

Universidad Nacional Autónoma de México

---

FACULTAD DE QUIMICA

**TESIS DONADA POR  
D. C. B. - UNAM**

**Fabricación de Acero en Horno Eléctrico**

**T E S I S**

Que para obtener el título de :  
QUIMICO METALURGICO

p r e s e n t a :

**FRANCISCO GARMENDIA PALOMEQUE**

---

México, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **I N D I C E**

**- I N T R O D U C C I O N**

**- H I S T O R I A**

**- G E N E R A L I D A D E S**

**- C A P I T U L O - I -**

\* Principios de fusión, desfosforación, afinación, desulfuración, desoxidación, y puesta en punto.

**- C A P I T U L O - I I -**

\* Carga, fusión, afinación .

**- C A P I T U L O - I I I -**

\* Desoxidación, desulfuración y puesta en punto.

**- C O N C L U S I O N E S**

**- B I B L I O G R A F I A**

## I N T R O D U C C I O N

En la última década se ha observado un aumento en la producción de acero y gran cantidad de éste ha sido producido en hornos eléctricos de arco, pues la versatilidad de los mismos permite fabricar una gama de aceros, desde los más comunes al carbono hasta los de aleación, y todos de una gran pureza.

El objeto de este trabajo es presentar diferentes puntos de vista para la fabricación de acero en los hornos eléctricos de arco, en conjunto con los aspectos teóricos y prácticos que se han desarrollado y de los cuales sólo se hará mención en forma general.

## H I S T O R I A

El desarrollo del horno eléctrico se inicia en 1880, cuando Sir Williams Siemens, descubrió que - podía emplearse un arco eléctrico para fundir metales en un espacio confinado.

En 1898, Staesano proyectó un horno horizontal para la reducción del mineral de hierro, usando - un arco indirecto.

En 1899, el Dr. Paul Heroult aplica el principio del arco directo y construye el primer horno -- eléctrico utilizable industrialmente, siendo conside- rado como el más importante inventor de diseño y construcción de hornos eléctricos de arco.

Este proceso sustituyó gradualmente el de - crisol, especialmente para acero de herramientas. Du- rante la primera guerra mundial recibió un gran impulso, que se demuestra con la estadística siguiente: En 1931, había 19 hornos con capacidad anual de 30,000 toneladas y en 1918, ya eran 282 hornos con capacidad de producción de 310,000 toneladas por año.

Durante los años siguientes hubo un lento - avance y en 1940 se aceleró, triplicándose la capaci-dad en 3 años por la necesidad de acero de mejor cali-dad, sobre todo para armamento. El horno de arco es - el que más ventajas tiene, ya que en él se pueden al- canzar temperaturas elevadas bajo regulación y control permite el trabajo del metal bajo condiciones de esco

ria oxidante, reductora ó neutra, y mediante el control de estas circunstancias se puede regular la composición química, obteniéndose así aceros más puros, con mayor rendimiento y menor rechazo, partiendo de materias primas de menor calidad.

## GENERALIDADES

Los principios que son la base para la fabricación del acero, son los siguientes:

- 1º Fundir en las mejores condiciones la carga que se preparó especialmente para el metal a elaborar.
- 2º Eliminar las impurezas (las principales: fósforo, azufre y los gases).
- 3º Obtener un metal calmado, de calidad y con la composición química especificada.
- 4º Vaciar este metal del horno a la temperatura apropiada y en las mejores condiciones posibles, ya sea en moldes o lingoteras, colarlo para obtener piezas o lingotes, ó utilizar para colar la máquina de colada continua.

Esta enumeración que parece evidente, es en efecto todo lo que se pide al acerista. El fin de este trabajo es el de exponer brevemente las reglas sobre las cuales se debe uno apoyar para realizar esas exigencias.

Se estudiarán a continuación las diferentes fases de una elaboración básica, clásica, a saber: desfosforación, afinación, desoxidación, desulfuración y puesta a punto de colada. Este es el orden automáticamente aplicado en la práctica para la elaboración de un acero ordinario ó de un acero aleado de construcción.

La gama tan amplia de aceros elaborados en el horno eléctrico conduce a la utilización de otros procedimientos, pero nos limitaremos a exponer los métodos que son usados más comúnmente en las acerías -- eléctricas.



## C A P I T U L O 1

PRINCIPIOS DE FUSION, DESFOSFORACION, AFINACION, DESULFURACION, DESOXIDACION y PUESTA EN PUNTO.

### FUSION

La carga del horno eléctrico está constituida generalmente de fierro esponja, de retornos de laminación y de chatarra de diversos tipos, (el fierrogris es sustituible y se sustituye con frecuencia por pedacería de electrodos).

Cuando se trata de la fabricación de un acero especial, se ponen en la carga regresos conteniendo los elementos que formarán parte del metal a elaborar. De entre estos elementos especiales algunos son muy oxidables y se perderán casi completamente durante la fusión y la afinación, otros lo son menos y otros muy poco. El níquel es del tipo de elementos poco oxidables, la carga tendrá pues la mayoría de las veces, un contenido de níquel vecino al deseado para colar; este metal provendrá, una parte de la chatarra y otra de adiciones del níquel mismo, ó de las aleaciones con níquel. Pero los elementos principales de la carga son el carbono y el manganeso.

En principio, el contenido de carbón en el lecho de fusión es más elevado entre más duro es el acero por fabricarse. Sin embargo, hay excepciones a esta regla en la elaboración de aceros duros, los cuales reciben al final de la afinación una dosis masiva

de carbono (bajo la forma de carbón en polvo puesto - después de escoriar), el carbono de la carga será sensiblemente inferior al carbono del acero por fabricar. Será lo mismo para los aceros que deben ser muy bien-desfosforizados ó desmanganezados (y que deben, como lo veremos más tarde, ser descarburizados hasta valores muy bajos).

Como regla general, el principio siguiente aplicable:

" Debe tenerse en las cargas un contenido de carbonotal que después de la fusión este contenido sea de 30 a 40 puntos arriba del porciento especificado - como final, para que el metal sufra una buena afinación " . Por ejemplo: Si deseamos elaborar un acero de 0.18% de carbón, en la primera prueba se tiene a tener 0.48% de carbón .

El manganeso de la carga será más elevado - entre más dulce sea la especificación pedida. Además de los regresos y chatarra conteniendo manganeso, habrá que agregar generalmente una aportación suplementaria del manganeso, por medio del ferromanganeso. El manganeso es necesario para preservar el metal de una oxidación excesiva: el óxido de manganeso se forma durante la fusión y la afinación es menos soluble en el metal que el óxido de fierro, pasa fácilmente a la escoria y el contenido de óxido de fierro disuelto en el acero, será menor entre mayor sea el contenido de manganeso. Sin embargo este contenido no deberá ser demasiado elevado ya que entonces podría molestar durante la desfosforación como lo veremos más adelante.

La escoria constituída generalmente por una

~~mezcla de cal y mineral, se forma durante la fusión.~~

La adición de espato fluor le permitirá -- fluidificarse rápidamente y comenzar su acción antes del final de la fusión, sobre todo en aquello que concierna a la desfosforación. Cuando se ha terminado la fusión, se está generalmente en presencia de un baño líquido a temperatura poco elevada, poco homogéneo en su composición, que contiene en solución óxido de fierro y gases, que ha podido ser sobrecalentado y es -- por ésto que debe tener un contenido de carbono suficiente para permitir la afinación.

### DESFOSFORACION

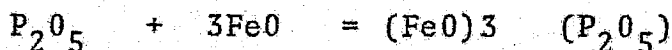
El fósforo es un elemento indeseable en el acero, lo endurece un poco menos que el carbono, pero le dá una cristalización de granos grandes que le confiere una fragilidad extrema. Su contenido peligroso-varía con el de otros elementos que exáltan los efectos del fósforo.

Este elemento fué un problema durante mucho tiempo y sólo a partir de 1878, con el descubrimiento del Ingles Thomas, se pudo eliminar del acero.

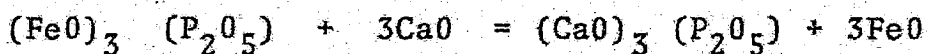
Su eliminación se basa en los siguientes -- puntos:

- a) Temperatura del baño
- b) Oxido de fierro en el baño
- c) Escoria fluída básica
- d) Contenido adecuado de carbón
- e) Contenido de otros elementos.

Las reacciones que se suceden son:



Este complejo no es estable y al elevarse la temperatura se invierte la reacción, por lo que es necesario utilizar cal para eliminar el  $\text{P}_2\text{O}_5$ .



El complejo de calcio y fósforo se elimina con la escoria.

a) Temperatura del baño. - Debe ser baja ( $1530^\circ\text{C}$  a  $1580^\circ\text{C}$ ), porque se favorecen las reacciones químicas.

b) Oxido de fierro en el baño. - Esto se observa claramente en las reacciones químicas, ya que se necesita éste para formar el complejo que reaccionará con la cal y poder eliminar el fósforo, lo cual se obtiene agregando mineral de hierro al baño.

c) Escoria fluída y básica. - Una escoria fluída es más activa ya que facilita las reacciones entre ella y el acero líquido.

Como se vió en las reacciones químicas para que el pentóxido de fósforo pase a la escoria, es necesario que ésta contenga una cantidad de cal libre suficiente (grado de basicidad).

El grado de basicidad se determina por la relación:

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \text{ ó por } \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 \times \text{P}_2\text{O}_5}$$

Un rango adecuado es entre 3.0 y 3.5, por lo que es importante que el contenido de silicio sea lo más bajo posible.

d) Contenido adecuado de carbono.- Se ha visto que la desfosforación se logra a baja temperatura, esto se debe a que la oxidación actúa sobre el fósforo y no sobre el carbono, si se eleva la temperatura, ésta actuará sobre el carbono y para que la desfosforación se obtenga, es necesario llegar a contenidos bajos de carbón.

e) Contenido de otros elementos.- La presencia de contenidos elevados de elementos fácilmente oxidables dificultan la desfosforización, ya que se oxidarán primero evitando que lo haga el fósforo.

El escoriado debe hacerse perfectamente, -- pues si queda escoria en el baño, las adiciones desoxidantes que se agregan después, regresarían el pentóxido de fósforo al baño.

Será entonces inútil hacer una desfosforización cuidadosa y después escoriar mal.

Para escoriar, se agregan mineral de hierro y cal, al reaccionar con el baño se aprovecha la incli

nación que se le puede dar al horno eléctrico hacia la puerta, (aproximadamente  $15^\circ$  del plano horizontal), sacando la escoria lo mejor posible, (se puede utilizar un rastrillo si fuera necesario), al terminar se agrega cal para proteger el baño y formar una escoria básica, la que nos ayudará en siguientes etapas del proceso.

### AFINACION.

Esta fase de la elaboración es junto con la desoxidación una de las más importantes de la colada, ya que de ella depende en la mayor parte la calidad del acero y la experiencia prueba que si la afinación ha sido bien hecha, las posibilidades de éxito son mayores.

Afinar quiere decir "hacer más puro" y la afinación está caracterizada efectivamente, por la eliminación de ciertas impurezas contenidas dentro de la carga. No se debe entender por impurezas sólo los elementos perjudiciales, ya que la afinación, hace desaparecer algunos elementos que ocasionalmente habría interés por conservar, en lugar de otros nefastos que se quisieran eliminar y permanecen en el acero.

La afinación se realiza oxidando el baño metálico, ya sea con mineral de fierro (algunas veces con mineral de manganeso), ó por medio del oxígeno. El óxido de fierro actúa sobre los diferentes elementos contenidos en el metal, pero no actúa sobre todos con la misma eficiencia, en efecto, esos elementos no presentan frente al oxígeno la misma afinidad y pue--

den ser clasificados por su afinidad en la siguiente forma:

Al Ti V Si Mn Cr P Mo Fe Ni Co As Cu



### Afinidad por el oxígeno

El aluminio es el más ávido por el oxígeno y el cobre el menos ávido. Por esta simple clasificación se muestra que al introducirse óxido de fierro en el baño líquido, se puede esperar eliminar en parte ó en su totalidad a los elementos que preceden al fierro, pero se estará sin acción ó casi sin ella sobre los elementos que le siguen.

Para ilustrar lo que se ha dicho sobre el fósforo cuya eliminación es retardada por la presencia de ciertos elementos, el exámen de la lista anterior indica que si los elementos que lo preceden existen en cantidades elevadas, la oxidación se hará sobre ellos sin actuar sobre el fósforo. Entre estos elementos los tres primeros (Al, Ti, V,) son los menos molestos ya que generalmente están presentes en pequeñas cantidades y desaparecen rápidamente del metal. El silicio se elimina con igual rapidez, pero a contenidos altos es muy perjudicial ya que satura a la cal libre de la escoria.

El Mn y el Cr a contenidos elevados perjudican considerablemente la desfosforización.

Entre los elementos que siguen al fierro y que por lo tanto no pueden ser eliminados, uno de ellos

es en particular interesante, el Níquel, ya que entra en la composición de numerosos aceros en contenidos altos; siendo menos oxidable que el fierro, puede recuperarse fácilmente pero por otro lado no puede ser eliminado de los aceros que no deben contenerlo.

Los mismos comentarios para el Co, que es un metal muy caro y sobre el cuál la oxidación actuará poco.

Finalmente el cobre es un elemento, la mayoría de las veces indeseable, su posición al final de la lista, muestra que no habrá acción para él.

