

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

**CONTROL QUIMICO METALOGRAFICO
DE UN ACERO AL MANGANESO.**

TESIS

QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL DE

ENSAVADOR METALURGISTA

EL ALUMNO

H. ZUÑIGA

UNAM



49

TESIS-BCCT



BIBLIOTECA

—)0(—

MEXICO, D. F.

1940?

1941



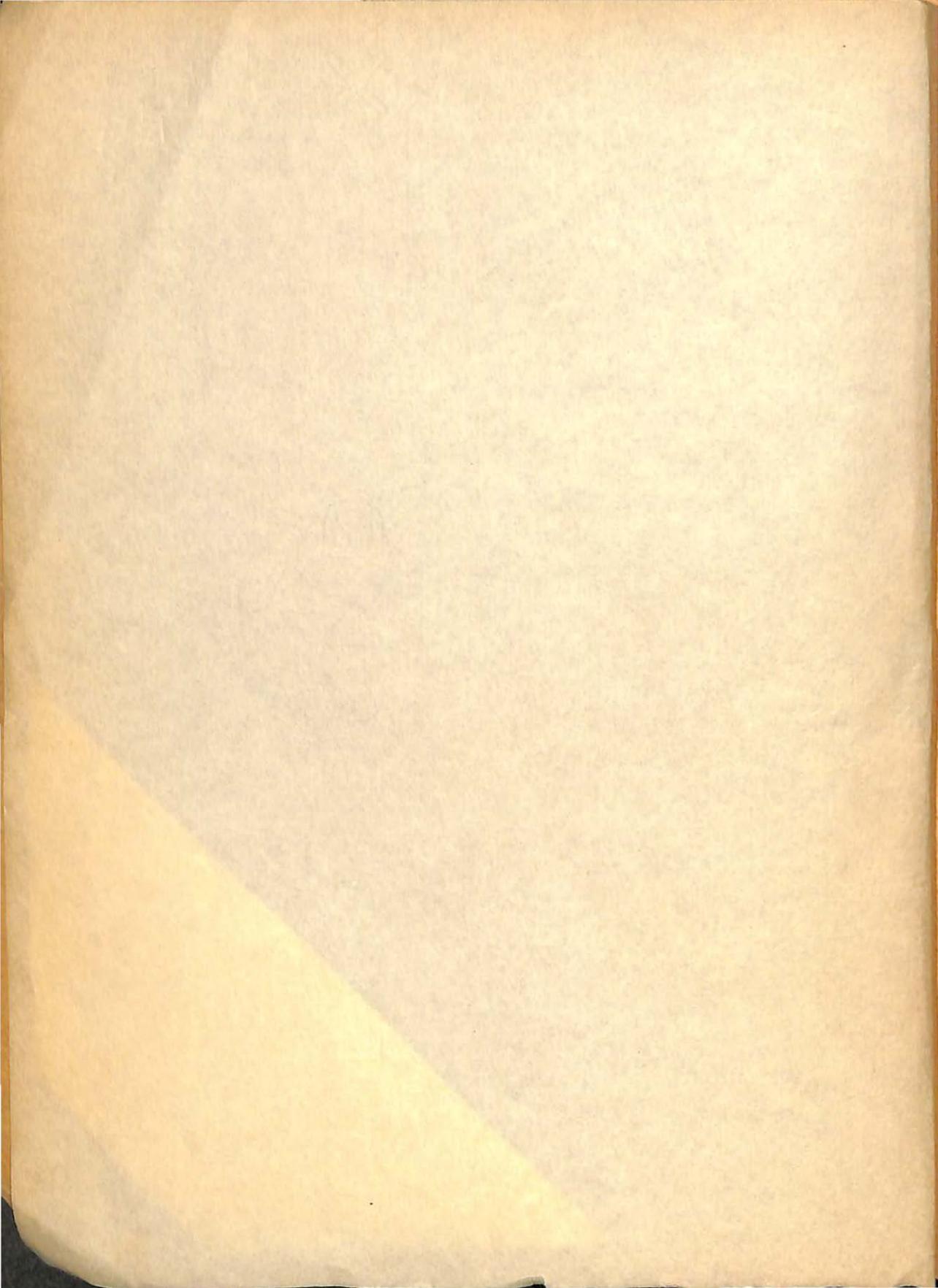
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY

TESIS

UNIVERSITY OF CALIFORNIA
LIBRARY





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

**CONTROL QUIMICO METALOGRAFICO
DE UN ACERO AL MANGANESO.**

TESIS

QUE PARA SU EXAMEN PROFESIONAL DE
ENSAYADOR METALURGISTA
PRESENTA EL ALUMNO

EDGARDO H. ZUÑIGA



BIBLIOTECA

—)·o·(—

MEXICO, D. F.

CLASIF. ZXF 1940 I1
ADQUIS. I-81
FECHA _____
PROCED. _____

896
Zu 6 c

A mi querida Madre
JULIA ZUÑIGA.

A mis Hermanos
VIRGINIA y JOEL

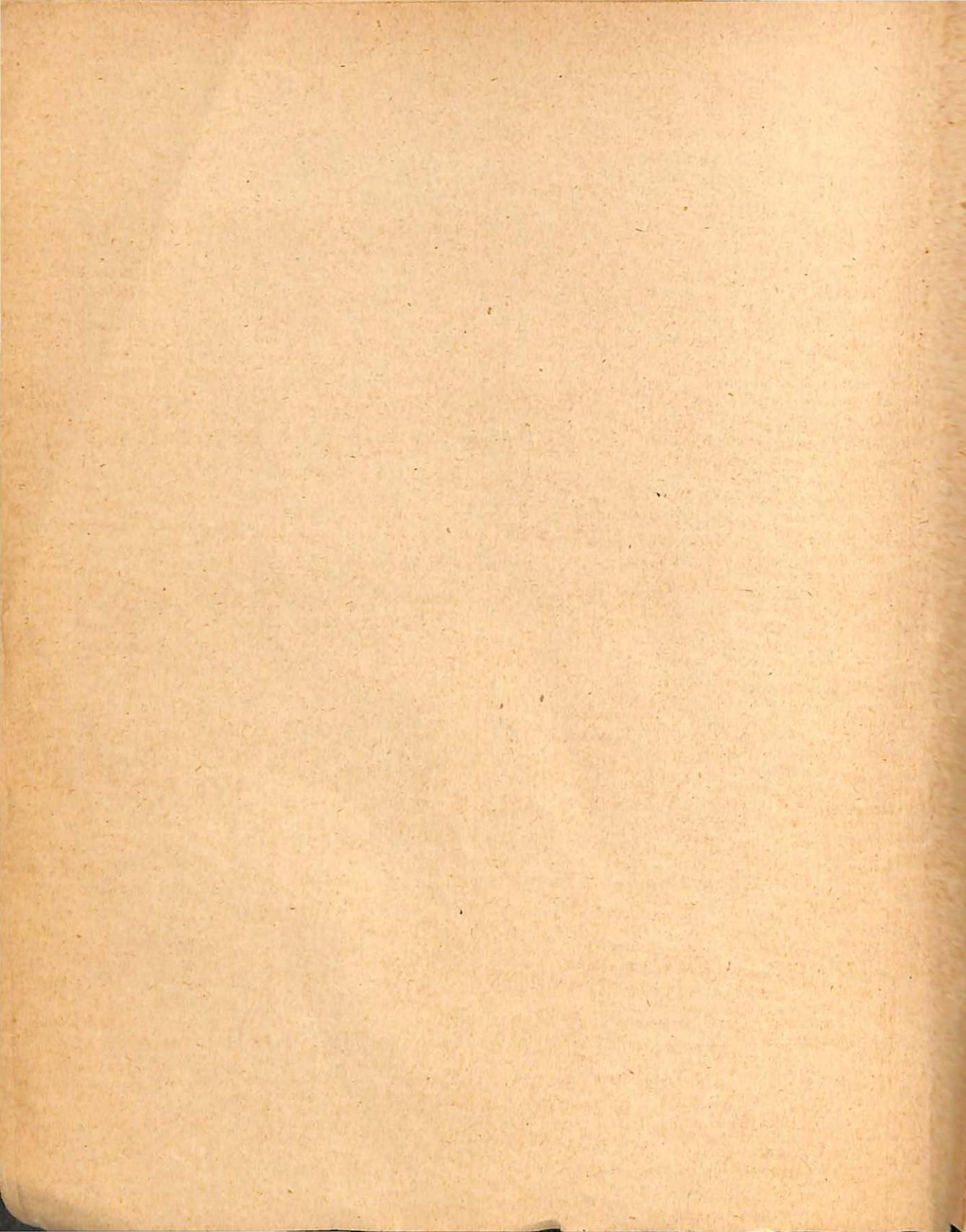
A mis Maestros

Al Capitán
EUSTORGIO GARRIDO C.

A mi Escuela.

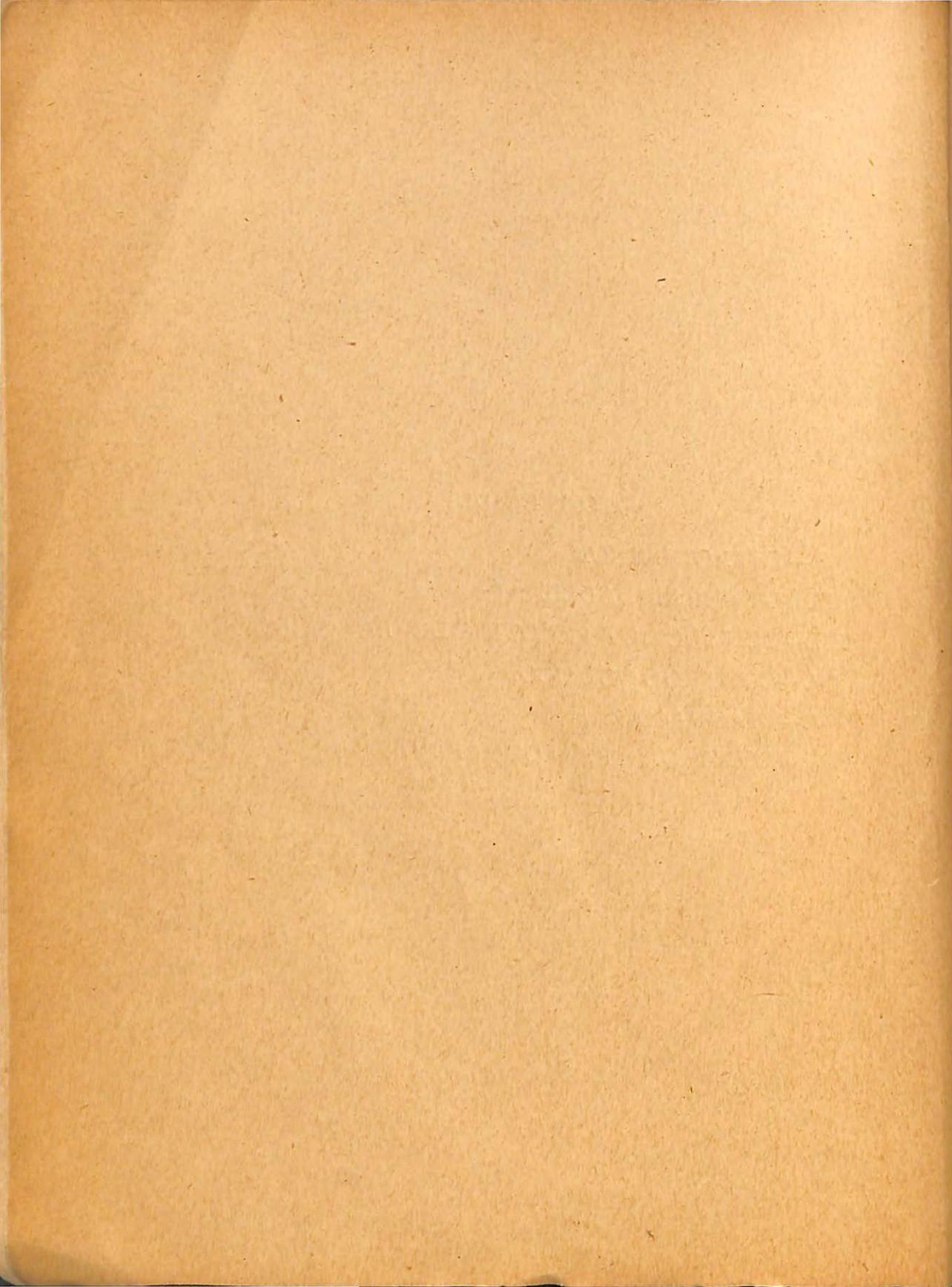
A mis compañeros y
amigos.

708



CONTENIDO:

- I.—INTRODUCCION.
- II.—GENERALIDADES.
- III.—CONDUCCION PRACTICA DE UNA CARGA.
- IV.—CONTROL QUIMICO.
- V.—DIAGRAMAS.
- VI.—CONTROL METALOGRAFICO.



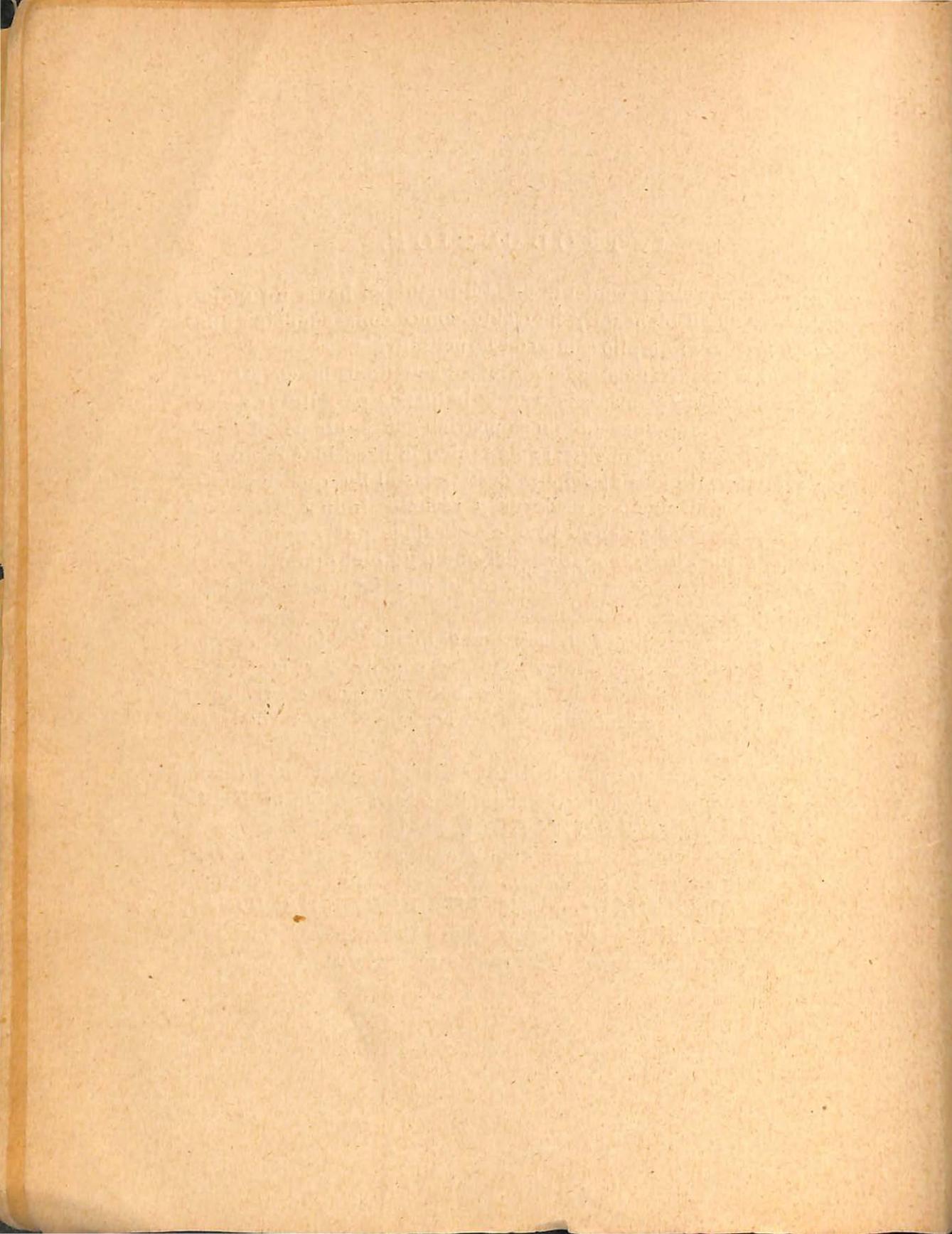
INTRODUCCION.

