

437082



P.- 60.368

NL 74 010 ES

(Furnace)

MEMORIA DESCRIPTIVA

Int. Cl.: C22B, C21B

para solicitar PATENTE DE INVENCION

a nombre de SKF NOVA A.B.

entidad sueca

establecida en S-415 50 Göteborg, Suecia

por: "UNA INSTALACION DE HORNO PARA LA PRODUCCION DISCONTINUA DE ESPONJA DE METAL"

24-5-75



El presente invento se refiere a la reducción con gas de óxidos metálicos a metal elemental a elevada temperatura. El invento es particularmente adecuado para empleo en reducción directa con gas de cuerpos conformados de óxido de hierro en forma de polvo a esponja de hierro y se describirá en relación con tal aplicación. Sin embargo, también es evidente a partir de la descripción, que el invento es aplicable también a la reducción de óxidos metálicos distintos del óxido de hierro. El invento, más precisamente, se refiere pues a un proceso mejorado para producción discontinua de esponja de metal y a una instalación de horno para llevar a cabo el procedimiento.

El procedimiento mejorado es tal que incluye una etapa de carga, durante la cual un material oxidado del metal se dispone en forma de lecho estacionario en una cámara de horno, al menos una etapa de calentamiento, durante la cual una atmósfera caliente preferiblemente no reductora, se hace fluir a través del lecho estacionario para calentarlo, al menos una etapa de reducción, durante la cual la atmósfera reductora caliente se hace fluir a través del lecho estacionario del material oxidado para reducirlo a esponja de metal y cuando sea necesario, una etapa de enfriamiento, durante la cual la atmósfera fría no oxidante se



1075

hace fluir a través del lecho estacionario para enfriar la esponja de metal formada.

La instalación de horno además, es tal que comprende al menos un horno con una cámara de horno calentable y medios para soportar en la cámara de  
5 horno un lecho estacionario de una carga oxidada del metal y equipo auxiliar para hacer fluir, durante un periodo de calentamiento, un periodo de reducción y, cuando sea necesario, un periodo de enfriamiento, una atmósfera  
10fera caliente preferiblemente no reductora, una atmósfera caliente reductora y una atmósfera fría no oxidante respectivamente, a través del lecho estacionario.

En este contexto, la expresión "material oxidado" no ha de entenderse que se refiere solamente a  
15 mineral, que ha sido triturado a un tamaño de grano adecuado y posiblemente nodulizado, sino también a otros materiales metálicos oxidados en forma de polvo, tales como piritas calcinadas, cascarilla de laminación triturada, humo rojo (es decir partículas de humo procedentes del soplado con oxígeno de los baños de hierro o  
20 acero), lodos de rectificado limpios y limaduras de fresado etc, aglomerándose dichos productos residuales para formar cuerpos conformados de tamaño adecuado por nodulización o un procedimiento similar.

25 Dado que el procedimiento del horno alto



convencional de ninguna manera constituye un procedimiento ideal para la reducción de mineral de hierro a hierro metálico, se han hecho durante los últimos 100 años esfuerzos intensivos intentando desarrollar un procedimiento de reducción directa que al menos en ciertos casos pueda ser más ventajoso. La expresión "procedimiento de reducción directa" ha de entenderse como un procedimiento de reducción, para el que no se emplea horno alto, es decir reducción con gas, pero sin fusión del hierro producido. Cuando se produce esponja de hierro, en realidad, el mineral de hierro siempre se reduce con gas. Incluso cuando el mineral se mezcla con carbono sólido, la reducción tiene lugar por medio del monóxido de carbono circundante.

Se describen revisiones y comparaciones entre los diferentes procedimientos de esponja de hierro, por ejemplo, en Jernkontorets Annaler, 142 (1958):6, páginas 289-335 (Wiberg, M., Några nya sätt att göra järnsvamp), además en Jernkontorets Annaler 154 (1970, páginas 329-340 (Notini, U., Direktreduktionsprocessernas aktuella läge) y en Jernkontorets Annaler 157 (1973), páginas 15-22 (Eketorp, S., Järnsvampmetodernas nuläge). Especialmente el último artículo mencionado recoge de una forma excelente los principales problemas, ventajas e in-



27 MAYO 1975

5 convenientes implicados en los diferentes tipos de procedimientos de esponja de hierro. Como conclusión general referente a la elección del procedimiento de esponja de hierro, el autor del artículo establece que "los procesos Midrex y HyL parecen ser los únicos que pueden considerarse".

10 El proceso Midrex o Midland-Ross es un procedimiento de horno de cuba para la producción continua de esponja de hierro y como tal completamente diferente del presente invento.

15 El proceso HyL que se ha descrito por ejemplo en las memorias descriptivas de las patentes de EE.UU. nº 2.900.247, 3.128.174, 3.234.201, 3.467.368 y 3.684.486 trabaja con lechos estacionarios y ha sido desarrollado por Hoyalata y Lamina, Monterrey, México. La instalación comprende, además del equipo para reformar el gas natural, cuatro retortas para precalentar el mineral, para reducción, para enfriar la esponja y para vaciar y cargar. El gas natural desulfurado, que 20 en 1973 alcanzó en Méjico un precio de 7,20 coronas suecas/ $10^9$  calorías se reforma con vapor de agua hasta un contenido de gas de reducción de 70-73% de  $H_2$ , aproximadamente 15% de CO, 6-7% de  $CH_4$  y siendo el resto  $CO_2 + N_2$ . Subsiguientemente a su enfriamiento en un la 25 vador para separación del exceso de vapor de agua y  $CO_2$ ,



el gas se hace pasar al primer reactor que contiene la esponja completamente reducida, que es enfriada allí. Después el gas se hace pasar al segundo reactor donde tiene lugar la reducción final y continua al tercer reactor para precalentamiento y pre-reducción. Entre cada etapa el gas se enfría en un lavador por separación del vapor de agua y después se calienta en un recuperador. Por combustión parcial, la temperatura del gas se aumenta adicionalmente, antes de que el gas entre en el segundo y tercer reactor, respectivamente. En el cuarto reactor se descarga la esponja y se carga el mineral. El ciclo de operación total abarca 12 horas, lo que significa que cada reactor permanece durante 3 horas en cada etapa del procedimiento. El gas que abandona el tercer reactor todavía contiene cantidades importantes de CO y H<sub>2</sub> y se utiliza para calentar el horno de reformación y los recuperadores. Sin embargo, debe de añadirse una cierta cantidad de gas natural para cubrir la demanda de calor. Puede señalarse en este contexto, que según la opinión de expertos puede esperarse un precio futuro de gas-oil de al menos 6 coronas suecas/10<sup>9</sup> calorías (véase Teknisk Tidskrift, (104) 1974:1-2, páginas 32,35). La temperatura de reducción asciende a 850-1000°C. El grado de reducción es relativamente bajo, aproximadamente 86-87%. Una re-



ducción que condujera a un grado mayor implicaría una producción menor y un consumo de combustible sustancialmente mayor. Incluso ahora este consumo es relativamente alto, debido al enfriamiento y calentamiento repetidos del gas de reducción.

5

El objeto del presente invento es disminuir el consumo de energía total durante la reducción directa a esponja de metal de un lecho estacionario de material de óxido metálico dispuesto en una cámara de horno.

10

Este objeto se consigue de acuerdo con el presente invento en el procedimiento citado en el segundo párrafo de esta descripción, intercambiando calor durante la etapa de calentamiento y la etapa de reducción la atmósfera relativamente caliente empleada, que acaba de hacerse pasar a través del lecho estacionario, al menos sustancialmente en contracorriente con la atmósfera relativamente fría de nueva aportación con el fin de al menos precalentarla antes de introducirla en la cámara de horno directamente después del intercambio de calor y conduciendo durante la etapa de enfriamiento posible la atmósfera de nueva aportación fría que entra y la atmósfera relativamente caliente empleada que sale en una relación de no intercambio de calor una con la otra.

15

20

25

De acuerdo con el invento, además, dicho



objeto se consigue en la instalación de horno citada en el tercer párrafo de esta descripción, en el que dicho equipo auxiliar comprende un intercambiador de calor de gas a gas de tipo generalmente en contracorriente que está al menos parcialmente empotrado en el horno y está situado con el extremo caliente en la cámara de horno o en unión inmediata con ella, teniendo dicho extremo caliente una salida localizada aguas arriba del lecho estacionario para la atmósfera calentada en el intercambiador de calor y una entrada localizada aguas abajo de dicho lecho para el gas que ha de enfriarse en el intercambiador de calor, con lo cual durante el período de calentamiento y el período de reducción, la atmósfera relativamente caliente empleada, que se acaba de pasar a través del lecho estacionario puede enfriarse por intercambio de calor sustancialmente en contracorriente con la atmósfera de nueva aportación relativamente fría, la cual está al menos calentada previamente antes de introducirse en la cámara de horno directamente después del intercambio de calor, dicho equipo auxiliar, si la esponja de metal ha de enfriarse en el horno, comprende además medios de redirección para conducir durante el período de enfriamiento la atmósfera de enfriamiento fría que entra al lecho estacionario y la atmósfera de enfriamiento calentada que sale del lecho en una relación de no intercambio de calor una con la



27 MAY 1975

otra.