Sería deseable en ciertos casos que se pudiera conservar el Cr, que como el Níquel entra en la composición de numerosos aceros especiales. Se ve que por el lugar que ocupa en la lista, habrá pérdidas de él en un baño oxidado; si se quisiera recuperar la mayor parte de este elemento, no habría que oxidar el metal, es decir suprimir la fase de afinación, ó sería necesario, después de una afinación normal no escoriar y desoxidar la escoria, lo cuál permitiría recuperar una gran parte del Cr, pero tendría el inconveniente de regresar fósforo al baño.

Naturalmente el elemento se eliminará más difícilmente entre más cerca del fierro esté en la lista, es por eso que la pérdida de Mo, generalmente es tan pequeña que permite recuperar una gran parte de este metal.

No sólomente la clasificación de los elementos rige su eliminación. La naturaleza de la escoria -- juega igualmente su papel, al reaccionar en ciertos casos con los óxidos formados. Es por esto que sin la ayu



da de la cal que capta el pentóxido de fósforo, se tendría una desfosforización muy pobre. El manganeso se elimina más rápido del metal en una operación ácida que en una operación básica, ya que el óxido de manganeso se disuelve mucho mejor en una escoria ácida.

Durante el período de afinación los elementos de que se ha hablado van a abandonar el metal en cantidades más ó menos grandes y pasan a la escoria bajo la forma de óxidos.

Pero hay un elemento que juega durante la afinación un papel primordial y este es el carbono.

De todos los elementos disueltos en el acero el carbono es el único que se elimina en estado gaseoso sin este fenómeno, la elaboración del acero tendría dificultades algunas veces insuperables.

La ebullición del baño líquido debida a la salida del óxido de carbono es en efecto necesaria, por las cinco razones siguientes:

a) Calentamiento del baño.- El metal en el horno eléctrico, no se calienta más que en la superficie, sólo la capa superior del baño ve aumentar su temperatura. El metal en contacto con el piso, casi no se calienta, (la agitación mecánica probada en algunas ocasiones se muestra insuficiente para homogeneizar la temperatura), sólo la salida del CO, que tiene lugar en todo el baño líquido y que presenta una agitación extremadamente intensa permite llegar al objetivo deseado. Es más una escoria inmóvil refleja la mayor parte del

calor que recibe mientras que una escoria agitada absorbe mucho más calorías. El baño agitado por el CO, se calentará más y en toda su masa.

b) Eliminación de gases. - No se tratará mucho sobre este tema, que es un problema que está hoy muy a la orden del día. Se dirá únicamente que es de primera importancia el buscar en la colada un contenido de gases lo más bajo posible. Es la afinación la que permite eliminar los gases, ya que las burbujas de CO que se desprenden, arrastran con ellas los gases disueltos. Las determinaciones analíticas efectuadas al final de la afinación muestran que el contenido de hidrógeno se baja considerablemente. Se comprueba en efecto que valores de 6 - 8 cm<sup>3</sup>/100 gmos. de contenido de hidrógeno al final de la fusión, bajan frecuentemente a 3.5 cm<sup>3</sup>/100-gmos. al final de la afinación. Esto supone, evidentemente que el mineral ó el oxígeno utilizados estén perfectamente secos. La afinación es el medio más eficaz de que dispone el acerista para eliminar los gases del metal.

c) Homogeneización de la composición. - Es evidente que una muestra de metal que se utilice para el análisis ó la determinación de la dureza, debe tener la composición media del metal del horno, lo cuál no sería el caso si se tomara la muestra antes que la agitación del baño haya sido efectuada.

d) Aceleración de las reacciones. - Las reacciones químicas que se operan entre el metal y la escoria, son generalmente lentas, ya que tienen lugar sólo en las partes inferiores de la escoria, y las capas superiores

del baño de acero. Pero el caso es diferente si una -  
agitación intensa se produce en el baño; entonces las  
zonas de contacto metal-escoria se aumentan y las reac-  
ciones se aceleran. Esto es en particular importante-  
para la desfosforización.

e) Acción sobre las inclusiones, - La teoría gene-  
ralmente aceptada dice que la afinación es necesaria-  
para librar el baño de inclusiones oxidadas que se --  
forman durante la fusión y que provienen de la carga.  
Sin embargo no se insistirá sobre este asunto, ya que  
los resultados obtenidos en coladas hechas a simple -  
fusión ó con poca afinación, han mostrado que se pue-  
den obtener en esta forma aceros limpios.

Es probable que sea sobre todo la alta tem-  
peratura resultante de una buena afinación, lo que --  
permita la decantación fácil de las partículas. Duran-  
te este período de agitación del baño, el carbono se-  
elimina más rápido entre mayor sea la temperatura y -  
más oxidados estén el metal y la escoria.

Se ha señalado además que siempre se tiene-  
el interés en evitar al final de la afinación conteni-  
dos de carbono demasiado bajos. Recordando la ley de-  
Vacher y Hamilton, que indica que el producto  $C \times FeO$ ,  
es sensiblemente constante en el equilibrio, se mues-  
tra que a mayor % de C, en el baño, estará menos oxi-  
dado y como consecuencia la desoxidación será más fá-  
cil. Cuando el trabajo del baño se ha efectuado sufi-  
cientemente para llevar el acero al % de C, deseado y  
que por consecuencia todos los fenómenos mencionados-  
se han desarrollado normalmente (paso de ciertos ele-

mentos del metal a la escoria, desfosforización, homogeneización de la composición, calentamiento del metal y desgasificación), se procede al escoriado. Este escoriado con rastrillo debe hacerse en condiciones perfectas lo cuál significa no sólo la eliminación de la escoria oxidada, sino también la rapidéz, ya que un baño parcialmente descubierto se enfriará rápidamente y su poder de absorción de gases es muy elevado.

Durante toda la duración de la afinación, convendrá mantener un cierto contenido de manganeso con excepción naturalmente, en los aceros para los cuales se busca un bajo contenido de este metal, en cuyo caso no sólo no se hará ninguna adición de él sino que se avanzará en la afinación hasta obtener un % de C, bajo para poder eliminarlo.

### DESULFURACION.

Es bien sabido que el azufre es un elemento extremadamente nocivo en el acero, actúa en particular sobre la facultad de transformación del metal. Un acero con un contenido de azufre demasiado elevado, es quebradizo y no puede laminarse ni forjarse sin rajaduras. En efecto el sulfuro de fierro que tiene un punto de fusión bajo, tiene la tendencia de concentrarse en las uniones de los cristales y a la temperatura de transformación, que la mayoría de las veces es arriba de 1,000°C, estas uniones se ablandan y los cristales se separan por efecto de la presión.

Por otra parte, un estudio de Colombier, ha mostrado claramente la repercusión que puede tener el

azufre, inclusive en contenidos bajos, sobre las características mecánicas del acero y en particular sobre la resistencia al impacto.

Los aceros elaborados en el horno eléctrico deben tener necesariamente un contenido muy bajo en azufre.

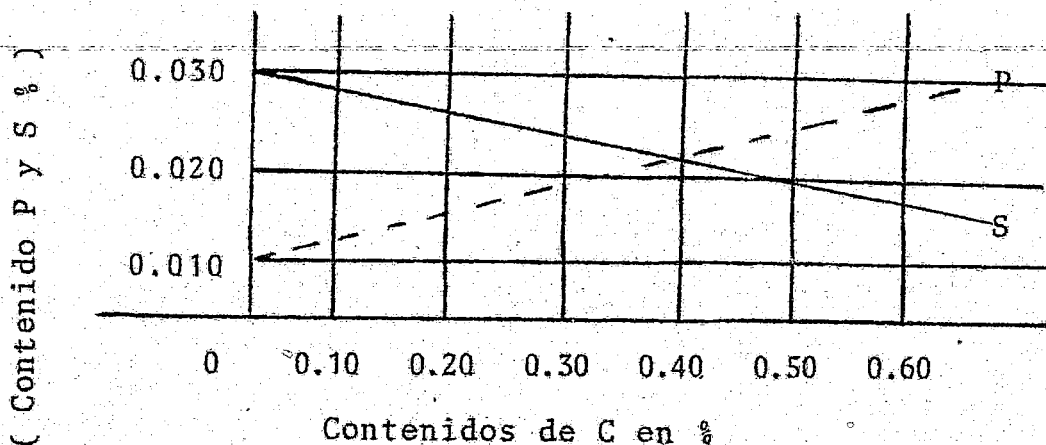
La desulfuración en el horno eléctrico, es pues una fase esencial de la elaboración. Se verá que se opera al mismo tiempo que la desoxidación y que es para un acero bien elaborado, casi sistemática.

Las dos impurezas fundamentales, el azufre y el fósforo, exigen para su eliminación condiciones opuestas.

Mientras que el fósforo se elimina durante la afinación en un baño oxidado, el azufre sólo puede extraerse del metal en condiciones reductoras. La salida del fósforo exige una escoria oxidante, mientras que la salida del azufre requiere una escoria calcárea reductora.

En apoyo a lo anterior, se dan a continuación los contenidos de fósforo y azufre obtenidos en un horno de hogar abierto, para aceros de dureza creciente hechos con los mismos tipos de materias primas y que muestran claramente que el azufre es más bajo entre mayor sea el carbono; y al contrario el fósforo es más bajo entre mayor sea el carbono.

GRAFICA N° 1



Un baño está menos oxidado entre mayor sea el % de C, la gráfica anterior muestra bien que la oxidación del baño favorece la salida del fósforo, pero obstaculiza la salida del azufre.

En el horno eléctrico, contrariamente a lo que pasa en el hogar abierto, se puede desfosforizar bajando el carbono suficientemente y se puede desulfurar un acero más fácilmente.

También no es menos cierto, que la salida del azufre en el horno eléctrico es más marcada entre más puro sea el baño.

El sulfuro de fierro y el sulfuro de manganeso dan en efecto, con la cal de la escoria y sobre todo con el carburo de calcio, el sulfuro de calcio, pero si la escoria contiene óxidos de fierro ó de Mn, el sulfuro de calcio formado, reaccionará con ellos para reproducir cal, y los sulfuros de Fe y de Mn, que regresarán al metal. Precisa entonces, para que el sulfuro de calcio pueda permanecer en la escoria -

que no esté en presencia de óxidos reductibles de Fe y de Mn. Durante la afinación en el horno eléctrico, cuando se trabaja en presencia de una escoria muy cálcica, se puede eliminar una parte del azufre, pero ella será siempre menor, que aquella que se elimina al final de la elaboración bajo una escoria desoxidada.

Para precisar los hechos, se dan los análisis ejecutados sobre una colada de acero ordinario al final de la fusión, al final de la afinación e inmediatamente antes de colar:

	S	P
Al final de la fusión	0.023%	0.010%
Al final de la afinación	0.022%	0.005%
Antes de colar	0.011%	0.012%

Estos resultados muestran que durante la afinación no se registra ninguna disminución de azufre mientras que la de fósforo es clara y que durante la desoxidación el azufre baja más frecuentemente mientras que el fósforo sube un poco por recuperación de la escoria.

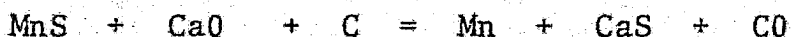
Las condiciones necesarias para una buena desulfuración son las siguientes:

a) Operar en presencia de una escoria bien desoxidada y con alto contenido de cal. Sin embargo, la experiencia prueba que un cierto contenido de  $\text{SiO}_2$ , no molesta:



b) Tener una escoria suficientemente fluída para que reaccione bien con el baño.

c) El Mn es favorable, ya que el sulfuro de Mn, se decanta fácilmente; este elemento sirve, como vehí- culo del azufre:



d) Una temperatura elevada facilita la desulfuración, la temperatura del metal en el horno eléctrico- en el momento de la desoxidación es generalmente sufi- ciente.

e) Finalmente es necesario que el contacto esco- ria-metal sea de una duración suficiente, ya que las- reacciones son lentas y una fase de desulfuración de- masiado corta tendrá efectos mediocres.

El horno eléctrico es un equipo perfectamen- te bien adaptado para la desulfuración, debido al he- cho de que en su seno se puede obtener y conservar -- una escoria con un alto grado de desoxidación. Este -- es uno de los puntos sobre los cuales el horno eléc- trico se muestra superior al de hogar abierto, en el -- cual es difícil, si no imposible, realizar una atmós- fera no oxidante para una eliminación perfecta del -- azufre.

### DESOXIDACION.

El metal al final de la afinación contiene- en solución óxido de fierro, el cual es necesario eli



minar si se quiere obtener un acero calmado; en efecto, ¿ Que pasaría si se procediera a colar al final de la afinación ? , este óxido de fierro que es poco soluble en el acero sólido se concentraría en las uniones de los granos formando una red que ningún tratamiento térmico posterior podría destruir; esta red perjudicaría la adherencia de los granos entre ellos - el metal será quebradizo y tendría características mecánicas no satisfactorias.

Por otra parte, el metal ebullicaría violentamente en las lingoterías, por efecto del desprendimiento de óxido de carbono, debido a la reacción del C, con el óxido de Fe ; la salida de este CO, arrastraría a los otros gases en solución, el acero sería esponjoso y de calidad defectuosa.