La marcha ascendente de la humanidad hacia un mejoramiento en su bienestar, ha traído como consecuencia una evolución en el amplio campo de la metalurgia.

La importancia cada vez más creciente de las construcciones metálicas y mecánicas en la industria para llevar a cabo determinados fines que no se podrían conseguir por el acero al carbono simplemente; se ha tenido la necesidad de descubrir determinadas aleaciones destinadas al fin que se persigue. De aquí nació la moderna y reciente industria de los aceros especiales en cuyo sitio le corresponde al acero HAD-FIEL o de alto manganeso del que tengo el honor de referirme en éste modesto trabajo en el que he puesto todo mi empeño y mis conocimientos.

No he de pasar en alto el decir que si mis intenciones fueron el hacer un trabajo completo, no fué posible por la carencia de aparatos para llevar a cabo determinados controles y que los expongo de una manera teórica como datos ilustrativos.

Sírveme por último éste preámbulo para manifestar mi agradecimiento a mi estimado Profesor Ing. Quím. FERNANDO GONZALEZ VARGAS, por las enseñanzas en la cátedra y los consejos fuera de ella que me permitieron formular y llevar a cabo mi objetivo. Lo mismo que a la factoría de la CONSOLIDADA y a la FUNDICION NACIONAL DE ARTILLERIA, por haberme permitido desarrollar éste trabajo en sus plantas y laboratorios respectivos.



CAPITULO I

GENERALIDADES

El acero al manganeso pertenece a la clasificación de aceros especiales, porque el elemento manganeso agregado intencionalmente imparte al acero ordinario (hierro carbono) características físicas diferentes que lo hacen aprovechable para ciertos usos que no se podrían conseguir con el acero ordinario con la misma dosis de carbono.

Se llaman aceros al manganeso propiamente, a los que lo contienen en una proporción mayor de .80%. Sabido es que en todos los aceros existe manganeso que fué agregado con fines benéficos en la fundición, pero no le imparte propiedades que prácticamente influya en los caracteres físicos. Esta cantidad que se agrega como dije antes en la fundición para fines benéficos oscila entre .25 a .80% por lo que su mayor parte se encuentra en forma de MnS y en otras ocasiones cuando la dosis de C es elevada, se encuentra combinado con este en forma de carburo de manganeso. La acción principal pues de este Mn agregado es la de neutralizar la acción perjudicial del S que se encuentra en el producto en forma FeS que con el fierro presente forma un eutéctico que funde a la temperatura de 950° C y como a esta temperatura se efectúan los calentamientos para los tratamientos mecánicos fácilmente se funde este eutéctico y destruye la coesión de los granos cristalinos provocando un agrietamiento en el material. No sucede así cuando existe una cantidad de Mn capaz de combinarse con el S presente, ya que el MnS formado es plástico y toma la dirección del laminado y del forjado.

La influencia del manganeso en las propiedades físicas del acero es proporcional a la dosis en que se encuentra influyendo también la cantidad de carbono. Así tenemos que un acero con una cantidad de Mn no mayor de 4% y una cantidad de C menor de .4% tiene un límite elástico que aumenta según aumenta la cantidad de carbono esto es, que el límite elástico es proporcional a la dosis de Mn, en tanto que el alargamiento y la estricción son inversamente proporcionales.

El temple no tiene influencia si la dosis de C es muy baja pero al aumentar aumenta por consiguiente su dureza tomando valores altos, como la que podría tomar un acero ordinario con alta dosis de C.

Cuando la dosis de Mn aumenta de 5% en adelante y la dosis de carbono es igual a la anterior los productos se vuelven frágiles y disminuye su interés en la industria, aunque su límite elástico y resistencia lo tengan elevados.

En un acero cuya dosis de C. estén comprendida entre .7 y 1.3% y una cantidad de Mn de 3% poseen un límite elástico y una resistencia elevada, con poco alargamiento, estricción y resistencia. El temple en estos aceros los vuelve duros. Pero si la cantidad de Mn aumenta, el límite elástico empieza a bajar y su interés industrial se va reduciendo. Si la cantidad de Mn es de 12% nos encontramos con el acero más importante de esta clase el llamado acero HADFIELD cuyas propiedades mecánicas que la hacen aplicable son: su elevada resistencia con elevada resistencia al desgaste por frotamiento. Por tener un límite elástico muy bajo se emplea en los casos en que esté sometido a pequeños esfuerzos, en la práctica se le utiliza por lo general por su elevada tenacidad.

Cuando este acero se le somete a un esfuerzo de tracción y se rebasa su límite elástico, entonces se estira considerablemente si la carga sigue actuando no presentado estricción en un lugar como en los demás aceros ordinarios, por motivo de que en la parte donde ésta estricción se inicia se produce inmediatamente un cambio en la estructura que lo hace más resistente, por lo que la estricción se sitúa en otro punto sucediendo el mismo fenómeno en toda la longitud hasta llegar a la rotura sin estricción localizada sino que un alargamiento homogéneamente repartido

Las características tecnológicas de este acero son: su poca o nada maquinabilidad. La sierra le ataca al principio pero a la profundidad de dos o tres milímetros no se puede seguir cortando aunque lo sustituyan por otra nueva. Tampoco se puede torneear, fresar, taladrar etc. con un acero rápido corriente, solamente es trabajable con muelas de esmeril o con herramienta de aleaciones modernas formadas por carburos y nitruros refractarios, tales como la widia carboloy (Ligas de carburos de tungsteno aglomerados con cobalto o con titanio).

Sin embargo las posibilidades de trabajo pueden mejorarse ligeramente por medio de un reconocido entre 500 a 600 °C seguido de un enfriamiento muy lento. O también pueden mejorarse estas condiciones trabajándole algo en caliente entre unos 200 a 300 °C y con herramienta de acero rápido superior. Este tratamiento tiene un inconveniente que es la de perder las buenas cualidades que ha tomado en el temple.

Para poder forjar este acero deben tomarse precauciones. Al principio el calentamiento debe ser lento y con uniformidad y no sobrepasar de 900 a 1000 °C. Y una vez que el metal durante la forja se halla enfriado a 750 °C se le vuelve a calentar de nuevo porque sino no se tuviera cuidado en el calentamiento se agrietaría por su mala conductividad calorífica que es inferior al de los aceros ordinarios.

Debido a que este acero se quema fácilmente con las llamas debe evitarse el contacto con éstas durante su calentamiento en los hornos de forja.

El tratamiento térmico de éste acero para poderse utilizar consiste en un temple a 1000°C aproximadamente y el enfriamiento debe ser en agua.

USOS.—Los aceros con una cantidad de C. de .6 a .7% y de 1 a 1.25% de Mn. se le utiliza para la fabricación de muelles. Cuando la cantidad de Mn. es de .8% o de 1.% se emplea para cuchillos de todas clases y para martillos, etc.

El acero HADFIEL se le utiliza en machacadoras y planchas para ruedas de ferrocarriles para cruzamientos y desvíos de los mismos, para ejes delanteros de coches, bolas de molinos, trituradores etc.

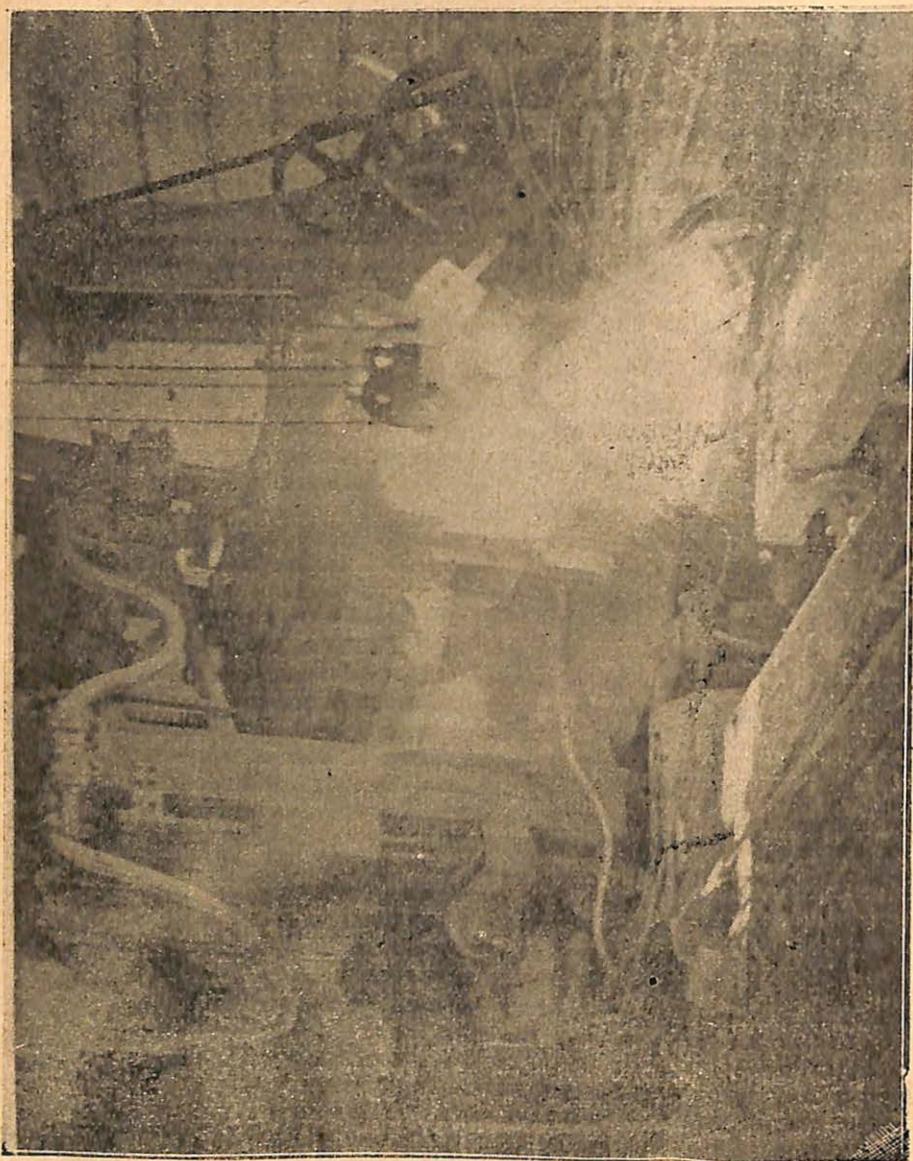
—)-0-(———

CAPITULO II

CONDUCCION PRACTICA DE UNA CARGA

Después de reparado el piso del horno con magnesita calcinada por las deterioraciones que pudo tener en la carga anterior se deja reposar unos diez minutos aproximadamente para que la magnesita se conglomerere y se pegue bien. Se empieza a cargar el horno una vez que se crea conveniente, por supuesto que los electrodos de antemano se levantan para evitar que pudiera romperse durante la operación de la carga. Se principia con los pedazos pequeños y finalmente con los más grandes que son introducidos con la ayuda de la grúa.

El horno que me voy a referir es de una capacidad de siete y media toneladas pero únicamente se van a cargar tres y media toneladas de pedacería impura.



FOTOGRAFIA No. 1.—HORNO ELECTRICO DE
FUNDICION

En la fotografía No. 1 podemos ver un horno de fundición de tipo que me vengo refiriendo donde se lleva a cabo la manufactura de este acero especial, en el momento preciso en que se vacía una carga en la tina que está sostenida por la grúa.

Una vez que terminó de cargarse por primera vez, se cerraron las dos puertas del horno y se puso la corriente. De vez en cuando se vijiló el horno. A la hora de haberse puesto la corriente el hornero provisto de un gancho largo empujó los pedazos de fierro incrustados en la pared del horno hacia el baño. Esta operación es lo que se llama "picar el horno".

Una vez que toda la masa se hubo fundido se procedió a recargar, para esto se levantaron los electrodos como de costumbre quitando de antemano la corriente.

Así que terminó de recargarse se volvió a poner la corriente y aproximadamente una hora después se "picó el horno" de vuelta, al mismo tiempo que se le echaban tres paladas de cal y una de mineral de fierro.

La pedacería se fundió a las dos horas y cuarto aproximadamente incluyendo el tiempo que tardó en fundirse la primera carga.

La cal que se introdujo fué con el objeto de formar una escoria densa que se separara bien del baño metálico y así poder tomar la primera muestra.

TOMA DE LA PRIMERA MUESTRA.—Esta se toma por medio de una cuchara que es más amplia que profunda pudiendo contener aproximadamente dos y medio kilos de metal. Antes de sacar la muestra se reviste primero de escoria para que el metal no se enfríe demasiado aprisa y no se pegue. Esta muestra se toma en la parte media del electrodo y el piso del horno removiendo el baño antes con la misma cuchara para obtener así una homogeneidad. Se quita la muestra y se vacía en un molde adecuado que tiene forma prismática rectangular que posee una elevación en la parte media que da lugar a una entalla en la probeta que permite romperla fácilmente en ese lugar. Golpeando el molde en el piso sale fácilmente la probeta que se enfría en agua y una vez fría se seca con cal y se rompe en un yunque apropiado con el marro.

El cálculo de los elementos en esta muestra se lleva a cabo prácticamente observando su estructura, solamente que su interpretación esté muy dudosa se controla en el laboratorio.

Los elementos que se controlan son únicamente el carbono y el manganeso. El control práctico lo efectúan los obreros con un error más o menos de diez puntos que es bastante tolerable, ya que por lo regular estas muestras preliminares son suaves cuyo contenido en carbono y en manganeso no exeden de 1% ya que el pedido debe tener de carbono de 1 a 1.25% y de manganeso de 11. a 13% por lo que el error que pudiera cometerse está en los límites del pedido.

El manganeso se controla por la claridad u opacidad de los granos cristalinos, una muestra que contenga menos carbón que otra será más clara que aquella. Por lo que la cantidad de C, en la mues-

fra influye para le cálculo correcto del manganeso. Pues mientras más C, haya será más difícil su interpretación.

La fotografía No. 2 muestra la estructura de varias probetas cuyos contenidos en carbono y manganeso van indicados al pie de la fotografía.

Por el aspecto del metal líquido al tiempo de vaciarse en el molde se puede apreciar el contenido de carbono. Si es duro presenta un aspecto obscuro con numerosos puntos grasos, en tanto que si es suave se verá clara, además si al vaciar el metal hierve es signo de que contiene mucho carbono.

