

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 612**

51 Int. Cl.:

C25C 3/08 (2006.01)
C25C 3/16 (2006.01)
C25C 7/00 (2006.01)
C25C 7/02 (2006.01)
C25C 7/06 (2006.01)
C21B 13/12 (2006.01)
F27B 3/08 (2006.01)
F27D 1/18 (2006.01)
F27B 3/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.09.2018** **PCT/US2018/051323**
87 Fecha y número de publicación internacional: **21.03.2019** **WO19055910**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.09.2018** **E 18856397 (7)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2024** **EP 3679178**

54 Título: **Sistemas y procedimientos para electrólisis de óxido fundido**

30 Prioridad:

18.09.2017 US 201762559860 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
26.02.2025

73 Titular/es:

**BOSTON ELECTROMETALLURGICAL
CORPORATION (100.00%)
6C Gill Street
Woburn, Massachusetts 01801, US**

72 Inventor/es:

**HYERS, ROBERT;
LAMBOTTE, GUILLAUME;
HUMBERT, MATTHEW y
BRADSHAW, RICHARD**

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 999 612 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 procedimientos para electrólisis de óxido fundido

5 SECTOR TÉCNICO

La presente tecnología se refiere a sistemas y componentes en los que se puede realizar el procesamiento electrolítico y procedimientos para utilizar esos sistemas. Más específicamente, la presente tecnología se refiere a sistemas de procesamiento para realizar electrólisis de óxido fundido u otras operaciones metalúrgicas.

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

Los recipientes y sistemas metalúrgicos se utilizan para una variedad de procesos, incluidas operaciones de fundición y refinación de metales que pueden incluir fundición y electrólisis de óxido fundido, por ejemplo. Los recipientes y sistemas para llevar a cabo dichos procesos a menudo están diseñados en torno a un principio de proceso, un producto metálico y una materia prima metálica en particular, y es posible que no se utilicen para múltiples metales u operaciones de procesamiento. Además, el funcionamiento de los sistemas puede verse limitado en función de los materiales utilizados y de las dimensiones fijas y características operativas del sistema. Muchas operaciones metalúrgicas están limitadas a determinadas temperaturas o fuentes de energía y, por lo tanto, pueden resultar inadecuadas para el procesamiento o refinamiento de muchos metales y materiales útiles diferentes. Finalmente, el funcionamiento de estos sistemas puede ser ineficiente debido a constantes paradas operativas para realizar operaciones de colada o alimentación de materias primas, operaciones de reemplazo de electrodos o fluctuaciones de temperatura y/o productividad.

La Patente CN 106 811 563 A describe un procedimiento para llevar a cabo la reducción de mineral de hierro mediante un campo eléctrico.

La Patente US 1 505 495 A describe un aparato para fundir materiales que contienen metal y recuperar el metal de la masa fundida mediante un tratamiento electrolítico.

La Patente US 5 567 286 A describe un aparato para refinar electroquímicamente una masa fundida de acero con bajo contenido de carbono.

Por lo tanto, existe una necesidad de contar con recipientes y sistemas mejorados que puedan utilizarse para procesar una variedad de metales y materiales de manera eficiente. Estas y otras necesidades están cubiertas por la tecnología actual.

CARACTERÍSTICAS

Los conjuntos y sistemas metalúrgicos según la presente tecnología incluyen un recipiente refractario que incluye lados y una base. La base define una pluralidad de aberturas ubicadas centralmente dentro de la base. Los lados y la base definen al menos parcialmente un volumen interior del recipiente refractario. El recipiente refractario incluye al menos dos capas de material. Una capa exterior incluye un material aislante. Una capa interior incluye un material configurado para ser químicamente compatible con un electrolito contenido dentro del volumen interior del recipiente refractario. Los conjuntos incluyen una tapa, tal como una tapa refractaria, acoplada de forma desmontable al recipiente refractario y configurada para formar un cierre estanco con el recipiente refractario. La tapa define una pluralidad de aberturas a través de la tapa. Los conjuntos también incluyen un colector de corriente próximo a la base del recipiente refractario. El colector de corriente incluye extensiones conductoras posicionadas dentro de la pluralidad de aberturas ubicadas centralmente dentro de la base.

En algunas realizaciones, el conjunto metalúrgico puede incluir un cierre estanco al gas acoplado alrededor de una primera abertura de la pluralidad de aberturas definidas a través de la tapa. El cierre estanco al gas puede configurarse para recibir y pasar un ánodo móvil a través del cierre estanco al gas y la primera abertura definida a través de la tapa. El cierre estanco al gas puede configurarse para limitar la liberación de gas del recipiente refractario a través de la primera abertura de la pluralidad de aberturas definidas a través de la tapa. La pluralidad de aberturas definidas a través de la tapa puede incluir una abertura de escape dimensionada para distribuir gas desde el recipiente refractario y una abertura de alimentación dimensionada para distribuir material dentro del recipiente refractario. El recipiente refractario puede incluir una capa de polvo que define al menos parcialmente las paredes laterales del recipiente refractario. El recipiente refractario también puede incluir una capa de compatibilidad que define la base del recipiente refractario. La capa de compatibilidad también puede definir al menos parcialmente las paredes laterales del recipiente refractario.

El recipiente refractario puede incluir, además, una capa intermedia de material colocada para definir al menos una parte del volumen interior del recipiente refractario. La capa interior puede caracterizarse por una conductividad térmica inferior o igual a 25 W/(m·K). La capa aislante puede caracterizarse por una conductividad térmica inferior o igual a 5 W/(m·K).

La tecnología actual abarca también los sistemas metalúrgicos. Los sistemas pueden incluir un recipiente refractario. Los sistemas pueden incluir una tapa acoplada de forma desmontable al recipiente refractario y configurada para formar un cierre estanco con el recipiente refractario. La tapa puede definir una pluralidad de aberturas a través de la tapa. Los sistemas también pueden incluir un conjunto de soporte de electrodos. El conjunto de soporte de electrodos puede incluir un soporte trasladable verticalmente. El soporte traducible verticalmente puede configurarse para acoplarse con un electrodo y acoplar eléctricamente el electrodo con una fuente de energía.

El sistema metalúrgico también puede incluir una base del sistema que incluye una plataforma sobre la cual se puede apoyar el recipiente refractario. El sistema también puede incluir un colector de corriente colocado entre la plataforma y la base del sistema. El colector de corriente puede estar acoplado mecánicamente al recipiente refractario. El conjunto de soporte de electrodos también puede incluir un mástil, que puede incluir una pista vertical. El conjunto de soporte de electrodos también puede incluir un carro acoplado de forma móvil con la pista. El conjunto de soporte de electrodos también puede incluir una viga que acople el soporte trasladable verticalmente con el carro. La viga puede ser o incluir una viga curva que se extiende desde un primer extremo en el carro hasta un segundo extremo en el que se puede acoplar el soporte trasladable verticalmente. El segundo extremo de la viga curva puede posicionar el soporte trasladable verticalmente en alineación axial alrededor de un eje vertical con una abertura de la tapa. El sistema también puede incluir una primera fuente de energía acoplada eléctricamente con el electrodo mediante el soporte trasladable verticalmente. El sistema también puede incluir una segunda fuente de energía acoplada eléctricamente al carro. En algunas realizaciones, el electrodo puede ser un ánodo. Un primer extremo del ánodo puede extenderse dentro de un volumen interno definido por el recipiente refractario a través del cierre estanco al gas. Una porción distal del ánodo puede acoplarse con el soporte trasladable verticalmente.

La tecnología actual también puede abarcar sistemas metalúrgicos adicionales. Los sistemas pueden incluir un recipiente refractario. Los sistemas también pueden incluir una tapa acoplada de forma desmontable al recipiente refractario y configurada para formar un cierre estanco con el recipiente refractario. La tapa puede definir una pluralidad de aberturas a través de la tapa. Una primera abertura de la pluralidad de aberturas puede incluir un orificio de escape. Los sistemas pueden incluir un conjunto de soporte de electrodos. Los sistemas también pueden incluir un sistema de escape acoplado al orificio de escape de la tapa. El sistema de escape puede configurarse para oxidar los efluentes recibidos del recipiente refractario. Una segunda abertura de la pluralidad de aberturas definidas a través de la tapa puede incluir un orificio de alimentación. El sistema metalúrgico también puede incluir un sistema de alimentación acoplado al orificio de alimentación. El sistema de alimentación puede configurarse para proporcionar material al recipiente refractario.

Esta tecnología puede proporcionar numerosos beneficios respecto a las técnicas convencionales. Por ejemplo, la tecnología puede producir sistemas y conjuntos metalúrgicos que puedan funcionar en un espectro más amplio de temperatura y energía que los sistemas convencionales. Además, la tecnología actual se puede utilizar en procesos continuos en lugar del procesamiento por lotes menos eficiente. Estas y otras realizaciones, junto con muchas de sus ventajas y características, se describen con más detalle junto con la siguiente descripción y las figuras adjuntas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Se puede lograr una mejor comprensión de la naturaleza y las ventajas de las realizaciones dadas a conocer mediante referencia a las partes restantes de la memoria descriptiva y los dibujos.

La figura 1 ilustra una vista esquemática, en sección transversal, de un conjunto metalúrgico ejemplar según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 2 ilustra una vista superior esquemática de una tapa de recipiente metalúrgico ejemplar de acuerdo con realizaciones de la presente tecnología.

La figura 3 ilustra una vista esquemática, en sección transversal, de un recipiente metalúrgico de acuerdo con realizaciones de la presente tecnología.

La figura 4 ilustra una vista esquemática, en perspectiva, de un colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 5 ilustra una vista esquemática, en perspectiva, de un sistema metalúrgico ejemplar según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 6 ilustra una vista esquemática, en perspectiva, de un sistema metalúrgico ejemplar según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 7 ilustra operaciones seleccionadas en un procedimiento ejemplar de utilización de un sistema metalúrgico según la presente tecnología.

- 5 Varias de las figuras se incluyen como esquemas. Se debe entender que las figuras son para fines ilustrativos y no deben considerarse a escala a menos que se indique específicamente que lo son. Además, como esquemas, las figuras se proporcionan para facilitar la comprensión y pueden no incluir todos los aspectos o la información en comparación con las representaciones realistas, y pueden incluir material exagerado con fines ilustrativos.
- 10 En las figuras adjuntas, componentes y/o características similares pueden tener la misma etiqueta de referencia numérica. Además, se pueden distinguir varios componentes del mismo tipo colocando a continuación de la etiqueta de referencia una letra que distinga entre componentes y/o características similares. Si solo se utiliza la primera etiqueta de referencia numérica en la memoria descriptiva, la descripción es aplicable a cualquiera de los componentes y/o características similares que tengan la misma
- 15 primera etiqueta de referencia numérica independientemente del sufijo de letra.

DESCRIPCION DETALLADA

- 20 En el procesamiento metalúrgico, se puede utilizar calor elevado proveniente de fuentes térmicas o eléctricas, por ejemplo, para procesar una variedad de materiales, incluidos metales y materiales que contienen metales. Estos materiales pueden tener puntos de fusión muy superiores a 1.000 °C y, por lo tanto, el recipiente y cualquier componente asociado en contacto con los materiales fundidos pueden conducir temperaturas extraordinariamente altas. Muchos sistemas funcionan con una corteza congelada de electrolito, que puede
- 25 proteger las paredes de la celda de las temperaturas más altas, así como del ataque químico de las paredes interiores por parte de los componentes electrolíticos.

