores físicos que intervienen esencialmente en el temple son la temperatura y la velocidad de enfriamiento. Influye también la superficie de la masa, pues aumentando la masa puede afectar tanto la operación del temple que la velocidad de enfriamiento no puede mantenerse a través de la sección, y el resultado es que hay una transformación de la troostita primaria en sorbita y de la martensita en troostita secundaria y aún en sorbita.

Como ya vimos al tratar los elementos químicos que integran los aceros, las aleaciones influyen considerablemente en sus propiedades y por lo tanto, afectan la temperatura a la que la reacción del Ar1 comienza y las que se verifican a los diferentes puntos críticos.

Por lo antes descrito nos damos perfecta cuenta de que cada tipo de acero tiene su temperatura de temple y que en un mismo tipo pueden obtenerse diversos grados de temple por el tratamiento y factores que intervienen en el proceso; pero siempre debe llevarse el acero al estado de solución sólida, calentándolo un poco arriba de su punto crítico superior.

Las temperaturas recomendadas para el endurecimiento de los aceros, que vulgarmente se les llama temperaturas de temple, varían según la cantidad de carbón contenido en ellos y se recomiendan las siguientes temperaturas, que son aproximadas para los aceros al carbón hipereutectoides:

Carbón %	Temperatura:
Abajo de 0.40 y este inclusive	900°C.
Arriba de 0.40 hasta 0.60 inclusive	850°C.
" " 0.60	830°C.

Datos que recomienda la A.S.T.M. A-36-24 Part. I Metals 1933.

La uniformidad de temperatura de temple en las piezas que se sujeten a esta operación, que sabemos es muy necesaria, se consigue mediante baños de sales fundidas. Los hornos eléctricos permiten regular muy bien la temperatura y su atmósfera es prácticamente neutra; sin embargo se consigue mayor uniformidad con los baños antes citados.

La fase de enfriamiento para endurecer (templar) debe ser uniforme en toda la pieza y llevarse a una velocidad tal, que esté en combinación con los otros factores previamente descritos y obtenerse los resultados deseados. Para alcanzar esto -- hay también que tener muy en cuenta los factores de enfriamiento que son:

I Medios de enfriamiento tales como:

- Aceites,
- Agua,
- Salmuera,
- Soluciones especiales, como de ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, etc.

II Temperatura del medio de enfriamiento.

III Velocidad de volumen del medio de enfriamiento.

La potencia refrigeradora de los líquidos que sirven para enfriar las piezas calientes varía mucho, dependiendo de las propiedades físicas del líquido: calor específico, conductibilidad calorífica, calor latente de vaporización, volatilidad y viscosidad.

En la figura 10 se muestran las transformaciones térmicas y estructuras producidas en aceros simples con 0.45, 0.75, 0.95 y 1.25% de C, variando las velocidades de enfriamiento y en piezas de dimensiones y espesor determinados (secciones de 127 mm) estudiadas por French y Klopsch.

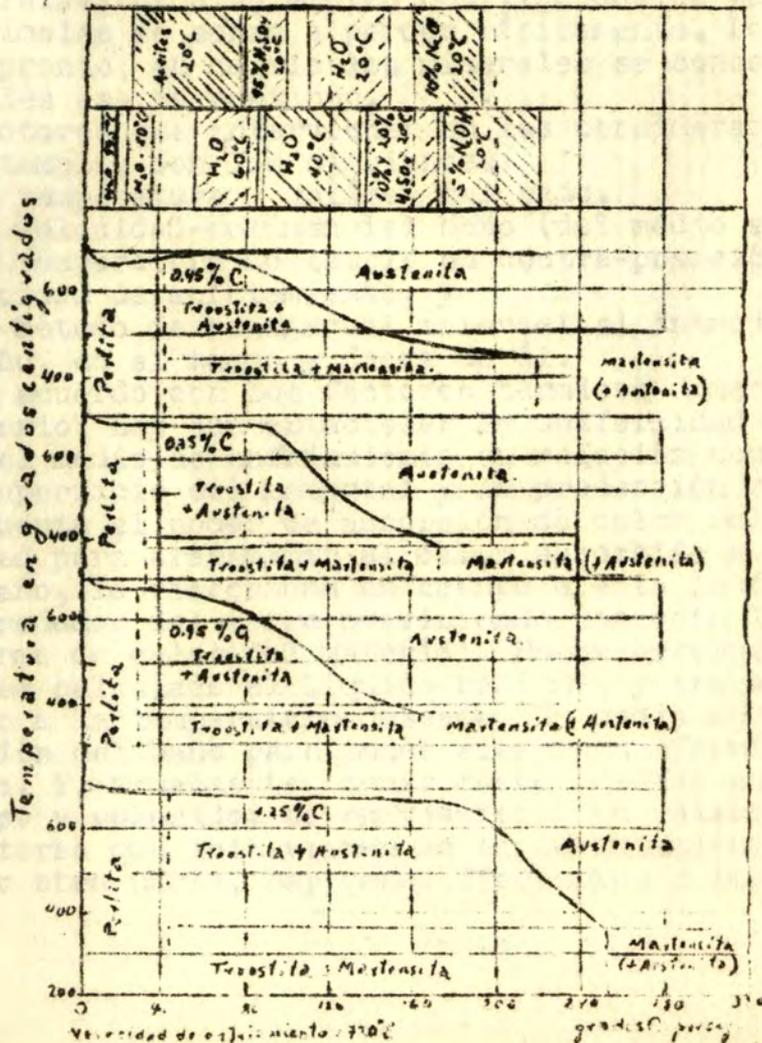
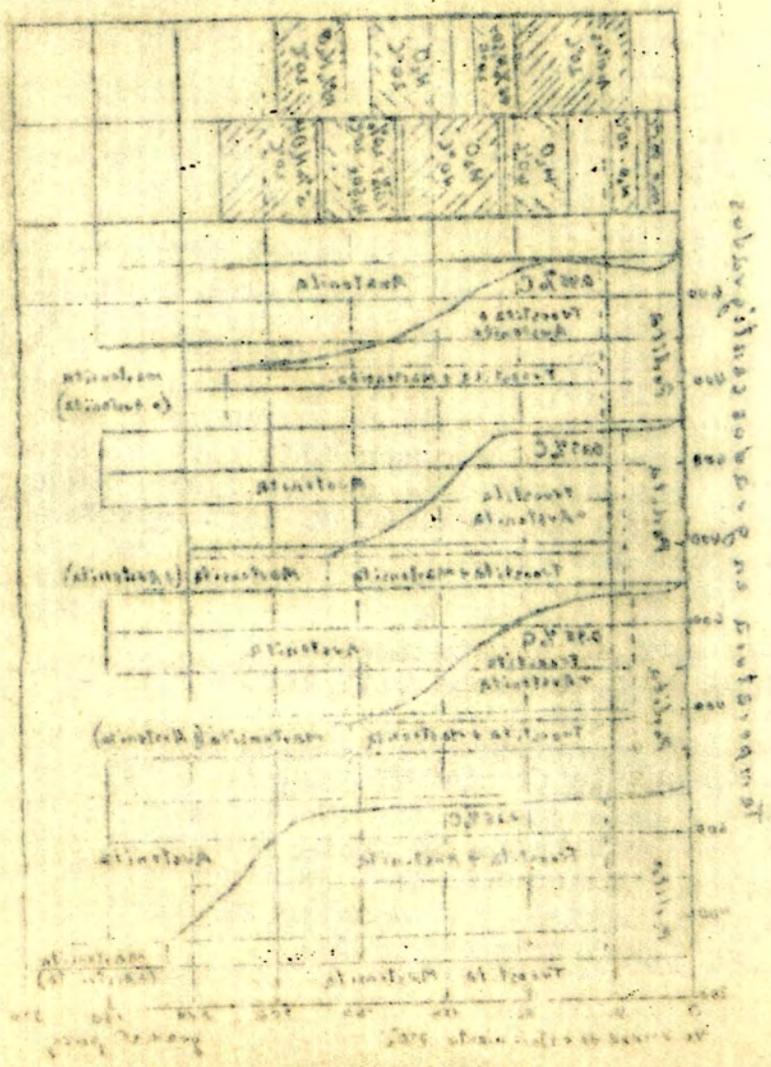


Fig. 10.- Relación entre algunos medios de enfriamiento para los tratamientos térmicos y diagramas de enfriamiento para aceros al carbón. (French & Klopsch).

La tasa de enfriamiento para cualquier (cualquier) caso es uniforme en toda la pieza y depende de las velocidades de enfriamiento en este en comparación con los otros factores previamente mencionados. Para algunos casos y en otros los resultados deseados. Para algunos casos hay también que tener muy en cuenta los factores de enfriamiento como son:

- I Medios de enfriamiento tales como: Aceites, Agua, Salmuera, Soluciones especiales, como de ácido sulfúrico, hidróxido de sodio, etc., etc.
 - II Temperatura del medio de enfriamiento.
 - III Velocidad de volumen del medio de enfriamiento.
- La potencia refrigeradora de los líquidos que sirven para enfriar las piezas calientes varía mucho, dependiendo de las propiedades físicas del líquido: calor específico, conductividad térmica, calor latente de vaporización, volatilidad y viscosidad.
- En la figura 10 se muestran las transformaciones térmicas y estructuras producidas en aceros simples con 0.45% C, 0.75% Mn y 1.25% de C, variando las velocidades de enfriamiento y en piezas de dimensiones y espesor determinados (sección de 127 mm) estudiadas por French y Klopach.

Fig. 10. - Relación entre algunas medidas de enfriamiento para los tratamientos térmicos y diagrama de estado para aceros al carbono (French & Klopach).



Los líquidos más usados para el temple son el agua y el aceite; menos frecuentemente se usan las soluciones de sales, el petróleo, etc.

Con el agua pueden obtenerse diferentes velocidades de enfriamiento. Si la pieza por templar es sencilla y se desea -- que quede muy dura, se le temple en agua fría; si el objeto -- es complicado y no se desea la dureza máxima, se le temple en agua a 30° C. En este caso el riesgo de que la pieza se agriete es menor.

Cuando se agregan sales al agua, el punto de ebullición -- de la misma se aumenta y esto hace que conserve su facultad -- de enfriar con rapidez a temperaturas a las que el agua simple no enfriaba tan de prisa. El agua saturada de sal común se emplea generalmente para templar piezas que han de quedar muy duras, como las limas.

Las piezas que se templan en aceite quedan menos duras -- que si se templan en agua, porque el poder refrigerador del -- aceite es menor que el del agua.

Según Thallner, el orden relativo de enfriamiento rápido -- en los aceites es el siguiente: petróleo (el que temple con -- más intensidad), glicerina, aceites minerales ligeros; y, finalmente, los aceites vegetales.

No existe diferencia apreciable en los aceites frescos en lo que se relaciona a su empleo con líquidos de temple; los -- aceites animales se echan a perder rápidamente. Los vegetales se oxidan pronto; en cambio los minerales se conservan bien -- aunque se les use de continuo.

Los factores que intervienen en las consideraciones prácticas del temple, son los siguientes:

- 1.- La temperatura y volumen del baño.
- 2.- La velocidad-volumen del baño (del medio enfriante).
- 3.- La temperatura de temple en contra-posición a la velocidad de enfriamiento; y
- 4.- El método de manejar el material al introducirlo al baño, en el mismo y fuera de él.

1.- De acuerdo con los factores térmicos determinados en el laboratorio, hay que establecer la uniformidad en la temperatura del medio de enfriamiento en relación con los factores masa-superficie del material y la producción requerida. -- Tener en cuenta el poder de absorción de calor del líquido, -- su capacidad para transmitir el calor absorbido a la parte -- fría del baño, la viscosidad en cuanto afecta la formación de vapores alrededor del acero previniendo con esto la disminución uniforme de calor del material. Estar provisto de medios para que sea calculado el líquido caliente y sea substituido -- por líquido a la temperatura deseada. Un medio apropiado de -- refrigeración del baño para tener siempre uniformidad en la -- temperatura. Y, finalmente, tener mucho cuidado en la temperatura, tiempo y velocidad de enfriamiento en relación a los -- mismos factores que intervienen en el calentamiento.

- 2.- Por otra parte, hay casos frecuentes e importantes en

Los líquidos más usados para el temple son el agua y el aceite; menos frecuentemente se usan las soluciones de sales, el petróleo, etc.

Con el agua pueden obtenerse diferentes velocidades de enfriamiento. Si la pieza por temple es sencilla y se desea que quede muy dura, se le temple en agua fría; si el objeto es complicado y no se desea la dureza máxima, se le temple en agua a 30° C. En este caso el riesgo de que la pieza se agriete es menor.

Cuando se agregan sales al agua, el punto de ebullición de la misma se aumenta y esto hace que conserve su facultad de enfriar con rapidez a temperaturas a las que el agua simple no entra tan de prisa. El agua saturada de sal común se emplea generalmente para templear piezas que han de quedar muy duras, como las limas.

Las piezas que se templean en aceite quedan menos duras que las que se templean en agua, porque el poder refrigerador del aceite es menor que el del agua.

Según Ballmer, el orden relativo de enfriamiento rápido en los aceites es el siguiente: petróleo (el que temple con más intensidad), glicerina, aceites minerales ligeros, y finalmente, los aceites vegetales.

No existe diferencia apreciable en los aceites frescos en lo que se relaciona a su empleo con líquidos de temple; los aceites animales se oxidan a perder rápidamente. Los vegetales se oxidan pronto; en cambio los minerales se conservan bien siempre se les use de continuo.

Los factores que intervienen en las consideraciones prácticas del temple, son los siguientes:

- 1.- La temperatura y volumen del baño.
- 2.- La velocidad-volumen del baño (del medio enfriante).
- 3.- La temperatura de temple en contra-relación a la velocidad de enfriamiento.
- 4.- El método de manejar el material al introducirlo al baño, en el mismo y fuera de él.

De acuerdo con los factores térmicos determinados en el laboratorio, hay que establecer la uniformidad en la temperatura del medio de enfriamiento en relación con los factores masa-superficie del material y la producción repetida.

Tener en cuenta el poder de absorción de calor del líquido; su capacidad para transmitir el calor absorbido a la parte fría del baño, la velocidad en cuanto afecta la formación de vapores alrededor del acero previniendo con esto la dilatación uniforme de calor del material. Basta provocar de modo que sea calculado el líquido caliente y sea sustituido por líquido a la temperatura deseada. Un medio apropiado de refrigeración del baño para tener una uniformidad en la temperatura. Y, finalmente, tener mucho cuidado en la temperatura, tiempo y velocidad de enfriamiento en relación a los

mismos factores que intervienen en el calentamiento.

Por otra parte, hay casos especiales e importantes en

los que la rapidez de enfriamiento, requerida para producir - los resultados metalúrgicos, es mayor que la que se obtiene - en las condiciones usuales de temperatura y volúmen. En estos casos la velocidad del medio de enfriamiento puede aumentarse por una mayor afluencia del líquido con presión localizada o sin ella.

El chorro de agua bajo presión particularmente en la parte de la pieza que debe ser endurecida, es un ejemplo muy común de la aplicación de presión localizada. Es el agente más rápido en uso común para un pronto enfriamiento que excede a los otros medios como salmuera y baños de agua. Hay que tener cuidado que el volúmen y la presión sean suficientes para prevenir la formación de vapor entre el acero caliente y el chorro. Esto se usa principalmente para piezas que deben tener aristas o partes especiales templadas diferentemente al total de la pieza y se han ideado muchos dispositivos para llevar - esto a cabo.

3.- No existe una temperatura de temple distintiva apropiada para todas las condiciones. La práctica usual sugiere - una temperatura ligeramente mayor a la del punto crítico más elevado en relación al refinamiento máximo del grano y formación de la solución sólida que ahí ocurre. Pero ya sabemos -- cuantos factores intervienen en esto. Por una parte la forma, el tamaño y las características físicas de la pieza que va a templarse, la composición química, y el carácter de la estructura inicial que sea fijada y definida; por otra parte los resultados que se requieren. Entre estas dos partes está la velocidad de enfriamiento distintiva a través de los puntos críticos en relación con el medio de enfriamiento, el que determina la temperatura de calentamiento y completa el ciclo. Sin embargo, hay que hacer notar que la temperatura más baja posible es la que da los resultados deseados y debe preferírsele.

4.- Tanto desde el punto de vista práctico como desde el técnico, se han hecho estudios para determinar métodos de manipulación del material en el medio de enfriamiento y después. Con relación a la temperatura indicada en el baño de enfriamiento, las piezas no deben enfriarse igualmente, sino en la misma forma, a la misma velocidad, por el mismo tiempo, a la misma temperatura y en la misma atmósfera. La parte económica como la técnica, son de gran importancia en el ciclo de enfriamiento y por esto debe atenderse a los datos de los técnicos y tener un personal diestro para obtener buenos productos y lo más económicamente posible.

