

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 876 157**

51 Int. Cl.:

C25C 3/16 (2006.01)

C25C 7/00 (2006.01)

F27B 3/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.08.2017 PCT/US2017/046695**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.02.2018 WO18031984**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.08.2017 E 17840400 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.05.2021 EP 3497737**

54 Título: **Método de fabricación de un conjunto de colector de corriente libre de fugas para recipientes metalúrgicos**

30 Prioridad:

12.08.2016 US 201662374690 P

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

12.11.2021

73 Titular/es:

**BOSTON ELECTROMETALLURGICAL
CORPORATION (100.0%)
6C Gill Street
Woburn, Massachusetts 01801-1721, US**

72 Inventor/es:

HYERS, ROBERT WYATT

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 876 157 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

Método de fabricación de un conjunto de colector de corriente libre de fugas para recipientes metalúrgicos

5 CAMPO TÉCNICO

La presente divulgación se refiere al procesamiento rentable de materiales fundidos. En particular, se describen recipientes metalúrgicos con componentes especialmente diseñados para controlar el entorno térmico, eléctrico y electroquímico a alta temperatura.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Varios recipientes metalúrgicos (por ejemplo, hornos de arco eléctrico en los que el producto de interés se refina a temperatura) o hornos diseñados para formar metales electrolíticamente) requieren una conexión eléctrica entre el metal fundido y una fuente exterior de electricidad. En muchas de estas tecnologías, se requiere que se suministre una corriente eléctrica extremadamente alta a alta temperatura. La corriente requerida puede alcanzar muchos cientos de miles de amperios; en términos de densidad de corriente, el rango puede ser muy grande, abarcando de 0,1 - 50 amperios/cm². La corriente, que puede ser de cientos, miles o cientos de miles de amperios, transportada a través del recipiente generará un calentamiento Joule. La corriente transportada puede estar habitualmente entre aproximadamente 1.000 y aproximadamente 5.000 amperios, o entre aproximadamente 5.000 y aproximadamente 10.000 amperios en las realizaciones. La corriente puede ser cualquier cantidad individual dentro de estos rangos, como por ejemplo 4.000 amperios, o puede estar por encima o por debajo de cualquiera de los números indicados. La necesidad de mantener una conexión eléctrica confiable a alta temperatura con contención simultánea de material fundido presenta un desafío. Durante el funcionamiento, se sabe que se producen perturbaciones del sistema como resultado del inicio o desarrollo del proceso. Por ejemplo, los patrones de flujo de calor generados dentro del sistema pueden no ser uniformes o regulares; componentes particulares pueden ser corrompidos por tales condiciones que están fuera de lo que se consideraría equilibrio. La transferencia de calor no homogénea puede comprometer la estructura y causar fallos en el recipiente. Los diseñadores de sistemas convencionales se han ocupado de este tipo de problemas 1) sobre-diseñando intencionalmente los requisitos operativos del sistema o 2) requiriendo condiciones operativas subóptimas que tienden a no producir una calidad/pureza aceptable del material. Un problema continuo con los diseños actuales es que una fuga inicialmente pequeña crecerá rápidamente y se convertirá en una brecha importante en el recipiente, lo que provocará pérdidas de producción, tiempo de inactividad, reparaciones costosas y el riesgo de lesiones o muerte.

Con referencia a la figura 8: Una carga inicial de material metálico **30** está encerrada por paredes **20** de un recipiente metalúrgico **100**. Segmentos de pared exterior **21**, cubierta **23** y base exterior **24**. La base exterior **24** tiene forma para soportar la base interior refractaria **11**, y se fija comúnmente a elementos estructurales (no mostrados) que sostienen la celda, ya sea desde el piso o desde alguna otra estructura de soporte que generalmente está hecha de material estructural. Segmentos de pared interior **22**, así como base interior **11** están hechos de material refractario de alta temperatura que, por definición, es difícil de fundir, fusionar o distorsionar a alta temperatura. Por lo tanto, las disposiciones refractarias particulares para ambos segmentos de la pared interior **22** y base interior **11** se eligen en función del material que contenga metal que se esté procesando y fundiendo y la cantidad de recalentamiento que se considere necesario. Electrodo **130**, **30**, que se muestran para ilustrar la configuración del circuito de la celda son típicamente (y en todas las ilustraciones supra) emparejados de modo que la diferencia de potencial entre ellos se establece esencialmente de arriba a abajo del recipiente **100**. Una fuente de energía **180** (generalmente alta corriente, baja tensión) completa el circuito.

El término "colector de corriente" en el presente documento se refiere a un elemento multicomponente **40**, **125** necesariamente en comunicación directa con un electrodo. En muchas de las aplicaciones de interés aquí, el colector de corriente está en comunicación eléctrica con el cátodo. En la electrólisis de óxido fundido, la corriente se alimenta al ánodo (**130** en la figura 8) y pasa a través del electrolito de óxido fundido **50** hacia un cátodo **30** que, durante el funcionamiento, también se funde y comprende el producto metálico deseado. Consulte también la figura 9A. Un colector de corriente **12** consta de bloque **40** en comunicación eléctrica con una fuente de corriente a través de buses **170**. Pasadores, varillas o barras de material **125** de colector de corriente **12** están dispuestos dentro de los orificios/aberturas **126** en base **11** de recipiente metalúrgico **100** y configurado para tener un extremo de barra caliente **35** dispuesto proximal al material metálico (actuando como cátodo) **30**. Los colectores actuales en uso tienen dos causas principales de fallo. La primera causa de fallo es fundamental para el diseño térmico. Comúnmente, se utilizan clavijas, varillas o barras de cobre **125** que se enfrían intencionalmente mediante aire forzado o agua. Como la temperatura del metal fundido (que actúa como cátodo) **30** proximal a las varillas colectoras **125** es mucho más alta que el punto de fusión del cobre, si y cuando se produce el enfriamiento se vuelve ineficaz, rápida y catastrófica fusión y/o erosión de las clavijas **125**. Si el enfriamiento no está totalmente comprometido, las clavijas **125** se erosionarán lentamente durante el funcionamiento continuo del recipiente **100** requiriendo una reconstrucción en poco tiempo. El segundo tipo de fallo resulta del agrietamiento o erosión del refractario de la base interior **11** entre las clavijas **25**. Esto permite la entrada de metal líquido en el área del sello (esencialmente, la apertura **126**) entre la clavija **125** y la base refractaria **11**. El flujo lleva suficiente calor para derretir y/o disolver la clavija. El primer metal líquido que sale del reactor es seguido por más metal líquido que está más caliente y que

puede disolver aún más de la clavija restante, acelerando la fuga hasta una rotura total del recipiente **100**. Hace mucho tiempo que se siente la necesidad de aumentar el tiempo de funcionamiento de estos recipientes metalúrgicos.

5 BREVE SUMARIO DE LA INVENCION

Se proporciona un conjunto colector de corriente sin fugas en un primer aspecto no reivindicado. El conjunto es integral con un recipiente metalúrgico, teniendo el recipiente una zona activa para procesar y contener material que contiene metal líquido, teniendo el conjunto colector de corriente un colector de corriente que tiene una pluralidad de elementos conductores eléctricos y térmicos. Los elementos están en comunicación eléctrica y térmica con la zona activa, los elementos tienen una longitud, un ancho, una relación de largo a ancho. El conjunto colector de corriente tiene un bloque en el que el bloque está en comunicación eléctrica con una fuente de corriente y en el que los elementos están en comunicación eléctrica y térmica con el bloque en una pluralidad de ubicaciones de elementos que establecen puntos de fijación para cada elemento. El conjunto colector de corriente tiene una porción de conjunto de una estructura refractaria, la porción de conjunto dispuesta contigua al colector de corriente. La porción de conjunto tiene una pluralidad de aberturas indexables con las ubicaciones de los elementos, las aberturas capaces de aceptar y encerrar porciones encerrables de la longitud de cada elemento en su interior. La estructura define un límite de la zona activa del recipiente. El recipiente metalúrgico se puede usar como horno de arco eléctrico, para electrolisis de óxido fundido o como celda de Hall-Heroult en realizaciones adicionales.

Se proporciona un método de fabricación de un conjunto colector de corriente sin fugas de acuerdo con la invención, el método tiene una etapa de resolver un modelo en un ordenador, utilizando entradas recibidas que incluyen un número variable y disposición de elementos conductores eléctricos y térmicos para determinar, como una salida, una distribución de calor dentro de un conjunto de colectores de corriente hipotético. El método tiene otra etapa de identificar, como solución al modelo, un número y disposiciones de elementos acoplados con un colector de corriente que genera la distribución de calor dentro del hipotético conjunto de colectores de corriente. El método también tiene una etapa para luego fabricar el conjunto del colector de corriente. El conjunto colector de corriente tiene una pluralidad definida de aberturas dentro de una porción del conjunto de una estructura refractaria. Las aberturas están dispuestas en un patrón configurado para recibir el número y la disposición de elementos conductores identificados como la solución al modelo.

En otro aspecto no reivindicado, se proporciona un medio legible por ordenador no transitorio que tiene almacenadas en él instrucciones ejecutables por ordenador. Las instrucciones, cuando son ejecutadas por un procesador, hacen que el procesador resuelva iterativamente un modelo, utilizando entradas recibidas que incluyen un número variable y disposición de elementos conductores, para determinar como salida una distribución de calor dentro de un conjunto de colector de corriente hipotético. También se puede hacer que el procesador identifique como solución al modelo un número y disposición de elementos conductores acoplados con un colector de corriente que produce una distribución de calor contenida dentro del hipotético conjunto colector de corriente. También se puede hacer que el procesador genere una representación gráfica de una isoterma en el punto de fusión de un material que contiene metal dado en contacto con el conjunto colector de corriente hipotético. En algunas realizaciones, también se puede hacer que el procesador emita un patrón a una herramienta de mecanizado que fabrica el conjunto del colector de corriente, en el que el patrón comprende una pluralidad definida de aberturas dentro de una base refractaria del conjunto del colector de corriente en un patrón configurado para recibir el número y disposición de elementos conductores identificados como solución al modelo. La resolución iterativa del modelo puede incluir recibir como al menos una de las entradas un número inicial y la disposición de los elementos conductores. La resolución iterativa del modelo puede incluir acceder a una base de datos de propiedades físicas y eléctricas para un material que contiene metal dado y el conjunto del colector de corriente. La resolución iterativa del modelo puede incluir la definición de restricciones para el modelo. La resolución iterativa del modelo puede incluir calcular repetidamente la distribución de calor dentro del conjunto del colector de corriente mientras se actualiza el número y la disposición de los elementos conductores. La resolución iterativa del modelo puede incluir comparar repetidamente la distribución de calor dentro del conjunto del colector de corriente con las restricciones definidas para el modelo. La resolución iterativa del modelo también puede incluir determinar un número y disposición de elementos conductores que proporcionen una distribución de temperatura contenida dentro del conjunto del colector de corriente que satisfaga las restricciones definidas para el modelo.

En otro aspecto no reclamado, se proporciona un conjunto colector de corriente sin fugas. El conjunto es integral con un recipiente metalúrgico, teniendo el recipiente una zona activa para procesar y contener un material que contiene metal líquido, teniendo el conjunto colector de corriente un colector de corriente que tiene una pluralidad de elementos alargados. Los elementos tienen una longitud predeterminada, una anchura predeterminada y un número total predeterminado en la pluralidad. El conjunto tiene un bloque que está en comunicación eléctrica con una fuente de corriente eléctrica. El bloque está en comunicación eléctrica y térmica con los elementos. La pluralidad de elementos se acopla con el bloque en una pluralidad de ubicaciones de elementos que establecen puntos de fijación para cada elemento. El conjunto también tiene una porción de conjunto de una estructura refractaria con la porción de conjunto dispuesta contigua al colector de corriente. La porción de conjunto tiene aberturas capaces de aceptar y encerrar una porción encerrada de la longitud de cada elemento en la misma, definiendo la estructura un límite de la zona activa del recipiente. La predeterminación de la longitud, el ancho, las ubicaciones de los elementos, el

número, las dimensiones del bloque y las dimensiones de la porción de conjunto de la estructura refractaria dispuesta en el recipiente se realizan para garantizar el equilibrio térmico y fluido a una temperatura de proceso deseada de corriente deseada dentro del material que contiene metal líquido para evitar fugas de líquido.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1A ilustra una vista en sección transversal de un recipiente metalúrgico ejemplar.

