

- 5 OCT. 1978



ESPAÑA

Concedido el Registro de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la Memoria adjunta.

(10) ES	(11) NUMERO	(10) A1
(21)	467.046	
(22)	FECHA DE PRESENTACION	
	16-2-78.	

PATENTE DE INVENCION

(30) PRIORIDADES:	(32) FECHA	(33) PAIS
(31) NUMERO		
769.242	16 de Febrero de 1.977	EE.UU. de A.

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	C 21 B	

(64) TITULO DE LA INVENCION
PROCEDIMIENTO Y APARATO PARA REDUCIR MATERIAL PARTICULADO DE OXIDO DE HIERRO A HIERRO METALICO CON UN REDUCTOR SOLIDO.

(71) SOLICITANTE (ES)
MIDREX CORPORATION,

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
One NCNB Plaza, Charlotte, North Carolina 28280, EE.UU. de A.,

(72) INVENTOR (ES)
DONALD BEGGS y BRUCE G. KELLEY.

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE
D. JOSE MIGUEL GOMEZ-ACEBO Y POMBO,

En los últimos años la reducción directa de óxido de hierro a hierro metálico se ha convertido en una realidad comercial practicable con una aceptación y producción mundiales cada vez mayores. El hierro reducido directo que se obtiene de la reducción directa de óxido de hierro tiene una utilidad, comercialmente demostrada, en la fabricación de hierro y acero y particularmente en la fabricación de acero en horno de arco eléctrico. La demanda mundial de la actualidad de hierro reducido directo excede bastante de la capacidad de producción de las plantas de reducción directa planificadas actualmente, debido principalmente a la dependencia del gas natural, como fuente de energía, en la mayoría de los procesos de reducción directa que han sido desarrollados a escala comercial.

Para satisfacer la demanda a corto y largo plazo de hierro reducido directo, es esencial que los procedimientos de reducción directa nuevos y mejorados utilicen combustibles sólidos tales como carbón o lignito, para hacer practicable la reducción directa en aquellos países, tal como los Estados Unidos, en donde pueden encontrarse grandes reservas de combustibles sólidos y en donde las reservas de gas natural están limitadas.

En los últimos años, los esfuerzos para desarrollar los procesos de reducción directa que utilicen combustibles sólidos como fuente reductora para el proceso de reducción, se han dirigido principalmente hacia dos tipos básicos de procesos diferentes. Uno de dichos tipos de proceso, mezcla el combustible sólido con óxido de hierro y procesa la mezcla en un horno rotativo, empleando aire para la combustión en el horno. Un ejemplo típico de este proceso se describe en la Patente U.S.A. No. 3.046.106. El proceso en horno rotativo tiene una desventaja térmica fundamental ya que se requiere aproximadamente el 65% del

combustible sólido consumido por combustión para mantener la elevada temperatura del horno, pudiéndose disponer solamente, para la reducción, del 35% aproximadamente del valor combustible.

5. Esto se traduce en una necesidad de combustible sólido del orden de 5 a 6 Giga calorías por tonelada métrica de producto de hierro de reducción directa.

El segundo tipo de procedimiento, gasifica el combustible sólido en un gasificador separado, de tipo combustión, que utiliza oxígeno y vapor de agua para la gasificación.

10. El gas del gasificador se enfría y se lava, se desulfura, utilizándose entonces en un horno de reducción directa como fuente de agente reductor. Un ejemplo de esta combinación de gasificador y horno de reducción directa se describe en la Patente U.S.A. No. 3.844.766. Esta combinación tiene también una desventaja térmica
15. fundamental ya que se consume aproximadamente el 50% del combustible sólido por combustión en el gasificador, disponiéndose solamente del restante 50% del valor combustible como fuente reductora. Esta combinación, si bien es altamente eficaz en el empleo del gas del gasificador para la reducción, requiere aproximadamente
20. de 4 a 5 Giga calorías de combustible sólido por tonelada métrica de hierro reducido directamente.

En ambos tipos de procesos de reducción directa con combustible sólido, descritos anteriormente, se consume una porción principal del valor combustible del combustible sólido por el oxígeno del aire o por oxígeno industrial. En el horno rotativo, solamente se consume una porción menor por reacción con oxígeno del óxido de hierro a reducir.

25. La Patente Francesa No. 2.274.694 describe un horno de cuba que tiene una cámara de reacción tubular a través
30. de la cual pasa la carga. El tubo es calentado externamente por

quemadores. La carga del horno es mineral de hierro y coque con un agente desulfurante opcional. No se efectua provisión alguna para la manipulación de los productos de reacción ni para la utilización de los mismos en el proceso. El calentamiento externo del tubo de este tipo de horno crea gradiente de temperatura en la carga debido a que está última no es buena conductora del calor.

En la Patente U.S.A. No. 1.937.064 se describe un horno de cuba vertical, accionado electricamente en el cual se introducen, para formar la carga, coque disgregado, grafito, carburo de silicio u otros conductores. Se vierte entonces el metal fundido a través de la carga mientras fluye también la corriente eléctrica a través de la misma, refinándose así el metal fundido. La carga es una masa granulada, estacionaria, de material carbonáceo que no fluye a través del horno. Igualmente la carga no es el material a tratar al contrario que en la presente invención.

Otras patentes que pueden ser de interés incluyen la Patente U.S.A. de Carlsson No. 2.089.782, la Patente U.S.A. de Brugger No. 2.755.325 y la Patente U.S.A. de Southam No. 3.161.500.

El objeto principal de está invención es proporcionar un método para la reducción directa de óxido de hierro a hierro metálico en un horno de reducción del tipo cuba en donde se utiliza combustible sólido como fuente reductora.

Otro objeto de está invención es proporcionar un método para la reducción directa de óxido de hierro en un horno de cuba en donde las necesidades de energía se reducen enormemente en relación con los métodos de reducción directa comerciales existentes.

Otro objeto de la invención es proporcionar medios para una operación más eficaz del horno de cuba de reducción directa que la posible hasta el presente.