Los elementos empleados para desoxidar, son todos más ávidos por el oxígeno que el fierro: C, Mn, Si, Al, Ca, y Ti, reducen por consecuencia, al óxido de Fe, formando sus propios óxidos. Estos óxidos (con excepción del óxido de Mn), no reaccionan con el C, de manera que no hay que temer al desprendimiento de CO. En realidad, el término " desoxidante " es un término impropio, ya que la cantidad total de oxígeno en el acero permanece sensiblemente la misma (disminuirá sin embargo por decantación de ciertos óxidos formados), pero se encuentra bajo una forma que ya no es nefasta a la capacidad del metal.

La escoria y el metal, tienden a ponerse en equilibrio. Esto quiere decir que si el metal es oxidado, la escoria se oxida también y viceversa. Enton-

ces si se oxida con materiales que sólo actúan en el baño metálico, sólo se llegará a suprimir momentáneamente el óxido de fierro del metal y cuando se establezca el equilibrio, una parte del óxido de la escoria pasará al acero. Igualmente, si se desoxida únicamente la escoria, se disminuirá el óxido de Fe, contenido en ella, pero una parte del  $FeO$ , del metal pasará a la escoria. Así pues, en los dos casos solo se tendrá una desoxidación incompleta. No se quiere decir con esto, que sea imposible desoxidar un baño de acero haciendo únicamente adiciones al metal ó únicamente a la escoria, es en efecto posible obtener la desoxidación del metal por la escoria utilizando desoxidantes en polvo en cantidad suficiente y durante el tiempo apropiado en repetidas ocasiones. Para ello se agrega grafito en polvo en la escoria a intervalos convenientes, además fluorita para mantener la escoria fluída. Es igualmente posible desoxidar el metal en la olla de vaciado sin que la escoria haya sido previamente desoxidada. Esto hace el objeto de métodos menos clásicos, pero no se tratarán aquí. Se admitirá pues que es necesario desoxidar la escoria y el metal.

Desoxidación de la escoria: Los elementos utilizados para esta operación, lo son en polvo ó en granos pequeños, son en general: C, Si, Al, Ca: estos tres últimos empleados bajo la forma de ferroaleaciones ó aleaciones más complejas en el horno eléctrico, el C, al reaccionar con la cal, dá carburo de calcio a las altas temperaturas del arco. Este cuerpo se difunde en seguida en la escoria. Una escoria carburada se reconoce por su color gris particular y por el fuerte -

olor a acetileno que se desprende cuando se le sumerge en el agua. Es esta otra ventaja del horno eléctrico sobre el del hogar abierto, en el cuál el carburo de calcio no se forma, ó lo hace en cantidades pequeñas. Los desoxidantes actúan sobre los óxidos de Fe y de Mn de la escoria, produciendo  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , etc., el fierro y el Mn reducidos pasan al baño y una nueva cantidad de óxidos de Fe y de Mn, del baño pasan a la escoria.

La presencia del Mn, favorece además el fenómeno, ya que el óxido de Mn, del metal pasa más rápidamente a la escoria que el óxido de Fe.

Desoxidación del metal: Los elementos generalmente -- utilizados para esta operación: Mn, Si, Ca, Al, Ti, -- etc., están por lo general en forma de aleaciones y -- en todos los casos en trozos suficientemente grandes -- para poder atravesar la capa de escoria y entrar ahí -- en contacto con el baño. Actúan en la misma forma que en la escoria: reducción de óxidos de Mn y de Fe, con la formación de sus propios óxidos.

Observación: Si sólo se utilizara el Mn, como desoxidante, este elemento como ya se ha visto, disminuiría la solubilidad del óxido de Fe, el desprendimiento gaseoso en la colada sería retardado y regularizado, -- siendo el acero menos efervescente y podría ser colado en mejores condiciones. El metal obtenido sería todavía esponjoso pero las cavidades serían más pequeñas, situadas a una cierta distancia de la piel y el oxígeno repartido en forma más uniforme, no tendría en las uniones de los granos una influencia tan nefasta. Es-

te es el caso de los aceros espumosos ordinarios. No se podría sin embargo desoxidar el metal sólo con Mn, para los contenidos habituales de los aceros ordinarios.

Los diversos desoxidantes destinados al metal ó a la escoria, no deben evidentemente ser usados sin limitación, su magnitud está en función del metal por elaborar.

En ciertos casos, algunos de esos elementos no pueden ser empleados ya que se requiere evitar su presencia en el metal. Es así que cuando no se puede utilizar ni el C, ni el Si, se usa generalmente el Al en mayor cantidad ya sea en el horno ó en la olla devaciado.

No todos los desoxidantes tienen la misma afinidad para el oxígeno, su clasificación por afinidad decreciente es la siguiente:

CO, Al, CaSi, Ti, Si, y Mn. El calcio se une generalmente bajo la forma de aleaciones con el Si (silicio de calcio), que se clasifica entre el Al y el Ti.

Por experiencia se comprueba que de todos los desoxidantes habituales, el aluminio es por mucho el más enérgico para un contenido de 0.1% y en ausencia de cualquier otro reductor, no quedan más que trazas de FeO en el metal. Esta pequeña cantidad de óxido no puede ya reaccionar con el C, a la temperatura de la colada y el metal estará perfectamente calmado.

El silicio es también desoxidante, netamen-

te superior al Mn, que requiere a  $1,600^{\circ}\text{C}$ , una adición aproximadamente veinte veces mayor para bajar el FeO, al mismo nivel. La experiencia muestra también que la acción de los desoxidantes disminuye cuando aumenta la temperatura, lo cuál explica el hecho comprobado por todos los aceristas, de que el metal es más difícil de calmar entre más caliente esté.

Se insistirá aquí particularmente sobre el modo en que se comporta el carbono: la curva del carbono desciende más rápidamente que la del aluminio, silicio, y manganeso, mientras que a un bajo contenido el carbono es un mal desoxidante, compite sin embargo con el silicio y su contenido llega a ser suficiente y a  $1,600^{\circ}\text{C}$ , que es la temperatura normal de colado del acero, un contenido de 0.6% está en equilibrio con un contenido de FeO idéntico al correspondiente al 0.6% de Si.

El carbono tiene además otra propiedad esencial y es que su afinidad por el oxígeno crece al aumentar la temperatura, a la inversa de otros desoxidantes cuyos óxidos tienden a disociarse cuando aumenta la temperatura. Eso explica el hecho que el carbono sea capaz a la temperatura suficiente, de reducir la mayor parte de los óxidos, inclusive los más renuentes. Esta afinidad creciente del carbono por el oxígeno es de importancia fundamental para la fabricación de ferroaleaciones. Por esta razón se explica que se pueda descarburizar un baño metálico con un contenido alto de cromo, con ayuda del oxígeno. La temperatura se eleva fácilmente a más de  $1,800^{\circ}\text{C}$ , gracias a la oxidación del Cr, y a partir de ese momen

to es el carbono el que capta el oxígeno y el que se elimina. Esa propiedad ha permitido la fabricación de aceros inoxidable de bajo carbono, partiendo de una carga constituida únicamente de retornos de acero --- 18 / 8 ( Cr 18-Ni8 ) .

Esto explica también el interés que pueden presentar en la escoria la presencia del carburo de calcio que es en suma el desoxidante de escoria más poderoso que tiene el acerista a su disposición.

Observación: A pesar de que el carbono es un desoxidante enérgico, es imposible utilizarlo sólo para -- calmar el acero. En efecto, la cantidad de carbono -- que se puede introducir es limitada y está determinada por la dureza del acero a elaborar por lo cuál para los aceros dulces excluye la posibilidad de utilizarlo como calmante.

En los aceros extraduros que tienen por -- ejemplo un contenido de carbono del orden de 1% y no conteniendo otros elementos desoxidantes. No se podría evitar que en curso de la solidificación en la lingotera sobre todo en las zonas de segregación se tenga una reacción con los óxidos de Fe y Mn, que -- producirá CO, generador de cavidades y será entonces necesario que otros elementos desoxidantes como el -- Si, ó el Al, agreguen su acción a la del C, formando óxidos estables:  $\text{SiO}_2$  ó  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , incapaces de reaccionar con el carbono a la temperatura de vaciado.

Se dirá que en los aceros duros, los contenidos de FeO y de MnO, muy bajos, permitirán obtener

fácilmente un acero calmado, con un mínimo de desoxidación y generalmente con un mínimo de inclusiones, pero que en todos los demás casos, será necesario utilizar otros desoxidantes además del C.

### PUESTA EN PUNTO.

Los reductores y en particular el C, el Si, y el Mn, son elementos que deben llevar un doble papel: deben reducir los óxidos contenidos en la escoria y entrar además como constituyentes del acero, es pues necesario que se conozca el rendimiento de esas adiciones sobre todo la de C, que todos los elementos tiene sobre la dureza, la influencia mayor.

El conocimiento de estos rendimientos en cada caso particular, constituye verdaderamente el oficio del acerista.

Obtener la composición buscada no es suficiente para conferir al metal, la calidad que se espera de él, pero es de todos modos el primer deber de todo acerista, ya que no se dispone de ninguna ley matemática que permita realizar la composición exacta, con toda seguridad se puede decir que cada colada tiene su historia particular y que el acerista se puede sólo inspirar en una colada anterior muy parecida, pero es muy raro que la pueda " calcar " exactamente.

Es esta razón por la cuál los constituyentes deben encontrarse entre ciertos márgenes más ó menos amplios. De modo que para carbonos medios, este margen debe ser 0.05 mínimo, por ejemplo: 0.20 - 0.25, y

para carbonos altos, será necesario tener 0.10 por --  
ejemplo: 0.95 - 1.05 .

No se tratará aquí de emprender el exámen -  
del rendimiento de todas las adiciones hechas a un ba  
ño de acero, se limitará brevemente al comportamiento  
de dos elementos, el silicio y el manganeso.

Silicio: Cuando se termina la afinación, el metal es  
tá oxidado. Lo será más entre más bajo sea su conteni  
do de C, cuando la escoria de desoxidación se haya --  
fundido, los óxidos del metal se repartirán entre las  
dos fases y la escoria será más oxidada a medida que  
el metal sea más dulce.

Suponiendo que se hace una adición de Si, -  
ya sea a la escoria ó al metal; es fácil comprender -  
que la cantidad de sílice formada por oxidación de -  
este elemento será mayor cuanto más dulce sea el me-  
tal.

Esto muestra que para obtener en el metal -  
final una cantidad de Si, dada, deberá hacerse una --  
adición mayor entre más dulce sea el metal, esto es -  
entre más oxidado esté.

Cuando la dureza del metal aumenta, la pér-  
dida de silicio disminuye y para los aceros muy duros  
se puede dar el caso que se recupere más silicio que-  
el agregado, sobre todo si se hace a la escoria una -  
adición de C, suficiente para que se forme carburo de  
calcio capaz de reducir el sílice proveniente de los  
ladrillos del horno ó que se encuentre en los consti-



tuyentes de la escoria.

Manganeso: Para el manganeso hemos visto que durante la afinación se hace una adición casi sistemática, - con objeto de obtener un baño de FeO disuelto. Después de fundir la escoria de desoxidación, esta contiene un MnO más elevado, entre mayor sea el contenido de Mn en el baño y si se hace una adición de Si, - es evidente que una parte del Mn de la escoria va a regresar al baño. Resulta generalmente que para Mn - normales (0.4 - 0.6), debido a la desoxidación, se va a encontrar al final de la colada un Mn, superior al introducido, aumentado de las adiciones.

Por el contrario, para adiciones mayores, - el fenómeno que se acaba de mencionar será despreciable en comparación con las pérdidas que tiene un elemento oxidable introducido en adiciones fuertes.

Estas reacciones que se superponen durante la desoxidación, muestran que no es siempre tan simple mantenerse entre los márgenes estrechos que se fijan para obtener la dureza deseada.

Además de la indecisión sobre el rendimiento de los elementos, hay otros factores que juegan - su papel para complicar las tareas del acerista, por ejemplo: la composición de la colada precedente que puede aportar ciertos elementos a la colada en curso y que precisa tener en cuenta:

- La impresión de los análisis químicos
- La heterogeneidad del baño

- La temperatura que modifica los equilibrios y que influye sobre la recuperación ó la pérdida esperada.
- La viscosidad de la escoria (los desoxidantes en polvo puestos sobre una escoria muy espesa, tienen un rendimiento muy bajo).
- La utilización de caliza en lugar de cal, que por el  $\text{CO}_2$  desprendido, produce una oxidación suplementaria, etc.,

Después de la desoxidación, el acero está en general calmado, pero no tiene generalmente la composición requerida. La puesta en punto definitiva consiste en incorporarle los elementos que le faltan esto es, ya sean los reductores que ya le han sido agregados durante la desoxidación pero en cantidad insuficiente, ó bien elementos nuevos, tales como el cromo, que entra en la composición de la mayoría de los aceros especiales. El cromo en realidad puede agregarse antes ó después de desoxidar, ó bien aportado por la reducción de su mineral.

Ciertos elementos muy oxidables como el vanadio ó el titanio, deben ser introducidos poco tiempo antes de colar si se quiere obtener un rendimiento suficiente.

La medida de la temperatura se hace por medio de un Termopar Platino/platino rodio conectado a un potenciómetro registrador.

Este método permite medir temperaturas sobre las que se puede confiar en general, se muestra-

superior al método pirómetro óptico y representa una mejoría sobre los antiguos. El acerista que quiera realmente estudiar el papel de la temperatura cuenta ahora con un método fácil y seguro, un sistema actual permite conocer además de la temperatura, el % de carbón y oxígeno en el baño. Se procede en algunos casos a una última desoxidación que se efectúa en la olla de vaciado y que consiste en la mayoría de las veces en una adición de aluminio, de silicio ó de siliciuro de calcio, esta operación tiene por objeto combatir la oxidación que pueda producir por el paso del metal en el oxígeno del aire.