La figura 1B ilustra una vista en sección transversal de un recipiente metalúrgico ejemplar en condiciones operativas.

10 La figura 2 ilustra una vista en sección transversal parcial de un recipiente metalúrgico ejemplar según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 3 ilustra una vista en perspectiva de un colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología.

15 La figura 4A muestra un método ejemplar de fabricación de un conjunto colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 4B muestra un método ejemplar de resolver iterativamente un modelo según realizaciones de la presente tecnología.

20 La figura 5A ilustra una distribución de calor ejemplar a lo largo de una sección transversal de un conjunto colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 5B ilustra una distribución de calor ejemplar a lo largo de una sección transversal de un conjunto colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 5C ilustra una distribución de calor ejemplar a lo largo de una sección transversal de un conjunto colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología.

25 La figura 6 muestra un sistema informático simplificado que puede utilizarse para realizar una o más de las operaciones descritas en las realizaciones de la presente tecnología.

La figura 7A ilustra una vista en sección transversal de un recipiente metalúrgico ejemplar.

La figura 7B ilustra una vista en sección transversal parcial de un recipiente metalúrgico ejemplar según realizaciones de la presente tecnología.

La figura 8 ilustra una vista en sección transversal de un recipiente metalúrgico ejemplar.

30 La figura 9A ilustra una vista en sección transversal de un recipiente metalúrgico ejemplar.

La figura 9B ilustra una vista en sección transversal parcial de un recipiente metalúrgico ejemplar según realizaciones de la presente tecnología.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

35

(I) Componente del conjunto del colector de corriente sin fugas de un recipiente metalúrgico

En el procesamiento metalúrgico, el calor generado dentro de un contenedor/recipiente metalúrgico **100** se utiliza para fundir, homogeneizar, refinar y/o procesar una variedad de materiales, incluidos metales y materiales que contienen metales. Estos materiales pueden tener puntos de fusión superiores a 1000 °C; por lo tanto, recipiente **100** y cualquier componente asociado en contacto con los materiales fundidos también estaría sujeto a estas altas temperaturas. Los lugares en los que los componentes conductores térmicos hacen contacto físico o se acoplan térmicamente de otro modo dan lugar inevitablemente a puntos débiles estructurales que, durante el funcionamiento del recipiente, pueden convertirse en la fuente de fugas. Las fugas también pueden originarse por huecos o defectos originados como resultado del uso continuo del recipiente **100** en condiciones de alto estrés durante un período de tiempo prolongado.

Con referencia a las figuras 1A y 1B. Una vista en sección transversal de una porción de un recipiente metalúrgico ejemplar **100** diseñado para fundir y procesar. (Tenga en cuenta que cuando las figuras 1A y 1B se comparan con la figura 8, las paredes exteriores **21**, la cubierta **23** y la base exterior **24** del recipiente **100** solo se muestran en figura 8). El calor necesario puede generarse mediante energía eléctrica u otros métodos conocidos en la técnica. Un electrodo **130** (probablemente acoplable de forma fija a través de la cubierta **23**) está incluido en las figuras 1A y 1B como evidencia de que se puede proporcionar energía eléctrica con una fuente de corriente (no mostrada) acoplada con un electrodo **130** y en comunicación eléctrica con los contenidos **140** y **150** del recipiente, y eventualmente con el bloque **120**, que constituye el camino de retorno de la corriente. Activación de una celda electrolítica resultante dentro del recipiente **100** se muestra en la figura 1B. Por ejemplo, en la electrólisis de óxido fundido, el electrodo **130** serviría como un ánodo con oxígeno o burbujas de gas de monóxido de carbono **142** evolucionando cerca. El recipiente **100** tiene una estructura refractaria que incluye paredes interiores refractarias **110** y base refractaria **115**. Rangos adecuados de las dimensiones físicas de las paredes **110** y la base **115** son conocidos en la técnica del diseño de hornos. Por ejemplo, un espesor **tw** de las paredes **110** y **fb** de la base **115** generalmente están determinados por los requisitos térmicos y químicos, los requisitos de fabricación y los problemas de confiabilidad; los rangos típicos son de unos pocos cm a unas pocas decenas de cm. La estructura refractaria generalmente se fabrica a partir de varios materiales no metálicos de alta temperatura. La estructura refractaria **110**, **115** típicamente se compone de metales o cerámicas de alto punto de fusión/alto punto de fluencia, incluidos, entre otros, materiales que contienen carbono, óxidos, carburos y/o nitruros de silicio, calcio, magnesio, aluminio, circonio, hafnio, tungsteno y boro. Se pueden utilizar materiales adicionales en los que dichos materiales sean capaces de resistir temperaturas

superiores a 100 °C, 500 °C, 1000 °C y superiores, sin degradación perjudicial o reacción significativa con los materiales contenidos dentro del recipiente **100**. Como se ilustra, el recipiente **100** puede, en cualquier número de diseños, incluir entrada **113** por el que se introduce el material en el recipiente **100**, tales como materiales que contienen metal para procesamiento, materiales electrolíticos, etc. Un puerto de salida **112** está configurado de tal manera que, cuando está abierto, permite que los materiales refinados o procesados de otra manera salgan del recipiente **100** y sean recogidos. Se apreciará fácilmente que los puertos de entrada y salida (de ningún modo limitados a un solo puerto de entrada o de salida) pueden colocarse de diversas formas conocidas por los expertos en la técnica; su diseño no se considera limitado al diseño ejemplar ilustrado. El contenido del recipiente a menudo consta de dos o más capas. Por ejemplo, en MOE, la capa superior **140** es el electrolito y la capa inferior **150** es el producto de metal.

Véase también la figura 3. El recipiente metalúrgico **100** también incluye bloque colector de corriente **120**, **320** acoplado eléctricamente a una fuente de corriente por bus **370**. Para algunas aplicaciones de recipientes, el colector de corriente puede recibir corriente a través de materiales en el recipiente **100**, y puede proporcionar electrones a los materiales en el recipiente a través de elementos conductores **125** del colector de corriente que están unidos de forma fija al bloque **120**, **320**. Una porción de una longitud **l** de elementos conductores **125**, **325** puede estar en contacto directo con materiales dentro del recipiente **100** como elementos **125** puede extenderse al recipiente **100** teniendo **l** mayor que **th**. El colector de corriente puede funcionar como electrodo en algunas aplicaciones de recipientes; por ejemplo, en una situación de horno de arco eléctrico, en oposición al ánodo **130** el colector de corriente funciona como cátodo. Una celda eléctrica consistiría entonces en un ánodo **130**, colector de corriente/cátodo **120** (**320**) más **125**, con flujo de corriente a través de los materiales contenidos dentro y para ser procesados en el recipiente **100**.

Elementos conductores del colector de corriente **125** se extienden por su longitud **l** desde sus respectivos puntos de fijación al bloque colector de corriente **120**, a través de las aberturas de la base **126** dispuesto en todo el espesor, **tb** de base refractaria **115**. Véase, en general, la figura 9A. Las porciones de elementos conductores **125** puede extenderse más allá de la base refractaria **115**, esas porciones se extienden a una zona activa **150** (figura 1B) del recipiente **100** donde están, cuando el recipiente **100** está en o está, en funcionamiento, acercándose a una temperatura de procesamiento prevista, propenso a fundirse.

Mientras (en las figuras 1A, 1B y 2) exactamente dos elementos conductores **125** se muestran con fines ilustrativos, cada uno dentro de una apertura de base coincidente **126**, debe entenderse, por diseño y plan intencional, que cualquier número de elementos conductores, así como variaciones en posibles patrones espaciales de elementos conductores **125** (y las correspondientes aberturas de la base **126**) definir el alcance de esta divulgación como se explicará en detalle a continuación. En la figura 3, se ilustra un patrón de 25 elementos conductores en una disposición espacial que se asemeja a un cuadrado. La base refractaria **115** necesariamente incluiría una pluralidad de aberturas **126** dentro de la base refractaria **115** dispuestas en un patrón similar o, probablemente, idéntico al conjunto espacial de elementos conductores **125**. Cada elemento conductor se colocaría entonces dentro de una apertura correspondiente de la base refractaria **115** teniendo longitudes mayores o menores que **tb**.

Se puede introducir una cantidad inicial de material procesable en el recipiente **100**. El material puede incluir un mineral, un electrolito, escoria, coque u otros materiales refractarios o de horno. Por ejemplo, como se muestra en la figura 1B, cuando la electrólisis es la operación, región **140** se muestra proximal al ánodo **130** contiene electrolito como parte de la celda electrolítica generada, mientras que la zona activa **150** es la región donde reside el material a procesar durante la operación. El material procesado que contiene metal (en MOE) es removible, a través de una base refractaria **115** a través del puerto de salida **112**. En el procesamiento de electrólisis de óxido fundido, electrodo **130** es el ánodo; la corriente pasa a través del ánodo primero en la región **140** que contiene materiales de electrolitos fundidos, a continuación, en la zona activa **150** del recipiente **100**, y luego a través de elementos conductores **125** al bloque colector **120**. La corriente, que puede ser de cientos, miles o cientos de miles de amperios, transportada a través del recipiente generará un calentamiento Joule. La corriente transportada puede estar habitualmente entre aproximadamente 1.000 y aproximadamente 5.000 amperios, o entre aproximadamente 5.000 y aproximadamente 10.000 amperios en las realizaciones. La corriente puede ser cualquier cantidad individual dentro de estos rangos, como por ejemplo 4.000 amperios, o puede estar por encima o por debajo de cualquiera de los números indicados. El calor generado está destinado a desarrollar temperaturas del recipiente suficientes para fundir los materiales dentro del recipiente. Por ejemplo, si los óxidos metálicos simples o mixtos se van a reducir (MOE) para formar un producto metálico refinado, los iones de oxígeno fluirán hacia el ánodo **130** y oxidarse con cada ion liberando electrones para desarrollar gas oxígeno, mientras que los iones metálicos fluyen hacia el colector de corriente **120** y se reducen al hacer que los iones metálicos cargados positivamente añadan los electrones antes mencionados. El metal que se forma proximal a la base refractaria **115** en la región **150** inicialmente es un metal fundido con carga negativa y actuará como cátodo de la celda MOE. Este metal fundido cargado negativamente puede refinarse mediante el proceso y extraerse del recipiente a través de uno o más puertos **112**. En una aplicación MOE, la región **140** del recipiente contiene electrolito fundido; probablemente contiene escoria en una aplicación de horno de arco eléctrico (EAF). Burbujas de oxígeno gaseoso **142** se desarrollan y se liberan del recipiente. Alternativamente, el ánodo **130** puede ser principalmente carbono, en cuyo caso, en última instancia, el gas desprendido puede ser CO o CO₂.

Como el metal fundido puede funcionar como cátodo en una operación MOE, los materiales utilizados en los elementos conductores del colector de corriente **125** (ver figura 9A) pueden elegirse en función de sus cualidades conductoras. Por ejemplo, los elementos conductores **125** puede incluir plata, cobre, oro, aluminio, zinc, níquel, latón, bronce, hierro, platino, un material que contiene carbono, plomo, acero, el metal que se está refinando o aleaciones/mezclas de los mismos. A modo de ejemplo, los elementos conductores **125** puede contener cobre, con un punto de fusión inferior a 1.100 °C. Sin embargo, si el metal que se está refinando es hierro, el hierro líquido en la región **150** puede estar a una temperatura superior a 1.500 °C. En este ejemplo, el hierro fundido fundirá los elementos conductores **125** para producir una mezcla fundida de los elementos conductores y el metal que se refina. Dependiendo de la medida en que se fundan los elementos conductores, es probable que se forme una fuga en una interfaz entre parte del colector de corriente y parte del refractario **110**. Dependiendo de la gravedad de la fuga, puede ocurrir un fallo catastrófico del recipiente. Sin embargo, la tecnología actual puede tener en cuenta los problemas de diseño que se analizan a continuación.

