

Por lo tanto la ecuación global de calcinación es.



VENTAJAS DE LA CALCINACION. - A).- Hay un quecimiento del mineral cuyo título en elemento útil es evidentemente aumentado por la separación del óxido de carbono y el agua; de ellos resulta, eventualmente, una disminución de los gastos de transporte y un aumento de rendimiento del aparato metalúrgico.

B).- Siendo poroso el compuesto obtenido en general más fácil de reducir.

C).- Puede haber depuración parcial del mineral por eliminación más o menos completa de azufre en estado de SO₂

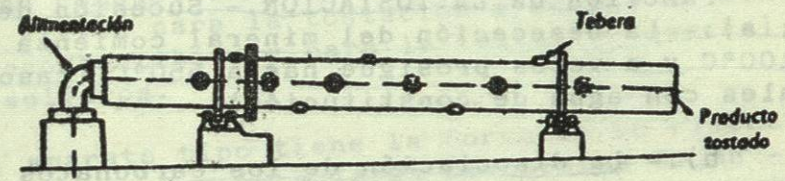
D).- En la metalurgia del cinc. La separación del óxido de carbono (oxigenante a temperatura elevada) favorece la reducción del óxido ZnO que de otra forma no sería posible más que a costa de un mayor consumo del coque.

E).- Se advierte que bajo presiones iguales las temperaturas teóricas de comienzo de disociación térmica de los diferentes carbonatos se reparten en un vasto intervalo, ha aquí los números relativos de los cuatro carbonatos utilizados en metalurgia.

	CARBONATOS	ZnCO ₃	FeCO ₃	MnCO ₃	CaCO ₃
Presiones					
0,1 atm.		95°C	132°C	310°C	750°C
0,25 atm.		108°C	149°C	333°C	798°C

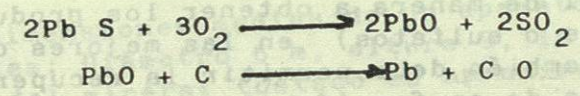
En el proceso de calcinación se utiliza un horno rotativo, son largos cilindros hasta de 60 m que giran a 5 r.p.m., ligeramente inclinados sobre la horizontal (6 grados), y cuyo diámetro es generalmente 1/10 de su longitud. Llevan en la periferia toberas de admisión de aire regulables que penetran en el eje del cilindro, la pared interior de ladrillo refractario presenta una estructura especial con anillos de retención a fin de hacer más lento el movimiento del mineral.

Su flexibilidad de marcha es muy grande, la temperatura del régimen puede variar de 850 a 1100°C según la naturaleza del mineral tratado

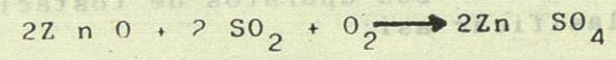


Proceso exotérmico
HORNO ROTATIVO
TOSTACION. - Es la transformación de un mineral ó concentrado en un óxido o en un sulfato mediante la aplicación de calor y (la acción de un reactivo oxidante)

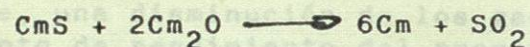
Se utilizan tres procedimientos de tostación:
a).- Tostación total y reducción. (Tostación-relámpago), el sulfuro es enteramente transformado en óxido, posteriormente es reducido por el carbono.



b).- Tostación total, disolución y electrolisis. El óxido formado se trata con ácido sulfúrico diluido se obtiene una solución de sulfato de la que se extrae el metal por una electrolisis con ánodo insoluble, ejemplo: cinc, cobre.



c).- Tostación parcial y reacción, este procedimiento se utiliza para obtener cobre, pero no se aplica al mineral bruto. Una parte del sulfuro es oxidado, y el óxido cuproso formado reacciona sobre el sulfuro intacto dando el metal:



PRACTICA DE LA TOSTACION.- Sucesión de fenómenos: a).- La desecación del mineral comienza antes de 100°C y a veces prosigue hasta 550°C (caso de minerales con agua de constitución).

b).- La disociación de los carbonatos de la ganga se produce eventualmente a partir de 200°C.

c).- La inflamación de los sulfuros se produce a partir de 200°C a temperaturas que varían con la naturaleza del mineral y la finura de los granos. Encima de 650°C se forman sobre todo sulfatos encima de 750°C predomina la formación de óxidos. La composición de la atmósfera del horno (SO_3 , SO_2 , O_2) puede modificar, para una misma temperatura, las proporciones de óxidos y sulfatos.

d).- La descomposición de los sulfatos es prácticamente total encima de 1000°C. El producto tostado está entonces formado de óxidos.