- Las celdas convencionales pueden estar limitadas por la configuración del recipiente o del sistema general. Por ejemplo, muchos diseños requieren una parada total para extraer el producto solidificado. Además, el consumo de uno de los electrodos, tal como el ánodo, puede detener el funcionamiento, así como la
- 30 reducción completa de la sustancia objetivo dentro del sistema, lo que puede requerir la realización de lotes adicionales. Es posible que los sistemas convencionales hayan abordado estos problemas aceptando en general las limitaciones o ineficiencias del propio sistema. La tecnología actual, por otro lado, utiliza configuraciones de sistemas y principios operativos que permiten el funcionamiento continuo de una celda para producir una variedad de materiales objetivo.

- 35 Pasando a la figura 1A se ilustra una vista, en sección transversal, de un conjunto metalúrgico 100 ejemplar de acuerdo con realizaciones de la presente tecnología. El conjunto y sus componentes constituyentes se pueden utilizar para generar calor de diversas maneras para fundir los materiales alojados en su interior. El calor puede producirse mediante aplicaciones de alta temperatura al recipiente y también puede desarrollarse
- 40 o generarse mediante energía eléctrica. El conjunto 100 puede incluir un recipiente refractario 110 que incluye lados 112 y una base 114. Los lados 112 y la base 114 pueden definir al menos parcialmente un volumen interior 115 dentro del recipiente refractario 110. El recipiente refractario 110 puede configurarse para albergar uno o varios materiales para su procesamiento, tales como materiales que contienen metales, incluidos óxidos metálicos. El recipiente se puede utilizar en cualquier número de configuraciones de
- 45 procesamiento, incluida la electrólisis de óxido fundido, y puede incluir materiales electrolíticos, además, de un material que contenga metal que se esté procesando. El recipiente refractario 110 puede definir al menos una, y puede definir una pluralidad de, aberturas 116 en una zona central de la base 114. Las aberturas pueden proporcionar acceso a elementos conductores asociados con un colector de corriente como se analiza a continuación.

- 50 El conjunto metalúrgico 100 también puede incluir una tapa 120 utilizada junto con el recipiente refractario 110. La tapa 120 se puede acoplar de forma desmontable con el recipiente refractario 110, y se puede acoplar, atornillar, fijar o unir directamente al recipiente refractario 110. En algunas realizaciones, la tapa 120 puede acoplarse de manera desmontable con el recipiente refractario 110 con pernos, elementos de sujeción
- 55 u otros materiales configurados para acoplar dos estructuras. La tapa 120 y el recipiente 110 pueden tener cada uno una brida que proporcione una superficie de contacto para acoplar los dos componentes. En funcionamiento, la tapa 120 puede acoplarse al recipiente refractario 110 para formar un cierre estanco, que puede ser un cierre estanco a líquidos o puede ser un cierre hermético. Además, en algunas realizaciones, la tapa 120 puede estar acoplada al recipiente refractario 110 para facilitar la contención y/o recogida o
- 60 eliminación de materiales efluentes producidos, incluidos subproductos de gas. En algunas realizaciones, la tapa 120 puede estar configurada para formar un cierre parcial, sustancial o completamente hermético con el recipiente refractario 110. La tapa 120 puede definir una pluralidad de aberturas a través de la estructura de la tapa 120, como se analiza con más detalle a continuación con la figura 2.

- 65 El conjunto metalúrgico 100 también puede incluir un colector de corriente 125 colocado próximo a la base 114 del recipiente refractario 110. El colector de corriente 125 puede ser una barra o material conductor

acoplado con o dentro del recipiente refractario 110. En algunas realizaciones, el colector de corriente 125 puede incluir extensiones conductoras 126 posicionadas dentro de la pluralidad de aberturas 116 ubicadas centralmente dentro de la base 114 del recipiente refractario 110.

- 5 El conjunto metalúrgico 100 puede incluir un cierre estanco al gas 130 acoplado alrededor de una primera
abertura 132 definida a través de la tapa 120. El cierre estanco al gas 130 puede estar configurado para
recibir y pasar un ánodo móvil 140 a través del cierre estanco al gas 130 y la primera abertura 132 definida a
través de la tapa 120. Dependiendo del proceso que se esté realizando dentro del recipiente refractario 110,
10 el ánodo puede moverse de una o varias maneras. Por ejemplo, el ánodo 140 puede estar formado por
carbono o algún otro material conductor en algunas realizaciones. El proceso en sí puede consumir al menos
parcialmente carbono en una reacción de oxidación, por ejemplo, que puede producir monóxido de carbono,
dióxido de carbono o algún otro material que contenga carbono. Durante un proceso en el que se consume el
carbono, el ánodo puede reposicionarse, por ejemplo, bajándolo más adentro del recipiente refractario 110,
15 para mantener el contacto con el material electrolítico, mantener una distancia particular entre el ánodo y el
cátodo del sistema o proporcionar material adicional para el consumo. Además, durante las operaciones de
colada, el nivel de material dentro del recipiente refractario 110 puede disminuir, y el ánodo también se puede
bajar para mantener una reacción durante la colada. De manera similar, se pueden incluir otros escenarios en
los cuales el ánodo 140 se traslada durante el funcionamiento. Aunque se ilustran como si incluyeran un solo
ánodo, varias realizaciones pueden incluir múltiples ánodos y sistemas de retención de ánodo dependiendo
20 del tamaño y la forma del recipiente y la distribución de los materiales del cátodo o los colectores de corriente.

- Se puede incluir un cierre estanco al gas 130 para permitir la traslación vertical del ánodo 140, mientras se
mantiene o se mantiene sustancialmente un cierre hermético. Por ejemplo, la primera abertura 132 a través
de la tapa 120 puede tener un tamaño que permita alojar múltiples tamaños de ánodos 140, o puede incluir
25 una tolerancia para permitir el movimiento del ánodo 140 durante el funcionamiento. Un espacio que puede
existir alrededor del ánodo 140 dentro de la primera abertura 132 puede proporcionar una ruta de salida para
el gas formado durante las operaciones. El gas producido puede incluir componentes que pueden ser nocivos
si se liberan sin tratamiento, o puede representar pérdida de calor del sistema, reduciendo la eficiencia del
proceso realizado. En consecuencia, el cierre estanco al gas 130 puede formarse o configurarse para limitar
30 la liberación de gas del recipiente refractario 110 a través de la primera abertura 132 definida a través de la
tapa 120. El cierre estanco al gas 130 puede incluir múltiples placas atornilladas o unidas entre sí, y puede
incluir una o varias juntas para formar una barrera de vapor alrededor del ánodo 140.

- El recipiente refractario 110 puede incluir una serie de capas y materiales en realizaciones de la tecnología.
Aunque la figura 1 ilustra un recipiente refractario de tres capas, se debe entender que los recipientes
refractarios según la presente tecnología pueden incluir 1, 2, 3, 4, 5 o más capas en una variedad de
configuraciones en las realizaciones. Como se ilustra, el recipiente refractario 110 incluye múltiples capas y
puede incluir al menos dos capas de material en algunas realizaciones. El recipiente refractario 110 puede
40 incluir una capa exterior de material 109, que puede ser un material aislante configurado para reducir la
pérdida de calor del recipiente refractario. El recipiente refractario 110 también puede incluir una capa interior
de material 113, que puede estar en contacto con uno o varios materiales dentro del recipiente refractario
110, incluidos componentes electrolíticos. La capa interior de material 113 puede incluir un material
configurado para ser químicamente compatible con un electrolito contenido dentro del volumen interior 115
del recipiente refractario 110. Este material puede ser un material particular para un proceso químico que se
45 realiza dentro del recipiente refractario 110. Por ejemplo, el material 113 puede ser un material químicamente
inerte a uno o varios componentes de un electrolito, o el material puede estar compuesto de materiales
capaces de soportar temperatura, presión y/o condiciones químicas dentro del volumen interior 115 del
recipiente refractario 110.

- El recipiente refractario 110 también puede incluir una capa intermedia de material 111 en algunas
realizaciones. La capa intermedia de material 111 puede proporcionar estabilidad al recipiente refractario en
términos de estructura, temperatura, reactividad u otras características. Cada una de las capas de material
puede incluirse en diversas formas. Por ejemplo, cada capa de material puede formar parte de uno o ambos
50 lados 112 así como de la base 114. Como se ilustra en la figura 1, la capa interior de material 113 puede
formar las paredes laterales interiores del recipiente refractario 110, mientras que la capa intermedia de
material 111 puede formar la base interior y puede definir aberturas a través de la base 114 del recipiente
refractario 110, así como también la capa exterior 109. Se puede colocar una camisa de enfriamiento (no
mostrada) alrededor del recipiente refractario 110, y pueden fluir uno o varios fluidos de enfriamiento
alrededor del recipiente refractario. La camisa de enfriamiento puede incluir, además, una superficie
60 reflectante para reducir el calor radiactivo del recipiente refractario 110. Son posibles otras configuraciones en
las que los materiales forman una o varias zonas del recipiente refractario 110.

- El recipiente refractario 110 puede diseñarse a partir de una serie de materiales utilizados habitualmente en la
producción de hornos, incluidas arcillas refractarias y diversos materiales no metálicos, incluidos óxidos de
65 diversos elementos. A modo de ejemplo, el recipiente puede estar compuesto de metales o cerámicas y
puede incluir óxidos, carburos y/o nitruros de silicio, calcio, magnesio, aluminio y boro. Los materiales de los

recipientes refractarios también pueden incluir uno o varios de hierro, acero, niobio, molibdeno, tantalio, tungsteno, renio, titanio, vanadio, cromo, circonio, hafnio, rutenio, rodio, osmio o iridio, así como óxidos, nitruros y otras combinaciones que incluyen uno o varios de estos materiales. Se pueden utilizar materiales adicionales cuando el material o los materiales sean capaces de soportar temperaturas superiores a o de aproximadamente 500 °C, superiores a o de aproximadamente 1.000 °C, superiores a o de aproximadamente 1.500 °C, superiores a o de aproximadamente 2.000 °C, superiores a o de aproximadamente 2.500 °C, superiores a o de aproximadamente 3.000 °C, superiores a o de aproximadamente 3.500 °C, superiores a o de aproximadamente 4.000 °C, o superiores. A diferencia de muchos recipientes convencionales, tales como muchos recipientes Hall Heroult que pueden estar limitados a temperaturas inferiores o cercanas a 1.000 °C, los recipientes actuales pueden funcionar a temperaturas mucho más altas, lo que facilita el procesamiento electroquímico de muchos metales adicionales que tienen puntos de fusión superiores a 1.500 °C. Además, los materiales pueden no reaccionar con los materiales contenidos dentro del recipiente. El recipiente refractario 110 también puede incluir un orificio 145 configurado para suministrar materiales refinados o trabajados desde el recipiente refractario 110. Los expertos comprenderán fácilmente que los orificios se pueden ubicar en cualquier número de ubicaciones y no deben considerarse limitados al diseño ejemplar ilustrado.