Como es evidente de lo dicho antes, se puede en ciertos casos prescindir del enfriamiento de la esponja de metal en el horno. Por ejemplo, puede proporcionarse un horno de acero adyacente al horno de la esponja de hierro, y ésta no enfriada y recientemente reducida, con una temperatura de, por ejemplo, aproximadamente 500°C puede cargarse directamente en el horno de acero. La esponja de hierro producida tendría adecuadamente un contenido de carbono relativamente alto con el fin de compensar la absorción de oxígeno por la esponja de hierro caliente del aire durante el transporte de la esponja de hierro esponjoso entre los hornos.

La instalación se diseña preferiblemente de modo que permita recircularse al lecho al menos la parte principal del gas, que ha pasado a través del lecho, cuando sea apropiado después de purificación del gas con respecto a los productos de reacción formados durante el paso a través del lecho y después de la compensación del gas consumido durante la reacción. Con lo cual, el consumo del gas se reduce sustancialmente.

Además, es sumamente conveniente diseñar la instalación de modo que permita poner a vacío el circuito cerrado, en el que el gas se hace circular y la

7 MAYO 1975

recuperación del gas. Esto hace posible, siempre que el horno se caliente eléctricamente, llevar a cabo el calentamiento y la reducción así como el enfriamiento sin consumo apreciable de gas aparte del que se consume durante la propia reacción de reducción, es decir, sin prácticamente ninguna pérdida de gas. Así, se puede esperar que el consumo real de gas reductor para la reacción de reducción casi coincide enteramente con el consumo teórico, o sea aproximadamente 27 kmol (es decir aproximadamente 600 m<sup>3</sup> a 0°C y 101,3 kilopascals) por tonelada métrica de hierro reducido.

La instalación de acuerdo con el invento puede diseñarse además de una forma particularmente sencilla de modo que permita poder ajustar completamente a voluntad la presión de la atmósfera, su temperatura, velocidad y composición en cualquier momento para llevarlas a las condiciones óptimas. A una velocidad de gas predeterminada (m/s), por ejemplo, el caudal (kg/h) a través de la carga puede aumentarse comprimiendo la atmósfera de modo que su densidad aumente, con lo cual durante un intervalo de tiempo definido pueden pasar a través de la carga un mayor número de moléculas de gas activo.

Con dicha instalación es posible, por ejemplo, ajustar el contenido de carbono de la esponja de



27



la adición de agua pura solamente, es decir, agua sin ningún agente aglutinante y el producto resultante puede cargarse en el horno sin ningún secado previo.

5 El intercambiador de calor gas a gas se diseña preferiblemente de modo que permita condensarse en el intercambiador de calor al menos parte del vapor de agua formado en la reducción (u otro vapor de agua originado de, por ejemplo, los nódulos húmedos) mientras que la atmósfera que entra está siendo precalentada por el  
10 calor latente de la condensación. Con ésto, la economía del procedimiento se mejora todavía más.

De este modo se alcanza aspectos característicos adicionales que serán evidentes de la descripción detallada siguiente del invento. Se mostrará, por  
15 ejemplo, como es posible por medios sencillos modificar el intercambio de calor gas a gas de modo que sea un generador de gas sumamente adaptable, que puede producir atmósfera oxidante o inerte o reductora, justamente como se desee en cualquier momento.

20 El invento se describirá a continuación con mayor detalle y con referencia a los dibujos que se acompañan que muestran esquemáticamente una vista de una realización preferida de la instalación de horno de acuerdo con el invento.

25 La instalación de horno mostrada en el di-



bujo comprende un horno 1 con una cámara de horno ca-  
lentable 2 y medios 3 para soportar en la cámara de hor  
no un lecho estacionario 4 de una carga de óxido me-  
tálico que ha de reducirse a esponja de metal. Un equi  
5 po auxiliar está unido al horno 1 para hacer pasar a  
través del lecho estacionario, durante un período de ca  
lentamiento, un período de reducción y, cuando sea ne-  
cesario, un período de enfriamiento, una atmósfera ca-  
liente preferiblemente no reductora, una atmósfera ca-  
10 liente reductora y una atmósfera no oxidante fría respec  
tivamente. Aunque la instalación mostrada comprende so  
lamente un horno sencillo, es evidente para un trabaja-  
dor experto en la técnica que parte del equipo auxi-  
liar puede emplearse para diversos hornos comprendidos  
15 en una sola instalación.

De acuerdo con el invento, dicho equipo  
auxiliar comprende un intercambiador de calor gas a gas  
5 de tipo sustancialmente en contracorriente, que al  
menos parcialmente está empotrado en el horno 1, y que  
20 tiene un extremo caliente 6 localizado en la cámara  
de horno 2 o en unión inmediata con ella. El extremo  
caliente 6 incluye una salida 7 localizada aguas arriba  
del lecho estacionario 4 para la atmósfera calentada  
en el intercambiador de calor y una entrada 8 localiza-  
25 da aguas abajo del lecho para el gas que ha de enfriar-



se en el intercambiador de calor. De este modo es posible, durante el período de calentamiento y el período de reducción, enfriar la atmósfera relativamente caliente empleada, que acaba de ser hecha pasar a través del lecho estacionario 4, por intercambio de calor sustancialmente en contracorriente con la atmósfera de nueva aportación relativamente fría, que de este modo se calienta previamente al menos antes de que se introduzca directamente en la cámara de horno 2 inmediatamente después del intercambio de calor. Si la esponja de metal producida ha de enfriarse en el horno 1, el equipo auxiliar comprende además medios de redirección (que se describirán con mayor detalle a continuación) para dirigir durante el período de enfriamiento la atmósfera de enfriamiento fría que entra en el lecho estacionario 4 y la atmósfera de enfriamiento calentada que sale del lecho 4 en una relación de no intercambio de calor de una con la otra.

El horno 1 mostrado es un horno de elevada temperatura susceptible de cerrarse herméticamente estanco al vacío y a la presión con una parte superior 9 y una parte inferior 10 unidas una con la otra por medio de una junta con brida 11. El horno 1 tiene un armazón de chapa metálica, que es resistente tanto a un vacío elevado como a diversas sobrepresiones de la atmósfera.

27 MAR 1975

y que está provisto de un revestimiento (no mostrado) de material resistente a elevada temperatura, por ejemplo ladrillos refractarios.

5            Dichos medios 3 para soportar en la cámara  
de horno 2 el lecho estacionario 4 comprenden una cuba  
3 con un fondo perforado 12. En la realización mostrada,  
la cuba 3 es anular, pero naturalmente puede ser de cualquier  
otra forma adecuada. Además, la cuba 3 está provista de  
soportes (no mostrados) y descansa sobre el  
10            suelo (no mostrado) de la cámara de horno 2. Dichos so-  
portes permiten fluir al gas entre el fondo perforado  
12 de la cuba y el suelo de la cámara de horno 2. Los  
soportes pueden diseñarse naturalmente de diferentes mo-  
dos, por ejemplo puede emplearse un sistema de vigas  
15            provisto posiblemente de entrantes.

Con el fin de hacer fluir a través del le-  
cho estacionario 4 la atmósfera seleccionada para la  
ocasión en cuestión, dicho equipo auxiliar comprende  
preferiblemente medios de conducción, tales como un con-  
20            ducto de circulación 13 y una bomba de circulación 14  
y un refrigerante de gas 15. Un extremo del conducto  
de circulación 13 está conectado a la entrada 16 pa-  
ra el gas frío del intercambiador de calor 5 y su otro  
extremo está unido a la salida 17 para el gas enfriado  
25            del intercambiador de calor. Dicho conducto de circula

ción 13 junto con el horno 1 y su intercambiador de  
 calor de gas a gas 5 forman un circuito cerrado. La  
 bomba de circulación se muestra como un compresor 14,  
 pero en ciertas aplicaciones puede ser un ventilador ade-  
 5 cuado. El compresor de circulación 14, que preferible-  
 mente es infinitamente variable, se conecta al conduc-  
 to 13 para hacer circular el gas por el circuito cerra-  
 do y tiene un lado de succión y un lado de impulsión.  
 El refrigerante de gas 15 está conectado al conducto de  
 10 circulación 13 en el lado de succión del compresor de  
 circulación 14 y preferiblemente está enfriado por agua.  
 Adecuadamente, el refrigerante 15 es del tipo de inter-  
 cambiador de calor espiral y el gas y el agua de enfria-  
 miento se dirigen en contracorriente uno con respecto al  
 15 otro. El enfriamiento del gas se controla por una vál-  
 vula 18 en un conducto de suministro 19 para el agua de  
 enfriamiento. Un conducto 20 está conectado al lado  
 del gas del refrigerante 15 para la toma del condensado  
 a un depósito de condensado cerrado 21, en el que el ni-  
 20 vel de condensado se controla por indicadores de nivel  
 (no mostrados) que excitan una válvula 23 provista en  
 el conducto de descarga 22 del depósito 21.