La figura 2 ilustra una vista en sección transversal parcial de un recipiente metalúrgico ejemplar **100**. En particular, esta vista parcial ilumina una porción del recipiente definida aquí como un conjunto colector de corriente **160**. El conjunto colector de corriente **160** incluye bloque colector de corriente **120**, elementos conductores del colector de corriente **125** y la base refractaria **115** es decir 1) contiguo a la zona activa del recipiente **150** y con bloque colector **120**, 2) con espesor de base refractaria **tb** y 3) tener aberturas en la base **126** ubicadas de manera que sea indexable con las ubicaciones fijas de los elementos **125** cuando se acoplan al bloque colector **120**. La vista parcial ilustra la base refractaria **115** dentro de una porción de paredes refractarias **110** y definir un límite de zona activa **150**. Mientras que la figura 2 ilustra exactamente dos elementos **125** y dos aberturas de base **126**, el número real y el patrón de ubicación son específicos de la aplicación. Los elementos conductores **125** puede extenderse a través de las aberturas de la base **126** en zona activa **150** del recipiente **100** (Referirse a la figura 9A). La longitud, 1 de los elementos conductores puede ser igual a, menor que el espesor **tb** de la base refractaria, y también puede ser mayor que el espesor **tb** de la base refractaria. Como se señaló anteriormente, los elementos conductores pueden contener metal u otro material conductor que tenga un punto de fusión más bajo que la temperatura de fusión del material que se está refinando dentro de la zona activa del recipiente. En tal caso, la porción de los elementos conductores **125** en contacto con el material dentro del recipiente también puede fundirse. La medida en que este calor se transfiere a través del conjunto puede determinar si es probable que se produzca una fuga. Por ejemplo, si la isoterma solidus de la composición está presente instantánea y localmente en las aberturas **126** se extiende aproximadamente a una profundidad de contorno **135**, porciones de elementos conductores **125** se derretirán en el área **127**. Este material líquido, que también puede incluir una mezcla del material que se está refinando, puede llenar cualquier espacio intersticial entre el elemento conductor y la abertura antes de resolidificarse dentro de la abertura **126**. En funcionamiento, esto puede proteger contra la salida de material fundido a través de la abertura al bloque colector **120**, creando un área de sello (como **129** en la figura 9B). Aunque teóricamente no es necesario (como se muestra a continuación), se puede proporcionar enfriamiento adicional a los elementos conductores, como por medio de una transferencia de fluido al aire, agua o algún otro fluido.

La geometría de las aberturas **126** permite que al menos una porción de cada uno de los elementos conductores esté en un estado sólido con el resto de cada uno de los elementos conductores en un estado fundido. Vea la figura 9A- En realizaciones, la longitud de los elementos conductores se puede mantener en o por debajo de un nivel igual al espesor de la base refractaria **115**. Al hacerlo, el material en la zona activa **150** puede mantenerse en un estado sustancialmente más puro, y cuando este material se retira o se golpea, es menos probable que se alea con el material de los elementos conductores también.

La figura 3 ilustra una vista en perspectiva de un colector de corriente **300** ejemplar según realizaciones de la presente tecnología. Como se ilustra, el colector de corriente **300** puede incluir un bloque **320**, que puede incluir una o más barras colectoras **330** para proporcionar comunicación eléctrica con el bloque. El colector de corriente **300** también puede incluir una pluralidad de elementos conductores **325** extendiéndose desde el bloque **320**. Los elementos conductores **325** puede incluirse en un patrón como se ilustra, pero el número y el patrón pueden estar predeterminados para un recipiente metalúrgico particular.

El número, la posición y la disposición de los elementos conductores **325** afecta la distribución térmica en todo el recipiente y, por lo tanto, al cambiar deliberadamente el número y la posición de los elementos conductores, el sistema es ajustable para desarrollar estabilidad o equilibrio dentro del recipiente. Este patrón/disposición se determina o configura para proporcionar equilibrio térmico y/o fluido en el conjunto del colector de corriente **160** y su entorno inmediato durante la operación. En consecuencia, para conjuntos de colectores de corriente y recipientes ejemplares de la presente tecnología, los elementos conductores pueden colocarse sobre el bloque colector de corriente **320** de acuerdo con un patrón configurado para proporcionar equilibrio térmico y fluido en todo el conjunto del colector de corriente durante el funcionamiento.

Un factor importante en el diseño del conjunto colector de corriente sin fugas es asegurar el control de la mezcla en la porción **127** de las aberturas que contienen fundido de la clavija. La mezcla convectiva dentro de la clavija transporta tanto líquido a mayor temperatura como, cuando la clavija y la zona activa tienen composiciones diferentes, soluto a la interfaz líquido-sólido en la clavija. El fluido más caliente puede derretir una mayor parte de la clavija, moviendo la interfaz líquido-sólido a un lugar con más probabilidades de iniciar una fuga. El soluto adicional a

menudo deprimirá el punto de fusión del material en esa interfaz, moviendo el sistema más hacia la fuga. Por lo tanto, una combinación de transferencia de calor y masa por flujo de fluido es un factor clave en el fallo de los colectores de corriente que se utilizan hoy en día. Las soluciones industriales actuales utilizan un enfriamiento excesivo para mantener las clavijas sólidas a fin de evitar estos efectos, desperdiciando energía y agregando costes y complejidad innecesarios al recipiente metalúrgico. El conjunto colector de corriente sin fugas descrito en el presente documento aprovecha la geometría de la abertura en la porción refractaria del conjunto para determinar el flujo de fluido en la abertura después de la fusión parcial y/o disolución de la clavija. Limitar el flujo de fluido en la abertura reduce en gran medida la mezcla convectiva en la zona fundida, lo que permite el control de la ubicación de la interfaz sólido-líquido con enfriamiento pasivo. Además, esto reduce en gran medida la pérdida de energía del recipiente, además de simplificar en gran medida sus sistemas de soporte, al tiempo que aumenta la vida útil del conjunto colector de corriente.

Se utilizan dos enfoques para diseñar la geometría de las clavijas y el refractario para controlar el flujo de fluido en la abertura. En el primero, se usa un modelo numérico para describir el flujo de fluido en la zona activa y las aberturas para determinar el transporte convectivo de calor y masa, y la extensión resultante de la zona de líquido en la abertura. En el segundo enfoque, se usa una aproximación para estimar hasta qué punto el flujo de fluido es significativo, lo que permite modelar el resto de la clavija sin tener en cuenta el flujo de fluido. Es bien sabido que el flujo a través de la parte superior de un canal estrecho, como las aberturas, impulsa el flujo en el canal y provoca la mezcla del fluido en el canal (abertura) con el fluido fuera del canal (zona activa). El flujo en la abertura es más lento en lugares más alejados de la zona activa, volviéndose insignificante a una profundidad de aproximadamente 3 diámetros por debajo de la parte superior del orificio. Para perforaciones no circulares, un diámetro efectivo puede estimarse como el diámetro de un cilindro de área de sección transversal equivalente.

(ii) Aplicación del conjunto de colectores de corriente en celdas Hall-Heroult.

El proceso Hall-Heroult sigue siendo el proceso de fabricación para fundir aluminio. Consiste en disolver óxido de aluminio en fluoruros fundidos y electrolizar el baño de sales fundidas. Consulte la figura 7A (técnica anterior) y la figura 7B. En esta aplicación, el electrolito Hall-Heroult **1040** es una mezcla de fluoruros que mojarán los lados **1010** y, inicialmente, el fondo **1015** de la celda **1000**, ausente suficiente fuerza de oposición. El fondo de la celda **1015** está compuesto de carbono y materiales carbonosos que proporcionan la conexión eléctrica entre el bloque colector de corriente **1020** y almohadilla de metal líquido (aluminio) **1050** residente en la zona activa del recipiente **1000**. Si el electrolito **1040** se infiltra en la interfaz entre el bloque colector de corriente **1020** y almohadilla de aluminio **1050**, se congelará y formará una capa aislante, rompiendo la conexión eléctrica entre el bloque **1020** y la almohadilla **1050**. Romper este contacto eléctrico resultará, como mínimo, en el cese de la producción de aluminio y puede resultar en un fallo catastrófico de la celda. Como resultado, una almohadilla de metal muy gruesa **1050** (como se muestra en la figura 7A de la técnica anterior) es necesaria para proporcionar suficiente peso para evitar la entrada de suficiente electrolito **1040** para romper el contacto eléctrico entre el fondo de la celda **1015** y la almohadilla de metal **1050**.

La figura 7B ilustra el uso de elementos conductores metálicos **1025** (se muestran dos) en un conjunto de colector de corriente para asegurar que la comunicación eléctrica entre la almohadilla de metal líquido **1050** y un bloque **1020** es mantenida. Los elementos **1025** podría consistir en aluminio fundido para limitar la introducción de impurezas no deseadas a la almohadilla **1050**. Si elementos **1025** son de metal (idealmente de la misma composición que la almohadilla **1050**), la tensión superficial actúa para mantener la continuidad y la conducción eléctrica a través de la interfaz entre la almohadilla metálica **1050** y el colector de corriente **1020**, independientemente de cualquier entrada de electrolito entre el fondo de la celda **1015** y la almohadilla de metal **1050**. Como los elementos **1025** son conductores, la parte inferior de la celda **1015** puede estar hecho de carbono o de otro material, incluso un aislante eléctrico. Los elementos **1025** tienen el efecto/propiedades de: 1) mantener la comunicación eléctrica con la almohadilla de metal **1050** independientemente de la entrada de electrolito entre **1020** y **1050**; 2) puede disponerse de modo que proporcione una barrera continua de metal alrededor del perímetro de la almohadilla **1050** para evitar la entrada de electrolito por completo y 3) sujetar la almohadilla de metal líquido **1050** para mantener una forma aceptable incluso con una almohadilla de metal líquido mucho menos profunda.

(iii) Modelo para la fabricación de conjuntos colectores de corriente sin fugas

Debido a que el número y la disposición de los elementos conductores pueden producir o mejorar los efectos sobre el rendimiento y la estabilidad del conjunto de colectores de corriente, se pueden desarrollar diferentes conjuntos para diferentes aplicaciones, con diferentes diseños de colectores de corriente. La posición de la pluralidad de elementos conductores puede determinarse mediante un modelo de análisis de elementos finitos configurado para determinar un número y una posición de elementos conductores para proporcionar equilibrio térmico y fluido dentro de un recipiente. Dicho modelo se describirá con referencia a la figura 4 a continuación.

Los sistemas y dispositivos descritos anteriormente pueden desarrollarse o fabricarse de acuerdo con varios métodos. Los métodos también pueden representarse mediante programación almacenada en la memoria de un dispositivo informático. La figura 4A ilustra una realización de un método **400** para la fabricación de un conjunto colector de corriente según la tecnología actual. El método **400** se puede realizar para producir cualquiera de los colectores o componentes de corriente descritos anteriormente. Cada operación del método **400** puede realizarse en

o por un solo dispositivo electrónico, tal como por un ordenador, o por múltiples dispositivos que se comunican entre sí. Medios para realizar cada etapa del método **400** puede incluir un ordenador o un dispositivo electrónico. El método **400** puede realizarse utilizando un dispositivo computarizado, como un dispositivo que incorpora algunos o todos los componentes del sistema informático **600** de la figura 6.

El método **400** puede incluir resolver un modelo en un ordenador en la operación **410** para determinar el número y la posición de los elementos conductores de un colector de corriente como se describió anteriormente. El modelo puede utilizar entradas recibidas que incluyen un número variable y una disposición de elementos conductores. El modelo puede determinar y generar una distribución de calor dentro de un conjunto de colector de corriente hipotético en las realizaciones. El método también puede identificar una solución al modelo en la operación **420**. La solución puede identificar un número y disposición de elementos conductores acoplados con un colector de corriente que produce una distribución de calor contenida dentro del hipotético conjunto de colector de corriente. Una vez que se ha identificado una solución al modelo, el método puede incluir la fabricación del colector de corriente en la operación **430**. El conjunto colector de corriente fabricado puede incluir una pluralidad definida de aberturas dentro de una base refractaria del conjunto colector de corriente. La pluralidad de aberturas se puede colocar en un patrón configurado para recibir el número y la disposición de elementos conductores identificados como la solución al modelo.

En las realizaciones, las salidas del modelo pueden incluir la distribución de temperatura dentro del refractario, así como los flujos de calor y la potencia de calefacción en el sistema. Las entradas pueden ser uno o más de varios elementos relacionados con el proceso que se está realizando. Por ejemplo, las entradas pueden incluir propiedades físicas, químicas y eléctricas de un metal que se va a refinar o procesar dentro de un recipiente metalúrgico. Por ejemplo, la temperatura de fusión de dicho material puede afectar directamente al grado en que puede producirse la fusión de los elementos conductores. Las entradas pueden incluir aspectos del sistema eléctrico, incluida la corriente o potencia que se suministra a través del recipiente, como el amperaje proporcionado a los electrodos o la tensión terminal. Las entradas también pueden incluir propiedades del refractario o del recipiente. Se pueden utilizar las dimensiones generales del refractario, junto con las dimensiones del bloque colector de corriente, así como parámetros fijos de los elementos conductores, que pueden incluir la longitud y el diámetro de los elementos conductores. En otras formas de realización, estos números también pueden ajustarse para afectar aún más al sistema. El modelo también puede utilizar entradas ajustables, que pueden incluir cualquiera de los parámetros previamente identificados, así como un número inicial y disposición de los elementos conductores. En realizaciones, una disposición inicial puede no utilizarse en el modelo, pero en algunas realizaciones al menos una de las entradas recibidas al modelo puede incluir un número inicial y disposición de elementos conductores.

