

313644



PATENTE DE INVENCION.

U.S. 734.619.

*Memoria Descriptiva*  
*sobre*

"Procedimiento de preparación de un gas reductor para la reducción de mineral de hierro"

*Solicitante:* ESSO RESEARCH AND ENGINEERING COMPANY, entidad -  
norteamericana, residente en Elizabeth, New -  
Jersey, EE.UU. de A.

Este invento se refiere a un procedimiento de reducción de minerales y especialmente de minerales de hierro por un sistema fluidificado en el que se utilizan gases reductores especiales. Este invento se refiere también a un pro

5.

313644



cedimiento nuevo de preparación de gases reductores, -  
conveniente para sistemas fluidificados de reducción de  
minerales de hierro.

- Con anterioridad se ha intentado, en la técnica entonces utilizada, la reducción de los minerales de hierro y un sistema fluidificado utilizando, en general, una, dos o tres etapas. El procedimiento global mas corriente, consiste esencialmente en calentar previamente un lecho o capa fluidificado de mineral de hierro, por ejemplo de  $Fe_2O_3$ , en un recipiente de reacción, en hacer pasar continuamente la capa fluidificada a una segunda etapa en la que el lecho de mineral de hierro fluidificado y previamente calentado se reduce a  $FeO$  por contacto con un gas reductor, tal como el metano, el hidrógeno, el óxido de carbono, o mezclas de estos gases, etc. Finalmente el  $FeO$  se hace pasar a una tercera etapa en la que se reduce al estado metálico por contacto con gases reductores del tipo antes indicado.

- Durante muchos años se ha intentado perfeccionar un procedimiento industrial de reducción directa del mineral de hierro con metano y otros hidrocarburos. Sin embargo, estos procedimientos de la técnica anterior presentaban un número considerable de inconvenientes y, en general, no son interesantes desde el punto de vista económico. Cuando se proceda a la reducción utilizando metano, se precisa una gran cantidad de calor. Para suministrar el calor necesario se ha mezclado aire u oxígeno con metano en la zona de reducción del mineral, lo cual determinaba una oxidación parcial de por lo menos una cierta cantidad de metano al estado de

313644



- óxido de carbono e hidrógeno, "in situ". Este último procedimiento ofrece muchos inconvenientes debido al hecho de que no se consume la totalidad del aire en las condiciones necesarias para la reducción del mineral, y el
5. resto o exceso de aire presente, determina la formación de una película de óxido sobre las partículas de mineral de hierro con las que se pone en contacto. Esta película hace inertes las partículas por lo que se refiere a una nueva reducción. Se ha comprobado también que el agua o
10. el vapor de agua y el anhídrido carbónico formados por oxidación parcial del metano, ejercen un efecto inhibitor sobre la reducción.

- Se ha comprobado actualmente que puede obtenerse un gas reductor eficaz, útil e interesante desde el
15. punto de vista económico para la reducción de minerales de hierro, por reforma o corrección de un hidrocarburo tal como el metano o hidrocarburos pesados, en ciertas condiciones especiales. Se ha comprobado que puede hacerse reaccionar el hidrocarburo con alrededor de 0,8 a 1
20. mol. de vapor de agua por átomo de carbono contenido en el hidrocarburo, a temperaturas extremadamente elevadas y en una zona de reacción en la que reine una temperatura sensiblemente uniforme. Esta técnica de reforma o corrección de los hidrocarburos, que se definirá más adelante detalladamente, proporciona un gas que conviene especialmente para la reducción de los minerales de hierro
25. por la técnica de los sólidos fluidificados. Para apreciar este invento, debe comprenderse que aunque el hidrógeno y el óxido de carbono sean ambos gases reductores
30. eficaces y rápidos, solo una fracción de la totalidad

313644



- del hidrógeno y/o del óxido de carbono que se introducen en la zona de reducción puede utilizarse. En razón del equilibrio y de la formación de agua y de anhídrido carbónico por reducción con el hidrógeno y el óxido de carbono, el poder reductor de estos gases, por ejemplo a 820°C. es solamente del 34%, suponiendo que la reacción alcance el equilibrio.
5. Cuando se reforman metano y otros hidrocarburos de acuerdo con la técnica anterior, se utilizan normalmente grandes cantidades de vapor de agua para proporcionar la fuerza de arrastre necesaria y para obtener proporciones de conversión razonables, y mas especialmente para impedir el depósito de carbono. Los gases obtenidos en una operación de reforma o corrección de esta naturaleza están ensuciados o impurificados por cantidades botables de vapor de agua y, corriente, de anhídrido carbónico. Cuando este gas obtenido por una operación de reforma o corrección de acuerdo con la técnica anterior, se utiliza para la reducción de un mineral de hierro, el poder reductor del hidrógeno y/o del óxido de carbono desciende a un valor extremadamente bajo. Por ejemplo, cuando se utiliza un gas reductor obtenido por corrección de un mol de metano con tres moles de vapor de agua, el poder reductor del hidrógeno y del óxido de carbono disponibles contenidos en los gases producidos, es de alrededor de 3%, o sea, aproximadamente, 1/10 del poder reductor de los gases puros. Además, desde el punto de vista económico, no es práctico enfriar el gas con objeto de eliminar el agua y/o el anhídrido carbónico, y calentarlo de nuevo para utilizarlo en la zona de reducción.
- 10.
- 15.
- 20.
- 25.
- 30.