Además es adecuado que los medios (24-26)  
 para hacer el vacío el circuito cerrado estén conecta-  
 25 dos al circuito de circulación 13, preferiblemente sobre



el lado de impulsión del compresor 14 y que los medios (27-33) para recuperar la atmósfera evacuada estén conectados a los medios de vacío. En la realización mostrada en el dibujo los medios para efectuar el vacío comprenden un conducto de vacío 24 que se extiende desde el conducto de circulación 13, una válvula 25 montada en el conducto 24 y una bomba de vacío 26 dispuesta después de la válvula 25. La salida de dicha bomba está abierta al aire circundante, posiblemente por una chimenea (no mostrada). En la realización mostrada, los medios para recuperar la atmósfera evacuada comprenden un compresor auxiliar 27, un conducto 28 provisto de una válvula 29 y conectada entre el lado de succión del compresor auxiliar y el conducto de evacuación 24 en un punto entre su conexión con el conducto de circulación 13 y la válvula 25, un conducto de distribución 30 conectado al lado de impulsión del compresor auxiliar 27 y ramificado en un número de conductos derivados 31a, b y c, teniendo cada uno de los cuales una válvula 32a, b y c y se comunican con un recipiente de presión 33a, b y c. El recipiente de presión 33a puede contener por ejemplo una atmósfera inerte tal como nitrógeno, helio o argón, el recipiente 33b puede contener hidrógeno puro y el recipiente 33c una atmósfera reductora tal como una mezcla de hidrógeno y monóxido



xido de carbono. A los recipientes de presión también están conectados medios de reposición (no mostrados) para compensar la atmósfera consumida durante el procedimiento. Para devolver dichas atmósferas al circuito cerrado, cada uno de los recipientes de presión 33a, b y c está conectado con un conducto derivado 34a, b y c, respectivamente, que tienen una válvula 35a, b y c respectivamente, hasta un conducto colector 36 que comunica con el conducto de circulación 13 en un punto entre el refrigerante de gas 15 y el compresor de circulación 14. Además, un recipiente de presión 37 u otra fuente adecuada de un hidrocarburo inferior no saturado, tal como acetileno o propeno, está conectado al conducto colector 36 por un conducto 38 con una válvula 39.

15 Naturalmente también es posible alimentar el compresor auxiliar 27 por la bomba de vacío 26, posiblemente por un dispositivo de purificación adecuado, para recuperar, por ejemplo el helio o el hidrógeno. El dispositivo de purificación puede conectarse también

20 entre el compresor auxiliar 27 y el recipiente de presión 33. En ciertos casos, por ejemplo cuando se introduce propeno o acetileno en el circuito cerrado y se descomponen en él a temperatura elevada, con lo cual aumenta su volumen muchas veces, es adecuado conectar

25 al conducto de circulación 13 un medio para retirar al

27



menos una parte del gas enfriado en el intercambiador de calor 5 siempre que se desee dicha separación. Estos medios se muestran en el dibujo como un conducto purgador 40 conectado al conducto de circulación 13 en un punto entre el refrigerante de gas 15 y el compresor de circulación 14 y provisto de una válvula 41. Entre el conducto purgador 40 y el compresor de circulación 14, se muestra un conducto 42 unido al conducto de circulación 13 que incluye una válvula 43 para hacer pasar un gas que contiene oxígeno al circuito cerrado. El gas que contiene oxígeno puede consistir, de acuerdo con las circunstancias, en aire a presión atmosférica, aire enriquecido con oxígeno, u oxígeno puro. El oxígeno, naturalmente, ha sido suministrado desde un recipiente de presión (no mostrado) u otra fuente de oxígeno adecuada.

En la realización mostrada de la instalación de horno de acuerdo con el invento, el armazón de chapa metálica para la parte del fondo 10 del horno está formado de una parte saliente hacia abajo dispuesta centralmente, que constituye un alojamiento para el intercambiador de calor 5. Por tanto, puede decirse que el intercambiador de calor está enteramente empotrado en el horno 1. El extremo caliente 6 del intercambiador de calor 5 está localizado preferiblemente en la abertura



central de la cuba anular 3 y preferiblemente el  
intercambiador de calor de gas a gas 5 comprende un haz  
de tubos 44 que tiene una multitud de tubos del cambia-  
dor de calor relativamente largos y estrechos, pero  
5 naturalmente pueden emplearse también otros tipos de in-  
tercambiadores de calor de gas a gas. Entre el haz de  
tubos 44 y la envolvente está colocado un aislamiento  
térmico (no mostrado).

También se muestra en el dibujo que el hor-  
10 no 1 con su intercambiador de calor empotrado 5 tendrá  
un aspecto que recuerda un hongo. El espacio para la  
carga está en el sombrerete del hongo y el espacio para  
la parte principal del intercambiador de calor 5 está  
en el pie del hongo, pero naturalmente, un conjunto de  
15 otros tipos de horno con otros tipos de intercambiado-  
res de calor de gas a gas pueden dar como resultado as-  
pectos enteramente diferentes. Además es evidente a  
partir del dibujo que la atmósfera fría que ha de ca-  
lentarse, que se alimenta al intercambiador de calor 5  
20 a través del conducto de circulación 13 y la entrada 16,  
pasa por una cámara de compensación 45 colocada en el  
extremo frío del intercambiador de calor y es conducida  
hacia arriba dentro de los tubos, en el haz de tubo  
44 y después de su paso por el lecho estacionario 4 es  
25 conducida hacia abajo fuera de los tubos en el haz de tu

27 MAR 1975

bo 44 y después retirada por la salida 17 y el con-  
ducto de circulación 13. Intercambiando los lugares  
de la entrada 16 y la salida 17, puede emplearse natu-  
ralmente la dirección de flujo opuesta en el intercamb-  
5 biador de calor.

El intercambiador de calor se dimensiona  
preferiblemente de modo que permita la condensación de  
una parte sustancial del vapor de agua, que contiene  
la atmósfera que viene del lecho estacionario 4, por  
10 ejemplo, durante el calentamiento de una carga húmeda  
y durante la reducción con una atmósfera que contiene  
hidrógeno. De este modo el calor latente de la conden-  
sación del vapor de agua puede utilizarse también para  
el calentamiento previo. El condensado se retira del  
15 intercambiador de calor 5 a través de un conducto 46 a  
un depósito de condensado 47, en el cual el nivel de  
agua se controla por controladores de niveles (no mos-  
trados) que controlan una válvula de drenaje 48. Natu-  
ralmente es posible prescindir del depósito de condensa  
20 do 47 y la válvula 48, y en su lugar, hacer que los con  
ductos 46 descarguen en el depósito de condensado 21.  
Durante la etapa de reducción y en ciertos casos tam-  
bién durante la etapa de calentamiento, la atmósfera  
que circula así es purificada respecto al agua tanto en  
25 el refrigerante de gas 15 como en el intercambiador de



5 calor 5. Si se desea, el gas que circula puede también pasarse naturalmente a través de un purificador de CO<sub>2</sub> (no mostrado) y/o un secador para la separación de CO<sub>2</sub> y para una separación adicional de agua, respectivamente.

10 Los medios de redirección antes mencionados, que se proporcionan para dirigir durante el período de enfriamiento la atmósfera de enfriamiento fría que entra en el lecho estacionario 4 y la atmósfera de enfriamiento calentada que sale del lecho 4 en una relación de no intercambio de calor de una con otra, comprenden una pluralidad de tuberías 49 que se extienden desde el espacio entre el fondo perforado 12 de la cuba 3 y el suelo de la cámara de horno 2 hasta un conducto  
15 colector 50, que por medio de una válvula 51 está unido al conducto de circulación 13 aguas arriba del refrigerante de gas 15. El conducto de circulación 13 incluye una válvula 52 localizada entre el punto de conexión del conducto colector 50 y la salida del intercambiador de calor 17 para la atmósfera enfriada. Puesto que la  
20 temperatura al comenzar el período de enfriamiento puede ser muy alta, es adecuado en ciertos casos que al menos una parte inferior de las tuberías 49 y, además, el conducto colector 50, la válvula 51 y la parte subsiguiente del conducto de circulación 13, hasta el re-  
25



frigerante 15 estén sumergidos en un baño de agua de enfriamiento 61.

5 Con el fin de mantener el flujo del gas de enfriamiento, durante el período de enfriamiento, tan alto como sea posible, es adecuado que el haz de tubos 44 del intercambiador de calor 5 comprenda una tubería central 60 con un diámetro relativamente grande que por medio de una válvula 53 está conectada al conducto de circulación 13 en un punto aguas abajo del compresor de circulación 14. Si se desea, puede también disponerse una válvula 54 entre dicho punto de conexión de la tubería 60 y la entrada del intercambiador de calor 16 para el gas frío.

10 Cuando el horno 1 se calienta eléctricamente, se muestra en la realización adecuada que la cubierta y las paredes de la cámara de horno 2 llevan elementos eléctricamente calentables 55, que pueden ser elementos de molibdeno cuando la atmósfera no es oxidante, pero que preferiblemente son elementos resistentes a la oxidación, tales como elementos de  $\text{MoSi}_2$ , cuando también está implicada una atmósfera oxidante, tal como en el caso en que el horno se abre a una temperatura de, por ejemplo, 500°C.