Muchos de estos parámetros pueden incluirse en una base de datos accesible al ordenador que ejecuta el modelo. El ordenador también puede configurarse para actualizar la base de datos con parámetros ajustados, como el número y la disposición de los elementos conductores. A continuación, el modelo puede determinar una o más soluciones que implican una serie y disposición de elementos conductores que incluyen operaciones como se detalla más en la figura 4B.

La figura 4B incluye operaciones adicionales que pueden incluirse para resolver el modelo según realizaciones de la presente tecnología. El método puede incluir recibir una o más entradas identificadas previamente en la operación **408**. En realizaciones, recibir entradas también puede incluir acceder a una base de datos de propiedades físicas y eléctricas para un material que contiene metal dado y/o para el conjunto colector de corriente. Las entradas también pueden incluir la recepción o la definición de restricciones para el modelo, lo que puede simplificar el modelo o permitir el desarrollo de un diseño adecuado. Una vez que se reciben las entradas, el modelo puede desarrollar o calcular la distribución de calor para los parámetros recibidos en la operación **412**. El modelo puede calcular repetidamente la distribución de calor dentro del conjunto del colector de corriente mientras actualiza el número y la disposición de los elementos conductores.

Para cada iteración del modelo, el modelo puede comparar repetidamente la distribución de calor de cada salida dentro del conjunto del colector de corriente hipotético con las restricciones definidas para el modelo en la operación **414**. Si no se han satisfecho las restricciones para la disposición propuesta, el número y/o disposición de los elementos conductores pueden actualizarse junto con cualquier otro parámetro ajustable del sistema en la operación **416**. Las iteraciones pueden continuar hasta la operación **418** cuando se ha determinado un número propuesto y una disposición de elementos conductores que proporcionan una distribución de calor contenida dentro del conjunto del colector de corriente y que satisfacen las restricciones definidas para el modelo.

El modelo puede calcular repetidamente la distribución de calor resolviendo una o más ecuaciones para determinar la distribución y el flujo de calor. Las ecuaciones pueden incluir las siguientes ecuaciones ejemplares:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} - \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) = \dot{Q}_v$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\dot{Q}_v = \vec{J} \cdot \vec{E}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0$$

$$\rho \frac{d\vec{u}}{dt} + \rho \vec{u} \cdot \vec{\nabla} \vec{u} = -\vec{\nabla} P + \mu \nabla^2 \vec{u} + F_v$$

dónde ρC_p es la densidad multiplicada por el calor específico, T es la temperatura, t es tiempo, k es la conductividad térmica, $\dot{Q}_v$ es la tasa de generación volumétrica de calor, E es campo eléctrico, J es la densidad de corriente, σ es la conductividad eléctrica, u es el vector de velocidad, P es la presión, μ es la viscosidad, y F_v es la suma de las fuerzas volumétricas, incluidas las fuerzas gravitacionales.

El modelo puede emplear un análisis de elementos finitos para resolver la distribución de temperatura, los flujos de calor y el calentamiento Joule dentro del conjunto. Los diseños del modelo también pueden limitarse a condiciones para las que el flujo de fluido no es significativo, por ejemplo, aliviando la necesidad de resolver algunas de las ecuaciones. Además, en las realizaciones, el modelo puede utilizar la agregación de variables relacionadas con productos particulares o parámetros de proceso para simplificar las ecuaciones y proporcionar una gama de disposiciones aceptables en oposición a un diseño único, mientras que sigue proporcionando equilibrio térmico y eléctrico dentro del límite en el que el material siendo procesado contacta con los elementos conductores.

Las restricciones aplicadas al sistema pueden incluir condiciones de contorno u otros parámetros para controlar la posibilidad de que se produzcan fugas o averías. Las restricciones pueden incluir un límite a la temperatura permitida en la interfaz del conjunto colector de corriente con el material que se está procesando, que también puede ser una superficie de la base refractaria opuesta a una superficie en contacto con el colector de corriente. Las restricciones también pueden incluir un límite en el flujo de calor total desde el conjunto del colector de corriente hacia el material que se está procesando o en cualquier otro lugar, así como un límite en la temperatura máxima en cualquier ubicación dentro del conjunto del colector de corriente. Las limitaciones adicionales pueden incluir la ubicación de una temperatura de fusión de un material utilizado en el recipiente metalúrgico caracterizada por la temperatura de fusión más baja de todos los materiales utilizados en el recipiente metalúrgico. Por ejemplo, dicha temperatura puede limitarse a una distancia de todas las superficies para reducir o limitar el potencial de fuga. Tal distancia puede ser en pulgadas, por ejemplo, como pulgadas desde cualquier junta o superficie de borde del conjunto colector de corriente.

Las salidas del modelo pueden incluir una representación gráfica de una isoterma en el punto de fusión de un material que contiene metal dado en contacto con el hipotético conjunto colector de corriente en las realizaciones. El modelo también puede generar un patrón para la fabricación que se entrega a una o más herramientas de mecanizado. El patrón puede enviarse a una herramienta que fabrica el conjunto del colector de corriente, por ejemplo. El patrón puede incluir una pluralidad definida de aberturas dentro de una base refractaria del conjunto colector de corriente en un patrón configurado para recibir el número y disposición de elementos conductores identificados como la solución al modelo.

El modelo también se puede utilizar en un cálculo modificado mediante el cual se intercambian parámetros de entrada y salida para resolver problemas relacionados. Por ejemplo, el modelo puede determinar las propiedades necesarias para los componentes de un sistema basándose en disposiciones preseleccionadas de otros materiales, incluidos los elementos conductores. Como ejemplo no limitativo, el modelo puede ser capaz de evaluar iterativamente las distribuciones de temperatura y flujo de calor mientras varía la conductividad térmica de un componente en particular para determinar los límites exteriores de dicho parámetro mientras aún mantiene una temperatura objetivo y flujo de calor en una ubicación diferente dentro del conjunto. Muchos otros ejemplos están igualmente abarcados por la presente tecnología como será fácilmente evidente para los expertos.

La figura 5A ilustra una distribución de calor ejemplar a lo largo de una sección transversal de un conjunto colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología. La figura incluye una salida ejemplar del modelo. Como se ilustra, la figura incluye una base refractaria **515**, un bloque colector de corriente **520**, y elementos conductores **525** en una disposición y número particulares según lo determinado por el modelo. La figura también ilustra una isoterma calculada **501** en el punto de fusión del producto predefinido en un escenario de diseño ejemplar. Como lo ilustra la isoterma **501**, el metal líquido está confinado dentro de la abertura de la base refractaria **515**, y es poco probable que se produzcan fugas o fallos en el dispositivo.

La figura 5B ilustra una distribución de calor ejemplar a lo largo de una sección transversal de un conjunto colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología. La figura incluye una salida ejemplar del modelo. Como se ilustra, la figura incluye una base refractaria **515**, un bloque colector de corriente **520**, y elementos conductores

525 en una disposición y número particulares según lo determinado por el modelo. La figura también ilustra una isoterma calculada **502** en el punto de fusión del producto predefinido en un escenario de diseño ejemplar. Como lo ilustra la isoterma **502**, es probable que el metal líquido se extienda hacia el bloque colector de corriente **520**, pero es probable que esté contenido por el bloque y el refractario. Aunque tal escenario puede suponer un riesgo sobre el escenario ilustrado en la figura 5A, se puede determinar que el diseño tiene suficiente integridad para proceder con la fabricación u operación.

Tales isotermas ejemplares como se ilustra en las figuras 5A y 5B, pueden desarrollarse al menos en parte por el número y la disposición de la pluralidad de elementos conductores en el conjunto. Los elementos conductores pueden configurarse para desarrollar al menos parcialmente un perfil de temperatura dentro del conjunto del colector de corriente que mantiene un límite de la temperatura del punto de fusión de un material procesado en el recipiente. En las realizaciones, el límite puede mantenerse dentro de la base refractaria, o puede extenderse dentro del bloque colector de corriente, pero puede mantenerse dentro de una porción interior del bloque colector.

La figura 5C ilustra una distribución de calor ejemplar a lo largo de una sección transversal de un conjunto colector de corriente según realizaciones de la presente tecnología. La figura incluye una salida ejemplar del modelo. Como se ilustra, la figura incluye una base refractaria **515**, un bloque colector de corriente **520**, y elementos conductores **525** en una disposición y número particulares según lo determinado por el modelo. La figura también ilustra una isoterma calculada **503** en el punto de fusión del producto predefinido en un escenario de diseño ejemplar. Como lo ilustra la isoterma **503**, es probable que el metal líquido se extienda hacia el interior del bloque y el refractario **515** solo lo contenga marginalmente. Aunque el escenario ilustra una condición estable, bajo perturbación del sistema, que puede ser común en la operación real, es probable que ocurran fugas y fallos catastróficos.

La tecnología actual permite modelar recipientes metalúrgicos para el procesamiento de una variedad de metales, aleaciones y otros productos. Utilizando el proceso iterativo y desarrollando perfiles de calor como se describió anteriormente, los recipientes desarrollados por los métodos descritos son menos propensos a tener fugas y fallos que los diseños convencionales. Además, se pueden desarrollar recipientes individualizados para operaciones de procesamiento particulares en lugar de intentar reutilizar un recipiente existente para un proceso para el que puede no ser adecuado. El presente modelo puede determinar si un recipiente de este tipo se puede utilizar para fines alternativos o si es más probable que falle.

La figura 6 ilustra una realización de un sistema informático **600**. Un sistema informático **600** como se ilustra en la figura 6 pueden incorporarse en dispositivos tales como un ordenador personal, un sistema informático de fabricación, herramientas particulares o dispositivos de herramientas, y similares. Además, algunos o todos los componentes del sistema informático **600** también puede incorporarse en un dispositivo electrónico portátil u otro dispositivo como se describe en el presente documento. La figura 6 proporciona una ilustración esquemática de una realización de un sistema informático **600** que puede realizar algunas o todas las etapas de los métodos proporcionados por diversas realizaciones. Cabe señalar que la figura 6 está destinado únicamente a proporcionar una ilustración generalizada de varios componentes, cualquiera o todos los cuales se pueden utilizar según sea apropiado. La figura 6, por lo tanto, ilustra ampliamente cómo los elementos individuales del sistema pueden implementarse de una manera relativamente separada o relativamente más integrada.

El sistema informático **600** se muestra que comprende elementos de hardware que se pueden acoplar eléctricamente a través de un bus **605**, o puede estar en comunicación de otro modo, según corresponda. Los elementos de hardware pueden incluir uno o más procesadores **610**, incluyendo, sin limitación, uno o más procesadores de propósito general y/o uno o más procesadores de propósito especial tales como chips de procesamiento de señales digitales, procesadores de aceleración de gráficos y/o similares; uno o más dispositivos de entrada **615**, que puede incluir, sin limitación, un ratón, un teclado, una cámara y/o similares; y uno o más dispositivos de salida **620**, que puede incluir, sin limitación, un dispositivo de visualización, una impresora y/o similares.

El sistema informático **600** además puede incluir y/o estar en comunicación con uno o más dispositivos de almacenamiento no transitorios **625**, que puede comprender, sin limitación, almacenamiento local y/o accesible en red, y/o puede incluir, sin limitación, una unidad de disco, una disposición de unidades, un dispositivo de almacenamiento óptico, un dispositivo de almacenamiento de estado sólido, como una memoria de acceso aleatorio ("RAM") y/o una memoria de sólo lectura ("ROM"), que puede ser programable, actualizable mediante flash y/o similares. Dichos dispositivos de almacenamiento pueden configurarse para implementar cualquier almacén de datos apropiado, incluidos, entre otros, varios sistemas de archivos, estructuras de bases de datos y/o similares.