La interpretación de la muestra preliminar fué de .06% de C, y 34% de Mn. por lo que de una vez se procedió a forjar la escoria negra u oxidante para eliminar además de otras impurezas que no se especifican en el pedido como el fósforo y quitarlo después del horno, para esto se echan paladas de cal y espato fluor, a los cuatro o cinco minutos la escoria sube, se inclina el horno para darle salida que se desborda al mismo tiempo, que un obrero con un rastrillo va sacando la escoria bien por el orificio de colada. Una vez que termina esta operación se vuelve a poner el horno en su posición primitiva. Esta operación se efectúa sin suspender la corriente y queda terminada una vez que se observe el brillo del metal.



FOTOGRAFIA No. 2.—ESTRUCTURAS DE MUESTRAS

MUESTRA	No.	C	Mn
	1	04%	20%
	2	06	22

"	"	3.....	09	".....	49	"
"	"	4.....	19	".....	72	"
"	"	5.....	20	".....	59	"
"	"	6.....	12	".....	65	"
"	"	7.....	13	".....	76	"
"	"	8.....	70	".....	64	"
"	"	9.....	79	".....	64	"
"	"	10.....	04	".....	41	"
"	"	11.....	07	".....	36	"
"	"	12.....	1.10	".....	55	"
"	"	13.....	75	".....	2.42	"
"	"	14.....	1.05	".....	11.79	"

Terminado de escoriar se echaron dos paladas de mineral de manganeso al mismo tiempo que se le agregó una parte de la ferrotección o sea el ferromanganeso que de antemano se había pesado. No se le puso toda sino que aproximadamente las dos terceras partes del peso total.

Mientras unos se ocupan de agregar al horno lo antes mencionado otros se ocupan en hacer la mezcla de carbón y cal para formar el período reductor que es llevado a cabo por el carburo de calcio que se forma de esta mezcla a espensas de la alta temperatura del arco. La escoria que se forma con esa mezcla se conoce con el nombre de escoria blanca para diferenciarla de la anterior o escoria negra porque efectivamente esa escoria al enfriarse deja un residuo de color negro.

Esta mezcla de carbón y cal se hizo mezclando con doce paladas de cal cinco de carbón; esta cantidad de carbón puede variar según la cantidad que se encuentre en el baño. Esta mezcla se va echando poco a poco, primeramente se echaron tres paladas y se esperaron diez minutos, luego se echaron cuatro y se esperó el mismo tiempo, para que finalmente se echó lo restante junto con la cantidad de ferromanganeso que quedaba.

Después de transcurridos 25 minutos se procedió a quitar la última muestra para la prueba física final, al mismo tiempo que se llamó la grua.

La toma de la última muestra es análoga a la anterior únicamente que lo debido a la alta dosis de Mn se forma en el baño metálico una película que impide tomar prácticamente la temperatura por lo que para subsanar esta anomalía se echa en el baño de la cuchara ferrosilicio granulado para despejar.

Una vez tomada la temperatura se vacía el contenido de la cuchara en un molde de dimensiones mayores que el anterior hecho de tierra negra para corazones. Este molde se compone de dos partes que dejan en el interior un hueco de forma rectangular de unos veinte cm. de largo y de sección cuadrada de tres cm. de lado.

Una vez vaciado el metal se esperaron dos minutos para desbarrotar el molde y todavía antes de enfriarlo al agua se esperó otro, mi-

nuto más o menos hasta que el color rojo de la probeta se notó debilmente. Una vez fría se secó como la anterior y se sometió a la prueba física de la flexión en un yunque adecuado como el anterior que con le ayuda de un marro se fué doblando los extremos hasta que estos se juntaron.

En esta operación puede suceder que la probeta se rompa o se agriete cuando menos, si esto sucediera sería debido a dos causas principales que son: a que le falte ó a que le sobre Mn una u otra causa se puede saber observando su estructura.

Si la probeta se agriega despues de doblarla a 60° puede decirse que es aceptable, pero si sucede antes se tendrá que corregir el baño. En el caso de que le faltare se le echa en la tina en el momento de estar vaciado.

La temperatura de vaciado es una de las cosas que hay que tener cuidado y debe controlarse correctamente. Para tomar esta temperatura se hace prácticamente como dije antes, en la cuchara al sacar la última muestra.

El grado de fluidez y la rapidez de formación de una capa en la superficie del metal ya vaciado en el molde nos da un indicio de la temperatura del baño. Si es muy fluido la capa tarda en formarse unos quince segundos es signos de que está bueno para el vaciado. Si por el contrario el baño es espeso y la capa dilata en formarse unos diez segundos o menos es seña de que el baño se encuentra frío. Puede suceder además que el baño se sobrecaliente por lo que hay que tener especial cuidado porque se quede quemar el acero, se notará en el baño de la cuchara un desprendimiento abundante de gases y una fluidez mayor que en los demás casos anteriores.

Si las condiciones del baño estan a satisfacción para llevar a cabo el vaciado se procede a llevarlo a efecto, en el momento que se está vaciando un obrero agregará veinticinco kilos de fierro—silicio en la tina.

CONTROL DE CARGA

El producto debe tener la siguiente composición:

$$\frac{1}{1.25} \% \text{ de C.} \quad \frac{11}{13} \% \text{ de Mn.} \quad \frac{.25}{35} \% \text{ de Si.} \quad \frac{.05}{.05} \% \text{ de P y S}$$

Los cálculos se tendrán que hacer para tres toneladas y media aceptando que el horno tenga un mínimo de pérdidas.

Primeramente calculamos, el Mn., como este elemento lo agregamos en forma de ferroaleación y su riqueza es de 70% de Mn. y 5% de C, hacemos los cálculos siguientes: Como tenemos .35% de Mn. en el horno aproximadamente por la muestra preliminar que se sacó y además las dos paladas de mineral de manganeso que hizo subir el contenido de este elemento en el baño de manera que podemos hacer el cálculo para doce por ciento. Por lo que si en 100:12::3500:X de donde X es igual a 420 kilos de manganeso pero como está en la ferroaleación y ésta es de una riqueza de 70% tendremos que hacer el siguiente cálculo si en 100.70::X:420 de donde sacamos que deben agregarse de ferromanganeso 600 kilos.

El cálculo del carbono se hace de una manera semejante que la del Mn. Tenemos primeramente que en la ferroaleación hay 5% de C y agregamos al baño 600 kilos que producen en las tres toneladas y media 1.10% de C y como ya había de antemano algo además de lo que pueda aumentar con el C que se agregó en el período de reducción no hay pues la necesidad de una recarburación.

Para el ferrosilicio se procede de la manera siguiente:

Si 100: .35;; 3500 : X. de donde X es igual a 12.25 pero como la ferroaleación es de una riqueza de 50% se tendrá que agregar lo doble de ferrosilicio calculado esto es 25 kilos que como dije fueron agregados a la hora de estar vaciando en la tina.

El fósforo y el azufre por ser elementos nocivos al producto se eliminan hasta donde sea posible. El primero se elimina en el período oxidante, y el segundo en el período reductor. Estos elementos es posible eliminarlos en el horno eléctrico hasta .01% dependiendo en gran parte la manera de conducir la carga entrando aquí desde luego la pericia del fundidor.

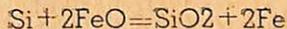
El análisis final de esta carga dió en el laboratorio el siguiente porcentaje: 1.20% de C 11.5% de Mn .29% de Si. .061% de P.

REACCIONES QUE SE EFECTUAN EN EL HORNO

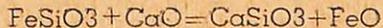
La carga constituida por pedacería impura oxidada que contienen revueltos aceros y fiero colado por lo que contienen más o menos cantidades elevadas de C. Mn. Si P y S que hay que eliminar o disminuir en lo posible en el período de oxidación en la escoria que es por excelencia básica. La escoria recoge la gran mayoría de los óxidos formados en el baño saturándose de ellos y es así como se establecè en las dos fases escoria-metal un equilibrio cuya constante depende de las concentraciones respectivas y de la temperatura.

Las reacciones que se efectúan pueden ser de dos clases: de oxidación y de reducción. En la primera fase de la fabricación de un acero se lleva a cabo primeramente la oxidación que como su nombre lo indica consiste en oxidar por medio del oxígeno (introducido en forma sólida ya sea como mineral de fiero o en la misma pedacería) a los elementos que se encuentran en el baño.

Así tenemos que el Si se elimina rápidamente en forma de silicato de calcio.



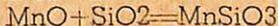
El silicato de fiero sube a la escoria inmediatamente por su fluidez y se combina con el CaO para dar finalmente el silicato de calcio.



El manganeso reacciona primeramente con el FeO actuando como un enérgico desoxidante.



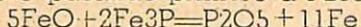
El MnO reacciona a su vez con el SiO₂ dando el silicato de Mn



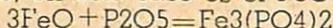
Este silicato de manganeso sube a la escoria y se combina con la cal para dar el silicato de calcio y MnO que queda expuesto a los elementos reductores del baño que lo restituyen a éste en forma de Mn metálico lográndose así su eliminación de una manera lenta en el proceso básico. Pudiéndose controlar este elemento por la temperatura, basicidad en la escoria y oxidación del baño. Si los dos primeros factores aumenta y el último disminuye ocasiona un aumento en el contenido de Mn en el baño metálico.



El fósforo se elimina en este período fácilmente a una temperatura menor de 1400°C pasando primero a P₂O₅.



Como el P₂O₅ tiene un carácter muy ácido se combina luego con una base presente, en este caso es el FeO.

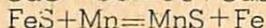
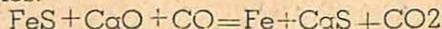


El fosfato ferroso sube a la escoria y tan pronto como llega se combina con el CaO por ser una base más energética que el FeO



Si no se tiene una escoria muy básica no se podrá eliminar el fósforo porque la ecuación última no se podría efectuar, y como el fosfato ferroso es fácilmente reducible quedará mucho P. en el acero.

El azufre se elimina en este período aproximadamente el 20% según las reacciones:



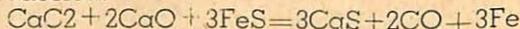
El MnS se va parte a la escoria y parte se queda en el metal según equilibrios químicos, de ley de acción de masas y de la distribución.

El C también se elimina en este periodo en forma de CO, pero pero en la fase de reducción es donde toma incremento la reacción.



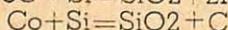
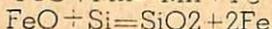
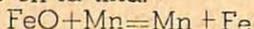
En la ebullición del baño se puede dar una cuenta de la decarburación pues las llamas azules que estallan en la superficie de la escoria hace hervir el baño; de manera que si existe una decarburación grande habrá una ebullición tumultuosa.

PERIODO DE REDUCCIÓN.—Se lleva a cabo después de haber escoriado. Este período lo indica la formación del carburo de calcio que se forma en el baño y cuyo objeto principal es la desulfuración según la reacción:



Y es en esta forma como el S se elimina por completo.

El C también efectúa reacciones de reducción con el FeO como dije antes pero esta reacción es llevada a cabo en su mayor parte con el Mn que se agrega en forma de ferromanganeso y del silicio que se introduce al último en la tina.



Las últimas dos reacciones se efectúan en la tina en la que el SiO_2 puede aun reaccionar con el MnO para dar el silicato de manganeso, reacción puesta antes en el período de oxidación.

CAPITULO III

CONTROL QUIMICO

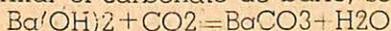
Este capítulo es completamente imprescindible en una planta de aceración y dada la importancia del control en las muestras tanto preliminares como finales, trataré de la determinación de los elementos que acompañan al acero tanto de unas como de otras; digo así, porque en los análisis de un acero al Mn difiere en parte de las preliminares. Así tenemos por ejemplo, la determinación de Mn en las muestras finales no podemos determinarlo por el método rápido del persulfato. Tampoco el C, podríamos determinarlo por el colorimétrico porque las altas dosis de Mn estorvaría en la coloración. El S, aunque no se reporta en los análisis finales en ésta clase de aceros por considerar su influencia casi nula en estos ya que las mínimas cantidades que se pueden encontrar se hayan en forma de MnS y éste compuesto no afecta a las propiedades físicas del producto. Sin embargo trataré de los métodos que lo determinan por su influencia maléfica cuando se encuentran en el acero en forma de FeS , por lo que su control es de lo más importante.

DETERMINACION EN MUESTRAS PRELIMINARES

CONTROL DEL CARBONO

COMBUSTION DIRECTA.—Consiste en oxidar el carbono a CO_2 del acero en una atmósfera de oxígeno y absorber éste CO_2 en sustancias apropiadas y determinarlo después por volumetrica a gravimetría.

METODO VOLUMETRICO DEL Ba(OH)_2 .—Se basa en recibir el producto de la combustión en una solución de Ba(OH)_2 , con la que se combina para formar el carbonato de bario, según la reacción:



Titular después el exceso de Ba(OH)_2 que no tomó parte en la reacción.

TECNICA.—Se taladra la muestra y se toman las virutas que no sean ni muy pequeñas ni muy grandes, de tal manera que pasen por las mallas del No. 10 pero no las del No 40, por que si son muy pequeñas darán un resultado alto en carbono y si son grandes lo darán bajo.

Se pesa un gramo de la muestra y se pone en una navecilla de porcelana que de antemano se ha llenado de Alundum y hecho una incisión o zanja en forma de V, no muy profunda y a lo largo de la navecilla en la que se coloca la muestra. Por lo general a éste gramo de muestra se le pone otro gramo de un fundente que por lo regular es un acero suave de carbón conocido para ayudar a oxidar bien la muestra. Se cubre la navecilla así preparada con un pedazo de porcelana curvo para evitar salpicaduras de la muestra en las paredes del tubo de combustión.

Se introduce la navecilla en el tubo de combustión en la zona de mayor temperatura con ayuda de una varilla metálica. Antes de introducir la navecilla se hacen las comunicaciones perfectamente para evitar escape de gases, de manera que estos lleguen al tubo de bolas de Meyer, que ésta a su vez descansa en un Erlenmeyer de 300 c.c. que contienen 80 c.c. de $Ba(OH)_2$.

Los gases de la combustión, burbujan en la solución a través de las bolas. Se esperan quince minutos para que se de por terminada la combustión y una vez que estos han transcurrido se quita el oxígeno, se destapa el tubo de combustión y se quita la navecilla. Se lava bien con agua destilada exenta de CO_2 el tubo de bolas, de manera que las aguas del lavado, caigan en el erlenmeyer. Se neutraliza el exceso de $Ba(OH)_2$ con HCl valorado; de tal manera que cada c.c. gastado equivalga a un porcentaje de carbono en la muestra.

PREPARACION DE LAS SOLUCIONES.—La solución de $Ba(OH)_2$ se prepara pesando 34 gr. de la sustancia y disolviéndola en un poco de agua hirviendo, y una vez que se ha disuelto se afora hasta 2000 c.c. con agua destilada.

La solución de HCl, se prepara tomando 16 c.c. del ácido conc. D=1.19 y se afora hasta 2000 c.c.

DETERMINACION DEL FACTOR.—Se toman 80 c.c. de la solución preparada de $Ba(OH)_2$ y se valora con HCl usando como indicador fenolftaleína y se ve cuantos c.c. de HCl se necesitan para neutralizar los 80 c.c. Supongamos que se necesitaron 83 c.c.

Se procede a pesar una muestra de carbono conocido y se trata por el método antes descrito.

Supongamos que para neutralizar el exceso de $Ba(OH)_2$ se gastaron 59 c.c. para una muestra de un gramo que contenía .63% de C. Por lo que $83-59=24$ c.c. De donde: $24:63::1:X$; $X .026\%$ de C.