Este invento tiene por objeto:

- Un nuevo procedimiento para reformar un hidrocarburo tal como el metano, el etano, otros hidrocarburos parafínicos y olefínicos, una fracción mixta de hidrocarburos tal como el petróleo lampante, los aceites combustibles ligeros y pesados, etc., para producir un nuevo gas reductor dotado de un poder reductor extremadamente elevado;
- Un procedimiento de reducción de un mineral de hierro por un gas reductor preparado por una nueva técnica de reforma por el vapor de agua.
- De acuerdo con este invento, se coloca metano en contacto con 0,8 a 1 mol. de vapor de agua por átomo de carbono contenido en el hidrocarburo, entre 927 y 1.093°C, en una zona de reacción en la que reine una temperatura sensiblemente uniforme. Los hidrocarburos pesados se reforman mas rápidamente y pueden utilizarse temperaturas algo inferiores. Es posible utilizar temperaturas mas elevadas que lleguen al límite de funcionamiento de los materiales refractarios empleados, pero, como se describirá mas adelante, las temperaturas de reforma no deben ser inferiores a la temperatura que se utiliza para reducir el FeO a Fe. Pueden ser mas elevadas, si se desea. Para mantener una temperatura sensiblemente uniforme en la totalidad de la zona de reacción, se ha comprobado que es necesario conservar en esta zona, materiales sólidos, con preferencia finamente divididos, para distribuir el calor uniformemente. La reforma o corrección es una reacción endotérmica y necesita un suministro de calor que puede pro -
5.  
10.  
15.  
20.  
25.  
30.

313644



porcionarse a través de la pared del reactor constituido por un tubo de reacción de diámetro relativamente reducido, o bien el calor puede suministrarse por materiales sólidos de transmisión de calor en circulación a través de la zona de reacción.

Uno de los procedimientos de aplicación práctica preferidos para mantener la uniformidad de la temperatura de la zona de reacción, consiste en utilizar en ella materias sólidas finamente divididas que pueden ser inertes o activarse catalíticamente, y que con preferencia se encuentran en movimiento. Aunque no sea completamente necesario que los productos sólidos contenidos en la zona de reacción estén fluidificados, es esencial mantenerlos en movimiento para distribuir el calor. Las figuras 1 a 4 representan esquemáticamente cuatro procedimientos de conservación de temperaturas uniformes en el reactor.

La figura 1. representa un tipo de reactor de tubo cilíndrico que comprende un lecho o capa de materias sólidas finamente divididas que pueden estar constituidas por esferas de vidrio, alúmina, gránulos de carbono, cobre colocado sobre un soporte, níquel colocado sobre un soporte, etc., teniendo estas partículas un diámetro medio de 1 a 1.000 micrones aproximadamente para una capa fluidificada, y que llegue hasta alrededor de 6,3 mm. para una capa móvil. En este método de realización, es posible suministrar el calor a las paredes exteriores del reactor teniendo presente que la velocidad de los gases hará fluidificar los productos sólidos, lo cual arrastra el calor de las paredes del reactor -



hacia el centro de éste, merced a lo cual el calor se distribuye uniformemente. La capa o lecho, con preferencia se fluidifica por vapor de agua y el metano se eleva en la zona de reacción.

5. En lugar de suministrar el calor a través de las paredes del reactor, se prevé también, en este invento, el suministrar dicho calor mediante un producto inerte más denso, de transmisión de calor, como se representa en la figura 2. Estos productos sólidos inertes relativamente más densos y más bastos cuya dimensión está comprendida por ejemplo entre 200 micrones y 6,35 mm, pueden caer en la parte superior del reactor a partir del lecho más ligero de sólidos fluidificados contenidos en el reactor, y recuperarse finalmente en el fondo de éste. Estos productos sólidos más densos de transmisión de calor están constituidos, con preferencia, por  $Al_2O_3$ , MgO y, en general, se utiliza cualquier producto sólido que soporte las temperaturas elevadas que se utilizan. Claro está que es posible calentar los productos sólidos nuevamente, con ayuda de cualquier medio clásico, entre ellos las reacciones exotérmicas etc, y hacerlo circular nuevamente a la parte superior del reactor.
- 10.
- 15.
- 20.

25. En el sistema de la fig. 3, el calor se suministra por una capa de productos sólidos calientes, que se desplaza continuamente en el reactor. Las materias sólidas susceptibles de emplearse en este método de realización, son mayores que las empleadas en el procedimiento de aplicación de la fig. 1, por ejemplo tienen un diámetro de 2,54 a 12,7 mm y, con preferencia no pue
- 30.



den fluidificarse a las velocidades de gas empleadas.