Durante la colada es conveniente obtener un chorro bien compacto sin efectos de regadera, para que la superficie en contacto con la atmósfera sea mínima en relación al volumen de vaciado. La olla de vaciado debe estar perfectamente seca. Las determinaciones de hidrógeno hechas en el curso de una elaboración muestran que si este punto se descuida, la cantidad de hidrógeno puede llegar a ser considerable. Sería absurdo fabricar un acero en el horno con todas las precauciones para obtener un contenido mínimo de hidrógeno que sea del orden de 5 cm/100 gmos. este valor se eleva a 10-11 cm/100 gmos. al utilizar una olla de vaciado insuficientemente seca. Es muy difícil obtener que los refractarios estén excentos del agua, inclusive si se calienta hasta al rededor de 800°C, es por ésto que con frecuencia se tiene un aumento de hidrógeno del metal al estar en contacto con la olla de vaciado, sin embargo es preciso procurar que sea el menor posible.

Después se procede a colar el metal en lin  
goteras, en moldes ó colada continua.

CARGA, FUSION, AFINACION.

Se estudiarán los problemas de carga, fusión y afinación, desde el punto de vista metalúrgico, pasando sin tocar las consideraciones de orden práctico ó eléctrico. Aunque aparentemente el problema de la carga del horno parezca secundario y menos interesante que el estudio de la elaboración, es sin embargo de una importancia especial, el aumento de la producción obtenida en las acerías eléctricas desde hace 20 años, se debe sin duda, a las dos razones principales siguientes:

- Aumento de la potencia de los transformadores
- Aumento en la rapidéz de carga.

Aunque la rapidéz de carga no tiene una acción directa sobre las técnicas propiamente de operación juega sin embargo un papel importante para el descenso del costo de transformación al aumentar la producción horaria de los hornos. Se estudiarán sucesivamente:

- 1.- Los materiales de la carga
- 2.- Los diferentes métodos de carga
- 3.- La preparación de carga y su disposición en el horno
- 4.- La composición del lecho de fusión
- 5.- La fusión
- 6.- La afinación
- 7.- El papel del manganeso.

## 1. - MATERIALES DE CARGA.

Los materiales de carga difieren de una acería a otra. Están en función de los tipos de acero para elaborar. Una fábrica que produzca barras de pequeña sección, láminas, hilos ó piezas embutidas, dispondrá sobre todo de regresos ligeros mientras -- que otra que fabrique barras de sección grande, rieles ó piezas para forja usará regresos pesados.

Suponiendo que la acería poseé materias -- primas de densidad diversa constituida por regresos de comercio, regresos normales de la misma fábrica y chatarra diversa.

Todos estos materiales se almacenarán, en principio en un patio organizado. El patio de chatarra de una acería que elabora aceros especiales es más complejo que el de una de hornos de hogar abierto que fabrica aceros ordinarios. Es absolutamente necesario clasificar las diversas chatarras según tipos de composición, lo cuál implica la existencia de lotes numerosos bien separados los unos de los otros. Entre mayor sea el número de tipos de aceros por fabricar, -- mayor será la diversidad de los regresos y mayor será la superficie del patio de chatarra.

El patio de chatarra debe situarse al exterior de la acería, pero suficientemente cerca para -- que el transporte se reduzca al mínimo. Es preciso -- tener una comunicación por vía férrea directa sin -- cambios excesivos para que las necesidades de fabricación sean satisfechas con rapidéz. Lo ideal sería tener un patio cubierto para que la chatarra esté al

abrigo de la humedad y para proteger el equipo de carga (grúas, puentes, etc.), ésto representa una inversión demasiado elevada y no siempre justificable, de modo que la mayoría de las acerías tienen sus patios de chatarra al aire y sólo se tiene cubierta el área destinada al almacén de fierro esponja para evitar -- que este material se oxide. Es necesario que el inventario del patio de chatarra se tenga siempre al día, el jefe de la acería debe poder saber en todo momento la calidad y cantidad de chatarra de que se dispone. Es preciso tener como jefe de patio una persona muy experimentada y ordenada que sea capaz en cierta medida de rectificar los errores de clasificación frecuentes de los regresos hechos por los departamentos de producción, un jefe de patio que conozca las fabricaciones de la planta, adquiere una experiencia en la determinación del tipo de chatarra a que corresponde cada regreso: puede además ayudarse por medios físicos ó químicos, en particular a la utilización del imán que permite distinguir los aceros auténticos de los otros y los ensayos a la gota, que muestran rápidamente si la chatarra contiene níquel, cromo, molibdeno, etc., De todos modos, aún si el jefe de patio es muy competente no podrá corregir en su totalidad los errores cometidos por los departamentos de producción al clasificar los regresos. Es evidente que no se podrá dar aquí la organización particular de un patio de chatarra de una acería dada. Cada una decidirá la mejor solución adaptada a sus necesidades, sin embargo, se dirá que es un asunto de sentido común y se insistirá que el problema es básico, una acería que se respete a sí misma debe dar una importancia marcada a la clasificación, almacenamiento y preparación -

de su chatarra y que el tiempo que el jefe de la acería dedique a la supervisión de estas operaciones, -- rendirá frutos que se reflejarán sin duda en una elaboración más rápida, fácil, y eficiente.

## 2.- METODO DE CARGA.

Los métodos que se utilizan son variados, - pero en la actualidad, la carga con electroimanes es lo más común en las acerías, éstos están colocados en grúas que recorren el patio y al mismo tiempo descargan la chatarra de góndolas y camiones que se utilizan para su transporte y hacen la carga a las ollas - que son las que alimentarán al horno eléctrico, las ollas pueden ser de almeja ó de gajos.

## 3.- LA PREPARACION DE LAS CARGAS Y SU DISPOSICION EN-EL HORNO.

Generalmente se utilizan de 3 a 4 ollas para obtener el tonelaje de chatarra adecuado a la capacidad del horno eléctrico.

a) En la primera olla, es necesario cargar chatarra más pesada para que en el horno la fusión se realice rápidamente, esto significa que los electrodos bajen rápido al principio y fundan la chatarra hasta que estén cerca del fondo, de ahí el arco caliente la chatarra y funde hacia arriba. Por lo tanto en la primera olla, la chatarra pesada tiene que estar en la parte inferior terminando de cargar con chatarra ligera. No se debe de cargar chatarra en la parte superior, pues si la chatarra cae durante la fusión, ---



puede ocurrir que dicha chatarra golpee los electrodos y rompa alguno. El peso de la primera olla debe ser mayor de la tercera parte de chatarra necesaria en total, como mínimo.

b) Las siguientes ollas se deben cargar con chatarra normal y es muy importante saber si se necesitan dos ó tres ollas más, porque el acero líquido en el horno ayudará a la fusión y el acerista podrá elaborar un plan de trabajo a seguir.

c) Al llenar las ollas es muy importante que todos los materiales no deseables se quiten, por ejemplo: cobre, aluminio, defensas cromadas, estaño, zinc, hule, plástico, cables eléctricos, etc.,

d) Los supervisores tienen que entregar tan pronto como sea posible los reportes de llenado de ollas al técnico fundidor, para que éste sepa inmediatamente el tipo de chatarra que está cargando al horno. El técnico fundidor tiene que saber si es necesario cargar coque, grafito ó electrodos rotos con la chatarra para obtener el carbón correcto en la primera prueba ya líquido el acero.

e) La chatarra estructural, lámina, alambre, tubos, retornos de acería y laminación, y pacas de automóviles son muy bajas en carbón: baleros, cigueñales, diferenciales, ruedas de ferrocarril y resortes son altos en carbón, cuando se carguen muchas piezas se debe reportar al técnico fundidor.

Hay que suponer que una carga constituida -

así en la olla, se colocará en el horno siguiendo el orden dado. Es aquí que la olla cilíndrica presenta una ligera ventaja, la carga se desplaza verticalmente y se coloca en el orden en que se cargó en la olla. Con las ollas de conchas hemisféricas no es éste siempre el caso, algunos paquetes que se desearía tener en el fondo pivotean y se apoyan sobre los flancos, pero en general se guarda el orden de la carga en el horno.

La mayoría de las acerías no disponen de paquetes pesados en cantidad suficiente para cargar en una sola vez, las ollas contienen cantidades insuficientes para las coladas. De ahí resulta que la carga debe hacerse en dos ó tres partes, hay que esperarse a que la fusión de la primer carga esté ya avanzada y que el nivel del horno esté lo suficientemente bajo para cargar el resto. Una carga hecha partes, tiene el inconveniente de exigir abrir el horno mayor número de veces, lo que produce pérdidas de calorías y tiempo de fusión más largas (que hay que contar de 10 a 15 minutos de aumento en el tiempo de fusión cuando se carga en dos cargas, con respecto al de una sola carga).

#### 4.- LA COMPOSICION DEL LECHO DE FUSION.

Toda la colada de acero ordinaria ó especial debe evidentemente ser elaborada partiendo de una carga conveniente, es decir cuya composición se haya determinado en función del análisis final buscado para el acero por fabricar. Es difícil dar principios generales que se apliquen a la composición del lecho de

fusión. Las acerías tienen ideas que difieren unas de otras y en una misma acería los métodos de elaboración conducen a contenidos variables de elemento en las cargas. Se hablará aquí de la elaboración clásica de un acero ordinario ó de un acero de construcción.

El elemento más importante es el carbono. Su contenido al final de la fusión debe ser tal que el baño pueda sufrir una afinación normal y una descarbonación del orden de 0.25% (esta cifra no tiene nada de absoluto, algunas acerías se contentan con una descarbonación menor y otras por el contrario tienden a realizar durante la afinación una caída de 0.30 a 0.40%).

El contenido de carbono al final de la fusión no debe ser, en la mayoría de los casos, inferior a 0.10/0.15% es pues, un contenido de 0.35-0.40% , que debe tenerse al final de la fusión misma, una pérdida de carbono media del orden de 0.20% . Resulta pues que el contenido de ese elemento en el lecho de fusión debe ser alrededor de 0.55 - 0.60% una parte del carbono es aportada por la chatarra, la otra por la antracita ó por la pedacería de electrodos grafito en polvo ó de puntilla. El carbón se quema durante la fusión y una cierta cantidad de C, no se incorpora al baño, la experiencia prueba que sólomente 40% del C, aportado se aleará al acero. De modo que para una colada de 10 Ton si la chatarra aporta un 0.30% de carbono, para obtener un lecho de fusión de 0.55% se agregan  $(10,000 \times 0.25 = 60 \text{ Kg.})$  60 Kg. de carbón despreciando el hecho de que el carbón utilizado no contiene evidentemente 100% de C.

En cuanto al silice, no debe ser agregado -

en la carga, su contenido en el lecho de fusión debe provenir de la aportación hecha por la chatarra. En resumen el lecho de la fusión estaría constituida en la forma siguiente:

- Carbono : - Del orden de 0.55 a 0.60%
- Manganeso : - Orden de 0.60 a 0.70%
- Silicio : - El aportado por la chatarra
- Níquel y Molibdeno : - Contenidos compatibles con el analisis final buscando mantenerlos siempre un poco por abajo.
- Cromo : - En principio contenido menor de 1%. Se precisa aquí que un determinado lecho de fusión se aplica a la fabricación de aceros en el horno eléctrico por el método clásico.

Para la fabricación de aceros inoxidables de suma importancia obtener de la chatarra aquellos elementos que no se oxidan durante el proceso de fabricación del acero en el horno eléctrico. Por lo que se cargará porcentajes elevados de regresos perfectamente identificados que contengan los elementos deseados.

Aún así es necesario preparar un lecho de fusión con las características esenciales para este tipo de fabricación, estos principios los examinaremos más adelante.

## 5.- LA FUSION.

Inmediatamente después de la carga, se conecta la corriente y comienza la fusión. La carga de un horno cargado por medios mecánicos llega por lo -

general al nivel de la base de la tapa. El arco va a trabajar al principio muy cerca de ella con peligro de deteriorar los refractarios. Es por eso que precisa comenzar con un nivel de potencia mediano que produzca un arco relativamente corto para evitar radiaciones intensas.

Hay interés en colocar en la parte superior de la carga, la chatarra ligera que funde rápido de lo cuál resultará una penetración rápida de los electrodos cuando el arco está en el interior de la chatarra, las radiaciones peligrosas desaparecerán. Se podrá aumentar entonces el nivel de potencia y utilizar la toda. Los electrodos al introducirse en la carga, hacen tres pozos y se aproximan al piso. Es un buen método disminuir el nivel de potencia cuando se llega cerca del piso, se disminuye así la velocidad de fusión en ese sitio y se da oportunidad a la formación de un baño líquido.

De esta manera se evita el deteriorar el piso cuando el baño líquido del fondo del horno aumenta su volumen, los electrodos se suben lentamente. Cuando se comienza este ascenso, se puede iniciar de nuevo el nivel de potencia máximo.

Es conveniente terminar la fusión con nivel de potencia más bajo, siempre con el fin de disminuir la energía de radiación. En resumen para una fusión normal se utilizarán los niveles siguientes:

- a) Un nivel medio para comenzar durante los primeros 5 a 10 minutos.

- b) Un nivel máximo durante el descenso de los electrodos de 15 a 20 minutos.
- c) Un nivel medio durante 10 minutos.
- d) Un nivel medio al final de la fusión, por unos 20 minutos.