HORNOS DE TOSTACION.- Actualmente, un horno de tostación no solamente debe realizar la oxidación del mineral de manera a obtener los productos deseados (óxidos o sulfatos) en las mejores condiciones sino que también debe permitir la recuperación fácil del dióxido de azufre (fabricación del ácido sulfúrico) y la máxima recuperación de las cantidades de calor.

Estas consideraciones han originado la construcción de numerosos aparatos de tostación, que se pueden clasificar así:

- 33
- 1.- Hornos de soleras múltiples de tableado mecánico (utilizados sobre todo para los minerales autocombustibles).
 - 2.- Hornos de mufla (para minerales no autocombustibles).
 - 3.- Convertidores
 - 4.- Hornos rotativos
 - 5.- Hornos de fluidización.

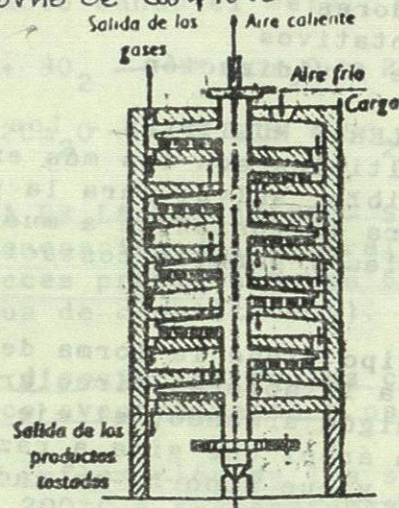
HORNOS DE SOLERAS MULTIPLES.- Los hornos mecánicos de soleras múltiples son los más extendidos, no utilizan combustible, salvo; para la puesta en marcha, y sirven para la tostación a muerte de minerales autocombustibles y para la tostación parcial de otros sulfuros.

El aparato tipo tiene la forma de un cilindro que comprende de 6 a 10 soleras circulares fijas construidas de hormigón armado, el eje del aparato está ocupado por un árbol que gira a razón de 1 r.p.m. aproximadamente, y que soporta en cada piso un brazo provisto de paletas.

El mineral molido no debe contener más de 0.08% de agua, y se introduce sobre la solera superior; las paletas están inclinadas en sentido inverso de una solera a la otra de forma que empujan el mineral hacia la abertura de la solera, alternativamente central y periférica, a fin de hacerlo pasar a la solera inferior. El aire se insufla en la parte inferior del horno; este aire generalmente se recalcienta previamente [por circulación en el árbol ó brazos], a los que enfría y protege así contra el ataque de los gases.

Las dimensiones medias de un aparato tal son las siguientes: Diámetro 6 m, altura 9, la producción diaria del mineral tostado es aproximadamente de 50 t. y el contenido en azufre desciende a 7% aproximadamente.

El horno alto su objetivo es producir el arrabio que es la materia prima en la fabricación de aceros en los hornos de afinación o bien en la fabricación de piezas de fundición en el horno de colado.