- Otro modo de aplicación, que permite mantener una temperatura sensiblemente uniforme en la totalidad de la zona de reacción, se representa en la fig. 4, y -
5. comprende un horno rotativo de pequeña longitud y de aspecto resistente, que contiene productos sólidos cuya mezcla es suficiente para asegurar la conservación de temperaturas uniformes y de un buen contacto entre las materias sólidas y los gases. En este tipo de aplicación, el calor se proporciona generalmente por soportes sólidos que transmiten el calor, aunque sea posible calentar el fondo del horno, si se somete continuamente a la mezcla una cantidad suficiente de materia sólida.
- 10.

- Cualquiera que sea la estructura especial del reactor, es esencial que la zona de reacción comprenda productos sólidos inertes en desplazamiento, que pueden afectar la forma de un lecho fluidificado o móvil. Es necesario que la totalidad de los gases se lleve aproximadamente a la misma temperatura, sensiblemente con las mismas características de temperatura/tiempo. Así, en la técnica anterior, por ejemplo en un reactor del tipo tubular de capa o lecho fijo, con un diámetro interno - del 101 a 127 mm. solamente, la temperatura de las paredes puede ser de 330 a 380°C. superior a la temperatura en el centro del tubo que constituye el reactor. Un gradiente o desnivel de temperatura de esta importancia, -
- 15.
- 20.
- 25.
- precisa la utilización de, por lo menos, 3 moles de vapor de agua por mol de hidrocarburo.

- Otra ventaja que presenta la aplicación práctica de la operación de reforma o corrección en las condi
- 30.



- ciones mencionadas, consiste en la eliminación o la re  
ducción a un mínimo del depósito de carbón. Este depó-  
sito constituye un problema especialmente serio en el  
proceso global, dado que el carbono tiende a aglomerar  
se y a acumularse sobre las materias inertes, en la -  
5. etapa de reforma o corrección por el vapor de agua, y  
que puede arrastrarse hasta la etapa de reducción del  
FeO en la que el hierro puede quedar impurificado. El  
depósito de carbono en la fase de reforma por el vapor  
10. de agua, se reduce al mínimo o se suprime por una con-  
versión rápida del hidrocarburo en óxido de carbono e  
hidrógeno a temperaturas elevadas, uniformes, tales co-  
mo las antes citadas. Así, con una proporción de con-  
versión reducida, la velocidad de depósito del carbono  
15. es elevada para pequeñas cantidades de vapor de agua.

- De acuerdo con este invento, se hace pasar -  
el producto gaseoso procedente de la reforma, por el -  
vapor de agua, de un hidrocarburo, a través de la zona  
de reducción de la última etapa de un proceso de reduc-  
20. ción del mineral, en tres etapas. Estas etapas siguen  
el orden siguiente: (1) una etapa de caldeo previo del  
mineral de hierro, (2) una etapa de reducción, en la  
que el  $Fe_2O_3$  se convierte en FeO y, finalmente, (3) una  
etapa de reducción en la que el FeO se convierte en Fe.  
25. Aunque puede utilizarse cualquier técnica para el cal-  
deo previo del mineral, se mantienen lecho fluidifica-  
dos en las dos etapas de reducción, para asegurar la -  
homogeneidad de la mezcla de las materias sólidas, un  
caldeo uniforme y una reducción uniforme. En la zona de  
30. caldeo previo, la temperatura del mineral, que con pre-



ferencia es uniforme en todo el lecho, se eleva a un valor suficiente para permitir la reducción del mineral - en las fases posteriores. Dado que los productos gaseosos procedentes de la reforma por el vapor de agua, de acuerdo con este invento, contienen  $H_2$  y  $CO$  en una relación molecular de 3 a 1 aproximadamente, y teniendo en cuenta que la reducción de  $FeO$  con hidrógeno es una - reacción endotérmica, mientras que la reducción de  $FeO$  con  $CO$  es exotérmica, ha de añadirse al sistema una cantidad notable de calor. Si se desea, puede hacerse arder una pequeña cantidad de los gases procedentes de la zona de reforma por el vapor de agua, con aire, para elevar la temperatura del gas reductor. En una variante, el calor necesario en esta tercera fase, que se eleva aproximadamente al doble del calor preciso en la segunda etapa puede suministrarse por un producto sólido inerte en circulación para mantener los materiales sólidos que - contienen  $FeO$  y que se encuentran en la zona, a temperaturas de aproximadamente  $927^{\circ}C$ . hasta unos  $1.093^{\circ}C$ . Para suministrar calor, es posible utilizar otros medios. En todos los casos, no se deja que los gases reformados se enfrien sensiblemente antes de llegar a la zona de - reducción del  $FeO$ . Una exigencia importante en el funcionamiento de este proceso, consiste en la conservación - de la zona de reducción del  $FeO$  a una temperatura que - no sea apreciablemente inferior a la temperatura de reforma. La reducción del mineral a una temperatura mas baja, modificaría el equilibrio entre el carbono y sus - óxidos, y favorecería el depósito de carbono. Las velocidades superficiales de los gases en la tercera zona, así



como en la segunda, han de mantenerse a un nivel suficientemente elevado para que los lechos o capas permanezcan en estado fluidificado, por ejemplo entre 0,15 metros/segundo cuando la dimensión de las partículas es de unos 30 a 35 micrones, y de alrededor de 1,5 metros/segundo, en el caso de que las partículas sean mayores. El límite superior se determina por la velocidad de las partículas en caída libre. En general, las velocidades de los gases pueden llegar hasta unas 5 veces la velocidad de las materias sólidas en caída libre. El contenido combinado de agua y de anhídrido carbónico de los productos gaseoso, se conserva con preferencia por debajo del 5% aproximadamente.