El sistema informático **600** también podría incluir un subsistema de comunicaciones **630**, que puede incluir, sin limitación, un módem, una tarjeta de red (inalámbrica o cableada), un dispositivo de comunicación por infrarrojos, un dispositivo de comunicación inalámbrica y/o un conjunto de chips como un dispositivo Bluetooth™, un dispositivo 802.11, un dispositivo WiFi, un dispositivo WiMax, instalaciones de comunicación celular, etc., y/o similares. El subsistema de comunicaciones **630** puede incluir una o más interfaces de comunicación de entrada y/o salida para permitir el intercambio de datos con una red como la red descrita a continuación para nombrar un ejemplo, otros sistemas informáticos, televisión y/o cualquier otro dispositivo descrito en el presente documento. Dependiendo de la

funcionalidad deseada y/u otras preocupaciones de implementación, un dispositivo electrónico portátil o un dispositivo similar puede comunicar imágenes y/u otra información a través del subsistema de comunicaciones **630**. En otras realizaciones, se puede incorporar un dispositivo electrónico portátil al sistema informático **600**, por ejemplo, un sistema informático de fabricación, como dispositivo de entrada **615**. En muchas formas de realización, el sistema informático **600** comprenderá además una memoria de trabajo **635**, que puede incluir un dispositivo RAM o ROM, como se describe anteriormente.

El sistema informático **600** También puede incluir elementos de software, que se muestran como ubicados actualmente dentro de la memoria de trabajo **635**, incluyendo un sistema operativo **640**, controladores de dispositivo, bibliotecas ejecutables y/u otro código, como uno o más programas de aplicación **645**, que puede comprender programas informáticos proporcionados por diversas realizaciones, y/o puede diseñarse para implementar métodos y/o configurar sistemas, proporcionados por otras realizaciones, como se describe en el presente documento. Simplemente a modo de ejemplo, uno o más procedimientos descritos con respecto a los métodos discutidos anteriormente, tales como los descritos en relación con la figura 4, podría implementarse como código y/o instrucciones ejecutables por un ordenador y/o un procesador dentro de un ordenador; en un aspecto, entonces, dicho código y/o instrucciones pueden usarse para configurar y/o adaptar un ordenador de propósito general u otro dispositivo para realizar una o más operaciones de acuerdo con los métodos descritos.

Un conjunto de estas instrucciones y/o código puede almacenarse en un medio de almacenamiento no transitorio legible por ordenador, como los dispositivos de almacenamiento **625** descrito arriba. En algunos casos, el medio de almacenamiento puede estar incorporado dentro de un sistema informático, como un sistema informático **600**. En otras realizaciones, el medio de almacenamiento podría estar separado de un sistema informático, por ejemplo, un medio extraíble, como un disco compacto, y/o proporcionarse en un paquete de instalación, de modo que el medio de almacenamiento se pueda utilizar para programar, configurar y/o adaptar un ordenador de propósito general con las instrucciones/código almacenado en el mismo. Estas instrucciones pueden tomar la forma de código ejecutable, que es ejecutable por el sistema informático **600** y/o puede tomar la forma de código fuente y/o instalable, que, al compilarse y/o instalarse en el sistema informático **600** por ejemplo, utilizando cualquiera de una variedad de compiladores, programas de instalación, utilidades de compresión/descompresión, etc., disponibles generalmente, luego toma la forma de código ejecutable.

Será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar variaciones sustanciales de acuerdo con requisitos específicos. Por ejemplo, también se puede usar hardware personalizado y/o se pueden implementar elementos particulares en hardware, software que incluye software portátil, como applets, etc., o ambos. Además, se puede emplear la conexión a otros dispositivos informáticos tales como dispositivos de entrada/salida de red.

Como se mencionó anteriormente, en un aspecto, algunas realizaciones pueden emplear un sistema informático como el sistema informático **600** realizar métodos de acuerdo con diversas realizaciones de la tecnología. De acuerdo con un conjunto de realizaciones, algunos o todos los procedimientos de tales métodos son realizados por el sistema informático **600** en respuesta al procesador **610** ejecutar una o más secuencias de una o más instrucciones, que podrían incorporarse al sistema operativo **640** y/u otro código, como un programa de aplicación **645**, contenido en la memoria de trabajo **635**. Estas instrucciones se pueden leer en la memoria de trabajo **635** desde otro medio legible por ordenador, como uno o más de los dispositivos de almacenamiento **625**. Simplemente a modo de ejemplo, la ejecución de las secuencias de instrucciones contenidas en la memoria de trabajo **635** puede causar que los procesadores **610** para realizar uno o más procedimientos de los métodos descritos en el presente documento. Adicional o alternativamente, partes de los métodos descritos en el presente documento pueden ejecutarse a través de hardware especializado.

Los términos "medio legible por máquina" y "medio legible por ordenador", como se usan en el presente documento, se refieren a cualquier medio que participa en el suministro de datos que hacen que una máquina funcione de una manera específica. En una realización implementada usando el sistema informático **600**, varios medios legibles por ordenador pueden estar involucrados para proporcionar instrucciones/código a los procesadores **610** para su ejecución y/o podría usarse para almacenar y/o llevar tales instrucciones/código. En muchas implementaciones, un medio legible por ordenador es un medio de almacenamiento físico y/o tangible. Tal medio puede tomar la forma de un medio no volátil o un medio volátil. Los medios no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos y/o magnéticos, como los dispositivos de almacenamiento **625**. Los medios volátiles incluyen, sin limitación, la memoria dinámica, como la memoria de trabajo **635**.

Las formas comunes de medios físicos y/o tangibles legibles por ordenador incluyen, por ejemplo, un disquete, un disco flexible, un disco duro, una cinta magnética o cualquier otro medio magnético, un CD-ROM, cualquier otro medio óptico, tarjetas perforadas, cinta de papel, cualquier otro medio físico con patrones de agujeros, una RAM, una PROM, EPROM, una FLASH-EPROM, cualquier otro chip o cartucho de memoria, o cualquier otro medio desde el cual un ordenador pueda leer instrucciones y/o código.

Varias formas de medios legibles por ordenador pueden estar involucradas en llevar una o más secuencias de una o más instrucciones al procesador(es) **610** para su ejecución. Simplemente a modo de ejemplo, las instrucciones pueden llevarse inicialmente en un disco magnético y/o en un disco óptico de un ordenador remoto. Un ordenador

remoto puede cargar las instrucciones en su memoria dinámica y enviar las instrucciones como señales a través de un medio de transmisión para ser recibidas y/o ejecutadas por el sistema informático **600**.

El subsistema de comunicaciones **630** y/o componentes de los mismos generalmente recibirán señales, y el bus **605** luego podría llevar las señales y/o los datos, instrucciones, etc. transportados por las señales a la memoria de trabajo **635**, del cual el procesador(es) **610** recupera y ejecuta las instrucciones. Las instrucciones recibidas por la memoria de trabajo **635** opcionalmente se puede almacenar en un dispositivo de almacenamiento no transitorio **625** ya sea antes o después de la ejecución por parte del procesador(es) **610**.

Los métodos, sistemas y dispositivos discutidos anteriormente son ejemplos. Varias configuraciones pueden omitir, sustituir o agregar varios procedimientos o componentes según sea apropiado. Por ejemplo, en configuraciones alternativas, los métodos se pueden realizar en un orden diferente al descrito, y/o se pueden agregar, omitir y/o combinar varias etapas. Además, las características descritas con respecto a ciertas configuraciones pueden combinarse en varias otras configuraciones. Se pueden combinar diferentes aspectos y elementos de las configuraciones de manera similar. Además, la tecnología evoluciona y, por tanto, muchos de los elementos son ejemplos.

Se dan detalles específicos en la descripción para proporcionar una comprensión completa de configuraciones ejemplares, incluidas las implementaciones. Sin embargo, las configuraciones pueden practicarse sin estos detalles específicos. Por ejemplo, se han mostrado circuitos, procesos, algoritmos, estructuras y técnicas bien conocidos sin detalles innecesarios para evitar oscurecer las configuraciones. Esta descripción proporciona configuraciones de ejemplo únicamente. Más bien, la descripción anterior de las configuraciones proporcionará a los expertos en la técnica una descripción habilitante para implementar las técnicas descritas. Se pueden realizar varios cambios en la función y disposición de los elementos sin apartarse del alcance de la divulgación.

Además, las configuraciones pueden describirse como un proceso que se representa como un diagrama de flujo o diagrama de bloques. Aunque cada uno puede describir las operaciones como un proceso secuencial, muchas de las operaciones se pueden realizar en paralelo o al mismo tiempo. Además, se puede reorganizar el orden de las operaciones. Un proceso puede tener etapas adicionales no incluidas en la figura. Además, los ejemplos de los métodos pueden implementarse mediante hardware, software, firmware, middleware, microcódigo, lenguajes de descripción de hardware o cualquier combinación de los mismos. Cuando se implementa en software, firmware, middleware o microcódigo, el código de programa o los segmentos de código para realizar las tareas necesarias pueden almacenarse en un medio legible por ordenador no transitorio, como un medio de almacenamiento. Los procesadores pueden realizar las tareas descritas.

Un ejemplo ilustrativo para iluminar más particularmente la utilidad del modelo antes mencionado. 1) se propone un cambio tanto en la composición/naturaleza del material refractario como en las condiciones de operación térmica del recipiente con respecto a una aplicación de MOE; 2) se modela ahora para evaluar si cambiar o no el diseño, el número y/o la disposición del patrón de los elementos conductores (y las aberturas asociadas en la base refractaria) sería necesario para ayudar a asegurar un conjunto colector de corriente libre de fugas. La primera etapa es tomar como entradas 408 para el modelo, las nuevas condiciones de operación, las propiedades del nuevo material refractario, y un número de prueba y disposición de los elementos conductores (el número de prueba, etc. generalmente se asocia con un éxito anterior, conjunto libre de fugas) y calcular **412** una primera distribución térmica. Los ejemplos ilustrativos de condiciones operativas, propiedades, etc. son típicamente, pero de ninguna manera se limitan a: elementos que son de acero dulce con una sección transversal de media pulgada y una longitud de 7" (17,78 cm), la base refractaria tiene una conductividad térmica de 1 W/mK y a **tb** de 7" (17,78 cm), corriente de funcionamiento de 4600 amperios, y el metal se refina para mantenerlo a una temperatura de 1650 °C. El siguiente etapa, en este ejemplo, es una comparación de esta primera distribución térmica calculada y las limitaciones del proceso dadas **414** (por ejemplo, temperatura máxima en cualquier lugar del conjunto, posición de la isoterma de una temperatura particular en relación con el límite entre la zona activa y una "profundidad" predeterminada en la base refractaria ((una fracción de **tb**)), factores de seguridad, etc.), se determina que las temperaturas resultantes son demasiado altas. A continuación, una actualización **416** del número, se hace el patrón de elementos, se ingresa al modelo y se recalcula la distribución térmica **412**. Si es necesario, más iteraciones **410** se realizan conduciendo a una conclusión **420** en cuanto a un número y disposición "correctos", etc. de elementos, con la disposición **418** que satisfaga las limitaciones. En este ejemplo particular, esa disposición es la ilustrada en la figura 3.

Habiendo descrito varias configuraciones de ejemplo, se pueden usar varias modificaciones, construcciones alternativas y equivalentes. Por ejemplo, los elementos anteriores pueden ser componentes de un sistema más grande, en el que otras reglas pueden tener prioridad sobre o modificar de otro modo la aplicación de la tecnología. Además, se pueden emprender una serie de etapas antes, durante o después de que se consideren los elementos anteriores.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a varias realizaciones, un experto en la materia entenderá que se pueden realizar diversas modificaciones y se pueden realizar extensiones a otros tipos de recipientes metalúrgicos sin apartarse del alcance de la invención como se establece en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método (400) de fabricación de un conjunto colector de corriente, comprendiendo el método:

5 resolver iterativamente (410) un modelo en un ordenador, utilizando entradas recibidas que incluyen un número variable y disposición de elementos conductores, para determinar como salida una distribución de calor dentro de un conjunto colector de corriente hipotético;
 10 identificar (420) como solución al modelo un número y disposición de elementos conductores acoplados con un colector de corriente que produce una distribución de calor contenida dentro del hipotético conjunto colector de corriente; y
 15 fabricar (430) el conjunto colector de corriente, en el que el conjunto colector de corriente comprende una pluralidad definida de aberturas dentro de una base refractaria del conjunto colector de corriente en un patrón configurado para recibir el número y disposición de elementos conductores identificados como la solución al modelo.

