

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 752 739**

51 Int. Cl.:

C21C 5/38

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.12.2011 PCT/IB2011/003182**

87 Fecha y número de publicación internacional: **12.07.2012 WO12093280**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.12.2011 E 11815783 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 2661512**

54 Título: **Sistemas y métodos para reciclar residuo de gas de escape de convertidor para la fabricación de acero y productos fabricados de ese modo**

30 Prioridad:

04.01.2011 US 984409

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

06.04.2020

73 Titular/es:

**HEPHAESTUS METALS PROJOTOS E
EQUIPAMENTOS LTDA. (100.0%)
Rua Marquesa de Alorna 11. Serra
Belo Horizonte Minas Gerais, BR**

72 Inventor/es:

**GOMES, GUILHERME SANTANA LOPES y
DOS SANTOS, VICTOR LOUREIRO**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 752 739 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistemas y métodos para reciclar residuo de gas de escape de convertidor para la fabricación de acero y productos fabricados de ese modo

5

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere generalmente al campo de la fabricación de acero. En particular, la presente invención está dirigida a sistemas y métodos para reciclar residuo de gas de escape de convertidor para la fabricación de acero y productos fabricados de ese modo.

10

ANTECEDENTES

Durante el procedimiento de fabricación del acero, se producen muchos residuos. Entre estos residuos se encuentran los residuos procedentes de los convertidores de oxígeno básicos. En la fabricación de acero a base de convertidores, se inyecta oxígeno a alta velocidad en un convertidor de oxígeno básico, que típicamente se carga con arrabio fundido, chatarra, cal y mineral de hierro, con el fin de retirar el carbono y silicio de la carga y producir acero fundido. Este procedimiento produce un gran volumen de humos calientes que contienen partículas finas de los materiales de carga y gas monóxido de carbono. Para evitar contaminar el medioambiente, los humos calientes se depuran antes de ser descargados al medioambiente. Típicamente, los humos se enfrían con agua y se lavan de partículas de metal suspendidas y otros sólidos o se pasan a través de un precipitador electrostático para retirar tal material particulado. El gas restante (monóxido de carbono) se extrae y con frecuencia se usa como combustible en el procedimiento de fabricación del acero. Los sólidos y el agua de enfriamiento del procedimiento de temple forman un lodo que se recoge, típicamente en una balsa de decantación. Este lodo de residuos, que comprende partículas de hierro metálico y otros sólidos, generalmente se separa en lodos "gruesos" y "finos". El lodo grueso contiene los sólidos más grandes de los humos y normalmente se desecha en vertederos o se seca y usa como finos para sinterización para altos hornos que producen arrabio. El lodo fino contiene los sólidos más pequeños de los humos y normalmente se desecha en vertederos o se usa directamente "sin procesar" como finos para sinterización para altos hornos o incluso directamente "sin procesar" en finos para peletización como sustituto de la bentonita como aglutinante para producir los pélets. Ambos materiales se envían a altos hornos para convertirse en arrabio. Los materiales particulados, o el polvo, retirados de los humos mediante un precipitador electrostático se recogen de forma similar y típicamente se desechan en vertederos sin ser separados en constituyentes "finos" y "gruesos" en función del tamaño de las partículas que contienen. El documento WO2005/017216A2 desvela un procedimiento de reciclaje para lodo de altos hornos, o polvo del colector de polvo seco, o fino de acería y lodo grueso, o desechos industriales o metalúrgicos a través de la combinación de las etapas de procedimiento de formación de pulpa de mineral, tratamiento con ultrasonidos, acondicionamiento, concentración gravimétrica, hidrociclación, separación magnética, flotación y secado. El documento WO 2005/017217A2 desvela un procedimiento de reciclaje de lodo grueso de acería o polvo de acería eléctrica o LD (Linz-Donawitz), o desechos industriales o metalúrgicos que se tratan mediante una concentración gravimétrica de hierro metálico u óxidos de hierro en separadores en espiral. Se pueden aplicar ultrasonidos. El documento JPS6187827 desvela un método para usar el polvo del convertidor como fuente de hierro en un estado metálico en un convertidor, cuchara, etc., sometiendo el polvo del convertidor a un tratamiento de desgaste por pulido, retirando de ese modo la escoria que se adhiere a la superficie. El documento JPS5719229(A) desvela un método de bateo y procedimientos de desulfuración montando una pluralidad de unidades de vibrador ultrasónico sobre una tubería con forma de serpiente para alimentar carbón fino intermezclado con fluido para lavar el carbón uniformemente.

45

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Con el fin de ilustrar la invención, los dibujos presentan aspectos de una o más realizaciones de la invención. Sin embargo, se debe entender que la presente invención no se limita a las disposiciones e instrumentales concretos presentados en los dibujos, en donde:

50

la FIG. 1 es un diagrama de flujo que ilustra un método para reciclar lodo producido mediante un sistema de depuración de humos de un convertidor de oxígeno básico;

la FIG. 2A es un diagrama esquemático de un sistema continuo de procesamiento de lodo diseñado y configurado para realizar el método de la FIG. 1;

55

la FIG. 2B es un diagrama esquemático de un sistema continuo de procesamiento de lodo diseñado y configurado para procesar residuo de humo de convertidor para la fabricación de acero que tienen materiales particulados muy finos;

60

la FIG. 3 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo específico de un método de procesamiento continuo para

reciclar lodo de convertidores de oxígeno básicos;

la FIG. 4 es una fotografía de lodo grueso y seco de convertidor;

5 la FIG. 5 es una fotografía de restos de material particulado seco del lodo grueso del convertidor después del lavado, que presenta las partículas de hierro metálico y partículas de hierro no metálico restantes;

la FIG. 6 es una fotografía de las partículas de hierro metálico después de procesar los sólidos restantes de la etapa de lavado de la suspensión para concentrar las partículas de hierro metálico separándolas de las partículas de hierro
10 no metálico;

la FIG. 7 es una fotografía de las partículas de hierro no metálico después de procesar los sólidos restantes de la etapa de lavado de la suspensión para concentrar las partículas de hierro metálico separándolas de las partículas de
15 hierro no metálico;

la FIG. 8 es una fotografía de un conjunto de briquetas que consisten esencialmente solo en partículas de hierro metálico recuperadas del lodo del convertidor de oxígeno básico;

la FIG. 9 es una vista en alzado lateral del dispositivo de cavitación acústica del sistema de procesamiento de lodo del
20 convertidor de la FIG. 2;

la FIG. 10 es una vista en alzado en perspectiva ampliada de un segmento del conducto de cavitación acústica de la FIG. 9;

25 la FIG. 11 es una vista ampliada de un extremo del conducto de cavitación acústica de la FIG. 10;

la FIG. 12 es un diagrama de flujo que ilustra un método para fabricar materia prima de pélets a partir de residuos de humos de convertidores para la fabricación de acero;

30 la FIG. 13 es un diagrama esquemático de un sistema para fabricar materia prima de pélets;

la FIG. 14A es un diagrama que ilustra una vagoneta de pélets que contiene pélets de materia prima de convertidor convencionales;

35 la FIG. 14B es un diagrama de la vagoneta de pélets de la FIG. 14A completamente llena de pélets verdes fabricados usando el método de la FIG. 12 y el sistema de la FIG. 13;

la FIG. 15 es un diagrama de flujo que ilustra un método para fabricar materia prima de sínter a partir de residuos de humos de convertidores para la fabricación de acero;

40 la FIG. 16 es un diagrama esquemático de un sistema para fabricar materia prima de sínter.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

45 Como se describe en la sección Antecedentes anterior, un subproducto de los procedimientos de fabricación del acero que utiliza convertidores de oxígeno básicos, tales como convertidores Linz-Donawitz (LD), es un lodo del convertidor que contiene partículas de hierro metálico y otros sólidos, que incluyen partículas de hierro no metálico, tales como
50 óxido de calcio, dióxido de silicio, trióxido de aluminio, óxido de magnesio, óxido ferroso, álcalis y zinc. Convencionalmente, los sólidos más grandes del lodo del convertidor se aíslan en un "lodo grueso del convertidor", y este lodo grueso se desecha en vertederos o se usa como finos para sinterización para fabricar arrabio. La eliminación en vertederos no es deseable por motivos medioambientales y porque, esencialmente, el hierro metálico del lodo grueso se desperdicia. En un ejemplo, el contenido promedio de hierro metálico del lodo grueso del convertidor es
55 alrededor de 50 %. Cuando se usa como finos para sinterización para fabricar arrabio, el lodo grueso del convertidor se mezcla con finos de mineral de hierro y normalmente pasa a través del procedimiento convencional de sinterización del hierro. Cuando se usa como briqueta para carga directa en altos hornos, el lodo grueso del convertidor se seca, generalmente suplementado con aglutinante, y se conforma para obtener briquetas que a continuación se añaden típicamente a un alto horno para fabricar arrabio. Mientras que el hierro metálico del lodo grueso del convertidor se
60 recicla en este procedimiento, un resultado no deseable es que la gran cantidad del material presente en los finos para sinterización que no son partículas de hierro metálico, tal como álcalis, zinc y el aglutinante usado para fabricar las briquetas, provoca que se forme escoria adicional en el alto horno.

La invención se define en las reivindicaciones. Algunos aspectos de la presente invención están dirigidos al

procesamiento de lodo del convertidor para que las partículas de hierro metálico contenidas en el lodo sean reciclables eficazmente sin los inconvenientes de los finos de sinterización convencionales basados en lodo del convertidor. En un ejemplo, una porción muy grande de las partículas de hierro metálico presentes en el lodo del convertidor se separa de los componentes de hierro no metálicos del lodo y a continuación se conforman para obtener cuerpos coherentes sin ningún aditivo aglutinante u otros contaminantes. El resultado son cuerpos que tienen alta resistencia mecánica y alto contenido de hierro metálico (p. ej., mayor de 80 %) que se pueden usar como alimentación para un convertidor de oxígeno básico y/u hornos de arco eléctrico, esencialmente como sustitutos de la chatarra. Las realizaciones ejemplares de estos aspectos se describen más adelante en el contexto de varios ejemplos específicos.

10 Remitiéndonos ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra un método (100) para aglomerar partículas de hierro metálico, presentes en el lodo del convertidor, para obtener cuerpos coherentes que consisten esencialmente en el hierro metálico de las partículas de hierro metálico del lodo. Los expertos en la materia comprenderán fácilmente que este lodo de residuos se crea en el procedimiento de depuración de humos del procedimiento de conversión de oxígeno básico para eliminar el gas en los humos de los sólidos que también están presentes en los humos, tales como las
15 partículas de hierro metálico y los sólidos de hierro no metálico mencionados anteriormente.

Como se observa en la FIG. 1, el método (100) incluye solo unas cuantas etapas de alto nivel. Sin embargo, los expertos en la materia apreciarán fácilmente que las aplicaciones prácticas del método (100) que usa las tecnologías actuales típicamente incluirán múltiples subetapas efectuar las etapas de nivel superior del método (100). Teniendo
20 esto en mente, en la etapa (105), se recibe un lodo de residuos del convertidor de oxígeno básico de, por ejemplo, un depurador de humos, una instalación de almacenamiento u otro lugar. En la etapa (110), una porción sustancial de las partículas de hierro metálico contenidas en el lodo se separa de todo el material de hierro no magnético contenido en el lodo para que esencialmente todo lo que quede sean las partículas de hierro metálico. A continuación, en la etapa (115), las partículas de hierro metálico se aglomeran entre sí para obtener cuerpos cohesivos discretos, tales como
25 briquetas, que se pueden manipular sin perder sustancialmente su integridad. Idealmente, estos cuerpos cohesivos se crean sin aglutinantes ni ningún otro aditivo con el fin de mantener los cuerpos tan exentos de material de hierro no metálico como sea posible. Como se mencionó anteriormente, estos cuerpos cohesivos compuestos esencialmente solo de hierro metálico puro de las partículas de hierro metálico del lodo del convertidor se pueden usar para cualquier finalidad adecuada, tal como para cargar un convertidor de oxígeno básico u horno de arco eléctrico.

30 Remitiéndonos ahora a las Fig. 2A y 3, estas figuras ilustran, respectivamente, un sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) y un método correspondiente de procesamiento de lodo del convertidor (300) que usa el sistema de la FIG. 2A para conformar cuerpos cohesivos compuestos esencialmente por el hierro metálico de partículas de hierro metálico presentes originalmente en el lodo. Por conveniencia, para trabajar con las FIG. 2A y 3, y
35 ocasionalmente también otras figuras, cabe observar que los primeros uno o dos dígitos de cada número de elemento/etapa usados en esta descripción corresponden al número de la figura que debe mirar el lector para ver ese elemento/etapa. Por ejemplo, para elementos que tienen números de la serie 200, el lector debe mirar la FIG. 2A, y para las etapas que tienen números de la serie 300, el lector debe mirar la FIG. 3.