Otro medio susceptible de utilizarse para proporcionar el calor necesario a la zona de reducción de la tercera fase o etapa, consiste en hacer circular un producto sólido inerte de transmisión de calor tal como MgO. Este producto sólido puede presentar cualquier forma, pero con preferencia sus partículas tienen forma y dimensiones que permitan su separación fácil del lecho de FeO. El producto sólido inerte de transmisión de calor, después de su separación de la capa o lecho, ha de calentarse nuevamente hasta 1.093-1.204°C. aproximadamente, por cualquier medio clásico, por ejemplo en un cambiador de calor.

Los gases que salen de la zona de reducción de la tercera etapa, se dirigen inmediata y directamente a la zona de la segunda etapa, en la que el  $Fe_2O_3$  se reduce a FeO. Dado que en esta segunda zona se precisa aproximadamente la mitad del calor necesario en la ter-

313644 JUN 1950

- cera zona, no es imprescindible calentar de modo suplementario los gases procedentes de la tercera etapa. El calor sensible de los gases que salen de la tercera etapa, asociado al hecho de que la capa de  $Fe_2O_3$  se caldea previamente en la primera zona, basta para la reducción necesaria a  $FeO$ . El gas que sale de la segunda zona puede llevarse a la primera zona, o sea la capa de mineral a calentar previamente. Pueden utilizarse otros dispositivos de caldeo para la zona de caldeo previo. Con preferencia, una pequeña parte de los gases que salen de la segunda zona arde parcialmente con el aire, lo cual eleva la temperatura de los gases con objeto de calentar previamente el mineral hasta  $927-1.204^{\circ}C$ , aproximadamente. Puede utilizarse una parte de los gases que salen de la segunda zona para calentar previamente los materiales sólidos utilizados en la zona de reforma por el vapor de agua. Finalmente, los gases salientes de la primera zona de caldeo previo, pueden utilizarse para suministrar el calor necesario para el vapor de agua en la zona de reforma por el vapor de agua. Así, puede verse que los gases salientes de las fases de reducción, se utilizan para proporcionar el calor necesario al procedimiento. Si se desea, puede utilizarse oxígeno en lugar de aire para la pre-combustión parcial de los gases y, además, si se desea, puede caldearse previamente el aire o el oxígeno, para proporcionar calor suplementario.
- 5.
  - 10.
  - 15.
  - 20.
  - 25.

Recurriendo a este proceso se obtiene una economía notable de metano, que llega a ascender al 20% como mínimo, con respecto a los demás sistemas de reducción

- 30.

313644



- de minerales, sugeridos. Aunque la descripción antes citada de este invento utilice un procedimiento de reforma o corrección por el vapor de agua en el que se obtienen rendimientos sensiblemente en equilibrio en el curso de la reforma o corrección por el vapor de agua, debe tenerse presente la posibilidad de separarse ligeramente de este procedimiento para asegurar una conversión mas reducida y/o una selectividad menor en la fase de reforma por el vapor de agua, y obtener sin embargo la mayor parte de las ventajas de este invento.

Para definir el procedimiento de un modo mas especial, a continuación se hará referencia al dibujo adjunto que representa esquemáticamente distintos modos de aplicación de acuerdo con este invento.

- En la figura 1, se representa un reactor 1 de tipo tubular que contiene una capa de producto sólido - inerte o de una actividad catalítica, finamente dividido. El vapor de agua y el hidrógeno se admiten por conductos 3 y 4 con preferencia en cantidades suficientes para mantener el estado fluidificado de la capa. El vapor de agua y el hidrocarburo, se mezclan con preferencia antes de ponerse en contacto con la capa. Si se desea, puede utilizarse tambien gas accesorio para favorecer la fluidificación, aunque con preferencia, los productos gaseosos han de diluirse lo menos posible. El reactor de la fig. 1 tiene un dispositivo clásico de ciclón 5 para separar el producto gaseoso por medio de un conducto 6, de los sólidos que pueden arrastrarse. El calor de la reacción necesaria para la reforma por el vapor de agua en el reactor de la figura 1, puede sumi-

313644



- nistrarse a la pared externa del reactor, colocando éste en forma de un tubo, en un horno o dispositivo análogo, o bien puede caldearse previamente la carga gaseosa a un grado deseado cualquiera, para ayudar a suministrar el calor necesario para la reacción. En un ejemplo de funcionamiento del dispositivo de la fig. 1. se mantiene un producto sólido inerte constituido por alúmina de una dimensión media de partículas de 60 micrones, en estado fluidificado, haciendo pasar vapor de agua y un hidrocarburo previamente mezclados, a través de la capa o lecho con velocidades lineales de 0,30 a 0,60 metros/segundo. Se mantiene uniformemente una temperatura de 1.038° en la totalidad del reactor, suministrando calor a la pared externa del mismo. Los sólidos fluidificados mantienen el desnivel de temperatura entre la pared del reactor y el centro de éste, a un valor inferior a 2,5°C aproximadamente, cuando se utiliza un reactor de un diámetro que llegue hasta 15,2 a 20,3 cm. Podrían disponerse varias unidades de diámetro inferior en un horno único.