25 En cambio, cuando el horno 11 se calienta por combustión de un combustible, es adecuado cargar el

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100  
MAY 1975

combustible en la cámara de horno 2 directamente a la salida del intercambiador de calor para el gas calentado. El combustible, preferiblemente gas combustible o petróleo, se suministra desde un recipiente de presión 56 u otra fuente adecuada por medio de un conducto de combustible 57 provisto de una válvula 58. El conducto de combustible 57 se extiende por el intercambiador de calor de gas a gas 5 y puede estar comprendido ventajosamente en su haz de tubos 44. Dentro del intercambiador de calor 5 el conducto de combustible puede extenderse por ejemplo coaxialmente con la tubería de enfriamiento central de diámetro grande 60. Si, debido a la temperatura y/o a un caudal bajo o moderado del combustible, hay riesgo de precipitación de hollín en el conducto de combustible 57 o de otras perturbaciones de la operación, entonces la parte del conducto de combustible 57 localizada en el intercambiador de calor puede estar aislada del calor y/o enfriada por agua. En ciertos casos también puede ser adecuado emplear como combustible, en lugar de, por ejemplo, petróleo o gas natural, el hidrocarburo inferior no saturado contenido en el recipiente de presión 37. Con este fin, un conducto 59 puede conectar la válvula 39 con el conducto de combustible 57. Así, en la disposición antes descrita el intercambiador de calor 5 actúa



como un quemador, en cuyo caso es adecuado formar en la cubierta o tapa del horno un distribuidor y recuperador de llama. Sin embargo, también es posible colocar este quemador en una cámara separada o aplicar uno o  
5 más quemadores separados localizados en la cámara de horno o en cámaras separadas.

#### El Procedimiento

10 Con el fin de ilustrar con mayor detalle las numerosas posibilidades proporcionadas por el presente invento, en la parte que sigue se describirá primeramente un procedimiento básico de acuerdo con el invento para la producción de esponja de hierro en un horno calentado eléctricamente, y después diferentes variantes del procedimiento dentro del alcance de las reivindicaciones.  
15

#### Procedimiento básico:

20 La cuba anular 3 se carga con una cantidad previamente determinada de cuerpos conformados formados de óxido de hierro en forma de polvo por nodulización o métodos similares. La cuba 3 se baja después al horno abierto 1. Entonces tienen lugar las etapas u opera  
25

27 MAR 1975

ciones siguientes.

1. La tapa o cubierta 9 se baja sobre la parte inferior 10 del horno y el horno se cierra herméticamente de modo estanco al vacío y a la presión.
- 5 2. El circuito cerrado se somete a vacío por medio de la bomba de vacío 26. Todas las válvulas de gas, excepto la 52, 54 y 25 están cerradas. Cuando se ha alcanzado el vacío deseado, por ejemplo aproximadamente 3 kilopascales, la válvula de evacuación 25 se cierra y se para la bomba 26.
- 10 3. Una atmósfera inerte, tal como  $N_2$ , He o Ar se conduce al circuito cerrado abriendo la válvula 35a de modo que el recipiente de presión 33a está conectado al conducto de circulación 13. De estas atmósferas, la  
15 de helio es preferida desde un punto de vista de transferencia de calor, y la de nitrógeno desde un punto de vista de precio. Por consiguiente debe juzgarse en cada caso individual que atmósfera será la más conveniente. Cuando se ha alcanzado la presión deseada, por ejemplo entre 0,1 y 0,2 megapascales, se cierra la válvula  
20 35a. Simultáneamente con la carga completa o después comienza la admisión de corriente a los elementos eléctricos 55 y se pone en funcionamiento el compresor de circulación 14.
- 25 4. El calentamiento se continúa hasta que la carga 4



ha alcanzado la temperatura deseada, generalmente una temperatura entre aproximadamente 1.000°C y la temperatura de fusión para la calidad de esponja de hierro que ha de producirse. Durante el calentamiento, la atmósfera se hace circular desde el compresor 14 por el conducto de circulación 13 y la válvula 54, hacia arriba a través del intercambiador de calor 5 a la cámara de horno 2, pasa por los elementos 55 y desciende por la carga 4 y el intercambiador de calor 5, además de por la válvula 52 y el conducto de circulación 13 con el refrigerante de gas 15 volviendo al compresor 14. Si la carga estaba húmeda al principio, se seca rápidamente y el agua evaporada se condensa en el intercambiador de calor 5 y se conduce hacia el depósito de condensado 47 o 21. El calentamiento puede tener lugar con una cantidad constante de gas y a una presión que aumenta gradualmente o a una presión constante y con una cantidad de gas que disminuye gradualmente. Esta disminución se efectúa preferiblemente abriendo las válvulas 29 y 32a y poniendo en funcionamiento el compresor auxiliar 27, de modo que la atmósfera inerte retirada vuelva al recipiente de presión 33a para ser empleada otra vez más adelante. Durante el calentamiento 17 es adecuado hacer circular la atmósfera inerte a una velocidad que es la menor posible para obtener un tiempo de

27 MAY 1955

calentamiento aceptable.

5. Cuando se ha alcanzado la temperatura deseada, se interrumpe la admisión de corriente a los elementos 55, se vacían los depósitos de condensado 21 y 47 y el  
5 compresor de circulación 14 se hace funcionar más des-  
pacio o se detiene. Además, se abre la válvula 29,  
se pone en funcionamiento el compresor auxiliar 27 y  
se abre la válvula 32a para devolver la atmósfera iner-  
te al recipiente 33a. Cuando ha disminuido la presión  
10 en el circuito cerrado hasta aproximadamente 0,1 mega-  
pascal, es decir la presión atmosférica, se cierran  
las válvulas 29 y 32a, se detiene el compresor auxiliar  
27, se pone en marcha la bomba de vacío 26 y se abre  
la válvula 25. Cuando se ha detenido el compresor de  
15 circulación 14, es conveniente cerrar la válvula 54 con  
el fin de evitar que fluya hacia atrás el gas caliente  
desde el horno y llegue al compresor auxiliar y a la  
bomba de vacío, respectivamente, sin haber sido enfria-  
do apreciablemente. Cuando se ha alcanzado el vacío  
20 deseado, por ejemplo 3 kilopascales se cierra la vál-  
vula de evacuación 25 y se para la bomba de vacío 26.  
6. El circuito cerrado se llena con atmósfera reduc-  
tora, preferiblemente hidrógeno, a una presión previa-  
mente determinada, por ejemplo aproximadamente 0,5  
25 megapascuales, abriendo la válvula 35b de modo que el

27 MAR 1975

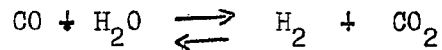
5 recipiente de presión 33b se ponga en contacto con el  
conducto de circulación 13. Simultáneamente con dicho  
llenado, se pone en marcha el compresor de circulación  
14 para hacer circular el hidrógeno a una velocidad  
5 deseada relativamente baja, pero con un caudal grande.  
A esta temperatura elevada la reacción endotérmica entre  
el hidrógeno y el óxido de hierro tiene lugar muy rá-  
pidamente, con disminución de la temperatura y formación  
de hierro metálico y vapor de agua. Por consiguiente,  
10 el hidrógeno debe suministrarse continuamente al cir-  
cuito cerrado con el fin de mantener la presión previa-  
mente determinada y por lo tanto el caudal grande. La  
parte principal del vapor de agua se condensa en el in-  
tercambiador de calor 5 y una parte más pequeña en el  
15 refrigerante de gas 15. El condensado se conduce hacia  
los depósitos de condensado 47 y 21. El hierro metáli-  
co reducido forma una corteza delgada de grano fino al-  
rededor de cada cuerpo conformado.

20 7. Después de la fase inicial corta antes descrita  
de la etapa de reducción se cierra la válvula 35b y en  
su lugar se abre la válvula 35c para sustituir la at-  
mósfera, que se consumió en la reacción de reducción,  
por una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono des-  
de el recipiente de presión 33c. A temperaturas eleva-  
25 das se considera que dicha mezcla reduce más rápidamen-

27 NOV 1975  
REC 619

te que cada gas individualmente. La reducción con monóxido de carbono es exotérmica. El contenido de monóxido de carbono está preferiblemente entre 50% y 75% y a un contenido de monóxido de carbono de 60 a 65% no se obtiene cambio en la temperatura debido a la reacción de reducción. Sin embargo, cuando la esponja de hierro debe satisfacer requerimientos especiales respecto al contenido de carbono, naturalmente debe ajustarse de acuerdo con ello el contenido de monóxido de carbono.