5. Otro objeto de esta invención es proporcionar un aparato para llevar a cabo el método citado.

10. La presente invención se relaciona con un método de reducción directa que utiliza combustible sólido de un modo nuevo y altamente eficaz desde el punto de vista térmico, en donde el combustible sólido se consume directamente en el proceso de reducción por reacción con oxígeno del óxido de hierro a reducir. Las reacciones globales del horno son endotérmicas, siendo suministrado el calor requerido por calentamiento eléctrico de la carga. La exclusión de una fuente exterior de aire u oxígeno industrial se traduce en una necesidad de combustible sólido de 15. aproximadamente 2,2 Giga calorías por tonelada métrica de hierro reducido directamente con una necesidad de energía eléctrica adicional de aproximadamente 700 kWh (0,6 Giga calorías) por tonelada métrica de hierro reducido directamente.

20. La presente invención se entenderá mejor haciendo referencia a la siguiente descripción detallada y a los dibujos adjunto, en los cuales:

25. La figura 1 es una sección transversal esquemática de una vista en alzado del horno de cuba de la presente invención, que muestra los flujos de gases y la instalación relacionada.

La figura 2 es una sección transversal en alzado de otra modalidad de la presente invención.

La figura 3 es una sección transversal en alzado de otra modalidad de la presente invención.

30. La figura 4 es un esquema que muestra elec-

trodos verticalmente separados como medios alternativos para proporcionar calor eléctrico a la carga del horno de cuba.

5. La figura 5 es una sección transversal esquemática de una vista en alzado del horno de la figura 4, que muestra modificaciones a los electrodos.

La figura 6 es una sección transversal esquemática de una vista en alzado del horno de la figura 5, tomada a través de la línea 6-6 de la figura 5.

10. Haciendo referencia ahora a la modalidad de la figura 1, el horno de tipo cuba 10 que tiene una carcasa de acero 12 está revestido con refractario 14. En la parte superior del horno 10 se encuentra una tolva de alimentación 16 para cargar el material de alimentación de sólidos particulados 18 en el mismo. El material de alimentación consiste en óxido de hierro en  
15. forma de pellets o terrones y combustible carbonáceo sólido. El material de alimentación desciende por gravedad a través de uno ó más conductos de alimentación 20 para formar un lecho empacado 22 de material de alimentación de sólidos particulados o carga en el horno 10. El producto reducido se extrae del horno mediante  
20. el transportador de descarga 26 situado por debajo del tubo de descarga 24. La separación del producto reducido, que se encuentra en forma de pellets o terrones metalizados, del tubo de descarga 24 establece un flujo gravitacional de la carga particulada 22 a través del horno de cuba 10.

25. El horno 10 tiene preferiblemente una sección transversal horizontal cuadrada o rectangular. La región media del horno está dotada con placas electródicas 30, de aleación resistente al calor, conectadas a varillas de plomo electródicas 32, las cuales están conectadas a su vez a una fuente de energía eléctrica no mostrada. Las placas electródicas 30 están introducidas  
30.

preferiblemente en la pared refractaria 14 para crear una cara de pared interior sustancialmente lisa. Las placas electródicas están situadas así para formar pares opuestos. En la figura 1 se muestran 3 pares opuestos de placas electródicas, verticalmente separadas por el horno al objeto de controlar el proceso. La varillas de plomo electródicas 32 están montadas en un material de aislamiento eléctrico 34 adecuado, tal como cartón de asbestos, que sirve para aislar la varilla 32 de la carcasa de acero 12 del horno. Un conducto 38 de aleación resistente al calor, que tiene un extremo inferior cerrado, se extiende verticalmente a través del techo del horno hasta el interior de la carga hasta la región del par más inferior de placas electródicas 30. Se insertan termopares adecuados, no mostrados, en el conductor termopar 38 para controlar la temperatura de la carga en alturas seleccionadas, particularmente en la altura de cada par de placas electródicas.

El gas de cabeza sale del horno a través de un conducto de salida de gas de cabeza 44 situado por encima de la línea de stock 46. El extremo inferior del conducto de alimentación 20 se extiende por debajo del conducto de salida 44, cuya disposición crea una cámara de desprendimiento 48 de gas superior o de cabeza que permite que este último salga generalmente de forma simétrica con respecto a la línea de stock 46 y fluya libremente hasta el conducto de salida del gas de cabeza 44.

Se proporciona un circuito de limpieza y recirculación de gases para separar sólidos y materia condensable del gas de cabeza y enfriar el gas para formar gas de proceso frío. El gas de cabeza reaccionado que abandona el horno de cuba 10 a través del conducto 44, fluye a un lavador de aceite 50 en donde se separan del gas los alquitranes, aceites y materias particuladas, en forma de un lodo. La bomba 52 bombea de nuevo al lodo a

través del horno por medio del conducto de inyección de lodo 54 el cual tiene un extremo inferior abierto que se extiende bastante por debajo de la línea de stock para asegurar la reacción de los componentes del lodo con la carga al objeto de evitar que el gas de cabeza recicle estos componentes de nuevo al lavador de aceite.

El gas de cabeza pasa desde el lavador de aceite a un lavador de agua 60 en donde el gas se enfría y limpia adicionalmente. Un soplador de recirculación de gas 62 extrae el gas de proceso frío y limpio del lavador 60. En el conducto 66 se proporciona una válvula 65 en la forma necesaria. Se introduce una porción del gas de proceso al conducto 68 para facilitar la inyección del lodo al interior de la carga del horno de cuba. La porción principal del gas de proceso se vuelve a introducir en el horno como gas de proceso frío a través del conducto de entrada 40 y a través de un elemento de distribución de gas 42 situado dentro del horno. Normalmente parte del gas del proceso se ventilará debido a que se forman gas monóxido de carbono y gas dióxido de carbono como consecuencia de la reacción de carbono sólido en el horno con el oxígeno del óxido de hierro. Puesto que esta reacción implica una expansión gaseosa, el gas en exceso puede ventilarse a través de la ventilación V. Naturalmente, este gas en exceso proporciona una fuente de energía para utilizarse en cualquier punto.

La modalidad de la invención mostrada en la figura 2 incluye la provisión para introducir gas de proceso frío y gas de proceso caliente en la región inferior del horno por debajo de los electrodos. El gas de proceso frío se introduce a través del conducto de entrada 40 de gas de proceso frío del mismo modo que en la modalidad mostrada en la figura 1. El gas de

proceso caliente se introduce en la carga a través del conducto de entrada 72 de gas de proceso caliente y elemento de distribución de gas 74 situado dentro del horno. La región existente entre el elemento distribuidor de gas de proceso frío y el elemento distribuidor de gas de proceso caliente actúa como una zona de refrigeración para enfriar el producto caliente antes de su descarga.