- La fig. 2 representa otro modo de aplicación de este invento, que comprende un reactor 11. que contiene una capa fluidificada 12, una tolva 13, un dispositivo para admitir los productos sólidos en el reactor, tal como un registro de aislamiento 14, un dispositivo de salida 15 para el producto gaseoso y un defector o un dispositivo de dispersión 16 para distribuir los productos sólidos de modo uniforme en la totalidad del reactor. Se disponen orificios de admisión para el vapor de agua y el hidrocarburo, en la parte inferior del reactor,

913044



por ejemplo en 17 y 18 y un conducto de admisión 19 para el hidrocarburo gaseoso y el vapor de agua se halla dispuesto en la parte inferior del reactor. En curso de funcionamiento, el reactor 11 contiene un lecho que puede fluidificarse, constituido por el mismo producto que se utiliza en el reactor de la fig. 1. Se introducen productos sólidos mas densos y de mayor tamaño, en el reactor, a partir de la tolva 13 y por intermedio del registro de aislamiento 14, y pasa a los deflectores 16 desde los cuales se dispersan hacia abajo en el lecho de producto sólido solidificado y mas ligero. La capa fluidificada se mantiene en este estado por introducción de los gases de la carga, de vapor de agua y de un hidrocarburo por los conductos 17 a 19 a una velocidad lineal total de 0,30-0,60 metros/segundo. Esta velocidad es suficiente para mantener las partículas mas ligeras en estado fluidificado, pero es insuficiente para hacer flotar las partículas mas densas que, por este hecho, descienden a través de la capa fluidificada, hasta una sección mas estrecha 20. El gas enviado por el conducto 19 despide las partículas mas ligeras que podrían abrirse un paso hasta en la sección 20 mas estrecha. Se recuperan las partículas mas pesadas en la parte mas estrecha 20 y se hacen circular de nuevo a la tolva 13. Dado que estas partículas mas pesadas suministran la totalidad o una parte del calor necesario para la reacción, se calientan a unos 1.093-1.149°C. antes de llegar a la tolva, o en esta misma. No se ha representado el dispositivo que sirve para transportar los productos sólidos pesados del fondo del reactor a la tolva, te -

973644



niendo en cuenta que puede utilizarse cualquier técnica conocida, para este objeto. Una instalación industrial típica podría contener, por ejemplo, un conducto de ascenso para la fase densa o dispersada, destinado a hacer circular de nuevo los productos sólidos mas densos.

5. Como en la fig. 1, la capa fluidificada mantiene la temperatura de la totalidad de la zona de reacción, a un nivel prácticamente uniforme el gradiente o desnivel de temperatura entre el centro y las paredes del reactor -

10. es sensiblemente nulo.

La fig. 3 representa esquemática un tercer modo de aplicación, que comprende un reactor 31 dotado de una tolva 32 y un registro de aislamiento u otro dispositivo para admitir los productos, indicado en 33. En el funcionamiento de la unidad de la fig. 3, el vapor de agua y el hidrocarburo se admiten por conductos 34 y 35 y atraviesan un lecho móvil de productos sólidos relativamente pesados que se han calentado para proporcionar el calor necesario. Las partículas de este lecho o capa pueden tener por ejemplo de 0,6 a 12,7 mm. de diámetro y esta capa se encuentra en un estado de salida uniforme que puede regular un registro no representado. La velocidad a que se desplaza la capa se regula fácilmente por la velocidad a que los sólidos se eliminan del reactor, y los sólidos, como en la fig. 2, se hacen circular nuevamente a la tolva y por el reactor después de un nuevo caldeo.

15.

20.

25.

La fig. 4, representa esquemáticamente un cuarto modo de aplicación que sirve para la reforma de un hidrocarburo con relaciones reducidas entre el vapor de agua y el hidrocarburo antes citadas. En la fig. 4, el -

30.