De manera que cada c.c. es igual a .026% de C; por lo que el número de C.C. gastados multiplicado por esa cantidad, nos dará el % de C. en la muestra.

APARATOS QUE SE USAN PARA ESTE METODO

TANQUE DE OXIGENO.—Puede ser un cilindro en el que se encuentra el oxígeno a alta presión conteniendo 3 o 4 mts. cúbicos de capacidad. La salida del gas es regulada por una válvula teniendo el inconveniente de no ser lo suficientemente sencilla para registrar la presión a que deba usarse el Oxígeno. Por lo que el uso de éstos cilindros, está ya sustituyéndose por los gasógenos, que son tanques que lo contienen, y la presión del agua sobre el gas es suficiente para la operación. En uno u otro caso el oxígeno debe estar ya purificado y si no lo está se intercalan aparatos purificadores entre el recipiente y el horno de combustión.

El oxígeno que se use, debe tener una pureza no menor de 97% en caso contrario, desecharlo.

PURIFICADORES DEL OXIGENO.—El oxígeno puede contener materias orgánicas, CO_2 y humedad por lo que afectaría en los resultados finales, en este caso, si en los recipientes que lo contienen no han sido purificados, se procede a instalar primeramente un frasco lavador con H_2SO_4 concentrado para desecar el gas, a continuación se le une otro con CaCl_2 hasta las dos terceras partes de su volumen y la otra tercera parte con cal sodada para absorber el CO_2 .

HORNOS DE COMBUSTION.—Estos hornos son calentados por la elevación de temperatura debida a la resistencia que ofrece al paso de la corriente un alambre de Ni-Cr. Obteniéndose temperaturas de 1000 y 2000 grados C. Suficientes para la combustión del carbono de los aceros; esta temperatura es controlada por un reóstato.

La combustión se lleva a cabo en el tubo del horno, que son de sílice fundida y vidriada interiormente, de forma cilíndrica. Los extremos deben ser perfectamente redondos para que el tapón ajuste bien y no pueda haber escape de gases. Al final de estos tubos, debe ponerse un tapón de lana de vidrio o de asbesto para evitar que los gases arrastren óxido de hierro. Estos tubos tienen una longitud de 50 a 75 cm. y su diámetro de 2 a 3 cm. por lo general.

NAVECILLAS.—Pueden ser de porcelana, níquel o alundum.

Se usa la de porcelana, por ser más baratas que las anteriores, aunque se dilata un poco más para calentarse.

Las de níquel son mejores, por verificarse más aprisa la combustión, pero se deforman con el uso.

Las de alundum se usan muy poco, debido a que son muy frágiles.

Estas navecillas se cubren de alundum granulado malla 60 para evitar que el óxido fundido las destruya; cuando éste alundum, es nuevo contiene carbon que se quema junto con el acero por lo que este carbon se descuenta en el resultado final; por lo general esta cantidad es de un punto (.01%).

PURIFICADORES DEL CO_2 .—Los gases de la combustión salen impurificados de óxido de hierro y óxidos de azufre por lo que hay que intercalar a continuación del tubo de combustión, un frasco que contenga Zn granulado malla 20 para absorber los óxidos del azufre. A continuación, se conecta un frasco de anhídrido fosfórico para desecar el gas. El óxido de hierro, ya fué absorbido por la lana de vidrio o asbesto que se encuentra en el tubo de combustión.

FRASCOS DE ABSORCION.—En este caso, la absorción es con $\text{Ba}(\text{OH})_2$ y se usa en tubos de bolas de Meyer; es un tubo formado por nueve bolas, en su parte inferior, medio inclinado y su extremo superior abierto también como el otro lado; que cuando se vaya a proceder a una determinación debe taparse el extremo superior, para evitar la salida del gas de combustión. Este gas entra por un tubo corto y por la presión que ejerce, hace que el $\text{Ba}(\text{OH})_2$ suba por el tubo burbujecando a través de las bolas. Este tubo está calculado para contener 80 c.c. de $\text{Ba}(\text{OH})_2$.

METODO VOLUMETRICO DE MARS.—Consiste en la disminución del volumen primitivo de los gases de la combustión debido a la absorción del CO_2 en la sosa. (Ver figura No. 3).

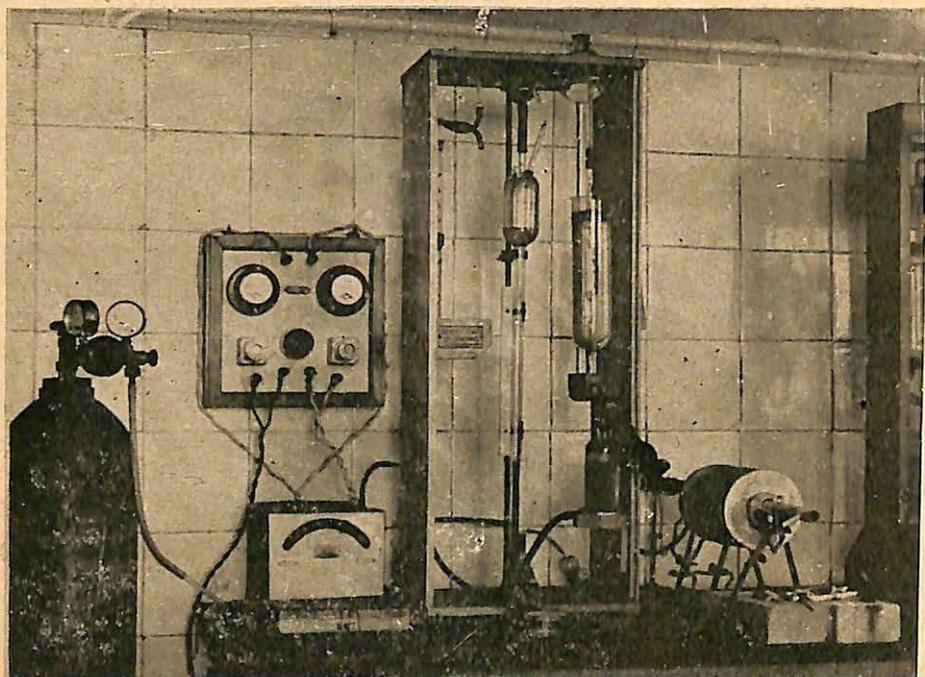


Fig. núm. 3

El aparato consta de un horno de combustión del tipo ya descrito, comunicado con un tubo de hule al aparato propiamente dicho, que se compone primeramente, de un refrigerante cilíndrico en espiral que se comunica a su vez por una llave, con otro depósito que contiene agua coloreada. Este depósito es un tubo largo calibrado, graduado algunas veces y terminando en la parte superior por un ensanchamiento. El tubo como dije antes, puede estar gravada la graduación, o adaptada una regla graduada y corrediza coincidiendo la primera división con el nivel de líquido en el surtidor. Este nivel está de tal manera acondicionado en el frasco surtidor, que debe de quedar en la parte más inferior del tubo del depósito, por lo que es a veces necesario poner el frasco surtidor en una pequeña repisa. El origen de la graduación de la regla debe coincidir con este nivel y está marcada con la cantidad .005 que nos indica .005% de C. Cada división va aumentando un punto de carbono; terminando la graduación en el número 1.5.

Este depósito es el más importante del aparato y se encuentra refrigerado. El agua coloreada, es con el objeto de facilitar la lectura. Este depósito se comunica, por medio de la misma llave anterior, con otro depósito también refrigerado que contiene sosa, se puede vaciar o llenar el depósito según como se desee, teniendo en la parte superior un surtidor de esta solución.

Este aparato puede tener otro más simple que se adapta para la determinación del azufre, este elemento se determina primero que el carbono; es decir, como los gases de la combustión pasan primeramente por este aparato que consta de un depósito que puede contener ya sea nitrato de plata o agua oxigenada para absorber el SO_3 y transformarlo en sulfito de plata o ácido sulfúrico según sea la sustancia que se use; si se trata del primero, se formará ácido nítrico y si es el segundo ácido sulfúrico que se neutralizan después con una solución valorada de hidróxido de sodio que se encuentra en una bureta pequeña en la parte superior del depósito; usando como indicador naranjado de metilo.

Por este método de la determinación de los dos elementos al mismo tiempo, en ambos aparatos, no da valores apetecibles por lo que se usa únicamente el del carbón.

Para proceder a una determinación, se llena el depósito de agua coloreada mediante una perilla que se encuentra en el surtidor, y se vacía el depósito de la sosa. Los gases de la combustión entran primeramente al refrigerante; la llave de comunicación doble, comunica este tubo con el depósito de agua coloreada, con lo que los gases entra en segundo término a este depósito y va bajando el nivel del agua por la presión. Entonces se destapa el tubo de combustión, la llave del aparato se mueve para comunicar los gases con el depósito de la sosa; se vuelve a llenar el depósito del agua de color de tal manera que por la presión del agua que entra, va empujando los gases al depósito de la sosa, una vez que estos se encuentran ahí, se llena con la solución. El hidróxido de sodio se combina con el CO_2 para dar carbonato de sodio, y por la misma presión del agua que entra empuja los gases al depósito del agua de color ocupando un volumen menor que el primitivo pues únicamente el oxígeno regresa a ocupar un volumen que se lee en el tubo graduado o por medio de la regla que nos dará en términos % (de por ciento) el carbón en la muestra que se analiza.

Este aparato debido a su sencillez, rapidez y exactitud; está llamado a sustituir los demás procedimientos para la determinación del carbono.

DETERMINACION GRAVIMETRICA

METODO DEL KOH.—Se basa en la determinación del aumento de peso por la absorción del CO_2 .

TECNICA.—Se pesa un gramo de la muestra y lo tratamos en

el horno de combustión. La cantidad de oxígeno que deba pasar debe ser más o menos de 200 c.c. por minuto. La combustión que a los tres minutos termina, se sigue pasando aun el oxígeno por otros trece minutos para que los gases sean completamente absorbidos.

Se ha determinado de antemano el peso del recipiente que contiene el KOH. Una vez que la operación de la combustión esté realizada se procede a pesar de vuelta el frasco y al aumento de peso debido al CO₂ multiplicado por 27.3 nos da la cantidad de carbono en % de la muestra.

Se podría también pesar 1.364 gr. que es múltiplo del factor, y bastaba entonces multiplicar el aumento de peso por 20 para darnos directamente el % de carbono en la muestra.

METODO DE LA CAL SODADA.—Consiste como el anterior en el aumento del peso debido al CO₂.

TECNICA.—Se trata el gramo de muestra en el horno de combustión como en las anteriores, únicamente que los gases son absorbidos en una mezcla de NaOH y de asbesto preparada de tal manera que no necesita desecador; esta mezcla va en un frasco de nebstitt, en la que se le pone en la parte inferior una capa de lana de vidrio o de asbesto y llenando después de ascarita. Puede ésta sustancia absorber hasta 30 gr. de CO₂ además tiene la ventaja de cambiar de color cuando se encuentra saturada. Por este método se absorbe mejor el CO₂ que en los demás.

Los cálculos son semejantes a los otros: el aumento de peso multiplicado por 27.3 nos da el % de C.

$$\text{CALCULO } \frac{\text{Aumento de peso} \times 27.3}{\text{Peso de la muestra}} = \% \text{ de C.}$$

METODO DEL Ba(OH)₂.—Consiste en pesar el carbonato formado en la absorción por el Ba(OH)₂.

TECNICA.—Es semejante al volumétrico nada más que el carbonato de bario formado se filtra, en papel filtro de cenizas conocidas o en un Choot, se lava con agua unas tres veces y se deseca a 110 grados C. Se saca el valor del peso del carbonato y se multiplica por 6.08 y se divide por el peso de la muestra.

$$\text{CALCULO } \frac{\text{Peso de carbonato de bario} \times 0.0608 \times 100}{\text{Peso de la muestra}} = \% \text{ de C.}$$

Se puede proceder como en el caso de la KOH, pesando 1.216 gr. de la muestra que es 20 veces mayor que el factor y en este caso nos basta multiplicar el peso del carbonato por 5. para que nos de directamente el % del C.

DETERMINACION COLORIMETRICA

METODO DE HNO₃.—Se basa en la coloración ámbar que produce el Fe₃C al disolverse en HNO₃.

Este método se usa para aceros que contienen poco carbono que no pase de 1% y que se encuentre en forma de carburo de fierro, que además no se hayan cantidades apreciables de manganeso porque estorba en la coloración, y que los aceros tipos deben ser de la

misma calidad es decir eléctricos y debe de contener de carbono pocos puntos de diferencia con el que se compara.

TECNICA.—Se pesan .3 gr. de las muestras y se ponen en un tubo de ensayos cada una de las muestras. Se le añaden 5 c.c. de HNO₃ 1:1. Se calientan en un baño María por cinco minutos si son suaves pero si son duros por más tiempo, se quitan y se enfrían al ambiente, se pasan los contenidos de los tubos tanto la muestra final como la muestra tipo a los tubos de comparación, que son cerrados por un extremo y por el otro abierto y doblado, están graduados hasta 50 c.c. principiando la graduación con el número 10.

La muestra tipo se diluye con agua hasta una división múltiplo de % de C. y se diluye también la de la muestra por analizar hasta igualar la coloración de la muestra tipo.

Para facilidad de comparación se usan cámaras oscuras alumbradas con luz eléctrica, por un extremo están abierto y por el otro cerrados por un vidrio despulido.

En las muestras tipos se determina el carbono por combustión y se hacen después cuatro o cinco determinaciones colorimétricas con esta muestra tipo. Supongamos por ejemplo que la muestra tipo analizado por combustión dió: .16% de C. y se determinaron cuatro muestras por colorimetría y se hayaron los valores siguientes: .20, .23, .28, .31. Se analizan por combustión estas muestras, y supongamos que se hayaron los valores .17, .20, .25, .28% respectivamente por lo tanto el resultado de la muestra tipo debe ser: .13% de C. Esto es, se rebajan tres puntos.

En el caso de que las muestras contengan menos de .10% de C, se compara con una muestra tipo de .09% de C. lo cual se diluye a 18 c.c. y supongamos que la muestra por analizar se diluyó a 12 c.c. para igualar las coloraciones, por lo que en la muestra por analizar habrá .06% de C. Porque aplicamos la siguiente proporción V::W:X. De donde V igual 18, v igual 12, W igual .09 por lo que sustituyendo en la proporción nos resulta que el valor de X es .06% de C.

COMPARACION DE LOS METODOS

Sin duda el mejor de todos, es el volumétrico de Mars por las razones de rapidez, sencillez y exactitud, pues se pueden hacer en una hora 15 determinaciones.

Luego le sigue el método volumétrico del Ba(OH)₂ con lo que se pueden hacer sin mucho esfuerzo unas 50 o 60 determinaciones en un turno de 8 horas. La exactitud de este método es de .01% a .02%.

A continuación tenemos el método de la cal sodada o ascarita. Es de gran exactitud, con un buen operador y un poco de práctica checa sus resultados para bajo carbón con .005, y para alto con .100%.

La desventaja de este método consiste al pesar los frascos, como son muy pesados en comparación con el pequeño aumento debido al CO₂, es fácil de cometer errores.

Este método es rápido para una determinación pero ya cuando se tengan que hacer unas 50 o 60 determinaciones resulta muy dilatado por las pesadas, además como en estos métodos se necesitan purificadores, aumentan las probabilidades de pérdidas por escape debido a una mala conexión.

El método del Ba(OH)_2 gravimétrico es lento por tener que filtrar secar y pesar, por lo que una determinación se dilata por lo menos 40 minutos, pero tiene una ventaja, y es debido al alto peso molecular del BaCO_3 , resulta que las pérdidas que pudieran haber por lavado no afectaría en grado sumo el verdadero valor del C. en la muestra.