2. El método (400) de la reivindicación 1, en el que la resolución iterativa del modelo comprende:

20 recibir (408) como al menos una de las entradas un número inicial y una disposición de elementos conductores; acceder a una base de datos de propiedades físicas y eléctricas para un material que contiene metal dado y el conjunto colector de corriente;
 25 definir restricciones para el modelo; y
 30 calcular repetidamente (412) la distribución de calor dentro del hipotético conjunto colector de corriente mientras se actualiza (416) el número y la disposición de los elementos conductores.

3. El método de la reivindicación 2, que además comprende:

35 comparar repetidamente (414) la distribución de calor dentro del conjunto de colector de corriente hipotético con las restricciones definidas para el modelo; y
 40 determinar (418) un número y disposición de elementos conductores que proporcionen una distribución de calor contenida dentro del conjunto de colector de corriente hipotético que satisfaga las restricciones definidas para el modelo.

4. El método de la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que calcular repetidamente la distribución de calor comprende determinar la distribución de calor dentro del conjunto de colector de corriente hipotético basado en la solución de al menos la siguiente ecuación:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} - \vec{\nabla} \cdot (k \vec{\nabla} T) = \dot{Q}_v$$

45 donde ρC_p es la densidad multiplicada por el calor específico, T es la temperatura, t es tiempo, k es la conductividad térmica, y $\dot{Q}_v$ es la tasa de generación volumétrica de calor.

5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que definir restricciones en el modelo incluye definir al menos una de: la temperatura del conjunto en una superficie del conjunto opuesta a una superficie en contacto con el colector de corriente, el flujo de calor total del conjunto de colector de corriente hipotético, la temperatura máxima de los materiales dentro de un recipiente metalúrgico que comprende el conjunto de colector de corriente hipotético, o la ubicación de una temperatura de fusión de un material utilizado en el recipiente metalúrgico caracterizado por la temperatura de fusión más baja de todos los materiales utilizados en el recipiente metalúrgico.

6. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que los elementos conductores comprenden un material seleccionado del grupo que consiste en plata, cobre, oro, aluminio, zinc, níquel, latón, bronce, hierro, platino, un material que contiene carbono, plomo y acero.

7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, que comprende además recibir una entrada para la corriente eléctrica proporcionada a través de los elementos conductores.

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, en el que resolver iterativamente el modelo comprende generar una representación gráfica de una isoterma en el punto de fusión del material que contiene metal dado en contacto con el conjunto colector de corriente hipotético.