Los materiales del recipiente refractario también pueden formarse o incluir materiales caracterizados por características térmicas particulares. Por ejemplo, la capa interior del material 113 puede caracterizarse por una conductividad térmica mayor que la capa exterior del material 109, que puede ser una capa aislante. Cualquiera de los materiales del recipiente refractario puede caracterizarse por una conductividad térmica inferior a o de aproximadamente 30 W/(m·K), y puede caracterizarse por una conductividad térmica inferior a o de aproximadamente 25 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 20 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 15 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 10 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 5 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 3 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 2 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 1 W/(m·K), inferior a o de aproximadamente 0,5 W/(m·K), o inferiores. La conductividad térmica de cada capa también puede estar en cualquier intervalo más pequeño dentro de cualquiera de estos intervalos establecidos, tales como por ejemplo entre aproximadamente 0,5 W/(m·K) y aproximadamente 2 W/(m·K) o un intervalo más pequeño dentro de este u otros intervalos indicados.

Pasando a la **figura 2** se muestra una vista superior esquemática de una tapa 120 de recipiente metalúrgico ejemplar de acuerdo con realizaciones de la presente tecnología. Como se señaló anteriormente, la tapa 120 puede definir una pluralidad de aberturas a través de la estructura. Se puede proporcionar una abertura central, que puede ser la primera abertura 132, para alojar un ánodo como se describió anteriormente. La tapa 120 puede formar un reborde o brida alrededor de la primera abertura 132 para alojar y proporcionar una superficie estable o plana para un cierre estanco al gas para limitar o impedir la salida de fluido alrededor de un ánodo o electrodo posicionado a través de la primera abertura 132. La tapa 120 también puede definir una abertura de escape 210, que puede tener el tamaño adecuado para distribuir gas desde un recipiente refractario. La abertura de escape 210 también puede incluir un reborde o brida para acoplar tuberías u otros equipos que puedan permitir un cierre estanco al fluido alrededor de la abertura de escape 210. Una abertura de escape puede permitir el control de la presión dentro del sistema metalúrgico y también puede permitir la recuperación del vapor formado para diversos propósitos. Por ejemplo, el vapor recuperado se puede limpiar, depurar o procesar aún más para reducir propiedades dañinas o no deseadas. Además, el vapor recuperado puede utilizarse como fuente de calor para otras operaciones y puede recuperarse para otros usos. Por ejemplo, ciertas operaciones de procesamiento de óxidos metálicos pueden producir gas oxígeno en el ánodo, que puede recogerse del sistema y utilizarse para diversos fines para los que el oxígeno es útil.

La tapa 120 también puede definir una o varias aberturas de alimentación 220, que pueden dimensionarse para distribuir material o materiales en el recipiente refractario. Como se ilustra, las aberturas de alimentación 220 pueden definirse a través de la tapa 120 con relación a la abertura de escape 210. Por ejemplo, dependiendo de los sistemas asociados con la recuperación o procesamiento de gases de escape, así como con la alimentación de material, se puede formar una abertura de alimentación 220a distal a una abertura de escape 210 como se ilustra. La tapa 120 también puede definir múltiples aberturas de alimentación a través de la tapa, que pueden usarse para proporcionar múltiples posiciones de alimentación de un material similar, o pueden proporcionar acceso para alimentar diferentes materiales en un recipiente refractario. Por ejemplo, como se ilustra, la tapa 120 incluye dos aberturas de alimentación 220, aunque se puede incluir un número mayor o menor de aberturas de alimentación. Mientras que la abertura de alimentación 220a se puede utilizar para proporcionar un óxido de un metal objetivo, por ejemplo, la abertura de alimentación 220b se puede utilizar para proporcionar materiales electrolíticos adicionales, materiales de aleación u otros aditivos o componentes en un recipiente refractario. Además, las aberturas de alimentación 220a pueden estar diseñadas para facilitar el suministro de material particulado fino, tal como por ejemplo a través de un tamiz o una abertura en forma de embudo. Muchos sistemas convencionales implican un funcionamiento turbulento que puede provocar sinterización o aglomeración del material suministrado. La tecnología actual puede proporcionar un funcionamiento mucho más estable, permitiendo que materiales de partículas finas se suministren al sistema.

Una ventaja de los sistemas descritos en la presente tecnología es que pueden facilitar el procesamiento continuo de materiales, a diferencia de los hornos de arco eléctrico. Los sistemas actuales pueden consumir continuamente electricidad para generar calor y producir materiales finales. Muchos reactores convencionales de alta temperatura solo pueden funcionar en procesamiento por lotes. Aunque algunos sistemas Hall Heroult pueden funcionar con consumo eléctrico continuo, estos sistemas funcionan a temperaturas mucho más reducidas, lo que reduce la generación de calor y la radiación. A partir de estas ventajas, se incluye un orificio de alimentación que puede recibir una corriente controlada de un óxido de un metal objetivo, lo que puede facilitar el procesamiento continuo. Las aberturas de alimentación 220 también pueden incluir un reborde o brida para acoplar tuberías u otros componentes asociados con el suministro de material, lo que puede permitir que se forme un cierre estanco alrededor de las aberturas de alimentación. Debido a que el equipo de alimentación asociado puede estar acoplado a la tapa 120, ya sea directa o indirectamente, la extracción del equipo para agregar otros componentes puede resultar difícil o ineficiente. En consecuencia, para sistemas multicomponentes o para coordinar materiales electrolíticos, se pueden definir múltiples aberturas de alimentación 220 a través de la tapa 120.

La tapa 120 también puede definir aberturas 230, que pueden incluir aberturas de inyección así como aberturas de detección. Algunas operaciones pueden beneficiarse de la inyección de gas durante la operación. Las aberturas de alimentación de gas pueden permitir la incorporación de diversos elementos al recipiente refractario. Las aberturas de alimentación de gas incluidas en las aberturas 230 pueden incluir una boquilla u orificio al cual se pueden acoplar líneas de gas, o pueden incluir entradas en las cuales se pueden introducir tuberías de gas. Las aberturas 230 también pueden incluir aberturas para equipos de detección, incluidas operaciones de detección de temperatura, presión, electricidad y otras. Los sensores y equipos utilizados pueden configurarse específicamente para funcionar a temperaturas de hasta, superiores a o de aproximadamente 1.000 °C, superiores a o de aproximadamente 2.000 °C, superiores a o de aproximadamente 3.000 °C, o superiores. Sin embargo, se pueden utilizar muchos sensores estándar desde la perspectiva operativa única de la tecnología actual. Los sistemas descritos pueden producir un efecto de calor localizado dentro del recipiente, lo que puede hacer que varias ubicaciones alrededor del recipiente tengan temperaturas que pueden estar varios cientos de grados por debajo de una porción central del recipiente. Esto puede permitir la incorporación de sensores y otros equipos que históricamente no se podían incluir en algunos sistemas convencionales, tales como hornos de arco eléctrico, debido a la transferencia radiactiva de calor a temperaturas que pueden superar los 2.000° C. De manera similar a otras aberturas definidas en la tapa 120, las aberturas 230 pueden proporcionar un cierre estanco para limitar o impedir la pérdida de gas o la pulverización del recipiente refractario.

La tapa 120 también puede incluir orificios de acceso 240, que pueden extenderse desde la tapa 120 en varias direcciones, ubicaciones o en varios ángulos. Los orificios de acceso pueden incluir zonas roscadas u otras conexiones de junta o brida, que pueden permitir que los orificios de acceso se cierren de forma estanca con un tapón u otro cierre durante el funcionamiento para limitar o impedir la liberación de gas. Los orificios de acceso pueden facilitar la inspección visual, las pruebas u otras operaciones al proporcionar diversos accesos a zonas del recipiente refractario. Los orificios de acceso 240 pueden estar distribuidos alrededor de la tapa 120 como se ilustra para proporcionar acceso a diferentes zonas del recipiente refractario durante el funcionamiento. La tapa 120 puede incluir cualquier número de cada tipo de abertura a través de la tapa, y la configuración ilustrada es simplemente una única configuración posible abarcada por la presente tecnología. Se debe entender que la tecnología actual también abarca otras configuraciones, números de aberturas y combinaciones de aberturas.

La **figura 3** ilustra una vista esquemática, en sección transversal, adicional de un recipiente refractario 300 de acuerdo con realizaciones de la presente tecnología. El recipiente refractario 300 puede incluir una configuración adicional de materiales, que puede incluir una capa de polvo 310. La capa de polvo 310 puede ser o incluir cualquiera de los materiales descritos anteriormente, y puede endurecerse estructuralmente a temperaturas de funcionamiento, que pueden superar los 1.000 °C. La capa de polvo 310 puede definir al menos parcialmente las paredes laterales del recipiente refractario 300. El recipiente refractario 300 también puede incluir una capa de compatibilidad 320. La capa de compatibilidad 320 puede definir la base interior del recipiente refractario 300, y puede definir las aberturas a través de las cuales se pueden distribuir los elementos conductores del colector de corriente. Como se ilustra, la capa de compatibilidad 320 también puede definir al menos parcialmente las paredes laterales del recipiente refractario junto con la capa de polvo 310. La capa de compatibilidad 320 puede configurarse para ser compatible químicamente, térmicamente o de otro modo con los materiales incluidos dentro del recipiente refractario. El recipiente refractario 300 también puede incluir un material de aislamiento 330 incluido en una zona exterior alrededor del recipiente refractario 300.

Las características del recipiente refractario 300 pueden basarse en parte en los materiales utilizados en la formación del recipiente. Por ejemplo, el óxido de aluminio, el óxido de magnesio, el óxido de circonio u otros materiales pueden contribuir a las características del recipiente refractario. Por ejemplo, la resistividad del refractario puede variar desde mayor a o de aproximadamente 1,0E24 Ω·m a temperaturas inferiores a aproximadamente 500 °C hasta menor a o de aproximadamente 1,0E9 Ω·m a temperaturas superiores a

1.000 °C, y puede incluir cualquier valor en este intervalo. Además, el porcentaje de conductividad iónica a temperaturas superiores a 500 °C puede variar dependiendo de los materiales. Cuando se utilizan materiales con menor transferencia iónica, la conductividad iónica puede reducirse hasta el cero por ciento, mientras que si se incorporan materiales con mayor transferencia iónica, la conductividad puede ser de hasta 100 por ciento y puede incluir cualquier valor en este intervalo.

El recipiente refractario puede caracterizarse por un coeficiente de expansión térmica también basado en los materiales utilizados en el recipiente. Por ejemplo, un coeficiente de expansión térmica del refractario puede estar entre aproximadamente 2 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ y aproximadamente 18 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$ o más, y puede incluir cualquier valor en este intervalo. El valor puede ajustarse en función de las temperaturas de operación y puede caracterizarse por un cambio basado en la temperatura de aproximadamente -1 a aproximadamente +1 con diferentes materiales y temperaturas de operación. El recipiente refractario también puede caracterizarse por una porosidad basada en parte en los materiales y la formación del recipiente. En algunas realizaciones, el refractario puede caracterizarse por una porosidad de menos de o aproximadamente el 10 % hasta más de o aproximadamente el 80 %, y puede incluir cualquier porosidad específica dentro de este intervalo. La porosidad puede aumentar la capacidad aislante del refractario y, en algunas realizaciones, la porosidad puede ser mayor de o aproximadamente el 50 %.