El método colorimétrico se puede decir que ya pasó a la historia lo mismo que el método de la combustión húmeda que no lo describo por carecer de valor cuantitativo por los muchos inconvenientes que tienen y nos dan únicamente un valor aproximado del C. en las muestras.

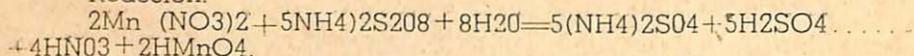
Como hemos visto, la forma en que vienen comparándose los métodos nos indica al mismo tiempo, la importancia que tienen para la determinación de este elemento; ocupando el primer lugar el método volumétrico de Mars ya descrito.

CONTROL DEL MANGANESO

METODO DEL PERSULFATO.—Consiste en la oxidación de las sales manganosas, a ácido permangánico por el persulfato de amonio en solución ácida, ya sea nítrica o sulfúrica o en mezcla de los dos y en presencia de un catalizador que viene ser el nitrato de plata; titulando después con una solución volarada de arsenito de sodio.

TECNICA.—Se pesa .5 gr. de la muestra y se trata en un erlenmeyer de 100 c.c. con 10 c.c. de HNO_3 concentrado hasta que se disuelva; se agrega a continuación una solución de AgNO_3 al .2%, se deja que hierva y se agrega un gramo de persulfato de amonio. La solución se vuelve rosada, se le quita de la parrilla o placa caliente y se esperan unos 3 minutos para que el manganeso se oxide bien, a continuación se le enfría al chorro de la llave. Una vez fría se titula con la de arsenito hasta desaparición del color.

Reacción:



PREPARACION DE LAS SOLUCIONES.—Se pesa .675 de As_2O_3 y 2.05 gr. de Na_2CO_3 . Se disuelve el carbonato en agua caliente y ya disuelto se agrega el As_2O_3 y se afora a dos litros, titulando después con una muestra de manganeso conocido.

NOTA) Cuando en las muestras se encuentra cromo o tungsteno, aunque esto acontece muy raras veces entonces es preciso eliminarlos, por que al titular oxidarían al arsenito y darían resultados altos; siempre que estos elementos se encuentren en un porcentaje mayor de 1% para lo cual se sigue el método siguiente: se trata el

gramo de la muestra con 40 c.c. de H₂SO₄, 1:3 en un erlenmeyer de 300 c.c. Ya disuelta se agregan 15 c.c. de HNO₃ conc. y se deja evaporar los vapores nitrosos. Se quita de la parrilla y se deja enfriar, pasando después el contenido a un matrás aforado de 250 c.c. Se añade 40 c.c. de amoníaco, 1:1 y ZnO hasta un ligero exceso. A continuación se afora hasta los 250. se agita y se deja asentar, se extrae con una pipeta 50 c.c. que representan 0.2 gr. de la muestra esta cantidad se pone en un erlenmeyer de 100 c.c. se concentra a unos 25 c.c. y se sigue el método descrito antes de persulfato de amonio. De esa manera el cromo y el tungsteno son eliminados por el óxido de zinc precipitándose.

METODO COLORIMETRICO.—Cuando las muestras contienen más de 1% los resultados son inseguros. Se procede de análoga manera que el método colorimétrico del carbono.

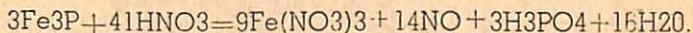
TECNICA.—Se procede primeramente a preparar una muestra de comparación tipo de manganeso conocido. Pesamos .2 gr. de esta muestra y lo disolvemos en HNO₃; se calienta y se añade 10 c.c. de AgNO₃ de la misma concentración que la que usamos en el método del persulfato, se agrega agua hasta 100 c.c. Se toman 10 c.c. de esta solución que viene a representar .2 gr. de la muestra primitiva. A esta cantidad se le pone 2.5 c.c. de persulfato de amonio al 20% se agita y calienta en baño María de 80 a 90 grados C. hasta que empiecen a desprenderse burbujas, se quita y se compara el color con una de KMnO₄ de concentración conocida.

Pongamos por ejemplo el caso de una solución de KMnO₄ que contenga .25% de manganeso. En la muestra tipo tenemos .38% determinado por el método del persulfato, y al hacerlo en el colorimétrico nos da un valor de .35% debemos por lo tanto aumentar a todas las demás determinaciones tres puntos al compararla con la de KMnO₄.

Los aparatos y los cálculos son los mismos que el colorimétrico del carbono.

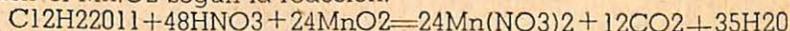
CONTROL DEL FOSFORO

METODO VOLUMETRICO.—Se pesan dos gramos de la muestra y se ataca con 45 c.c. de HNO₃ dil. 1:1 en un erlenmeyer de 300 c.c. Se pone en la placa caliente hasta su disolución, con lo que el fósforo pasa de fosfuro de hierro a ácido fosfórico conforme la reacción:



Se le agrega a continuación solución saturada de KMnO₄ en un pequeño exceso, hasta notar un precipitado café de MnO₂. Esta solución se agrega cuando el líquido está en solución.

A continuación se agrega una solución saturada de azúcar para reducir el MnO₂ según la reacción:



Una vez efectuada la reacción anterior, se agregan 60 c.c. de una solución de molibdato de amonio. Esta solución se prepara del siguiente modo: 5 gramos de molibdato de amonio se disuelven en 250 c.c. de agua agragándole 250 de ácido nítrico; y en la solución apa-

rece un precipitado blanco; se disuelve con amoníaco.

El precipitado amarillo de fosfomolibdato que se forma según reacción $12(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 + 21\text{HNO}_3 = (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3 + 12\text{H}_2\text{O}$ se filtra y se pasa el precipitado a una centrífuga, cada diez minutos se cambia el agua y se le vuelve a poner más hasta lavar bien, lo que se consigue con unos tres lavados. Se disuelve el precipitado en el mismo frasco de la centrífuga con una solución de NaOH y valorar después el exceso de sosa con una de ácido nítrico, usando como indicador fenolftaleína.

PREPARACION DE LAS SOLUCIONES.—Se toman 18 c.c. de ácido nítrico densidad de 1.42 y se agrega agua hasta acompletar dos litros. Por otro lado se pesan 12 gramos de NaOH y se disuelven en dos litros de agua exactamente. Se hace que un centímetro del HNO_3 sea igual a un centímetro cúbico de NaOH; para que esto suceda se toman por ejemplo, 10 c.c. de la sosa y se neutralizan con el ácido nítrico; suponiendo por ejemplo que los diez centímetros cúbicos se neutralizaron con 13 c.c. de HNO_3 por lo tanto, está más concentrada la sosa y necesitamos diluirla, para esto; sabemos que tenemos 1990 c.c. porque ya sacamos 10 c.c. anteriormente. Si tuviéramos los dos litros, tendríamos que añadir 600 c.c. pero como tenemos 1990 c.c. tendremos que agregarle únicamente 597 c.c.

Igualadas las soluciones de manera que un c.c. del uno es igual a un c.c. del otro, se procede a pesar dos gramos de una muestra de fósforo conocido y lo tratamos como dice el método. Supongamos que la muestra contiene .105% de P y se gastaron 15 c.c. de sosa para la disolución del fosfomolibdato de amonio, y titulada el exceso de NaOH con el ácido nítrico se gastaron 8 c.c. por lo tanto tenemos: $15 - 8 = 7$. Por lo que si 7 c.c. se necesitan para .105% de P, para un centímetro cúbico se necesitarían: .015% de P.

De manera que la diferencia de la sosa gastada y del ácido nítrico, multiplicado por .015 nos dará el por ciento de P en una muestra de .2 gr.

CONTROL DEL SILICIO

Se determina gravimétricamente, por el método de Drown.

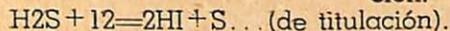
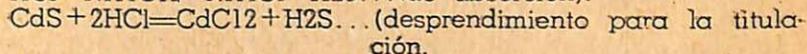
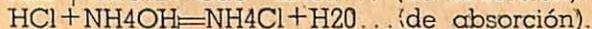
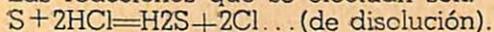
TECNICA.—Se pesan dos gramos y se ponen en una cápsula de porcelana de 400 c.c. y se ataca con 35 c.c. de ácido nitrosulfúrico, que es una mezcla de ácido sulfúrico concentrado D.=1.84 y HNO_3 D.=1.42 mezclados en una proporción de 130 c.c. del primero, y 370 c.c. del segundo. Se evapora hasta sequedad cubriéndolo con un vidrio de reloj, ya desecada se deja enfriar un poco la cápsula y se le agrega 20 c.c. de HCl diluido, lavando el vidrio de reloj con 30 o 40 c.c. de agua; se vuelve a calentar hasta la ebullición para que se disuelvan las sales solubles, se quita de la parrilla y se filtra en papel filtro de cenizas conocidas. Se lava el precipitado con HCl caliente y diluido para que se disuelvan las sales de fierro, luego otras 3 veces con agua pura para quitar el exceso de ácido. Se pone a conti-

nuación en un crisol que se a puesto con anterioridad a peso constante y determinado el peso. Ya calcinado, se deja enfriar en un desecador, a continuación se pesa obteniéndose el peso del crisol, más cenizas, más el SiO₂. A éste peso total se le quita la del crisol vacío y el de las cenizas y el resultado multiplicado por 46.93 y dividido por 2 tendremos directamente el silicio en por ciento de la muestra.

CONTROL DEL AZUFRE

METODO VOLUMETRICO DE EVOLUCION.—Se pesan 2 gr. de la muestra y se trata en un erlenmeyer de 250 c.c. con 75 c.c. de HCl diluido; 1:1. El erlenmeyer tiene un tubo de seguridad y otro de desprendimiento por donde se escapa el H₂S de la reacción que va a dar a un frasco que contiene 50 c.c. de solución de cloruro de cadmio amoniacal; donde el H₂S es absorbido. Se calienta hasta disolución de la muestra; que hierve y los vapores calientan el frasco de cloruro de cadmio; y una vez que esto sucede, se da por terminada la absorción, se diluye a 150 c.c. y se añade CHI diluido hasta tener un exceso para titular después con una solución de yodo valorado, usando como indicador el engrudo de almidón. El final de la reacción, se ve por la coloración azul que aparece.

Las reacciones que se efectúan son:



PREPARACION DE LAS SOLUCIONES.—La de cloruro de cadmio amoniacal, se prepara con 10 gr. de cloruro de cadmio y disuelta en 600 c.c. de amoníaco D.=9 y se diluye con agua hasta un litro, de esta solución se toman 10 c.c. diluidos en 30 c.c. de agua o en 40 c.c. de KOH al 5% para una determinación.

La solución de yodo se prepara pesando 8 gr. de yodo sublimado, 20 gramos de KI disueltas estas dos sustancias en 2 lts. de agua.

La solución de almidón se prepara haciendo una papilla con un gramo de almidón en un poco de agua y esta papilla, se vierte en 200 c.c. de agua a la ebullición y se continúa hasta dos minutos.

TITULACION DE LAS SOLUCIONES.—Se titula con una muestra de azufre conocido y una vez determinado por el método antes descrito, se ve cuánto de azufre, equivale cada centímetro cúbico de la solución de Yodo Vrg; Si en la determinación encontramos que cada c.c. de la solución de Yodo equivalen a .02% de S, y queremos que equivalga a .01% tendremos que diluir la solución, al doble con agua, esto es agregar la misma cantidad de agua, que el volumen que ocupa la solución.

DETERMINACION GRAVIMETRICA.

METODO DE OXIDACION.—El método consiste en oxidar el azufre a sulfato y determinarlo gravimétricamente en forma de sulfato de Ba.

TECNICA.—Se pesan 5 gr. de virutas y se ponen en un erlenmeyer de 500 c.c. y atacando con 50 c.c. de HNO_3 conc. La muestra debe de disolverse y si no sucede así, se añade HCl gota a gota.

EL HNO_3 oxida al S pasándolo al sulfato, se concentra a pequeño volumen y se agrega lgr. de carbonato de sodio y 30 c.c. de HCl y se evapora hasta eliminar los vapores nitrosos y descomponer los nitratos.

La sílice no se solubiliza por lo que se trata con 50 de HCl con la solución se concentra a unos 20 c.c. y se añade a continuación 200 c.c. de agua. Se precipita con cloruro de bario al 10% y se deja reposar la solución unas 12 horas. Se filtra en papel filtro de cenizas conocidas y se lava con HCl diluido 1:1000 unas cinco veces y luego, con agua hasta eliminar los cloruros. Se calcina y se quita el valor del peso del sulfato de bario, este valor multiplicado por 13.73 y dividido por 5 nos da el por % de azufre en la muestra de S en cinco gramos.

DETERMINACION VOLUMETRICA DEBIDA A MARS.—Este procedimiento ya fué descrito al tratar la determinación del carbono por este método y lo único que me resta decir, es que, de todos los métodos, el de evolución es el más exacto aunque no más rápido que el de Mars; es el que se sigue en casi todas las industrias del país; porque el de Mars adolece muchas veces de exactitud al determinar el azufre con muestras tipos, a lo menos, esas son las referencias que he tenido del método, que únicamente es válida para la determinación del carbono.

DETERMINACION EN MUESTRAS FINALES

TOMA DE LAS MUESTRAS.—En estos aceros en que el por % de manganeso se encuentra alto no es posible taladrarlo en frío con herramienta ordinaria; para esto es necesario calentar la muestra al rojo y a esa temperatura sacar las virutas con el taladro ordinario.

CONTROL DEL CARBONO

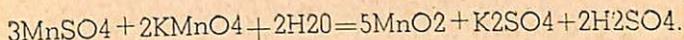
Se pueden seguir cualquiera de los métodos apuntados en las muestras preliminares, a excepción del método colorimétrico.

CONTROL DEL MANGANESO

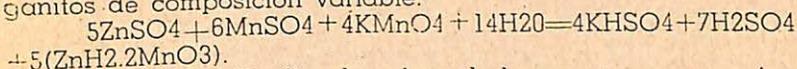
Se puede determinar, este elemento por dos métodos que son el de Volhard y el de Julián.

METODO DE VOLHARD.—Está basado en la precipitación de una sal manganosa por medio del KMnO_4 (permanganato de potasio) que la oxida.

La reacción es:



Cuando existen sales de calcio o de zinc, se precipitan mangánitos de composición variable:



TECNICA.—Se disuelve el gr. de la muestra en una cápsula de 400 c.c. y se añade 20 c.c. de ácido nitrosulfúrico, se evapora a sequedad cubriéndolo previamente con vidrio de reloj. Ya seca se deja enfriar y se le agrega 30 c.c. de HCl diluido 1:1 y se lava el vidrio de reloj con agua destilada. Se pone de nuevo en la parrilla hasta que hierva y se disuelven las sales solubles; terminada esta operación, se pasa el contenido a un erlenmeyer de 1 litro. Lavando bien con agua caliente la cápsula; de manera que las aguas del lavado, caigan en el erlenmeyer. Se le echa agua caliente hasta 400 c.c. y se le añade ZnO en polvo, hasta tener un exceso; para que el líquido quede claro por sedimentación y pueda observarse bien la coloración del permanganato: La valoración se efectúa en caliente y agitando.