Para saber el temple a que debe sujetarse un acero, se determina su punto crítico, por medio de aparatos construidos expresamente para este objeto y a los que el material por ensayar se somete junto con una muestra tipo (que generalmente es de níquel) a temperaturas elevadas, las que se van registrando periódicamente, junto con las de la muestra tipo, determinando así una curva, que sirve para conocer el comportamiento del material en la calefacción, y en el enfriamiento y

los que la rapidez de enfriamiento, requerida para producir los resultados metalúrgicos, es mayor, que la que se obtiene en las condiciones normales de temperatura y volumen. En estas cosas la velocidad del medio de enfriamiento puede aumentarse por una mayor eficiencia del líquido con presión localizada sin ella.

El chorro de agua bajo presión parcialmente en la parte de la pieza que debe ser endurecida, es un ejemplo muy común de la aplicación de presión localizada. En el agente más rápido en uso común para un proceso de enfriamiento que excede a los otros medios como salmuera y baños de agua. Hay que tener cuidado que el volumen y la presión sean suficientes para producir la formación de vapor entre el acero caliente y el chorro. Esto se usa principalmente para piezas que deben tener ciertas o partes especiales templadas diferencialmente al total de la pieza y se han ideado muchos dispositivos para llevar a cabo esto a efecto.

3.- No existe una temperatura de temple distintiva apropiada para todas las condiciones. La práctica usual sugiere una temperatura ligeramente mayor a la del punto crítico más elevado en relación al refinamiento máximo del grano y forma cúbica de la solución sólida que ahí ocurre. Pero ya sabemos que ciertos factores intervienen en esto. Por una parte la forma, el tamaño y las características físicas de la pieza que va a templarse, la composición química, y el carácter de la estructura inicial que sea rígida y definida; por otra parte las velocidades que se requieren. Entre estas dos partes está la velocidad de enfriamiento distintiva a través de los puntos críticos en relación con el medio de enfriamiento, el que determina la temperatura de calentamiento y completo al ciclo. Sin embargo, hay que hacer notar que la temperatura más baja posible es la que da los resultados deseados y debe preferirse.

4.- Tanto desde el punto de vista práctico como desde el técnico, se han hecho estudios para determinar métodos de manipulación del material en el medio de enfriamiento y después. Con relación a la temperatura indicada en el baño de enfriamiento, las piezas no deben entrar rápidamente, sino en la misma forma, a la misma velocidad, por el mismo tiempo, a la misma temperatura y en la misma estructura. La parte económica como la técnica, son de gran importancia en el ciclo de enfriamiento y por esto debe atenderse a los datos de los técnicos y tener un personal diestro para obtener buenos resultados y lo más económicamente posible.

Para saber el temple a que debe sujetarse un acero, se determinan su punto crítico, por medio de aparatos construidos expresamente para este objeto y a los que el autor ha por ahora se somete junto con una muestra tipo (que generalmente es de níquel) a temperatura elevada, las que se van templando gradualmente, junto con las de la muestra tipo, determinando así una curva, que sirve para conocer el temple y el material en la caldocencia, y en el tratamiento y

según los datos obtenidos, dar al material el tratamiento técnico adecuado.

REVENIDO.

La operación de revenir consiste en calentar por debajo de la zona crítica un acero templado.

El revenido tiene dos objetos: en primer lugar destruir o reducir las tensiones internas que quedan en el acero templado y, segundo, para disminuir la fragilidad excesiva de las piezas templadas. (Permitir la descomposición de la martensita, transformándose ésta en troostita). El revenido hace aumentar las características mecánicas: alargamiento, estricción y resiliencia y disminuir las siguientes: resistencia a la tracción, límite elástico y dureza. Cuanto más alto es el revenido **mayores son dichas** variaciones. Si al elevar la temperatura se acerca ésta al punto crítico inferior, las características mecánicas se aproximan mucho a los valores de las del acero recocido. Hay una nueva descomposición: la troostita se transforma en srobita, la que no se efectúa espontáneamente en todo el acero sino que va gradual y progresivamente.

La mayor parte de los revenidos de los aceros al carbón se verifican entre 200 y 300° C. En los aceros especiales cambian estas temperaturas de acuerdo con las composiciones. Los principales factores que rigen la cualidad del revenido, son la temperatura y el tiempo. La velocidad de enfriamiento no influye en la uniformidad de los resultados; suelen enfriarse en agua para abreviar la operación.

Cuando la operación de revenir se lleva a cabo en una atmósfera oxidante (como se hace generalmente), se forman en la superficie de las piezas películas muy finas de óxido, que dan lugar a la aparición de distintos colores, debidos a la descomposición de la luz por los espesores mayores o menores de dicha películas. Tammann distingue hasta sesenta matices diferentes. Existe una relación, bastante bien determinada y universalmente reconocida, entre los colores de los óxidos y las temperaturas a que aparecen y que es la siguiente:

<u>Color</u>	<u>Temperatura</u>
Amarillo pálido- - - - -	220° C.
Paja claro - - - - -	230° "
Amarillo oro - - - - -	245° "
Pardo amarillento- - - - -	255° "
Pardo rojizo - - - - -	265° "
Púrpura - - - - -	275° "
Violado- - - - -	285° "
Azul pálido- - - - -	305° "
Azul oscuro- - - - -	315° "
Verde marino (o gris)- - - - -	350° "

Los revenidos altos deben darse valiéndose de pirómetros para controlar bien las temperaturas.

Para que los colores sean bien visibles, es necesario que

En el momento de la operación, el color de la muestra cambia de verde a amarillo.

LEYENDA

La operación de reventar consiste en calentar por debajo de la zona crítica un acero laminado. El reventado tiene dos objetivos: en primer lugar, reducir las tensiones internas que quedan en el acero laminado y, segundo, para disminuir la fragilidad oxidativa de las superficies expuestas. (Permitir la descomposición de la estructura de las superficies). El reventado hace aumentar considerablemente el área de superficie. El reventado y las características mecánicas. Al reventar, el acero laminado y el acero laminado se fragmentan en fragmentos, estricción y localización y disminuye las superficies. La reventada a la temperatura límite clásico y gruesa. Cuando más alto es el reventado mayor son las variaciones. Al elevar la temperatura se eleva el punto crítico inferior, las características mecánicas se aproximan mucho a los valores de las del acero negro. Hay una nueva descomposición. La reventada es frías en reventado, la que no se eleva especialmente en todo el acero sino que va gradual y progresivamente. La mayor parte de los reventados de los aceros al carbono se verifican entre 200 y 300°C. En los aceros especiales cambian estas temperaturas de acuerdo con las composiciones. Los principales factores que rigen la calidad del reventado, son la temperatura y el tiempo. La velocidad de enfriamiento no influye en la uniformidad de los resultados; suelen utilizarse en algunos casos para abreviar la operación. Cuando la operación de reventar se lleva a cabo en una atmósfera oxidante (como se hace generalmente), se forman en la superficie de las piezas películas muy finas de óxido, que dan lugar a la aparición de distintos colores, debidos a la descomposición de la luz por las espesuras mayores o menores de las películas. Tienen distintas hasta asienta matas diferentes. Existe una relación, bastante bien determinada y universalmente reconocida, entre los colores de los óxidos y las temperaturas a que aparecen y que es la siguiente:

Temperatura	Color
250°C	Amarillo pálido
270°C	Paja claro
280°C	Amarillo oro
290°C	Pardo amarillento
300°C	Pardo rojizo
310°C	Púrpura
320°C	Violeta
330°C	Azul pálido
340°C	Azul oscuro
350°C	Verde marino (o gris)

Los reventados alcos deben darse velocidades de giro para controlar bien las temperaturas, es necesario que

la superficie de la pieza esté suave y limpia; lo que puede obtenerse fácilmente tallándolas con papel esmeril.

Podemos regirnos fácilmente por el color obtenido para saber la temperatura que tiene el material, no obstante, el color varía al aumentar el tiempo de revenido. Y de esto podemos darnos cuenta exacta sujetando un trozo de acero a una temperatura determinada y sosteniendo esta temperatura constante durante un período de tiempo más o menos largo, observaremos que el color va variando a pesar de que la temperatura para el revenido tiene sus límites. Algunos prácticos mantienen que la eficiencia del revenido en una pieza, tanto en dureza como en sus otras propiedades, es la misma cuando se ha obtenido el color por un corto calentamiento a una temperatura alta, que por un largo calentamiento a baja temperatura. Esto es, que los resultados últimos están indicados por el color del revenido, independientemente del método por el que esto se obtiene. Otros opinan que esto no es cierto. El revenido debe regirse por la temperatura y no por el color.

Puede efectuarse el revenido juntamente con el temple en una sola caldera. Esto se hace a menudo en los talleres, sobre todo cuando se trata de templar solo una parte de la pieza, como en las brocas, herramientas para torneear, etc., en las que se requiere sólo el temple de la extremidad. Para esto se sujeta la pieza a la temperatura de temple, por ejemplo 800° C., y se sumerge en agua únicamente la punta; una vez fría ésta (el resto de la herramienta continúa al rojo) se saca la pieza del líquido, se limpia la punta con papel de esmeril y se mantiene en el aire; el calor de la parte no enfriada se va transmitiendo a la punta, y cuando ésta toma el color de revenido deseado, se sumerge toda la pieza en agua.

Es conveniente hacer la operación del revenido, seguidamente al temple, procurando que la pieza no se enfríe por debajo de 100° grados a ser posible, y en último caso evitando dejarla dentro del líquido; si la pieza se enfría hasta la temperatura ordinaria corre mucho más riesgo de agrietarse que si se reviene antes de que llegue a esta temperatura. Además, para evitar la pequeña contracción gradual que se verifica a la temperatura ordinaria en los aceros templados y revenidos, se recomienda sumergir las piezas alternativamente, de diez a ochenta veces, cinco minutos cada vez en un baño de aceite a 200° C. y otro de agua de 0 a -5° C.

Cuando se quiere trabajar con precisión, se emplean baños para revenir, en los que se puede medir directamente la temperatura con termómetro. Se usan baños de aceite, de sales fundidas de plomo y otros. Los más usuales son los de aceite.

Al efectuar la operación del revenido se obtienen cambios de estructura. Las especies metalográficas propias de los aceros templados que son variables a la temperatura ordinaria, se transforman algunas de ellas a los 100° . A medida que la temperatura de revenido aumenta, se descompone más fácilmente que la estructura interior. A 400° la martensita se transforma to-

la superficie de la pieza está suave y limpia, lo que puede obtenerse fácilmente tallándola con papel esmeril.

Podemos registrar fácilmente por el color obtenido para saber la temperatura que tiene el material, no obstante, el color varía al aumentar el tiempo de revenido. Y de esto podemos darnos cuenta exacta sujetando un trozo de acero a una temperatura determinada y sosteniendo esta temperatura constante durante un período de tiempo más o menos largo, observando que el color va variando a pesar de que la temperatura que el revenido tiene sus límites. Algunos prácticos mantienen que la eficiencia del revenido en una pieza, tanto en dureza como en sus otras propiedades, es la misma cuando se ha dado el revenido por un corto calentamiento a una temperatura alta, que por un largo calentamiento a baja temperatura. Esto es, que los resultados últimos están indicados por el color del revenido, independientemente del método por el que esto se obtiene. Otros opinan que esto no es cierto. El revenido debe registrarse por la temperatura y no por el color.

Puede efectuarse el revenido juntamente con el temple en una sola caldera. Esto se hace a menudo en los talleres, sobre todo cuando se trata de temple solo una parte de la pieza, como en las bridas, herramientas para tornear, etc., en las que se requiere sólo el temple de la extremidad. Para esto se unge la pieza a la temperatura de temple, por ejemplo 800° C., y se sumerge en agua únicamente la punta; una vez fría ésta (el resto de la herramienta continúa al rojo) se saca la pieza del líquido, se limpia la punta con papel de esmeril y se mantiene en el aire; el calor de la parte no enfriada se va transmitiendo a la punta, y cuando ésta toma el color de revenido deseado se sumerge toda la pieza en agua.

Es conveniente hacer la operación del revenido, seguida inmediatamente al temple, procurando que la pieza no se enfríe por debajo de 100 grados a ser posible, y en último caso evitando darle dentro del líquido; si la pieza se enfría hasta la temperatura ordinaria como mucho más riesgo de experimentar que si se reviene antes de que llegue a esta temperatura. Además, para evitar la pequeña contracción gradual que se verifica a las temperaturas ordinarias en los aceros templados y revenidos, se recomienda sumergir las piezas alternativamente, de día a noche, cinco minutos cada vez en un baño de aceite a 200° C. y otro de agua de 0 a 50° C.

Cuando se quiere templear con precisión, se emplean baños para revenir, en los que se puede medir directamente la temperatura con termómetro. Se usan baños de aceite, de sales fundidas de plomo y otros. Los más usuales son los de aceite.

Al efectuar la operación del revenido se obtienen cambios de estructura. Las especies metalográficas propias de los aceros templados que son variables a la temperatura ordinaria, se transforman algunas de ellas a los 100°. A medida que la temperatura de revenido aumenta, se descomponen las fases de la estructura interior. A 400° la martensita se transforma to

talmente a la especie metalográfica llamada por Heyn osmondita. La naturaleza de esta especie metalográfica, como ya vimos, es análoga a la de la troostita.

CEMENTACION

Cementación es la operación que consiste en someter un -- hierro puro o acero en un medio rico en carbono a temperatu-- ras adecuadas para que el hierro o acero disuelva el carbono y se enriquezca en dicho elemento produciendo los resultados que conocemos al aumentar el contenido en dicho elemento.

El proceso de cementación puede dividirse en forma muy general en dos períodos distintos: 1o. La carbonización o impregnación de la superficie en la que el carbón es absorbido suficientemente (de acuerdo con el trabajo requerido) hasta dar al acero una dureza superficial muy grande y alta resistencia al choque (resiliencia); 2o. tratamiento térmico adecuado para que no solo se desarrollen las mismas propiedades en la superficie sino hasta en el interior de la pieza; esta última cementación ha perdido su interés como método sirerúrgico. En pocas palabras el objeto es obtener una pieza de acero que posea el minimum de fragilidad a la vez que el maximum de dureza superficial pues el grueso de la capa cementada es muy inferior al del núcleo de la pieza.

Esta operación es de mucha importancia industrial, pues se usa en muchas piezas como ejes de excentricas, pernos, topos, rodillos, fresas, matrices, etc. Los chasis de automóviles llevan entre 50 y 100 piezas cementadas.

Cuatro son los factores principales en la cementación:

- 1o.- El solvente, esto es, el acero;
- 2o.- el producto que se disuelve, o más exactamente, el compuesto capaz de suministrar el carbono (cementante);
- 3o.- la temperatura, y
- 4o.- el tiempo de contacto entre el acero y el cementante.

El carácter inicial de los aceros para cementar deberá seleccionarse con relación a las propiedades que tengan después de tratados térmicamente y no con las que los caracteriza en estado de recocido, porque las piezas cementadas son después templadas con objeto de obtener una capa exterior muy dura.

Los aceros que se destinan a la cementación suelen tener un porcentaje bajo de carbón 0.25 a 0.15% y en todo caso no pasar de 0.25 % para que la operación sea normal. Además sabemos que los aceros absorben más cantidad de carbono del cementante, cuanto menor cantidad de este elemento tienen originalmente.

Se cree generalmente que el manganeso en exceso vuelve frágil a la capa cementada, la hace sensible al enfriamiento rápido y por esto los aceros para cementación no deberán tener más de 0.40% de manganeso. Existen opiniones contrarias a

talmente a la especie metalúrgica llamada... Hayn...
La naturaleza de esta especie metalúrgica, como ya se
muestra, es análoga a la de la trassita.

CEMENTACION

Cementación es la operación que consiste en someter un
hierro puro o acero en un medio rico en carbono a temperar-
se a determinadas temperaturas para que el hierro o acero disuelva el carbono
y se enriquezca en dicho elemento produciendo los resultados
que conocemos al someter el contenido en dicho elemento.

El proceso de cementación puede dividirse en forma muy ge-
neral en dos períodos distintos: 1o. La carbonización o impropio
modo de la superficie en la que el carbono es absorbido a un
elemento (de acuerdo con el trabajo requerido) hasta dar
al acero una dureza superficial muy grande y alta resistencia
al choque (resiliencia); 2o. Tratamiento térmico adecuado pa-
ra que no solo se desarrollen las mismas propiedades en la su-
perficie sino hasta en el interior de la pieza; este último
proceso se realiza en un horno como método air-hardening. En
pocas palabras el objeto es obtener una pieza de acero que po-
sea el mínimo de fragilidad a la vez que el máximo de dure-
za superficial pues el grueso de la capa cementada es muy in-
terior al del núcleo de la pieza.