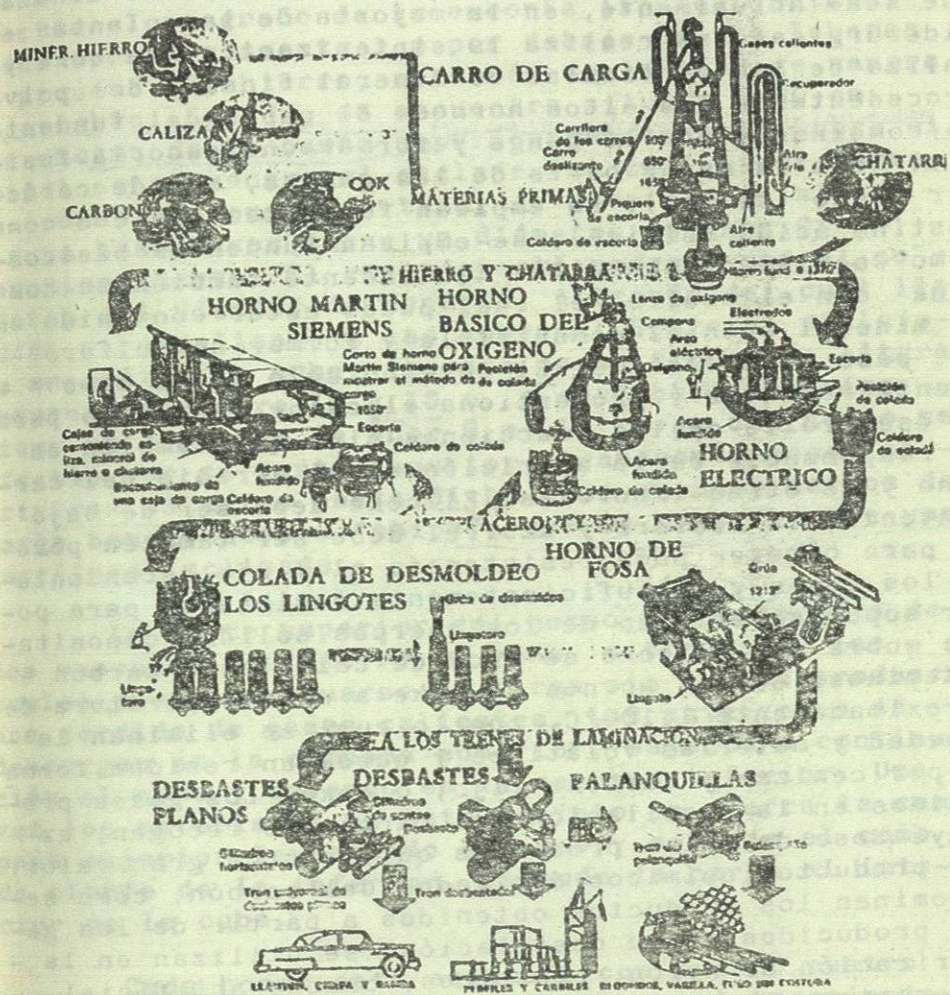


HORNO ROTATIVO

FUSION. - Se llama fusión a toda operación realizada a elevada temperatura, en la que se obtiene bien metal fundido (fusión reductora) ó bien una mezcla de sulfuros metálicos en estado líquido (fusión por matas de sulfuros). Esta operación normalmente se adicionan fundentes, los cuales, al combinarse con la ganga, forman una escoria que se elimina periódicamente, los dos principales tipos de hornos utilizados en la fusión son el horno alto y el horno de reverbero (por matas) (hornos metálicos).

La fusión reductora del mineral de hierro en el horno alto constituye el punto de partida de la fabricación de la fundición y del acero, por lo que trataremos de ella con más detalle.

Las materias primas utilizadas en la carga del horno son mineral de hierro, coque (agente reductor) y castina, la cual es un fundente calizo que (Chatarra, combustible, fundentes, aire)



ESQUEMA DE LA PRODUCCION DEL ACERO

combina con las impurezas y origina su separación física. Los minerales de hierro utilizados son principalmente óxidos; hematitas (Fe_2O_3), magnetita (Fe_3O_4), limonita ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) y siderita ($FeCO_2$), estando formada la ganga en su mayor parte por sílice (SiO_2), junto con cantidades menores de manganeso y fósforo. A veces el mineral se somete a alguna operación previa de preparación, tal como calcinación, tostación, o concentración, dependiendo el

El coke debe ser:

Si tenga: porosidad, bajo contenido en sust. volátiles
resistencia al aplastamiento