40 Como se observa en la FIG. 2A, el sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) en este ejemplo está situado aguas abajo de un sistema de depuración de humos (202) que depura los humos que emanan de un convertidor LD (204) durante la conversión de oxígeno de la carga (no mostrada) dentro del convertidor que usa una lanza de oxígeno a alta presión (206). Como entienden los expertos en la materia, el sistema de depuración (202) enfría los humos del convertidor y depura la materia particulada de los humos, típicamente enfriando los humos con
45 agua (no mostrado). Los productos de tal depuración son el gas (208) (en gran medida monóxido de carbono) contenido originalmente en los humos y el lodo del convertidor (210), que es una mezcla de la materia particulada de los humos con el agua de enfriamiento. En este ejemplo, el lodo (210) se captura en una balsa de decantación (212).

Remitiéndonos a la FIG. 3, y también a la FIG. 2A, para las referencias al sistema de procesamiento de lodo del
50 convertidor (200), en la etapa (305) del método (300), el lodo de convertidor (210) se somete a una clasificación en la que el lodo se separa en el lodo grueso del convertidor (214) y lodo fino del convertidor (no mostrado). En un ejemplo, el lodo grueso del convertidor (214) está compuesto esencialmente por todos los sólidos presentes en el lodo que son demasiado grandes para pasar a través de un tamiz de malla 325, es decir, tienen tamaños mayores de 44 micras. Por supuesto, se pueden usar otros cortes mínimos del tamaño de partícula siempre y cuando las partículas de hierro
55 metálico deseadas no queden excluidas del lodo grueso del convertidor (214). En la realización particular del sistema (200) mostrada, esta clasificación se realiza mediante un transportador de tornillo helicoidal de tipo Atkins (216). Sin embargo, los expertos en la materia entenderán que la clasificación se puede lograr de cualquiera de una variedad de maneras, tal como usando uno o más ciclones, uno o más separadores de concentración gravimétrica, etc. Dicho esto, el transportador de tornillo helicoidal de tipo Atkins (216) contribuye a la naturaleza del procesamiento de flujo continuo
60 del sistema ejemplar (200) que se aborda con más detalle más adelante. La FIG. 4 presenta una muestra (400) de lodo grueso de convertidor (214) que se ha secado para mayor claridad. La FIG. 4 ilustra cómo las partículas relativamente grandes (404) presentes en el lodo grueso de convertidor (214), que incluyen partículas de hierro

metálico (típicamente esferas sólidas y huecas) y partículas de hierro no metálico (tales como partículas de óxido de calcio y dióxido de silicio), están cubiertas por finos de aglutinante que se adhieren a estas partículas.

Remitiéndonos de nuevo a las Fig. 2A y 3, en la etapa (310), se añade agua (218) al lodo grueso del convertidor (214), aquí usando una bomba de acondicionamiento/lodos (220), para crear una suspensión (222) y bombear la suspensión a la siguiente etapa del sistema (200). En un ejemplo, se añade agua (218) al lodo grueso del convertidor (214) para que la suspensión (222) sea aproximadamente 30 % de sólidos. Generalmente, una suspensión adecuada tendrá un porcentaje de sólidos en un intervalo de aproximadamente 20 % a aproximadamente 50 %. En esta realización, la bomba de acondicionamiento/lodos (220) está diseñada y configurada para producir y bombear suspensión (222) que tiene 30 % de sólidos (70 % de agua) a una velocidad de 0,1 m³/min.

En la etapa (315), los finos de aglutinante que se adhieren a las partículas más grandes presentes en la suspensión (222) se retiran de las partículas. Esta etapa se puede denominar "etapa de lavado de las partículas" y se puede conseguir, por ejemplo, usando cavitación acústica. En la realización del sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) mostrada, la etapa de lavado de las partículas (315) se realiza mediante un dispositivo de cavitación acústica orientado verticalmente (224) en el que las partículas se lavan a medida que la suspensión (222) fluye en sentido ascendente a través del dispositivo en una corriente continua. Más adelante se describen detalles adicionales del dispositivo de cavitación acústica (224) ejemplar en relación con las FIG. 9-11. En otras realizaciones, se pueden usar otros dispositivos de lavado. La FIG. 5 presenta una muestra seca (500) de las partículas relativamente grandes (504) de la suspensión (222) después de la etapa de lavado de las partículas (315). La FIG. 5 presenta claramente cómo la etapa de lavado de las partículas (315) retira los finos de aglutinante que cubrían originalmente las partículas presentes en el lodo grueso del convertidor (214). Como se observa también en la FIG. 5, las partículas (504) incluyen partículas de hierro metálico (504A) y partículas de hierro no metálico (504B).

De nuevo, volviendo a remitirnos a las FIG. 2A y 3, en la etapa (320), las partículas ahora lavadas presentes en la suspensión (222) se separan en dos grupos, las partículas de hierro metálico (p. ej., partículas (504A) en la FIG. 5) y todas las demás partículas, es decir, partículas de hierro no metálico (p. ej., partículas (504B) en la FIG. 5), con el fin de concentrar las partículas de hierro metálico. En la realización del sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) presentada en la FIG. 2A, esta separación se consigue usando un separador de dos etapas (226) que tiene una primera y segunda etapas en espiral (226A, 226B) en serie entre sí. Las partículas de hierro metálico son típicamente más pesadas que las partículas de hierro no metálico, y el separador (226) separa las diferentes partículas en función de su peso en un procedimiento de separación por gravedad. En este ejemplo, la primera espiral de la etapa (226A) es una espiral de serie de alto grado (HG) comercializada Downer EDi Mining, Carrara, Australia. La primera espiral de la etapa (226A) separa la suspensión (222) en un concentrado primario (228) y un residuo primario (230). Cabe observar que la composición de 30 % de sólidos de la suspensión (222) se seleccionó en este ejemplo debido a la espiral HG (226A) concreta usada. Aquí, se usó una espiral HG11, y esta espiral es más eficaz, con porcentajes de sólidos en un intervalo de aproximadamente 27 % a aproximadamente 33 %. Con otras espirales y otros tipos de separadores, el contenido de sólidos de la suspensión (222) puede estar fuera de este intervalo cuando sea necesario.

El concentrado primario (228) contiene las partículas más pesadas de la suspensión (222), que son en gran medida las partículas de hierro metálico deseadas. El concentrado primario (228) se envía para su procesamiento posterior, como se describe más adelante. El residuo primario (230) contiene partículas más ligeras, algunas de las cuales son partículas de hierro metálico. El residuo primario (230) se envía a la segunda etapa de espiral (226B) con el fin de recuperar al menos algunas de estas partículas de hierro metálico más pequeñas. En esta realización, la segunda etapa de espiral (226B) es una espiral de serie de grado medio (MG) comercializada por Downer EDi Mining y separa el residuo primario (230) en un concentrado secundario (232) y un residuo secundario (234). Las partículas del concentrado secundario (232) son en gran medida solo partículas de hierro metálico, mientras que las partículas del residuo secundario son en gran medida solo partículas de hierro no metálico. Al igual que con el concentrado primario (228), el concentrado secundario (232) se envía para su procesamiento posterior, como se describe más adelante. El residuo secundario (234) se envía a una balsa de decantación (236). Después de la decantación, estas partículas (238), que incluyen partículas de carbonato de calcio y dióxido de silicio, se recogen y secan y se pueden usar, por ejemplo, en el cemento.

Al final del procesamiento mediante el separador (226), la combinación de los concentrados primario y secundario (228, 232) contiene las partículas de hierro metálico en una concentración relativamente alta, típicamente al menos 80 %. La FIG. 6 presenta una muestra seca (600) de partículas (604) contenidas en la combinación de los concentrados primario y secundario (228, 232). Como se observa en la FIG. 6, prácticamente todas las partículas (604) son partículas de hierro metálico. Por el contrario, la FIG. 7 presenta una muestra seca (700) de partículas (238) que estaban en el residuo secundario (234) desechado a la balsa de decantación (236) después del procesamiento mediante el separador (226). La FIG. 7 presenta claramente que sustancialmente todas las partículas (238) son partículas de hierro no metálico. Aunque aquí se usa un separador en espiral de tipo Humphrey (226), los expertos en la materia entenderán fácilmente que la separación en la etapa (320) se puede conseguir de cualquiera de una

variedad de maneras distintas, tal como usando un separador ciclónico, una tabla de concentración, un separador de concentración gravimétrica y un separador de electroimán, etc.

Remitiéndonos de nuevo a las FIG. 2A y 3, en la etapa (325), los concentrados primario y secundario (228, 232), que
 5 contienen una concentración alta de partículas metálicas, están deshidratados. En la realización mostrada, la deshidratación se consigue usando un transportador de tornillo helicoidal de deshidratación (240), aunque, en otras realizaciones la deshidratación se puede realizar de otras maneras, tal como usando un ciclón de deshidratación, etc. Las salidas del transportador de tornillo helicoidal de deshidratación (240) son las partículas (242) de los concentrados primario y secundario (228, 232), que, de nuevo, son en gran medida solo partículas de hierro metálico, y la mezcla
 10 (244) de agua y partículas muy finas de los dos concentrados. En la realización mostrada, la mezcla (244) se envía a la balsa de decantación (236), y el agua se reutiliza en otras partes del sistema (200), tal como en la bomba de acondicionamiento/lodos (220), en donde se usa para crear suspensión con 30 % de sólidos (222) como se describió anteriormente. El flujo de salida de partículas (242) del transportador de tornillo helicoidal de deshidratación (240) tiene un contenido de humedad de aproximadamente 20 %. En la etapa (330), las partículas (242) se secan en un secador
 15 adecuado (246). En un ejemplo, el secador (246) calienta las partículas a aproximadamente 200 °C para expulsar/eliminar el agua de las partículas.

Todos los equipos que contribuyen a la separación/aislamiento de las partículas de hierro metálico presentes originalmente en el lodo del convertidor (210) se pueden considerar, colectivamente, como "equipo de separación" ya
 20 que participan en el procedimiento de separación/aislamiento. En el sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) ejemplar, tal equipo de separación incluye no solo el dispositivo de cavitación acústica (224), que retira los finos de las partículas presentes en la suspensión (222), y el separador (226), que concentra las partículas de hierro metálico presentes en la suspensión (222), sino también el transportador de tornillo helicoidal de clasificación (216), el acondicionador/bomba (220), el transportador de tornillo helicoidal de deshidratación (240) y el secador (246), todos
 25 los cuales contribuyen al procedimiento general de separación/aislamiento.

En la etapa (335), las partículas ahora secas (242) se conforman para obtener cuerpos cohesivos, aquí briquetas cohesivas (248), que se pueden manipular y almacenar sin perder su cohesión. En la realización del sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) ilustrada, la etapa (335) tiene dos subetapas primarias (335A, 335B)
 30 debido al tipo de equipo usado. En la subetapa (335A), las partículas (242) se conforman para obtener briquetas no cohesivas (250) usando una prensa de estampación a alta presión (252). En esta realización, la prensa de conformación (252) es una prensa de briquetas. Como ejemplo, la prensa de conformación (252) puede ser una prensa de briquetas de 220 toneladas métricas modelo B220B comercializada por K.R. Komarek, Wood Dale, Illinois. Como las partículas son en gran medida solo partículas de hierro metálico (típicamente microesferas) y no se usa aglutinante,
 35 las briquetas no cohesivas (250) tienen una resistencia mecánica muy baja y, por lo tanto, generalmente no se pueden manipular sin perder su integridad inicial.

Por consiguiente, en la subetapa (335B), las briquetas no cohesivas (250) se tratan térmicamente en un dispositivo de tratamiento térmico (254) para transformar las briquetas no cohesivas en briquetas cohesivas (248) que permanecen
 40 en gran medida intactas durante la manipulación y el almacenamiento normales, si los hubiera. En un ejemplo, en la subetapa (335B), las briquetas no cohesivas (250) se calientan a una temperatura lo suficientemente alta, típicamente mayor de aproximadamente 700 °C, durante un tiempo lo suficientemente largo como para transformarlas en briquetas cohesivas (248) que tienen una resistencia mecánica y una dureza que hacen posible manipularlas y almacenarlas sin que pierdan sustancialmente su forma original. En una realización, el dispositivo de tratamiento térmico (254) es
 45 un horno de alimentación continua que complementa al resto del sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200), en el que los componentes primarios son componentes de alimentación continua. En un ejemplo, el dispositivo de tratamiento térmico (254) es un horno de 8 metros de longitud que proporciona un tiempo de residencia de 25 minutos y calienta las briquetas no cohesivas (250) a una temperatura de aproximadamente 850 °C a aproximadamente 900 °C. En estas condiciones, se favorece la migración térmica entre los átomos de las interfaces
 50 de las partículas (242) contenidas en las briquetas no cohesivas (250) hasta un punto en el que las partículas se unen cohesivamente entre sí y forman briquetas cohesivas (248). El uso de energía se puede minimizar calentando las briquetas no cohesivas (250) solo lo suficiente para hacer posible esta unión cohesiva. Por supuesto, las partículas se pueden calentar hasta que se produce la fusión, pero esto requiere más energía. Todos los equipos que contribuyen a la conformación de briquetas cohesivas (248) se pueden considerar, colectivamente, como "equipo de conformación".
 55 En el sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) ejemplar, tal equipo de conformación incluye la prensa de estampación a alta presión (252) y el dispositivo de tratamiento térmico (254).