573644



- reactor 41 constituye un horno rotativo de longitud relativamente pequeña y de aspecto resistente. La longitud del horno se limita por el hecho de que la temperatura reinante en la totalidad del mismo ha de mantenerse entre determinados límites definidos. El horno está ideado de modo adecuado para asegurar una mezcla apropiada de las materias sólidas previamente caldeadas que se admiten por el conducto 42 y que se baten en el horno para proporcionar el calor necesario para la operación de reforma. Los gases reactivos se admiten por un conducto 43 y los productos sólidos relativamente fríos se retiran por un conducto 44 con miras a su nuevo caldeo y a su posterior circulación en el horno. La expresión "relativamente frío" significa que los productos sólidos retirados están a una temperatura sensiblemente inferior a la de los productos sólidos entrantes, por ejemplo a una temperatura por debajo de 102-168°C. Se observará que en todos los casos, salvo en el de la fig. 1, el calor necesario es, por lo menos en parte, suministrado por los soportes sólidos de transmisión de calor, aunque esté comprendido en el cuadro de este invento, el proporcionar calor suplementario por otras técnicas conocidas. En la fig. 1, se mantiene una temperatura uniforme mediante productos sólidos fluidificados, contenidos en el reactor. Recurriendo a uno cualquiera de los procesos antes descritos, pueden utilizarse relaciones reducidas entre el vapor de agua y el hidrocarburo, y temperaturas elevadas para producir un gas reductor que permita especialmente la reducción del mineral de hierro.
- 5.
  - 10.
  - 15.
  - 20.
  - 25.
  - 30.

C 10044



La fig. 5, del dibujo, representa un sistema de reducción de material fluidificado, con tres etapas. En la etapa A, el mineral se caldea previamente a 927-1.204 °C., con preferencia por la combinación de los gases calientes de la segunda etapa B, que a su vez se calienta por los gases procedentes de la zona de reducción C de la tercera etapa. En las dos últimas etapas, los productos sólidos se mantienen en estado fluidificado merced a la utilización de dimensiones apropiadas de las partículas, por ejemplo de 60 a 600 micrones, y de velocidades lineales suficientes para los gases, por ejemplo de 0,60 a 1,50 metros/segundo. A título de ejemplo, un gas reductor obtenido por reforma o corrección del metano a 982°C con una relación entre las moléculas de vapor de agua y los átomos de carbono, de 0,9 a 1 y comprendiendo el 73,6 % de H<sub>2</sub>, el 23,8 % de CO, el 0,2 % de CO<sub>2</sub>, el 10 % de H<sub>2</sub>O y el 1,2 % de metano sin reaccionar se admite en la zona de reducción a FeO por un conducto 51. Puede hacerse arder una parte del metano restante, con aire que llegue por un conducto 52, para elevar la temperatura de los gases que penetran en la zona de reducción del FeO. Como se ha indicado ya, la velocidad lineal del gas que atraviesa la zona C es suficiente para mantener la capa de FeO en estado fluidificado. Si se desea, pueden introducirse productos sólidos de transmisión de calor en esta zona, para elevar la temperatura hasta el grado deseado. El hierro metálico sale por un conducto vertical 53 a un estado de pureza determinado por la carga inicial de mineral introducida en el sistema de reducción. Con preferencia, no se apura la reducción en la zona C por

513644



encima del 95 % y los productos sólidos pueden llegar a una zona final para la depuración del óxido. Por lo que se refiere a la combustión de una parte de los gases re-  
formados, se utiliza una relación reducida entre el -  
5. aire y el gas, para evitar una concentración excesiva -  
de anhídrido carbónico y de agua en los gases reducto -  
res. Además, es necesario terminar esta reacción de com-  
bustión antes de admitir los gases reductores en la zo-  
na de reducción de FeO, con objeto de evitar una inhibi-  
10. ción de la reducción. Los gases salientes de la zona C,  
pasan por un conducto 54 a la zona B de reducción del -  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que comprende un lecho fluidificado del mineral -  
previamente calentado.

Dado que la cantidad de calor necesaria para -  
15. reducir Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a FeO es sensiblemente menor que la canti-  
dad de calor necesaria para reducir FeO a Fe, no se pre-  
cisa calor suplementario alguno en la zona de reducción  
B; la cantidad total de calor está suministrada por el  
calor sensible de los gases que salen de la zona C, y -  
20. del mineral previamente calentado. Sin embargo, entra -  
en el cuadro de este invento, el suministrar calor su-  
plementario a la zona B por cualquier técnica conocida  
si se desea. La temperatura en la zona B, por ejemplo,-  
puede mantenerse a un valor tan elevado como 927 a 982°C.  
25. El FeO producido en la zona B se manda a la zona C por  
un conducto 55. Una parte de los gases que salen de la  
zona B y comprenden CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO y H<sub>2</sub> a temperaturas -  
elevadas, se dirige, por el conducto 56, a la zona A de  
caldeo previo del mineral, en la que éste se calienta a  
30. unos 1204°C para suministrar el calor. Los productos -

313644



combustibles contenidos en los gases que salen de la zona B, se queman con el aire admitido por el conducto 57. Se admite mineral nuevo por el conducto 58, y los gases procedentes de la zona de caldeo previo A, salen

- 5. por el conducto 59, para cualquier utilización deseada, por ejemplo en una caldera de calor perdido. La parte restante de los gases que salen de la zona B, se retira con preferencia del sistema por el conducto 60 y se hace arder con aire para calentar los productos sólidos de transmisión de calor para la reacción de reforma o para otra utilización cualquiera en la instalación.