Durante la reducción, el hidrógeno se oxida a vapor de agua y el monóxido de carbono a dióxido de carbono, pero estos gases están también en equilibrio uno con el otro de acuerdo con la fórmula para la reacción de agua-gas:



La reacción agua-gas se cataliza por una superficie de hierro, de modo que la reacción tiene lugar rápidamente dos veces tanto sobre la superficie de hierro como sobre una superficie de óxido y el empleo de hidrógeno puro durante la fase inicial de la etapa de reducción, como se ha descrito antes en el apartado 6, proporciona una superficie de hierro de gra

27 MAR 1975  
27

no fino, que puede utilizarse como catalizador. Como el vapor de agua se condensa continuamente en el intercambiador de calor 5 y en el refrigerante de gas 15, el equilibrio se altera y el monóxido de carbono reacciona con el hidrógeno para formar un nuevo equilibrio por formación de monóxido de carbono y vapor de agua. El potencial de carbono de la atmósfera reductora definido por

10 
$$\frac{[\text{CO}]^2}{[\text{CO}_2]}$$

es, por tanto elevado y tiene lugar una carburación de la esponja de hierro. Si se desea, puede reducirse el potencial de carbono por suministro de hidrógeno desde el recipiente de presión 33b. El potencial de carbono puede controlarse también del modo descrito en el apartado 9 siguiente. Es adecuado aumentar el caudal de gas a través de la carga aumentando la presión y ajustando al mismo tiempo la velocidad del gas en circulación de modo que no existan pérdidas innecesarias de energía y de modo que el grado de utilización del gas de reducción sea por ejemplo de 75% del grado que es posible teóricamente a la temperatura reinante. El grado de utilización teóricamente posible depende como se sabe

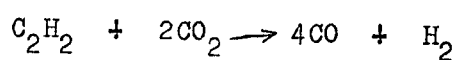
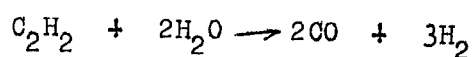
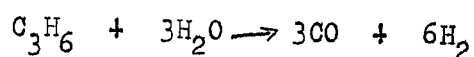
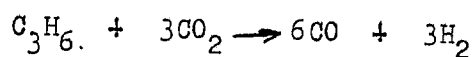
del gas y de la temperatura (véase por ejemplo  
Jernkontorets Annaler, 142 (1958):6, página 291, Fig.  
1.

5 8. Con el fin de evitar con certeza que sean encerra-  
dos productos de reducción gaseosos en la esponja de  
hierro producida, la reducción puede llevarse a cabo  
bajo pulsación de la presión entre su valor máximo y  
la presión atmosférica o incluso el vacío. La disminu-  
ción en la presión durante la pulsación puede efectuar  
10 se sustancialmente de la misma forma que se ha descri-  
to en el apartado 5 anterior, pero la válvula 32c se  
emplea para devolver la mezcla de hidrógeno y monóxido  
de carbono al recipiente de presión 33c. Cuando se ha  
alcanzado una presión baja deseada en el circuito ce-  
rrado, se abre otra vez la válvula 35c para llenar el  
15 circuito cerrado con la mezcla de hidrógeno y monóxido  
de carbono a la presión determinada previamente. Si la  
temperatura durante la evacuación es suficientemente  
elevada, se obtienen una cierta descarburación y una  
20 disminución continuada en el contenido de oxígeno de  
la carga.

9. Cuando es desventajoso continuar la reducción prin-  
cipal, se comienza la reducción final a una temperatu-  
ra, que - con la temperatura inicial antes mencionada -  
25 es superior a aproximadamente 900°C, evacuando o devol-  
viendo la mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono al



recipiente de presión 33c de la forma descrita antes,  
 después de lo cual se abre la válvula 35b y el circui-  
 to cerrado se llena con hidrógeno gaseoso puro proce-  
 dente del recipiente 33b. A temperaturas de reducción  
 5 elevadas de, por ejemplo, 1.000-1.100°C es, sin embargo,  
 relativamente difícil eliminar la última cantidad de  
 oxígeno con hidrógeno puro. Esto tiene lugar al menos  
 tan rápidamente a 550°C como a 1.100°C. La reducción  
 con hidrógeno, además, produce vapor de agua y el hidró-  
 10 geno húmedo tiene un efecto de descarburación sobre la  
 carga, de modo que se forma dióxido de carbono. Con el  
 fin de mantener el hidrógeno que circula tan activo como  
 sea posible, puede introducirse en el hidrógeno un hi-  
 drocarburo inferior no saturado, tal como propeno o ace-  
 15 tileno, abriendo la válvula 39 para conectar el reci-  
 piente de presión 37 al conducto de circulación 13. En  
 el compresor de circulación los gases se mezclan eficaz-  
 mente y a temperaturas elevadas reinantes cuando los  
 gases entran en la cámara de horno 2 y pasan a través  
 20 de la carga, tienen lugar algunas de las reacciones  
 siguientes:





1975

5 Como es evidente de las fórmulas, las reacciones dan como resultado un aumento en la presión cuando el volumen se mantiene constante. Si el aumento en la presión tiende a ser demasiado alto, la válvula purgadora 41 puede abrirse y una parte de la atmósfera que circula conducirse fuera a través del conducto purgador 40. De este modo es fácil alcanzar grados de reducción muy altos.

10 También es evidente de las fórmulas que es adecuado, cuando se desea que el enfriamiento se lleve a cabo en hidrógeno seco con el fin de no correr el riesgo de una menor reoxidación a una temperatura más baja, secar el hidrógeno por una pequeña adición del hidrocarburo inferior no saturado inmediatamente antes de que comience la etapa de enfriamiento.

15 10. Cuando se ha alcanzado el grado de reducción deseada, la atmósfera se evacua al recipiente de presión 33c de la misma forma que se ha descrito antes. La temperatura puede ser entonces de 500-700°C o todavía mayor.

20 11. El circuito cerrado es ahora cargado otra vez con hidrógeno a partir del recipiente de presión 33b de la misma manera que se ha descrito antes, pero la presión puede ahora aumentarse hasta 0,5-0,6 megapascuales  
25 o más si la instalación está diseñada para una presión



más alta. La válvula 52 se cierra, la válvula 51 y 53 se abren y la válvula 54 puede cerrarse o permanecer abierta, según se desee. Por esta desviación la atmósfera de enfriamiento fría puede llegar hasta la carga sin que tenga que ser calentada por intercambio de calor con los gases calientes que vienen de la carga. Como la temperatura disminuye, debe suministrarse más hidrógeno si la presión ha de mantenerse constante. Con el fin de alcanzar un buen efecto de enfriamiento, la presión se mantendrá permanentemente más alta de aproximadamente 0,2 megapascales. El enfriamiento tiene lugar rápidamente y se interrumpe cuando la esponja de hierro ha alcanzado una temperatura, a la cual puede exponerse al aire sin tener lugar ninguna reoxidación apreciable, por ejemplo a aproximadamente 50°C. Después de esto el hidrógeno se evacua de nuevo al recipiente de presión 33b de la misma forma que se ha descrito antes.

12. Abriendo la válvula 43 el aire puede ahora conducirse al circuito cerrado, puede abrirse el horno y sacarse la carga reducida y enfriada.

#### Variante I

La etapa de calentamiento se lleva a cabo

27 MAY 1975

5 con atmósfera oxidante, por ejemplo aire, en lugar de  
con atmósfera inerte. Esto requiere elementos resis-  
tentes a la oxidación 55 y en ciertos casos pueden apa-  
recer problemas respecto a la resistencia a la oxida-  
ción del intercambiador de calor. En cambio, durante  
la producción de esponja de hierro a partir del concen-  
trado del mineral la ventaja conseguida es que la mag-  
netita,  $Fe_3O_4$ , comprendida en el concentrado, se oxida  
a hematita,  $Fe_2O_3$ , que es más fácil de reducir. Además,  
10 la tostación es una reacción exotérmica o generadora  
de calor, de modo que el calentamiento requiere menos  
energía.

#### Variante II

15 La etapa de calentamiento se lleva a cabo  
con hidrógeno. Con lo cual se obtiene una transferen-  
cia de calor muy buena a la carga, pero ya a tempera-  
turas moderadas las propiedades reductoras del hidró-  
geno llegan a ser notables, es decir la formación de  
20 vapor de agua durante una reacción endotérmica. Duran-  
te la reducción con hidrógeno, además, el grado de re-  
ducción muestra un máximo dentro del intervalo de tem-  
peratura de 500-600°C. Por consiguiente, cuando la  
25 carga se ha calentado a aproximadamente 550°C, se lleva



27 MAYO 1975

ya a cabo la parte principal de la reducción. La esponja de hierro producida a esta temperatura baja es de una porosidad fina tal que es pirofórica. Por consiguiente, el calentamiento debe continuarse a una temperatura de al menos aproximadamente 750°C con el fin de efectuar la recristalización del hierro, de modo que será de una porosidad más gruesa y no pirofórica. Por tanto, el calentamiento así como la reducción y el enfriamiento pueden llevarse a cabo, si se desea, en la misma atmósfera, es decir hidrógeno.

Sin embargo, la etapa de calentamiento se lleva a cabo preferiblemente con una atmósfera no reductora, porque con ello la temperatura de reducción puede elegirse según se desee. Esto es una ventaja porque, por ejemplo, el grado de reducción con hidrógeno puro es tan alto a 1.100°C como a 550°C (véase *Jernkontorets Annaler*, 142 (1958):6, página 292, Figura 2). Sin embargo, el hidrógeno puro a aproximadamente 1.100°C puede utilizarse teóricamente al 40%, pero a aproximadamente 550°C solamente al 20% (locus cit página 291, Figura 1). Esto implica que la velocidad del gas o la presión deben de ser dos veces tan altos, si la reducción se lleva a cabo en el mismo tiempo en ambos casos.