Los hornos modernos de tonelaje (20 a 25 Ton.) disponen en general de varios niveles que van de en realidad el acerista no los utiliza todos y durante una elaboración completa, son suficientes 5 ó 6 niveles diferentes. Durante el período de fusión son suficientes 2 niveles, el más elevado, 300 volts y un voltaje de alrededor de 270.

Hay que mencionar que los hornos antiguos tenían voltajes menores y que en Estados Unidos se utilizan en general voltajes más elevados, que llegan a los 400 volts en hornos de 20,000 KVA, durante la última media hora de fusión, será en ocasiones necesario hacer penetrar en el baño algunos paquetes de chatarra apoyados en los flancos ó que sobrepasen el nivel del baño.

El inconveniente mayor de la forma de calentamiento en el horno de arco eléctrico reside en el hecho de que la energía está localizada en tres zonas estrechas abajo de los electrodos representando una superficie pequeña en relación con el total de la carga. Resulta evidente la formación de 3 pozos, los electrodos descienden a veces demasiado rápido hacia el piso lo que requiere (en casos de cargas pequeñas) la recarga de esos pozos con paquetes pequeños ó bien rebaba, ó últimamente se usa Fe esponja.

Por otra parte, el arco está en contacto sólo con la chatarra situada en la vecindad de los electródos, el resto de la carga se funde por radiación y por la formación de arcos secundarios entre los paquetes.

Para evitar estos inconvenientes, se ha tratado de realizar una fusión evitando la formación de pezos demasiado profundos. Es por eso que se han creado los hornos de cuba giratoria. Después de un cierto tiempo de fusión, se alzan los electródos para separar los de la carga, se levanta la tapa y se hace girar - la cuba en cierto ángulo. Después de una rotación de 60° se ha cortado un anillo completo de la carga. Con este método el arco no está nunca demasiado cerca del piso, se obtiene fácilmente un baño líquido de protección y la radiación de los arcos interesa un volumen-mayor. Este proceso exige un sistema mecánico complicado y delicado, y no parece que los constructores se orienten hacia ese sentido.

El fin del acerista es el de realizar una fusión rápida sin deteriorar el revestimiento.

No hay que olvidar que hay dos períodos particularmente delicados:

- a) El que corresponde a la llegada de los electródos al fondo de los cráteres, es entonces que hay un riesgo de producirse un deterioro del piso con in-filtración de acero.
- b) El período final de la fusión cuando el arco es muy largo, la potencia elevada a la radiación inten

sa que puede producir fusiones del material de la tapa. Si el fundidor vigila bien la marcha de su horno durante esos dos períodos, se evitará la mayoría de los incidentes.

En una elaboración, la fusión es la mayor parte consumidora de energía, ya que dura el 50% del tiempo total y se efectúa potencia elevada. He aquí los consumos medios registrados para 40 fusiones en hornos de 10 a 30 Ton.

Horno de 10 Ton./Ac.Liq. (3,600 KVA):-Carga media 11.3 Ton. chatarra.  
-Tiempo de fusión 2h 20;  
-Energía consumida 580 KWH/Ton. carga.

Horno de 30 Ton./Ac.Liq. (9,100 KVA):-Carga media 30.6 Ton. chatarra.  
-Tiempo de fusión 2h 15;  
-Energía consumida 580 KWH/Ton. carga.

Para hornos del mismo diseño, el consumo de energía es menor entre mayor sea la capacidad del horno y la fusión sea más rápida.

Con el fin de ilustrar este hecho y para -- mostrar el papel importante que juega la potencia del horno, se dan a continuación los resultados de un horno de 30 Ton. en los dos períodos diferentes.

Primer período:

Con un transformador de 9,100 KVA, se ha utilizado la potencia máxima de 7,000 a 7,500 KWH. Se han obtenido



tiempos de fusión de 2h 45, con un consumo de 555 KWH/Ton. carga.

Segundo período:

La potencia se ha aumentado a 8,000 - 8,500 KW, con lo cuál ha resultado un tiempo de fusión de sólo 2h 15 para el mismo tonelaje cargado con un consumo medio de 540 KWH/Ton. carga.

Las ganancias son pues de 30 min. en el tiempo y de 15 KWH en la energía.

Se hace la observación que durante los dos períodos la duración de los revestimientos de horno y tapas han sido rigurosamente las mismas.

No todos los aceristas consideran el final de la fusión en el mismo momento: algunos admiten que un baño se ha fundido cuando un gancho pasado a través del baño, no encuentra más chatarra; otros llaman fin de fusión al momento en que el baño comienza a ebullición después de haber recibido una adición de mineral. Estas dos concepciones pueden significar una diferencia en la duración de fusión del orden de 10-15-min. una diferencia en consumo de energía de 30 a 40-KWH, por tonelada de carga.

Las cifras anteriores corresponden a un baño caliente y ya en ebullición. Es necesario además que sea así, ya que la muestra obtenida en ese momento, debe representar la composición del metal. Esto es válido sólo si el baño está bien caliente y homogéneo (generalmente se hace una ligera adición de mineral antes de la-

fusión completa).

Con el objeto de obtener un efecto de ebullición, la sociedad - ASEA - ha patentado un aparato electromagnético constituido por una espiral colocada en la vecindad del piso, contra la cuba. Se hace pasar por la espiral una corriente de baja frecuencia - (menos de un período por segundo), la corriente inducida que se desarrolla en el baño produce movimiento de agitación en el acero.

Actualmente este aparato se ha instalado en Suecia en diferentes hornos uno de 12 Ton. Surahammar otro de 18 Ton. en Hagfors, y otro más de 30 Ton. en Avesta. Aparatos similares existen igualmente en diferentes hornos en Estados Unidos, en particular se citará un horno de 100 Ton. en la fábrica de Timken en Canton (Ohio). Otros aparatos instalados existen en Francia: en el horno de 25 Ton. Stein Lectromelt de S.A.F.E., en Hagondange, instalado en 1950, y otro en el horno de 30 Ton. Le Creusot desde 1956.

Resumiendo se dan a continuación las ventajas del aparato:

- 1.- Se disminuye ligeramente la duración de las coladas.
- 2.- La homogeneidad del baño mejora y las muestras -- son más representativas, hay además una disminución de coladas fuera por carbonó.
- 3.- El escoriado se hace fácilmente, la escoria puede llevarse a voluntad hacia la puerta del horno, -- basta ayudar su escurrimiento con un rastrillo.
- 4.- Parece obtener una mejoría de calidad con disminución de inclusiones, lo que se traduce en mejores propiedades.

5.- La eliminación del fósforo y del azufre es más --  
marcada, los contactos escoria-acero son renova--  
dos con más frecuencia.

El aumento en el precio de transformación es reducido  
si se conecta el aparato un cuarto de hora antes de -  
la fusión completa y se desconecta 20 minutos antes -  
de colar, se tiene un consumo suplementario de sólo -  
6 a 8 KWH/Ton.

Evidentemente, una perforación en el horno-  
sería muy grave si se produjese en la base y el acero  
líquido entrara en contacto con la espiral; es por --  
eso que para tener una mayor seguridad, se coloca una  
docena de partes termoeléctricas en el fondo del piso  
la temperatura que indique no debe pasar de 350-400°C  
en caso de sobrecalentamiento exagerado de una parte-  
del refractario, debe hacerse un exámen minucioso y -  
efectuar una reparación si es necesario.

Es probable que este nuevo equipo forme parte de los-  
hornos futuros desde su diseño original, sobre todo -  
en aquellos de gran capacidad.

## 6.- AFINACION Y DESFOSFORIZACION.

En el momento en el que el baño comienza a-  
ebullir, se considera que la fusión se ha terminado.-  
Se toma entonces una muestra y sin esperar el anali--  
sis, se determina en forma burda, la dureza del metal.  
En efecto, el contenido de C, es lo que preocupa al -  
acerista, antes que todo, ya que de este valor va a -  
depender como se lleva a cabo la afinación. Hay varios  
métodos rápidos que se pueden utilizar para estimar -

el contenido de carbono, la plaquilla rota, después de forjada y templada.

La dureza medida sobre la plaquilla forjada y templada. La utilización del carbómetro (sobre todo para altos contenidos de carbono).

Es evidente, que en los aceros aleados, la presencia de elementos especiales, va a interferir en cierta forma, la estimación del contenido de C.

El carbómetro en particular, parece no poder utilizarse más que para aceros ordinarios, puede usarse para algunos aceros aleados cuyos contenidos de elementos especiales son siempre los mismos, para los cuales se han establecido curvas diferentes a los que da normalmente el aparato.

El exámen hecho al romper la plaquilla, permite en la mayor parte de las acerías, dar una opinión rápida de la dureza del metal. Un operador experimentado llega a leer el carbono con precisión suficiente. Esta plaquilla debe sin embargo ser forjada y templada siempre en las mismas condiciones; si la temperatura final de forja es demasiado elevada, el metal conserva un grano grande que confiere al acero una alta fragilidad y el aspecto de la rotura queda sin relación con el contenido del carbono. Si por el contrario el forjado se termina a temperatura demasiado baja y el metal se sumerge en agua después de pasar el punto crítico, la rotura indicará un contenido de C, demasiado bajo. Es pues necesario operar correctamente y siempre en la misma forma, si se quiere obtener una rotura de plaquilla que dá una información correcta.

Sobre la plaquilla templada en agua, no se -

puede estimar carbonos arriba de 0.40%, sin embargo, - en la mayoría de los casos, basta saber que está por encima.

Esta plaquilla muestra también si el metal - es forjable, cuando muestra rajaduras en las orillas, - es signo que el Mn, es demasiado bajo ó que el S, es - muy alto. Una vez que se toma la muestra y se envía al laboratorio y que se saca la plaquilla y se forja, se ejecuta el primer escoriado.

Se ha visto que una gran parte del fósforo - sale del baño durante el final de la fusión y que un - elevado porcentaje de ese elemento indispensable debe - ser eliminado, así se limitará a dejar escurrir natu - ralmente la escoria inclinando un poco el horno, lo -- que permite evacuar fácilmente los tres cuartos de la - escoria que será bastante fluída debido a que su conte - nido elevado de FeO .

Al final de ese escoriado parcial, se recons - tituye la escoria por medio de una mezcla de cal y -- espato-fluor (2 a 2.5% para la cal, y 0.5% para el es - pato-fluor en peso con relación al del baño).

El contenido de C, que se ha estimado sobre - la plaquilla, mostrará si la dureza es suficiente para - permitir una afinación en condiciones normales, es de - cir, haciendo adiciones de mineral ó soplando oxígeno, - ó por el contrario si es necesario endurecer el baño, - para lo cual el acerista tiene a su disposición varios - métodos, adición de fierro gris, que presenta el incon - veniente de bajar la temperatura, introducción de los -

electródos que permite aumentar fácilmente el C, sin enfriar el metal, pero que aumenta los costos, ó bien la inyección de grafito en polvo que se utiliza en casi todas las acerías.

Cuando el baño llegue al contenido de C, que se desea, se harán las mismas adiciones de mineral ó el mismo soplado con oxígeno que si el acero hubiera tenido ese C, desde el principio. Se hará como ya se ha dicho una adición de Mn, para mantener este elemento alrededor de 0.30% durante la afinación, pero esta adición será mayor si la primer plaquilla muestra raja duras particularmente numerosas y definidas. En el momento de la fusión, se ha adoptado una tensión más baja y se ha disminuido la potencia. Esta potencia será alrededor de 1500 KW para un horno de 10 Ton. una afinación que tenga una duración de 30 a 40 min. corresponderá a un consumo de 800 a 900 KWH, ó sean 80 a 90 KWH/Ton.

No se insistirá sobre la necesidad de la afinación para eliminar el fósforo y bajar el carbono, -- sinó que se hará incapié sobre su papel en la desgaseificación. Esto es en efecto el único período de la elaboración donde es posible bajar el contenido de gases y reside ahí el interés de la utilización del oxígeno.

Se han hecho ensayos que muestran claramente que la utilización del oxígeno permite obtener contenidos más bajos de hidrógeno que los obtenidos con el mineral.

Por otra parte, entre los constituyentes de-

la escoria que pueden aportar agua, hay uno que desde este punto de vista, juega el papel principal, la cal, material extremadamente higroscópico se disgrega muy rápido en tiempo caliente y húmedo y cuyo empleo debe por consecuencia ser evitado cada vez que se elabora un acero que deba ser perfectamente desgasificado.

Se dirá que para los aceros para los cuales se busca un contenido de hidrógeno muy bajo (es el caso para los que son susceptibles al defecto de copos), deba utilizarse caliza en la escoria y oxígeno como elemento de afinación.

Gracias a este método, se puede obtener contenidos de hidrógeno de 3 a 4  $\text{cm}^3/100$  gr. al final de la afinación, que son ciertamente los más bajos que el acerista puede pretender alcanzar.

Existe en el metal otro gas: el nitrógeno -- que es indeseable para ciertas clases de aceros, pero parece que este gas no se encuentra en el metal en estado gaseoso como es el caso del hidrógeno. Al menos -- en los contenidos usuales. El nitrógeno se combina en efecto fácilmente con ciertos elementos para dar nitruros y es en este estado que debe estar presente en el metal terminado.

Se conoce el nitruro de aluminio y se sabe con que facilidad el titanio se combina con el nitrógeno para -- dar el nitruro de titanio, fácilmente identificable en el microscopio.