Las briquetas cohesivas (248) generalmente no pierden su cohesión hasta que alcanzan su punto de fusión. La FIG. 8 presenta un conjunto (800) de briquetas cohesivas reales (248) fabricadas usando el sistema de procesamiento de
 60 lodo del convertidor (200), que incluye la prensa de briquetas B220B de K.R. Komarek mencionada anteriormente, que produce, por ejemplo, briquetas que son de 3 cm x 2,5 cm x 1,5 cm de tamaño. Una vez que se han creado las briquetas cohesivas (248), se pueden usar como se desee. Por ejemplo, como se mencionó anteriormente, las

briquetas cohesivas se pueden usar como material de carga para un convertidor de oxígeno básico o un horno de arco eléctrico.

Como se mencionó anteriormente, el sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) ejemplar está diseñado y configurado para que las etapas del método (300) se realicen con un flujo continuo a través del sistema. Es decir, todos los equipos principales seleccionados para este sistema no procesan lotes; en su lugar, procesan en flujos continuos. Por ejemplo, el ejemplo usado para el dispositivo de tratamiento térmico (254) es un horno en el que las briquetas no cohesivas (250) se calientan a medida que avanzan a lo largo de la longitud del horno. Como otros ejemplos, el transportador de tornillo helicoidal de tipo Atkins (216), el separador de espiral de tipo Humphrey (226) y el transportador de tornillo helicoidal de deshidratación (240) funcionan todos en modos de procesamiento continuos. Dicho esto, los expertos en la materia apreciarán que, en realizaciones alternativas, uno cualquiera de los equipos de modo de procesamiento continuo desvelados se puede sustituir por el correspondiente equipo de procesamiento por lotes.

Además, los expertos en la materia apreciarán fácilmente que, en función de la naturaleza del equipo usado, dos o más equipos del sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) de la FIG. 2A se pueden sustituir por un único equipo que consigue el mismo resultado final que los equipos que se están sustituyendo. Por ejemplo, en el sistema (200), la etapa (335) de conformar cuerpos cohesivos de las partículas de hierro metálico se realiza usando la prensa de estampación a alta presión (252) y el dispositivo de tratamiento térmico (254). Sin embargo, un único equipo diseñado y configurado para calentar las partículas durante la estampación puede sustituir a dos dispositivos individuales (252, 254). Los expertos en la materia entenderán cuándo se pueden realizar tales sustituciones.

Un componente importante del sistema de procesamiento de lodo del convertidor (200) ejemplar es el dispositivo de cavitación acústica (224) debido al papel que juega en la retirada de los finos de aglutinante de la suspensión (222) de partículas más grandes que permite la producción de tales briquetas de hierro metálico de alta pureza (248). Al igual que otros componentes del sistema (200) mencionados anteriormente, el dispositivo de cavitación acústica (224) está diseñado y configurado para procesar un flujo continuo de suspensión (222) a medida que esta fluye a través del dispositivo. Con el fin de conseguir esto, el dispositivo de cavitación acústica (224) tiene un diseño único que se presenta más particularmente en las FIG. 9-11.

Remitiéndonos ahora a la FIG. 9, el dispositivo de cavitación acústica (224) ejemplar mostrado está diseñado y configurado para procesar suspensión de aproximadamente 15 % de sólidos para producir suspensión de aproximadamente 50 % de sólidos compuesta por lodo grueso del convertidor y agua a la velocidad de 10 m³/hora. En el ejemplo particular de la FIG. 2A, el porcentaje de sólidos en la suspensión (222) es aproximadamente 30 %. Esto debe tenerse en cuenta cuando se lea la descripción siguiente del dispositivo (224) para entender que otras realizaciones pueden tener configuraciones, dimensiones, etc., diferentes, especialmente cuando están diseñadas para otras velocidades de procesamiento.

El dispositivo de cavitación acústica (224) incluye un conducto de cavitación acústica (900), una entrada (904) y una salida (908), y, cuando está instalado, el conducto está orientado verticalmente con la entrada en el extremo inferior y con la salida en el extremo superior. Cabe observar que se prefiere, pero no es absolutamente necesario, que el conducto (900) esté orientado verticalmente o inclinado, en lugar de horizontalmente, ya que una orientación horizontal podría provocar la precipitación de sólidos dentro del conducto. Tener la entrada (904) en el extremo inferior también ayuda a controlar el tiempo que está expuesta la suspensión (222) (FIG. 2A) a la acción de lavado de la cavitación acústica. En este ejemplo, el conducto de cavitación acústica (900) es de 5 metros de longitud en la dirección del flujo entre la entrada (904) y la salida (908), y está formado por cinco segmentos idénticos de 1 metro de longitud (900A-E) sujetos entre sí por medio de conexiones embridadas y atornilladas (912A-D). La entrada (904) y salida (908) están sujetas similarmente al conducto de cavitación acústica (900) por medio de conexiones embridadas y empernadas (916A-B). Como se observa mejor en las FIG. 10 y 11, el conducto de cavitación acústica (900) define un pasillo interno (1000) que tiene una forma de sección transversal rectangular de aproximadamente 70 mm x 32 mm de tamaño.

Como se observa en la FIG. 10, cada segmento del conducto de cavitación acústica (900A-E) incluye once transductores ultrasónicos separados uniformemente a lo largo de ese segmento, con seis transductores (1004A-F) en un lado de ese segmento y cinco transductores (1008A-E) en el otro lado. Los transductores (1004A-F, 1008A-E) proporcionan emisiones acústicas de ondas de compresión y descompresión que favorecen la cavitación dentro de la suspensión (222) (FIG. 2A) a medida que esta fluye continuamente a través del conducto (900). Esta acción no solo lava los finos de aglutinante y otra materia superficial de las partículas presentes en la suspensión (222), sino que también hace innecesarios los tiempos de residencia estática convencionales y los agitadores convencionales.

En este ejemplo, los transductores ultrasónicos (1004A-F, 1008A-E) son transductores piezoeléctricos, con transductores (1004A-F) que son transductores de 50 W y 25 kHz y transductores (1008A-E) que son transductores de 50 W y 40 kHz. Por tanto, todo el conducto de cavitación acústica (900) formado por los cinco segmentos (900A-

E) similares tiene un total de 55 transductores ultrasónicos (1004A-F, 1008A-E), con 30 de los transductores de 50 W y 25 kHz y 25 de los transductores de 50 W y 40 kHz. Los transductores (1004A-F, 1008A-E) se alimentan en grupos de cinco mediante once fuentes de alimentación de 250 W (920A-K).

5 Remitiéndonos a las FIG. 2A y 9, el dispositivo de cavitación acústica (224) generalmente funciona como se indica a continuación. Cuando la suspensión (222) entra en la entrada (904), los finos están unidos a los materiales metálicos y no metálicos que forman en gran medida el lodo grueso del convertidor (214). A medida que la suspensión (222) se expone al conducto de cavitación acústica (900), las partículas de hierro metálico (véanse las partículas 504A de la FIG. 5), que son típicamente de forma esférica, comienzan a vibrar a una frecuencia que viene determinada por el
 10 ultrasonido generado por los transductores (1004A-F, 1008A-E) (FIG. 10). La frecuencia a la que vibran las partículas de hierro metálico es diferente de (superior a) la frecuencia a la que vibra el material no metálico, y esto favorece la retirada de los finos de las partículas de hierro metálico. En el presente ejemplo, se usan dos frecuencias de ultrasonido diferentes para producir un campo de sonido uniforme de cavitación ultrasónica intensa en el interior de la suspensión (222), que maximiza la cinética de la reacción dentro del espacio lineal asignado en el interior del conducto de
 15 cavitación acústica (900). La energía del sonido produce cambios drásticos en la velocidad del procedimiento y mejoras de calidad hasta el nivel molecular.

Los expertos en la materia apreciarán fácilmente que el dispositivo de cavitación acústica (224) mostrado es simplemente un ejemplo, y que son posibles muchas otras configuraciones. Las consideraciones de diseño para
 20 diseñar un dispositivo de cavitación acústica de flujo continuo incluyen la composición de la suspensión en cuestión, el caudal de la suspensión, la potencia del ultrasonido aplicada, el tiempo de residencia de la suspensión en el conducto de cavitación acústica y la velocidad de procesamiento requerida, entre otros. Parece que la potencia debe ser superior a 7 W/s y que el tiempo de residencia debe ser al menos aproximadamente 2,5 segundos para la mayor parte de aplicaciones comerciales. Las configuraciones alternativas del dispositivo de cavitación acústica pueden tener
 25 pasillos que difieren en tamaño, forma de la sección transversal, longitud, rectitud, etc. Las configuraciones alternativas también pueden tener diferentes números de transductores y diferentes situaciones y disposición de los transductores. Los expertos en la materia podrán diseñar, fabricar y usar dispositivos de cavitación acústica que proporcionen la función de lavado deseada/necesaria sin experimentación excesiva.

30 Mientras que las FIG. 2A y 3 están dirigidas a la introducción de lodo grueso (214) (FIG. 2A) en la bomba de acondicionamiento/lodos (220) (véase también la etapa (310) del método (300) de la FIG. 3), la FIG. 2B ilustra un sistema (258) que está particularmente adaptado para procesar un residuo de entrada (262) que contiene partículas que contienen óxido de hierro relativamente finas en comparación con el lodo grueso (214) de la FIG. 2A. Los ejemplos del residuo de entrada (262) de la FIG. 2B incluyen lodo fino, tal como se podría tomar del transportador de tornillo
 35 helicoidal (216) de la FIG. 2A, como la parte de lodo (210) que no llega a la parte superior del transportador como lodo grueso, y polvo procedente de un precipitador electrostático (no mostrado) que ocuparía el lugar del sistema de depuración (202) en la FIG. 2A.

Como se observa en la FIG. 2B, el residuo (262), ya sea lodo fino, polvo del precipitador electrostático, etc., se mezcla
 40 con agua, aquí en una bomba de acondicionamiento/lodos (268) para crear una suspensión (272) y bombear la suspensión a la siguiente etapa del sistema (258). En un ejemplo, se añade agua (218) al residuo (262) para que la suspensión (272) sea aproximadamente 30 % de sólidos. Generalmente, una suspensión adecuada tendrá un porcentaje de sólidos en un intervalo de aproximadamente 20 % a aproximadamente 50 %. En esta realización, la bomba de acondicionamiento/lodos (268) está diseñada y configurada para producir y bombear suspensión (272) que
 45 tiene 30 % de sólidos (70 % de agua) a una velocidad de 0,1 m³/min.

La bomba de acondicionamiento/lodos (268) bombea suspensión (272) a un aparato de desagregación (276) que desagrega en gran medida las partículas que contienen óxido de hierro de las partículas que no contienen óxido de hierro. En este ejemplo, el aparato (276) es un dispositivo de cavitación acústica orientado verticalmente en el que las
 50 partículas se desagregan a medida que la suspensión (272) fluye en sentido ascendente a través del dispositivo en una corriente continua. Los detalles adicionales de un dispositivo de cavitación acústica (224) ejemplar que se puede usar como aparato de desagregación (276) se describieron anteriormente en relación con las FIG. 9-11. En otras realizaciones, se puede usar otro aparato de desagregación para el aparato (276).

55 Remitiéndonos aún a la FIG. 2B, las partículas ahora desagregadas presentes en la suspensión (272) se separan en dos grupos, partículas metálicas (280) y materiales particulados no metálicos (284), que contienen una cantidad relativamente grande de óxido de hierro. En la realización del sistema (258) presentada en la FIG. 2B, esta separación se consigue usando un separador magnético (288) que tiene un imán (288A) que atrae las partículas metálicas (280), aunque la separación se puede lograr usando otros dispositivos conocidos en la técnica. Si se desea, las partículas
 60 metálicas (280) ahora separadas se pueden procesar de la manera de las partículas (242) de la FIG. 2A para obtener briquetas cohesivas similares a las briquetas (248) de la FIG. 2A usando las técnicas descritas anteriormente. Los materiales particulados no metálicos (284) ahora separados de la FIG. 2B se pueden usar para fabricar materia prima

de pélets o sinter, o ambas, por ejemplo, de las maneras descritas a continuación en relación con las FIG. 12 a 16.