25

27 MAY 1975

Variante III

5 Es posible, a costa de la economía del gas, suprimir la bomba de vacío 26 y en su lugar, cuando se carga la atmósfera "lavar" el circuito cerrado con atmósfera reductora o inerte.

Variante IV

10 Asimismo es posible, con un cierto deterioro en la economía del gas, prescindir de la posibilidad de volver a usar las atmósferas respectivas no disponiendo en la instalación el compresor auxiliar 27 y los conductos y válvulas asociados.

15

Variante V

20 En lugar de compensar durante la reducción el hidrógeno consumido suministrando hidrógeno de nueva aportación y la mezcla consumida de hidrógeno y monóxido de carbono suministrando una mezcla de nueva aportación de hidrógeno y monóxido de carbono, la atmósfera consumida puede compensarse suministrando, por ejemplo, metano o gas natural, que será craqueado  
25 a elevada temperatura en el horno. Sin embargo, la

12.5.75



27 MAY 1965

reacción de craqueo es sumamente endotérmica y por consiguiente requiere suministro de energía adicional.

Variante VI

5

Si la esponja de hierro producida ha de ser sacada del horno en estado caliente, es decir con una temperatura de preferiblemente aproximadamente 500°C, adecuadamente como máximo 700°C, con el fin de ser cargada inmediatamente en un horno de acero adyacente, es adecuado evacuar primeramente el circuito cerrado y de la forma descrita recuperar la atmósfera descargada y después de esto cargar el circuito cerrado con nitrógeno del recipiente de presión 33a a la presión atmosférica. El nitrógeno protegerá a la esponja de hierro frente a la oxidación durante el trabajo desarrollado en la apertura del horno. En lugar de nitrógeno puede emplearse naturalmente cualquier otra atmósfera no oxidante adecuada.

10

15

20

Variante VII

Con un horno calentado por gas, que por consiguiente carece de los elementos 55, la etapa de calentamiento difiere de la descrita en el método básico

25



en los aspectos siguientes.

5            Antes de que la cubierta del horno 9 se  
baje sobre la parte inferior 10, se abren la válvula  
de aire 43 y la válvula de purga 41. Después se pone  
en funcionamiento el compresor de circulación 14 y se  
abre la válvula 58 o la válvula 39 para suministrar  
combustible a través del conducto de combustible 57  
al extremo caliente 6 del intercambiador de calor 5.  
Después de la ignición del combustible de salida, pue-  
de colocarse la tapa o cubierta 9.

10           Las cantidades de aire y de combustible  
se ajustan una con respecto a la otra para proporci-  
onar una combustión completa. Con exceso de aire, la  
atmósfera de calentamiento llegará a ser oxidante,  
15           mientras que con cantidades estequiométricas será iner-  
te. Debido al calentamiento previo del aire, pueden  
obtenerse temperaturas elevadas de la llama y por con-  
siguiente un calentamiento más rápido o un consumo me-  
nor de combustible. Si se desea, el aire puede ser  
20           oxígeno enriquecido o puede emplearse oxígeno. Cuando  
la carga se ha calentado a la temperatura previamente  
determinada, el proceso continua de acuerdo con la Va-  
riante VIII que se describe a continuación o la válvu-  
la de combustible abierta (58 o 39) así como la válvu-  
25           la de purga 41 y la válvula de aire 43 se cierran y el

27 MAR 1975

procedimiento se continua después como se indica en el párrafo 5 en el método básico, posiblemente modificado de acuerdo con una o más de las Variantes III-VI anteriores.

5

Variante VIII

10 Cuando con un horno calentado a gas se ha alcanzado la temperatura de reducción deseada, el suministro de aire puede reducirse de modo que haga incompleta la combustión para obtener una atmósfera reductora. Después de completada la reducción, se cierran la válvula de combustible, la válvula de purga y la válvula de aire y se continua después el procedimiento como se ha descrito antes en el párrafo 10 u 11, posiblemente modificado de acuerdo con una o más de las Variantes III, IV y VI anteriores.

15

20 Se comprenderá fácilmente que son posibles variantes adicionales del procedimiento de acuerdo con el invento dentro del alcance de las reivindicaciones.

Con el fin de ilustrar más el invento, se describen algunos Ejemplos prácticos del procedimiento en los Ejemplos siguientes.

25

Ejemplo 1

Una carga que consiste en nódulos con un

27 MAY 1975

tamaño de aproximadamente 10 mm y laminados de piritas calcinadas y agua pura sin aditivos se colocó en estado húmedo en un horno calentado eléctricamente. Después de hacer un vacío completo en el circuito cerrado se suministró hidrógeno a una presión de aproximadamente 0,15 megapascales. El agua se eliminó por calentamiento durante la circulación del hidrógeno. Después se elevó la temperatura de la carga, mientras continuaba todavía la circulación, hasta entre 550°C y 600°C, y la presión se aumentó hasta aproximadamente 0,4 megapascales. Después de aproximadamente 0,5 horas en estas condiciones la reducción se completó sustancialmente. Después de esto se elevó la temperatura a 1.150°C y por calentamiento a esta temperatura aumentó la presión del hidrógeno hasta aproximadamente 0,5 megapascales. El enfriamiento se llevó a cabo inmediatamente. Cuando la temperatura de la carga había descendido hasta aproximadamente 30°C, el horno se puso a vacío y se hizo pasar aire. La carga se sacó después y se analizó. El resultado del análisis fue como sigue.

12.5.75



Análisis	Cu	Co	Ni	Zn	Pb
Piritas	0,104	0,062	0,008	0,30	0,020
Esponja	0,150	0,087	0,012	0,003	0,001

	S	Fe <sub>total</sub>	Fe <sub>metal</sub>	Grado de reducción
Piritas	1,09	67,1	0	--
Esponja	0,026	95,1	95,0	99,9

10 Los análisis mostraron que el zinc y el plomo habían sido separados por destilación caso completamente y habían precipitado en forma de un polvo fácilmente separable en la superficie del intercambiador de calor. Además, los contenidos de cobre y cobalto no están afectados por la reducción.

15

Ejemplo 2

20 Se repitió el método de acuerdo con el Ejemplo 1 con piritas calcinadas de un análisis diferente (véase más adelante), pero con la diferencia de que se completó la reducción a 550°C con pasivación subsiguiente a una temperatura justamente por encima de 750°C.

25



	Análisis	Cu	Co	Ni	Zn	Pb
	Piritas	0,096	0,062	0,008	0,29	0,020
	Esponja	0,134	0,080	0,013	0,17	0,006
		S	Fe <sub>total</sub>	Fe <sub>metal</sub>	Grado de reducción	
5	Piritas	0,870	67,3	0	--	
	Esponja	0,272	94,2	93,1	98,8	

Ejemplo 3

10 Se repitió el método de acuerdo con el Ejemplo 1 con piritas calcinadas de otro análisis diferente (véase más adelante), pero con la diferencia de que durante la fase final de la reducción la temperatura se aumentó hasta 1.350°C.

	Análisis	Cu	Co	Ni	Zn	Pb
	Piritas	0,107	0,062	0,008	0,30	0,021
	Esponja	0,148	0,087	0,013	0,008	0,001
		S	Fe <sub>total</sub>	Fe <sub>metal</sub>	Grado de reducción	
20	Piritas	0,960	67,7	0	--	
	Esponja	0,050	95,1	95,0	99,9	

25 Se llevaron a cabo los experimentos correspondientes con cascarilla de laminación triturada, humo procedente del afino con oxígeno, óxidos recupera-



1975

dos en unión con regeneración de baños de decapado y residuos de rectificado limpios (virutas metálicas). En todos los casos se obtuvieron grados de reducción correspondientemente elevados.

5

Ejemplo 4

Este ejemplo ilustra el calentamiento por un gas no reductor. Se cargaron 2 toneladas de nódulos sinterizados (el análisis figura más adelante) que tienen un diámetro medio de 14 mm hasta una altura de 0,8 metros en un recipiente anular de chapa de metal que tiene un fondo perforado. La carga se calentó en nitrógeno en circulación a una presión de 0,2 megapascuales a 850°C en 40 minutos. Después de calentar, se hizo el vacío en el sistema y se introdujo hidrógeno y después de lo cual se llevó a cabo la reducción durante la recirculación del hidrógeno a una temperatura constante en 50 minutos y a una presión de 0,4 megapascuales. Inmediatamente después se llevó a cabo el enfriamiento recirculando hidrógeno y la presión se dejó caer sucesivamente a 0,2 megapascuales. Cuando la temperatura hubo descendido hasta aproximadamente 50°C se hizo el vacío en el horno y se introdujo nitrógeno, después de lo cual se sacó la carga y se analizó. El análisis dió el resultado siguiente.