El gas de cabeza abandona la carga en la línea de stock y sale del horno a través del conducto de salida 44 de gas de cabeza. El gas de cabeza se limpia de alquitranes, aceites y materias particuladas en el lavador de aceite 50 tras lo cual se limpia y enfría adicionalmente en el lavador de agua 60. Una porción del gas de proceso se vuelve a introducir en el horno como gas de proceso frío a través de la entrada 40 de gas de proceso. Una segunda porción del gas de proceso pasa a través del conducto 79 al interior del precalentador de gas 80. El gas calentado fluye a través del conducto 82 y se introduce en el horno a través de la entrada 72 de gas de proceso caliente. Una tercera porción del gas de proceso frío se dirige a través del conducto 84 y se inyecta en la línea de retorno de lodo 86 para facilitar el transporte del lodo de nuevo al horno. Otra porción del gas de proceso se alimenta en el conducto 88 como combustible para el quemador precalentador 90. Se proporciona una ventilación  $V_1$  en el conducto 88 para ventilar una porción del gas de proceso enfriado en la forma necesaria. El aire de combustión para el quemador 90 se suministra mediante la fuente de aire 92. La ventilación  $V_2$  separa los productos de combustión del precalentador 80.

La modalidad de la figura 3 incluye una zona de refrigeración en la porción inferior del horno, por medio de la cual se admite gas de refrigeración en el horno a través

de la entrada de gas de refrigeración 100 y distribuidor de gas de refrigeración 102 dentro del horno. El elemento de recogida de gas de enfriamiento 104, que está situado por encima del elemento distribuidor de gas 102, comunica con el lavador-refrigerador 108 a través de la salida de gas de refrigeración 110 y conducto 112. Un soplador de gas en recirculación 114 está situado en el conducto 116 o en cualquier otro punto conveniente dentro del circuito de gas de refrigeración, para proporcionar el impulso del flujo de gas. El circuito de gas de refrigeración incluye la zona de refrigeración del horno la cual es aquella porción del horno comprendida entre el elemento de distribución 102 de gas de refrigeración y el elemento de recogida 104 de gas de refrigeración.

En la modalidad de la figura 3, solamente se introduce gas de proceso precalentado en el conducto de entrada 72 de gas de proceso. El resto del aparato de la figura 3 se asemeja al de la figura 2.

En la figura 4 se muestra otra disposición para aplicar la energía eléctrica a través de la carga en dirección vertical, en donde los electrodos de aleación resistente al calor, consistente en varillas 126 y 127, mostrándose solamente una de ellas, se extienden a través de una de las paredes de la carcasa 12 y a través del ancho del horno terminando en la pared refractaria en el lado opuesto del horno. Se proporcionan electrodos en las regiones superior e inferior del horno, tal y como se indica en el dibujo. Cada varilla puede estar equipada con discos de aleación resistente al calor 130 para proporcionar un área superficial electródica extendida. El número de varillas electródicas usadas depende de la dimensión horizontal del horno. Cuando los electrodos se disponen para pasar corriente verticalmente,

como se muestra en la figura 4, el horno puede tener cualquier sección transversal deseada, incluyéndolo casi todas las figuras geométricas, tales como formas cuadrada, redonda, rectangular, ovalada, etc.

5. Los termopares de la carga 132 se extienden al interior del horno en alturas seleccionadas a través de las paredes laterales y se asientan en los aislantes eléctricos 134 que están acoplados en la carcasa 12 del horno. Estos termopares controlan la temperatura de la carga en diversos puntos a medida que la carga pasa a través del horno.

10.

En la modalidad de la figura 5, que constituye una disposición alternativa a la modalidad mostrada en la figura 4, el electrodo superior 140 está articulado para su rotación en los cojinetes 142a y 142b los cuales pueden estar montados externamente como se muestra en la figura o aislados y montados en las paredes 144 del horno.

15.

Se proporcionan uno o más de estos electrodos superiores, en función de las dimensiones de la sección transversal horizontal del horno. El electrodo superior actúa como un mecanismo alimentador y también como un rompedor de aglomeraciones del material en la zona superior del horno. El electrodo lleva uno o más segmentos rompedores 146 que se extienden radialmente, tal y como se muestra mejor en la figura 6. El electrodo superior 140 está conectado y accionado por el mecanismo accionador oscilable 148. Se proporciona por lo menos un electrodo inferior 150 que está articulado para su rotación en cojinetes aislados y sellados 152a y 152b. Estos cojinetes pueden estar en las paredes del horno o montados exteriormente. El electrodo inferior 150 está conectado y accionado por el mecanismo accionador oscilable 156. El electrodo inferior lleva uno o más segmentos

20.

25.

30.

rompedores 158, arqueados, que se extienden radialmente, actuando así como un rompedor de aglomeraciones inferior. Cada segmento rompedor de aglomeraciones se extiende solamente en unos 180 a 270° alrededor del electrodo. De este modo, a medida que oscila el electrodo dentro de los cojinetes, actúa como mecanismo de alimentación y como mecanismo rompedor de aglomeraciones. Alimenta material alternativamente moviendo el material descendentemente desde las paredes opuestas del horno mientras simultáneamente rompe cualquier aglomeración del material cohesivo caliente.

10. En el método de esta invención, los pellets de óxido de hierro, mineral en terrones u otro material de alimentación de óxido de hierro adecuado, se mezcla con el combustible carbonáceo sólido tal como carbón, coque o lignito, alimentándose entonces a través del conducto de alimentación 20 al interior del horno 10 para formar la carga 22 en forma de un lecho empacado.

15. El horno se calienta electrotérmicamente pasando corriente eléctrica a través de la carga entre los electrodos de aleación del horno. Los pellets o terrones de hierro reducido directamente son electricamente conductores incluso en la primera etapa de reducción cuando el hierro metálico se forma solo sobre la superficie del pellet. Cuando se inicia la operación del horno de cuba eléctrica de la presente invención, el horno se carga con pellets de hierro directamente reducido y parcialmente metalizados, coque de petróleo o con cualquier otro material electricamente conductor. Después de ponerse en funcionamiento la planta, se podría disponer fácilmente de los pellets reducidos o parcialmente metalizados para iniciar la carga. Sin embargo, se utilizan otros materiales conductores cuando no puede disponerse de pellets reducidos o parcialmente metalizados. Se ha determinado que los pellets con metalizaciones tan bajas como del 6%

son conductores.