36

Un buen poder calorífico (7,000 Kcal/Kg)
el que se le someta a una u otro; del tipo de mineral
que sea. Actualmente, en la mayoría de las plantas
siderúrgicas, se realiza la sinterización con coke y
caliza de las partículas de mineral finas y del polvo
procedente de los altos hornos. El papel del fundente
es ^{aglutinar las impurezas del mineral} combinarse con la ganga y formar una escoria fusible. Como la mayor parte de las gangas, son de carácter ácido (sílice), se emplean fundentes básicos como castina ácido (sílice), se emplean fundentes básicos como castina o magnesita. El fundente también se combina con el azufre, el cual puede estar contenido en el mineral o en el combustible y formar un sulfuro que pasa a la escoria. El coke no solo actúa como agente reductor y proporciona el calor necesario para el desarrollo de las reacciones sino que también es el responsable de la aparición en el arrabio del carbono y de otras impurezas. El coke debe ser de bajo contenido en fósforo y azufre. debe ser también poroso para ofrecer poca resistencia al flujo ascendente de los gases y lo suficientemente resistente para poder soportar el peso de los cuerpos sólidos depositados sobre él. El coke se produce calentando carbón bituminoso en los hornos de coke a una temperatura de aproximadamente 1,100°C, con lo cual se eliminan la humedad y materias volátiles y queda un residuo formado por cenizas y carbono fijo, o coke. Los gases producidos en la destilación del carbón se recogen, extrayéndose de ellos productos químicos de gran valor. Los productos químicos derivados del carbón, como se denominan los productos obtenidos a partir de los gases producidos en su destilación, se utilizan en la fabricación de nylon, plásticos, caucho artificial, colorantes, abonos, perfumes y diversos productos farmacéuticos, entre ellos la aspirina.

Los hornos altos son grandes hornos de cuba de aproximadamente 30 m de altura, revestidos interiormente con ladrillos refractarios. La parte cilíndrica inferior, denominada crisol, de unos 3 m de altura y unos 8 m de diámetro, contiene las toberas, la piqueta de escoria o bigotera y la piqueta de sangrado del hierro. Las toberas son una serie de orificios abiertos a lo largo de una circunferencia en la parte superior del revestimiento del crisol, a través de los

No debe tener ni humedad

La escoria por su bajo densidad pasa a la parte superior del horno donde es eliminada o extraída (se utiliza piedra caliza)