Los ensayos que se han hecho, han demostrado que la afinación tiene poca acción sobre el nitrógeno,

inclusive cuando se utiliza soplado con oxígeno: de 23 coladas de 30 Ton. el N, medio de 0.10%, al final de la fusión (min. 0.006% máx. 0.015%), ha sido llevado a 0.008% al final de la afinación. La utilización de caliza en la escoria, que al producir CO<sub>2</sub> hace la atmosfera del horno más oxidante con baja relativa en el contenido de N, en la atmósfera, se muestra poco eficaz sin embargo. Un metal oxidado disuelve menos nitrógeno (e igualmente menos hidrógeno) que un metal poco oxidado, puede ser esto lo que explique el contenido más elevado de nitrógeno en el acero elaborado en el horno de alta frecuencia, donde no se ejecuta generalmente ninguna afinación. El metal elaborado en el horno Martin, tiene un contenido de nitrógeno generalmente más bajo.

Para el mismo acero, los contenidos de nitrógeno generalmente más bajo, son más ó menos los siguientes:

Horno alta frecuencia	Horno arco	Horno Martin
0.020%	0.007 - 0.010%	0.005%

Se verá al estudiar las diversas fases de la elaboración que siguen, que los contenidos de hidrógeno aumentan a partir del final de la afinación, hasta la colada de lingoteras ó colada continua.

## I I I

DESOXIDACION - DESULFURACION - PUESTA EN PUNTO

### 1.- GENERALIDADES SOBRE LA DESOXIDACION- FORMACION DE INCLUSIONES.



La fase llamada de desoxidación comienza en los momentos en que se funde la escoria y se procede a las primeras adiciones. No se tratarán todos los métodos de desoxidación, se concretará aquí a examinar el caso clásico, ó sea la desoxidación separada de -- las dos fases:

### Escoria y Metal

Hemos visto que la afinación es indispensable para la eliminación de constituyentes superfluos- ó perjudiciales aleados al fierro, así como de suspensiones de óxido aportados por la carga y también los gases disueltos.

La afinación debe conducir el baño al final de la descarburación a un contenido de oxígeno lo menos elevado posible, para que la desoxidación ulterior no pueda crear más que un mínimo de residuos, lo cuál requiere un contenido de carbón no demasiado bajo, de acuerdo con la dureza buscada para la colada: Un contenido de Mn, tan elevado como lo permita la composición final a realizar y una temperatura igualmente -- elevada necesaria para el curso ulterior de las operaciones;

Entre más avanzada sea la afinación, el metal será más óxido y la temperatura será mayor.

El escoriado, es decir la evacuación de la escoria oxidada que ha servido para la afinación, pone al baño metálico en contacto con la atmósfera y la enriquece en oxígeno y nitrógeno, provocando una ---

caída de temperatura tanto mayor mientras más prolongado haya sido dicho escoriado.

La escoria que se haya constituido se va a poner poco a poco en equilibrio con el baño metálico y contendrá normalmente después de la fusión, óxidos de fierro y de manganeso en cantidades mayores, entre menos sea el contenido de C. La desoxidación se va a dirigir sucesivamente a cada una de las dos fases escoria y metal, comenzando por la escoria. La recarburación constituye un medio eficaz de reducir considerablemente el contenido de  $FeO$  del metal y sin dejar residuos. Para comenzar hay interés en subir el carbono tan cerca como sea posible a su valor deseado final. Es por eso que en la mayor parte de las elaboraciones se hace una adición de carbón en polvo a la escoria.

Este carbón tiene ventaja suplementaria de dar a la alta temperatura del arco, carburo de calcio que es un desoxidante muy enérgico. La desoxidación de la escoria se opera en la mayoría de los casos con ayuda de los elementos siguientes: carbono, silicio, aluminio, y algunas veces calcio aleado con silicio;

El rendimiento del carbón en polvo lanzado así sobre la escoria es variable si este carbón se utiliza sólo, sin ser acompañado de otros elementos desoxidantes, corre el riesgo de desaparecer en gran parte en la escoria sin incorporarse al metal y si éste es muy dulce y por lo tanto muy oxidado, su rendimiento será todavía menor. Hay que tener en cuenta la dureza del metal en el momento en que se hace la adi-

ción. Como regla general, se puede admitir que una adición de 0.1% (en peso con respecto al tonelaje del baño), para un acero semiduro, hecha al mismo tiempo que una de silicio ó de silicio-calcio, sobre una escoria bien fundida, tendrá rendimiento de alrededor del 50%, es decir que se incorporará al baño 0.05% de C. No es conveniente sobrepasar la adición de 0.1% de C, ya que la indecisión que existe a pesar de todo sobre el rendimiento podría conducir finalmente a realizar una dureza muy diferente de la buscada.

Cuando la escoria se haya desoxidado, su tinte que al final de la fusión era negruzco se habrá aclarado poco a poco. Una buena escoria desoxidante en un horno de arco, se caracteriza por su tinte gris que indica la presencia de carburo de calcio, presencia que se verificará por el desprendimiento de acetileno que se produce cuando se le sumerge en agua. La escoria desoxidada que contiene normalmente un contenido de  $\text{SiO}_2$ , de 12 a 15% tiene igualmente la propiedad de reducirse a polvo al enfriarse (el silicato bicalcico pasa en efecto por un punto crítico con un aumento de volumen), se dice que se disgrega; una escoria fundida de color claro es una desoxidada; los óxidos de  $\text{FeO}$  y de  $\text{MnO}$ , no se oponen a ese fenómeno.

En tanto que el metal no haya sido desoxidado, la escoria se reoxida poco a poco, el silicio, el carbón ó el carburo de calcio de la escoria disminuyen y terminan por desaparecer completamente, encontrándose después de un cierto tiempo en presencia de una escoria de nuevo oxidada en equilibrio con un metal menos oxidado que el origen pero contiene todavía

en solución  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$  .

Este paso de óxidos, del metal a la escoria muestra que es posible desoxidar completamente el metal haciendo adiciones sucesivas únicamente a la escoria.

En la práctica, en una elaboración clásica no se deja reoxidarse a la escoria y se procede a la desoxidación del metal, bajo escoria reductora. Los cuerpos utilizados para desoxidar el metal son los mismos que se emplean para la escoria, agregando el titanio, pero deberán estar en pedazos en lugar de granos de polvo.

Sus aleaciones tienen con frecuencia contenidos de Fe y de Mn, elevados para aumentar su densidad, de modo que puedan penetrar en el baño metálico sin quemarse en la escoria. Se citarán los principales; el silico-manganeso, el silico-aluminio-titanio, el silico-manganeso-aluminio, el ferrosilicio al 75% de silicio, el ferrotitanio al 25% de titanio, el ferroaluminio etc., el silico-calcio y el aluminio también son utilizados pero generalmente se agregan en la olla de vaciado.

Estos reductores van a reaccionar con el  $\text{FeO}$  y el  $\text{MnO}$  y después de la desoxidación, la escoria y el metal no contendrán ya más que trazas de esos dos óxidos. El esquema de una desoxidación es pues el siguiente:

- 1.- Después de la fusión completa de la escoria, adición de agentes desoxidantes ligeros, pulverulentos ó en granos.
- 2.- Mantenimiento de esta escoria desoxidada un tiem-

po variable y conservación de este estado por adiciones repetidas, si es necesario.

- 3.- Desoxidación del baño, ya sea totalmente en el horno ó parcialmente en el horno y parcialmente de la olla de vaciado, ó bien totalmente en la olla.

Este último método es en general poco usado en el horno eléctrico.

Como generalmente se buscan contenidos de azufre finales inferiores a 0.010%, es importante esperar el tiempo suficiente para que se opere bien la desulfuración que no es instantánea y que se lleva al mismo tiempo que la desoxidación.

La atmósfera de los hornos eléctricos, es particularmente favorable a la conservación de la escoria desoxidada, pero es en ocasiones necesario mantener esta desoxidación por medio de pequeñas adiciones de silicio, hasta colar para evitar toda reoxidación de la escoria que por vía de equilibrio se transmite al metal.

Finalmente es necesario eliminar al máximo las inclusiones que se producen y no se tiene para su eliminación, otro método que la decantación.

Estas inclusiones no metálicas, que tienen una densidad mucho menor que el metal, suben del seno del baño metálico hasta la escoria, pero esta velocidad de ascensión, es completamente diferenciada dependiendo de las dimensiones de esas inclusiones.

Es así que:

Para una inclusión de 0.0025 mm. de diámetro, la velo

cidad de ascensión sea de 0.01 mm/seg.

para una de	0.008 mm	es de	0.1 mm/seg
para una de	0.025 mm	es de	1 mm/seg
para una de	0.8 mm	es de	1000 mm/seg

Esta velocidad de ascenso es generalmente - función de la viscosidad del metal, es decir, también de su temperatura: decantación es facilitada por una temperatura elevada. Si se han creado en el baño líquido inclusiones sólidas muy pequeñas, no hay ninguna posibilidad de decantarlas; pero si por el contrario, se les puede agrupar por coalescencia, su diámetro aumentará y se eliminarán más fácilmente.

El metal contiene, antes de la desoxidación óxidos de Fe y de Mn, hagámos al baño una adición de silicio, este elemento va a reaccionar inmediatamente con los óxidos para dar sílice y probablemente silicatos de Fe y de Mn. Pero estos silicatos no tendrán -- una composición cualquiera, ellos tendrán la misma -- composición que la escoria que estará en equilibrio - con el baño a la temperatura de operación. La inclusión no es otra cosa que una escoria elemental que -- está forzosamente en equilibrio con el metal que le - ha dado nacimiento. De ahí resulta que el contenido - de Mn del baño y por consecuencia el contenido de MnO y de FeO que van a ser reducidas, juega un papel esencial, sobre la composición de las inclusiones creadas y también evidentemente sobre su punto de fusión y sobre su facilidad de coalescer.

La composición de la inclusión que se forme

no estará forzosamente en relación con la aleación reductriz utilizada; dicho de otra manera, al hacer al baño una adición de silicio-Mn, conteniendo por ejemplo: 20% de Si y 70% de Mn, no se obtendrán necesariamente los silicatos correspondientes a la oxidación completa de los dos elementos silicio y manganeso, ni la proporción de  $\text{SiO}_2$  y de  $\text{MnO}$ , en los silicatos corresponderá a la proporción de los óxidos de la aleación original.

La composición de la inclusión que se va a formar y que estará teóricamente en equilibrio con el metal, podrá pues ser completamente diferente a la que se esperaría de la oxidación de los constituyentes de una aleación dada y se creó que la opinión de algunos aceristas de que pensaban que una adición de silicio-Mn, deberá sistemáticamente dar productos fluidos susceptibles de coalescer y decantar bien, no es exacta. El contenido de  $\text{FeO}$  y de  $\text{MnO}$  en el baño, la presencia de otros óxidos, y la temperatura juegan un papel más importante que aquel de la aleación utilizada, sobre el punto de fusión de las inclusiones. Los silicatos de Mn, tienen puntos de fusión por lo general bajos, habrá entonces interés de hacer la adición de silicio en un baño ya magnanizado.

La reducción del  $\text{FeO}$  ó del  $\text{MnO}$  disueltos por el aluminio es prácticamente cuantitativa y el aluminio es pues desde este punto de vista superior al silicio y al manganeso, los residuos están constituidos por aluminio sólido, en agujas finas ó en cristales, poco aptos para la decantación. Es por eso que parece preferible, operar la desoxida-

ción por medio del aluminio después de llevar a cabo la desoxidación preliminar por medio de aleaciones -- conteniendo silicio y manganeso, con el fin que el -- aluminio no reaccione más que con una pequeña cantidad de FeO residual.

Cuando se hace una adición de titanio, los residuos obtenidos, están sobre todo constituidos por nitruros cristalizados cuyas pequeñas dimensiones no permiten una decantación rápida.

En los aceros para los cuales se busca un contenido mínimo de inclusiones, no es aconsejable emplear este elemento, por el contrario, el titanio es interesante emplearlo para obtener una desoxidación -- muy avanzada y para fijar el nitrógeno.

Hemos visto que todos los desoxidantes, con excepción del C, son más ávidos de oxígeno, entre menores son las temperaturas, de ahí resulta que si la desoxidación se opera en un baño muy caliente las cantidades de FeO y de MnO que estaban disueltas en el metal serán todavía susceptibles de reaccionar con -- los reductores cuando baje la temperatura.

Como esta última disminuirá en el momento de la colada en la olla y sobre todo en la colada de lingoteras ó colada continua, se concluye que si la desoxidación se ha operado en un baño demasiado caliente, se producirán nuevas inclusiones durante el enfriamiento que acompaña a las operaciones de colado. El acerista está comprometido por una parte a operar con un baño suficientemente caliente para permitir el vaciado de su metal en buenas condiciones y una fácil decantación --



de sus inclusiones, que como se han visto suben más fácilmente a la escoria, si el metal es más fluido es decir más caliente y por otra parte, está comprometido también el acerista a que su temperatura no sea -- exágerada pues se pone entonces a dejar sustituir en el acero contenido de  $FeO$  y de  $MnO$ , todavía suficientes para que las reacciones se continúen en las lingoteras con la formación de inclusiones que no serán entonces muy susceptibles de decantar. Para conciliar estos hechos hay que buscar al final de la afinación, la temperatura decreciente con el fin de obtener, al momento de colar, aquella que corresponde exáctamente al metal elaborado y al tipo de lingote ó billet por colar.