- El horno de cuba incluye tres zonas de proceso diferentes. La región superior constituye una zona de pre-reducción en la cual la carga se calienta por convección de gases que se mueven en contracorriente con el flujo de la carga. El carbón u otro combustible carbonáceo de la alimentación libera productos volátiles condensables y no condensables. Los volátiles no condensables, que principalmente son hidrógeno o hidrocarburos, salen como gas de cabeza, se limpian y se recirculan como gas de proceso. La carga de pellets actúa como apagado del grano del lecho empacado en movimiento, lo cual es muy eficaz a la hora de evitar que los compuestos líquidos pesados taponen los conductos de salida de gas. Algunos aceites pesados y alquitranes tienden a exudar del carbón, siendo absorbidos por la alimentación de óxido para reaccionar a continuación con el dióxido de carbono y vapor de agua del gas de proceso. Una elevada proporción de alimentación de óxido a compuestos líquidos pesados reduce la tendencia de la carga a aglomerarse excesivamente cerca de la línea de stock de carga. En esta zona de prerreducción, el material de alimentación de óxido se reduce a una baja metalización, es decir una metalización inferior al 25%, por reacción con los reductores  $H_2$  y  $CO$  en los gases de movimiento ascendente. De este modo, la carga llega a ser eléctricamente conductora antes de que salga de la zona de pre-reducción.
- La región central del horno de cuba constituye una zona de reducción en la cual se forma hierro metálico por reacción de la carbonilla formada a partir del combustible carbonáceo con oxígeno procedente del óxido de hierro. Las reacciones en la zona de reducción son endotérmicas. El calor necesario en la zona de reducción se suministra electrotermicamente.
- 5.
  - 10.
  - 15.
  - 20.
  - 25.
  - 30.

5. La región inferior del horno constituye una zona de enfriamiento en donde se pasa gas de proceso frío u otro gas de refrigeración a través del producto caliente antes de la descarga. El gas de proceso frío entra en la zona de refrigeración a través de la entrada 40, como se muestra en la figura 1 ó 2, un circuito de gas de refrigeración recircula gas a través de la zona de refrigeración entre la entrada 40 y la salida 110 de la figura 3.

10. La descarga de producto del horno de cuba contiene hierro reducido, ceniza del carbón y parte de carbonilla residual que tiene un tamaño de partícula muy pequeño. El producto descargado se tamiza para separar los pellets reducidos, pasando entonces el producto tamizado a través de un separador magnético para recuperar los finos de producto reducidos.

15. Al material de alimentación se puede añadir una pequeña cantidad, de hasta 5%, de caliza o dolomita, para reaccionar con el azufre que se puede liberar dentro del horno. Este material no metálico será rechazado por el separador magnético del producto de hierro reducido directamente.

20. Como ejemplo específico del funcionamiento de cada uno de los hornos de las figuras 1 a 4 se han llevado a cabo cálculos con respecto a las velocidades de flujos de gases, temperaturas de gases y composiciones de gases en diversos puntos de cada uno de los diagramas de flujo del horno. Estos cálculos han estado basados en un análisis de la alimentación de óxido de 97% de  $Fe_2O_3$  con 3% de materiales de ganga. Como base para estos cálculos se emplea 10% más de carbón del teóricamente requerido, que tiene un análisis aproximado de 57,6% de carbono fijo, 3,3% de agua, 29% de volátiles y 10,1% de ceniza. Este constituye un carbón bituminoso de calidad A altamente volátil.

25.

30.

El rendimiento en alquitran y aceite del carbón es de aproximadamente  $0,11 \frac{m^3}{t}$  por tonelada métrica. El contenido en alquitranes y aceite en el gas de cabeza es de 22.000 mgs por metro cúbico normal. La temperatura de la zona de reducción es de  $980^{\circ}C$ . La metalización del producto final es del 92% siendo del 20% la metalización que tiene lugar en la zona de pre-reducción. El empleo de carbón en exceso se traduce en carbonilla sin reaccionar que se descarga del horno con el producto de hierro metálico. Esta carbonilla puede separarse magneticamente del producto de hierro y separarse de las cenizas por flotación o por cualquier otro medio adecuado. La carbonilla resultante se puede reciclar al horno el cual reducirá al carbón hasta prácticamente la necesidad teórica.

Las Tablas 1 a 3 muestran cifras operativas computadas de un horno de reducción directa que funciona de acuerdo con la invención. Los análisis de gases son cifras operativas típicas en los puntos indicados por las letras de encabezamiento. Estos puntos son los siguientes:

- A. Gas de cabeza por encima de la salida de gas de cabeza 44.
- B. Gas que sale del lavador de agua 60.
- C. Gas que pasa a través de la ventilación V ó  $V_1$ .
- D. Gas que entra en el horno a través de la entrada 72.
- E. Gas que entra por la entrada 40 del horno.
- F. Gas admitido al quemador 90 a través de la línea 88.
- G. Gas de refrigeración separado de la zona de refrigeración por la salida 110.
- H. Gas de refrigeración introducido a la zona de refrigeración por la entrada 100.