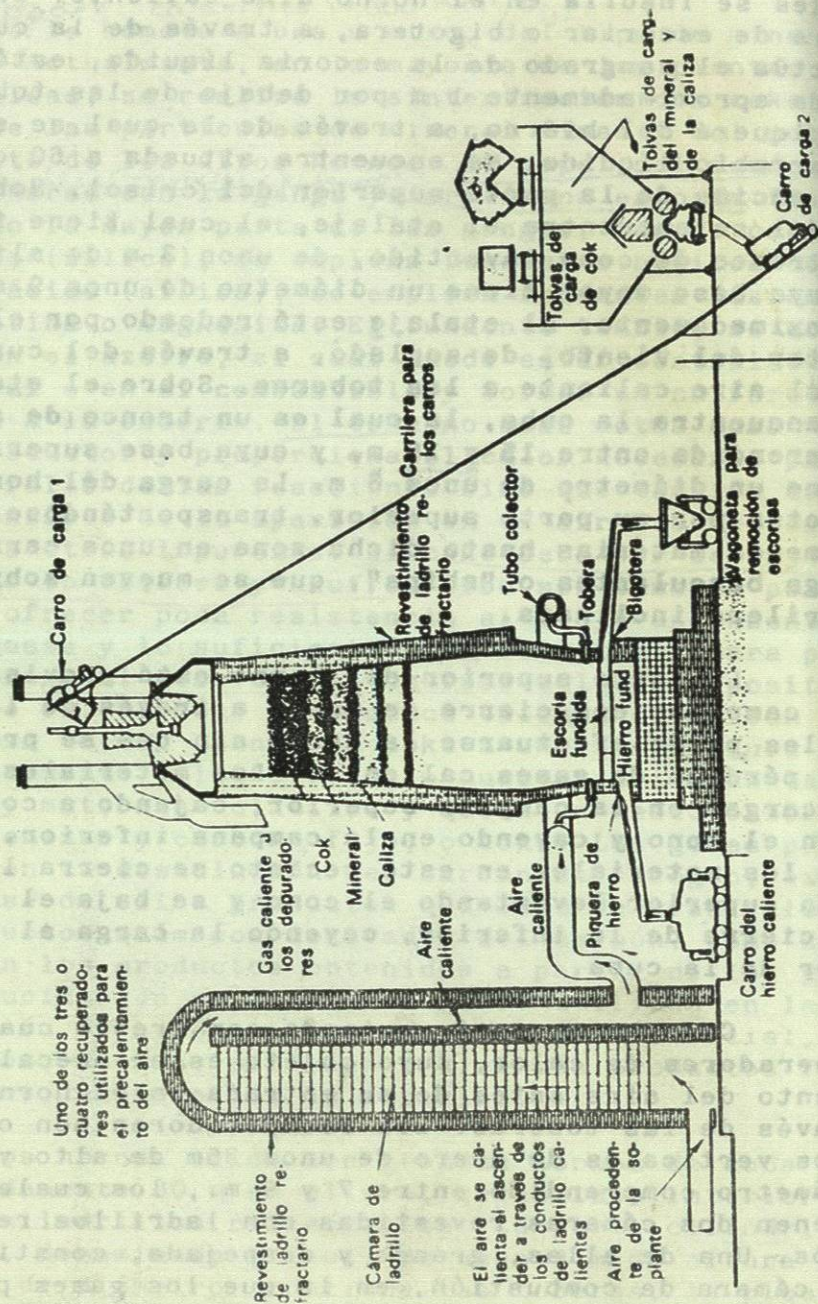
El aire ayuda con la combustión

37

cuales se insufla en el horno aire caliente. La piqueta de escoria o bigotera, a través de la cual se efectúa el sangrado de la escoria líquida, está situada aproximadamente 1 m por debajo de las toberas de la piqueta del hierro, a través de la cual se sangra el arrabio líquido, se encuentra situada a 60 cm. -- por encima de la parte superior del crisol. Sobre el crisol se encuentra el etalaje, el cual tiene forma de tronco de cono invertido, de unos 3 m de altura y cuya base mayor tiene un diámetro de unos 9 m -- aproximadamente. El etalaje está rodeado por el colector del viento, de soplado, a través del cual llega al aire caliente a las toberas. Sobre el etalaje se encuentra la cuba, la cual es un tronco de altura comprendida entre 15 y 18 m, y cuya base superior tiene un diámetro de unos 6 m. La carga del horno se efectúa por su parte superior, transportándose las primeras materias hasta dicha zona en unos carros de carga basculantes o "ships", que se mueven sobre una carrielera inclinada.

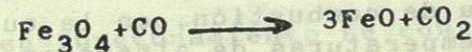
La parte superior del horno está provista de dos campanas con cierre de cono, a través de las cuales puede efectuarse la carga sin que se produzca una pérdida de gases calientes. Los materiales se descargan en la campana superior, bajando a continuación el cono y cayendo en la campana inferior. Una vez los materiales en este recinto se cierra la campana superior levantando el cono y se baja el cono de cierre de la inferior, cayendo la carga al interior de la cuba.

Cada horno está equipado con tres o cuatro recuperadores de calor, cuyo objeto es el precalentamiento del aire antes de su entrada en el horno a través de las toberas. Los recuperadores son cilindros verticales de acero de unos 36m de alto y de diámetro comprendido entre 7 y 9 m., los cuales contienen dos cámaras revestidas con ladrillos refractarios. Una de ellas, grande y despejada, constituye la cámara de combustión, en la que los gases procedentes del horno alto se mezclan con la proporción correspondiente de aire, quemándose. Los gases quemados ascienden a la cúpula del recuperador y de allí



descienden a través de los numerosos conductos de la
 drillos refractarios que forman la segunda cámara, -
 cediéndoles gran parte de su calor. Después de estar
 pasando el gas durante unas tres horas por el mismo-
 recuperador se cierra el paso y se envía a otro de -
 los recuperadores, introduciéndose en el primero por
 su parte inferior aire procedente de las máquinas so-
 plantes, el cual, durante su recorrido hasta el hor-
 no, absorbe el calor almacenado en el refractario. -
 Si el horno cuenta con tres recuperadores, mientras-
 uno está "en aire" los otros dos están "en gas" por-
 lo que el tiempo que cada recuperador está en gas es
 doble del que está en aire.