10

15

20

25

12.5.75

Análisis	Fe <sub>total</sub>	Fe <sub>metal</sub>	Grado de reducción
Sinterizado	66,1	-	-
Esonja	89,3	84,1	94,2

5

Ejemplo 5

El horno se cargó como en el Ejemplo 4 pero la carga se calentó por medio de un quemador de gases de petróleo licuados con aire a una temperatura de la superficie superior de 1.050°C. Entonces la temperatura en el fondo de la carga era 675°C. El consumo de gases de petróleo licuados fue de 26 kilogramos por tonelada de sinterizado. Después de hacer el vacío en el horno se llevó a cabo la reducción de acuerdo con el Ejemplo 4. Calentado la carga por medio de un quemador de gases de petróleo licuados se ahorraron aproximadamente 300 kilovatios-hora de energía eléctrica por tonelada de esponja de hierro en comparación con el Ejemplo 4.

20

Análisis	Fe <sub>total</sub>	Fe <sub>metal</sub>	Grado de reducción
Sinterizado	66,3	-	-
Esonja	90,1	84,8	93

25



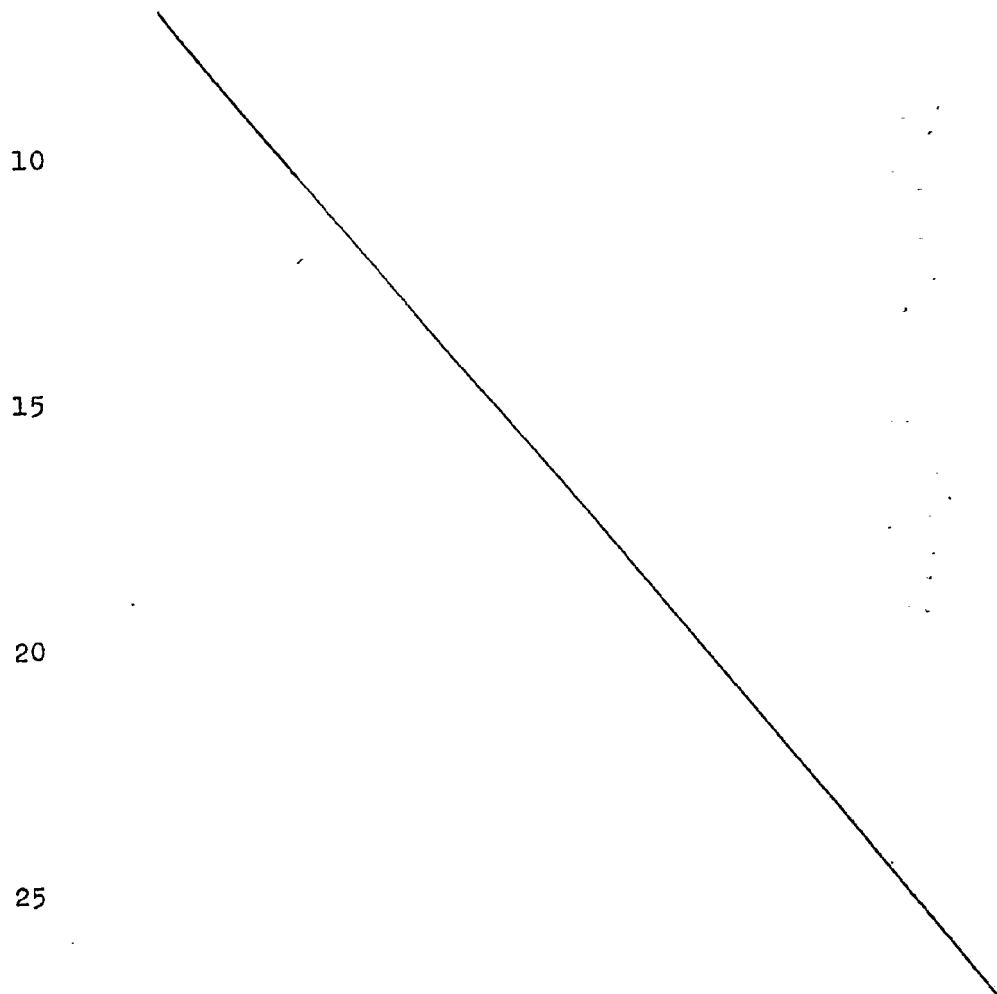
### Requerimiento de energía

5                   Es extremadamente difícil hacer comparaciones técnicas y económicas cualificadas no solamente entre los procedimientos de esponja de hierro frente a los procedimientos de horno alto sino también entre los diferentes procedimientos de esponja de hierro relacionados unos con otros, porque en muchos casos los datos publicados están basados en métodos de cálculo diferentes y los datos básicos recogidos están detallados insuficientemente. Las instalaciones han sido a menudo de diferentes tamaños y con grados variables de desarrollo. Han sido fabricados diferentes productos finales y se han empleado diferentes materiales de mineral bruto y diferentes formas de energía. Sin embargo, es usual convertir el consumo de combustible, gas natural y electricidad en giga-calorías por tonelada de hierro producida ( 1 Gcal = 4,186 GJ) y comparar el consumo de energía total así obtenido.

10  
15  
20                   En la Tabla 1 siguiente se hace dicha comparación entre algunos procedimientos industrialmente aplicables conocidos y tres métodos diferentes de acuerdo con el presente invento, designados en la Tabla por A, B y C. En el caso A se emplea un horno calentado eléctricamente y la etapa de calentamiento se

27 MAY 1975

lleva a cabo en una atmósfera inerte. En este caso se consumen para el calentamiento 600 KWh/t de Fe. La reducción se lleva a cabo con hidrógeno producido por electrolisis con un grado de eficacia calculado de las celdas del 75%. Se consumieron con este método 2.230 KWh/t de Fe para la producción de hidrógeno.



12.5.75

27  1975

Tabla 1

Procedi- miento	Gases de pe- tróleo li- cuados kg	gas natu- ral <sub>3</sub> m <sup>3</sup>	Petró- leo kg	coque kg	electrici- dad kWh	Gcal/t	Fe
							Total
Wiberg, a				210		1,67	
					1100	0,94	2,6
b	50			150		1,67	
					1100	0,94	2,6
Midrex		410					3,5
Purofer, a		450					3,7
	b	310					3,7
HyL		525-700					4,5-6
Horno alto				500		3,75	
			50			0,5	4,3
Kawasaki			27			0,26	
				470	98	0,08	
						3,20	3,5
A					2830		2,4
B	45					0,50	
		165				1,49	2,0
C					600	0,50	
		165				1,49	2,0



27 MAYO 1975

En el caso B se emplea un horno calentado con gas que requiere 45 kg de gases del petróleo licuados/t de Fe. La reducción se lleva a cabo con hidrógeno producido por reformación de 150 m<sup>3</sup> de gas natural/t de Fe. Se consumen aproximadamente 15 m<sup>3</sup> de gas natural por 150 m<sup>3</sup> de gas reformado (correspondiente a 600 m<sup>3</sup> de hidrógeno). En el caso C se emplea la misma etapa de calentamiento que en el caso A y el método de producción para el hidrógeno es el mismo que en el caso B. En ninguno de los casos se ha tenido en cuenta el ahorro de energía que se obtiene cuando se utiliza también el calor latente de condensación. Este ahorro de energía asciende a 0,25 Gcal/t de Fe.

Naturalmente la descripción anterior tiene solamente por objeto ilustrar el presente invento. Pueden utilizarse un gran número de variantes y modificaciones, por ejemplo referentes al equipo, constituyentes, proporciones y condiciones establecidas, sin exceder del alcance del invento tal como se ha definido en las reivindicaciones siguientes. En el horno "calentado por gas", por ejemplo puede emplearse petróleo como combustible. Con ciertos minerales y otros materiales de partida oxidados impuros, puede ser adecuado laminar primeramente los nódulos, que se someten a una tostación clorizante en un horno separado y des-



pués de la cual se lixivian para separar impurezas tales como azufre, arsénico, cobre, plomo, zinc, oro, plata, cobalto, etc. Después de esto se laminan nuevos nódulos del resto de lixiviación purificado y se emplea como material de partida para llevar a cabo el método antes descrito. También es posible, si se desea, admitir durante el laminado de los nódulos en un cilindro rotatorio un agente reductor que contiene carbono sólido, por ejemplo polvo de carbón, productos residuales de refinerías y también serrín y similares. Naturalmente también pueden emplearse nódulos producidos de la forma usual, pero como normalmente contienen cemento, es decir  $\text{SiO}_2$ , que aumenta el coste de nueva fusión, es preferible emplear nódulos laminados con agua pura sin aditivos.

Esta solicitud que corresponde a la presentada en Suecia, el 9 de Mayo de 1974, Nº 74.06175-5, se acoge a los beneficios del Artículo 51 del vigente Estatuto sobre Propiedad Industrial.