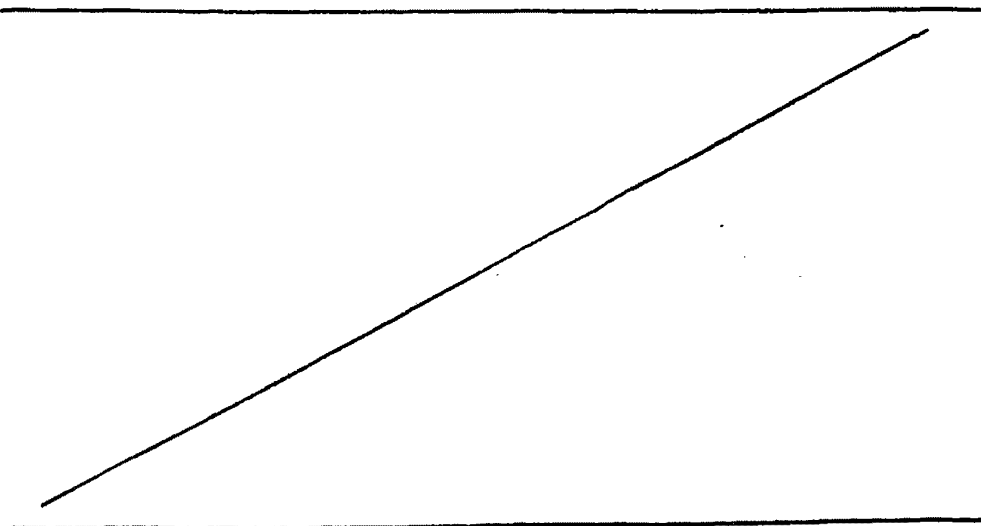
Los flujos de gas en las Tablas se ofrecen en metros cúbicos normales por tonelada métrica ( $\frac{Nm^3}{t}$ ) de producto.

La Tabla I muestra las cifras operativas para un horno de reducción directa que funciona de acuerdo con la figura 1 ó con la figura 4.

T A B L A I

	A	B	C	E	Gas en la zona de reducción	Gas de salida de la zona de reducción
Flujo-(Nm <sup>3</sup> /t Prod.)	1300	1260	500	760	760	1280
Temp. -°C	360	40	40	40	640	980
Análisis						
%CO	49,1	50,7	50,7	50,7	53,9	65,6
%CO <sub>2</sub>	23,3	24,1	24,1	24,1	20,9	8,3
%H <sub>2</sub>	17,0	17,6	17,6	17,6	14,4	21,0
%H <sub>2</sub> O	9,0	6,0	6,0	6,0	9,2	4,5
%CH <sub>4</sub>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,0
%N <sub>2</sub>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6

5. La Tabla II muestra las cifras operativas de un horno de reducción directa de acuerdo con la invención y que funciona según el aparato mostrado en la figura 2.



T A B L A II

	A	B	C	D	E	F	Gas en la zona de reducción	Gas de salida de la zona de reducción
Flujo- (Nm <sup>3</sup> /t Prod.)	1300	1260	490	35	725	10	760	1280
Temp. -°C	360	40	40	980	40	40	680	980
Análisis-%CO	49,1	50,7	50,7	53,9	50,7	50,7	53,9	65,6
%CO <sub>2</sub>	23,3	24,1	24,1	20,9	24,1	24,1	20,9	8,3
%H <sub>2</sub>	17,0	17,6	17,6	14,4	17,6	17,6	14,4	21,0
%H <sub>2</sub> O	9,0	6,0	6,0	9,2	6,0	6,0	9,2	4,5
%CH <sub>4</sub>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
%N <sub>2</sub>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6

La Tabla III muestra cifras operativas de un horno de reducción directa que funciona de acuerdo con la invención y según el aparato mostrado en la figura 3.

T A B L A III

	A	B	C	D	F	G	H	Gas en la zona de reducción	Gas de salida de la zona de reducción
Flujo- (Nm <sup>3</sup> /t Prod.)	1300	1260	260	760	240	725	725	760	1280
Temp. -°C	360	40	40	980	40	660	40	980	980
Análisis %C	49,1	50,7	50,7	53,9	50,7			53,9	65,6
%CO <sub>2</sub>	23,3	24,1	24,1	20,9	24,1			20,9	8,3
%H <sub>2</sub>	17,0	17,6	17,6	14,4	17,6			14,4	21,0
%H <sub>2</sub> O	9,0	6,0	6,0	9,2	6,0			9,2	4,5
%CH <sub>4</sub>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9			0,9	0,0
%N <sub>2</sub>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7			0,7	0,6

La energía requerida para poner en funcionamiento los hornos de las figuras 1, 2 y 3, se muestran en la Tabla IV.

T A B L A IV

NECESIDADES DE ENERGIA

	Carbón - Gcal/t	Potencia - kWh/t
Horno figura 1	2,17	826
Horno figura 2	2,17	811
Horno figura 3	2,17	700

5. Observe que las necesidades de energía del horno de las figuras 1 y 2 son sustancialmente iguales y que para el horno de la figura 3, que es ligeramente más eficaz, es ligeramente inferior.

10. Se llevan a cabo ensayos para determinar la resistencia eléctrica de pellets metalizados de diámetro nominal 12 mm, que tienen varios grados de metalización. La Tabla V refleja los valores obtenidos de un trazado de los resultados de estos ensayos:

T A B L A V

Grado de metalización	Resistencia en ohms por pellet
10%	0,19
25%	0,14
50%	0,06
75%	0,025
95%	0,02

15. Igualmente, se llevan a cabo ensayos para determinar la resistencia eléctrica a diversas temperaturas de una carga en lecho empacado consistente en 89% de pellets de 12 mm de diámetro nominal de aproximadamente 90% de metalización, 10% de carbonilla de 12 mm de diámetro nominal procedente de carbón bituminoso de bajo contenido en volátiles y 1% de piedra caliza de 6 mm de diámetro nominal. En la Tabla VI la resistividad es la

resistencia a través de una carga que tiene un área superficial de un metro cuadrado y una profundidad de trayectoria de resistencia de un metro. La Tabla representa puntos tomados de una curva de los datos trazados:

T A B L A VI

Temperatura	Resistividad en ohm-metros
100°C	0,0055
300°C	0,0033
500°C	0,0020
700°C	0,0012
900°C	0,0007

5.

La temperatura de reducción preferida en el horno de la presente invención es del orden de 900 ~ 1.000°C. La resistividad de la carga a esta temperatura, tanto a bajos valores de metalización como a elevados valores de metalización, requiere una corriente relativamente alta y tensiones relativamente bajas, lo cual hace practicable el calentamiento por resistencia de la carga sin necesidad de aplicar medios de aislamiento o conexión a tierra, eléctricos, sofisticados.

10.

15.

Descrita suficientemente la naturaleza del invento, así como la manera de realizarse en la práctica, debe hacerse constar que las disposiciones anteriormente indicadas son susceptibles de modificaciones de detalle en cuanto no alteren su principio fundamental.