Pasando a la **figura 4** se ilustra una vista esquemática, en perspectiva, de un colector de corriente 400 según realizaciones de la presente tecnología. Como se ilustra, el colector de corriente 400 puede incluir un bloque 420, que puede incluir una o varias barras colectoras 430 para proporcionar comunicación eléctrica desde el conjunto metalúrgico. El colector de corriente 400 también puede incluir una pluralidad de extensiones conductoras 425 que sobresalen del bloque 420. Las extensiones conductoras 425 pueden incluirse en un patrón como se ilustra, pero el número y el patrón pueden determinarse para un recipiente metalúrgico particular.

El número y la posición de las extensiones conductoras 425 pueden afectar el flujo de calor y la potencia térmica a través del recipiente, y por lo tanto, al ajustar el número y la posición de los elementos conductores, el sistema se puede ajustar de varias maneras para desarrollar estabilidad o equilibrio dentro del recipiente. En consecuencia, para los conjuntos y recipientes metalúrgicos ejemplares de la presente tecnología, los elementos conductores pueden posicionarse a lo largo del bloque colector de corriente 420 de acuerdo con un patrón configurado para proporcionar equilibrio térmico y fluido en todo el recipiente refractario durante el funcionamiento. El patrón puede adoptar una variedad de geometrías según el tamaño y la forma del recipiente, y el número y el espaciado de las extensiones conductoras también pueden modificarse de manera similar.

En algunas realizaciones, el colector de corriente y/o el ánodo pueden no estar conectados eléctricamente con el recipiente. Los componentes también pueden estar aislados eléctricamente de la tapa. Se puede permitir que el recipiente flote eléctricamente, lo que puede limitar o impedir la conexión a tierra eléctrica de la celda electroquímica. De esta manera, durante eventos operacionales en los cuales la corriente parásita produce un cortocircuito desde el contenido interno hacia el recipiente o la tapa, no necesariamente hay un cortocircuito a tierra.

Al afectar el flujo de calor y energía a través de la celda, las extensiones conductoras también pueden utilizarse para controlar la forma y la ubicación de un material que contiene metal ubicado dentro del conjunto metalúrgico. Por ejemplo, las celdas de electrolisis industriales pueden utilizar o formar una almohadilla del metal que se está refinando para producir capas estratificadas de material a través del recipiente refractario, con el metal más denso y refinado a lo largo de la base del recipiente refractario. Sin embargo, esta almohadilla puede ser relativamente gruesa para mantener un perfil plano dentro del refractario. La configuración de las extensiones conductoras puede afectar la corriente a través del sistema, que puede configurarse para hacer que la almohadilla de fusión quede plana dentro del refractario.

En muchas configuraciones de la tecnología actual, el metal fundido formado a lo largo de la base del recipiente refractario puede funcionar como cátodo en la operación. Las extensiones o pines conductores 425 pueden incluirse en función de sus cualidades conductoras y pueden incluir un metal en algunas realizaciones. Por ejemplo, las extensiones conductoras 425 pueden ser o incluir plata, cobre, oro, aluminio, zinc, níquel, latón, bronce, hierro, platino, un material que contenga carbono, plomo o acero en algunas realizaciones. En una realización, las extensiones conductoras 425 pueden incluir cobre, que tiene un punto de fusión inferior a 1.100 °C. Sin embargo, si el metal que se está refinando es, por ejemplo, hierro, el hierro líquido puede estar a una temperatura superior a 1.500 °C. En consecuencia, el metal fundido puede fundir las extensiones conductoras 425 para producir una mezcla fundida de los elementos conductores y el metal que se está refinando.

Las extensiones conductoras pueden ser un metal que tenga un punto de fusión inferior a la temperatura de fusión del material que se está refinando dentro del recipiente. En tal caso, la parte de las extensiones conductoras 425 en contacto con el material dentro del recipiente también puede fundirse. Debido a la

temperatura relativamente estable más allá del punto de fusión del material dentro del recipiente, el calor puede transmitirse hasta cierto punto a través de la base refractaria 114 y las extensiones conductoras 425. Esto puede provocar que al menos una parte de las extensiones conductoras 425 se fundan. Este material líquido, que puede incluir también una mezcla del material que se está refinando, puede llenar cualquier espacio intersticial entre las extensiones conductoras y la abertura antes de solidificarse nuevamente dentro del orificio del pasador o las aberturas 116 descritas anteriormente a medida que el metal se aleja del centro térmico. En funcionamiento, esto puede proteger contra la salida de material fundido a través de la abertura hacia el colector, lo que puede causar un fallo del sistema si no se regula. En consecuencia, los materiales pueden tener capacidad de autocurarse dentro de la estructura. En algunas realizaciones, también se puede proporcionar enfriamiento adicional a los elementos conductores, como por ejemplo a través de una transferencia de fluido al aire, agua o algún otro fluido que pueda transferir calor desde los elementos conductores.

Las aberturas pueden caracterizarse cada una por un volumen configurado para alojar dentro de cada una de la pluralidad de aberturas al menos una porción de cada uno de los elementos conductores en un estado fundido. Esto puede incluir una mezcla fundida de las extensiones conductoras y el material que se está refinando. En algunas realizaciones, la longitud de las extensiones conductoras puede mantenerse en un nivel igual o inferior al espesor de la base refractaria 114. De esta manera, el material dentro del refractario puede mantenerse en un estado sustancialmente más puro y cuando este material se retira o se extrae, es menos probable que también extraiga material de los elementos conductores.

La **figura 5** ilustra una vista esquemática, en perspectiva, de un sistema metalúrgico 500 ejemplar según realizaciones de la presente tecnología. El sistema metalúrgico 500 puede incluir algunos o todos los componentes del conjunto metalúrgico 100 como se describió anteriormente. Por ejemplo, el sistema metalúrgico 500 puede incluir el recipiente refractario 110. El recipiente refractario 110 puede incluir un orificio 502 para proporcionar acceso para la colada del recipiente refractario 110. El orificio 502 puede incluir un labio o conector para acoplar un canal para suministrar material refinado desde el recipiente refractario 110 en algunas realizaciones. El sistema metalúrgico 500 también puede incluir una tapa 120, que puede estar configurada para formar un cierre sustancialmente hermético con el recipiente refractario 110 como se describió anteriormente. La tapa 120 también puede definir una pluralidad de aberturas como se analizó anteriormente con respecto a la figura 2.

El sistema metalúrgico 500 también puede incluir un conjunto de soporte de electrodos 510. El conjunto de soporte de electrodos puede incluir una serie de componentes para controlar el uso y el movimiento de un electrodo con el sistema, que puede ser el ánodo en algunas realizaciones. El conjunto de soporte de electrodos 510 puede incluir un soporte trasladable verticalmente 515. El soporte 515 puede configurarse para acoplarse con el electrodo 520, que puede ser similar al ánodo 140 descrito anteriormente. El soporte 515 también puede acoplar eléctricamente el electrodo 520 con una fuente de energía para el funcionamiento del sistema metalúrgico. Ciertas configuraciones o usos operativos del sistema metalúrgico 500 pueden consumir o dañar el electrodo 520, que puede necesitar ser reemplazado. En consecuencia, el soporte 515 puede dimensionarse para alojar al menos una parte de un primer electrodo y una parte de un segundo electrodo simultáneamente, lo que permite el uso continuo del electrodo, sin requerir tiempo de inactividad del sistema para la transferencia del componente. En funcionamiento, el electrodo 520, que puede ser un ánodo, puede extenderse dentro de un volumen interno del recipiente refractario 110 como se describió anteriormente a través del cierre estanco al gas 130 acoplado a la tapa 120. Una porción distal del electrodo 520 puede luego acoplarse con el soporte trasladable verticalmente 515, que puede acoplarse con maquinaria para trasladar el ánodo durante el funcionamiento del sistema metalúrgico 500.

El conjunto de soporte de electrodos 510 y el recipiente refractario 110 pueden ser componentes independientes en algunas realizaciones dependiendo del tamaño del sistema o de los requisitos volumétricos. Además, como se ilustra, uno o ambos del conjunto de soporte de electrodos 510 y del recipiente refractario 110 pueden incorporarse con una base de sistema 525 configurada para soportar y espaciar los componentes entre sí para su procesamiento. El colector de corriente 125 puede ubicarse debajo del recipiente refractario 110 como se explicó anteriormente, y por lo tanto la base del sistema 525 puede configurarse para alojar el colector de corriente 125. Como se ilustra, la base del sistema 525 puede incluir una plataforma 527 sobre la cual se puede apoyar el recipiente refractario 110. La plataforma 527 puede tener una forma de marco para proporcionar acceso a las extensiones conductoras del colector de corriente 125 para extenderse dentro del recipiente refractario 110 y acoplarse eléctricamente con el recipiente refractario 110. El colector de corriente 125 puede colocarse entre la plataforma 527 y la base del sistema 525. En algunas realizaciones, el colector de corriente puede estar acoplado con la base del sistema 525 o la plataforma 527, mientras que en otras realizaciones, el colector de corriente puede no estar acoplado con ninguna de las estructuras, y puede estar acoplado y mantenido por el recipiente refractario 110. La plataforma 527 también puede proporcionar protección sobre las conexiones de la barra colectora del colector de corriente 125, donde se pueden realizar conexiones eléctricas.

El conjunto de soporte de electrodos 510 puede incluir múltiples componentes para permitir un movimiento de

ajuste fino del electrodo 520. Debido a que el electrodo 520 puede estar ubicado centralmente sobre el recipiente refractario 110, el conjunto de soporte de electrodos 510 puede ubicarse lateralmente con respecto al recipiente refractario 110, mientras se extiende al menos parcialmente a través del recipiente refractario 110 para acoplarse con el electrodo 520. El conjunto de soporte de electrodos 510 puede incluir al menos una estructura estacionaria y al menos una estructura trasladable que funcionan en conjunto para controlar el movimiento del electrodo 520. Por ejemplo, el conjunto de soporte de electrodos 510 puede incluir un mástil 530, que puede ser estacionario en algunas realizaciones. Por ejemplo, el mástil 530 puede estar acoplado fijamente a la base del sistema 525, o a alguna otra estructura sobre la cual se proporciona el sistema metalúrgico 500. El mástil 530 puede incluir una pista u otras características sobre las cuales puede extenderse el carro 535. El carro 535 puede acoplarse de forma móvil con cualquiera de los componentes del mástil 530, tal como una pista 540 ilustrada.

Tanto el carro 535 como el mástil 530 pueden incluir un control motorizado para mover el carro 535 verticalmente sobre el mástil 530. Por ejemplo, el carro 535 puede incluir un control motorizado que le permite moverse y detenerse en cualquier número de ubicaciones a lo largo de la pista 540. La pista 540 también puede funcionar para dirigir el carro 535, mientras que una estructura adicional, tal como la guía 545, puede permitir que el carro 535 se mueva verticalmente. La guía y/o el carro pueden incluir una guía de cadena o de tornillo que permite que el carro 535 realice movimientos minuciosos a lo largo del mástil 530. Además, el mástil 530 puede incluir un controlador motorizado que puede girar o habilitar de otro modo la guía 545, que puede ajustar la altura del carro 535 a lo largo de la pista 540. Se debe entender que estas realizaciones son meramente ejemplos y que cualquier otra cantidad de facultades para proporcionar la traslación vertical del carro 535 están igualmente abarcadas por la presente tecnología.