La FIG. 12 ilustra un método (1200) para fabricar materia prima de pélets según diversos aspectos de la presente invención. En la etapa (1205), los materiales particulados se extraen de los humos de escape de un procedimiento de convertidor para la fabricación de acero para formar un residuo. Como se mencionó anteriormente, el residuo puede ser, por ejemplo, lodo resultante de un procedimiento de enfriamiento de humos o polvo de un procedimiento de precipitación electrostática, entre otros. En la etapa (1210), el residuo se procesa para separar las partículas metálicas de los materiales particulados no metálicos. En un ejemplo, esto se hace usando técnicas de desagregación en el conducto acústico representadas y descritas en relación con la FIG. 2B, arriba.

Remitiéndonos ahora no solo a la FIG. 12 sino también a la FIG. 13 para visualizar el resto del método (1200), si los materiales particulados sustancialmente no metálicos ahora separados, representados en el número de elemento (1300) en la FIG. 13 (estos materiales particulados pueden ser materiales particulados (284) de la FIG. 2B), se humectan después de la separación en la etapa (1210), en la etapa opcional (1215), los materiales particulados no metálicos se pueden secar, por ejemplo, hasta que alcancen aproximadamente 4 % a aproximadamente 1 % de contenido de humedad. En un ejemplo, la etapa opcional (1215) se puede realizar mediante un secador de tipo no calefactor (1304), tal como un filtro prensa o un filtro banda de vacío Outotec (anteriormente Larox), comercializado por Outotec Oyj, Espoo, Finlandia. El secado sin calor tiende a mantener la higroscopicidad de los materiales particulados (1300), que es una característica deseable para usar los materiales particulados como aglutinante en un sistema de peletización, tal como el sistema (1308) de la FIG. 13, para crear materia prima de pélets (1312) para fabricar arrabio.

En la etapa (1220), los materiales particulados no metálicos (1300), ahora representados por la tolva de alimentación (1316), se mezclan con uno o más materiales que se usarán para crear la materia prima de pélets (1312). En este ejemplo, esos otros materiales incluyen mineral de hierro (representado por la tolva de alimentación (1320)), piedra caliza (representada por la tolva de alimentación (1324)), bentonita (representada por la tolva de alimentación (1328)) y, si fuera necesario, carbón (representado por la tolva de alimentación (1332)). Todos los materiales presentes en las tolvas de alimentación (1316, 1320, 1324, 1328 y 1332) se combinan entre sí según una mezcla específica determinada por las entradas usadas para producir materia prima de pélets (1312). Excepto los materiales particulados (1300) extraídos del residuo de humo de escape, los expertos en la materia sabrán cómo determinar las proporciones de mezcla en función de los tipos y la naturaleza de los materiales de la mezcla, así como de la química de la carga del convertidor y otros materiales añadidos al alto horno usado para fabricar el arrabio. Por ejemplo, la bentonita, representada por la tolva de alimentación (1328), con frecuencia se añade en un intervalo de aproximadamente 4 kg a aproximadamente 25 kg por tonelada métrica de materia prima de pélets (1312) producida. Los materiales particulados (1300) se añaden en una cantidad adecuada, tal como aproximadamente 4 kg/tonelada métrica de materia prima de pélets a aproximadamente 18 kg/tonelada métrica de materia prima de pélets. Los materiales de las tolvas de alimentación (1316, 1320, 1324, 1328 y 1332) se pueden mezclar de cualquier manera adecuada, tal como usando de un mezclador rotatorio (1336) u otro dispositivo de mezcla, para producir una mezcla (1340) que es el precursor de la alimentación de pélets (1312). En la FIG. 13, se presenta la mezcla (1340) como se almacena temporalmente en una tolva de almacenamiento (1344), pero esto no tiene por qué ser así en otros sistemas de conformación de pélets que se encuentran dentro del alcance de la presente descripción.

En la etapa (1225), la mezcla (1340) se procesa para obtener pélets verdes (1348) de tamaño adecuado (es decir, pélets que aún no se han tratado térmicamente). En el sistema de conformación de pélets (1308) de la FIG. 13, este procesamiento se consigue mediante un peletizador de tipo tambor rotatorio (1352) y un tamiz de tipo banda (1356) que selecciona los pélets de tamaño adecuado a la salida del peletizador. Por supuesto, se pueden usar otros tipos de equipos para crear pélets verdes de tamaño adecuado (1348). No es necesaria la descripción adicional del equipo usado para conformar pélets verdes de tamaño adecuado (1348), ya que tal equipo es conocido en la técnica para producir materia prima de pélets convencional para fabricar arrabio.

En la etapa (1230), los pélets verdes (1348) se cuecen y enfrían para crear la materia prima de pélets acabada (1312). En el ejemplo presentado en la FIG. 13, los pélets verdes (1348) se cuecen mediante un sistema convencional de horno de materia prima de pélets (1360) que usa vagonetas de pélets (1364), aquí se muestran tres vagonetas de pélets (1364A, 1364B y 1364C), para transportar los pélets inicialmente verdes (1348) al horno. Cada vagoneta de pélets (1364) está fabricada de un material resistente a temperaturas altas que permite que los pélets inicialmente verdes (1348) alcancen aproximadamente 1250 °C para permitir que se cuezan. El procedimiento de cocción provoca que los pélets inicialmente verdes (1348) se conviertan en materia prima de pélets coherente (1312) que es relativamente muy resistente al daño mecánico. Después de la cocción, la materia prima de pélets (1312) se enfría, se tamiza según sea necesario para seleccionar el tamaño adecuado de los pélets y se almacena, en cualquier orden. La adición de materiales particulados en gran medida no metálicos (1300) (FIG. 13) recuperados del residuo de humo de escape del convertidor en la materia prima de pélets (1312) es similar a la adición de bentonita en la peletización convencional en la que ambos materiales son higroscópicos. Sin embargo, una diferencia importante es que los

materiales particulados no metálicos (1300) contienen óxido de hierro, que aumenta el contenido total de hierro de la materia prima de pélets (1312) con respecto a la materia prima de pélets convencional. En un ejemplo, el contenido total de hierro de la materia prima de pélets (1312) es aproximadamente 0,8 % en peso, mientras que el contenido total de hierro de la materia prima convencional de pélets es aproximadamente 0,3 % en peso. Además, la materia prima de pélets (1312) tiene cantidades relativamente bajas de silicio y alúmina en comparación con la materia prima convencional de pélets debido a la reducción en la bentonita. Esencialmente, las cantidades de silicio y alúmina en la materia prima de pélets (1312) son debidas a residuos en los materiales particulados no metálicos (1300).

Cuando se usa una técnica de cocción a base de vagonetas de pélets para cocer pélets verdes (1348), las propiedades únicas de los pélets verdes resultantes de la incorporación de materiales particulados no metálicos (1300) permiten eficacias de cocción y rendimientos de cocción muy superiores en comparación con los pélets verdes convencionales que no contienen materiales particulados no metálicos del residuo de humo de escape del convertidor. A modo ilustrativo, la FIG. 14A ilustra una vagoneta de pélets (1400), que corresponde a una cualquiera de las vagonetas de pélets (1364) de la FIG. 13, que se llena de una manera convencional con materia prima de pélets convencional (1404). La manera convencional de llenar la vagoneta de pélets (1400) es esencialmente forrar el interior (1408) de la vagoneta de pélets con pélets convencionales ya cocidos (1404A) y a continuación llenar el resto del interior con pélets verdes convencionales (1404B). Esto se hace porque los pélets verdes convencionales (1404B) no tienen la resistencia mecánica (resistencia a compresión) que se necesitaría para llenar todo el interior (1408) de la vagoneta de pélets (1400). Aunque la vagoneta de pélets (1400) podría llenarse completamente con pélets verdes (1404B) si tuvieran suficiente resistencia mecánica, su resistencia limitada no lo permite. Por consiguiente, la cantidad de pélets verdes (1404B) que se cuecen en cada carga se reduce significativamente por el volumen de los pélets ya cocidos (1404) necesario para evitar el aplastamiento y desmenuzamiento de los pélets verdes. Los procedimientos de cocción convencionales típicamente requieren entre 70 % y 85 % de pélets verdes y entre 30 % y 15 % de pélets cocidos. En un procedimiento de la presente invención, la cantidad de pélets cocidos se puede reducir a 0 %.

Por el contrario, los pélets verdes fabricados según aspectos de la presente invención que incluyen materiales particulados en gran medida no metálicos recuperados de los humos de escape del convertidor, tales como los pélets verdes (1348) de la FIG. 13, tienen una resistencia mecánica muy superior a los pélets verdes convencionales que no contienen tal material particulado. Por ejemplo, los presentes inventores han observado que los pélets verdes fabricados según la presente invención tienen una resistencia mecánica hasta 40 % mayor que la resistencia de los pélets verdes convencionales. De hecho, esta resistencia mecánica superior permite que todo el interior (1408) de la vagoneta de pélets (1400) se llene completamente con pélets verdes (1412) que contienen los materiales particulados del residuo de humo de escape de la presente descripción, como se ilustra en la FIG. 14B. Debido a que se utiliza todo el volumen de la vagoneta de pélets (1400) para los pélets verdes (1412), el rendimiento y la eficacia de la cocción de estos pélets verdes es muy superior a la cocción de pélets verdes convencionales (1404B), que, de nuevo, solo ocupan una porción del volumen del interior (1408) de la vagoneta de pélets (1400), como se ilustra en la FIG. 14A.

La FIG. 15 ilustra un método (1500) para fabricar materia prima de sinter según diversos aspectos de la presente invención. En la etapa (1505), los materiales particulados se extraen de los humos de escape de un procedimiento de convertidor para la fabricación de acero para formar un residuo. Como se mencionó anteriormente, el residuo puede ser, por ejemplo, lodo resultante de un procedimiento de enfriamiento de humos o polvo de un procedimiento de precipitación electrostática, entre otros. En la etapa (1510), el residuo se procesa para separar los materiales particulados metálicos de los materiales particulados no metálicos. En un ejemplo, esto se hace usando técnicas de desagregación en el conducto acústico representadas y descritas en relación con la FIG. 2B, arriba.

Remitiéndonos ahora no solo a la FIG. 15 sino también a la FIG. 16 para visualizar el resto del método (1500), si los materiales particulados sustancialmente no metálicos ahora separados, representados en el número de elemento (1600) en la FIG. 16 (estos materiales particulados pueden ser materiales particulados (284) de la FIG. 2B), se humectan después de la separación en la etapa (1510), en la etapa opcional (1515), los materiales particulados no metálicos se pueden secar, por ejemplo, hasta que alcancen aproximadamente 4 % a aproximadamente 1 % de contenido de humedad. En un ejemplo, la etapa opcional (1515) se puede realizar mediante un secador de tipo no calefactor (1602), tal como un filtro prensa o un filtro banda de vacío Outotec (anteriormente Larox), comercializado por Outotec Oyj, Espoo, Finlandia. El secado sin calor tiende a mantener la higroscopicidad de los materiales particulado (1600), que es una característica deseable para usar los materiales particulados como aglutinante en un sistema de fabricación de materia prima de sinter, tal como el sistema (1604) de la FIG. 16, para producir materia prima de sinter (1606) para fabricar arrabio.

Los materiales particulados no metálicos (1600) tienen todas las propiedades químicas de los finos para sinterización, pero como son consecuencia de un procedimiento que separa el óxido de hierro, la piedra caliza y otros componentes por tamaño, típicamente son un material muy fino, como se representa por el número de elemento (1600A) en la FIG. 16. Típicamente, el tamaño del material es inferior a malla 325. Cuando los materiales particulados no metálicos (1600) se consideran demasiado finos para el procesamiento eficaz para producir materia prima de sinter (1606), en la etapa

(1520), los materiales particulados se procesan en micropélets de tamaño adecuado (1608), por ejemplo, usando el equipo de micropelletización (1610). En un ejemplo, "de tamaño adecuado" significa un tamaño que es mayor que una malla 60, es decir, mayor de aproximadamente 0,25 mm.

- 5 En una realización del equipo de micropelletización (1610), los materiales particulados no metálicos (1600) se colocan en una tolva de alimentación (1612). A continuación, los materiales particulados no metálicos (1600) se mezclan con un aglutinante (representado por la tolva de alimentación (1614)) y agua (representada por el depósito (1616)) en cantidades adecuadas usando un mezclador (1618). Como apreciarán fácilmente los expertos en la materia, las cantidades de aglutinante (1614) y agua (1616) mezcladas con los materiales particulados no metálicos (1600) 10 variarán en función del tipo de aglutinante usado, así como de la naturaleza y química particular de los materiales particulados. El aglutinante (1614) puede ser cualquier aglutinante orgánico o inorgánico adecuado o una combinación de los mismos. En un ejemplo específico, el aglutinante (1614) es una harina de maíz pregelatinizada. Cuando se usa tal harina de maíz como aglutinante (1614), se puede mezclar con materiales particulados no metálicos (1600) en una proporción en un intervalo de aproximadamente 2 % a aproximadamente 12 % de la mezcla total en peso. En este 15 ejemplo, se puede añadir agua (1616) a la mezcla de materiales particulados (1600) y harina de maíz en una proporción de aproximadamente 28 % a aproximadamente 42 % de la mezcla total (1620) en peso.