Esta operación es de mucha importancia industrial, pues
se usa en muchas piezas como ejes de excéntricas, tornos, for-
nos, rodillos, frezas, matrices, etc. Los gruesos de automóvil
las llevan entre 50 y 100 piezas cementadas.

- Cuatro son los factores principales en la cementación:
- 1o. - El solvente, esto es, el acero;
 - 2o. - el producto que se disuelve, o más exactamente, el
compuesto capaz de suministrar el carbono (cementa-
ción);
 - 3o. - La temperatura, y
 - 4o. - el tiempo de contacto entre el acero y el cementa-
ción.

El carácter inicial de los aceros para cementar deberá ser
localmente con relación a las propiedades que tengan después
de tratados térmicamente y no con las que los caracterizan en
estado de resaca, porque las piezas cementadas son después
templadas con objeto de obtener una capa exterior muy dura.
Los aceros que se destinan a la cementación suelen tener
un porcentaje bajo de carbono 0.25 a 0.5% y en todo caso no
más de 0.5% para que la operación sea normal. Además, es
necesario que los aceros presenten una cantidad de carbono del orden
tanto, cuando menor cantidad de este elemento tienen origina-
mente.

Se cree generalmente que el manganeso es exceso vuelve
trabaja la capa cementada, lo hace sensible al entristecimiento
y por tanto los aceros para cementación no deberán ser
mayores de 0.40% de manganeso. Existen opiniones contrarias

esta creencia. Y si atendemos a que el acero para cementación tenga poco manganeso, puede ocurrir que no haya tenido el suficiente para desoxidar el acero y que se encuentren partículas de óxidos, que son causa de que las piezas cementadas queden con puntos blandos. Conviene no pecar por exceso ni por defecto en la cantidad de manganeso.

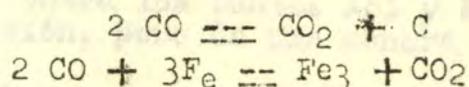
Es evidente que las otras impurezas de los aceros como -- fósforo y azufre en el acero inicial deben estar en cantidad -- lo más bajas posibles, pues estas impurezas retardan la cementación. Otras impurezas como escoria, gases encerrados en cavidades, segregaciones y demás impurezas e imperfecciones, deben estar completamente ausentes en los aceros para cementación.

Cementantes.- Las sustancias que suministren el carbón -- son llamadas cementantes; las más empleadas son mezclas sólidas. En casos especiales se usan gases, por ejemplo: para cementar las corazas de los barcos de guerra.

El carbón sólo ejerce acción sobre el hierro o el acero a temperaturas altas, pero muy lentamente en ausencia de gases, lo que no es conveniente en usos industriales.

Los gases son los que actúan como vehículo para el carbón y esto no se reconoció hasta haber determinado prácticamente -- el que los compuestos sólidos generan los gases necesarios en su propia descomposición en interacción con el aire ocluido. -- El estudio crítico e intenso de esta acción fue desarrollado en los trabajos de carburación en cajas sólo por medio de gases.

B Bajo la influencia del calor, el oxígeno ocluido en los cementantes sólidos reacciona con el carbonón formando monóxido de carbono. Cuando la temperatura de la caja y su contenido sube hasta el grado necesario para la carburación, el CO penetra o se difunde a través de la superficie y en la sección exterior del acero. Al mismo tiempo por acción catalítica el CO se descompone al contacto con el acero y deja libre una parte del carbón que contiene; como podemos darnos cuenta por la siguiente reacción reversible:



El nitrógeno contenido en el aire también se difunde en el acero, su acción es diluyente sobre el gas CO y los efectos -- que causa en el acero, perjudiciales, pero industrialmente no es de tomarse en consideración por las cantidades tan pequeñas que actúan.

Los carbonatos ejercen su acción exclusivamente por la acción del CO producido por la descomposición de los mismos.

Los cianuros no han sido hasta ahora bien estudiados como cementantes, la acción que ejercen se considera dudosa. Todos los agentes cementantes del grupo del cianogeno se tienen más bien como agentes malignos.

El gas CO solo se usa para cementar muy suavemente. Cuando se trabaja en condiciones especiales, este gas solo, o en mezclas en las que su acción carburizante es máxima, de las mayo-

esta energía. Y si se agregan a una el acero para cementar...
 tenga poco manganeso, puede ocurrir que no haya tenido el efecto
 cierto para disminuir el acero y que se encuentren partículas
 de óxido, que son causas de que las piezas cementadas queden
 con puntos blancos. Conviene no pasar por exceso ni por defecto
 de en la cantidad de manganeso.
 La evidencia que las otras impurezas de los aceros como
 fósforo y azufre en el acero inicial deben estar en cantidad
 lo más bajas posibles, pues estas impurezas retardan la cementación.
 Otras impurezas como escoria, gases encerrados en cavidades,
 segregaciones y demás impurezas e imperfecciones, deben
 estar completamente ausentes en los aceros para cementación.
 Cementantes.- Las substancias que suministran el carbono
 son llamadas cementantes; las más empleadas son mezclas de óxido
 de hierro y óxido de calcio, por ejemplo para cementar
 las corvas de los vagones de ferrocarril.
 El carbono se ejerce acción sobre el hierro o el acero a
 temperaturas altas, pero muy lentamente en ausencia de gases.
 Lo que no es conveniente en usos industriales.
 Los gases son los que actúan como vehículo para el carbono
 y esto no se reconoce hasta haber determinado prácticas
 el que las compuestas sólidas penetran los gases necesarios en
 el grupo de composición en interacción con el carbono.
 El estudio crítico e intenso de esta acción fue el estudio
 los trabajos de carbonación en cajas sólo por medio de gases.
 Bajo la influencia del calor, el oxígeno cuando se los
 cementantes sólidos reaccionan con el carbono formando óxido
 de carbono. Cuando la temperatura de la caja y su contenido
 sube hasta el grado necesario para la carbonación, el CO penetra
 en la caja a través de la superficie y en la acción ex-
 terior del acero. Al mismo tiempo por acción oxidativa el CO
 se descompone al contacto con el acero y deja libre una parte
 del carbono que contiene; como podemos darnos cuenta por la si-
 guiente reacción reversible:



El hidrógeno contenido en el aire también se difunde en el
 acero, su acción se difunde sobre el gas CO y los efectos
 en el acero, por oxidación, pero industrialmente no
 se le toma en consideración por las cantidades tan pequeñas
 que contiene.
 Los carbonos se agregan al acero exclusivamente por la ac-
 ción del CO producido por la descomposición de los mismos.
 Los estudios no han sido hasta ahora bien estudiados como
 cementantes, la acción que ejercen se considera dudosa. Todos
 los gases cementantes del grupo del hidrógeno se tienen en
 bien como gases hidrógenos.
 El gas CO solo se usa para cementar muy suavemente. Cuando
 se trabaja en condiciones especiales, este gas solo, o en me-
 zcla con las que la acción carbonante se aumenta, no se puede

res velocidades de carburación, esto es: el enriquecimiento de la zona carburizada en un tiempo dado.

Los hidrocarburos, que provienen de la descomposición de las sustancias orgánicas, actúan por reacciones más o menos complejas, depositando carbón finamente dividido sobre la superficie del metal; este carbón estando en contacto íntimo con el metal a temperaturas elevadas carbura directamente por contacto.

La profundidad o velocidad de penetración aumenta, similarmente al CO, con el tiempo de exposición.

Los métodos de cementación con gases, permiten efectuar la operación en mucho menos tiempo y a precios más reducidos, pero siempre que se cuente con los hornos apropiados para esto. Cuando se comenta con gases no hay necesidad de poner los materiales en cajas; el carbono penetra más rápidamente y en una forma más homogénea; la profundidad de la capa cementada, y el tanto por ciento de carbono se regulan más fácilmente, las piezas pueden calentarse más rápidamente a la temperatura de cementación y mantenerlas sin dificultad a esta temperatura.

Las mezclas de cementantes más usadas son: el carbón de madera (60 %) y carbonato de bario (40%); el carbón de madera (90 %) y cloruro de sodio (10 %) y el carbón de madera (95 %) y carbonato de sodio (5 %).

Temperaturas.- Vimos que ciertos gases por difusión en el acero precipitan carbón libre en el mismo. Este carbón, en condiciones especiales, puede ser disuelto en el hierro, formando un verdadero acero. Es evidente que la solubilidad de este carbón debe depender de la condición alotrópica del hierro, y ya sabemos que esta depende de la temperatura. De aquí deducimos que para cementar el hierro necesita éste estar en estado γ , o sea en caso de los aceros bajo carbón, alrededor de 900°C aun cuando teóricamente un acero puede absorber carbono a temperaturas inferiores a sus puntos críticos; pero esto es en forma muy lenta.

Sabemos que entre los puntos A_{c1} y A_{c3} se efectuará el fenómeno de carburación, pero de una manera lenta, irregular y no uniforme.

Las temperaturas de cementación de los aceros ordinarios dependen bastante del cementante que se emplee. Así las mezclas antes citadas dan buenos resultados a 900°C ., pero si se usan huesos triturados o cuero carbonizado deberá trabajarse a 950° y existen mezclas cementantes que requieren temperaturas hasta de 1000°C .

En general debe procurarse cementar a temperatura lo más baja posible, debido a los cambios cristalinos en el material por las temperaturas elevadas. Además, cuanto más elevada es la temperatura y mayor el tiempo de exposición más rica en carbono es la capa cementada, mayor la penetración de carbono, pero no siempre en proporción directa de estos dos factores, y esto puede originar que al templarse la pieza, ésta se agriete más fácilmente. Es preferible que la cementación dure más tiempo a temperatura baja, que hacerla rápidamente a temperatura alta.

Las velocidades de carbonización, como en el método de la zona carbonizada en un tiempo dado. Los hidrocarburos, que provienen de la descomposición de las sustancias orgánicas, actúan por velocidades más o menos completas, depositando carbonos finamente divididos sobre la superficie del metal; este carbono estando en contacto íntimo con el metal a temperatura elevada carbona directamente por contacto.

La profundidad o velocidad de penetración aumenta, al mismo tiempo el CO, con el tiempo de exposición. Los métodos de cementación con gases, permiten efectuar la operación en mucho menor tiempo y a precios más reducidos; pero siempre que se cuenta con los hornos apropiados para este caso. Cuando se cementa con gases no hay necesidad de poner los materiales en cajas; el carbono penetra más rápidamente y en una forma más homogénea; la profundidad de la capa cementada, y el tanto por ciento de carbono se regulan más fácilmente, las piezas pueden calentarse más rápidamente a la temperatura de cementación y mantenerse sin dificultad a esta temperatura.

Las mezclas de cementantes más usadas son: el carbón de madera (50%) y carbonato de sodio (40%); el carbón de madera (90%) y cloruro de sodio (10%) y el carbón de madera (95%) y carbonato de sodio (5%).

Temperaturas.- Vimos que ciertos gases por difusión en el acero precipitan carbono libre en el mismo. Este carbono, en condiciones espaciales, puede ser disuelto en el hierro, formando un verdadero acero. Es evidente que la solubilidad de este carbono debe depender de la condición física del hierro y de la temperatura. De aquí deducimos que este depende de la temperatura. De aquí deducimos que para cementar el hierro necesita estar en estado de líquido, o sea en caso de los aceros bajo carbono, alrededor de 900°C. Cuando teóricamente un acero puede absorber carbono a temperatura inferior a sus puntos críticos; pero este es en forma muy lenta.

Sabemos que entre los puntos Acl y Acl3 se efectúan el fenómeno de carbonización, pero de una manera lenta, irregular y no uniforme.

Las temperaturas de cementación de los aceros ordinarios de carbono bastan para los cementantes que se emplean. Así las mezclas de carbonos dan buenos resultados a 900°C., pero al ser más altas trituras o aceros carbonizados deberá trabajarse a 950°C. y existen mezclas cementantes que requieren temperaturas hasta de 1000°C.

En general debe procurarse cementar a temperatura lo más baja posible, debido a los cambios cristalinicos en el material por las temperaturas elevadas. Además, cuanto más elevada es la temperatura y mayor el tiempo de exposición más rico en carbono es la capa cementada; mayor la penetración de carbono, pero no siempre en proporción directa de estas dos factores, y esto puede originar que al templarse la pieza, ésta se agriete más fácilmente. Es preferible que la cementación dure más tiempo a temperatura baja, que hacerla rápidamente a temperatura alta.

En toda cementación normal debe tenderse a obtener una zona exterior que contenga 0.85 a 0.9 % de carbono (composición eutectoide), para sí después de templar obtener una capa de cementación homogénea. Temperaturas altas pueden producir cementaciones más elevadas, lo que puede ocasionar grietas al efectuar el temple.

Para evitar excesos de temperatura deben usarse pirómetros con los que se pueda controlar bien las temperaturas.

El tiempo en la cementación.- Como ya vimos al tratar los cementantes, la profundidad de la capa cementada es mayor, - - cuanto más tiempo dura la cementación; pero sin poder establecer una ley que exprese esta relación. Sabemos también que según la clase de cementante, la penetración del carbono es diversa, influyendo mucho la temperatura. El tiempo que deba durar la cementación dependerá pues, del cementante y del grueso que haya de tener la capa cementada.

La profundidad de la cementación variará en cada caso, según el uso a que se destine la pieza, pues algunas veces se necesita una capa muy fina y muy dura y otras una capa bastante gruesa; en general estas capas varían de 1 a 1.5 mm. El tiempo de cementación deberá determinarse experimentalmente en cada caso, de acuerdo con los demás factores que deben tomarse en cuenta.

La operación de cementar se efectuará en cajas de hierro colado o pudelado. Se ponen las piezas y el cementante, en forma tal, que exista una capa de unos 4 a 5 cm. de espesor de cementante y que las piezas y las paredes de la caja queden así separadas; se tiene también cuidado de que las piezas no se toquen unas a otras, aun cuando existen opiniones de que esto no tiene importancia. El material cementante no debe estar muy suelto, si no más bien un poco apretado. Para llenar la caja se ponen, dos o tres centímetros de espesor, de carbón de madera triturado. Se coloca la tapa, y se ajusta mediante barro hecho con arcilla, exenta de grasa de grasa, o con cemento de agbesto, para evitar que se quemé inútilmente el cementante.

Si se desea que determinadas partes de una pieza no sean cementadas, se recubren cuidadosamente con el baño de arcilla, o con cobre por medio de electrólisis, o en casos particulares, con una mezcla de amianto y silicato sólido o con una pintura compuesta de polvo de cobre, polvo de esmeril y solución comercial de silicato de sodio, cuanto baste para obtener una pintura espesa.

Los hornos en que se efectúa esta operación deberán poder mantener una temperatura constante de 1000° C.

Para seguir el curso de la operación, puede hacerse uso de una serie de probetas, del mismo material, que se irán sacando cada hora y observando, una vez rotas, el espesor de la capa cementada.

Las piezas sometidas a la cementación, una vez adquirida ésta, ya frías tendrán la estructura propia de las piezas recocidas; además, los granos cristalinos serán grandes debido al tiempo largo a temperatura elevada a que fueron sometidas las.

En los cementos... para evitar excesos de temperatura...

Para evitar excesos de temperatura... El tiempo en la cementación...

La profundidad de la cementación... en el caso de que se destina la pieza...

La operación de cementar se efectuará... Se colocan las piezas y el cemento...

Si se desea que determinadas partes... se recubran cuidadosamente con el baño de arcilla...

Los hornos en que se efectúa esta operación... mantener una temperatura constante de 1000° C.

Para seguir el curso de la operación... una serie de probetas del mismo material...

piezas. Es necesario refinar la estructura cristalina, sometiendo las piezas fuera de las cajas, a nuevo tratamiento térmico; el temple, siguiendo las especificaciones requeridas para éste como antes se han descrito. Teóricamente puede considerarse una pieza cementada como compuesta de dos aceros distintos: uno muy suave, el del núcleo, y el otro extra duro, el de la superficie. El tránsito de una región a otra no es brusco sino gradual.

Las especificaciones que deben seguirse para los tratamientos térmicos de las piezas sometidas a la cementación, son los que se enumeran en seguida y que propone la A.S.T.M.

1o.- Cuando el resultado que se desea es una capa cementada dura, no teniendo importancia la tenacidad y fragilidad de la pieza, basta templar los objetos cementados, vaciándolos directamente, de las cajas de cementación todavía a temperatura elevada (es decir, al sacarlas del horno), en agua o en aceite. Por este tratamiento tanto el núcleo como la capa cementada tendrán al final una estructura cristalina basta.