El conjunto de soporte de electrodos 510 también puede incluir una viga 550 acoplada al carro 535. La viga 550 puede incluir al menos uno, dos o más brazos acoplados al carro 535. Como se ilustra, la viga 550 incluye dos brazos acoplados a lados opuestos del carro 535 alrededor del mástil 530. La viga 550 puede acoplar el soporte trasladable verticalmente 515 con el carro 535. Debido a las dimensiones del recipiente refractario 110 y la ubicación del ánodo 520, la viga 550 puede extenderse lateralmente de una o varias maneras desde el mástil 530 hasta una posición en línea relativa con una porción central de la tapa 120. Por ejemplo, como se ilustra, la viga 550 puede ser o incluir un diseño curvo o componentes curvos que se extienden desde un primer extremo de la viga 550 acoplado con el carro 535 hasta un segundo extremo con el cual está acoplado el soporte trasladable verticalmente 515. El segundo extremo de la viga 550 puede curvarse hasta una ubicación que posicione el soporte trasladable verticalmente 515 en línea con una abertura, tal como una abertura central de la tapa 120. En otros ejemplos, la viga 550 puede incluir múltiples piezas, tales como un elemento en forma de L u otro elemento de múltiples piezas que incluye un componente vertical así como un componente lateral. Por ejemplo, la viga 550 puede posicionar el soporte en alineación axial alrededor de un eje vertical con una abertura de la tapa 120, tal como la abertura central 132 como se describió anteriormente.

Aunque se denomina viga a lo largo de la presente invención, se debe entender que el término viga para la viga 550 pretende cubrir o definirse como cualquier elemento de soporte tal como un contrafuerte, vigueta, riostra, barra, brazo, puntal o cualquier elemento o elementos de soporte o estructurales que puedan acoplarse con el mástil y el ánodo en realizaciones. Aunque se ilustra una viga específica, se debe entender que se pueden utilizar diferentes soportes mecánicos para el mismo efecto y que están igualmente abarcados por la presente tecnología.

El sistema metalúrgico 500 también puede incluir sistemas eléctricos. Se puede colocar un bus de cátodo 555 en la base del sistema 525, lo que puede proporcionar una ubicación de acoplamiento eléctrico desde una fuente de energía (no se muestra). De manera similar, un bus de ánodo 560 puede ubicarse en el mástil 530, lo que puede proporcionar una ubicación de acoplamiento eléctrico desde una fuente de energía (no mostrada). Los dos conectores de bus pueden permitir que el sistema metalúrgico 500 se acople con una fuente de energía como una celda permitiendo que cualquiera de los electrodos funcione como ánodo o cátodo del sistema dependiendo del esquema de conexión particular. Se puede proporcionar una fuente de energía separada para operar o proporcionar energía motriz al carro 535. En consecuencia, el conjunto de soporte de electrodos 510 puede estar acoplado con dos fuentes de energía en realizaciones en las que una primera fuente de energía está acoplada eléctricamente a través del soporte o viga trasladable verticalmente al electrodo 520, y una segunda fuente de energía está acoplada eléctricamente con el carro.

La **figura 6** ilustra una vista esquemática, en perspectiva, de un sistema metalúrgico 600 ejemplar según realizaciones de la presente tecnología. El sistema metalúrgico 600 puede incluir algunos o todos los componentes del conjunto metalúrgico 100 como se describió anteriormente, y puede incluir algunos o todos los componentes del sistema metalúrgico 500 como se describió anteriormente. Por ejemplo, el sistema metalúrgico 600 puede incluir el recipiente refractario 110. El sistema metalúrgico 600 también puede incluir una tapa 120, que puede estar configurada para formar un cierre sustancialmente hermético con el recipiente refractario 110 como se describió anteriormente. La tapa 120 también puede definir una pluralidad de aberturas como se analizó anteriormente con respecto a la figura 2. Por ejemplo, la tapa 120 puede incluir al

menos un orificio de escape 210 y puede incluir al menos un orificio de alimentación 220. El sistema metalúrgico 600 también puede incluir un conjunto de soporte de electrodos 510 como se describió anteriormente.

El sistema metalúrgico 600 también puede incluir sistemas asociados para el suministro y la extracción de materiales del recipiente refractario. Por ejemplo, el sistema metalúrgico 600 puede incluir un sistema de escape 610 configurado para recibir o retirar materiales del recipiente refractario 110. El sistema de escape 610 puede incluir tuberías acopladas a la tapa 120 en el orificio de escape 210. Como se explicó anteriormente, la tapa 120 puede proporcionar un cierre hermético con el recipiente refractario 110 para contener el vapor producido, tal como los materiales que contienen oxígeno desarrollados en el ánodo. Estas especies de gas pueden eliminarse del recipiente refractario 110 a través de una tubería acoplada al orificio de escape 210. La tubería puede incluir una o varias válvulas para permitir una eliminación controlada de especies de gas del recipiente refractario en algunas realizaciones. Por ejemplo, aunque en algunas realizaciones el vapor efluente puede fluir libremente desde el recipiente refractario 110 a través de una tubería acoplada al orificio de escape 210, en algunas realizaciones el acceso a través del orificio de escape 210 puede controlarse para que se produzca a intervalos establecidos, como cuando se ha acumulado una cantidad de especies de gas dentro del recipiente refractario. Por ejemplo, los sensores pueden detectar una acumulación de presión dentro del recipiente refractario 110, lo que puede provocar, automáticamente o de otra manera, la liberación de gas del recipiente hacia el sistema de escape 610.

El sistema de escape 610 puede incluir cualquier número de filtros, depuradores o dispositivos de tratamiento para facilitar la recogida y/o tratamiento de especies de gas del sistema metalúrgico 600. Por ejemplo, algunos subproductos operativos pueden incluir oxígeno, que puede filtrarse a medida que sale del recipiente refractario 110 y luego recogerse. El sistema de escape 610 puede incluir un depósito de sedimentación 612, configurado para permitir la eliminación de partículas de especies de escape. Como durante el funcionamiento puede formarse una costra de electrolito congelado, se puede proporcionar un acceso adicional para perforar la costra y acceder a las especies de gas contenidas en su interior. La eliminación puede arrastrar material particulado de la corteza o de materiales internos, que pueden depositarse en el depósito 612 a medida que las especies de gas se entregan a través del sistema de escape 610. En otras realizaciones, las especies de gas efluente pueden incluir gases que pueden tratarse por razones ambientales o para recoger un producto más valioso. Debido a que las especies de gas pueden salir del recipiente refractario a temperaturas de cientos o miles de grados, el calor puede utilizarse para provocar el tratamiento. Por ejemplo, se puede incluir un convertidor catalítico con un sistema de arrastre de aire que puede permitir que las especies de efluentes salientes se conviertan, por ejemplo, de monóxido de carbono a dióxido de carbono. El sistema de escape 610 también puede incluir un aparato para recoger monóxido de carbono. Además, se puede incluir un quemador 614 con una fuente de aire u oxígeno para oxidar los efluentes en especies alternativas. El sistema de escape 610 también puede incluir el armario 616, que puede incluir controles y sistemas de suministro de fluido para su uso en la recogida y/o tratamiento de los gases de escape.

El sistema metalúrgico 600 también puede incluir un sistema de alimentación 620 acoplado operativamente con uno o varios orificios de alimentación 220. Nuevamente, el sistema de alimentación 620 puede acoplarse con la tapa 120 para mantener un cierre hermético con el sistema. El sistema de alimentación puede permitir el suministro de material de partida al recipiente refractario 110 para producir un material objetivo. Por ejemplo, los óxidos de un metal objetivo pueden suministrarse al recipiente refractario 110 a través del sistema de alimentación 620. El sistema de alimentación puede suministrar material de forma continua, o la entrega puede estructurarse en torno a la producción y eliminación del material objetivo, tal como la entrega periódica o por lotes de materiales, lo que puede permitir el funcionamiento continuo del recipiente refractario 110 y del sistema metalúrgico 600. El sistema de alimentación 620 también puede incluir una herramienta para perforar una costra de electrolito antes de suministrar material al recipiente refractario. En algunas realizaciones, se pueden incluir múltiples orificios de alimentación en la tapa y se pueden utilizar sistemas de alimentación adicionales para la entrega de múltiples materiales o la entrega a diferentes áreas del recipiente.

Los sistemas y dispositivos descritos anteriormente pueden utilizarse en diversos procedimientos de procesamiento de materiales. La **figura 7** ilustra operaciones seleccionadas en un procedimiento 700 ejemplar de utilización de un sistema metalúrgico según la presente tecnología. Los procedimientos pueden utilizar cualquiera o todos los dispositivos o sistemas descritos anteriormente en una variedad de operaciones, desde el refinamiento de metales hasta el procesamiento y producción de aleaciones y otros productos a partir de una variedad de materias primas.

Se puede depositar una cantidad inicial de material en el recipiente refractario 110 en la operación 710. Los materiales pueden incluir al menos algo de un metal o material que contenga metal, tal como un mineral, un electrolito, escoria, coque u otros materiales refractarios o de horno. Dependiendo del tipo de horno o del procedimiento operativo, el electrodo 140 puede ser el ánodo o el cátodo en comunicación con la pluralidad de elementos conductores, y puede ser de cualquier polaridad en funcionamiento. Por ejemplo, en la electrólisis de óxido fundido, el electrodo 140 puede ser el ánodo, y se puede suministrar una corriente a

través del ánodo a los materiales alojados dentro del recipiente y a través de las extensiones conductoras 425 al colector 125. La corriente suministrada puede producir calentamiento Joule dentro del recipiente refractario en la operación 720, lo que puede iniciar el procesamiento de los materiales. Se puede suministrar una corriente alta, que puede ser de cientos, miles o cientos de miles de amperios, a través del sistema para generar calor. Por ejemplo, la corriente puede estar entre aproximadamente 1000 y aproximadamente 5000 amperios, o puede estar entre aproximadamente 5000 y aproximadamente 10000 amperios en algunas realizaciones. La corriente puede ser cualquier cantidad individual dentro de estos intervalos, como por ejemplo 4000 amperios, o puede ser superior o inferior a cualquiera de los números indicados. El calor generado puede desarrollar temperaturas en el recipiente suficientes para fundir los materiales dentro del mismo.