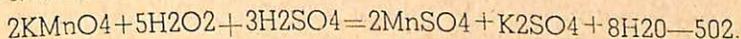
PREPARACION DE LA SOLUCION DE PERMANGANATO.—Se pesan 5.67 grs. de KMnO_4 y se disuelven en un litro de agua. Averiguemos que tanto de manganeso, equivale un centímetro cúbico. Fijándonos en la reacción de Volhard, notamos que 2 de permanganato, se necesitan para 3 de Mn; por lo tanto, podemos plantear la proporción siguiente:

$316.06 : 164.79 :: 5.67 : X$ de donde X igual a 2.95. De ahí sacamos que 1 c.c. será equivalente, a 2.95% de Mn.; pero por lo regular, se toma el valor 3%.

Se puede proceder también, valorando la solución con un ácido de manganeso conocido y sacar como en casos anteriores; lo que equivale a 1 c.c. de la solución.

METODO DE JULIAN.—Este método; aunque más dilatado, por las evaporaciones que se tienen que hacer; es sin embargo; más exacto que el anterior.

TECNICA.—Se pesa un gr. de la muestra y se disuelve en un erlenmeyer de 500 c.c. tratándolo con 75 c.c. de HNO_3 2:3; ya disuelta la muestra, se deja que hierva un poco y se añade 50 c.c. de HNO_3 conc. y 5 gr. de clorato de potasio sólido que oxida al MnO_2 precipitándolo. La reacción es violenta, se deja que hierva unos quince minutos, hasta concentrarlo a unos 50 c.c. más o menos; se deja enfriar y se diluye a 200 c.c. con agua. Se agrega a continuación 75 c.c. de H_2O_2 titulada que disuelve el MnO_2 . Se titula el exceso con KMnO_4 . Reacción de titulación:



PREPARACION DE LAS SOLUCIONES.—La del H_2O_2 , se prepara tomando 600 c.c. al 3% que contiene aproximadamente 1.8 grs. de H_2O_2 se agrega 50 c.c. de H_2SO_4 D.=1.84 y se acompleta un litro con agua.

La solución de KMnO_4 , se prepara pesando 3.17 gr. de la sustancia y disolviéndola en un litro de agua. Los volúmenes se hacen coincidir de manera que un c.c. del H_2O_2 , sea igual a 1 c.c. de KMnO_4 . Se titula la solución de KMnO_4 empleando una muestra de acero de manganeso conocido.

El exceso de H_2O_2 ; o los c.c. de KMnO_4 empleados; multiplicados por el factor encontrado para un c.c. nos da el % de manganeso en la muestra de 1 gr.

CONTROL DEL FOSFORO Y DEL SILICIO

Se determinan como en las muestras preliminares.

CONTROL DEL AZUFRE

Se puede determinar también por los métodos aplicados a las muestras preliminares. Pero este elemento no se reporta por las razones expuestas al principio de este capítulo.

CAPITULO IV.

DIAGRAMAS.

Antes de abordar a la interpretación del diagrama hierro carbono que es hasta cierto punto básico para la mejor interpretación de los diagramas correspondientes a los aceros especiales, diré en breves líneas que el hierro puro presenta durante el calentamiento o enfriamiento tres puntos crítico o transformaciones alotrópicas que son: el hierro delta que se presenta a elevadas temperaturas hasta 1401°C durante el enfriamiento. La modificación gamma que se presenta a partir de esta temperatura hasta la de 906°C . La modificación beta de 906°C hasta 769°C . Finalmente encontramos la modificación alfa que no es otra cosa que una modificación de orden magnético del hierro beta por lo que este punto no se toma como de transformación alotrópica sino que de orden puramente magnético como dije antes.

Estos puntos que se presentan tanto en el calentamiento como en el enfriamiento da lugar a una pequeña diferencia de temperatura llamada histeresis térmica.

La solubilidad del carbono en el hierro según determinaron ROOF y GOECKE es máxima a una temperatura de 2220°C y trabajando en condiciones especiales. Por lo que a temperaturas inferiores esta solubilidad es menor y en los productos industriales esta dosis de C carbono es por lo máximo de 4.5%.

Según la dosis de C en el hierro hace variar los puntos críticos presentándose estos a temperaturas más bajas. Así tenemos por ejemplo que el punto A3 (paso del hierro gamma a hierro beta) se verifica a lo largo de la línea GO, en el diagrama hierro carbono. Fig. 4. los puntos Ac2 y Ar2 se conservan casi a la misma temperatura. Una aleación que contenga .70% de C los puntos A2 y A3 se confunden dando lugar o uno solo por lo que la verdadera beta deja de presen-

tarse pasando directamente el hierro gamma a hierro alfa. Al aumentar la cantidad de carbono aparece el punto A1. Con una proporción de .90= de C se forma puramente eutectoide y tiene lugar a la temperatura de 721°C teniendo lugar en ella el fenómeno de la recalcificación debido al calor de cristalización del eutectoide perlita. En este lugar se confunden en un mismo punto el A3 A2 y A1 en uno solo de manera que el hierro gamma pasa directamente a perlita a esta temperatura y con esta dosis de carbono llevando el enfriamiento de una manera lenta.

El calor que se desprende da lugar a que se interprete como un calentamiento del hierro. En tanto que durante el calentamiento sucede el fenómeno contrario esto es absorción de calor para el paso de la perlita a gama austenita, por lo que a este otro fenómeno se le llama de absorción.

DIAGRAMA HIERRO CARBONO.—La figura No. 4 indica el diagrama de solidificación y enfriamiento de las diferentes aleaciones hierro carbono con un contenido hasta de 6.7% que es la proporción que entra en el carburo de hierro. En el que vemos el trazo del equilibrio metaestable Fe-Fe₃C representado por líneas continuas y el equilibrio estable Fe-Grafito representado por líneas de puntos.

En la parte superior izquierda del diagrama marcado por las letras ABHN corresponde a la transformación del hierro delta que prácticamente no tiene importancia por presentarse a temperaturas elevadas y aparecer únicamente en las aleaciones con menos de .35% de C por lo que prescindo de su explicación.

El diagrama muestra en la parte superior izquierda el punto de solidificación del hierro puro a la temperatura de 1528°C que es el punto A.

La línea ABC nos indica que aumentando la dosis de carbono en el hierro desciende la temperatura hasta una proporción de 4.29% a una temperatura de 1145°C. A partir de este punto si aumentamos la proporción de C aumenta la temperatura de solidificación.

Como vemos en el diagrama la temperatura de solidificación en el trazo de curva ABCD nos señala el principio de la solidificación o final de la fusión y viene a ser según los conceptos metalográficos la línea liquidus. En tanto que el trazo se curva AHJGECF nos señala el límite de solidificación total o el principio de la fusión. Es lo que se llama línea Sólidos.

En la parte superior de la línea Liquidus toda la masa se encuentra en estado de fusión. Por debajo de la Solidus toda la masa se ha solidificado. En el espacio comprendido entre estas dos líneas se encuentra parte sólida y parte líquida, formando una mezcla pastosa.

Un acero que contiene 1% de C empieza a solidificar a 1460°C y termina a 1205°C. Otra aleación de 2% empezará a 1400°C y terminará a 1145°C lo mismo podemos decir de las otras de 3, 4 y por último

La solución de KMnO_4 , se prepara pesando 3.17 gr. de la sustancia y disolviéndola en un litro de agua. Los volúmenes se hacen coincidir de manera que un c.c. del H_2O_2 , sea igual a 1 c.c. de KMnO_4 . Se titula la solución de KMnO_4 empleando una muestra de acero de manganeso conocido.

El exceso de H_2O_2 ; o los c.c. de KMnO_4 empleados; multiplicados por el factor encontrado para un c.c. nos da el % de manganeso en la muestra de 1 gr.

CONTROL DEL FOSFORO Y DEL SILICIO

Se determinan como en las muestras preliminares.

CONTROL DEL AZUFRE

Se puede determinar también por los métodos aplicados a las muestras preliminares. Pero este elemento no se reporta por las razones expuestas al principio de este capítulo.

CAPITULO IV.

DIAGRAMAS.

Antes de abordar a la interpretación del diagrama hierro carbono que es hasta cierto punto básico para la mejor interpretación de los diagramas correspondientes a los aceros especiales, diré en breves líneas que el hierro puro presenta durante el calentamiento o enfriamiento tres puntos crítico o transformaciones alotrópicas que son: el hierro delta que se presenta a elevadas temperaturas hasta 1401°C durante el enfriamiento. La modificación gama que se presenta a partir de esta temperatura hasta la de 906°C . La modificación beta de 906°C hasta 769°C . Finalmente encontramos la modificación alfa que no es otra cosa que una modificación de orden magnético del hierro beta por lo que este punto no se toma como de transformación alotrópica sino que de orden puramente magnético como dije antes.

Estos puntos que se presentan tanto en el calentamiento como en el enfriamiento da lugar a una pequeña diferencia de temperatura llamada histéresis térmica.

La solubilidad del carbono en el hierro según determinaron ROOF y GOECKE es máxima a una temperatura de 2220°C y trabajando en condiciones especiales. Por lo que a temperaturas inferiores esta solubilidad es menor y en los productos industriales esta dosis de C carbono es por lo máximo de 4.5%.

Según la dosis de C en el hierro hace variar los puntos críticos presentándose estos a temperaturas más bajas. Así tenemos por ejemplo que el punto A3 (paso del hierro gama a hierro beta) se verifica a lo largo de la línea GO, en el diagrama hierro carbono. Fig. 4. los puntos Ac2 y Ar2 se conservan casi a la misma temperatura. Una aleación que contenga 70% de C los puntos A2 y A3 se confundiendo lugar o uno solo por lo que la verdadera beta deja de presen-

tarse pasando directamente el hierro gamma a hierro alfa. Al aumentar la cantidad de carbono aparece el punto A1. Con una proporción de $.90 =$ de C se forma puramente eutectoide y tiene lugar a la temperatura de 721°C teniendo lugar en ella el fenómeno de la recalcificación debido al calor de cristalización del eutectoide perlita. En este lugar se confunden en un mismo punto el A3 A2 y A1 en uno solo de manera que el hierro gamma pasa directamente a perlita a esta temperatura y con esta dosis de carbono llevando el enfriamiento de una manera lenta.

El calor que se desprende da lugar a que se interprete como un calentamiento del hierro. En tanto que durante el calentamiento sucede el fenómeno contrario esto es absorción de calor para el paso de la perlita a gamma austenita, por lo que a este otro fenómeno se le llama de absorción.

DIAGRAMA HIERRO CARBONO.—La figura No. 4 indica el diagrama de solidificación y enfriamiento de las diferentes aleaciones hierro carbono con un contenido hasta de 6.7% que es la proporción que entra en el carburo de hierro. En el que vemos el trazo del equilibrio metaestable Fe-Fe₃C representado por líneas continuas y el equilibrio estable Fe-Grafito representado por líneas de puntos.

En la parte superior izquierda del diagrama marcado por las letras ABHN corresponde a la transformación del hierro delta que prácticamente no tiene importancia por presentarse a temperaturas elevadas y aparecer únicamente en las aleaciones con menos de .35% de C por lo que prescindo de su explicación.

El diagrama muestra en la parte superior izquierda el punto de solidificación del hierro puro a la temperatura de 1528°C que es el punto A.

La línea ABC nos indica que aumentando la dosis de carbono en el hierro desciende la temperatura hasta una proporción de 4.29% en que la temperatura de solidificación es la mínima y corresponde a una temperatura de 1145°C . A partir de este punto si aumentamos la proporción de C aumenta la temperatura de solidificación.

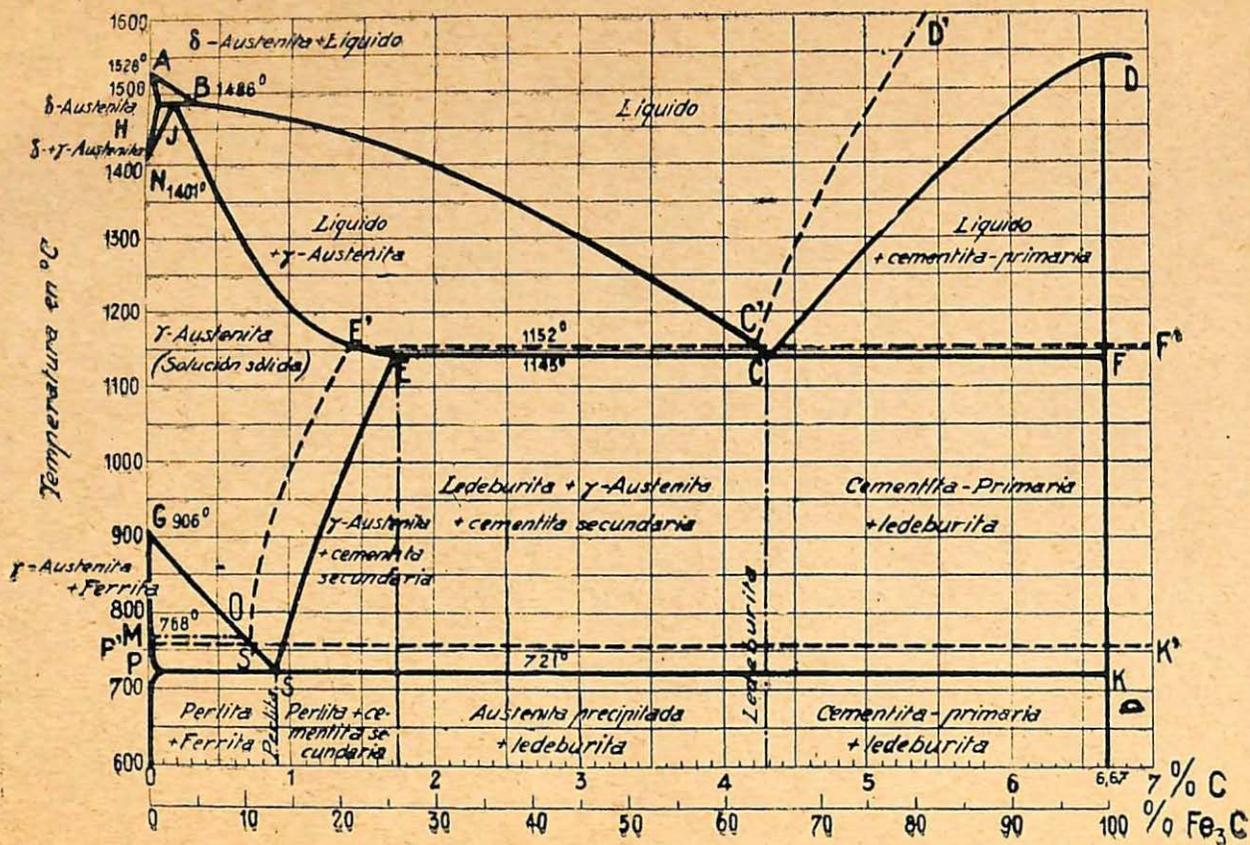
Como vemos en el diagrama la temperatura de solidificación en el trazo de curva ABCD nos señala el principio de la solidificación o final de la fusión y viene a ser según los conceptos metalográficos la línea liquidus. En tanto que el trazo se curva AHJGECF nos señala el límite de solidificación total o el principio de la fusión. Es lo que se llama línea Sólidos.

En la parte superior de la línea Liquidus toda la masa se encuentra en estado de fusión. Por debajo de la Solidus toda la masa se ha solidificado. En el espacio comprendido entre estas dos líneas se encuentra parte sólida y parte líquida, formando una mezcla pastosa.

Un acero que contiene 1% de C empieza a solidificar a 1460°C y termina a 1205°C . Otra aleación de 2% empezará a 1400°C y terminará a 1145°C lo mismo podemos decir de las otras de 3, 4 y por último

DIAGRAMA DE LAS ALEACIONES HIERRO - CARBONO.