2.- Cuando se quieran disminuir las tensiones de temple y reducir el peligro de deformación o de agrietamiento, se sacan los objetos cementados de la caja y se dejan enfriar hasta una temperatura algo superior al punto crítico que corresponde a la capa cementada, unos 800 a 825° C y luego se templan. El resultado será que la estructura cristalina tanto del núcleo como de la capa cementada sea basta como en el caso anterior.

3o.- Si el objeto es refinar la capa cementada y aumentar su consistencia, se dejan enfriar lentamente las piezas cementadas hasta un poco abajo de 700° C., se vuelven a calentar un poco arriba de A_{c1} (por ejemplo entre 775 y 825°C.) y se templan en agua o en aceite; quedando, en este último líquido la capa exterior más tenaz; pero menos dura. Los objetos deberán sacarse del líquido antes que la temperatura descienda de 100° C. En esta forma la estructura de la capa exterior quedará refinada, pero no la del núcleo.

4o.- Para refinar el núcleo y la capa cementada, aumentando a la vez la tenacidad de ambos, se dejan enfriar las piezas por debajo de 700° C. y luego se les da el doble tratamiento siguiente:

a).- Se calienta a una temperatura arriba del punto A_{c3} del núcleo, es decir, a unos 950° C. y se temple en agua o en aceite.

b).- Antes de que las piezas se hayan enfriado por debajo de 100° C. se vuelven a calentar a una temperatura un poco superior al punto crítico de la capa cementada, unos 775 a 800°C. y se vuelve a templar en agua o en aceite.

5o.- Para reducir las tensiones internas originadas por el temple, se pueden tratar los objetos, finalmente, dándoles un revenido que no exceda de 200° C.

Para que los resultados sean lo más satisfactorios posibles, es decir, que las piezas sometidas a estos tratamientos no tengan defectos, debe tenerse cuidado con las siguientes observaciones prácticas:

Las cajas de cementar no deben meterse en los hornos, es-

Las especificaciones que deben seguirse para los tratamientos térmicos de las piezas sometidas a la cementación, son las que se enumeran en seguida y que propone la A.S.I. 1.1.1. Cuando el resultado que se desea es una capa de cementación de espesor importante la temperatura y tiempo de tratamiento, de las cajas de cementación, debe ser elevada (es decir, el acero del horno), en agua o en aceite. Por este tratamiento tanto el núcleo como la capa cementada tendrán el mismo tipo de estructura cristalina.

1.2. Cuando se quiere disminuir las tensiones de temple y reducir el peligro de deformación o de cristalización, se sacan los objetos cementados de la caja y se dejan enfriar hasta una temperatura algo superior al punto crítico que corresponde a la capa cementada, unos 800 a 825° C. y luego se temple. El resultado será que la estructura cristalina tanto del núcleo como de la capa cementada sea la misma que en el caso anterior.

1.3. Si el objeto es refinado en la caja cementada y aumentan sus tensiones, se dejan enfriar lentamente. Las piezas de metal se vuelven a calentar un poco arriba de Acl (por ejemplo entre 775 y 825° C.) y se temple en agua o en aceite; quedando, en este último líquido la capa exterior más tenaz, pero menos dura. Los objetos deberán sacarse del líquido antes que la temperatura descienda a 100° C. En esta forma la estructura de la capa exterior quedará refinada, pero no la del núcleo.

1.4. Para refinar el núcleo y la capa cementada, aumentada a la vez la tenacidad de ambos, se dejan enfriar las piezas por debajo de 700° C. y luego se las da el doble tratamiento siguiente:

a) Se calienta a una temperatura arriba del punto Acl del núcleo, es decir, a unos 920° C. y se temple en agua o en aceite.

b) Antes de que las piezas se hayan enfriado por debajo de 100° C. se vuelven a calentar a una temperatura un poco superior al punto crítico de la capa cementada, unos 775 a 800° C. y se vuelve a temple en agua o en aceite.

1.5. Para reducir las tensiones internas originadas por el temple, se pueden tratar los objetos, finalmente, dándoles un revenido que no exceda de 200° C.

Para que los resultados sean lo más satisfactorios posibles, es decir, que las piezas sometidas a estos tratamientos no tengan defectos, debe tenerse cuidado con las siguientes observaciones prácticas:

Las cajas de cementar no deben mantenerse en los hornos, es-

tando éstos muy calientes; la temperatura de los mismos deberá ser más o menos de unos 400 a 450° C. y luego subir gradualmente la temperatura.

Las piezas cementadas al ser templadas, deberán sujetarse a las reglas prácticas expuestas al hablar del temple.

Cuando se requiera gran dureza, es frecuente usar solución de sal común.

Si se desean capas cementadas de poca profundidad, se empleará como cementante el KCN fundido en vasijas de hierro colado y mantener una temperatura de 950° C. Tener muchas precauciones con esta substancia por ser muy tóxica. El tiempo que deba durar la pieza en el baño dependerá de la profundidad de la capa cementada requerida, pues el KCN cementa con rapidez.

En las piezas cementadas que deban sufrir choques, deberá evitarse el que la capa externa quede hipereutectoide, porque será muy frágil. Cuando las piezas cementadas hayan de trabajar a presión continuada, tengan esa estructura, y después de cementadas, se hayan de rectificar, el ideal es que la capa quede eutectoide.

Cuando la cementación dura poco tiempo, no se consigue un máximo de dureza en la capa exterior, porque no se llega a obtener la capa eutectoide. Por el contrario, cuando la cementación se prolonga para obtener una capa cementada gruesa, se forma superficie hipereutectoide aún cuando la temperatura no sea muy alta.

N I T R U R A C I O N .

Al proceso de aumentar la dureza en la superficie del acero por medio de nitrógeno, se le denomina nitruración.

Se ha encontrado que haciendo pasar al hierro o al acero a temperatura de más o menos 480° C., una corriente de amoníaco, por un tiempo suficientemente largo, el hierro o acero adquieren una superficie dura, que resiste al rayado con la lima, y es muy resistente a la corrosión. Esto tiene una aplicación limitada debido al hecho de que es difícil obtener una capa suficientemente gruesa y dura que pueda competir con las adquiridas en los métodos de cementación en cajas. Sin embargo, es útil en aquellas piezas que requieran una gran resistencia a la corrosión y en donde las presiones que sobre éstas se ejerzan sean muy bajas.

Más tarde se encontró que la nitruración es de gran importancia cuando se aplica a los aceros ligados, que contienen aluminio, cromo, u otros elementos similares. Se llegó a la conclusión de que un acero con no más de 0.50% de aluminio y cromo en cantidad correspondiente, tratado por el sistema de nitruración, produce, desde el punto de vista de la dureza, resultados más satisfactorios que los obtenidos en aceros carburizados. Debido al tiempo tan largo, unas 90 horas, a que se sometía este acero a temperatura de 538° C. y a que el objeto nitrurado resultaba muy quebradizo y además el costo elevado del acero ligado fue lo que impidió la adopción comercial del

Cuando la temperatura de los mismos deberá ser más o menos de unos 400 a 450° C. y luego según circunstancias de la temperatura.

Las piezas cementadas al ser templadas, deberán sujetarse a las reglas prácticas expuestas al hablar del temple.

Cuando se requiere gran dureza, es frecuente usar solución de sal común.

Si se desean capas cementadas de poca profundidad, se preparará como cemento el KCN fundido en vasijas de hierro con lado y mantener una temperatura de 250° C. Tener muchas precauciones con esta sustancia por ser muy tóxica. El tiempo que deba durar la pieza en el baño dependerá de la profundidad de las capas cementadas requeridas, pues el KCN cemento con rapidez.

En las piezas cementadas que deben sufrir choques, deberá evitarse el que la capa externa quede hiperestecoides, porque será muy frágil. Cuando las piezas cementadas hayan de sujetarse a presión continuada, tengan esa estructura, y después de cementadas, se hayan de rectificar, el ideal es que la capa quede austemoides.

Cuando la cementación dura poco tiempo, no se consigue un máximo de dureza en la capa exterior, porque no se llega a obtener la capa austemoides. Por el contrario, cuando la cementación se prolonga para obtener una capa cementada gruesa, se forma superficialmente hiperestecoides sin cuando la temperatura es muy alta.

NITRURACION.

Al proceso de aumentar la dureza en la superficie del acero por medio de nitrógeno, se le denomina nitruración.

Se ha encontrado que haciendo pasar al hierro o al acero a temperatura de más o menos 480° C., una corriente de amoníaco, por un tiempo suficientemente largo, el hierro o acero adquieren una superficie dura, que resiste al rayado con la lima y es muy resistente a la corrosión. Esto tiene una aplicación limitada debido al hecho de que es difícil obtener una capa suficientemente gruesa y dura que pueda competir con las aceros. En los métodos de cementación en coque, sin embargo, se obtiene en aquellas piezas que requieren una gran resistencia a la corrosión y en donde las prestaciones que sobre éstas se exigen son muy bajas.

Más tarde se encontró que la nitruración es de gran importancia cuando se aplica a los aceros ligeros, que contienen aluminio, cromo, u otros elementos aleantes. Se llegó a la conclusión de que un acero con no más de 0.20% de aluminio y cromo en cantidad correspondiente, tratado por el sistema de nitruración, produce, desde el punto de vista de la dureza, resultados más satisfactorios que los obtenidos en aceros carbonizados. Debido al tiempo tan largo, unas 90 horas, a que se somete este acero a temperatura de 250° C. y a que el objeto nitrurado resulta muy quebradizo y además el costo elevado del acero ligado que se requiere la nitruración comercial del

proceso, excepto en casos de uso muy especial.

Se encontró luego que el defecto de lo quebradizo de la liga se reducía muchísimo por adición de molibdeno, así que se hizo esencial la adición de este elemento a los aceros que se sujetan al proceso de nitruración.

El proceso de nitruración es relativamente sencillo; consiste en someter el artículo terminado a una atmósfera de amoníaco a temperatura relativamente baja, generalmente menor de 675° C. por un tiempo determinado, según el uso a que se deba sujetar el artículo, así como de su composición química.

Se ponen los artículos por nitrurar en una retorta cerrada por la que se hace pasar una corriente de amoníaco a cierta velocidad, y una vez que se ha obtenido una capa nitrurada de espesor suficiente, se saca la retorta del horno, dejándola enfriar hasta unos 120° C. aproximadamente, abriéndola luego y sacando los artículos, que quedan listos para usarse. (El grueso de la capa no es mayor de unos diez milésimos de pulgada).

De lo antes descrito se deduce que el método de nitruración es mucho más sencillo que el de carburación. El tipo de horno más adecuado para la nitruración es el eléctrico.

El amoníaco necesario para la operación se obtiene de un tanque común y la presión se regula por medio de una válvula unida con un recipiente con agua, que indica la cantidad de amoníaco que va pasando. Es importante que la cantidad que pase sea suficiente para asegurar las condiciones propias de nitruración. Sabemos bien que el amoníaco calentado se disocia en nitrógeno e hidrógeno, y que el grado de disociación está en función de la temperatura; aumentando ésta, aumenta la disociación para una presión dada. También es afectada por la presencia del fierro. No se conoce definitivamente qué papel juega la disociación en la nitruración, pero sí se sabe bien qué corriente de amoníaco es suficiente para mantener la cantidad de amoníaco no disociado en la retorta arriba de una cantidad mínima. A 649° C. el porcentaje de amoníaco no disociado será al menos de 50 y a 538° C. de 70 %. Para el control de la disociación del amoníaco se adapta un aparato adecuado, a la salida de los gases de la retorta.

La circularación del amoníaco en la retorta es un factor importante, y se ha encontrado que la agitación o circulación rápida del amoníaco en el interior de la retorta acelera la operación de nitruración. El lavado de la superficie del objeto por una corriente de amoníaco, parecé producir una penetración más rápida que cuando la circulación es lenta. Aparentemente la pieza parece rodearse de una zona pasiva altamente concentrada en hidrógeno que retarda grandemente la acción nitrurante; por esta razón es deseable el uso de medios positivos de circulación, pero no es necesario.

Es esencial que el acero por nitrurar contenga un porcentaje suficiente de aluminio para asegurar una concentración nitrurante que dé la dureza deseada. Esto se alcanza con el 0.5 a 1.0% aproximadamente y variando la temperatura según el con-

proceso, excepto en caso de uso muy especial. Se emplea luego que el hierro de la... ya se reduce mediante por acción de hidrógeno, así que se hizo esencial la adición de este elemento a los gases que se... el proceso de nitración.

El proceso de nitración es relativamente sencillo, con- state en someter el artículo terminado a una atmósfera de amoníaco a temperatura relativamente baja, generalmente menor de 50° C. por un tiempo determinado, según el uso a que se debe sujetar el artículo, así como de su composición química.

Se ponen los artículos por nitrar en una retorta cerrada por la que se hace pasar una corriente de amoníaco a cierta ve- locidad, y una vez que se ha obtenido una capa nitrada de es- pesor suficiente, se saca la retorta del horno, dejándola en- friar hasta unos 120° C. aproximadamente, spréndola luego y sacando los artículos, que quedan listos para usarse. (El gra- do de la capa no es mayor de uno diez milésimas de pulgada).

De lo antes descrito se deduce que el método de nitración es mucho más sencillo que el de carburación. El tipo de horno más adecuado para la nitración es el eléctrico.

El amoníaco necesario para la operación se obtiene de un tanque común y la presión se regula por medio de una válvula unida con un recipiente con agua, que indica la cantidad de amoníaco que va pasando. Es importante que la cantidad que se sea suficiente para asegurar las condiciones propias de nitración. Sabemos bien que el amoníaco catódico se disocia en hidrógeno e hidrógeno, y que el grado de disociación está en función de la temperatura; aumentando ésta, aumenta la disociación para una presión dada. También es afectada por la presen- cia del hierro. No se conoce definitivamente qué parte que- da la disociación en la nitración, pero sí se sabe bien que corriente de amoníaco es suficiente para mantener la nitración de amoníaco no disociado en la retorta fría. Las curvas mínimas. A 60° C. el porcentaje de amoníaco no disociado será el menos de 50 y a 250° C. de 70 R. Para el control de la disociación del amoníaco se adapta un aparato adecuado, a la sa- lida de los gases de la retorta.

La circulación del amoníaco en la retorta es un factor im- portante, y se ha encontrado que la agitación o circulación rápida del amoníaco en el interior de la retorta acelera la operación de nitración. El lavado de la superficie del obje- to por una corriente de amoníaco, parece producir una penetra- ción más rápida que cuando la circulación es lenta. Aparente- mente la pieza parece rodearse de una zona pasiva altamente concentrada en hidrógeno que retarda grandemente la acción ni- trante; por esta razón es deseable el uso de medios positi- vos de circulación, pero no es necesario.

Es esencial que el acero por nitrar contenga un porcentaje suficiente de aluminio para asegurar una concentración ni- trante que de la dureza deseada. Esto se alcanza con el 0.5 a 1.0% aproximadamente y variando la temperatura según el con-

tenido en aluminio. También debe contener el acero molibdeno en un porcentaje de 0.15 a 1.00, dependiendo de la cantidad de cromo, silicio, manganeso y otros elementos endurecedores. Un acero muy satisfactorio para nitrurar deberá tener aproximadamente 0.70 % de aluminio y 0.80 % de molibdeno. Si el acero contiene cantidades considerables de cromo, digamos 1% o más, no habrá necesidad que contenga más del 0.25 % de molibdeno. En este caso el molibdeno es agregado para reducir la fragilidad de la pieza nitrurante terminada.

La cantidad de carbono que debe contener para este objeto será de 0.30 a 0.50 %. Los aceros al alto carbón tienden a nitrurarse fácilmente, pero son muy difíciles de maquinar, especialmente cuando el cromo es alto. Por otra parte la resistencia de las piezas en el núcleo es mayor cuanto mayor cantidad de carbón contengan, así que cuando se requiere una gran resistencia en el núcleo, la cantidad de carbono deberá ser alta. Se ha encontrado que la descarburización trae un gran efecto nocivo en el resultado de la nitruración, por esto es importante que las superficies por nitrurar no estén descarburadas, lo que quiere decir que en el maquinado deben quitarse todas las superficies oxidadas. En la operación de nitruración hay que tener cuidado en mantener la menor cantidad de hidrógeno en la retorta para que no elimine carbón del acero y prevenga la formación del nitruro, por esto se ha dicho antes que la cantidad no disociada de amoníaco debe ser aproximadamente no menor de 70 % del volúmen en la retorta.

Ahora el acero nitrurado no puede hacer competencia seria al carburizado por su alto costo, pero es evidente que reduciendo éste, la superioridad de las piezas nitruradas y el proceso asegurarán su uso, con el consecuente abaratamiento en el precio.