El hecho que los desoxidantes utilizados continúen a reaccionar con el  $FeO$ , ó con el  $MnO$ , cuando se baja la temperatura muestra que el metal sin inclusiones es irrealizable, ya que aún si se ha obtenido en el horno un acero particularmente limpio será imposible controlar las reacciones que se producirán siempre durante el enfriamiento del metal.

Si se quiere esquematizar la desoxidación que debe conducir teóricamente a un mínimo de inclusiones endógenas, se piensa que es necesario insistir sobre los puntos siguientes:

a) Buscar al final de la afinación, el contenido de  $FeO$  mínimo y obtener el contenido de carbono lo más bajo posible compatible con la dureza deseada.

b) No hacer adiciones de mineral, soplad~~os~~ con oxígeno poco antes de escoriar para no apartarse dema

siado del equilibrio de C - FeO, es decir dejar pasar un tiempo suficiente después de la última oxidación, - (10 a 15 Min.)

c) Si el carbono al final de la afinación es demasiado bajo, subirlo agregando carbón en polvo sobre baño desnudo antes de formar la escoria de desoxidación.

d) Una vez fundida esa escoria, desoxidarla por medio de cuerpos pulverulentos bien repartidos sobre toda la superficie y hacerla trabajar energicamente durante algunos minutos para hacerla bien homogénea.

e) Cuando esa escoria está bien desoxidada, desoxidar el metal comenzando por aleaciones conteniendo manganeso de modo de introducir el silicio sólo en un baño bien magnezado capaz de dar inclusiones debajo de punto de fusión, susceptibles de coalescer y de decantar fácilmente.

f) Nunca colar inmediatamente después de poner las últimas ferroaleaciones que se hacen para ajustar sino esperar un tiempo suficiente para estar seguro de haber obtenido una buena homogeneización del baño.

g) Una vez obtenida la temperatura máxima del acero al final de la afinación, buscar a operar la desoxidación a temperatura decreciente, para obtener antes de colar la que corresponda exactamente al tipo de acero y a la calse de lingote ó billet.

El problema de las inclusiones del cuál se-

ha habido, es uno de los mayores y de más extrema -- complejidad a los que se enfrenta el acerista. No obstante los esfuerzos hechos en las fábricas, no parece que hayan encontrado todavía una solución al 100% efectiva.

Los conocimientos sobre las inclusiones aumenta poco a poco, pero todavía no se ha logrado fabricar un metal perfectamente limpio sobre todo obtener una limpieza constante para una fabricación dada. Los generadores principales de inclusiones son: El nitrógeno, el azufre, y el oxígeno; el carbono y el fósforo no producen inclusiones no metálicas; el carbono dá en efecto, carburos que segregan con frecuencia en el eje del lingote y se encuentran sobre todo en los aceros muy duros. El fósforo se agrega en forma de -- fosfatos que pueden ser asimilados en las inclusiones metálicas, pero que se encuentran poco en los aceros elaborados en el horno eléctrico normalmente bajos en fósforo.

El nitrógeno produce nitruros, el más típico es el nitruro de titanio, que se encuentra sistemáticamente en los aceros que han tenido una adición de Ti, y que se presenta bajo la forma de finas partículas cristalizadas de color amarillo.

El azufre se encuentra generalmente bajo -- las formas de sulfuro mixto de Fe y de Mn, ó de sulfuro de Mn, la importancia de éstas inclusiones está ligada al contenido de azufre del acero pero hay que reconocer que las condiciones de formación de esos sulfuros no han sido todavía establecidas en claro, ya -

que en ocasiones se presenta en aceros con contenidos de azufre extremadamente bajos.

Además estos sulfuros son responsables de la existencia de venas oscuras y defectos a veces muy graves en los grandes lingotes de forja y contra el cual no es todavía posible luchar eficazmente.

El oxígeno es con mucha ventaja el generador de inclusiones no metálicas más importante, reaccionando con todos los reductores, produce óxidos que pueden además reaccionar unos con otros.

Las inclusiones de silicio puro son raras, se les encuentra sin embargo en los aceros de muy alto carbono, que en el momento de la desoxidación contienen poco  $FeO$  y  $MnO$ . Entre más dulce sea el acero, más ricos en  $Fe$  y  $Mn$  serán los silicatos. Todas las inclusiones a base de silicio son óxidos ó bien silicatos de aluminio en los aceros en los cuales se hace una ligera adición de aluminio. Si la adición de aluminio llega a ser de consideración y sobre todo si este elemento es un verdadero constituyente, la primera parte de las inclusiones se destruyen y se encuentran sobre todo partículas que pueden estar agrupadas en zonas más ó menos grandes.

Cuando el acerista quiere fabricar un acero teniendo el mínimo de inclusiones posible, debe evidentemente buscar obtener un contenido muy bajo de azufre y evitar las adiciones de titanio para no formar inclusiones de nitruros.

Los contenidos de  $C$ ,  $Si$ , y  $Mn$ , son determinantes sobre

todo el C, que está en relación con el contenido de oxígeno del baño y que debe conducir a la utilización de desoxidantes en función de ese contenido.

En cuanto al aluminio que hasta en los últimos años se había considerado como un desoxidante que dá residuos y que por consecuencia, debería ser utilizado en cantidades pequeñas, parece que se considera ahora la posibilidad de emplearlo en mayores cantidades. Esto se entiende, ya que es raro en efecto, encontrar en un acero que no haya tenido ninguna adición de aluminio, inclusiones de silicatos numerosos que habiendo decantado, dan un metal sucio. Es probable que si en un acero tal se hubiera hecho una adición de aluminio en cantidad suficiente, este aluminio hubiera destruído esos silicatos para dar finalmente inclusiones en alumina más fina y cuya repercusión sobre las características mecánicas hubiera sido posiblemente menos grave que en el caso de las inclusiones de silicatos ó de sílico-aluminatos (si la adición de aluminio hubiera sido insuficiente).

En la práctica, estas inclusiones endógenas son las únicas a las que el acerista debe tener y en la mayor parte de los casos llegan a ser despreciables al lado de las que se forman fuera del horno, desde el momento en que el metal comienza a pasar a la olla de vaciado, hasta el final del llenado de las lingoteras, ó vaciado en la colada continúa.

El metal en equilibrio en el horno con su escoria sufre durante las operaciones de vaciado la oxidación por la atmósfera, la experiencia permite --

decir que esta oxidación es probablemente la fuente principal de inclusiones.

La oxidación se produce no sólo en el canal de vaciado del horno donde el metal cuele con frecuencia en forma tumultosa, sino también durante el vaciado en lingoteras ó en colada continua, ya que el chorro que sale de la olla se oxida muy rápido y penetrando a gran velocidad en el seno del metal lleva consigo una cantidad de inclusiones muchísimo más importantes que las que hayan podido crear en el horno durante la elaboración.

Se han hecho ensayos introduciendo en la olla de vaciado, un metal que se volatiliza a la temperatura del acero y que por consecuencia, puede dar durante la colada en lingoteras, el nivel del metal vapores que se opongan a la oxidación producida por contacto con el aire, se han hecho otros ensayos consistentes en recubrir las lingoteras interiormente con una laca espesa que produce humos abundantes que pueden proteger eficazmente la superficie del metal durante su ascensión. Es tan importante este fenómeno que deben de llevarse investigaciones avanzadas. En colada continua se están utilizando boquillas que se sumergen en el canal distribuidor y en los moldes.

El acerista está obligado siempre a llegar a un compromiso. El exceso de temperatura lleva consigo algunos inconvenientes, el mismo es una causa de inclusiones, ya que los refractarios son atacados más a mayores temperaturas sobre todo en las coladas en fuente, donde el metal circula por canales de refrac-

tarios silico-aluminosos. Se ha dicho también que el exceso de temperatura en el horno puede producir inclusiones más numerosas en las lingoteras, ya que subsisten a alta temperatura en presencia de Si y de Mn, contenidos de FeO y de MnO, más elevados y las reacciones se continúan durante el enfriamiento con precipitación de inclusiones. Finalmente, entre mayor sea la temperatura, las segregaciones serán más marcadas y se tendrá más peligro de encontrar en las zonas solidificadas al final, masas de inclusiones considerables.

Hay pues necesidad de mantenerse entre ciertos límites estrechos que deberán ser determinados en función del tipo de acero por colar, del tipo de lingote, del modo de colar y en ocasiones del tipo de piezas que se van a fabricar a partir de lingotes.

Siendo el acerista incapaz de eliminar todos los defectos es preciso que sepa escoger entre aquellos que presentan la gravedad menor para el lingote que va a fabricar. Sólo se ha mencionado la existencia de inclusiones exógenas, proveniente del ataque de los refractarios, no son probablemente los más difíciles de evitar, pero cuando existen, son de dimensiones tales que llevan consigo siempre el deshecho del lingote ó pieza.

Si es relativamente fácil luchar por medio de la limpieza contra los refractarios arrastrados, no ocurre desgraciadamente lo mismo contra las inclusiones que resultan de la corrosión química del acero en contacto con los refractarios.

La composición del metal juega aquí un papel esencial, los aceros con alto contenido de Mn ó más bien aquellos cuya relación Mn, es al Si, alta, atacan los refractarios con mayor energía que aquellos en los cuales el contenido de Mn, es bajo. Es esta la razón por la cuál es difícil realización de acero con alto Mn, sin inclusiones. Para resumir se dirá que -- las inclusiones encontradas durante la elaboración -- del acero tienen tres orígenes principales:

- 1.- Las inclusiones debidas a la desoxidación del metal.
- 2.- Las inclusiones debidas a la oxidación del metal, durante las operaciones de colada.
- 3.- Las inclusiones debidas ya sea por arrastre de -- refractarios, ó por ataque de refractarios por el acero.

La primera categoría corresponde generalmente para un metal bien elaborado, e inclusiones micrográficas de muy pequeñas dimensiones y que no deben tener repercusiones graves sobre la calidad.

No ocurre lo mismo con las otras dos categorías contra las cuales es posible luchar, por medio de una temperatura elevada para la segunda y por medio de cuidados especiales de limpieza y utilización de refractarios de alta calidad para la tercera categoría. A pesar de todo se mencionará aquí con insistencia que en el estado actual de conocimientos, el acerista no tiene la posibilidad de elaborar un metal perfecto.



## 2.- DESOXIDACION POR LA ESCORIA SOLA.

Por lo que se ha dicho anteriormente, no es prácticamente posible evitar la formación de inclusiones que decantarán ó no cada vez que se haga una adición desoxidante, al baño del acero. Es posible tomar algunas precauciones para que esas inclusiones no -- sean finalmente numerosas, sin embargo una parte de -- ellas es siempre susceptible de permanecer en el metal.

Si no se hiciera ninguna adición al baño metálico, se tendrían mas posibilidades de no precipitar las partículas y obtener finalmente un acero más limpio.

Este método es utilizado en la práctica, operando la desoxidación únicamente por medio de la escoria. Se ha visto que cuando se hace una adición desoxidante a la escoria, los óxidos de  $FeO$  y de  $MnO$ , son reducidos y que por vía de equilibrio, esta escoria se reoxida, absorbiendo una parte de los óxidos del metal; se comprende así fácilmente que si se introducen en la escoria por adiciones sucesivas y durante un tiempo suficiente, los desoxidantes en polvo, se llegará poco a poco a suprimir los óxidos del baño sin que haya necesidad de hacer adiciones directas al baño. Hay necesidades naturalmente de hacer utilizar una cantidad de desoxidante mayor que la que sería necesario si se hicieran adiciones al metal; ya que una fuerte proporción de polvos utilizados se quema en la atmósfera -- del horno.

Se llegará a hacer así subir el contenido -

de Si, del baño hasta 30% por ejemplo; lo que dará finalmente un acero perfectamente calmado y no se habrá utilizado ninguna aleación pesada conteniendo Si, este elemento se difunde poco a poco de la escoria del baño, reduciendo gradualmente los óxidos del metal.

El proceso debe ser cuidadoso, la escoria requiere una vigilancia constante y deben tomarse en cuenta muestras numerosas de acero que indiquen el grado de calma durante el desarrollo de la operación.

Es difícil conocer el contenido de Si, en el metal después de esa oxidación ya que el contenido de las capas superiores es mayor que el de las zonas situadas cerca del piso. La homogeneización sólo se logrará cuando se cuele en la olla de vaciado. Cuando se toma una muestra del baño, es siempre el metal de la capa superior el que se toma, y si éste metal tiene un contenido de Si, suficiente y está calmado, no hay certeza que las zonas inferiores lo sean igualmente. Además la oxidación que se produce durante las operaciones de colado pueden tener consecuencias graves si el Si, inicial es demasiado bajo. Es pues necesario buscar el contenido de Si, mayor que el que corresponde al calmado del acero, sin ir más allá del impuesto por la especificación. Este método es delicado y exige operadores experimentados, pero conduce a la obtención de un metal en buena calidad, cuando se lleva a cabo correctamente.

### 3.- PUESTA EN PUNTO DE LA COMPOSICION.

La puesta en punto consiste en aportar al -

metal los elementos que le hacen falta para realizar la composición final buscada.

Estos elementos son de dos categorías:

- a) Los que han sido utilizados para desoxidar el metal pero que todavía están en contenidos insuficientes que hay necesidad de completar.
- b) Los elementos nuevos que no se han utilizado para la desoxidación del metal, pero que pueden estar presentes en el acero porque el lecho de fusión -- los contenía y hay necesidad también de llevarlo a los contenidos deseados.