La mezcla (1620) se envía a continuación a una extrusora (1622) que produce micropélets verdes (1624), que se calientan a continuación a una temperatura en un intervalo de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 250 °C 20 para cocerlos y darles una resistencia mecánica relativamente alta. Este calentamiento se puede realizar, por ejemplo, utilizando una placa caliente (no mostrada), una banda caliente (1626) o un horno de baja rotación (no mostrado), entre otras cosas. Los micropélets cocidos (1624A) se tamizan a continuación, por ejemplo, usando un tamiz de banda (1628), para separar las partículas que no cumplen los criterios de tamaño establecidos. En el ejemplo anterior, se retiran los materiales particulados de los micropélets cocidos (1624A) más pequeños de malla 60. En esta realización, 25 estas partículas inaceptablemente pequeñas se reciclan y se vuelven a combinar en la mezcla (1620), como ilustra la línea de reciclaje (1630). En otras realizaciones, las partículas inaceptablemente pequeñas se pueden desechar o usar en otro lugar. Los micropélets cocidos (1624A) de tamaño adecuado son los micropélets (1608). El tamaño relativamente mucho mayor de los micropélets (1608) se puede observar comparando los tamaños relativos de los micropélets representados en el número (1608A) con los materiales particulados no metálicos (1600) de partida 30 representados en el número (1600A). Este tamaño relativamente mayor de las micropartículas (1608) significa que los materiales particulados (1600) se pueden usar sin que afecten a la permeabilidad al aire del procedimiento de sinterización (descrito a continuación) como sucedería si los materiales particulados de tamaño muy pequeño (1600) se usaran sin micropelletización. Por consiguiente, la productividad de la planta de sinterización no disminuirá en lo que respecta a la producción de finos de sinterización usando materiales convencionales.

35 En la etapa (1525), los micropélets (1608), ahora representados como tolva de alimentación (1632), se mezclan con uno o más materiales distintos para producir una mezcla (1634) que se usará para crear materia prima de sinter (1606). En este ejemplo, esos otros materiales incluyen mineral de hierro (representado por la tolva de alimentación (1636)), piedra caliza (representada por la tolva de alimentación (1638)) y carbón (representado por la tolva de alimentación (1640)). Todos los materiales presentes en las tolvas de alimentación (1632, 1636, 1638 y 1640) se combinan entre sí según una mezcla específica determinada por las entradas usadas para producir materia prima de sinter (1606). Excepto los micropélets (1608) fabricados a partir de materiales particulados (1600) extraídos del residuo de humo de escape, los expertos en la materia sabrán cómo determinar las proporciones de mezcla en función de los tipos y la naturaleza de los materiales de la mezcla, así como de la química de la carga del convertidor y otros materiales 45 añadidos al alto horno usado para fabricar el arrabio. La mezcla de los materiales (1632, 1636, 1638 y 1640) se realiza usando un mezclador, aquí un mezclador rotatorio (1642), después de que los materiales se hayan prehidratado en una estación de hidratación (1644). En este ejemplo, la mezcla (1634) se vuelve a hidratar en la estación de hidratación (1646) y se envía a una tolva de almacenamiento/alimentación (1648).

50 En la etapa (1530), la mezcla (1634) se procesa para producir materia prima de sinter acabada (1606). En el ejemplo presentado en la FIG. 16, el material mezclado (1634) se cuece mediante un sistema convencional de horno de materia prima de sinter (1650) que usa vagonetas de sinter, aquí se muestra una única vagoneta de sinter (1652), para transportar el material mezclado húmedo (1634) a un horno (1654). Cada vagoneta de sinter (1652) está fabricada de un material resistente a temperaturas altas que permite que el material mezclado inicialmente húmedo (1634) alcance 55 de aproximadamente 800 °C a aproximadamente 1200 °C para permitir que el material se cueza. El procedimiento de cocción provoca que el material mezclado inicialmente húmedo (1634) se convierta en un cuerpo en gran medida monolítico (1656). Después de la cocción, el cuerpo monolítico (1656) se tritura mediante una trituradora adecuada (1658) y filtra mediante un dispositivo adecuado (1660) para retirar todos los finos (1662) no deseados presentes en la materia prima de sinter final (1606). Todos los finos retirados (1662) mediante filtración y/o todos los finos recogidos 60 en el horno (1654) se pueden volver a reciclar al equipo de micropelletización (1610). Opcionalmente, después del filtrado, la materia prima de sinter (1606) se puede enfriar, por ejemplo, mediante ventiladores de refrigeración (1664) y almacenar o enviar directamente a un procedimiento de fabricación de arrabio.

Las realizaciones ejemplares se han descrito e ilustrado en los dibujos adjuntos anteriormente. Los expertos en la materia entenderán que pueden realizarse diversos cambios, omisiones y adiciones a lo que se desvela específicamente en la presente memoria sin alejarse del alcance de la presente invención.

5

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de reciclaje (200) para procesar lodo de un sistema de depuración de humos (202) que depura humos de un convertidor para la fabricación de acero, en donde el lodo incluye microesferas de hierro metálico y material de hierro no metálico, comprendiendo el sistema:
- 5
- equipo de separación (224, 226, 216, 220, 240, 246) diseñado y configurado para procesar el lodo para aislar sustancialmente solo microesferas de hierro metálico del material de hierro no metálico, incluyendo dicho equipo de separación (224, 226, 216, 220, 240, 246) un limpiador ultrasónico diseñado y configurado para retirar finos
- 10 superficiales unidos a las microesferas de hierro metálico que usa dos frecuencias de ultrasonido diferentes para producir un campo de sonido uniforme de cavitación ultrasónica intensa para crear microesferas metálicas superficialmente limpias; y
- equipo de conformación (252, 254) diseñado y configurado para recibir las microesferas de hierro metálico superficialmente limpias aisladas por dicho equipo de separación (224, 226, 216, 220, 240, 246) y conformar con las
- 15 mismas cuerpos cohesivos (248) que consisten esencialmente en las microesferas de hierro metálico aisladas por dicho equipo de separación (224, 226, 216, 220, 240, 246); en donde dicho limpiador ultrasónico incluye un dispositivo de cavitación acústica (224) diseñado y configurado para procesar una suspensión (222) formada a partir del lodo en un flujo continuo; y
- 20 en donde dicho dispositivo de cavitación acústica (224) incluye un conducto de cavitación acústica (900) que define un pasillo de fluido alargado (1000) que tiene un eje de flujo, comprendiendo además dicho dispositivo de cavitación acústica (224) una pluralidad de transductores ultrasónicos (1004A-F, 1008A-E) configurados para generar dichas dos frecuencias ultrasónicas diferentes en comunicación acústica con dicho pasillo de fluido alargado (1000) y separados
- 25 a lo largo de dicho conducto de cavitación acústica (900).
2. Un sistema según la reivindicación 1, en donde el material de hierro no metálico incluye partículas de hierro no metálico y dicho equipo de separación (224, 226, 216, 220, 240, 246) comprende además un separador (226) aguas abajo de dicho limpiador ultrasónico diseñado y configurado para separar las microesferas de hierro metálico
- 30 de las partículas de hierro no metálico.
3. Un sistema según la reivindicación 1, en donde dicho equipo de conformación (252, 254) incluye una prensa de estampación (252) diseñada y configurada para conformar las microesferas de hierro metálico para obtener cuerpos no cohesivos (250).
- 35
4. Un sistema según la reivindicación 3, en donde dicha prensa de estampación (252) es una prensa de estampación de briquetas a alta presión que aplica al menos 30 toneladas métricas a cada briqueta (248) conformada de ese modo.
- 40
5. Un sistema según la reivindicación 3, en donde dicho equipo de conformación (252, 254) incluye además un dispositivo de tratamiento térmico (254) para convertir los cuerpos no cohesivos (250) en los cuerpos cohesivos (248).
- 45
6. Un sistema según la reivindicación 4, en donde dicho dispositivo de tratamiento térmico (254) y dicha prensa de estampación (252) cooperan para conformar los cuerpos cohesivos (248) sin fusionar las microesferas metálicas de hierro entre sí.
7. Un método para fabricar acero, que comprende:
- 50 recibir lodo de humo del convertidor de oxígeno básico;
- lavar superficialmente las microesferas de hierro metálico presentes en el lodo de humo del convertidor de oxígeno básico usando dos frecuencias de ultrasonido diferentes para producir un campo de sonido uniforme de cavitación ultrasónica intensa;
- 55 aislar las microesferas de hierro metálico;
- recoger las microesferas de hierro metálico aisladas; y
- 60 añadir las microesferas de hierro recogidas como material de carga a un convertidor de oxígeno básico o un horno de arco eléctrico.

8. Un método según la reivindicación 7, en donde dicha recogida de las microesferas de hierro metálico aisladas incluye conformar un cuerpo cohesivo (248) que consiste esencialmente solo en las microesferas de hierro metálico aisladas del lodo de humo del convertidor de oxígeno básico, y dicha adición de las microesferas de hierro metálico recogidas como material de carga incluye añadir el cuerpo cohesivo (248) al convertidor de oxígeno básico o al horno de arco eléctrico.
9. Un método según la reivindicación 8, en donde dicha conformación del cuerpo cohesivo (248) incluye la estampación de las microesferas de hierro metálico para obtener un cuerpo no cohesivo (250).
- 10 10. Un método según la reivindicación 9, en donde dicha conformación del cuerpo cohesivo (248) incluye además el tratamiento térmico del cuerpo no cohesivo (250) para crear el cuerpo cohesivo (248).
11. Un método según la reivindicación 10, en donde dicho tratamiento térmico del cuerpo no cohesivo (250) incluye calentar el cuerpo no cohesivo (250) hasta un punto por debajo del cual las microesferas metálicas se fusionan entre sí.
12. Un método según la reivindicación 7, en donde dicho lavado superficial de las microesferas de hierro metálico incluye transportar el lodo de humo del convertidor de oxígeno básico a través de un conducto acústico (900) en un flujo continuo.
- 20