#### REIVINDICACIONES

Los puntos de invención propia y nueva

27



que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

5 1ª.- Una instalación de horno para producción dis  
continua de esponja de metal que tiene al menos un horno  
con una cámara de horno calentable, medios para soportar  
en dicha cámara de horno un lecho estacionario de una car  
10 ga de óxido del metal y equipo auxiliar para hacer fluir a  
través de dicho lecho estacionario, en sucesión, una atmós  
fera caliente, preferiblemente no reductora, durante un pe  
riodo de calentamiento, una atmósfera reductora caliente  
durante un periodo de reducción, y cuando sea necesario,  
una atmósfera fría no oxidante durante un periodo de en-  
friamiento, caracterizado porque dicho equipo auxiliar com  
15 prende un intercambiador de calor de gas a gas generalmen-  
te del tipo de contracorriente que está empotrado al menos  
parcialmente en el horno con un extremo caliente dispuesto  
en la cámara de horno o en unión directa con ella, tenien-  
do dicho extremo caliente aguas arriba del lecho estaciona  
20 rio una salida para la atmósfera calentada en el intercam-  
biador de calor y aguas abajo del lecho una entrada para el  
gas que ha de enfriarse en el intercambiador de calor, con  
lo cual durante el período de calentamiento y el período  
de reducción la atmósfera empleada relativamente caliente,  
25 que acaba de pasar a través del lecho estacionario puede

24-5-75

-52-





enfriarse por intercambio de calor generalmente en con-  
tracorriente con atmósfera de nueva aportación relativa-  
mente fría, que por lo tanto es al menos calentada pre-  
viamente antes de ser introducida en la cámara de horno  
5 directamente después del intercambio de calor; dicho equi-  
po auxiliar, si la esponja de metal ha de ser enfriada en  
el horno, comprende además medios de redirección para con-  
ducir durante el período de enfriamiento la atmósfera de  
enfriamiento fría que entra al lecho estacionario y la at-  
10 mósfera de enfriamiento calentada que sale del lecho en  
una relación de no intercambio de calor de una con otra.

2ª.- Una instalación de horno de acuerdo con la  
reivindicación 1ª, en donde dicho horno es un horno de tem-  
peratura elevada susceptible de ser cerrado herméticamente  
15 de modo estanco a la presión y al vacío, dicho equipo au-  
xiliar comprende además medios de conducción conectados a  
una entrada de gas frío del intercambiador de calor y a  
una salida del gas enfriado del intercambiador de calor pa-  
ra formar junto con el horno y su intercambiador de calor  
20 un circuito cerrado, una bomba de circulación que tiene  
un lado de impulsión y un lado de succión y que está co-  
nectada a los medios de conducción para hacer circular el  
gas por el circuito cerrado y un refrigerante para el gas  
que está conectado a los medios de conducción en el lado  
25 de succión de la bomba de circulación.

24-5-75

-53-





27 MAYO 1975

3<sup>a</sup>.- Una instalación de horno de acuerdo con la reivindicación 2<sup>a</sup>, en donde los medios para evacuar el circuito cerrado están conectados a los medios de conducción, preferiblemente en el lado de impulsión de la bomba de circulación.

4<sup>a</sup>.- Una instalación de horno de acuerdo con la reivindicación 3<sup>a</sup>, en donde los medios para recuperar la atmósfera evacuada están conectados a los medios de evacuación.

5<sup>a</sup>.- Una instalación de horno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2<sup>a</sup> - 4<sup>a</sup>, en donde los medios de redirección comprenden al menos un conducto en derivación capaz de ser cerrado adaptado en posición abierta para conectar una parte de la cámara de horno localizada aguas abajo del lecho estacionario a una parte de los medios de conducción localizada aguas arriba del refrigerante.

6<sup>a</sup>.- Una instalación de horno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2<sup>a</sup> - 5<sup>a</sup>, en donde dicho equipo auxiliar comprende además medios para suministrar H<sub>2</sub> al circuito cerrado.

7<sup>a</sup>.- Una instalación de horno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2<sup>a</sup> - 6<sup>a</sup>, en donde dicho equipo auxiliar comprende además medios para suministrar al menos un hidrocarburo inferior preferiblemente no

24-5-75





saturado al circuito cerrado y medios unidos a los medios de canal para sacar fuera en cualquier momento opcional al menos parte del gas enfriado en el intercambiador de calor.

5                    8ª.- Una instalación de horno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª - 7ª, en donde el intercambiador de calor comprende un canal aislado del calor y/o enfriado que se extiende por el intercambiador de calor y comunica directamente con el extremo caliente del  
10 intercambiador de calor.

                  9ª.- Una instalación de horno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1ª - 8ª, en donde el horno está adaptado para ser calentado por la combustión del combustible con una atmósfera que contiene oxígeno  
15 previamente calentada en el intercambiador de calor.

                  10ª.- Una instalación de horno de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2ª - 8ª, en donde elementos de calentamiento eléctricos están situados en la cámara de horno y en donde medios para suministrar una  
20 atmósfera preferiblemente inerte no reductora, tal como N<sub>2</sub>, al circuito cerrado están unidos a los medios de conducción.

                  11ª.- Una instalación de horno para la producción discontinua de esponja de metal.

25                    Tal y como se ha descrito en la Memoria que an



27 MAYO 1975

tecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de cincuenta y seis hojas escritas a máquina por una sola cara.

5

Madrid,

27 MAYO 1975

P.A.

Alberio de Elizalde  
Por Foder  
*[Handwritten Signature]*

24-5-75

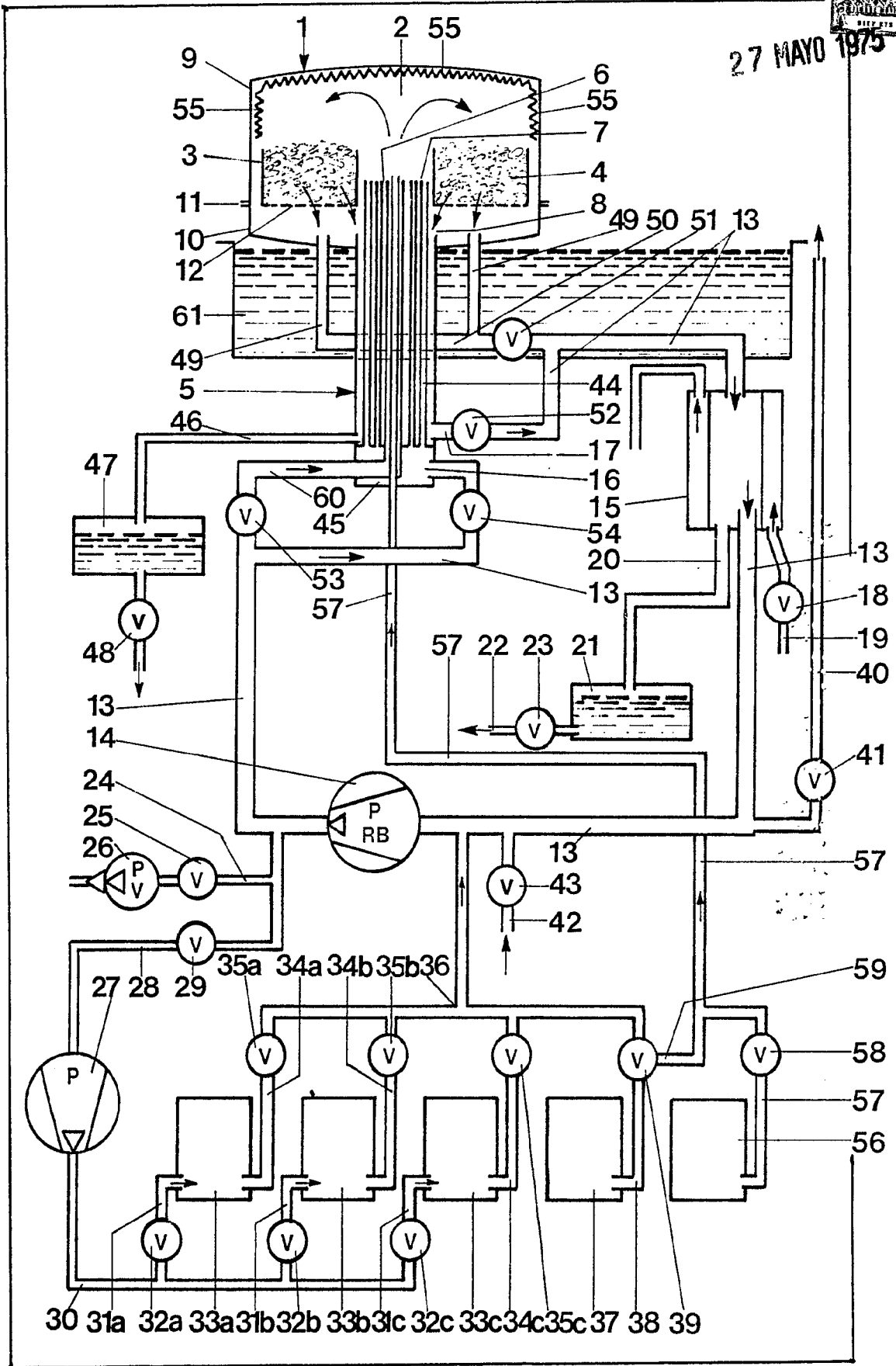
-56-

LBG/.

*[Handwritten mark]*



27 MAYO 1975



Alberto de Eyzaburu  
Por Fedr.