- Las temperaturas óptimas para la reforma o corrección de los hidrocarburos de acuerdo con este invento, dependen en cierto grado del hidrocarburo especial empleado. Pueden utilizarse temperaturas tan bajas como unos 871°C, con los hidrocarburos pesados, tales como las naftas de destilación directa, el gas-oil, los aceites no tratados y los productos residuales de destilación. Pueden emplearse temperaturas inferiores a las que se han citado, y se recurre a un catalizador.
- 15.
  - 20.

- Para evidenciar las economías notables de metano, va a compararse el procedimiento de acuerdo con este invento en el que se utiliza una reforma del metano por el vapor de agua para producir los gases reductores, con un procedimiento análogo en el que se utilizan gases reductores procedentes de la oxidación parcial del metano. Si se comparan sistemas similares en los que el aire no se caldea previamente, se comprueba que el consumo total de metano es de 402.500 metros cúbicos/
- 25.
  - 30.

313644



tonelada, cuando se aplica el proceso de este invento, y de 967 m<sup>3</sup>/t de Fe cuando se utiliza un sistema similar en el que el gas reductor se obtiene por oxidación parcial del metano.

5.

NOTA

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarlo en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de de-

10.

talle, en cuanto no alteren su principio fundamental, también se hace constar que el invento corresponde a una solicitud de patente presentada en EE. UU. de A. -

acogiéndose, por lo tanto, a los beneficios que conceden los Convenios Internacionales en vigor y siendo lo

15.

que constituye la esencia del referido invento y por lo que se solicita Patente de Invención por 20 años, - en España "Procedimiento de preparación de un gas reductor para la reducción de mineral de hierro", caracterizándose por lo siguiente:

20.

1ª.- "Procedimiento de preparación de un gas reductor para la reducción de mineral de hierro", que comprende el poner en contacto un hidrocarburo con vapor de agua en una relación de aproximadamente 0,8 a 1 mol de vapor de agua por átomo de carbono en dicho hidrocarburo,

25.

a una temperatura de 872°C. como mínimo, - en una zona de reacción que tenga una temperatura radial prácticamente constante a través de cada sección de la mencionada zona, y el emplear luego el gas reductor así obtenido, para la conversión de mineral de

30.

hierro en hierro.

073044 = 1 JUN 1965

2ª.- Procedimiento, según reivindicación 1ª, ca  
racterizado, porque la temperatura en la zona de reac -  
ción se mantiene constante manteniendo una capa de sólidos fluidificados en dicha zona de reacción.

5. 3ª.- Procedimiento, según reivindicación 1ª, ca  
racterizado, porque la mencionada temperatura se mantie -  
ne constante suministrando calor a la zona de reacción -  
haciendo pasar sólidos portadores de calor en dirección  
descendente hacia la capa fluidificada de sólidos fina -  
mente divididos, y separando los sólidos portadores de -  
calor, de la mencionada capa fluidificada.

10. 4ª.- Procedimiento, según reivindicación 1ª, ca  
racterizado, porque la mencionada temperatura se mantie -  
ne constante, mediante el paso continuo de sólidos porta  
dores de calor en una capa móvil, a través de la zona de  
reacción, en una cantidad suficiente para conservar la -  
temperatura citada.

15. 5ª.- Procedimiento, según reivindicación 1ª, ca  
racterizado, porque en la zona de reacción se mantienen  
sólidos inertes móviles suministradores de calor.

20. 6ª.- Procedimiento, según reivindicación 1ª -  
caracterizado, porque la temperatura se mantiene unifor  
me en toda la zona de reacción introduciendo sólidos -  
portadores de calor en una zona de reacción rotativo y  
volteando y mezclando dichos sólidos portadores de ca -  
lor.

25. 7ª.- Procedimiento, según reivindicaciones 1ª  
a 6ª, caracterizado, porque el hidrocarburo es metano y  
dicha temperatura es de 915°C. como mínimo.

30. 8ª.- Procedimiento, según reivindicaciones -

313844



1<sup>a</sup>-7<sup>a</sup>, caracterizado, porque el gas reductor que comprende monóxido de carbono e hidrógeno, se sintetiza a una temperatura entre 872 y 1.093°C. y se utiliza para reducir FeO fludizado a Fe, a temperaturas del orden de 915 a 1.205°C.

5.

9<sup>a</sup>.- Procedimiento, según reivindicación 8<sup>a</sup>, caracterizado, porque se reduce FeO a Fe, a una temperatura prácticamente no inferior a la que se sintetiza el gas reductor.

10.

10<sup>a</sup>.- "Procedimiento de preparación de un gas reductor para la reducción de mineral de hierro"; tal y como queda substancialmente descrito en la presente Memoria e ilustrado en los adjuntos dibujos.

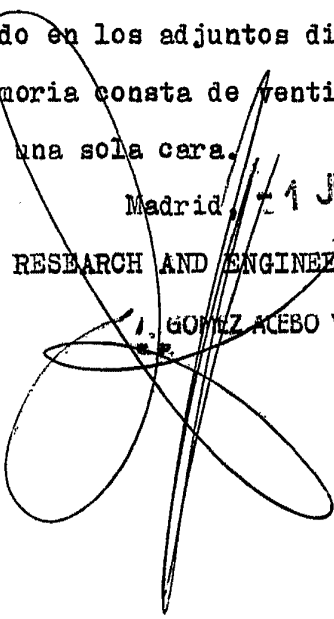
15.