A medida que los materiales se funden, puede ocurrir un proceso de reducción-oxidación para separarlos. Por ejemplo, si dentro de los materiales a refinar se incluyen óxidos de metales, como por ejemplo óxido de hierro, óxido de aluminio, etc., los iones que contienen oxígeno pueden fluir hacia el ánodo 140 y oxidarse, mientras que los iones metálicos fluyen hacia el colector de corriente 125 y se reducen. El metal que puede formarse en la base refractaria 114 dentro de la zona interior 115 puede ser un metal fundido, cargado negativamente, y por lo tanto actuar como el cátodo del proceso, mientras recibe electrones de las extensiones conductoras del colector de corriente 125. Este metal fundido cargado negativamente puede refinarse mediante el proceso y extraerse o recuperarse del recipiente a través de uno o varios orificios 502 en la operación 730. Los iones de oxígeno pueden formar gas oxígeno en el ánodo 140 y pueden desarrollarse burbujas de gas oxígeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono u otras especies de gas y liberarse del recipiente. Mientras que el metal fundido producido se recupera del sistema en la operación 730, el volumen de material dentro del recipiente refractario 110 puede reducirse. Si los componentes del sistema no están ajustados, el ánodo 140 puede perder contacto con los materiales del electrolito. En consecuencia, durante la operación, así como durante la extracción, el ánodo 140 puede modularse verticalmente para mantener el contacto con los materiales dentro del recipiente refractario 110 en la operación 740. De manera similar, a medida que se suministra material adicional al recipiente refractario 110, el nivel de material puede aumentar dentro del recipiente y el ánodo 140 puede elevarse.

Los materiales electrolíticos utilizados en las operaciones de procesamiento pueden seleccionarse en función de los materiales que se estén produciendo. En algunas realizaciones, una familia de electrolitos utilizados para la producción de electrólisis de óxido metálico de metales relativamente más reactivos puede incluir óxidos metálicos, así como mezclas de especies de óxido. Los óxidos metálicos ejemplares pueden incluir BeO, CaO, MgO, SrO y BaO. Además, los óxidos de Al, Si, Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm o Yb pueden incluirse con cualquiera de las otras especies de óxido. El presente sistema también podrá utilizarse con metales radiactivos y cualquier otro material que pueda facilitar el procesamiento según la tecnología actual. Las proporciones de los óxidos incluidos en las mezclas de electrolitos pueden elegirse para que coincidan con las propiedades físicas y químicas necesarias para la extracción del metal objetivo mediante electrólisis de óxido fundido. Las propiedades físicas pueden incluir que el electrolito sea menos denso que el metal objetivo o la aleación objetivo, cuando el metal objetivo se reduce a una aleación huésped. En algunas realizaciones, la diferencia de densidad puede ser de al menos aproximadamente 0,2 g/cm³, aunque en algunas realizaciones la diferencia de densidad puede ser mayor o menor, aunque valores mayores pueden facilitar la separación. Además, los materiales electrolíticos pueden caracterizarse por una mayor densidad que los materiales objetivo, lo que puede ocurrir en el procesamiento de aleaciones, por ejemplo.

El funcionamiento de los sistemas según la tecnología actual puede ocurrir en un intervalo de valores, que pueden basarse en parte en los materiales que se procesan. Por ejemplo, las densidades de corriente del ánodo y del cátodo pueden incluir promedios en un intervalo de valores. Las densidades de corriente del cátodo pueden variar desde menos de o aproximadamente 0,3 A/cm² hasta aproximadamente 10 A/cm² o más. Las densidades de corriente del ánodo pueden estar en intervalos basados en parte en el material del ánodo utilizado. Por ejemplo, los ánodos inertes pueden operar dentro de un intervalo reducido de densidades de corriente en comparación con el grafito u otros materiales de ánodos. Según la tecnología actual, los materiales de ánodo inerte pueden operar a densidades de corriente de menos de o alrededor de 2 A/cm² a alrededor de 10 A/cm² o más. Además, los materiales de ánodo de grafito pueden funcionar a densidades de corriente de menos de o aproximadamente 0,5 A/cm² a aproximadamente 40 A/cm² o más. Las diferencias de voltaje entre los materiales del ánodo y del cátodo pueden variar de manera similar según el material utilizado para el ánodo, y los materiales inertes forman una ventana operativa más estrecha. Por ejemplo, en combinaciones que utilizan un material de ánodo inerte, las diferencias de voltaje entre el ánodo y el cátodo pueden variar entre aproximadamente 1 V hasta aproximadamente 110 V o más. Además, en combinaciones que utilizan grafito u otro material de ánodo, las diferencias de voltaje entre el ánodo y el cátodo pueden variar entre aproximadamente 1 V hasta aproximadamente 130 V o más.

En la descripción anterior, a efectos explicativos, se han expuesto numerosos detalles con el fin de facilitar la comprensión de diversas realizaciones de la presente tecnología. Sin embargo, será evidente para un experto en la materia que ciertas realizaciones pueden practicarse sin algunos de estos detalles o con detalles

adicionales.

5 Habiéndose descrito varias realizaciones, los expertos en la materia reconocerán que se pueden utilizar diversas modificaciones, construcciones alternativas y equivalentes. Además, no se han descrito una serie de procesos y elementos bien conocidos para evitar oscurecer innecesariamente la tecnología actual. Por consiguiente, la descripción anterior no debe tomarse como una limitación del alcance de la tecnología.

10 Cuando se proporciona un intervalo de valores, se entiende que cada valor intermedio, hasta la fracción más pequeña de la unidad del límite inferior, a menos que el contexto indique claramente lo contrario, entre los límites superior e inferior de ese intervalo también se da a conocer específicamente. Se incluye cualquier intervalo más estrecho entre cualquier valor establecido o valor intermedio no establecido en un intervalo establecido y cualquier otro valor establecido o intermedio en ese intervalo establecido. Los límites superior e inferior de esos intervalos más pequeños pueden incluirse o excluirse independientemente en el intervalo, y cada intervalo en el que uno, ninguno o ambos límites están incluidos en los intervalos más pequeños
15 también está abarcado dentro de la tecnología, sujeto a cualquier límite específicamente excluido en el intervalo establecido. Cuando el intervalo indicado incluye uno o ambos límites, también se incluyen los intervalos que excluyen uno o ambos de esos límites incluidos. Cuando se proporcionan múltiples valores en una lista, cualquier intervalo que abarque o se base en cualquiera de esos valores se da a conocer específicamente de manera similar.

20 Tal como se utiliza en este documento y en las reivindicaciones adjuntas, las formas singulares "un", "una" y "el" incluyen referencias plurales a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Así, por ejemplo, la referencia a "un material" incluye una pluralidad de dichos materiales, y la referencia a "la celda" incluye la referencia a una o varias celdas y equivalentes de las mismas conocidos por los expertos en la materia, y así sucesivamente.
25

Además, las palabras "comprende(n)", "que comprende", "contiene(n)", "que contiene", "incluye(n)" e "que incluyen", cuando se utilizan en esta memoria descriptiva y en las siguientes reivindicaciones, tienen por objeto especificar la presencia de características, números enteros, componentes u operaciones establecidos, pero no excluyen la presencia o adición de una o varias características, números enteros,
30 componentes, operaciones, actos o grupos diferentes.

REIVINDICACIONES

1. Conjunto metalúrgico (100) que comprende:

- 5 un recipiente refractario (110) que incluye lados (112) y una base (114), en el que la base (114) define una pluralidad de aberturas (116) ubicadas centralmente dentro de la base (114), en el que los lados (112) y la base (114) definen al menos parcialmente un volumen interior (115) del recipiente refractario (110), en el que el recipiente refractario (110) comprende al menos dos capas de material, en el que una capa exterior (109) comprende un material aislante, y en el que una capa interior (113) comprende un material configurado para
10 ser químicamente compatible con un electrolito contenido dentro del volumen interior (115) del recipiente refractario (110);
una tapa (120) acoplada de forma desmontable con el recipiente refractario (110) y configurada para formar un cierre estanco con el recipiente refractario (110), en el que la tapa (120) define una pluralidad de aberturas a través de la tapa (120); y
15 un colector de corriente (125) próximo a la base (114) del recipiente refractario (110), en el que el colector de corriente (125) incluye extensiones conductoras (126) posicionadas dentro de la pluralidad de aberturas (116) ubicadas centralmente dentro de la base (114).
- 20 2. Conjunto metalúrgico, según la reivindicación 1, que comprende, además, un cierre estanco al gas (130) acoplado alrededor de una primera abertura (132) de la pluralidad de aberturas definidas a través de la tapa (120), en el que el cierre estanco al gas (130) está configurado para recibir y pasar un ánodo móvil (140) a través del cierre estanco al gas (130) y la primera abertura (132) definida a través de la tapa (120).
- 25 3. Conjunto metalúrgico, según la reivindicación 2, en el que el cierre estanco al gas (130) está configurado para limitar la liberación de gas del recipiente refractario (110) a través de la primera abertura (132) de la pluralidad de aberturas definidas a través de la tapa (120).
- 30 4. Conjunto metalúrgico, según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de aberturas definidas a través de la tapa (120) comprenden una abertura de escape (210) dimensionada para distribuir gas desde el recipiente refractario (110), y una abertura de alimentación (220a) dimensionada para distribuir material en el recipiente refractario (110).
- 35 5. Conjunto metalúrgico, según la reivindicación 1, en el que el recipiente refractario (110, 300) comprende una capa de polvo (310) que define al menos parcialmente las paredes laterales del recipiente refractario (110, 300), y una capa de compatibilidad (320) que define la base (114) del recipiente refractario (110, 300), y en el que la capa de compatibilidad (320) también define al menos parcialmente las paredes laterales del recipiente refractario (110, 300).
- 40 6. Conjunto metalúrgico, según la reivindicación 1, en el que el recipiente refractario (110) comprende, además, una capa intermedia de material (111) posicionada para definir al menos una porción del volumen interior (115) del recipiente refractario (110).
7. Conjunto metalúrgico, según la reivindicación 1, en el que la capa interior (113) está **caracterizada por** una conductividad térmica inferior a 25 W/(m·K).
- 45 8. Conjunto metalúrgico, según la reivindicación 1, en el que el material aislante está caracterizado **por** una conductividad térmica inferior a 5 W/(m·K).