-REIVINDICACIONES-

- 1.- Procedimiento y aparato para reducir material particulado de óxido de hierro a hierro metálico con un reductor sólido, caracterizándose el procedimiento porque comprende de las etapas de:
5. alimentar continuamente óxido de hierro particulado y combustible carbonáceo particulado sólido a una entrada de partículas existente en la parte superior de un horno de cuba, para establecer una carga empacada en el mismo;
10. separar el producto particulado por una salida de partículas existente en el fondo de dicha carga a través del horno;
15. pasar una corriente eléctrica a través de la carga para proporcionar suficiente calor para reaccionar el combustible carbonáceo con el oxígeno del óxido de hierro particulado, para reducir el óxido de hierro sustancialmente a hierro metálico;
- causar el movimiento de los productos de reacción a través de la carga en contracorriente con la misma y formar un gas de cabeza;
- separar el gas de cabeza de la región superior del horno de cuba;
20. enfriar dicho gas de cabeza; y
- recircular el gas refrigerado hasta la carga a través de una entrada de gases existente en la región inferior del horno.
- 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende formar una carbonilla sólida
25. sin reaccionar a partir de dicho combustible carbonáceo; separar la carbonilla del horno con dicho producto particulado; separar la carbonilla del producto particulado; y volver a cargar la carbonilla separada en el horno como combustible carbonáceo particulado.
30. 3.- Procedimiento según la reivindicación 1,

caracterizado porque el combustible carbonáceo particulado es carbón.

5. 4.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el combustible carbonáceo particulado es una mezcla de carbonilla sin reaccionar y carbón.

5.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el combustible carbonáceo particulado es lignito.

10. 6.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque el combustible carbonáceo particulado es coque.

15. 7.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende añadir hasta 5% en peso de piedra caliza, dolomita o una mezcla de las mismas a dicho material de alimentación.

8.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende limpiar el gas de cabeza separado en un lavador y retornar el flujo inferior del lavador al interior del horno por debajo de la línea de entrada de la carga.

20. 9.- Procedimiento según la reivindicación 8, caracterizado porque comprende inyectar una porción del gas de cabeza limpio en el flujo inferior del lavador para facilitar el retorno de dicho flujo inferior al horno.

25. 10.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende precalentar el gas de cabeza refrigerado y limpio antes de retornarlo al horno.

30. 11.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque comprende introducir un gas de refrigeración en la zona de refrigeración existente en el fondo del horno, separar el gas de refrigeración calentado en la parte superior de

la zona de refrigeración, refrigerar y limpiar dicho gas de refrigeración caliente y devolverlo a la zona de refrigeración.

5. 12.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la corriente eléctrica se pasa de forma sustancialmente vertical a través de la carga.

13.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la corriente eléctrica se pasa horizontalmente a través de la carga.

10. 14.- Procedimiento según la reivindicación 12, caracterizado porque comprende oscilar electrodos horizontalmente orientados alrededor de sus ejes longitudinales para que actúen como rompedores de aglomeraciones en el horno.

15. 15.- Aparato para la realización del procedimiento según las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado porque comprende:

20. (a) un horno de cuba que tiene un medio de introducción de partículas generalmente en la parte superior del mismo y un medio de separación de partículas reducidas en el fondo del mismo, para establecer una carga gravitacionalmente descendente en el horno;

(b) medios para pasar una corriente eléctrica a través de la carga, que incluyen una fuente externa de energía eléctrica;

25. (c) una salida de gas en la región superior del horno para separar gas de cabeza;

(d) medios externos al horno para refrigerar y limpiar el gas de cabeza separado, comunicando dichos medios de refrigeración y limpieza con los medios para separar el gas de cabeza; y

30. (e) medios que comunican con los citados medios de refrigeración y limpieza del gas de cabeza y con el interior del horno,

para reciclar el gas de carbeza refrigerado y limpio al horno en la región inferior del mismo.

5. 16.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque dichos medios para pasar corriente eléctrica a través de la carga comprenden electrodos horizontalmente opuestos en las paredes de dicho horno.

10. 17.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque los medios para pasar corriente eléctrica a través de la carga comprenden un electrodo situado sustancialmente de forma horizontal cerca del fondo del horno y un segundo electrodo situado de forma practicamente paralela con el primer electrodo cerca de la parte superior del horno.

15. 18.- Aparato según la reivindicación 17, caracterizado porque comprende adicionalmente por lo menos un disco de aleación resistente al calor transportado por cada electrodo.

19.- Aparato según la reivindicación 18, caracterizado porque los electrodos están articulados para su rotación.

20. 20.- Aparato según la reivindicación 19, caracterizado porque los electrodos están conectados a un medio accionador oscilable.

25. 21.- Aparato según la reivindicación 19, caracterizado porque el disco de electrodo tiene dientes sobre su periferia exterior, con lo cual es capaz de actuar como un rompedor de aglomeraciones.

30. 22.- Aparato según la reivindicación 21, caracterizado porque el disco de los electrodos es un segmento rompedor que se extiende radialmente en unos 180 a 270° alrededor del electrodo.

23.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque comprende además medios para controlar la temperatura de la carga.

5. 24.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque comprende además medios para ventilar el exceso de gas de cabeza limpio y refrigerado.

25.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque los medios para limpiar el gas de cabeza separado es un lavador.

10. 26.- Aparato según la reivindicación 25, caracterizado porque el lavador es un lavador de aceite que tiene medios para recoger lodos.

15. 27.- Aparato según la reivindicación 25, caracterizado porque los medios para enfriar el gas de cabeza agotado es un lavador de agua.

20. 28.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque los medios para la introducción de partículas incluye por lo menos un tubo que se extiende al interior del horno y que termina en una distancia suficiente de la parte superior del mismo para formar una cámara de gas de cabeza reaccionado por encima de la línea de entrada de la carga.

25. 29.- Aparato según la reivindicación 28, caracterizado porque comprende además una línea de retorno de lodo para reciclar el lodo del lavador al interior del horno por debajo de la línea de entrada de carga, comunicando dicha línea con el lavador y terminando en el horno por debajo de la línea de entrada de carga.

30. 30.- Aparato según la reivindicación 29, caracterizado porque comprende además medios para inyectar gas de cabeza refrigerado y limpio en la línea de retorno de lodos, para

favorecer la inyección del lodo en el horno de cuba.