Esta memoria consta de veintitres hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 1 JUN. 1965

ESSO RESEARCH AND ENGINEERING COMPANY,

J. GOMEZ ACEBO Y MODER



346

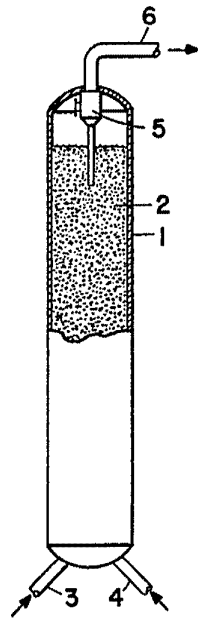


FIG.-1

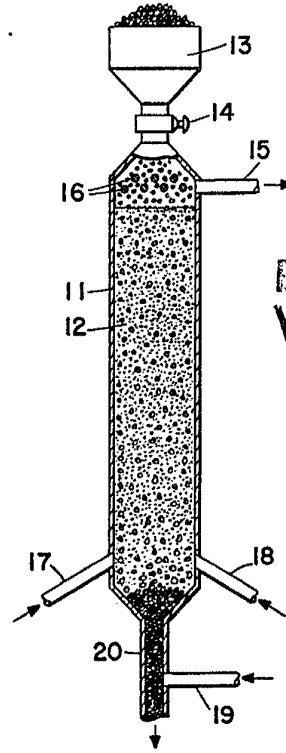


FIG.-2

ESCALA VARIABLE

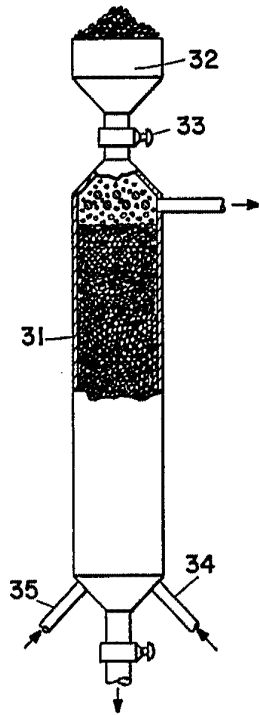


FIG.-3

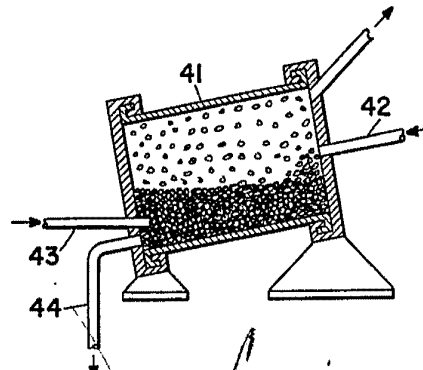
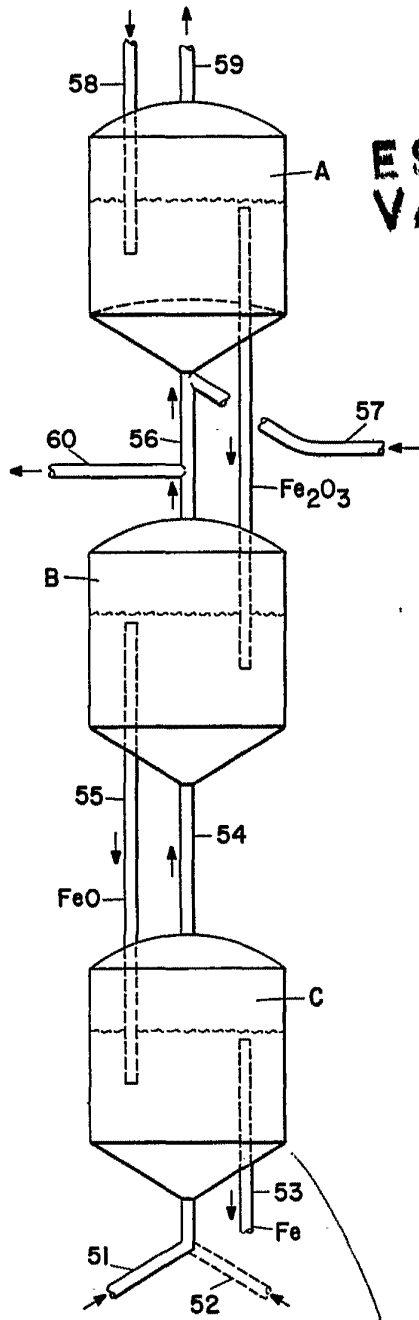


FIG.-4

Madrid JUN. 1965

GOMEZ ACEBO Y MODEI

JUN 1965



ESCALA VARIABLE

FIG.-5

Madrid - 1 JUN. 1965

GOMEZ ACEBO Y MODEJ