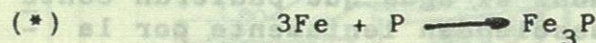
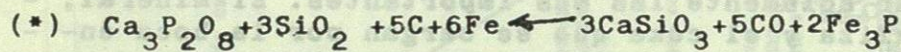
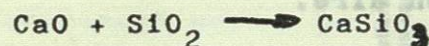
Las reacciones químicas que tienen lugar en-
 el horno alto son numerosas, y nos limitaremos a -
 tratar solamente las más importantes. El mineral, -
 la caliza y el coke que se cargan por la boca en-
 tran en contacto con la corriente ascendente de ga-
 ses calientes, cuya temperatura es de unos 150°C, -
 secándose y eliminándose el agua que pudieran conte-
 ner. Los materiales descienden lentamente por la -
 cuba hasta alcanzar la zona de reducción, en la -
 cual las temperaturas varían entre 370 y 870°C. -
 Aquí se ponen en contacto con el gas reductor, óxi-
 do de carbono, verificándose las siguientes reaccio-
 nes que van acompañadas de un aumento de temperatu-
 ras.



Al continuar descendiendo los materiales lle-
 gan a la zona de absorción de calor, en la cual las
 temperaturas varían de 870 a unos 1,315°C, corres-
 pondiendo éste último valor a la parte superior del
 etalaje. En esta zona se descomponen el agua y la
 caliza, el hierro esponjoso absorbe algo de carbono
 y parte de óxido de manganeso se reduce, verificán-
 dose las reacciones siguientes:



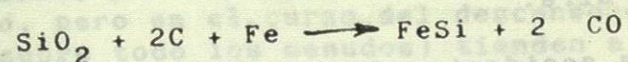
En la región del etalaje, conocida como zona de fusión se alcanzan temperaturas de unos 1650°C, teniendo lugar muchas de las reacciones que dan lugar a la formación de la escoria, algunas de las reacciones típicas que se verifican son las siguientes:



Las reacciones (*) conducen a la formación de fosfuro de hierro, el cual es soluble en el hierro y pasa a formar parte del baño metálico; por consiguiente la única manera de controlar el contenido en fósforo del arrabio es mediante una adecuada selección de los materiales de partida.

Inmediatamente por encima de las toberas se encuentra la zona de combustión, en la cual se llegan a alcanzar temperaturas de alrededor de los 2,000°C. En esta zona el oxígeno y el agua contenidos en el aire caliente insuflado se combinan con el carbono del coque formándose hidrógeno y óxido de carbono, la escoria y el hierro, ambos en estado líquido ahora, se filtran a través de los intersticios del coque, pasando al crisol, donde se separan en dos capas por orden de densidades. La capa inferior, de metal fundido, contiene todas las sustancias reducidas, mientras que la superior, de escoria, está compuesta por todas las sustancias que han quedado sin reducir. Es probable que en la superficie de contacto entre ambas capas haya una pe-

queña reducción de sílice con formación de siliciuro de hierro o silicio de acuerdo con las reacciones siguientes:



lo que explica la presencia en el hierro de pequeñas cantidades de silicio en estado de disolución.

En marcha normal la escoria se sangra cada dos horas aproximadamente, mientras que el sangrado del hierro tiene lugar cuatro ó cinco veces al día. El arrabio se cuela en cucharas, en las cuales se transporta a los hornos de acero, los cuales necesariamente tienen que encontrarse cerca, o bien pueden moldearse en lingote de afino ó galápagos.

Las impurezas que contiene el arrabio varía notablemente según el mineral utilizado, pero normalmente se encuentra dentro de los siguientes intervalos; carbono de 3 a 4.5% silicio, 1 a 4%; azufre, 0.04 a 0.2% fósforo 0.1 a 2%; y manganeso 0.2 a 2.5%

El horno alto debe tener un funcionamiento perfectamente regular; la composición del lecho de fusión, su modo de repartición en la cuba, la cantidad, presión, temperatura y grado de humedad del aire insuflado, la cadencia de las coladas del arrabio y de la escoria, todo debe ser mantenido sensiblemente constante.