(Las líneas de puntos corresponden al equilibrio estable y los de trazo continuo, al metaestable)



de 4.29% de C que conforme va subiendo la dosis la temperatura baja hasta llegar a esta dosis en que el punto de solidificación inicial es confunde con el de solidificación total teniendo lugar la formación del eutéctico Ledeburita.

Los constituyentes que se forman durante el enfriamiento se puede ver en el diagrama. Por lo que a la temperatura ordinaria los constituyentes que están en equilibrio son la ferrita alfa, la cementita y la perlita. La Austenita es una fase fuera de equilibrio únicamente estable a las temperaturas que marca el diagrama.

La ferrita existe en los aceros hipoeutectoides esto es en lo que la proporción de carbono es menor de .90% constituyendo el elemento proeutectoide.

Cuando la aleación contiene exactamente .90% de C se forma únicamente la perlita.

La cementita se presenta en las aleaciones hipereutectoides o sea en las aleaciones que contienen más de 90% de C constituyendo el elemento proeutectoide.

El punto E del diagrama es un punto importante porque marca el más alto contenido de Fe₃C que después de la solidificación puede contener la austenita.

Durante el enfriamiento con las aleaciones con 1.75% de C hasta 4.29% de C se formará en primer lugar cristales de austenita y a la temperatura de 1145°C la parte que queda fundida y que tiene la composición eutéctica solidifica a esta temperatura por lo que la aleación restante queda con .90% de C y que al llegar a la temperatura

Al seguir el enfriamiento por debajo de la línea ECF, se van separando de la austenita cristales de cementita hasta que la disolución restante queda con 90% de C y que al llegar a la temperatura que marca la línea PSK se formará la perlita.

Las aleaciones que contienen más de 4.29% de C se formará en primer lugar la cementita proeutéctica que se separará primeramente por la línea CD y al pasar por la línea CF aparecerá el eutéctico ledeburita.

La línea MO indica solamente el límite de magnetismo por lo que arriba de la línea MOS la aleación no es magnética.

SISTEMA ESTABLE.—Este sistema es análogo al anterior únicamente con una ligera separación de 7°C en los puntos eutécticos. La existencia de estos dos diagramas tiene por causa que en las aleaciones con un porcentaje de carbono algo elevadas pueden llegarse a formar las dos maneras distintas según la velocidad de enfriamiento.

En los enfriamientos rápidos, favorece la separación del carburo de hierro pero si por el contrario es lento favorece la del grafito más aún si existen elementos como el Si y el fósforo que actúan como catalizadores en la separación del grafito así como el manganeso y el cromo favorecen la del carburo de hierro.

En el diagrama estable la línea C'' D'' indica la separación del grafito primario y en la horizontal E'' F'' se presenta un eutéctico de

austenita con 1.40% de C más o menos, y grafito (grafito eutéctico). A lo largo de la línea E'' S'' aparece austenita y grafito secundario y a través de P'' S'' K'' se verifica la precipitación de la solución sólida de perlita que corresponde al eutéctico de perlita y grafito.

Este sistema dada la poca o nada importancia en este trabajo lo excluyo de una explicación detallada.

CONSTITUYENTES DE ESTRUCTURAS.—Es de sumo interés dar aunque sea de una manera breve una explicación de los diferentes constituyentes metalográficos y al mismo tiempo indicar los nombres que cada uno recibe en el lenguaje metalográfico.

Llámase constituyentes estructurales a las combinaciones químicas, mezclas, soluciones sólidas o simplemente metales puros que se observan en el microscopio después de preparadas y atacadas. Y estos constituyentes pueden ser:

FERRITA DE FERRUS.

CEMENTITA DE CEMENTAR.

PERLITA DE PERLAS.

AUSTENITA EN MEMORIA DE R. AUSTEN.

LEDEBURITA EN MEMORIA DE LEDEBUR.

MARTENSITA EN MEMORIA DE MARTENS.

TROOSTITA EN MEMORIA DE OSMOD.

HARDINATA DE HARDEN (ENDURECER).

GRAFITO GRAFITO NATURAL.

La FERRITA.—Es el hierro libre alfa. Cristaliza en el sistema cúbico, se presenta libre en los aceros hipoeutectoides formando granos irregulares mezclados con la perlita. Se encuentra ya sea en forma celular o de red que rodea a la perlita. Es un constituyente blando con relación a los demás, dúctil y resistente y fuertemente ferromagnética que lo conserva hasta la temperatura de 760°C. Prácticamente no tiene ninguna solubilidad para el carbono.

Esta estructura la podemos ver en la microfotografía No. 1. Las partes claras son de ferrita. Donde nos podemos dar más cuenta de esta clase de estructuras es en la microfotografía No. 3 y 4 que son estructuras de austenitas pero cuya semejanza con la ferrita se le puede confundir fácilmente si no se conoce la composición del acero.

CEMENTITA.—Es un carburo triférrico cuya fórmula es Fe_3C . Es el constituyente más duro que se conoce de los productos siderúrgicos pues su dureza en la escala de MOHOS es igual a seis. Este constituyente se presenta en los aceros que contienen una cantidad de carbono mayor de .90%.

PERLITA.—Es una mezcla de ferrita y de cementita dispuesta por lo general en láminas alternadas. Debido al poco aumento de la microfotografía No. 1 no se ve claramente estas láminas de los constituyentes en la parte oscura de la microfotografía.

AUSTENITA.—Es una solución sólida de carburo de hierro en hierro gama. Se presenta en el campo del microscopio semejante a la ferrita esto es cristales poliédricos cuyo máximo de carbono que

pueden contener disuelto es de 1.75% a la temperatura de 1145°C. En los aceros ordinarios es difícil obtener una estructura puramente austenítica debido a que el enfriamiento no es lo suficientemente rápido; pero con la adición de elementos especiales que actúan como retardadores (Mn, Ni, etc), se consiguen obtener estructuras puramente austeníticas estables a temperaturas ordinarias.

La microfotografía No. 3 es una estructura puramente austenítica.

MARTENSITA.—Es una solución de carburo de hierro en hierro alfa y por lo tanto es magnético por tener este último elemento.

Es el constituyente característico de los aceros templados a una temperatura superior a la crítica de transformación el enfriamiento debe ser en los aceros corrientes de una manera rápida y en agua pero en algunos aceros especiales debe de enfriarse en aceite o al aire.

Aunque hasta hoy no se ha podido definir exactamente su naturaleza si se puede afirmar que no contiene nada de hierro beta porque la martensita se forma después de pasado el punto A2 como a la temperatura de 300°C. Tampoco contiene cementita ya que este no tuvo tiempo de separarse por el rápido enfriamiento.

Se presenta al microscopio en forma de finas agujas de distinto tamaño acompañado a veces de trostita en los temple normales al aceite y con la austenita en los temple energicos al agua.

La microfotografía No. 2 nos muestra una estructura martensítica en un fondo de austenita obtenido de un acero al manganeso en un temple al agua.

LEDEBURITA.—Es el eutéctico con 4.29% de C. Se presenta en las aleaciones mayores de 1.75% de C porque la austenita al contener 1.75% de C. que es la cantidad máxima, no podrá contener más grandes de carburo ledeburítico que no es más que unos granos un fondo, de austenita con 1.75% de C.

TROOSTITA.—Se considera esta estructura como un agregado ultramicroscópico de cementina y hierro. Tiene su origen en los temple poco energicos, efectuados a baja temperatura o eniriéndolos en un baño poco conductor como el aceite.

Se presenta en forma de manchas oscuras sobre un fondo claro que es generalmente de martensita.

OSMONDITA.—Esta estructura es parecida a la anterior tiene poca importancia debido a que únicamente se presenta en los aceros eutéctoides revenidos entre 370 a 400°C.

SORBITA.—Este constituyente es como el anterior semejante a la troostita con la diferencia de que este se produce en los revenidos o sea por debajo del punto de transformación Acl y proviene de la descomposición de la martensita.

Esta estructura aparece en los aceros que previamente se han templado y se vuelven a calentar.

HARDENITA.—Esta estructura es parecida a la martensita solamente que es fina su estructura que casi es indefinible. Se presenta en los aceros con .90% de C. y templado a 769°C.

GRAFITO.—Es el carbono elemental al estado amorfo o cristalizado que constituye el elemento característico de las fundiciones grises, de la fundición maleable y de las aleaciones ferrosilíceas.

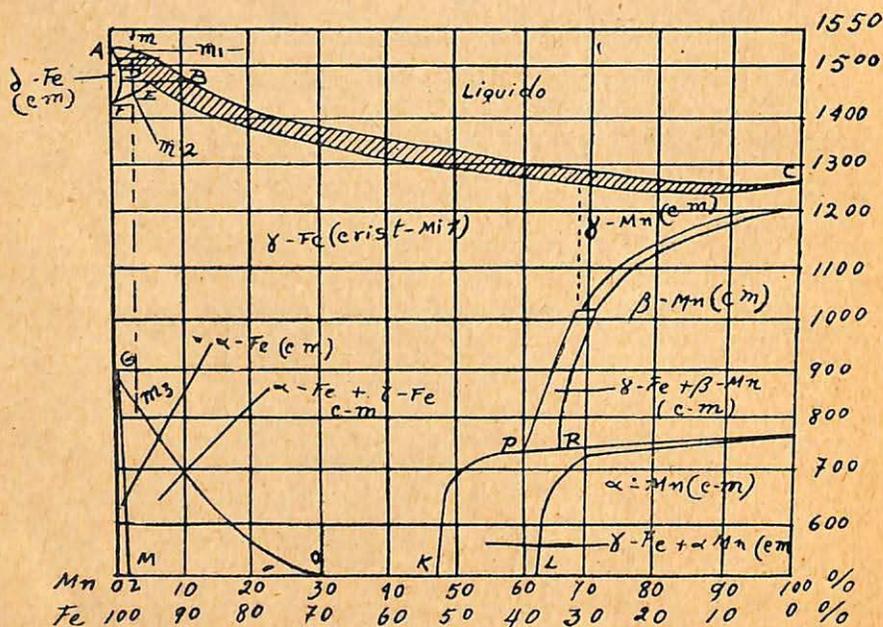
Se separa durante la solidificación lenta en los hierros que contienen una proporción de 2.30% de C. y cuando contienen apreciables cantidades de Si y de fósforo.

La forma cristalizada se reconoce porque se presenta en forma de laminillas en tanto que en la amorfa se separa por el recosido.

Se presenta a veces mezclado en fina división con la ferrita y entonces se le designa con el nombre de autectico de gráfico-ferrita.

El color que se observa en las fundiciones grises es debido al grafito libre que se ha separado, este se nota puliendo la muestra.

DIAGRAMA FIERRO-MANGANESO.—La figura No. 5 representa el diagrama de solidificación de una aleación Fe-Mn con un contenido de 100% cada uno. Como únicamente lo que interesa en este trabajo es de 15% como máximo por lo que trataré solamente de explicar el diagrama con un contenido de manganeso hasta de 30%. Por lo que respecta a las cantidades mayores basta con ver solamente las diferentes regiones del diagrama para saber el constituyente que se forma.



El punto A del diagrama nos indica el punto de solidificación del hierro puro que como sabemos es 1528°C .

La región ABEFDA prácticamente se conserva a la misma temperatura que en el diagrama hierro-carbono con la única diferencia que se necesita una cantidad de Mn mayor que la de carbono; de manera que si observamos los dos diagramas notamos que en diagrama hierro-carbono se necesita más o menos .35% de C para dar lugar a la formación del punto B mientras que el hierro-manganeso este punto tiene lugar con una dosis de Mn de 12%.

La línea Líquidus permanece idéntica al diagrama hierro-carbono pero no así la línea sólidos que se forma en un intervalo de temperatura relativamente corta después de la liquidus resultando estas dos líneas estrechas. Por ejemplo una aleación con 20% de Mn empezará a solidificar a 1420°C y terminará a 1380°C aproximadamente.

A una temperatura de 900°C aproximadamente en que tiene lugar la transformación del hierro gama a hierro beta en el diagrama hierro-carbono no sucede lo mismo en el de hierro manganeso sino que de una vez pasa el hierro-gama a hierro alfa.

Para una mejor explicación de los diferentes constituyentes que se forman durante el enfriamiento sucesivo seguiré el método clásico del punto imaginario en el diagrama que indique una aleación determinada que descienda conforme lo haga la temperatura.

Partamos por ejemplo del punto m en este lugar la aleación se encuentra al estado líquido, pero al llegar al punto m1 empezará a solidificar hierro delta con una proporción de manganeso igual al que marque la abscisa del punto que se encuentra en la línea AD. Este punto lo encontramos trazando una paralela a la abscisa desde el punto m hasta encontrar la línea AD. Estos cristales delta no son más que cristales mixtos que tienen en solución manganeso. En tanto que el punto donde está esta misma paralela corta a la línea AB la abscisa de este punto nos indica la solución en equilibrio con ellos.

Si la temperatura desciende hasta la línea DB la aleación sufre una transformación: los cristales delta en contacto con la aleación líquida pasan a cristales gama con una cantidad de Mn igual al que marca la abscisa del punto E.

Pero como la parte líquida que existe en la aleación no es suficiente para que todos los cristales delta se transformen en gama quedará por debajo de la línea DE un resto de cristales delta mezclados con los gama formados.

Si el enfriamiento prosigue los cristales delta seguirán transformándose en gama hasta llegar al punto m2 en que todos los deltas se han transformado en gamas.

De manera que en la región comprendida en ABED se encontrarán cristales mixtos delta con solución líquida.

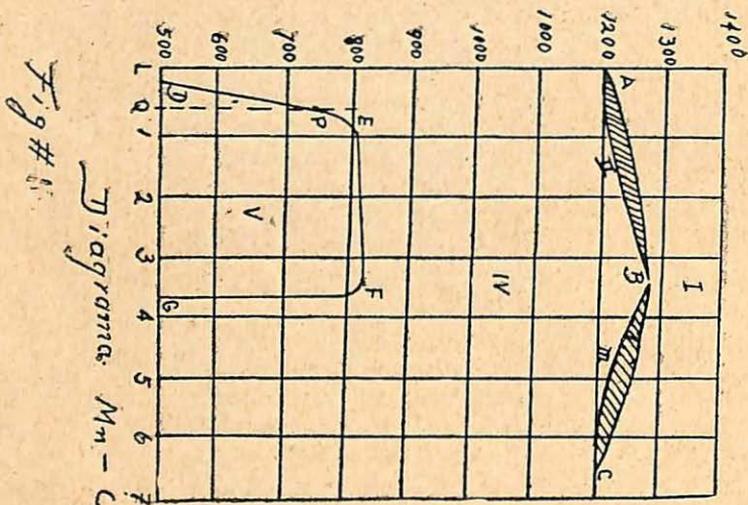
En la región DEF habrá una mezcla de cristales delta con gama en estado sólido ya toda la masa.

Por debajo de la línea FE habrá una solución sólida de hierro gama y manganeso.

Al seguir descendiendo la temperatura y llegar a la línea GO se seca en el punto m3 empezará la segregación de hierro alfa que coexistirá con los gama hasta temperaturas relativamente bajas. Esta cantidad de hierro alfa tendrá en solución una cantidad de manganeso igual al que marque la abscisa del punto que se encuentra en GZ haciendo lo mismo que en el caso anterior de los deltas.

En la región GOZ habrá, pues, una mezcla de cristales alfa y gamas. Pero en la región G cero Z se encontrará únicamente cristales alfa mixtos con una cantidad de manganeso igual al que marque la abscisa del punto de la aleación que se considera.