Parece ser de mucha importancia la condición que debe guardar la superficie del acero por nitrurar en los resultados de la pieza, y algunos resultados frustrados a esto se atribuyen. Por esto se encontró que las piezas por nitrurar deben ser cuidadosamente lavadas y secadas y manipuladas lo menos posible, para evitar una superficie suave después de la nitruración. No se sabe justamente qué condiciones son perjudiciales para la nitruración, pues piezas que estaban algo grasientas fueron satisfactoriamente nitruradas y en cambio otras lo fueron en todas partes excepto donde habían sido manipuladas al meterlas a la retorta. Al mismo tiempo se encontró que las piezas después del maquinado no fueron satisfactoriamente nitruradas, y se pensó, pero no se comprobó, que esto provenía de los aceites sulfonados o de los aceites para corte a base de lardo que habían sido impropriadamente lavados, teniendo un efecto perjudicial. En la práctica se ha llegado a la conclusión que mientras más limpio y seco esté el material, mejores resultados se obtienen en la nitruración.

La temperatura en la nitruración es también un factor de importancia en el carácter de la pieza obtenida, y depende del tiempo requerido para obtener una superficie satisfactoriamente dura.

tenido en aluminio. También debe contener el acero suficiente en un porcentaje de 0.15 a 1.00, dependiendo de la cantidad de cromo, níquel, manganeso y otros elementos empujados. Un acero muy austenítico para nitruro debe tener aproximadamente 0.70% de aluminio y 0.30% de molibdeno. Si el acero contiene cantidades considerables de cromo, níquel, manganeso, etc., no habrá necesidad que contenga más del 0.25% de molibdeno. En este caso el molibdeno es agregado para reducir la fragilidad de las piezas nitruro terminadas.

La cantidad de carbono que debe contener para este objeto será de 0.30 a 0.70%. Los aceros al alto carbono tienden a nitruarse fácilmente, pero son muy difíciles de maquinarse, especialmente cuando el cromo es alto. Por otra parte la resistencia de las piezas en el núcleo es mayor cuanto mayor cantidad de carbono contengan, así que cuando se requiere una gran resistencia en el núcleo, la cantidad de carbono deberá ser alta. Se ha encontrado que la descarburoización trae un gran efecto nocivo en el resultado de la nitruación, por esto es importante que las superficies por nitruar no estén descarburoadas, lo que quiere decir que en el maquinado deben usarse todas las superficies oxidadas. En la operación de nitruación hay que tener cuidado en mantener la menor cantidad de hidrógeno en la retorta para que no elimine el carbono del acero y prevenga la formación del nitruro, por esto se ha dicho antes que la cantidad de hidrógeno debe ser aproximadamente no menor de 70% del volumen en la retorta.

Ahora el acero nitruado no puede hacer componentes aceros al carburo por su alto costo, pero es evidente que cuando éste se usa en la superficie de las piezas nitruadas y el caso de asegurarse en eso, con el consecuente ahorro en el precio.

parece ser de mucha importancia la condición que debe guardar la superficie del acero por nitruar en los resultados de las piezas, y algunas medidas prácticas a esto se atribuyen. Por esto se encontró que las piezas por nitruar deben ser cuidadosamente lavadas y secadas y manipuladas lo menos posible, para evitar una superficie suave después de la nitruación. No se debe tratar que tendientes son las superficies por la nitruación, debe cuidarse que el acero sea resistente. Cuando se nitruan las piezas, se debe tener cuidado de lavarlas y secarlas con cuidado. Al mismo tiempo se encontró que las piezas que se nitruan no deben estar demasiado tiempo en la retorta, para no perder el efecto de la nitruación. Este efecto se logra a la conclusión que se obtiene en la nitruación.

La temperatura en la nitruación es también un factor importante en el carácter de la pieza obtenida, y depende del tiempo requerido para obtener una superficie austenítica.

A menor temperatura, mayor duración para obtener superficies duras, y es preferible que las temperaturas sean más bien bajas aun cuando el tiempo de nitruración sea bastante largo, pues los resultados son más satisfactorios.

CONTROL DE TALLER.

3a.- En el estudio que venimos haciendo del control de los aceros por los diversos procedimientos adecuados, para darnos cuenta de la composición, estructura, resistencia y demás propiedades de los mismos, hemos comprobado perfectamente la importancia que cada proceso tiene y las ventajas de llevar sistemática y cuidadosamente cada control obteniendo así los datos necesarios para juzgar de la bondad del material, de su adaptabilidad en los diversos usos industriales y de la forma más conveniente en que debe tratársele térmicamente para obtener los resultados satisfactorios en el empleo del mismo. Únicamente nos resta ver los hornos en que deben efectuarse los tratamientos térmicos, el control de las temperaturas en los mismos y los procedimientos de enfriamiento de los materiales así como la forma en que deben controlarse estos enfriamientos.

Existe una variedad enorme de hornos por sus tipos, si son verticales, horizontales o inclinados, si continuos o intermitentes, si automáticos o semi-automáticos, si rotativos, convertidores, si especiales y en fin si tienen otros muchos detalles en lo que se relaciona a su tipo; por los procedimientos de calefacción a que se someten: si son muflas, semi-muflas, abiertos, de reverbero y de crisol; si se atiende al combustible que se usa para elevar la temperatura, si son de carbón, de aceites pesados, de gas, de gasógeno o eléctricos; si atendemos también no sólo a esto sino a las formas y adaptaciones para los aceros o piezas que se sujeten a los diversos tratamientos térmicos y a otros muchos factores, necesitaríamos un estudio muy extenso y que sólo sería de provecho teniendo en cuenta la región, el lugar, la clase de trabajo que va a efectuarse, etc., para, en cada caso, escoger, teniendo en cuenta todos los factores necesarios, el tipo de horno y la clase de combustible que deba emplearse, fijándose siempre en la parte económica, además de la parte técnica, para obtener la mejor eficiencia con el menor costo.

Teniendo en cuenta lo que acabamos de enumerar, veremos únicamente en términos generales las ventajas y desventajas de los hornos en su clasificación lo más general posible, es decir respecto al combustible que se emplee en la calefacción, y al fin daremos los procesos más adecuados y eficientes para controlar las temperaturas de los hornos.

Además, existe tal cantidad de hornos en el comercio, que no es necesario entrar en detalles de sus formas y construcción pues para cada caso sólo habrá que consultar las especificaciones de las casas que venden los hornos y teniendo en cuenta el trabajo que se deba verificar en ellos, si en grande o pequeña

A mayor temperatura, mayor duración para obtener suavidad... es decir, es preferible que las temperaturas sean más bien bajas aun cuando el tiempo de duración sea bastante largo, pues los resultados son más satisfactorios.

CONTROL DE TALLER.

3a.- En el estudio que venimos haciendo del control de los hornos por los diversos procedimientos mencionados, para darnos cuenta de la composición, estructura, resistencia y demás propiedades de los mismos, hemos comprobado perfectamente la importancia que cada proceso tiene y las ventajas de llevar a cabo cada uno de ellos, cada control obtenido así los datos necesarios para juzgar de la bondad del material, de su adaptabilidad en los diversos usos industriales y de la forma más conveniente en que debe tratarse térmicamente para obtener los resultados satisfactorios en el empleo del mismo. Con respecto a los hornos en que deben efectuarse los tratamientos térmicos, el control de las temperaturas en los mismos y los procedimientos de enfriamiento de los metales así como la forma en que deben controlarse estos enfriamientos, existe una variedad enorme de hornos por sus tipos, así como verticales, horizontales o inclinados, de continua o intermitente, automáticos o semi-automáticos, de rotación o no rotación, etc., al especializar y en fin al tener otros muchos tipos de hornos en lo que se refieren a su tipo; por los procedimientos de calefacción a que se someten, así como a las atmósferas, de reverbero y de oxidación; al ser de carbón, gas o electricidad; al estar de aceites pesados, de gas, de gasóleo o alcohol; al estar de otros tipos de hornos que se aplican a los diversos tipos de metales, térmicos y a otros muchos factores, necesitándose un estudio muy extenso y que sólo sería de provecho limitado en cuanto a la región, el lugar, la clase de trabajo que va a efectuarse, etc., para, en cada caso, escoger, teniendo en cuenta todos los factores necesarios, el tipo de horno y la clase de combustible que debe emplearse, fijándose siempre en la parte económica, además de la parte técnica, para obtener la mejor eficiencia con el menor costo.

Teniendo en cuenta lo que acabamos de enumerar, vamos únicamente en términos generales las ventajas de los hornos en su clasificación lo más general posible, así como al respecto el combustible que se emplee en la calefacción, y al fin daremos los procesos más adecuados y eficientes para controlar las temperaturas de los hornos.

Además, existe tal cantidad de hornos en el comercio, que no es necesario entrar en detalles de sus formas y construcción, pues para cada caso sólo habrá que consultar las especificaciones de las casas que vendan los hornos y teniendo en cuenta el trabajo que se debe verificar en ellos, si en grande o pequeño.

escala, la clase de material que vaya a tratarse técnicamente, los resultados que deban obtenerse, la finura del trabajo, los medios de energía calorífica costeables, etc., escoger lo necesario para llevar a efecto con éxito en todos sentidos el acabado del material.

Los hornos por sus combustibles pueden dividirse en cuatro grandes ramas:

- 1).- Hornos de carbón,
- 2).- " " aceite,
- 3).- " " gas, y
- 4).- " eléctricos.

1).- La temperatura que se alcanza en los hornos de carbón es aproximadamente de 1000°C ., lo que permite recocer, templar, revenir y cementar las piezas. Los inconvenientes que encontramos en esta clase de hornos son: la difícil obtención de una temperatura homogénea en todo el seno del horno; la atmósfera en la cámara del horno tiende a ser oxidante; la manipulación y la alimentación del mismo es más costosa generalmente, además del difícil aseo del local y la higiene del mismo.

2).- En esta clase de hornos pueden quemarse toda clase de combustibles líquidos. Son análogos a los de carbón y fácilmente puede cambiarse de un tipo a otro sólo cambiando las parrillas. La potencia calorífica de estos hornos es muy alta (10000 calorías por Kg.) Su manipulación y aseo son más sencillos y relativamente menos costosos que en los de carbón.

3).- Esta clase de hornos puede ser muy ventajosa para los tratamientos térmicos en gran escala. Los hornos trabajan con recuperador de calor. Alcanzan temperaturas más elevadas de 1100°C . y pueden emplearse como los anteriores para templar, cementar y recocer. Los que se usan para revenir no necesitan recuperador. La temperatura puede tenerse muy uniforme en la cámara del horno, regulándola convenientemente con registros adecuados. La combustión es regular, sin alternativas, como se encuentra a veces en los otros tipos. Los hornos funcionan automáticamente, por lo que su manejo es sencillo.

4).- Los más cómodos, que alcanzan las temperaturas necesarias para todos los tratamientos térmicos, los más limpios, los que dan calor muy uniforme, son sumamente sencillos de manipular y de asear, son los eléctricos. No obstante que sea cara la energía eléctrica, el uso industrial de ella para las operaciones de calentamiento está sumamente extendido, por las ventajas indirectas que trae consigo la instalación de un equipo eléctrico, en el proceso total de manufactura. Estas ventajas incluyen la ausencia de calor y olor que producen los gases; la eliminación de productos de combustión; la simplificación en el control de temperatura; el control de la atmósfera, disminuye la dependencia en el "elemento humano", posibilidad de mantener zonas de calentamiento locales sin afectar materialmente otras secciones del horno; colocar el horno en vía de producción, o en una posición tal, que no da lugar a inconve-

La clase de material que se utiliza en los hornos eléctricos, es de gran importancia. La clase de material que se utiliza en los hornos eléctricos, es de gran importancia. La clase de material que se utiliza en los hornos eléctricos, es de gran importancia.

- 1) - Hornos de carbón
- 2) - " " " " " " " "
- 3) - " " " " " " " "
- 4) - " " " " " " " "

1) - La temperatura que se alcanza en los hornos de carbón es aproximadamente de 1000°C., lo que permite recocer, templar y cementar las piezas. Las inconvenientes que encuentran en esta clase de hornos son: la difícil obtención de una temperatura homogénea en todo el seno del horno; la oxidación en la cámara del horno tiende a ser oxidación; la manipulación y la alimentación del mismo es más costosa que en los hornos eléctricos.

2) - En esta clase de hornos pueden obtenerse una clase de combustibles líquidos. Son más sencillos y fáciles de manejar que los hornos de carbón. La potencia calorífica de estos hornos es de unos 10000 calorías por Kg. Su manipulación y uso son sencillos y relativamente menos costosos que en los hornos eléctricos.

3) - Esta clase de hornos puede ser muy ventajosa para los tratamientos térmicos en gran escala. Los hornos eléctricos alcanzan temperaturas más elevadas que los hornos de carbón y pueden emplearse como los hornos eléctricos para templar y recocer. Los que se usan para recocer no necesitan recalentar. La temperatura puede tenerse muy uniforme en la cámara del horno, regulándose convenientemente con resistencias eléctricas. La combustión es regular, sin inconvenientes, como se encuentra a veces en los otros tipos. Los hornos eléctricos son, por lo que se maneja es sencillo.

4) - Las más cómodas, que alcanzan las temperaturas necesarias para todos los tratamientos térmicos, las más limpias, las que dan calor muy uniforme, son evidentemente las eléctricas. No obstante esto se puede utilizar la energía eléctrica, el uso industrial de ella para las operaciones de calentamiento está aumentando rápidamente, por las ventajas indirectas que trae consigo la instalación de un horno eléctrico, en el proceso total de manufactura. Estas ventajas incluyen la ausencia de calor y olor que producen los hornos de carbón; la eliminación de productos de combustión; la simplicidad en el control de temperatura; el control de la atmósfera; disminuye la dependencia en el "elemento humano", posibilidad de mantener zonas de calentamiento locales sin afectar materialmente otras secciones del horno; colocar el horno en vía de producción, o en una posición tal, que no da lugar a inconvenientes.

nientes en la colocación de las líneas de tubos; conexión o desconexión automáticas desde un timbre de alarma; operación automática nocturna sin necesidad de operario; mantenimiento de una atmósfera de gas, tal como hidrógeno o monóxido de carbono, sin muflas; balance de calentamiento en el horno relativamente alto; influencia total sobre la carga eléctrica y velocidad de la planta; y, en general, todas aquellas ventajas indirectas intangibles de un equipo de calefacción eléctrica que puede influenciar la calidad o sobre todo el costo del producto terminado.

El conocimiento de los principios fundamentales de pirometría, o medición de temperaturas, es completamente necesario para el que tiene a su cargo los tratamientos térmicos de los aceros. Sólo se alcanzan buenos resultados cuando se llevan con todo cuidado la medición y el control del calentamiento del acero.

Las temperaturas no pueden medirse por métodos directos. Antiguamente se usaban las esferas de fierro o de cobre que sujetas a un alambre, se metían al horno hasta que alcanzaran su temperatura y luego sumergiéndolas rápidamente en una cantidad de agua conocida, cuyo volúmen era suficiente para que no entrara en ebullición, y por la elevación de temperatura en la misma, la que se medía por medio de un termómetro, y conociendo la capacidad de la bola de fierro, podía calcularse la temperatura del horno. Método muy lento y deficiente.

Existen ahora métodos bastante exactos y sencillos para la medición de altas temperaturas. El más práctico es el de los pirómetros termoeléctricos, que se fundan en el hecho descubierto por Seebeck (o efecto Peltier) de que si se sueldan dos metales o ligas metálicas distintas y las soldaduras se mantienen a temperaturas diferentes, se establece una corriente eléctrica cuya fuerza electromotriz radica en las soldaduras. La magnitud de esta fuerza depende de tres factores, a saber: 1o.- de la naturaleza de los metales, o aleaciones que formen el par; 2o.- de la diferencia de temperaturas entre las dos soldaduras (caliente y fría); y 3o.- de la temperatura actual de dichas soldaduras.

La determinación de temperaturas se reducirá, pues, a medir fuerzas electromotrices. Esta medida puede hacerse por lectura directa en un milivoltímetro, o por comparación mediante un potenciómetro; el primer método es más expedito; el segundo, más exacto.

Los metales y aleaciones que se usan para la construcción de los termopares son numerosos y dependen de las temperaturas que se deban medir y de los lugares donde deban usarse, para escoger los más apropiados en cada caso. El par termoeléctrico debido a Le Chatelier está compuesto de un hilo de platino y el otro de platino con una liga de 10 % de rodio. Este alcanza a medir temperaturas de 1600° C. y presta magníficos servicios. El de iridio e iridio con 10 % de rutenio, permite llegar a 2000° C. Los metales usados en estos pares

... en la colocación de las líneas de tubos; conexiones
 desconocidas automáticas desde un timbre de alarma; procedimientos
 automáticos nocturnos sin necesidad de operario; mantenimiento
 de una atmósfera de gas, tal como hidrógeno o monóxido de car-
 bono, sin mallas; balanzas de calentamiento en el horno relati-
 vamente alto; influencia total sobre la carga eléctrica y ver-
 ficación de la planta; y, en general, todas aquellas ventajas
 indirectas inherentes de un equipo de calefacción eléctrica
 que puede influenciar la calidad o sobre todo el costo del
 producto terminado.