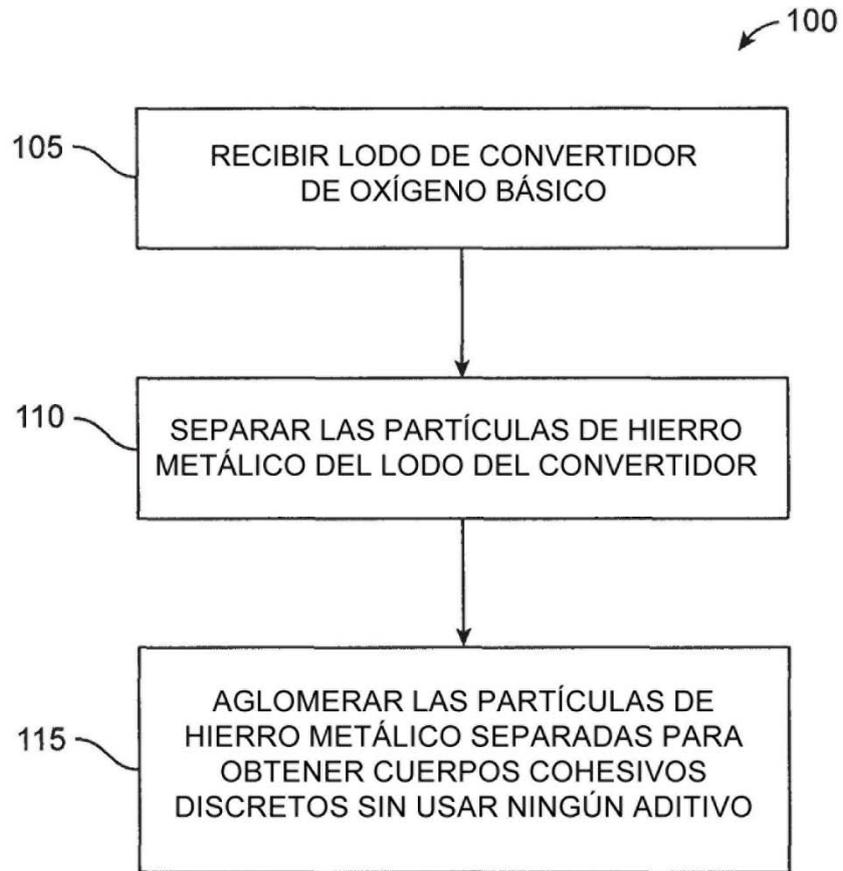


FIG. 1

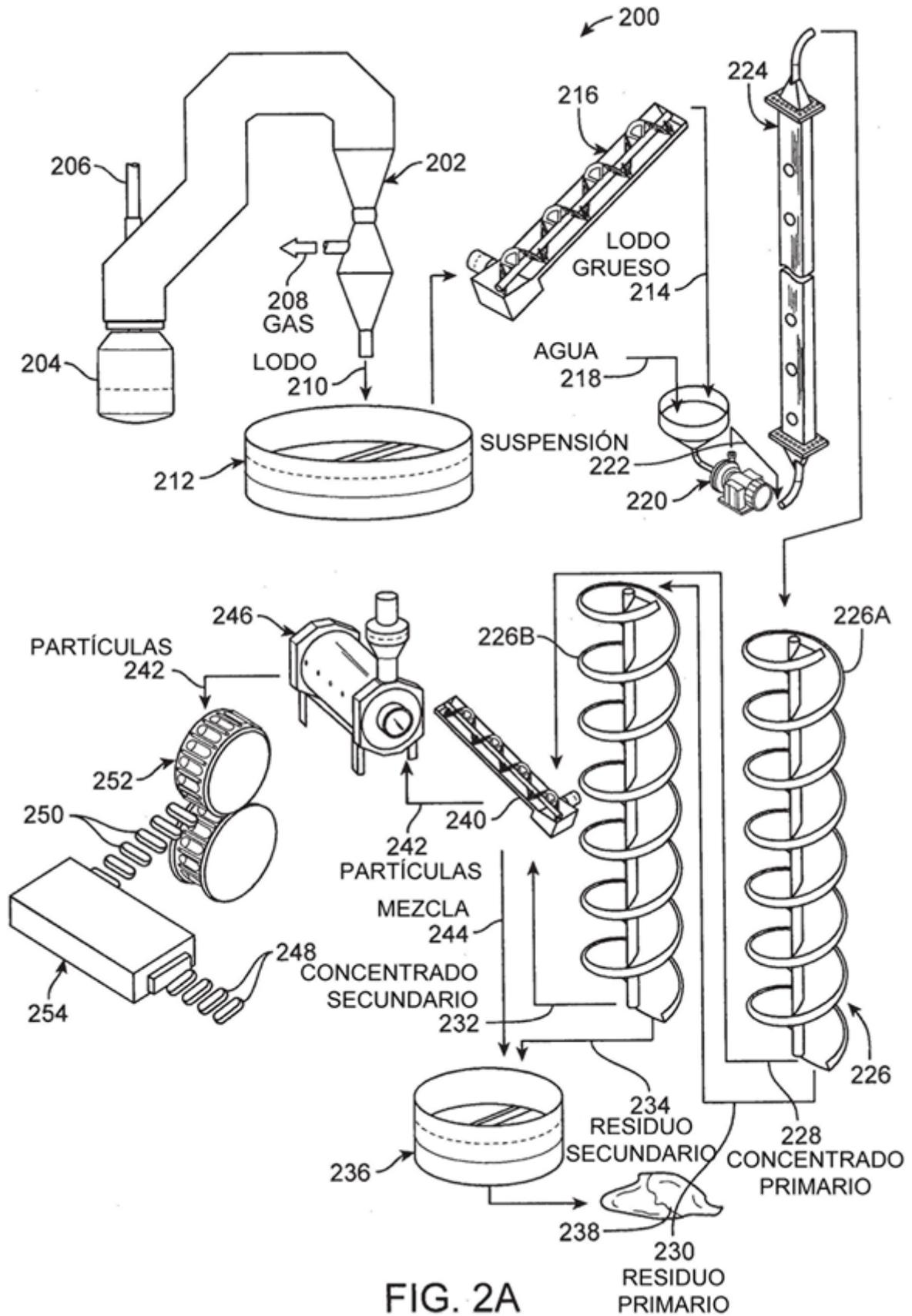


FIG. 2A

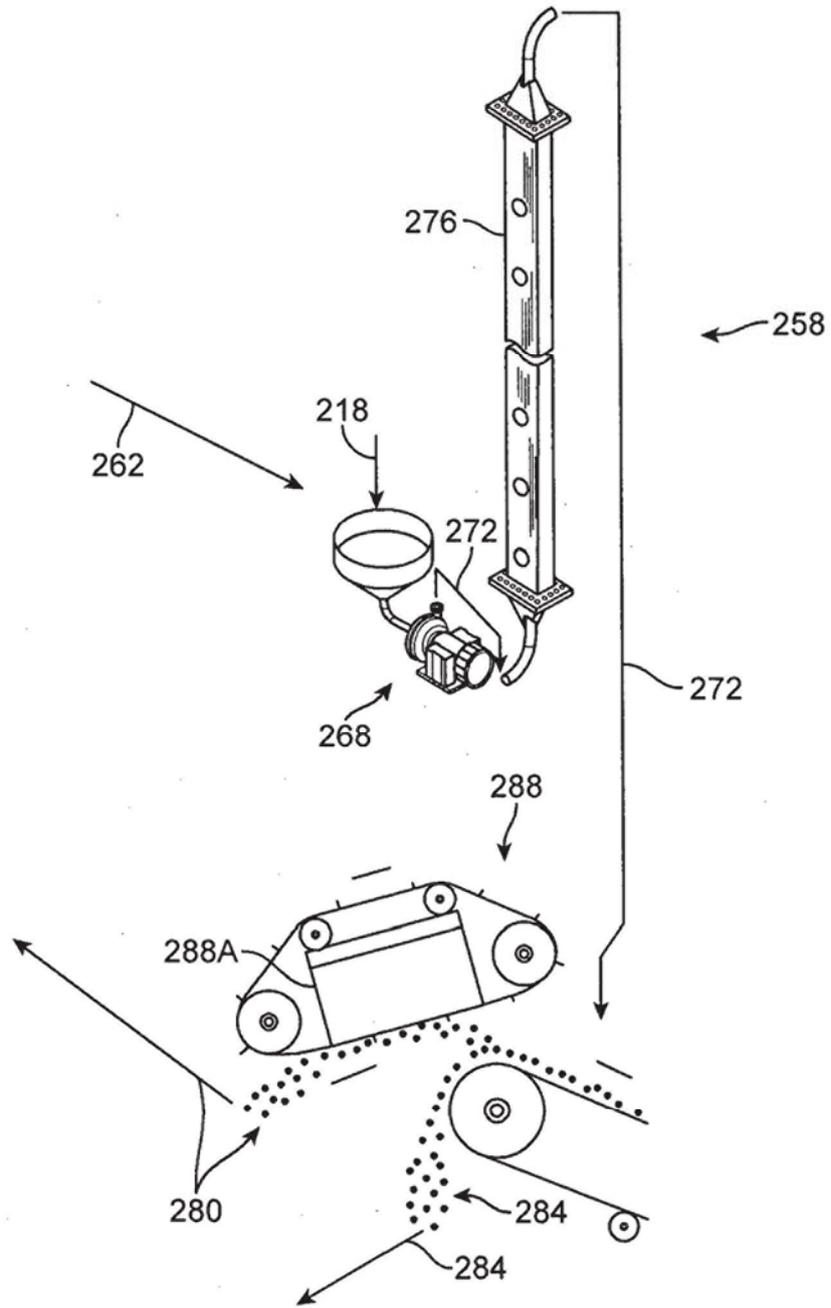


FIG. 2B

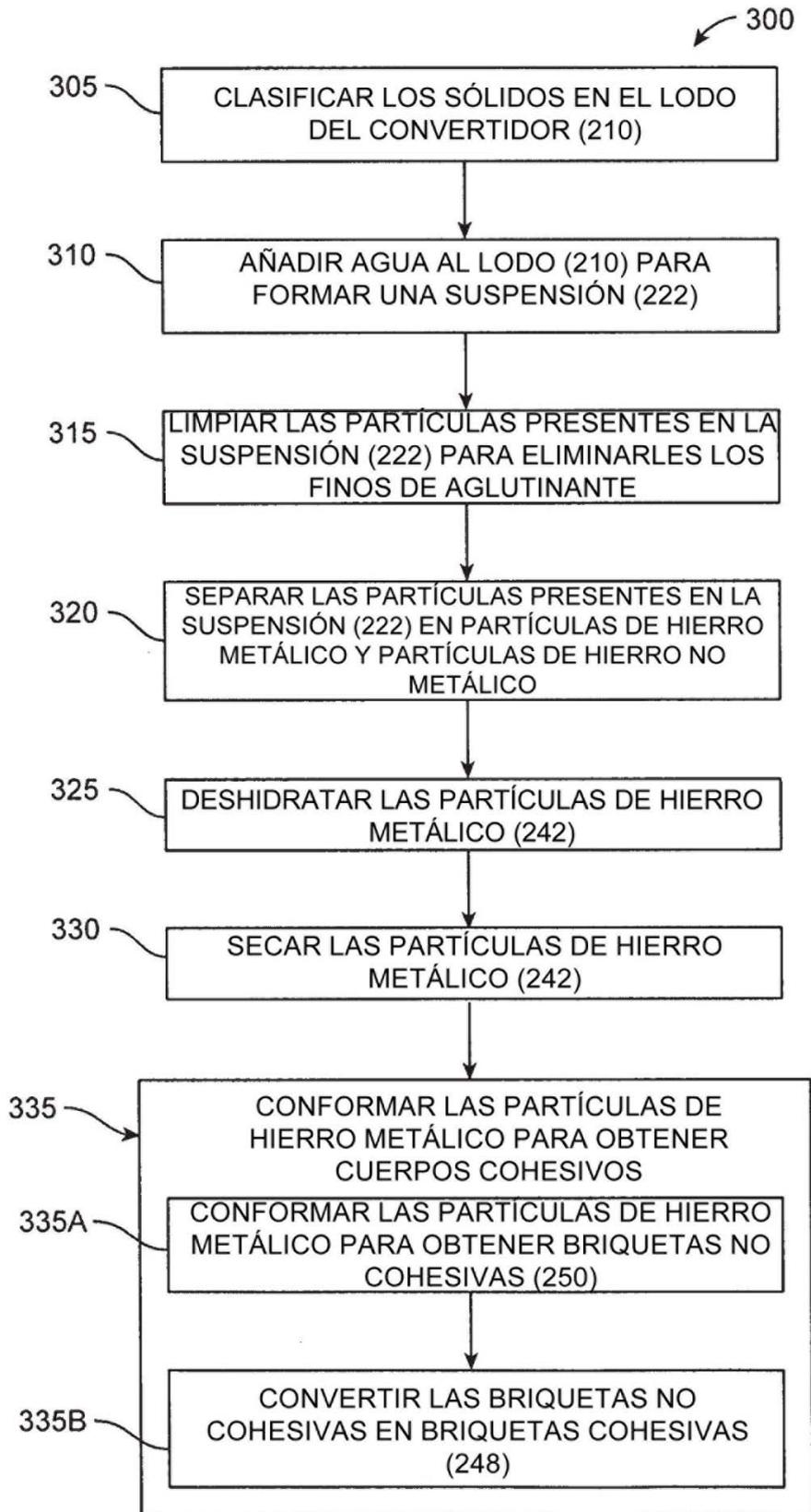


FIG. 3

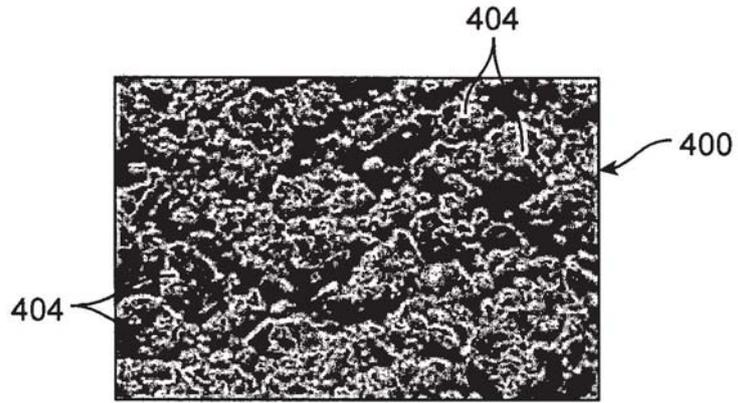


FIG. 4

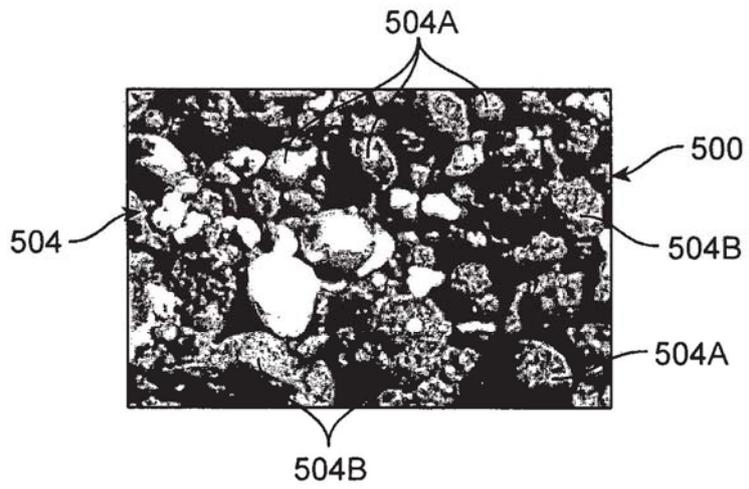


FIG. 5