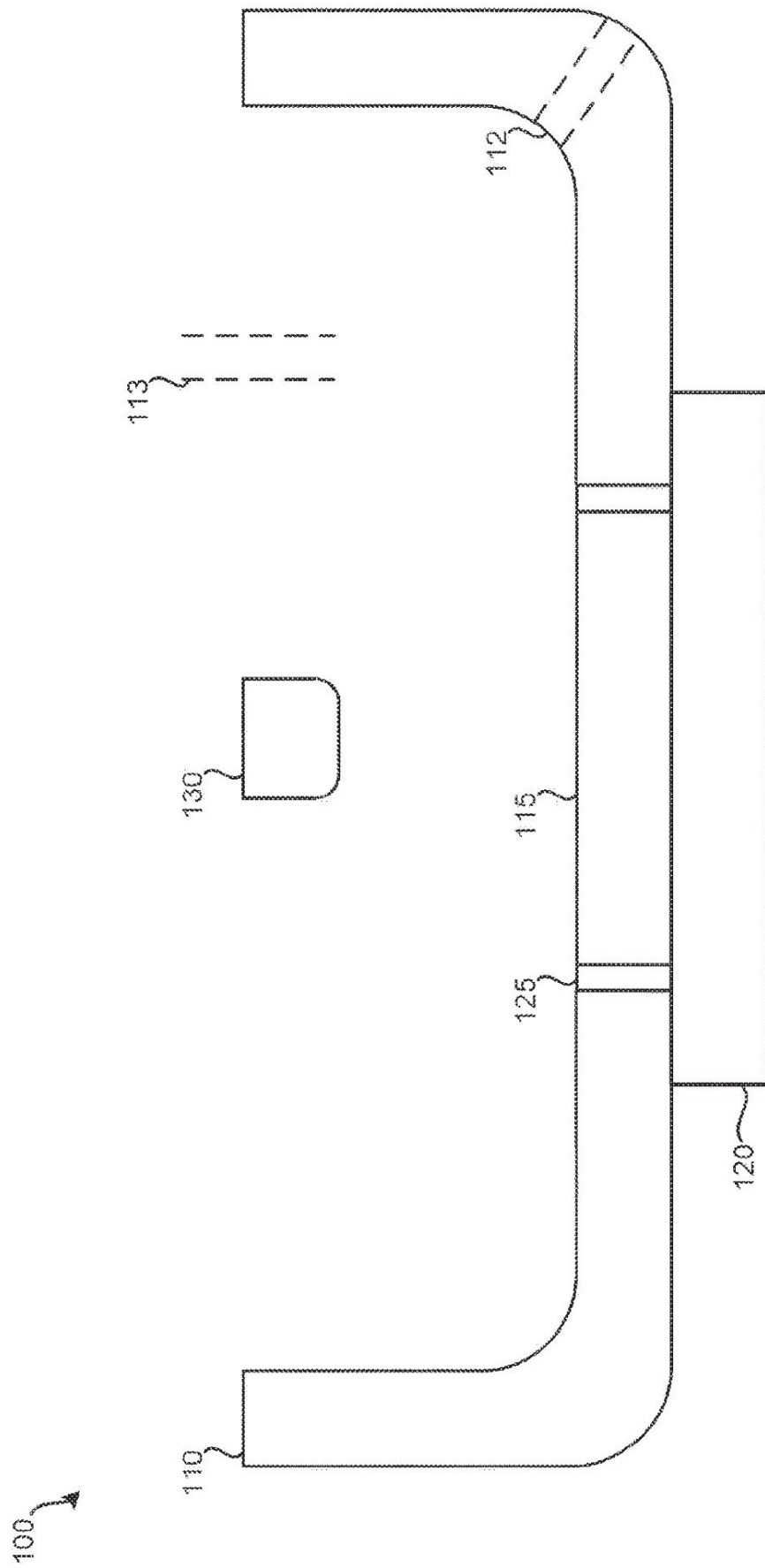


FIG. 1A Técnica Anterior

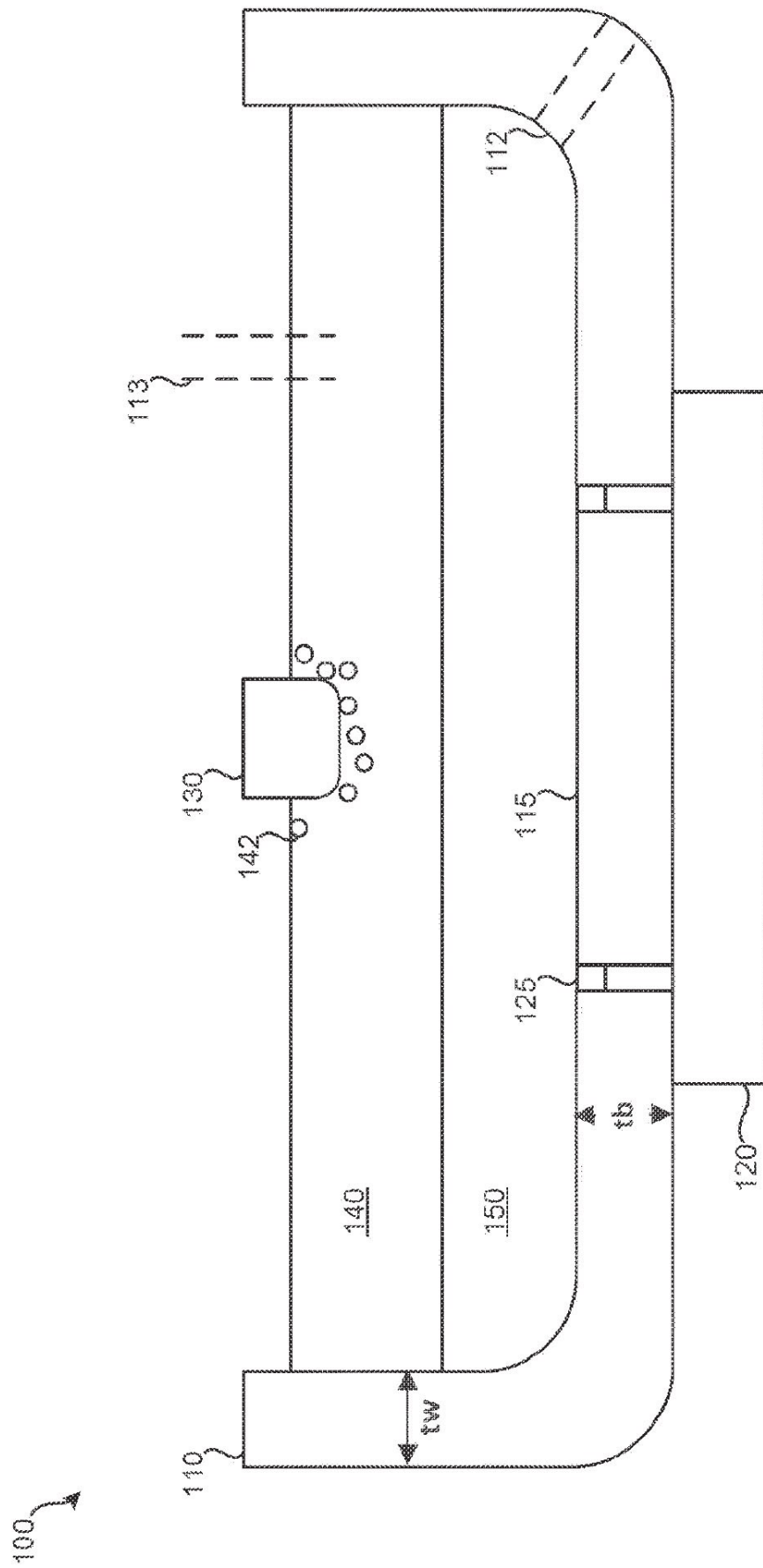


FIG. 1B Técnica Anterior

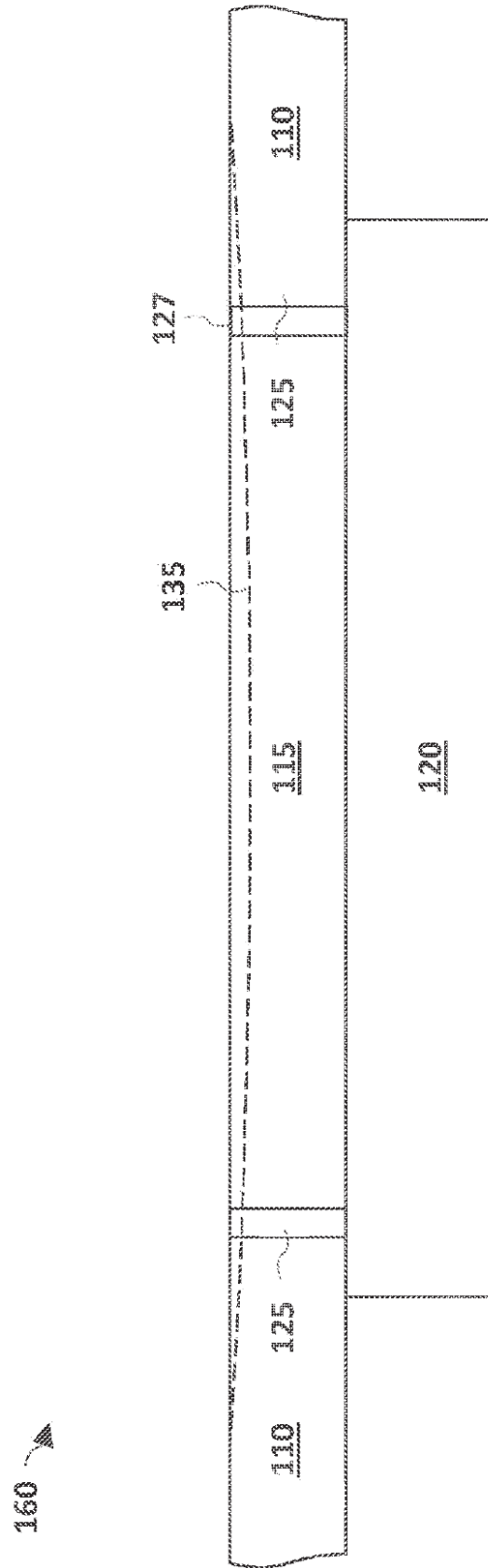


FIG. 2

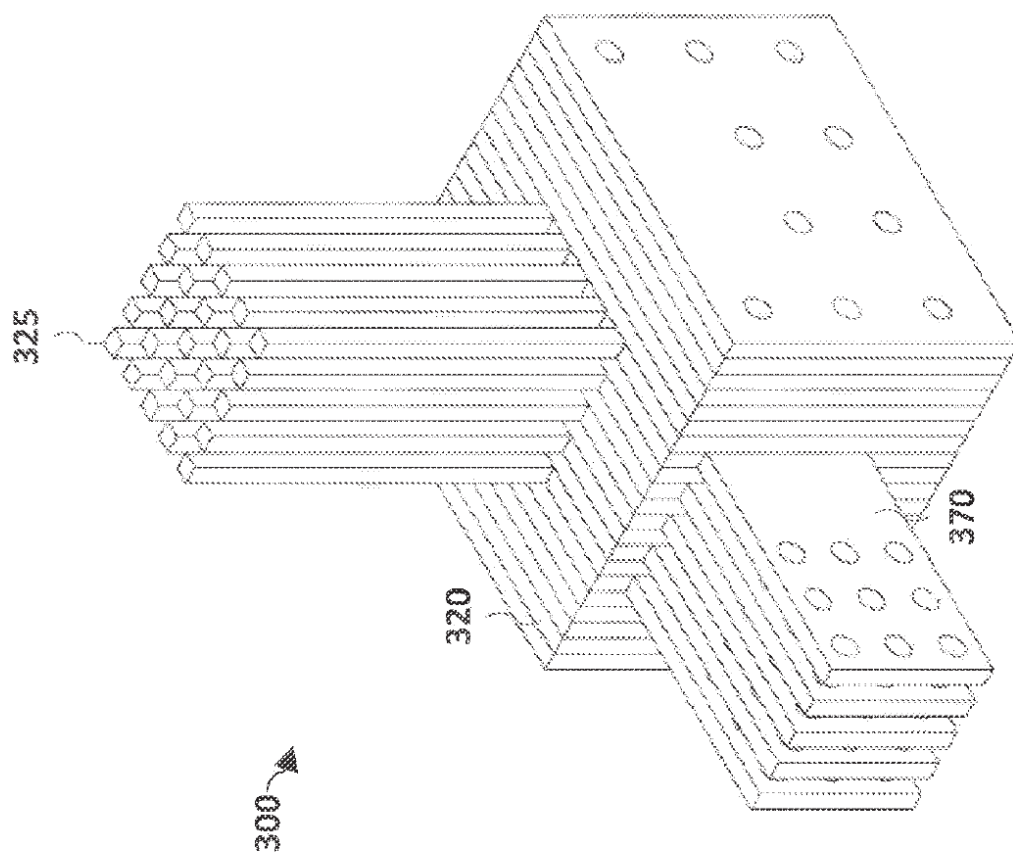


FIG. 3

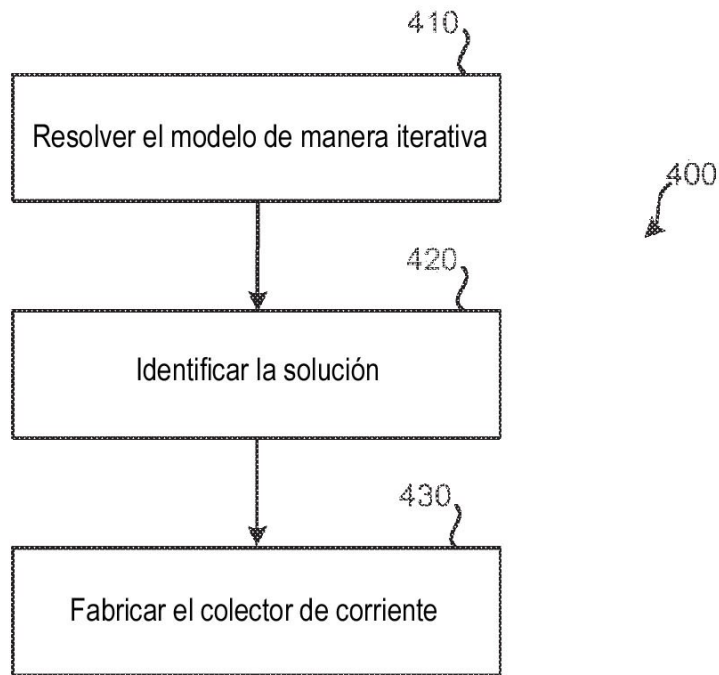


FIG. 4A