DIÁGRAMA CARBONO-MANGANESO.--En la parte superior del diagrama podemos notar que se trata de un caso de total solubilidad al estado líquido y también al estado sólido. Esta solubilidad se manifiesta a temperaturas elevadas de 1200 para arriba, hasta llegar a un máximo que es el punto B.



En la región I de este diagrama tendremos solución líquida. En las regiones II y III parte sólida y parte líquida la parte sólida estará constituida en parte de una solución sólida de manganeso y carbono y por otra parte un compuesto semejante al Fe_3C que es el Mn_3C . En la región IV toda la masa ha solidificado.

En la región V del diagrama vemos un caso de soluciones conjugadas esto es una parcial solubilidad de los componentes.

Tiene lugar aproximadamente a una temperatura de $840^{\circ}C$ con una proporción de carbono no mayor de 3.5%. Consiste en que los cristales de la región IV sufren un desdoblamiento de sus componentes Mn_3C . Un punto P. de la curva. DEFG nos indica que el manganeso tendrá disuelto LQ% de C. Notamos que al ir descendiendo la

temperatura la solubilidad del carbono se va disminuyendo en el manganeso. En esta región V tendremos pues dos soluciones saturadas de manganeso y carbono.

Esta clase de solubilidad la podemos comparar con la que se efectúa entre el agua y el fenol que al mezclarse se separan las dos sustancias saturándose cada una de la otra.

CAPITULO V.

ESTUDIO METALOGRAFICO.

TECNICA.— Consiste en observar una pequeña muestra o probeta bien pulimentada y atacada en el microscopio metalográfico.

Esta probeta se saca de una muestra mayor con el esmeril y se desbasta una de las caras que va a servir de observación, teniendo cuidado de no pulir una superficie grande porque el pulimento se hace difícil y laborioso, basta con medio centímetro cuadrado.

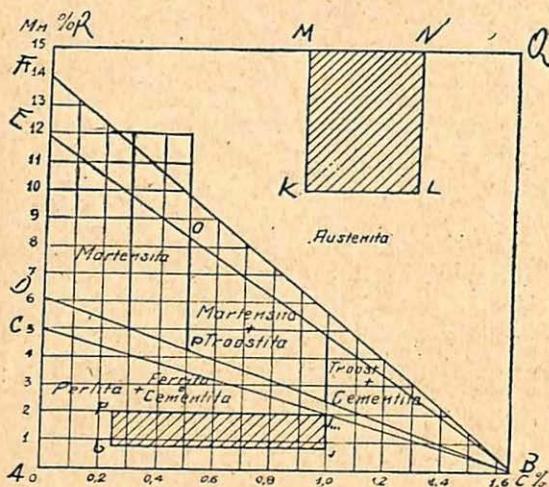
El pulimento se lleva a cabo en lijas numeradas en orden de creciente de su grano, así tenemos las del número 2, IG, 1M, 1M, 1F, O y OO. Se trata primeramente con la del número 2, en seguida con la IG en un sentido perpendicular al anterior hasta que desaparezcan las rayas de la lija anterior, siguiendo así con las otras hasta la 1F. pasando a pulir en una máquina que tiene un disco de madera que tiene adherida una tela de lona en la superficie. El disco gira por medio de un motor eléctrico que le imprime una rotación de 300 a 350 revoluciones por minuto, este disco tiene un diámetro de 21 cm. A la hora de estar puliendo se impregna la tela con una solución de aceite emulsionado que tiene en suspensión polvo de esmeril que se va echando con una piceta. Una vez que se termina con este disco se lleva a la lija O y a continuación con la OO, para pasar por último a pulir en un disco semejante al anterior forrado su superficie con un paño, usando en vez de la solución anterior otra de agua que contiene alúmina de diez a veinte horas en acentar. Una vez que la cara no presente rayas en el microscopio se da por terminada la operación.

Se procede una vez pulida la cara a atacarle con un reactivo adecuado, en mi caso usé el HNO₃ al 5% en alcohol dejándola atacar aproximadamente tres cuartos de hora en este reactivo. En seguida se lava con agua al chorro de la llave limpiando bien la cara y lavándola finalmente con alcohol. Una vez concluida esta operación la muestra queda lista para su observación microscópica.

ESTRUCTURAS.—En estos aceros se pueden representar según la cantidad de Mn y de C que contengan tres diferentes estructuras micrográficas.

- 1o. Aceros de estructuras perlítica.
- 2o. " " " martensítica.
- 3o. " " " austenítica.

En el diagrama de la figura 7 debida a Guillet se encuentran señalados los límites de C y Mn de los aceros que se usan en la práctica; así vemos que únicamente tienen interés industrial los aceros perlíticos y austeníticos, pues los martensíticos por su fragilidad no encuentran aplicación práctica. En el diagrama vemos que los aceros perlíticos industriales la cantidad de C está comprendido entre los límites .25% a .1% y el Mn desde 9 hasta 2% marcado en la figura por las letras HIJG.



Los austeníticos industriales el C varía desde .90 hasta 1.30% y el Mn de 10 a 15% señalado en el diagrama por las letras KMNL.

Guiándonos en el diagrama vemos que la estructura perlítica se presenta en toda la región ABC más un elemento proeutectoide según la dosis de C. Esta estructura es por lo tanto semejante a un acero ordinario recocido hipo o hiper-eutectoide, este acero es magnético porque lo son sus constituyentes.

La microfotografía No. 1 muestra la estructura hipoeutectoide de un acero con 2.42% de Mn y .75% de C la parte oscura corresponde a la perlita y la clara a la ferrita.

La estructura martensítica pura se presenta según el diagrama en el espacio comprendido entre las letras OPDE. Así por ejemplo una dosis de Mn de 7 a 10% y de 1 a 2% de C se presenta la martensita. Este acero es como el anterior magnético, y presenta la estructura como la de un acero ordinario templado.

En la microfotografía No. 2 podemos observar esta clase de estructura.

La estructura austenítica se puede presentar en los aceros de 10 a 15% de Mn y de .6 a 1.6% de C como lo podemos observar en el diagrama. Esta estructura es semejante a la ferrita pero este consti-

tuyente no es magnético.

En la microfotografía No. 3 observamos una estructura puramente austenítica de un acero con .97% de C y con 11.65% de Mn. Esta muestra fué templada y presenta líneas de deslizamiento que indican las tensiones intercrystalinas.

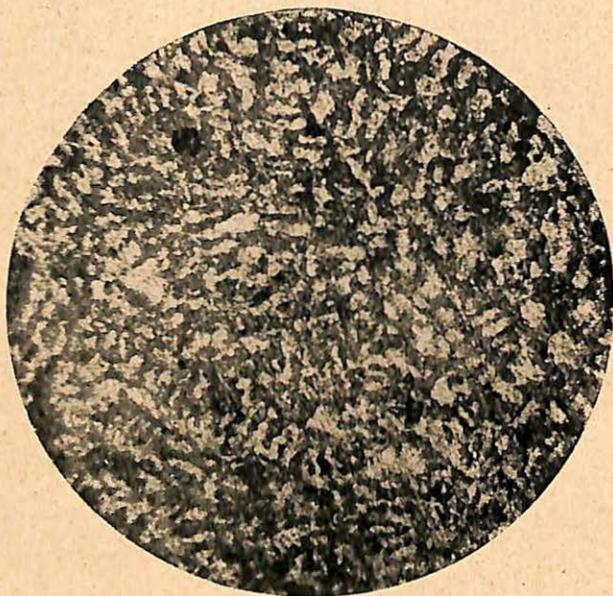
La microfotografía No. 4 muestra también una estructura austenítica, que son las partes claras y que en parte esta estructura se ha transformado en perlítica que son las partes oscuras. Esta transformación fué debida a un tratamiento de recocido a una temperatura de 950°C dejándola enfriar lentamente en el horno.

La microfotografía No. 5 que corresponde a una estructura de colada, vemos que los cristales con austenítico y que en los intersticios cristalinos hay puntos oscuros que son principalmente de carburos dobles de hierro y manganeso porque la dosis de C en estos aceros es regular y le comunican al producto una fragilidad que lo hacen inaplicable, por lo que es necesario darle a este acero un tratamiento de temple superior al punto Ac3, por que a esta temperatura se disuelven los carburos dobles en la austenita y al enfriar rápidamente al agua se consigue llegar por el punto de difusión antes que los carburos puedan precipitar de nuevo, así obtendremos una estructura igual al de la microfotografía No. 3 de una sola fase, de austenita pura que contiene disueltos los carburos que antes se encontraban libres.

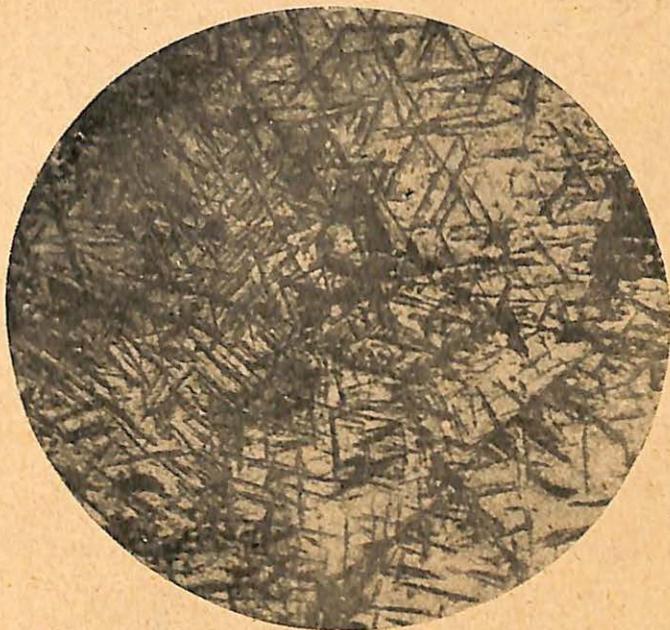
Las microfotografías No.4, y 5 corresponden a una composición química igual al No. 3 puesto que se trata del mismo acero con diferente tratamiento.

Estas microfotografías fueron tomadas con objetivo de mm. ocular de 7.5, fuelle: 35 cm. Filtro verde, tiempo 30 seg. y el aumento es de 273.

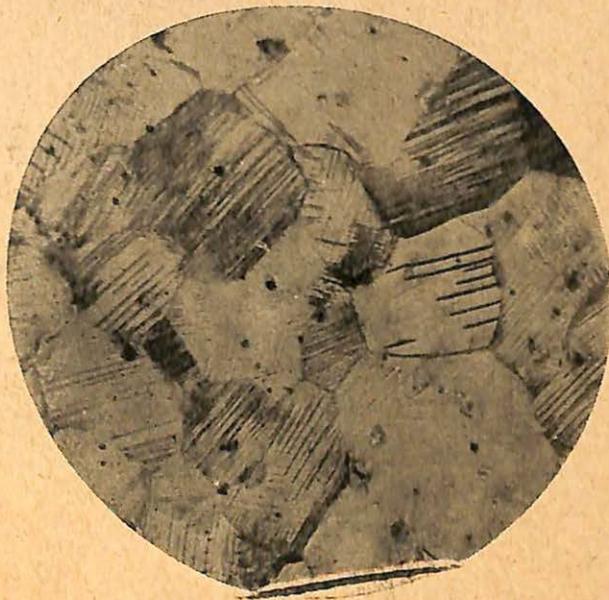
—)0(—



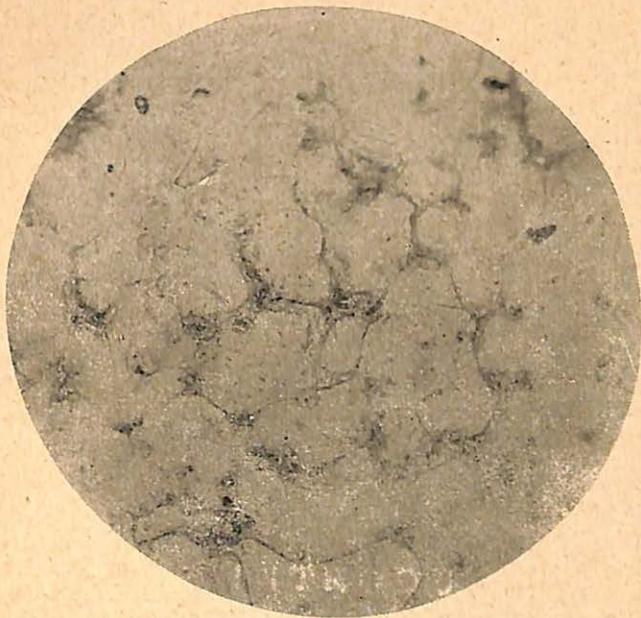
MICROFOTOGRAFIA NUM 1



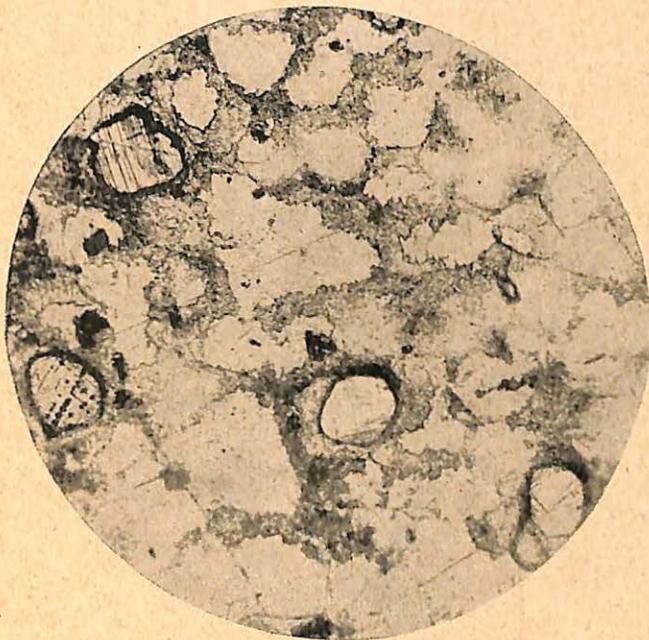
MICROFOTOGRAFIA NUM. 2



MICROFOTOGRAFIA NUM 3



MICROFOTOGRAFIA NUM. 4



MICROFOTOGRAFIA NUM. 5

FE DE ERRATAS

- Pág. 1. Línea 31, dice: eslástico; debe decir: elástico.
- id 2. Líneas 2 y 10, dice: eslástico debe decir: elástico.
- id 2. Línea 32, dice: reconocido; debe decir: recosido.
- id 8. Línea 30, dice: fierro; debe decir: hierro.
- id 9. Líneas 43 y 46, dice: reacicona y reaciona; debe decir: reacciona.
- id 10. Línea 47, dice: $\text{FeO} \cdot \text{Mn}=\text{Mn}-\text{Fe}$; debe decir: $\text{FeO} \cdot \text{Mn}=\text{MnO} \cdot \text{Fe}$.
- id 28. Línea 2, dice: austenta; debe decir: austenita.
- id 30. Línea 12, dice: autectico; debe decir: eutéctico
- id 33. Línea 8, dice: Estudio Metalográfico; debe decir: Control Metalográfico.
- id 35. Línea 27, dice: de mm.; debe decir: de 8 mm.

NOTA:—En las ecuaciones químicas la atomicidad, que debía ponerse en la parte inferior derecha de los símbolos por falta de elementos se tomó un tipo igual a los coeficientes de las reacciones.

UNAM

FECHA DE DEVOLUCIÓN

El lector se obliga a devolver este libro antes
del vencimiento de préstamo señalado por el
último sello



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