El buen funcionamiento se controla por el estudio de los arrabios y la regularidad del descenso de las cargas; si los productos son demasiado calientes, se aumenta un poco la proporción de mineral e inversamente, si el descenso de las cargas es penoso se aumenta la sílice en detrimento de la cal. Otras consideraciones intervienen: exámen de la escoria, composición y temperatura de los gases del tragante, cantidad de polvos, presión del aire, exámen de las toberas.

Cuando se quiere cambiar de marcha, se opera

progresivamente y la operación dura algunos días, se modifica poco a poco el lecho de fusión y el régimen del aire.

Los accidentes de marcha son de dos clases,

A).- El colgado es una parada en el descenso de las cargas que quedan colgadas en las paredes. puede ser debido a una marcha demasiado caliente: la fusión de las materias es prematura, y su dilatación forma una bóveda en la parte superior de los etalajes, la formación de carbono pulverulento a partir de la disociación del óxido de carbono contribuye también al hinchamiento de la carga. Se remedia por la parada momentánea del soplado o disminuyendo la temperatura del aire.

El colgado puede igualmente formarse en marcha fría, si el combustible está en cantidad insuficiente, las materias de la carga no funden más que en parte y descienden mal. Entonces se utilizan las toberas de socorro que están colocadas a un nivel superior a las toberas normales.

B).- Las obstrucciones del crisol provienen de un defecto de combustible o de una carga demasiado calcárea; la escoria se carga de óxido de hierro la desulfuración se hace mal, y las toberas y los agujeros de colada corren el peligro de ser obstruidos debido a la falta de fluidez de la materia. Es preciso remediar inmediatamente este accidente elevando la temperatura del aire.

TEORIA DE LA CARGA.- La carga se hace a una cadencia regular, por capas alternadas de combustible y de la mezcla mineral + fundente. Siendo los ángulos del talud natural del coke y del mineral de aproximadamente 26° y 35° respectivamente se debe proceder por cargas masivas, porque cargas alternadas insuficientes podrían dar lugar al establecimiento de una columna continua de uno de los elementos.

El dispositivo de la carga está dispuesto de tal manera que las materias son introducidas en la periferia; por consiguiente el coke predomina en el centro, pero en el curso del descenso de los minerales (sobre todo los menudos) tienden a aproximarse al eje del aparato, lo que homogeneiza el lecho de fusión. La buena repartición de las materias origina una economía de coke, restringe la producción de polvos y disminuye los riesgos de colgado.

INYECCION DEL VIENTO.- El viento es soplado bajo una sobrepresión de 1 atm aproximadamente por 10 a 20 toberas colocadas regularmente alrededor de la obra. La penetración y el diámetro de las toberas deben permitir la repartición regular del viento en el interior del horno alto; toberas largas o demasiado poco penetrantes proporcionarían una circulación periférica.

El viento es previamente llevado a alta temperatura, (600 a 1000°C), en recuperadores calentados por la combustión de una parte de los gases del tragante.

En marcha normal, se inyecta en las toberas aproximadamente 3 m³ de aire por kilogramo de coke introducido, volumen evaluado en condiciones normales de temperatura y de presión.

Generalmente la humedad del viento es mantenida a una tasa determinada.

COLADA DEL ARRABIO.- Según el volumen del crisol y la producción del horno alto, el intervalo regular entre dos coladas sucesivas varía de 4 a 12 h. La temperatura del arrabio a la salida del crisol es de 1400°C aproximadamente. El arrabio que sale del horno alto se destina a tres empleos, 1.- Se utiliza directamente para el moldeo; este caso es más bien raro. 2.- Se le dirige en estado líquido hacia la acería. El arrabio destinado a ser inmediatamente transformado en acero, es colado en cucharas cuya capacidad aproximada es de 20 t, y después reunido en un mezclador, en espera de ser in-