El conocimiento de los principios fundamentales de piran-
 tría, o medición de temperaturas, es completamente necesario
 para el que tiene a su cargo los tratamientos térmicos de los
 aceros. Sólo se alcanzan buenos resultados cuando se llevan
 con toda cuidado la medición y el control del calentamiento
 del acero.

Las temperaturas no pueden medirse por métodos directos.
 Antiguamente se usaban las esferas de hierro o de cobre que
 sujetas a un alambre, se metían al horno hasta que alcanzaran
 su temperatura y luego sumergiéndolas rápidamente en una can-
 tidad de agua conocida, cuyo volumen era suficiente para que
 no entrara en ebullición, y por la elevación de temperatura
 en la misma, la que se medía por medio de un termómetro, y co-
 nocendo la capacidad de la bola de hierro, podía calcularse
 la temperatura del horno. Método muy lento y delicado.

Existen ahora métodos bastante exactos y sencillos para
 la medición de altas temperaturas. El más práctico es el de
 los pirómetros termoelectrónicos, que se fundan en el hecho de
 que el efecto Seebeck (o efecto Peltier) de que si se unen dos
 metales o ligas metálicas distintas y las soldaduras se
 mantienen a temperaturas diferentes, se establece una corriente
 eléctrica cuya fuerza electromotriz radica en las soldaduras.
 La magnitud de esta fuerza depende de tres factores, a-
 saber: lo. - de la naturaleza de los metales, o aleaciones que
 forman el par; So. - de la diferencia de temperatura entre
 las dos soldaduras (caliente y fría); y 3o. - de la temperatu-
 ra actual de dichas soldaduras.

La determinación de temperaturas se reduce, pues, a me-
 dir fuerzas electromotrices. Esta medida puede hacerse por
 lectura directa en un milivoltímetro, o por comparación me-
 diante un potenciómetro; el primero método es más expedito;
 el segundo, más exacto.

Los metales y aleaciones que se usan para la construcción
 de los termopares son numerosos y dependen de las temperatu-
 ras que se deben medir y de los lugares donde deben usarse.
 Para escoger los más apropiados en cada caso. El par termopar
 clásico debido a la Chalmers está compuesto de un hilo de
 platino y el otro de platino con una liga de 10% de rodio.
 Este permite a medir temperaturas de 1600° C. y presta servi-
 cios serviciales. El de iridio e iridio con 10% de platino,
 permite llegar a 2000° C. Los metales usados en estos pares

son muy caros para usarlos en la industria. Existe una gran variedad de termopares de metales inoxidables que deben escogerse adecuadamente para el lugar y medición de temperaturas en cada caso. La mayoría de ellos vienen provistos de tubos protectores contra alguna acción química, contruidos también de diversos materiales como hierro, cuarzo, porcelana vidriada y sin vidriar y aún de otros; adecuados también a las temperaturas a que serán sometidos y no atacables, y a veces impermeables.

Hay otras variedades de pirómetros, a saber: de resistencia, de radiación, etc. Los más generalmente usados son los de radiación que pueden ser de radiación total u ópticos, según que midan la temperatura en función de toda la energía irradiada (visible e invisible) por el manantial térmico, o que dicha medida se haga en función de toda o parte de la energía irradiada por la parte visible del espectro, es decir de la energía luminosa.

Para obtener lecturas correctas en los pirómetros de radiación, es preciso que el cuerpo caliente, cuya temperatura se desea medir, irradie como cuerpo ópticamente negro. No hay en realidad substancia que tenga esta propiedad en lo absoluto, pero Kerchhoff demostró que las paredes de un recinto atérmano, calentado uniformemente, irradian como si se tratase de un cuerpo negro ideal.

Cuando se trata de medir la temperatura de un cuerpo fuera del recinto térmico, por ejemplo, la de un lingote de acero al aire libre, los pirómetros de radiación indican temperaturas más bajas que la verdadera. La magnitud del error depende de la naturaleza de la sustancia en cuestión y de su superficie.

Los pirómetros de resistencia están fundados en la medida de la variación que experimenta la resistencia eléctrica de un conductor al variar su temperatura. Dicha variación de resistencia se verifica según leyes conocidas. El metal empleado debe poseer un coeficiente temperatura-resistencia lo más grande posible, es decir, su resistencia al paso de la corriente debe variar mucho por grado de temperatura. Con esta clase de pirómetros se llega a un grado de precisión considerable y por esta razón se emplea sólo en trabajos de sumo cuidado. En la industria presentan el inconveniente de que la espira de resistencia es bastante frágil y el aparato de medida no es tan sencillo como en el caso de los pirómetros termoelectrónicos.

De preferencia hay que usar los pirómetros registradores. Los pirómetros de radiación deben emplearse sólo en los casos donde no pueden utilizarse los demás; con éstos pueden medirse las temperaturas más elevadas que se conocen, pues no tienen límite superior.

Los pirómetros ópticos son más precisos que los de radiación total sin son usados por personas cuidadosas y que tengan práctica en su manejo, pues requieren la acción subjetiva

Hay otras variedades de pirómetros, a saber: de resistencia, de radiación, etc. Los más generalmente usados son los de radiación que pueden ser de radiación total u óptica, según que midan la temperatura en función de toda la energía irradiada (visible e invisible) por el material térmico, o que dicha medida se haga en función de toda o parte de la energía irradiada por la parte visible del espectro, es decir, de la energía luminosa.

Para obtener lecturas correctas en los pirómetros de radiación, es preciso que el cuerpo caliente, cuya temperatura se desea medir, irradie como cuerpo ópticamente negro. No hay en realidad substancia que tenga esta propiedad en lo absoluto, pero Kirchhoff demostró que las paredes de un recinto estermado, calentado uniformemente, irradian como si se tratara de un cuerpo negro ideal.

Cuando se trata de medir la temperatura de un cuerpo que no irradia como cuerpo negro, por ejemplo, la de un líquido de color rojo al rojo libre, los pirómetros de radiación dan lecturas más bajas que la verdadera. La magnitud del error depende de la naturaleza de la sustancia en cuestión y de su superficie.

Los pirómetros de resistencia están fundados en la medida de la variación que experimenta la resistencia eléctrica de un conductor al variar su temperatura. Dicha variación de resistencia se verifica según leyes conocidas. El metal empleado debe poseer un coeficiente temperatura-resistencia lo más grande posible, es decir, su resistencia al paso de la corriente debe variar mucho por grado de temperatura. Con esta clase de pirómetros se llega a un grado de precisión considerable y por esta razón se emplean solo en trabajos de suma exactitud. En la industria presentan el inconveniente de que la superficie de resistencia es bastante frágil y el aparato de medida no es tan sencillo como en el caso de los pirómetros termoeléctricos.

De preferencia hay que usar los pirómetros resistivos. Los pirómetros de radiación deben emplearse solo en los casos donde no pueden utilizarse los demás; con éstos pueden medirse las temperaturas más elevadas que se conocen, pues no tienen límite superior.

Los pirómetros ópticos son más precisos que los de radiación total sin ser usados por personas cuidadosas y que sean muy prácticos en su manejo, pues reducen la acción sujeta

va de comparar dos intensidades luminosas. Son muy útiles, -- porque la lectura es objetiva, se reduce a leer en la escala de un milivoltímetro o de un indicador.

Hasta ahora hemos visto que se ha dado gran importancia a la fase de calentamiento del proceso con relación a la relativamente poca importancia dada a la fase de enfriamiento, -- que es de igual importancia que la primera. Si es esencial el calentamiento uniforme, importante y necesario es el enfriamiento uniforme. La uniformidad y naturaleza del producto terminado o el ajustamiento de la estructura en el enfriamiento es lo que determina el valor del producto. Este hecho era -- perfectamente reconocido por los obreros de la Edad Media y -- por esto le daban tanta importancia a la fórmula y medios de enfriamiento, pues los resultados de investigaciones recientes demuestran la influencia del enfriamiento en la calidad del producto acabado.

La aparición de los aceros alta-velocidad demostró, con la ayuda del microscopio y del metalurgista, que es posible la investigación del proceso, diferenciando los procesos de suavización, normalización, sorbitización, recocido, etc. Este avance en el estudio de la fase de enfriamiento ha sido -- parcialmente abandonado, a causa del desarrollo inicial y uso de los aceros ligados. Sin embargo, últimamente, debido a la competencia en supremacía económica ha forzado a la investigación real de los fundamentos de enfriamiento y se ha llegado a resultados físicos sorprendentes obtenidos con aceros bajo carbón, variando las velocidades de enfriamiento en agua (es decir, de la aplicación de agua a diversas velocidades); el enfriamiento con agua de los aceros medio-carbón forjados recientemente; la reducción de la fragilidad o "enfermedad Kruppiana", en los aceros cromo-níquel, enfriándolos desde el vaciado; y la tendencia a simplificar el proceso de tratamiento térmico, procurando un estudio más cuidadoso en la fase de enfriamiento.

Gillet y Mack explican claramente el efecto metalográfico en el curso de enfriamiento en la forma siguiente:

El curso de enfriamiento que impida a la lenta austenita de cambiarse total o parcialmente, depende del contenido en carbón y en la uniformidad de distribución del mismo, y esta última dependerá de las facilidades para la difusión (temperatura máxima y tiempo) que tenga la austenita en el calentamiento. De aquí que para cada contenido en carbón, y para cada temperatura máxima (incluyendo el factor tiempo al gran -- factor temperatura) a la que la austenita ha sido sometida, -- haya una línea definida de cursos de enfriamiento, en la que el punto Ar1 pueda descender, pero transformándose siempre la austenita en ferrita y perlita. Hay una línea definida de cursos de enfriamiento a la que ese cambio cesará y la transformación comenzará; una línea definida de cursos, en la que el punto crítico superior, o punto de la troostita primaria, Ar', disminuirá en intensidad y el más bajo, o punto de la marten-

de comparar dos intensidades luminosas. Son muy fáciles, porque la lectura es objetiva, se reduce a leer en la escala de un milivoltímetro o de un indicador.

Hasta ahora hemos visto que se ha dado gran importancia a la fase de calentamiento del proceso con relación a la temperatura, pero también a la fase de enfriamiento, que es de igual importancia que la primera. Si es esencial el calentamiento uniforme, importante y necesario en el producto terminado. La uniformidad y naturaleza del producto terminado o el ajustamiento de la estructura en el enfriamiento es lo que determina el valor del producto. Este hecho es perfectamente reconocido por los obreros de la Edad Media y por esto se daba tanta importancia a la fórmula y medida de enfriamiento, pues los resultados de investigaciones recientes demuestran la influencia del enfriamiento en la calidad del producto acabado.

La aparición de los aceros ultra-velocidad demostró, con la ayuda del microscopio y del metalógrafo, que en realidad la investigación del proceso, diferenciando los procesos de austenización, normalización, sinterización, etc. Es un avance en el estudio de la fase de enfriamiento. La investigación abandonada, a causa del desarrollo inicial y uso de los aceros ligados, sin embargo, definitivamente, debido a la competencia en una economía se forzó a la investigación real de los fundamentos de enfriamiento y se ha llegado a resultados físicos sorprendentes obtenidos con aceros bajo enfriamiento, variando las velocidades de enfriamiento en agua (es decir, de la aplicación de agua a diversas velocidades); el enfriamiento con agua de los aceros medio-carbono (por ejemplo, el 1.2% de carbono) y la fragilidad o "enfriamiento Kippelmann", en los aceros cromo-níquel, enfriados desde el estado líquido y la tendencia a simplificar el proceso de tratamiento térmico, procurando un estudio más cuidadoso en la fase de enfriamiento.

Miller y Mack explican claramente el efecto metalográfico en el curso de enfriamiento en la forma siguiente: El curso de enfriamiento que impide a la lenta austenización de cambiar total o parcialmente, depende del contenido en carbono y en la uniformidad de distribución del mismo, y esta última depende de las facilidades para la difusión (temperatura máxima y tiempo) que tenga la austenita en el calentamiento. De aquí que para cada contenido en carbono, y para cada temperatura máxima (incluyendo el factor tiempo el gran factor determinante) a la que la austenita ha sido sometida, haya una línea definida de cursos de enfriamiento, en la que el punto A puede ser cualquier, pero transformándose siempre la austenita en ferrita y perlita. Hay una línea definida de enfriamiento a la que ese cambio cesará y la transformación comenzará, una línea definida de curso, en la que el punto crítico superior, o punto de la proeutecto primario, A', determinará en intensidad y el más bajo, o punto de la martensita.

sita, Ar", aumentará; y finalmente, hay una línea definida de enfriamiento a la que únicamente se forma martensita.

Es evidente que si se ha buscado un gran equipo, perfectamente adecuado para los tratamientos térmicos, no se ha hecho lo mismo para obtener un equipo de enfriamiento tan bueno como el primero, y con las investigaciones metalúrgicas en la fase de enfriamiento se ha encontrado que tan necesaria es -- una cosa como la otra. Igualmente es de gran importancia el enseñar a los operarios la manera propia de enfriar sus productos como se hace en la de calentarlos. Probablemente muchas herramientas y otras piezas se arruinan por los métodos deficientes de enfriamiento más que por los de calentamiento, y un gran porcentaje debe ser resuavizado debido al enfriamiento defectuoso o al sobreenfriamiento, más que al sobrecalentamiento.

A menudo se considera el enfriamiento sólo como el proceso de eliminar el calor para hacer posible la manufactura del producto, hacerlo invariable, y a veces esta operación de enfriar es de una importancia igual a la del ciclo de calentamiento y debe estar gobernada por los mismo principios. Temperatura uniforme del baño (10 atmósferas) de enfriamiento en la zona de enfriamiento. Desgraciadamente, la temperatura en el baño de enfriamiento, generalmente, en la práctica, no es uniforme, y entonces se obtiene la no uniformidad en el producto enfriado debido a las diferencias de temperatura en el baño.

El calentamiento individual con enfriamiento en masa están problemático como el calentamiento en masa con enfriamiento individual. A menudo se pone mucho cuidado en el calentamiento de una cantidad de piezas pequeñas, de tal manera que cada pieza es calentada a la misma temperatura, en la misma forma por la misma duración de tiempo, y luego, con completa desatención a la necesidad de una exposición uniforme en el enfriamiento, los operarios se permiten echar las piezas al tanque de enfriamiento, unas y otras en montón. Así, si una gran cantidad de piezas uniformemente calentadas es sumergida al baño de enfriamiento al mismo tiempo, hay una tendencia para el baño de calentarse irregularmente y para las piezas que están en la parte más exterior de la masa de enfriarse a temperaturas diferentes y en períodos de tiempo diferentes que las que se encuentran en el centro. Con tales métodos de enfriamiento en masa es irrazonable suponer que cada pieza esté sujeta al mismo tratamiento. Respecto a la temperatura indicada en el baño o cámara de enfriamiento, las piezas no son calentadas o enfriadas en la misma forma, a menos que hayan sido expuestas de la misma manera, a la misma velocidad, el mismo tiempo, a la misma temperatura y en la misma atmósfera.

Es de desearse el conservar el material caliente y el líquido en movimiento en las operaciones de enfriamiento, pues

70

Este, Ar. y finalmente, hay una línea de
enfriamiento a la que únicamente se forma martelada.
Es evidente que si se ha pasado un gran equipo, partes
tamente abocados para los tratamientos térmicos, no se ha
cho lo mismo para obtener un equipo de enfriamiento tan bueno
como el primero, y con las investigaciones realizadas en la
fase de enfriamiento se ha encontrado que tan necesario es
una cosa como la otra. Igualmente es de gran importancia el
enseñar a los operarios la manera propia de enfriar sus pro-
ductos como se hace en la de calentarlos. Probablemente mu-
chas herramientas y otras piezas se arruinan por los métodos
deficientes de enfriamiento más que por los de calentamiento.
Y un gran porcentaje debe ser resacaído debido al enfria-
miento defectuoso o al sobreenfriamiento, más que al sobrecal-

Enfriamiento.
A menudo se considera el enfriamiento sólo como el proce-
so de eliminar el calor para hacer posible la manufactura del
producto, haciendo invisible, y a veces esta operación de en-
friar es de una importancia igual a la del ciclo de calenta-
miento y debe estar gobernada por los mismos principios. Tem-
peratura uniforme del baño (lo más exacta) de enfriamiento en
la zona de enfriamiento. Desafortunadamente, la temperatura en
el baño de enfriamiento, generalmente, en la práctica, no es
uniforme, y entonces se obtiene la no uniformidad en el pro-
ducto enfriado debido a las diferencias de temperatura en el
baño.