5. 31.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque comprende además medios para calentar el gas de cabeza refrigerado y medios que comunican con los medios de calentamiento para introducir gas caliente en el fondo del horno.

10. 32.- Aparato según la reivindicación 15, caracterizado porque el horno tiene una zona de pre-reducción superior, una zona de reducción central y una zona de descarga inferior, comprendiéndose además el aparato una zona de refrigeración entre la zona de reducción y la zona de descarga inferior, y un circuito de reciclo de gas de refrigeración que incluye medios para introducir gas de refrigeración en el fondo de la zona de refrigeración y medios externos al horno para refrigerar el  
15. gas de refrigeración separado y medios para recircular el gas de refrigeración enfriado al horno.

20. 33.- Aparato según la reivindicación 32, caracterizado porque comprende además medios en el circuito externo al horno para limpiar el gas de refrigeración.

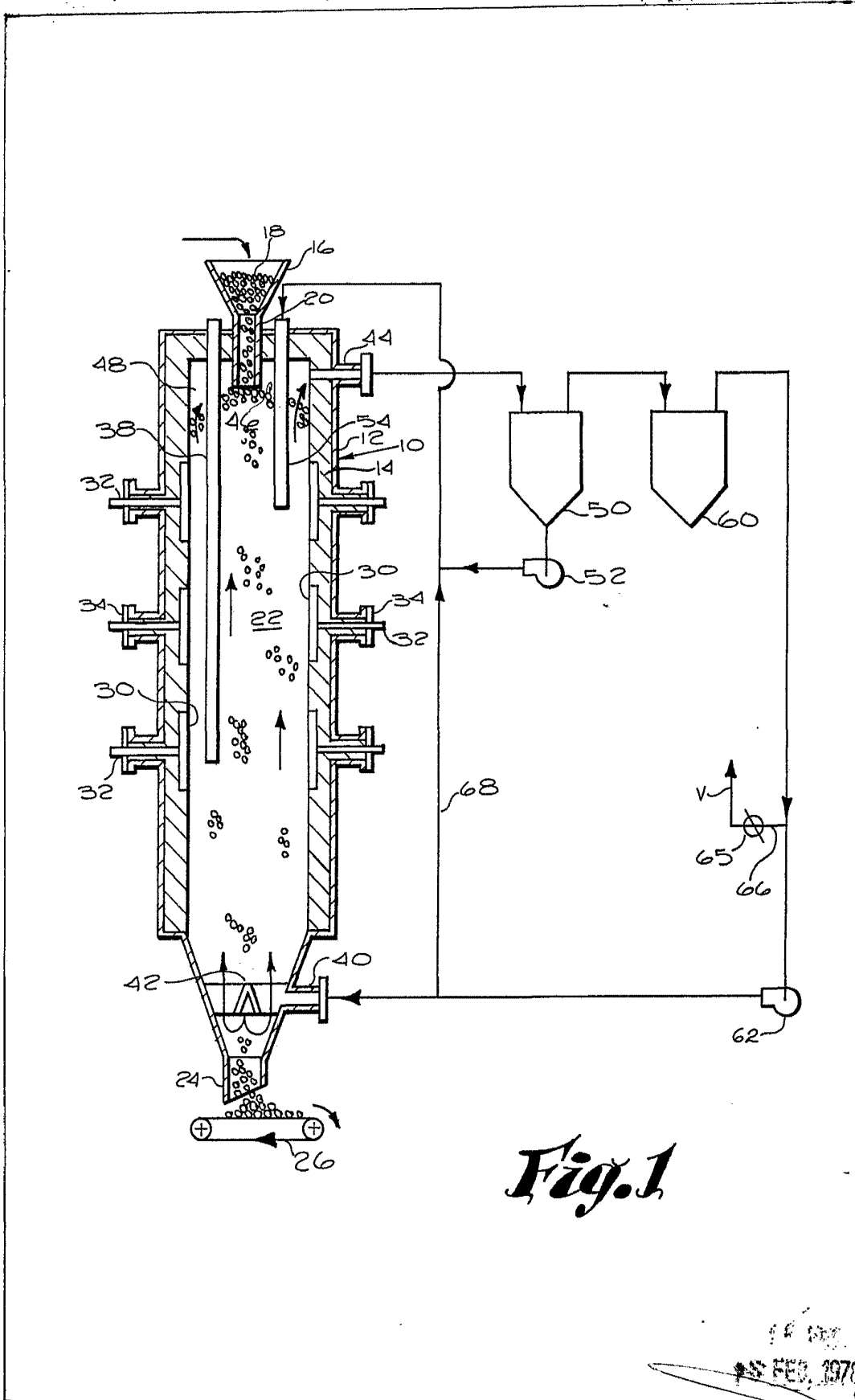
20. 34.- Procedimiento y aparato para reducir material particulado de óxido de hierro a hierro metálico con un reductor sólido, tal y como queda sustancialmente descrito en la presente memoria e ilustrado en los dibujos adjuntos.

25. Esta memoria consta de 24 hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 16 FEB. 1978

MIDREX CORPORATION.