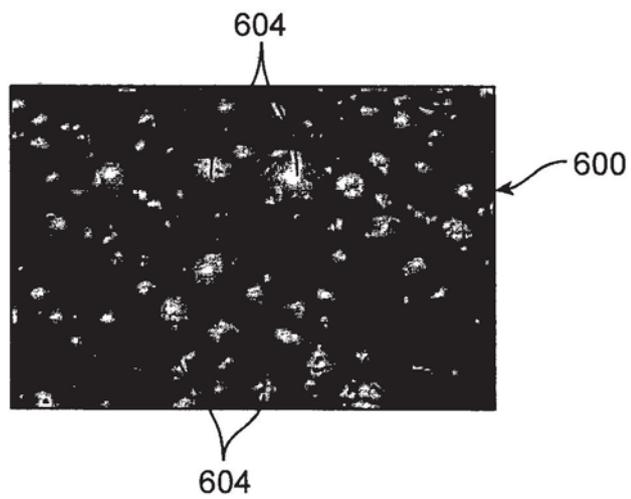


FIG. 6

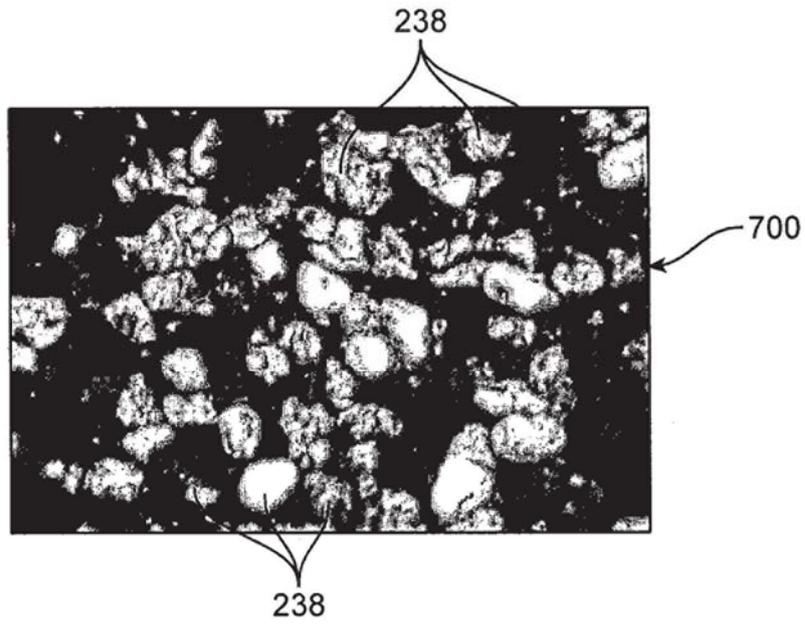


FIG. 7

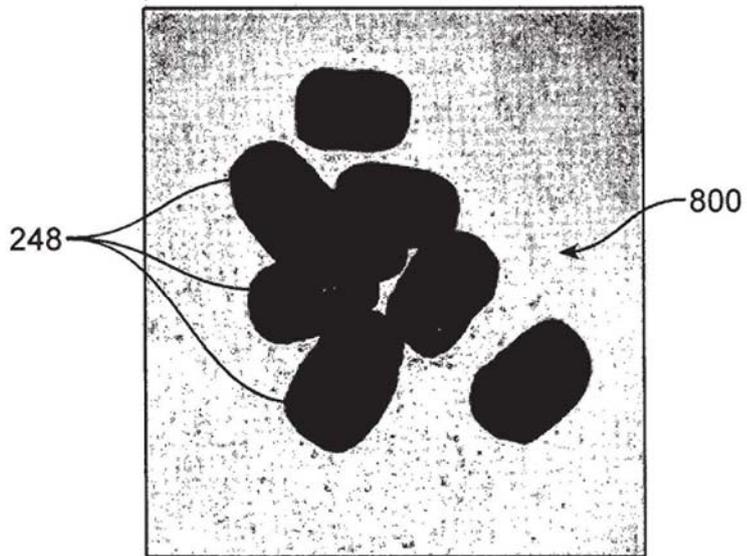


FIG. 8

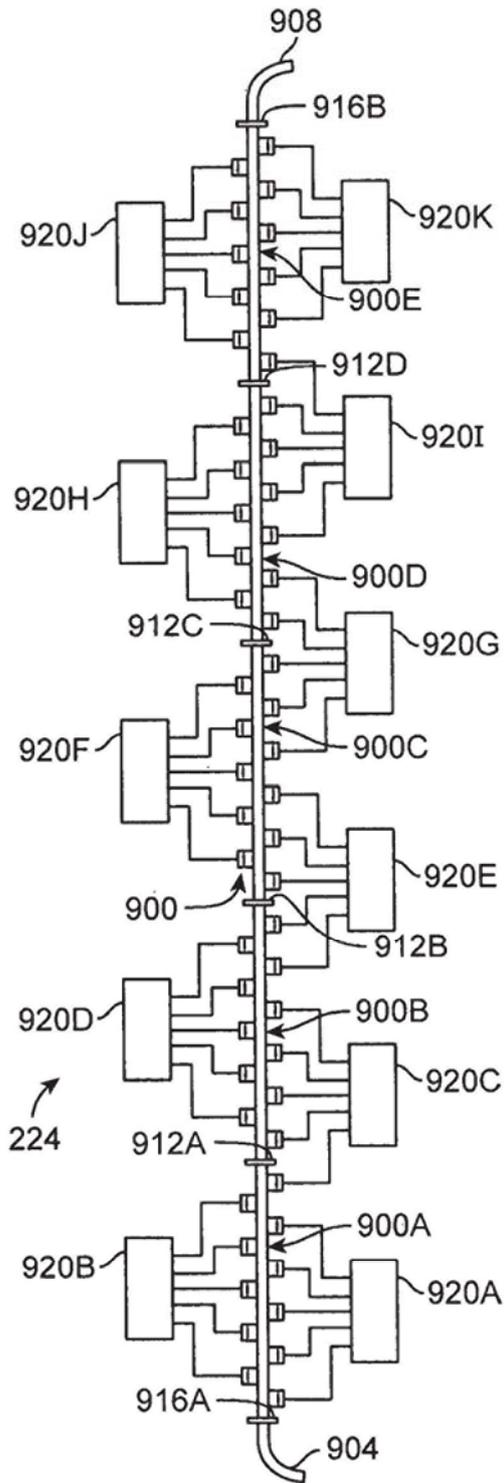


FIG. 9

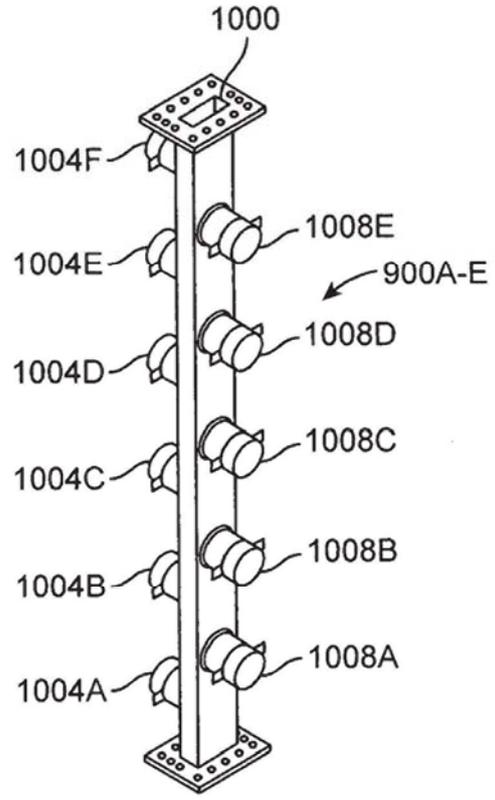


FIG. 10

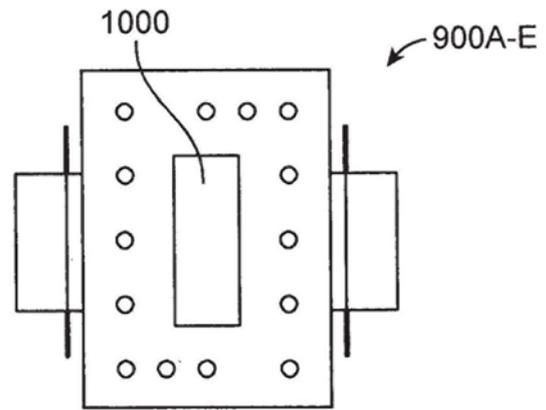


FIG. 11