El calentamiento individual con enfriamiento en masa es
tan problemático como el calentamiento en masa con enfriamiento
individual. A menudo se pone mucho cuidado en el calenta-
miento de una cantidad de piezas pequeñas, de tal manera que
cada pieza es calentada a la misma temperatura, en la misma
forma por la misma duración de tiempo, y luego, con completa
desatención a la necesidad de una exposición uniforme en el
enfriamiento, los operarios se permiten echar las piezas al
tanque de enfriamiento; unas y otras en montón. Así, al usar
gran cantidad de piezas uniformemente calentadas en un tanque
el baño de enfriamiento al mismo tiempo, hay una tendencia a
que el baño de calentar irregularmente y para las piezas que
están en la parte más exterior de la masa de enfriarse a tem-
peraturas diferentes y en períodos de tiempo diferentes que
las que se encuentran en el centro. Con tales métodos de en-
friamiento en masa es irrazonable suponer que cada pieza será
sujeta al mismo tratamiento, respecto a la temperatura indig-
na en el baño o cámara de enfriamiento, las piezas no son ca-
lentadas o enfriadas en la misma forma, a menos que haya un
de exposición de la misma manera, a la misma velocidad, al mis-
mo tiempo, a la misma temperatura y en la misma atmósfera.
Es de desearse el conservar el material caliente y el
quido en movimiento en las operaciones de enfriamiento, pues

de lo contrario se forma fácilmente una película en la superficie de la pieza, que retarda la transmisión de calor. Cuando las condiciones lo permiten, se hace uso de un tanque de enfriamiento rotatorio, o su equivalente, para asegurar una exposición individual y un movimiento continuo del material y a la vez proveer la circulación del medio enfriante.

Los principios rigen la transmisión de calor del material en el enfriamiento, son los mismos que el calor transmitido a la pieza en el calentamiento. La diferencia esencial está en la velocidad de transmisión, sea por las condiciones metalúrgicas que requiere el material, o por las características físicas que afecten al tamaño, forma o sección de la pieza por enfriar. Como regla general, la velocidad es más importante en el enfriamiento que en el calentamiento. Así una velocidad retardada o lenta en el enfriamiento, como es el caso en el recocido, producirá resultados que muestran resistencia mínima y ductibilidad máxima; un enfriamiento rápido, o temple, invertirá las propiedades; y un enfriamiento al aire o normalizado dará otras combinaciones o propiedades físicas, según el análisis, dimensión de sección, etc.

Tan necesario es controlar la temperatura y composición del fluido o atmósfera que envuelve a la pieza en el enfriamiento como en el calentamiento. La nueva práctica de calentar individualmente, las hojas de acero bajo carbón para cuerpos de automóviles con objeto de obtener uniformidad en la operación de prensado, es una buena ilustración de la necesidad de exponer el material individualmente al calentamiento y enfriamiento cuando se desea uniformidad en la estructura o en el acabado. Y Así podrían citarse otros muchos productos industriales, especialmente en la industria del alambre, que si no se tratan debidamente en todas sus fases, no puede obtenerse un producto homogéneo.

En las operaciones de temple es muy importante la temperatura a la que es enfriado actualmente el producto calentado. No es suficiente calentar el producto a la temperatura deseada; debe ser enfriado desde esa temperatura. Por esta razón es necesario resguardar el producto contra una caída de temperatura al moverlo de la zona de calentamiento al baño de enfriamiento. Excepto en aquellas condiciones en que se usen métodos continuos de calentamiento y enfriamiento, esta operación se vuelve, más que nunca, dependiente del operador, y prácticamente no hay forma de control automático para regular esta fase en el ciclo de enfriamiento. En este punto el operario puede lograr o romper el ciclo de operaciones y obtener éxito o fracaso.

Se ha dicho y escrito mucho últimamente acerca de los medios de enfriamiento y también de los combustibles; pero es preferible sostener el criterio que la producción de calor debe estar más en concordancia con el uso de la misma que con la composición del producto. Medios diferentes de enfriamiento, así como combustibles, tienen campos distintos de uso, así como también sus límites; pero la aplicación afortunada a las --

de la corriente de la luz incidente que produce un efecto de polarización de la luz. Cuando las condiciones de reflexión, es decir, de un ángulo de reflexión, se hacen iguales, se produce una reflexión polarizada y una transmisión polarizada perpendicular a la polarización de la luz incidente.

Los principios de la refracción de la luz en un medio homogéneo, en el que la velocidad de la luz es constante, se deducen de la ley de Snell. La refracción de la luz en un medio anisotrópico, como los cristales, se describe mediante la ley de Snell generalizada. La velocidad de la luz en un medio anisotrópico depende de la dirección de propagación y de la polarización de la luz. Como regla general, la velocidad de la luz en un medio anisotrópico es menor que en un medio isotrópico. La velocidad de la luz en un medio anisotrópico puede ser mayor que en un medio isotrópico en ciertas direcciones y polarizaciones. La velocidad de la luz en un medio anisotrópico puede ser cero en ciertas direcciones y polarizaciones, como en el caso de los cristales uniaxiales negativos.

Tan necesario es controlar la temperatura y humedad del fluido y mantenerla constante en el momento como en el calentamiento. La nueva práctica de calentar individualmente las partes de acero para cada pieza de trabajo con objeto de obtener uniformidad en la expansión de las partes, es una buena ilustración de la necesidad de controlar el material individualmente al calentamiento y enfriamiento cuando se hacen uniones en la estructura o en los procesos. Así pueden darse otros muchos procesos industriales, especialmente en la industria del aluminio, donde se trata de mantener la temperatura de las partes en un grado de precisión homogénea.

En las operaciones de temple es muy importante la rapidez con que se enfría el material al producirse el temple. No es suficiente controlar el producto de la temperatura de enfriamiento, sino que también debe controlarse la velocidad de enfriamiento. El producto de la velocidad de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento es el índice de enfriamiento. El índice de enfriamiento en un medio homogéneo es el producto de la velocidad de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento. El índice de enfriamiento en un medio anisotrópico es el producto de la velocidad de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento en la dirección de propagación de la luz. El índice de enfriamiento en un medio anisotrópico puede ser mayor que en un medio isotrópico en ciertas direcciones y polarizaciones.

El índice de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento son factores importantes en el control de la temperatura de las partes. El índice de enfriamiento en un medio homogéneo es el producto de la velocidad de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento. El índice de enfriamiento en un medio anisotrópico es el producto de la velocidad de enfriamiento y la velocidad de enfriamiento en la dirección de propagación de la luz. El índice de enfriamiento en un medio anisotrópico puede ser mayor que en un medio isotrópico en ciertas direcciones y polarizaciones.

condiciones de una planta metalúrgica definida es lo que cuenta en último análisis.

Los tratamientos térmicos comienzan con el calentamiento inicial para formar, forjar o laminar, y terminan el proceso con la fase de enfriamiento final.

DATOS OBTENIDOS EN EL ESTUDIO DE UN ACERO AL CARBON QUE DE NOMINAMOS POR EL SISTEMA GONZALEZ COMO SIGUE: 5-8-2.

El análisis químico por los métodos de rutina es el siguiente:

Carbono -----	0.48	%
Manganeso-----	0.77	"
Silicio -----	0.194	"
Fósforo -----	0.016	"
Azufre -----	0.030	"

Las pruebas mecánicas del material recocido son las siguientes:

Dureza Brinell ----	172.0
Prueba de tracción verificada con probeta de dimensiones standard alemanas.	
Diámetro -----	10 mm.
Sección -----	78.54 mm. ² .
Longitud -----	100 mm.

Cargas totales:

Límite elástico ---	2875 Kgs.
Límite de ruptura -	5250 "

Cargas por mm.².

Límite elástico ---	36.6 Kgs. por mm. ² .
Límite de ruptura -	66.8 " " "

Alargamiento -----	17.8 %
Estricción -----	7.8 mm.

Prueba de Charpy verificada con probeta standard alemana.

Dimensiones:

Probeta cuadrangular	10 x 10 mm.
Sección -----	100 Mm. ² .
Entalla -----	1 mm. de profundidad y ángulo de 45°.
Longitud -----	20 mm.
Prueba de Izod -----	4.6 kilográmetros.

Prueba de fatiga verificada con probetas de dimensiones standard con peso de 3.5 Kls. y toda la carrera del martillo.

Diámetro de la probeta: 15 mm.

completes de une certaine maniere...
en l'absence de...
les tresors...
materiel...
con la base de...

El analisis...
Cargas...
Laminas...
Cargas...
Laminas...

Las pruebas...
Pruebas de...
de dimensiones...
Distribucion...
Seccion...
Laminas...

Cargas...
Laminas...
Cargas...
Laminas...
Aparatos...
Pruebas de...

Pruebas de...
Pruebas de...
Seccion...
Laminas...
Pruebas de...

Pruebas de...
Pruebas de...
Distribucion...
Pruebas de...

Sección ----- 176.71 mm.².

Por comprensión se rompió la probeta a los 1,368 golpes.
Dimensiones de la probeta para la prueba de fatiga por --
tensión:

Diámetro ----- 6 mm.
Sección ----- 28.27 mm.².

Por tensión se rompió la probeta a los 907 golpes.
Se determinó su punto crítico, siendo éste a la temperatura de 720° y de acuerdo con esto se efectuaron los tratamientos térmicos con los siguientes resultados:

Dureza Rockwell de varias muestras sujetadas a temple a diversas temperaturas en diversos medios.

TEMPLE EN AGUA:

Temperatura	Dureza Rockwell
775° C.	C 56.
750"	C 47.
725"	C 14.
700"	C 13.
675"	C 12.
650"	C 12.

TEMPLE EN ACEITE:

Temperatura	Dureza Rockwell
775° C.	C 17.
750"	C 8.
725"	B 91.
700"	B 96.
675"	B 89.
650"	B 90.

PRUEBAS DE REVENIDO:

Temperatura	Dureza	Tiempo
500° C	C 32	1/4 de hora
450 "	C 36	" " "
400 "	C 42	" " "
350 "	C 45	" " "
300 "	C 50	" " "
250 "	C 51	" " "

Sección

Por comprensión se rompió la muestra a las 10.00 horas.
 Dimensiones de la muestra para la prueba: 1.5 x 1.5 x 1.5 cm.
 Temperatura: 25°C

Por tensión se rompió la muestra a las 10.00 horas.
 Se detuvo el punto crítico, siendo ésta la temperatura
 de 720°C de donde se efectuaron los tratamientos
 térmicos con los que se obtuvieron los resultados.
 Durante el tiempo de las pruebas se efectuó a la vez
 varias determinaciones en diversos medios.

PRUEBAS EN AGUA

Temperatura	Duración
720°C	0.30
720°C	0.45
720°C	0.60
720°C	0.75
720°C	0.90
720°C	1.05

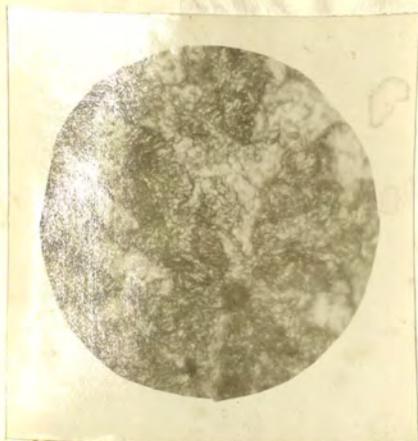
PRUEBAS EN ACEITE

Temperatura	Duración
720°C	0.30
720°C	0.45
720°C	0.60
720°C	0.75
720°C	0.90
720°C	1.05

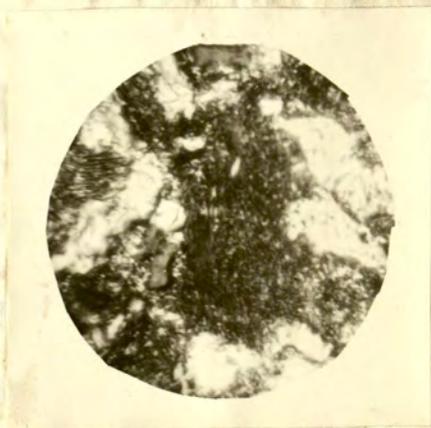
PRUEBAS EN NITRÓGENO

Temperatura	Duración	Tiempo
720°C	0.30	1.5 de hora
720°C	0.45	" "
720°C	0.60	" "
720°C	0.75	" "
720°C	0.90	" "
720°C	1.05	" "

MICROFOTOGRAFÍAS DEL MATERIAL TRATADO TÉRMICAMENTE. .-



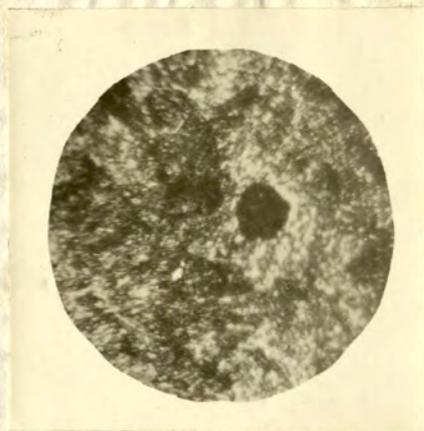
Recocido:
 Ataque: Nital %
 Aumento: 900 diámetros
 Estructura: Perlita Hipoeutectoide. Perlita Laminar en fondo de ferrita.



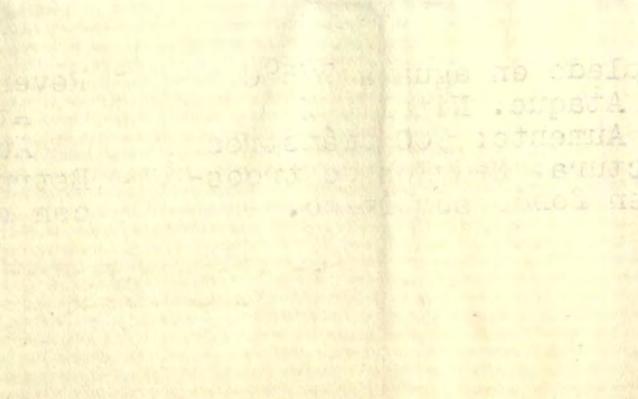
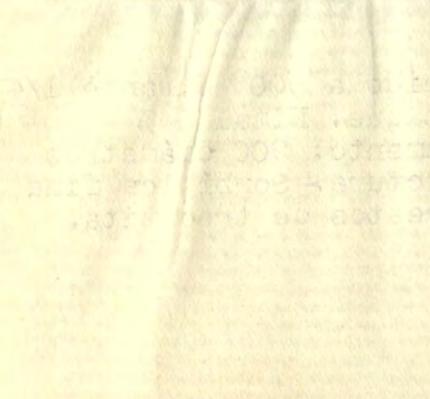
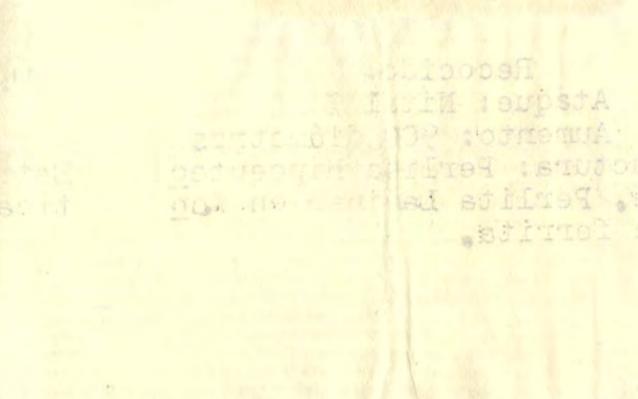
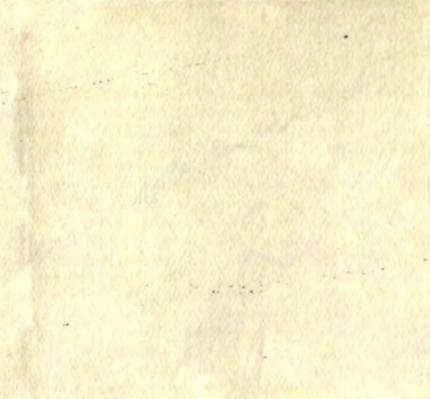
Templado en aceite a 775°C
 Ataque: Nital 5 %
 Aumento: 900 diámetros
 Estructura: Sorbita-perlítica en fondo ferrítico.



Templado en agua a 775°C
 Ataque: Nital 5 %
 Aumento: 900 diámetros
 Estructura: Nódulos de troostita en fondo sorbitico.



Revenido a 500° durante 1/4 ho
 Ataque: Nital 5 % (ra.)
 Aumento: 900 diámetros
 Estructura: Sorbitica fina con restos de troostita.