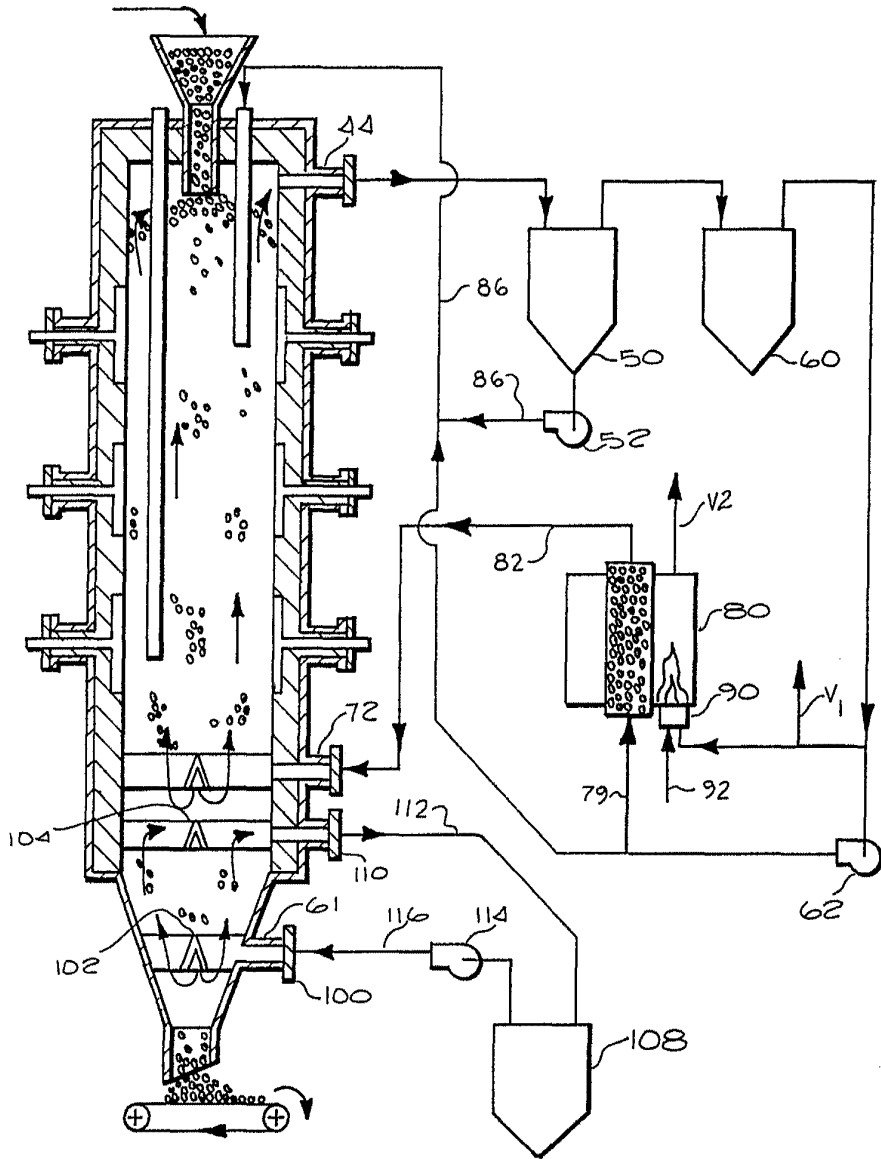
J. M. GONZALEZ ACEBO Y ROMERO  
p. p. Firmador J. Suarez DIAZ



*Fig. 1*

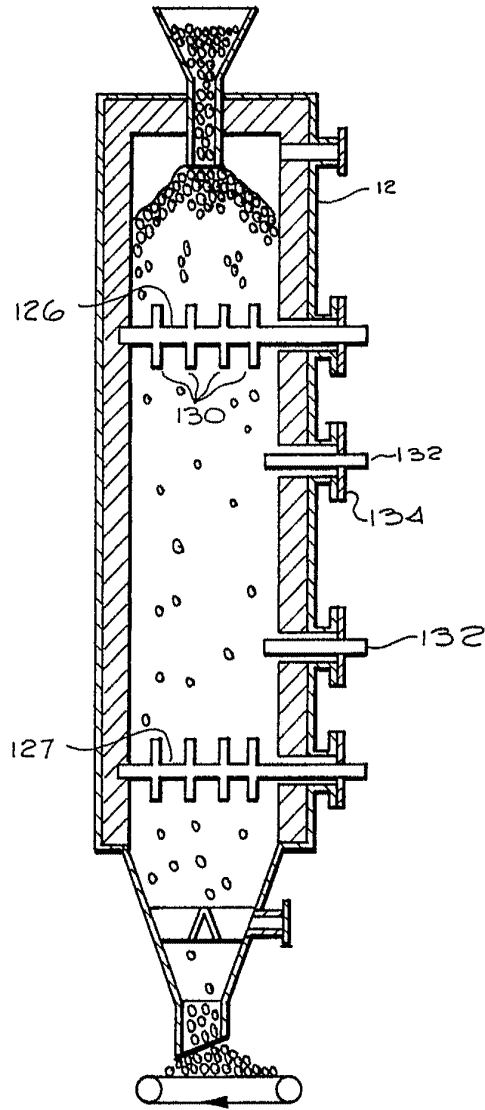
1976  
FEB. 1976





*Fig. 3*

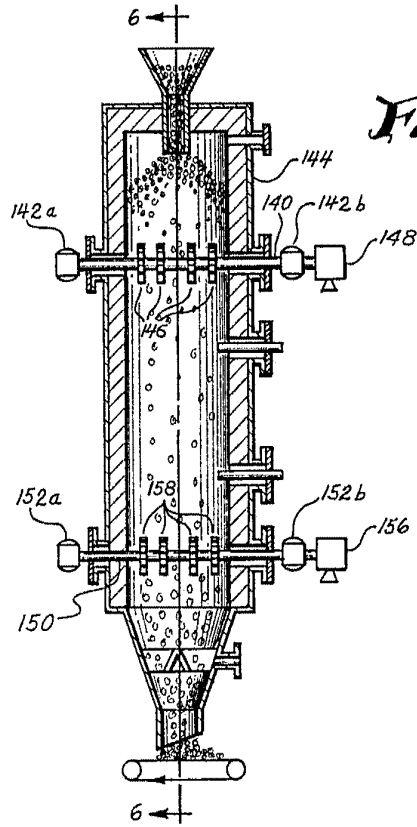
16 FEB 1976



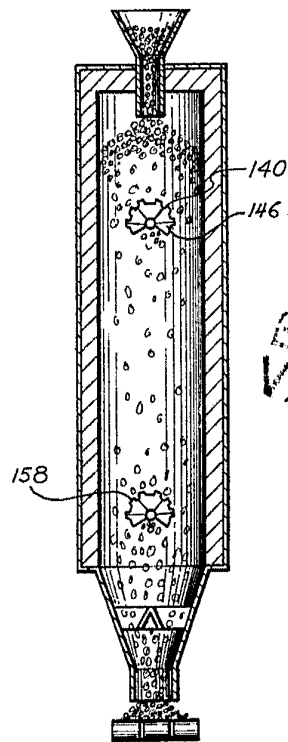
*Fig. 4*

NO. 4  
PAGE 5

19 FEB 1974  
MIDREX CORPORATION



*Fig. 5*



*Fig. 6*

ESCALA  
VARIABLE

16 FEB. 1973