Entre los primeros se encuentra también -- siempre el C, el Si, y el Mn. Si la colada se ha conducido bien no habrá necesidad de completar el contenido de C, pero en el caso de que este elemento tenga un valor muy bajo, se hará al metal una adición de -- grafito ó se utilizarán aleaciones más carburizadas -- para aportar los otros elementos.

En cuanto al Si, y al Mn, se han hecho después de la fusión de la escoria de desoxidación, y es sobre esas cifras que deben calcularse las adiciones. En cuanto al Si, los análisis hechos sobre esa muestra dan siempre un contenido muy bajo que es despreciable.

Se debe estimar que prácticamente el contenido de Si, del baño es nulo en el momento que se iniciará la -- desoxidación.

De los elementos del segundo grupo, los ele

mentos principales son el níquel, el molibdeno, y el cromo, que se determinan en el curso de la colada. El níquel y el molibdeno que prácticamente no se oxidan se han analizado al final de la fusión y se completan lo más rápido posible, generalmente al final de la elaboración y sólo como verificación que puede hacerse después de la fusión de la escoria y desoxidación.

El cromo que se oxida fácilmente, tiene un contenido que se baja constantemente durante la afinación además que una gran parte se elimina al escoriar es igualmente sobre el análisis hecho después de la fusión de la escoria y desoxidación que se calculará a la adición definitiva. El ferrocromo puede agregarse al baño, antes, durante, ó después de la desoxidación, pero siempre suficientemente antes de colar para estar seguros que su fusión sea perfecta y para las inclusiones que se hayan podido producir en el momento de esa adición, tengan el tiempo suficiente para decantar.

Es una buena práctica el jamás colar antes de 30 minutos después de la adición del cromo.

Finalmente se citarán las adiciones especiales de vanadio y de titanio, que deben hacerse poco antes de colar, ya que son elementos oxidables que se eliminan muy rápido del acero.

Se recuerda aquí que para los aceros, para los cuales se requiere una gran limpieza, la acción de titanio debe ser evitada.

#### 4.- LOS GASES.

Se ha visto al estudiar la afinación, la -- precaución que se debe tener para obtener al escoriar la cantidad mínima de gas. Si la descarburación ha si do suficiente, se se han cargado materiales suficien- temente secos y empleado oxígeno, se deben obtener al final de la afinación un contenido de hidrógeno muy - bajo que puede ser prácticamente de 3 a 4 cm<sup>3</sup>/100 gra mos, pero en el transcurso de las operaciones siguien- tes; el contenido de gases va a tener tendencia a au- mentar y no se tendrán desgraciadamente hasta el afi- no de colada medios eficaces para bajar ese contenido (con excepción posiblemente de limpiado con alcohol - del que se hablará más adelante).

Hay que buscar pues, evitar esa toma de ga- ses por el baño, lo que será la mayor parte de las ve ces muy difícil. Un acero al ser colado en la olla de vaciado tiene siempre un contenido de gases superior- al que tenía al final de la afinación.

~~Las fuentes de gases más importantes tiene-~~  
su origen en las siguientes circunstancias:

- 1.- Escoriado que en el horno eléctrico se debe hacer a " baño desnudo " permite al metal que se va a - encontrar momentáneamente en contacto directo con la atmósfera del horno, absorber oxígeno y nitró- geno.
- 2.- La adición de carbón en polvo que absorbe fácil-- mente los gases de la atmósfera y que los cede en seguida al baño.

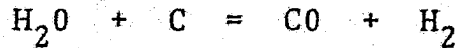
- 3.- Los constituyentes de la escoria, inclusive si están perfectamente secos, contienen agua de constitución, fuente importante de hidrógeno para el metal.
- 4.- Las ferroaleaciones contienen con frecuencia una cantidad considerable de gases, el ferrocromo en particular, tiene siempre un contenido de nitrógeno elevado, además que puede contener humedad si no se le precalienta.
- 5.- Si la operación de desoxidación continúa durante algún tiempo bastante largo sin que se haya operado en el baño una agitación mecánica suficiente, se produce bajo los arcos un sobrecalentamiento intenso, y una absorción de gases en ese sitio -- que puede llegar en ciertos casos a tal grado que el metal no pueda calmarse.

La única solución es entonces, el rehacer la colada volviendo a comenzar completamente la afinación la utilización del oxígeno se impone, ya que con el mineral sólo se tendrán dificultades para eliminar el carbono en presencia de contenidos de silicio y chromo correspondientes al del metal final. Esta absorción de gases por el baño es bien conocida por los aceristas eléctricos y puede explicarse en la siguiente forma: mientras el baño no está protegido por la escoria (lo que ocurre frecuentemente bajo el arco cuando el baño está fluido), el vapor de agua reacciona con el fierro -- conforme a la reacción:



Cuando el metal está protegido por una-

capa de escoria, otra reacción puede intervenir; la del carbono de los electrodos con el vapor de agua atmosférica.



A las altas temperaturas del arco, la reacción se completa de derecha a izquierda.

Siendo las dos reacciones anteriores endotérmicas, son favorecidas por un aumento de la temperatura, es pues necesario evitar este sobrecalentamiento local, y no dejar el baño largo tiempo sin agitación.

La reacción (1) que produce FeO, muestra que si el baño está oxidado, es decir si los contenidos de FeO, de la escoria y del metal son elevados, no habrá prácticamente desociación de H<sub>2</sub>O, y por lo tanto no habrá tampoco absorción de hidrógeno por el metal, de donde se concluye si se busca un contenido bajo de H<sub>2</sub>, se tendrá interés a no desoxidar el baño en el horno sino en la olla de vaciado como para el acero Martín.

Sin embargo hay que ser prudentes en la aplicación de éste método que es contrario a los principios de elaboración del acero fabricado en el horno eléctrico.

6.- Sin embargo una de las fuentes principales de hidrógeno es ciertamente el agua contenida en el refractario de la olla de vaciado. Todos los cuidados tomados en el horno se pueden estropear si la olla está insuficientemente seca, en ciertos casos

sólo habrá una toma de oxígeno poco considerable, pero en otros casos se podrá constatar una ebullición del metal con una absorción de hidrógeno considerable que conducirá inevitablemente a un metal poroso que se desechará.

La enumeración anterior muestra los cuidados que es necesario tener:

- Escoriado rápido
- Utilización mínima de carbón en polvo
- De donde la necesidad de no descender demasiado en el C, al final de la afinación.
- Constituyentes de la escoria, suficientemente secos ( en algunos casos caliza en lugar de cal ).
- Adición de ferrocromo en un baño todavía oxidado, - es decir inmediatamente después de escoriar, ya que el hidrógeno no es soluble en un baño total.
- Agitación frecuente y enérgica para homogeneizar la temperatura y evitar el sobrecalentamiento.
- Vaciar por pico y en olla perfectamente secos.

No obstante todas estas precauciones, será difícil de obtener en el horno de arco básico un contenido de hidrógeno inferior a  $5-6 \text{ cm}^3/100 \text{ gr}$ , pero si por el contrario no se toma ninguna precaución se llegará a  $12-13 \text{ cm}^3/100 \text{ gr}$ , y en ciertos casos, ese contenido se sobrepasará, lo que conducirá al deshecho de la colada.

#### SOPLADO CON ARGON.

Hasta los últimos años, un metal que llegaba al momento de colar con un contenido de hidrógeno-



demasiado alto, remontaba inevitablemente en las lingoteras y era desecho después. La única solución era la de recomenzar la colada con objeto de que un nuevo trabajo del baño asegurara una buena desgasificación.

Parece que los aceristas cuentan ahora con un método que les debe permitir eliminar los gases antes de colar; este método consiste en hacer inyección con argón.

Este gas neutro con respecto al acero, deja a éste con la misma composición después del soplado.

Parece por otra parte, que no se disuelve en el metal contrariamente a los demás gases que se tienen disponibles.

Algunas fábricas han adoptado ya el método de un medio corriente.

Cuando, antes de colar en la olla una muestra indica que el metal remonta una inyección de argón que es del orden de  $1\text{m}^3/\text{ton. metal}$ , este se calma generalmente después de la inyección. Esto representa un gasto extra considerado, pero el proceso es siempre rentable cuando permite salvar una colada.

La utilización de argón es ahora una práctica normal para los aceros inoxidables 18/8, y los aceros al 12% de cromo que tiene tendencia a absorber hidrógeno en grandes cantidades, pero que parece que los pierden fácilmente al soplarlos con argón.

Otra técnica es la de soplar en la olla devaciado.

## 5.- DESULFURIZACION.

En la fabricación en el horno eléctrico básico la desulfuración se opera al mismo tiempo que la desoxidación y prácticamente el acerista, no se preocupa de la eliminación del azufre, ya que el sabe que si la desoxidación ha sido bien hecha y ha durado un tiempo suficiente obtendrá sistemáticamente un contenido bajo de azufre. El horno eléctrico está particularmente adaptado para la eliminación de esta impureza y la determinación de S, en el curso de la elaboración no es siempre necesaria.

Estas condiciones son las siguientes:

- a) Fluidez y volumen suficiente de escoria.
- b) Contenidos básicos de cal libre y mínimo de óxidos metálicos; el contenido de silicio puede llegar -- sin inconveniente hasta un 15%, (la sílice está -- siempre presente en una escoria de sulfurización -- que haya sido desoxidada con ayuda del silicio).
- c) Un contenido de Mn, tan elevado como lo permita la composición buscada.
- d) La temperatura elevada y duración suficiente de -- contacto entre escoria y metal.

Los sulfuros de Mn, y Ca, juegan el papel principal en la desulfuración. Si los contenidos de silice ó de óxido de Fe, de la escoria llegan a ser muy elevados, una parte del azufre irá inmediatamente al acero.

La presencia de carburo de calcio en la escoria constituye a hacer más activa la desulfuración.

~~El espato fluor y eventualmente la bauxita~~  
fluidificantes enérgicos, ejercen también una influencia favorable.

La desulfurización de aceros dulces es siempre más difícil que la de los aceros duros. Hay que prolongar el contacto metal-escoria, si se desea reducir el contenido de azufre a un mínimo extremo. La reducción suplementaria del azufre del acero puede ser realizada por utilización de ciertos elementos. El titanio y el zirconio en particular, ya que los oxisulfuros de titanio parecen aptos a la decantación y se eliminan así del baño.

La adición del silico-calcio en proporción suficiente y en la olla de vaciado provoca una desulfurización neta e importante. No parece que haya posibilidad de utilizar como para el fierro gris, carbonatos alcalinos para la desulfuración del acero.

Como procesos particulares se pueden citar la agitación en la olla con escoria sintética finamente molida, así como el método Perrin por agitación con escoria sintética, esta última se puede aplicar también a la desoxidación y a la desfosforización por medio del empleo de escoria de composición apropiada.

En últimas fechas se han venido progresando ~~aún más en la fabricación de acero en los hornos eléctricos~~ con los siguientes avances tecnológicos.

a) Quemadores oxígeno-gas.- Equipo que aumenta el poder calorífico dentro del horno por lo cuál se dis

~~minuye el tiempo de fusión y el consumo de KWH.~~

- b) Cubas refrigeradas.- Con ésto se elimina gran parte del refractario del horno eléctrico y se disminuye el tiempo de paro por mantenimiento de refractarios y el cambio del mismo.
- c) Vaciado por la parte inferior del horno.- Esto -- hace más barato los hornos por no necesitarse equipo de basculación y ayuda a vaciar más rápido y -- que el acero sea más limpio ya que la escoria queda exáctamente en la parte superior.
- d) Metalurgia en la olla.- Esto hace que el horno sólo se utilice para fundir la chatarra, y el afinamiento se efectúa en la olla por medio del equipo auxiliar que puede ser para inyectar desulfurantes, -- inyección de ferro-aleaciones, inyección de gases inertes para homogeneizar el acero líquido, equipo para llevar la temperatura en la olla con el uso de un transformador y electrodos de menor capacidad que los utilizados en el horno; y en aceros -- inoxidables el uso de vacío para evitar al máximo la oxidación.

## C O N C L U S I O N E S

La producción de acero por medio del horno-eléctrico se ha incrementado sustancialmente, y en la actualidad se producen alrededor de 150 millones de toneladas al año con él, ésto le dá un 2º lugar en producción.

En el futuro se considera una mayor participación de este equipo en la producción de acero, ya que la demanda de aceros especiales aumenta año con año, y los hornos eléctricos son el medio más versátil para la fabricación de éstos.

Además no se ven mayores dificultades de disponibilidad de materia prima, ya que la reducción directa está en crecimiento y los países industrializados y los que están en desarrollo, generan cantidades grandes de chatarra, en lo que se refiere al consumo de energía eléctrica, se está auxiliando con el uso de otras formas de energía como los quemadores oxigás, etc.,

Por lo que podemos asegurar que la fabricación de acero en hornos eléctricos es la mejor opción en la actualidad.

## B I B L I O G R A F I A

- METALURGIA  
Tomo I, Aleaciones metálicas  
C. Chaussin, G. Hilly  
Ediciones Urmo
  
- INGENIERIA METALURGICA  
Tomos I y II  
Raymond A. Higgins  
Editorial C.E.C.S.A.
  
- FABRICACION DE HIERRO, ACEROS y FUNDICIONES  
José Apraiz Barreiro  
Tomos I y II  
Urmo, S.A. Ediciones
  
- TECNOLOGIA DEL ACERO  
Jose Ma. Lasheras Esteban.