Resolución
Ataque: Nitro
Alimento: 900
Bacterias: Perla
Tubo, Perla
de la Perla.

Temple en agua
Ataque: Nitro
Alimento: 900
Bacterias: Perla
Tubo en forma de Perla.

El material cuyo estudio terminamos se solicita de las siguientes características:

ANALISIS:

Carbono	----	de 0.30 a 0.50 %
Manganeso	--	0.75 % máximo.
Silicio	----	0.40 " "
Fósforo	----	0.06 " "
Azufre	-----	0.06 " "

Carga de ruptura --- de 56 a 65 K/mm.2.
 Límite elástico ---- 30 Kls. por mm.2.
 Alargamiento ----- 20 % máximo.

Estas pruebas con el material en estado de recocido.

Como podemos darnos cuenta por los datos obtenidos, el material se encuentra perfectamente conforme con las características que se deseaban y como su empleo es en diversas piezas, el tratamiento térmico para cada una de ellas variará con los esfuerzos que deba resistir, el trabajo que vaya a efectuar, las temperaturas a que asciendan las piezas por el mismo trabajo.

Para material que trabaje a resistencia al choque, deberá estar templado lo suficiente para que adquiriera una tenacidad y elasticidad al mismo tiempo en grado máximo, es decir, el temple no debe ser demasiado energético, porque se haría frágil, ni demasiado suave porque sería fácilmente deformable.

Si el material debe trabajar a la tensión o a la compresión en resistencia máxima, necesitará ser duro, es decir, templado energicamente.

Si tiene que trabajar al frotamiento, deberá estar lo más duro posible.

Si tiene que trabajar a esfuerzos dinámicos repetidos, deberá poseer junto con una resistencia suficientemente elevada, un máximo de elasticidad y la resiliencia así como la resistencia a la fatiga en grado máximo.

Para dureza máxima deberá tener estructura martensítica o al menos troostítica.

Para elasticidad, la estructura deberá ser sorbítica o troosto-sorbítica, según convenga.

Para tenacidad, deberá ser troosto-sorbítica.

Para resistencia al choque, estructura sorbítica.

o--o-o-o-o-o-o-o--o
 o-o-o-o-o-o

FE DE ERRATAS.

PAGINA	RENGLON	DICE	DEBE DECIR
5	15	al menos (al menos)	al menos
6	31	ligas ma ocuparía	ligas me ocuparía.
7	21	cementita autéctica	cementita eutéctica
7	48	relación autéctica.	relación eutéctica.
8	45	Aj" o 135°	Aj" o 135°
10	21	cementita autéctica	cementita eutéctica.
11	18	el autéctico fundido	el eutéctico fundido
12	34	temperatura de absro ción	temperatura de absorción
12	40	la trnasformación	la transformación.
13	15	conglomerado autecto <i>i</i> de	conglomerado eutectoide
13	19	de alrdededor de 920° a 725° y recomta	de alrededor de 920° a - 725° remonta
13	29	alcanzado el punto h" está completamente -- sólido	alcanzado el punto h" o - 1205°; arriba de h' el -- acero está completamente fundido, abajo de h" está completamente sólido.
14	35	alrdedor de 725°	alrededor de 725°
16	6	de la una parte	de una parte
17	33	le acmpañan	le acompañan
18	38	debe varias su	debe variar su
19	11	Porcentajes enterme- dios	Porcentajes intermedios
20	32	0.-%	0.6 %
20	47	des Brisnell	des Brinell
21	33	es martensita troos- títica	es martensito-troostítico
23	15	el autéctico	el eutéctico
23	31	davez	da vez
23	45	doble FeCwC	doble FeCWC
24	3	se somete a "0°C	se somete a 880° C.
25	1	perlíticos con los	perlíticos son los
25	30	Sobe la	Sobre la
26	30	La apareición	La aparición
27	44	arrollo	arrollo
29	17	capital como no cuan- titativa	capital y como no solamen- te debemos darnos cuenta de la composición cualita- tiva y cuantitativa
29	43	simpre	simple
30	29	sistirá	consistirá
30	30	aceros eutectoide	aceros eutectoides
31	5	de Suveur	de Sauveur
32	12	resistencia la tensión-	resistencia a la tensión
33	32	temperatura subre más	temperatura sube más
33	42	de austenida	de austenita
34	24	tos críticos al, a" y A3	tos críticos A1, A2 y A3
35	8	do crítico AC3	do el punto crítico Ac3

PAGINA	TITULO	PAGINA
8	de crítico AG3	de el punto crítico AG3
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		
57		
58		
59		
60		
61		
62		
63		
64		
65		
66		
67		
68		
69		
70		
71		
72		
73		
74		
75		
76		
77		
78		
79		
80		
81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
91		
92		
93		
94		
95		
96		
97		
98		
99		
100		

PAGINA	RENGLON	DICE	DEBE DECIR
35	12	relación autectoide	relación eutectoide
35	32	y en cuando el	y en cuanto el
36	32	varía desde	varían desde
37	8	aceros cantentados	aceros calentados
37	10	Osmond les dí	Osmond les dió
37	47	café claro o negro	café clara o negra
38	10	carbono de 725° C.	carbono a 725° C.
41	13	(signa d,	(sigma d,
41	28	en prociento	en por ciento
42	7	dimensiones son	dimensiones que son
42	32	En la tensión	En la de tensión
43	23	l.-Cavidades gaseosa	l.-Cavidades gaseosas
43	45	para poner	para poder
44	18	de los cages	de los gases
46	1	temperaturas on un	temperaturas son un
26	20	según la cantidad con- tenida	según la cantidad de car- bono contenida
46	27	En enfriamiento	El enfriamiento
46	32	enfriar el horno	enfriar en el horno
47	13	su dictibilidad	su ductibilidad
47	32	elemetos contitutivos	elementos constitutivos
47	45	está obsorbien-	está absorbien-
48	6	las piazas grandes	las piezas grandes
48	19	operación de hace	operación se hace
48	24	o substacia similar	o substancia similar
48	25	y carantice el	y garantice el
49	35	BPQ-ANQ	BPQ-APQ
50	12	esta ooperación el	esta operación el
51	8	(llamada autenita como	(llamada austenita como
51	10	y "martensista",	y "martensita",
52	3	otrosfactores	otros factores
53	6	muy dara	muy dura
55	32	cha películas,	chas películas
56	39	, de diea a	, de diez a
57	24	muchas piazas, como	muchas piezas como
57	46	manganeso es exceso	manganeso en exceso
58	50	, de las mayo-	, da las mayo-
59	30	estado de gama	estado gama
60	3	para sí después	para así después
60	15	dependerá pue, del	dependerá pues, del
60	31	, si nono más	, sino más
60	34	exenta de grasa de gra sa, o	exenta de grasa, o
63	38	La circularación	La circulación
68	22	pero Kerchhoff	pero Kirchhoff
70	18	hacerlo invariable	hacerlo manuable
70	20	los mismo principios	los mismos principios
70	21	baño (10atmósferas)de	baño o atmósfera de
71	7	Los principios rigen	Los principios que rigen
74	3	Ataque: Nital %	Ataque: Nital 5 %
74	4	Estructura: Sorbita- perlí-	Estructura: Sorbito-perlí
74	10	Estructura: Nádulos de	Estructura: Nódulos de

PARTE INVERSA	DICE	DEBE DECIR
35	relación antecorrida	relación antecorrida
35	y en cuando el	y en cuando el
35	varia desde	varia desde
35	seces centadas	seces centadas
37	Camend las de	Camend las de
37	café claro o negro	café claro o negro
38	carbón de 250 C.	carbón de 250 C.
41	(algas d.	(algas d.
41	en prociato	en prociato
48	dimensiones son	dimensiones son
48	En la tensión	En la de tensión
48	I.-Cavidades gaseas	I.-Cavidades gaseas
48	para poner	para poder
48	de los gases	de los gases
48	temperaturas en un	temperaturas son un
50	según la cantidad con-	según la cantidad de car-
50	tenida	bono contenida
50	En enfriamiento	El enfriamiento
50	entrar el horno	entrar en el horno
50	su ductilidad	su ductilidad
50	elementos constitutivos	elementos constitutivos
50	esta opacien-	esta opacien-
50	Las piezas grandes	Las piezas grandes
50	operación de base	operación se hace
50	o adaptación similar	o adaptación similar
50	y garantiza el	y garantiza el
50	RPC-ANG	RPC-ANG
50	esta cooperación el	esta cooperación el
50	(líneas sueltas como	(líneas sueltas como
50	y "mantenidas"	y "mantenidas"
50	otras factores	otras factores
50	muy dura	muy dura
50	cha pellicula	cha pellicula
50	de diez a	de diez a
50	mucha grues como	mucha grues como
50	manganeso es exceso	manganeso es exceso
50	de las mayo-	de las mayo-
50	estado de goma	estado de goma
50	para el después	para el después
50	deberán que, del	deberán que, del
50	si no más	si no más
50	exento de grasas de gra-	exento de grasas de gra-
50	as,	as,
50	la circulación	la circulación
50	pero Kirschhoff	pero Kirschhoff
50	hacete invisible	hacete invisible
50	los mismo principios	los mismo principios
50	para o adaptación de	para o adaptación de
50	los principios que rigen	los principios que rigen
50	Ataque: Nital &	Ataque: Nital &
50	Estructura: Sorbita-	Estructura: Sorbita-
50	partic-	partic-
50	Estructura: Nódulos de	Estructura: Nódulos de

BIBLIOGRAFIA:

La Métallographie de l'Acier et de la Fonte,
par Henry Marion Howe, Ll. D. Sc. D.
Traduit par Octave Hock, Ingenieur A.I. Lg.

Metalografía y tratamientos térmicos industria-
les de hierros y aceros, por el Dr. D. Lana
Sarrate.

"Hütte" Taschenbuch für Eisenhüttenleute.
Herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte,
E. V. Berlin.

Steel and his heat treatment by D.K. Bullens.
Consulting Metallurgist.

Text-books of Physical Chemistry. Metallography
by Cecil H. Desch.

American Society of Testing Materials 1933 Part
I Metals.

Revista de Química. Tomo I, Núm. 3, México, D.F.
Artículo del Ing. Q. F. González V.

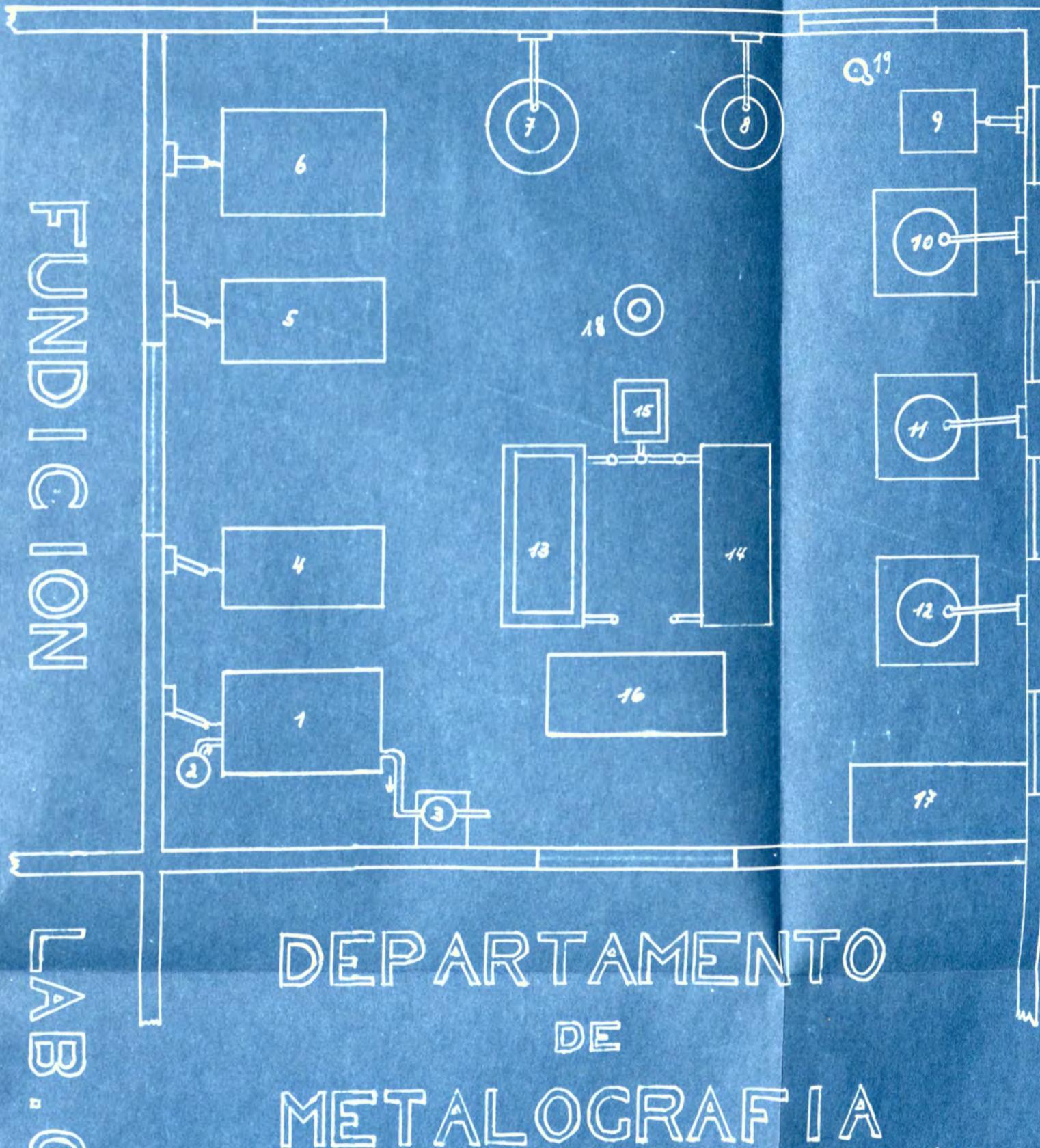
American Machinist 1929. By H. W. Mc. Quaid.

- - - - -

BIBLIOGRAFIA.

- La Métallographie de l'Acier et de la Fonte,
par Henry Marton Howe, Ll. D. Sc. D.
Traduit par Octave Hock, Ingénieur A. I. I. G.
- Metalografía y tratamientos térmicos industriales
de las hierros y aceros, por el Dr. D. Jans
Serrate.
- "Hütte" Taschenbuch für Eisenhüttenleute.
Herausgegeben vom Akademischen Verein Hütte,
E. V. Berlin.
- Steel and its heat treatment by D. K. Bullens.
Consulting Metallurgist.
- Text-books of Physical Chemistry. Metallurgy
by Cecil H. Beach.
- American Society of Testing Materials 1933 Part
I Metals.
- Revista de Química. Tomo I, Núm. 3, México, D. F.
Artículo del Ing. G. F. González V.
- American Machinist 1929. By H. W. Mc. Quaid.

ESQUEMA DE UN PROYECTO DE INSTALACION PARA TRATAMIENTOS TERMICOS



1. Horno para Nitración, p. temp. máx. 700°C. - Con rotación de acero inoxidable a prueba de gases, con pirómetro y
2. Recipiente de Amoniaco comprimido
3. Aparato de control y absorción del NH₃
- 4, 5 y 6. Hornos de Mufla, p. temp. máx. 1000°C. - para Recocido, Temple, Cementación y Revenido. Con pirómetro
- 7 y 8. Hornos de Crisol p. temp. máx. 1000°C, para Recocido, Temple y Revenido. Con pirómetro.
9. Horno de Mufla de doble cámara, p. temp. máx. 1300°C. para temple de aceros alta velocidad. Con pirómetro.
10. Horno de baño de sales (BaCl₂) p. temp. máx. 1350°C, para temple de herramientas de acero alta velocidad. Con piróm.
11. Horno de baño de sales codo plomo, p. temp. máx. 1000°C, para cementación y temple de aceros. Con pirómetro.
12. Horno de baño de sales odo plomo, p. temp. máx. 800°C, para revenido y temple a baja temperatura. Con pirómetro.
13. Tanque de enfriamiento, con aceite de calza, refrigerado con agua. (Camisa exterior y serpiente interior) De Lámina.
14. Tanque de enfriamiento con agua.
15. Tanque chico de enfriamiento, con aceite, refrigerado con agua.
16. Recipiente con ca (para enfriamiento lento de piezas recocidas.
17. Mesa de pruebas, control y vigilancia. (Casita).
18. Aparato para temple interior de matrices, con chorro de agua.
19. Chorro de aire comprimido para temple al aire de herramientas de acero alta velocidad.

México, Octubre de 1934.

A. Cantelero

FECHA DE DEVOLUCION

El lector se obliga a devolver este libro antes del vencimiento de préstamo señalado por el último sello.