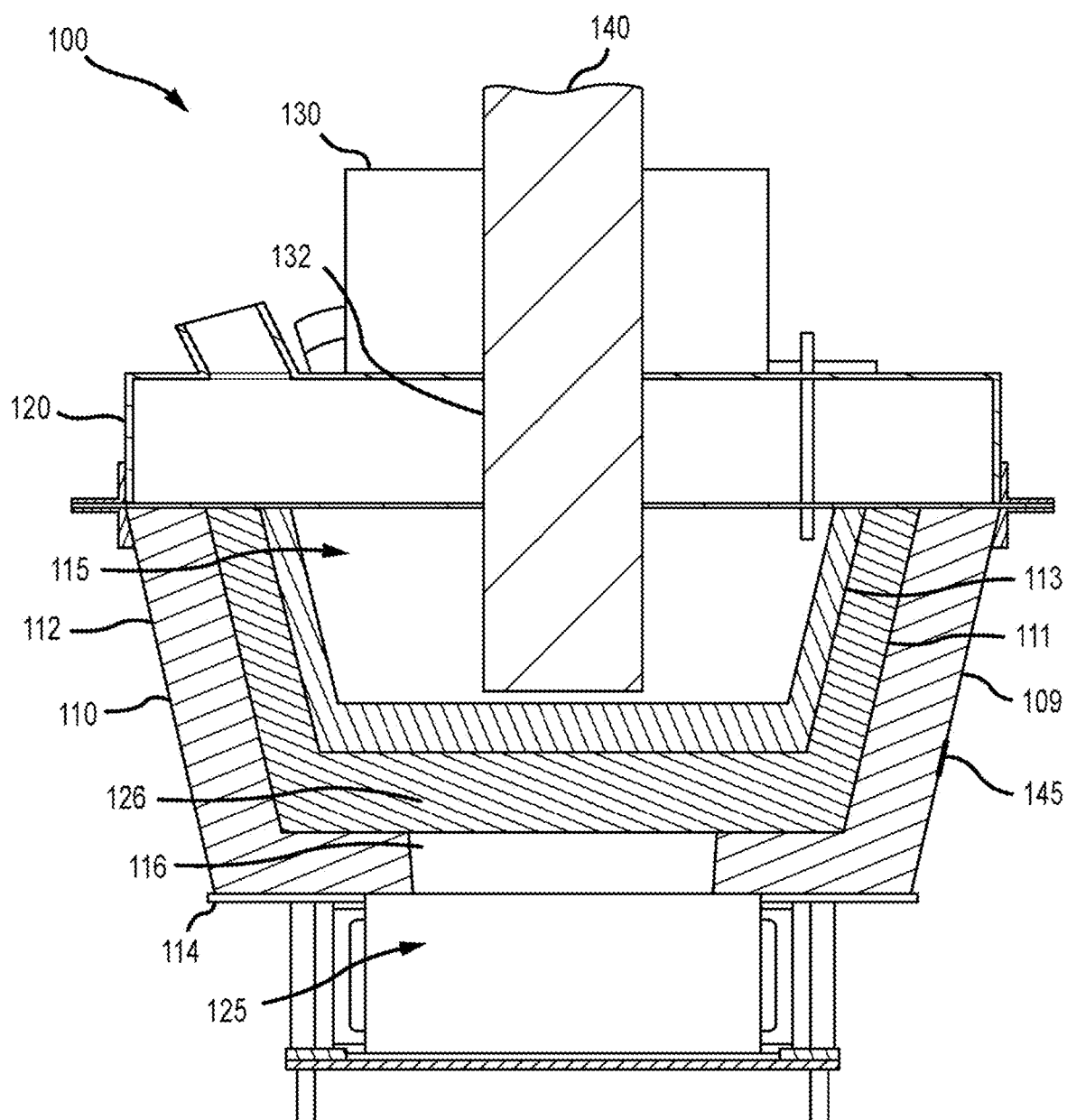


FIG.1

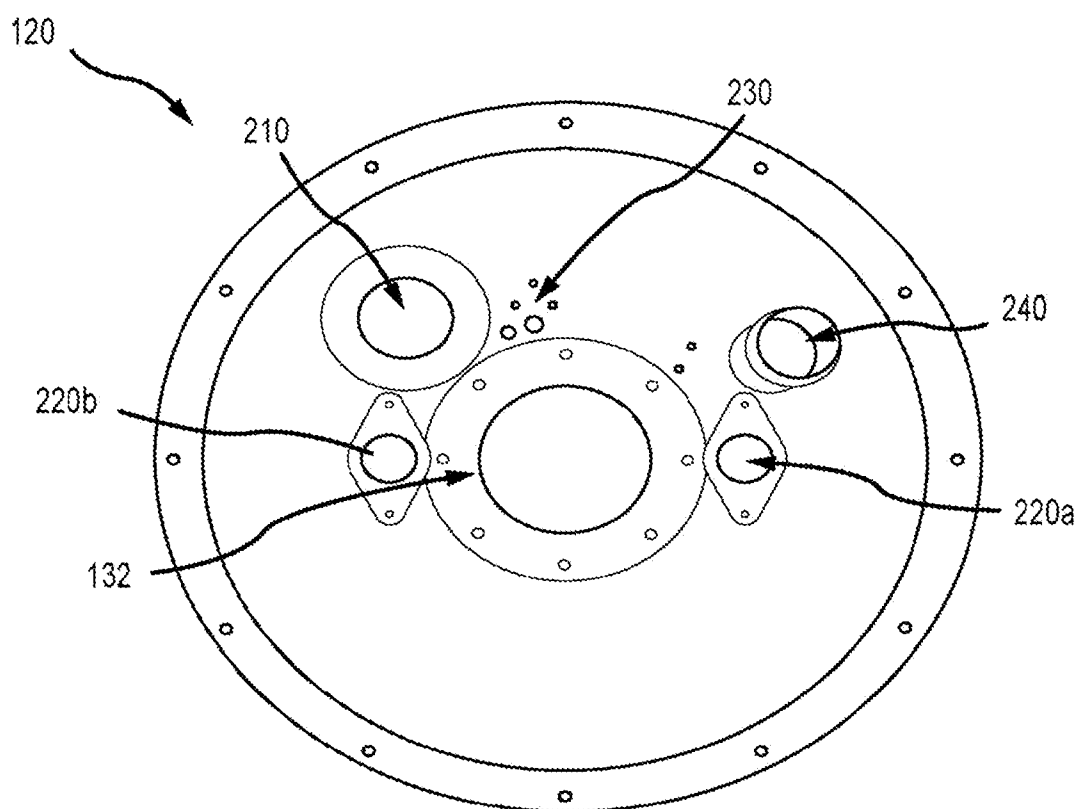


FIG. 2

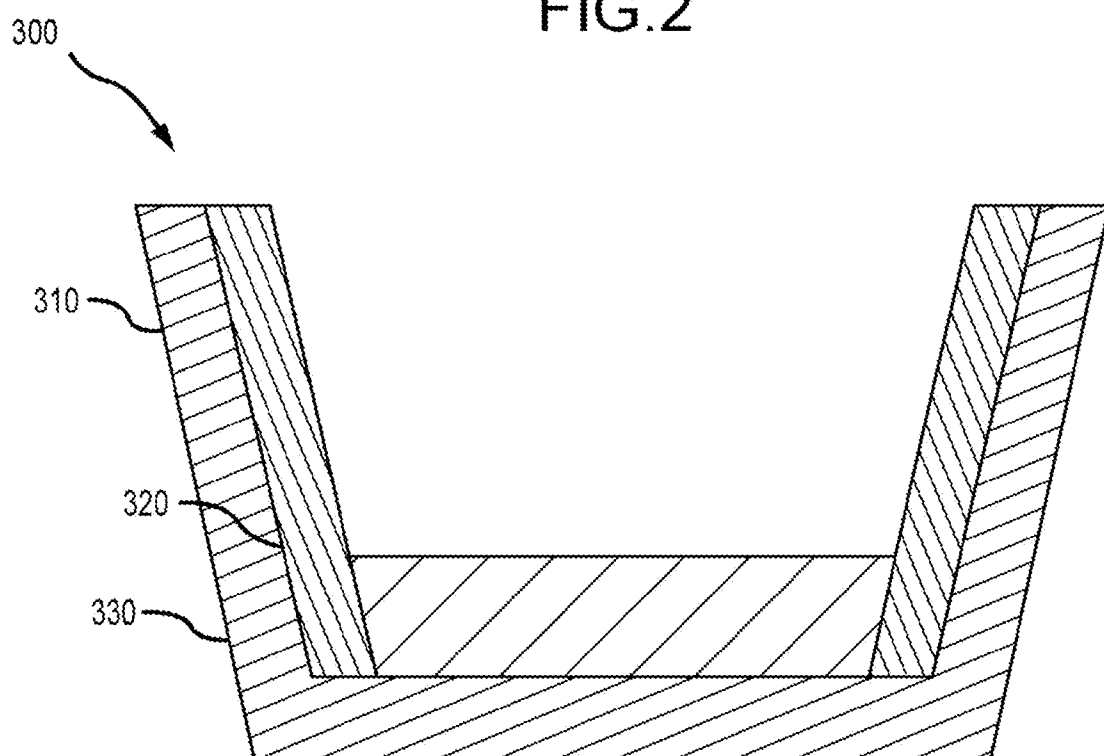


FIG. 3

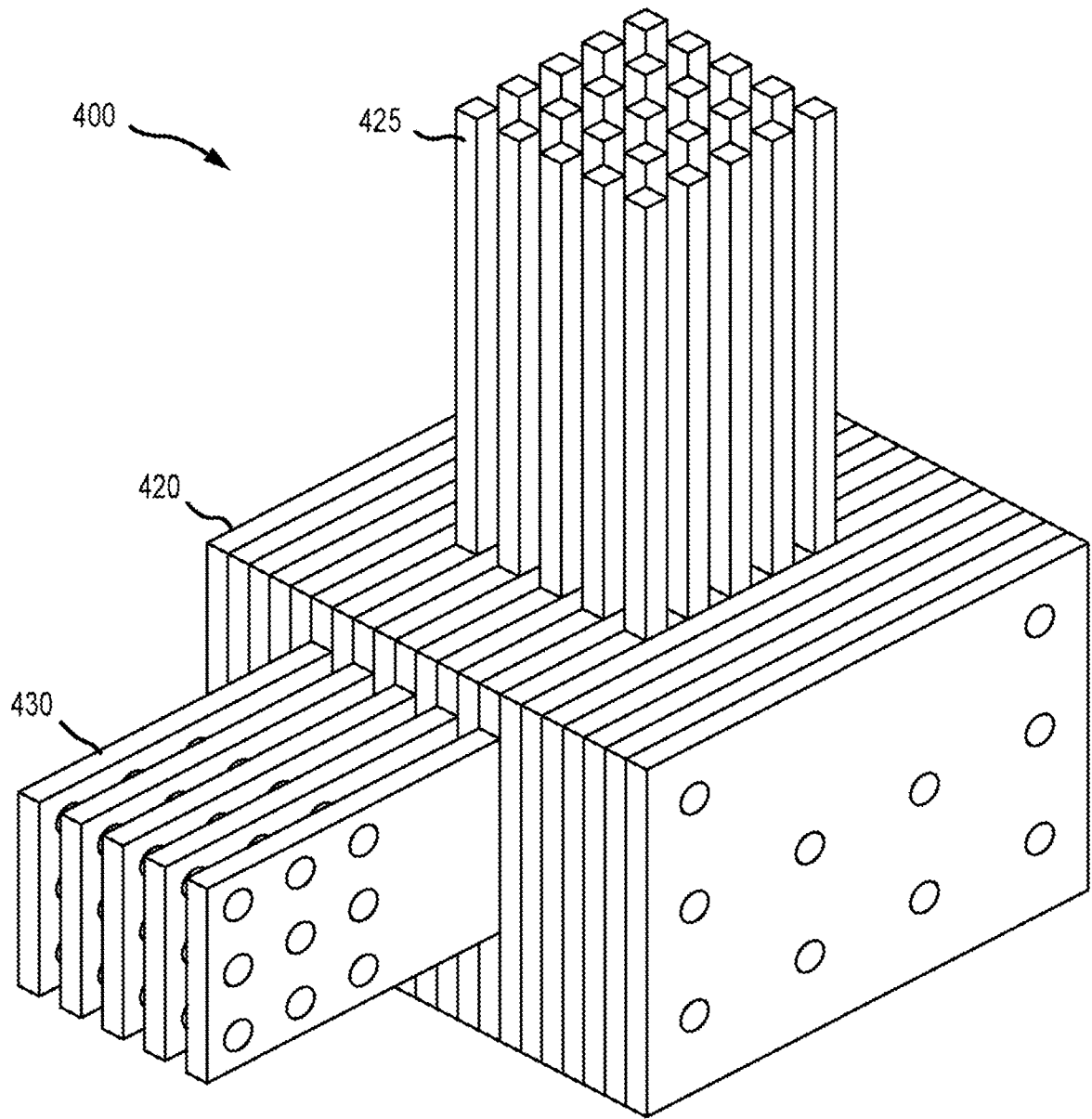


FIG.4

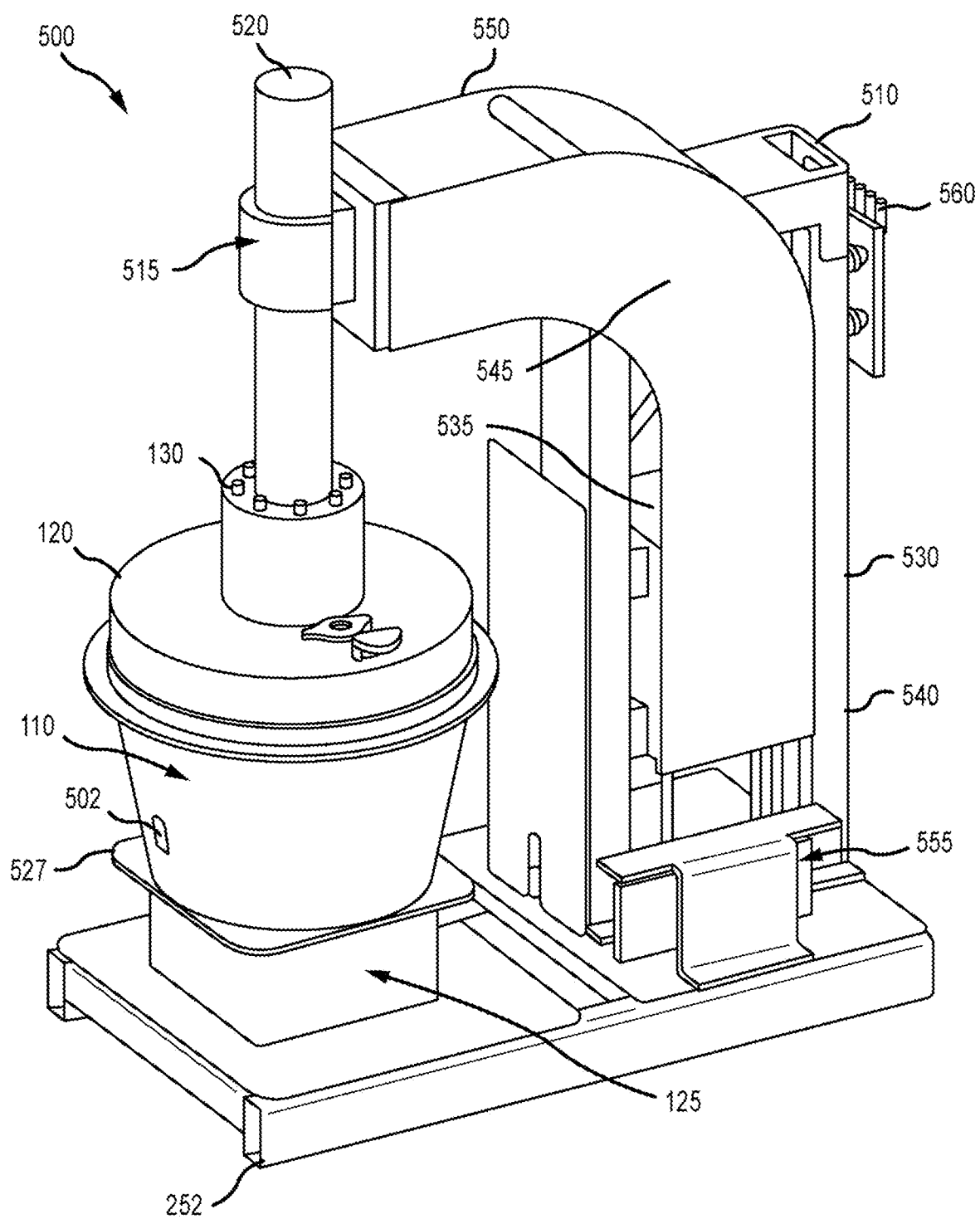


FIG.5