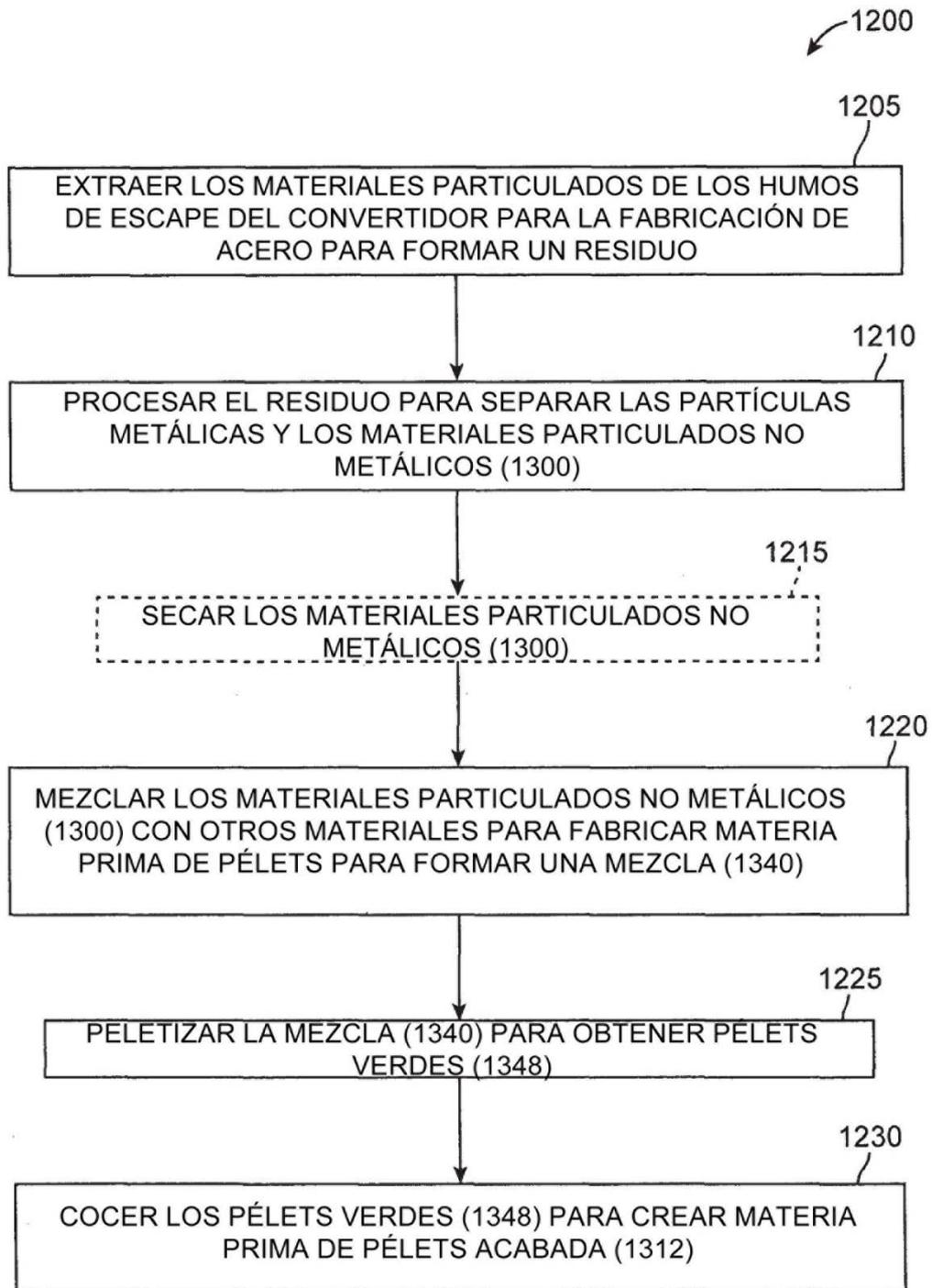


FIG.12

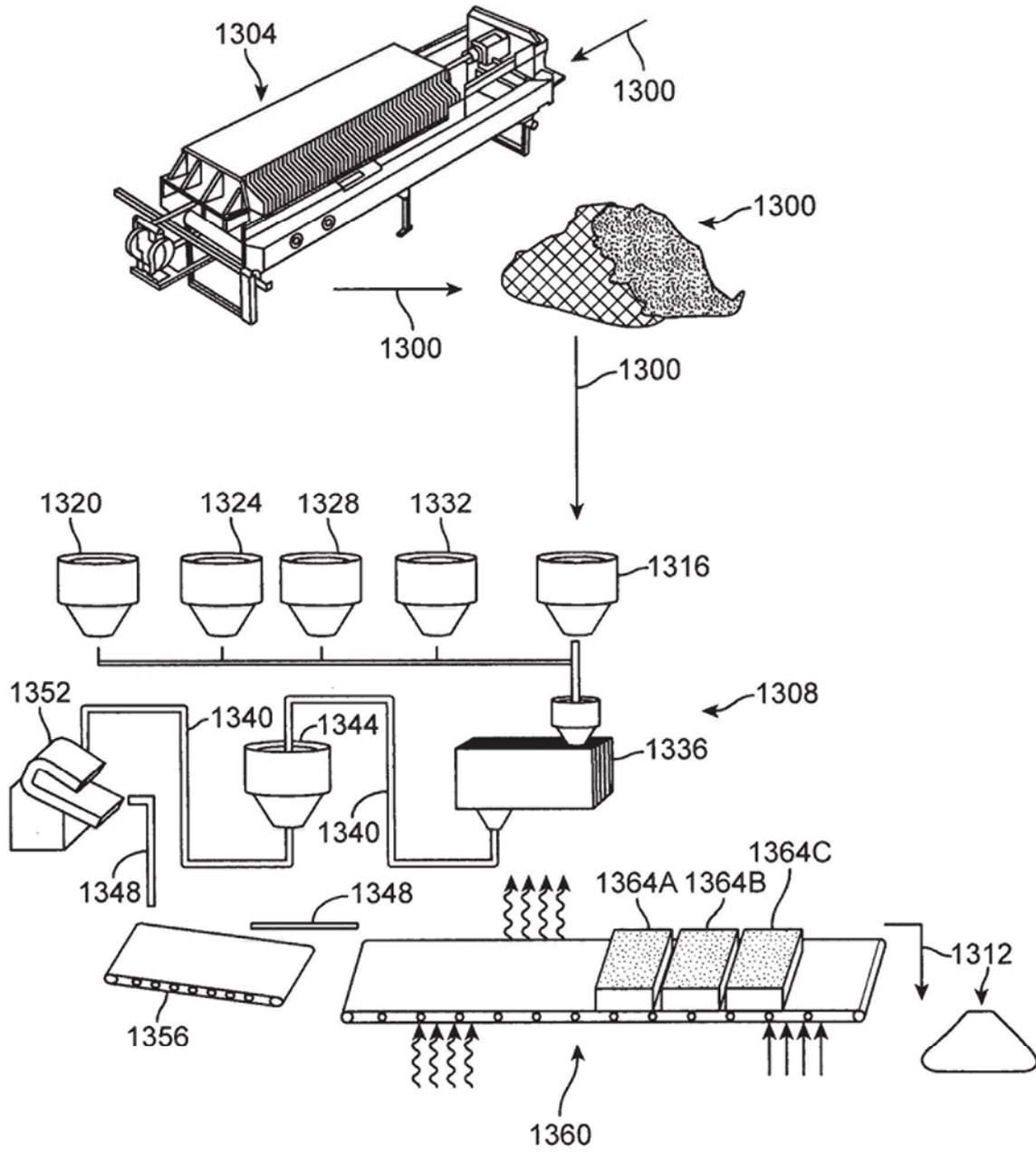


FIG. 13

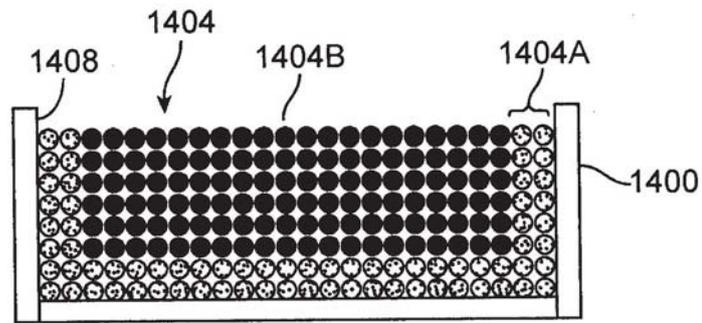


FIG. 14A

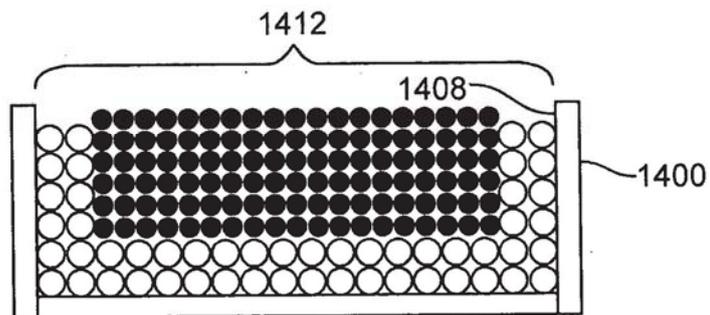


FIG. 14B

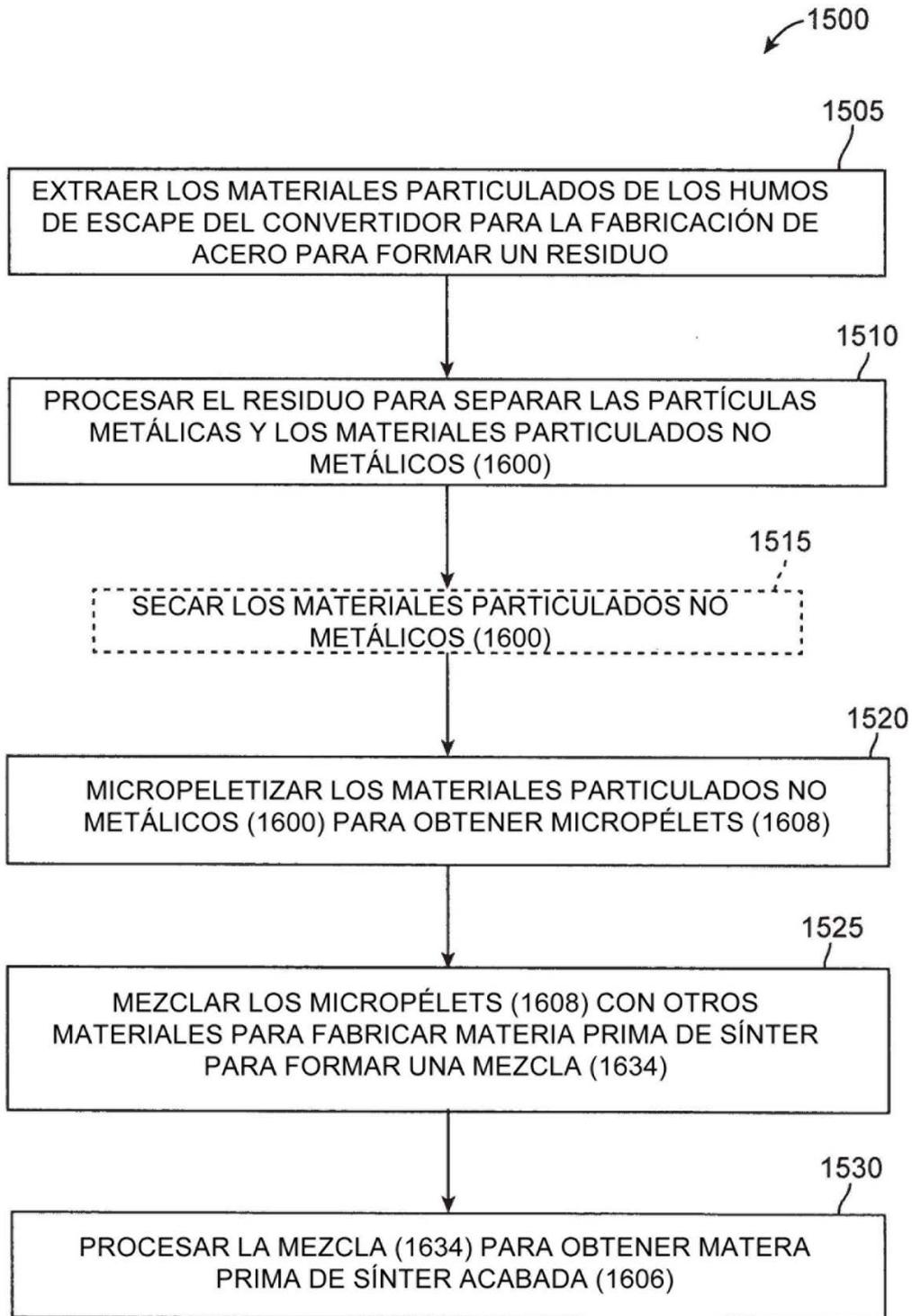


FIG. 15

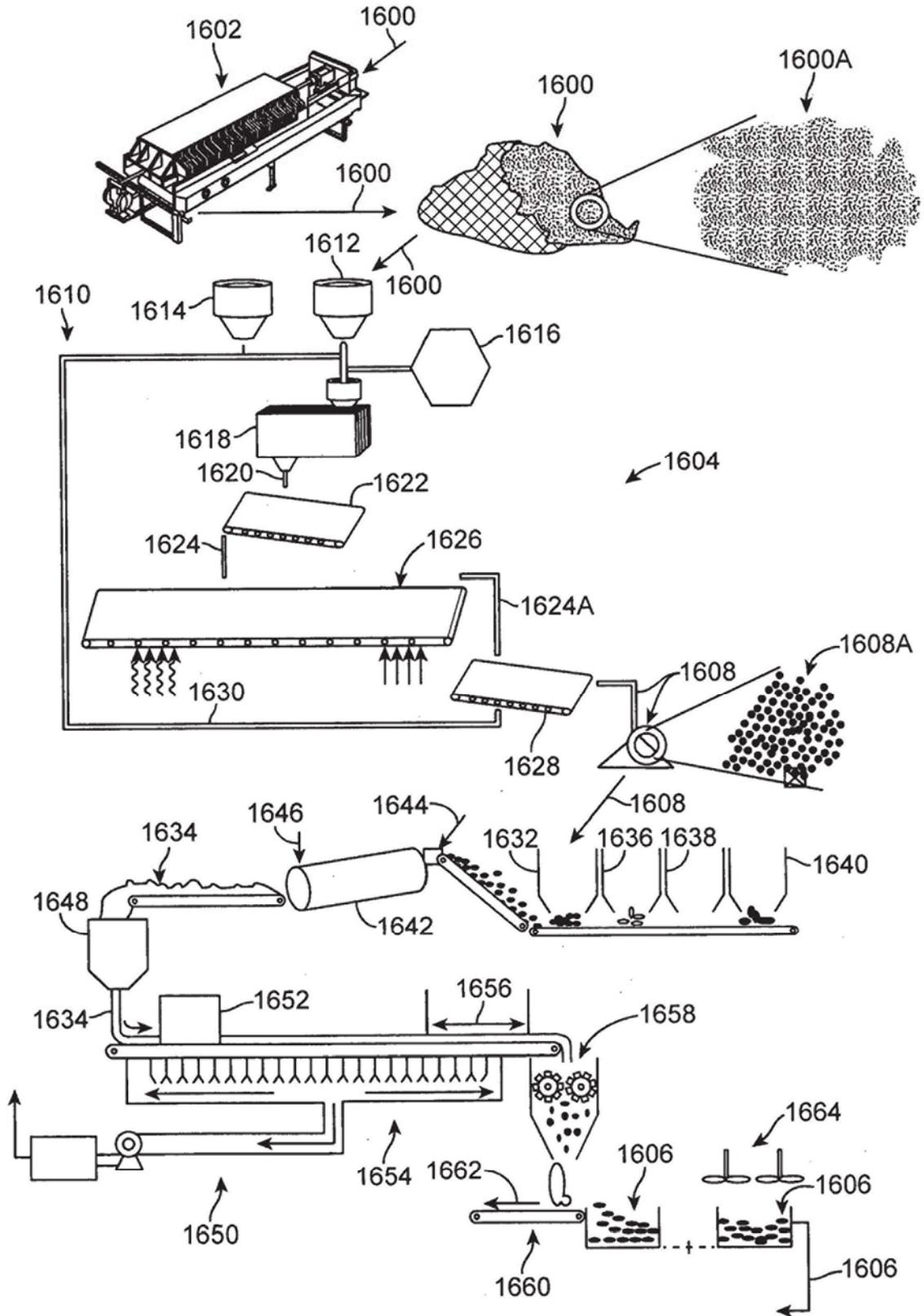


FIG. 16