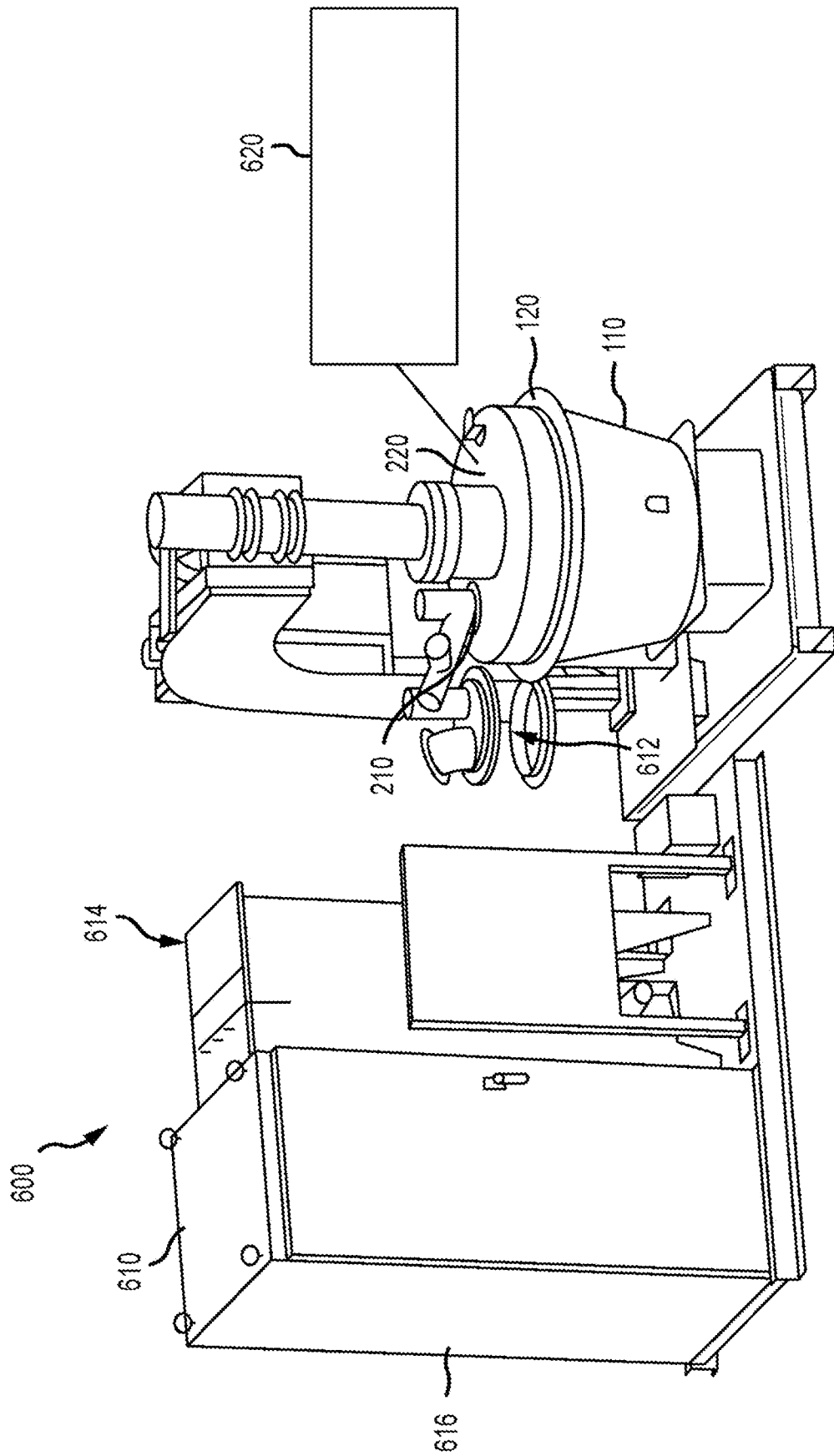


FIG. 6

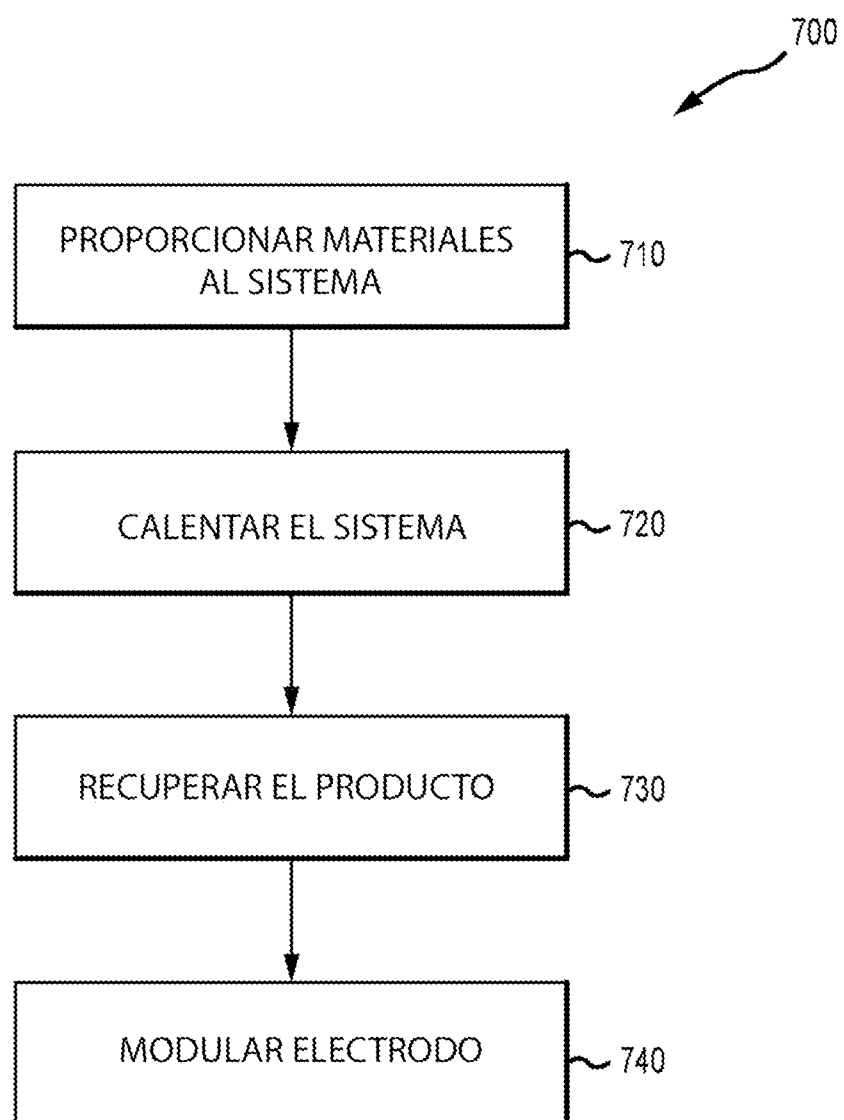


FIG.7

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.

Documentos de patentes citados en la descripción

- CN 106811563 A
- US 5567286 A
- US 1505495 A