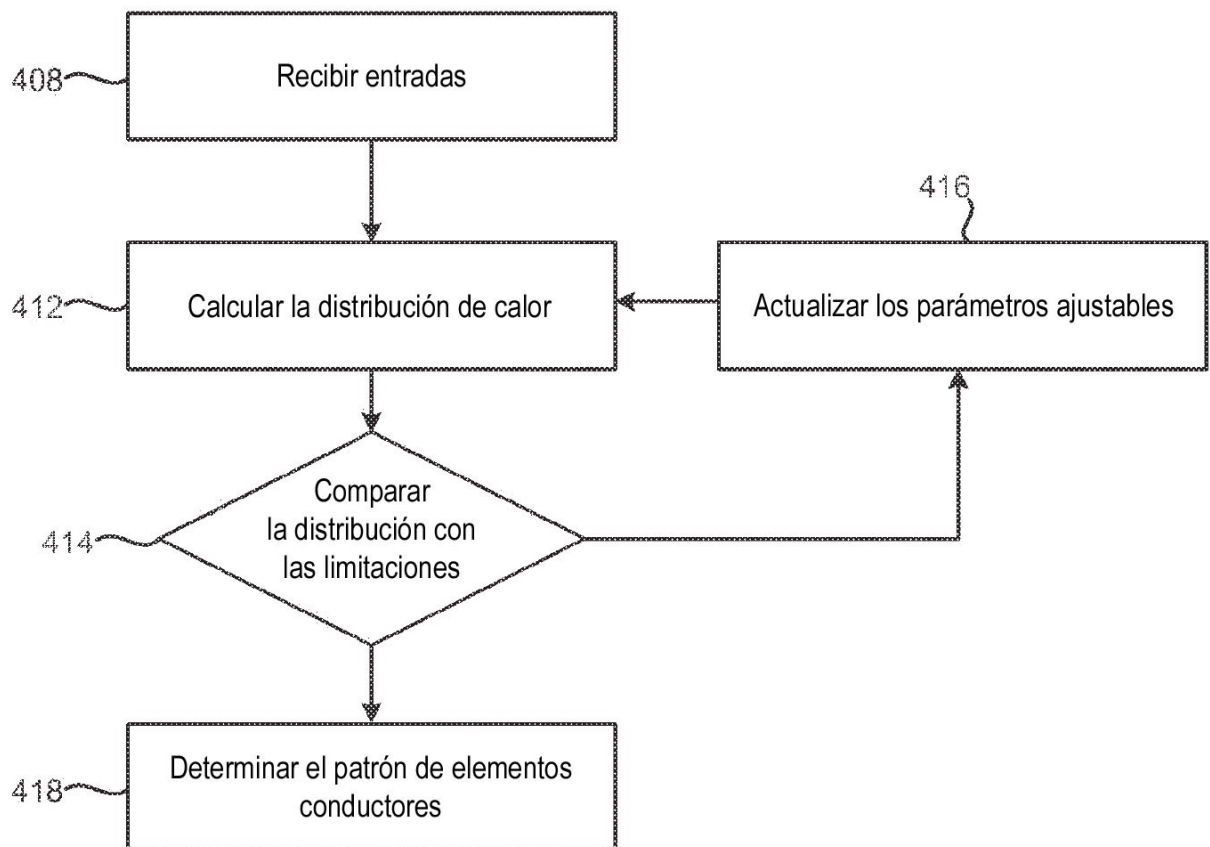


FIG. 4B

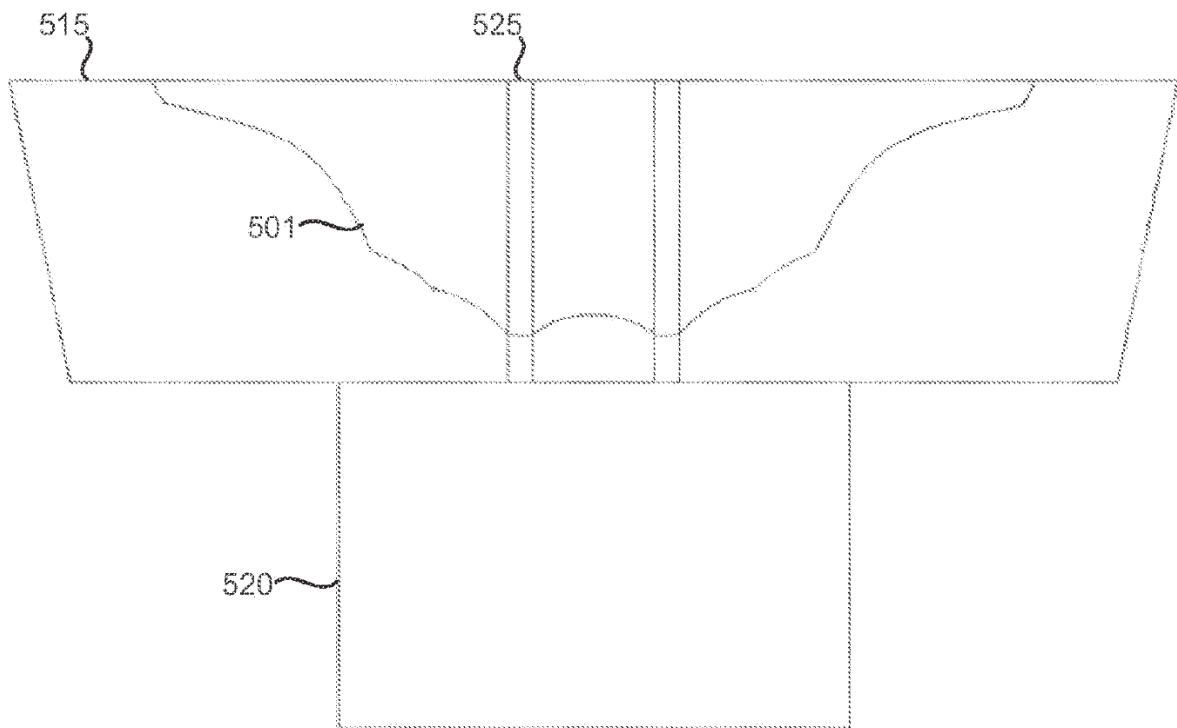


FIG. 5A

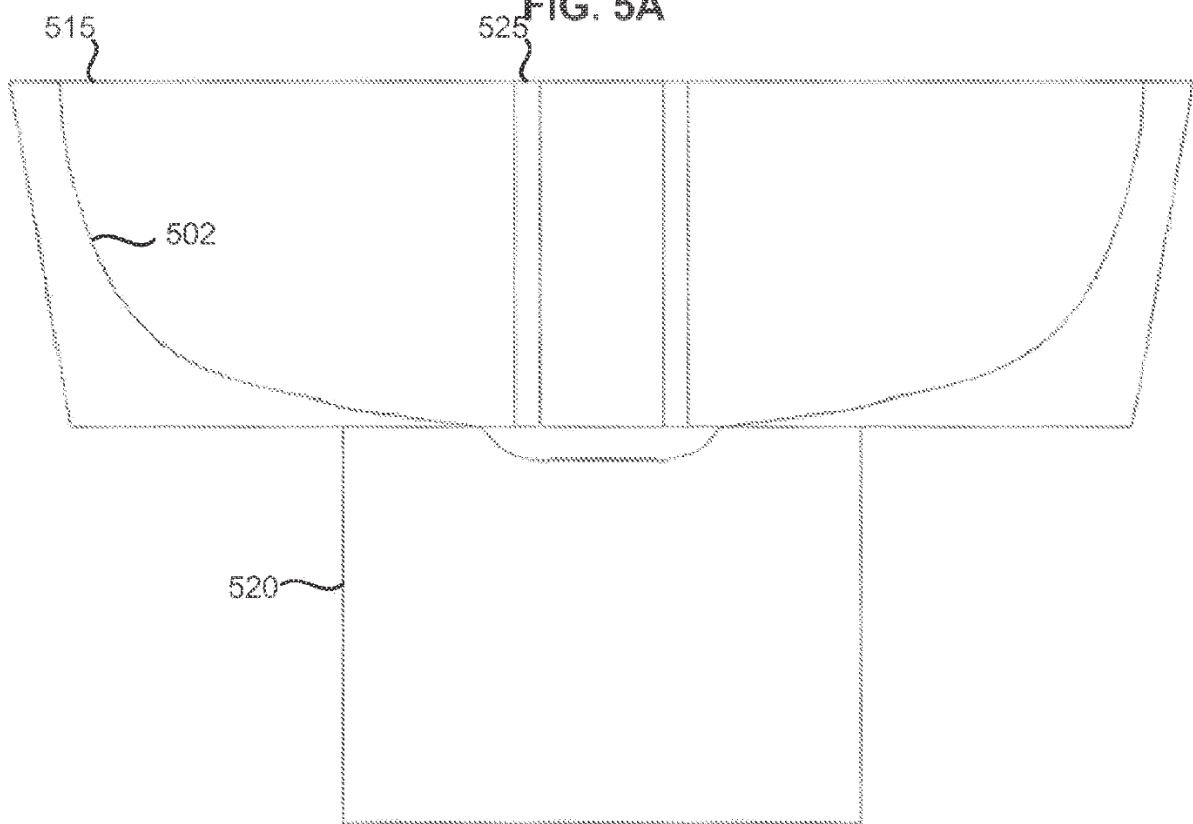


FIG. 5B

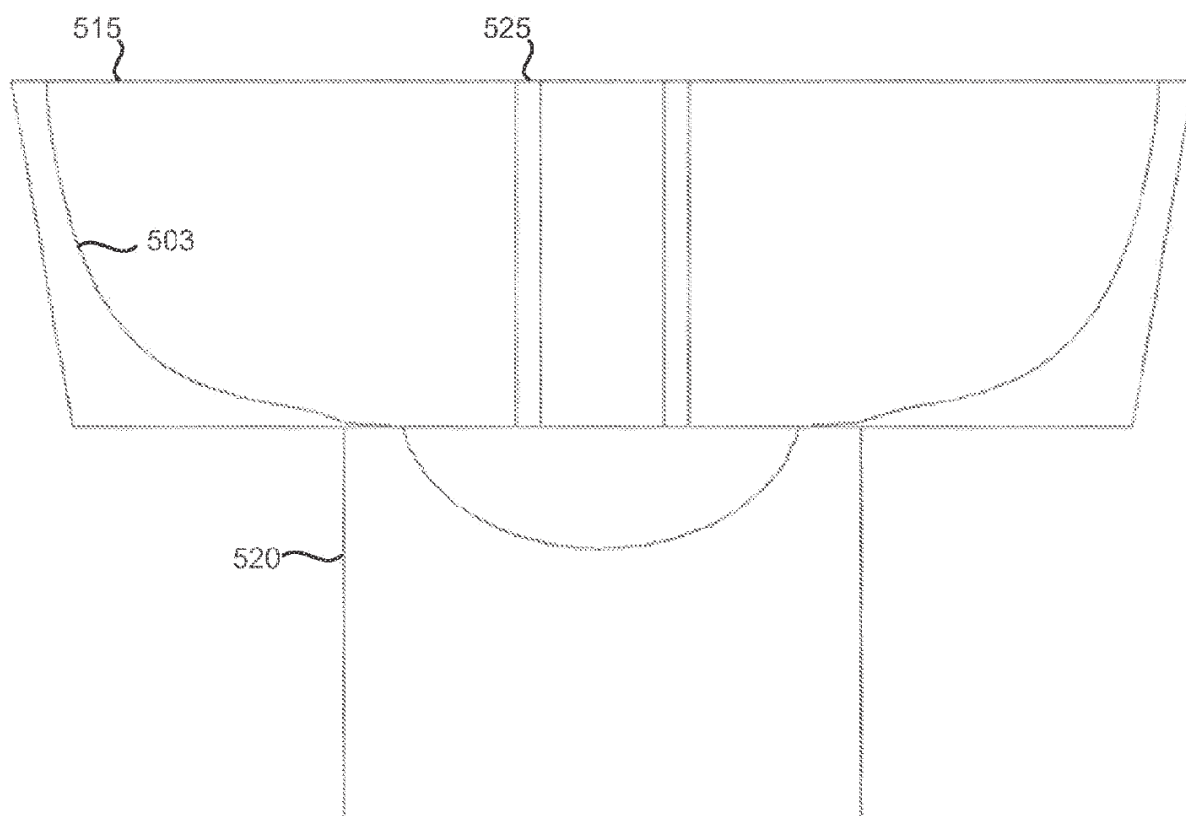


FIG. 5C

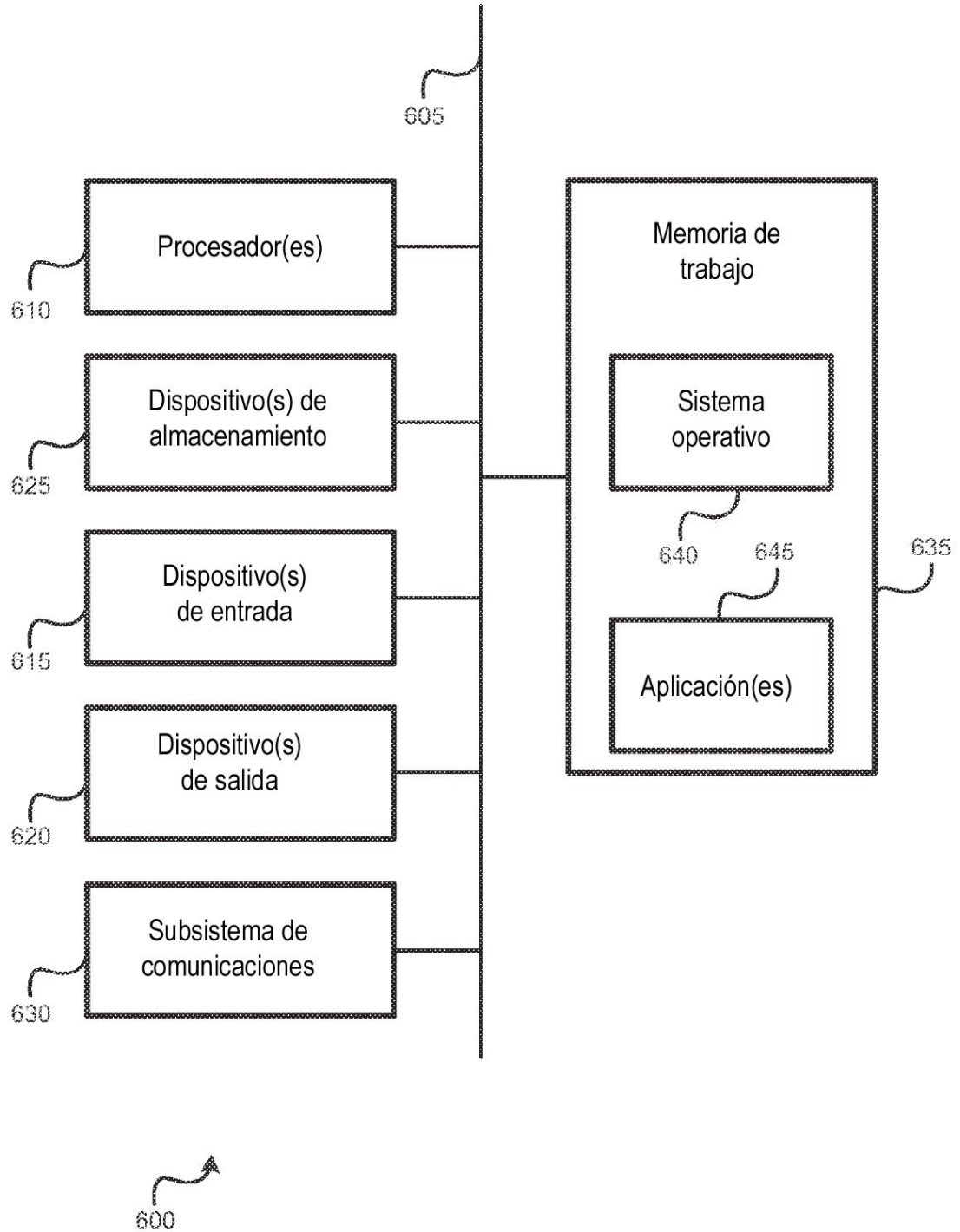


FIG. 6

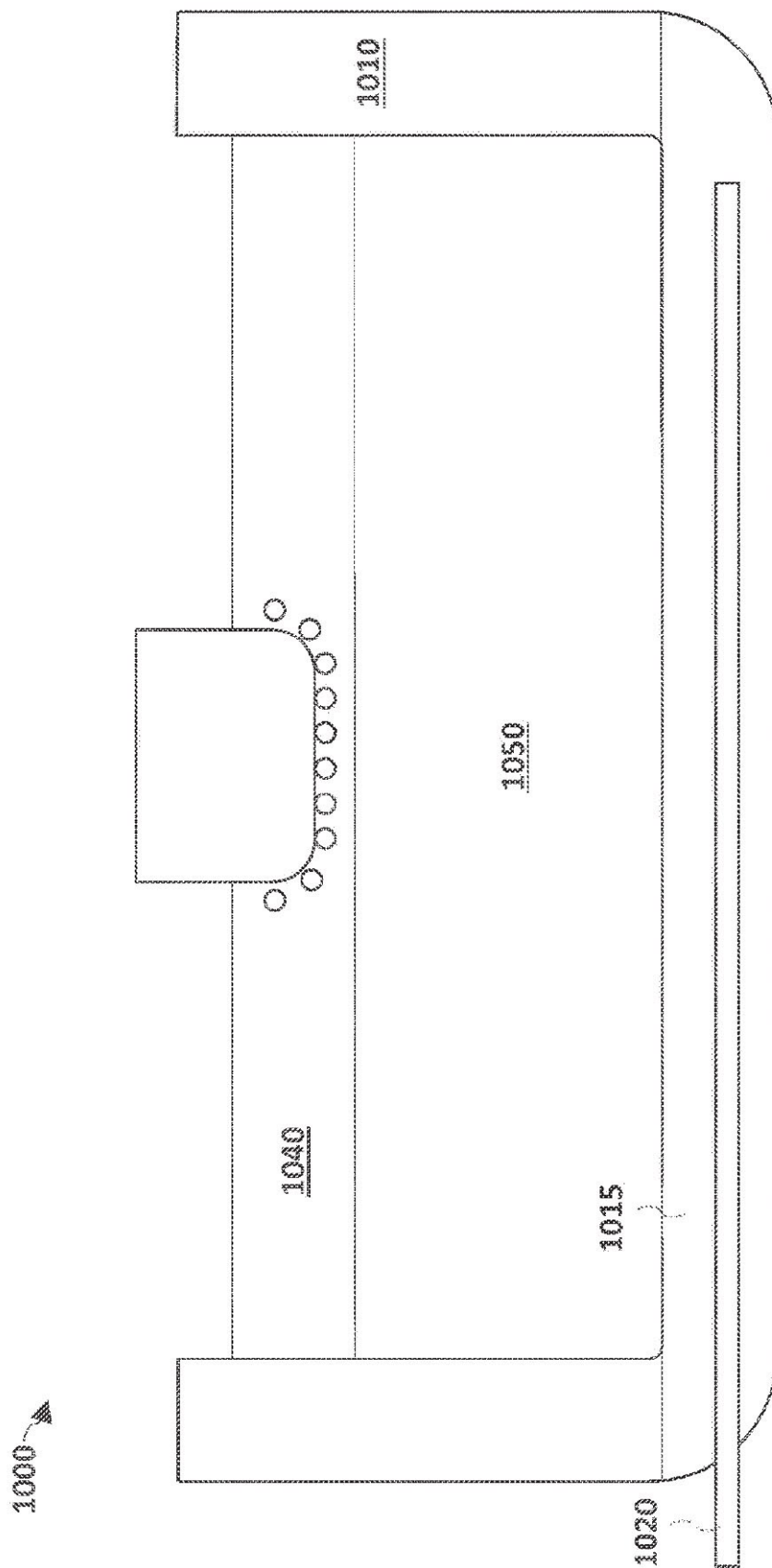


FIG. 7A Técnica Anterior

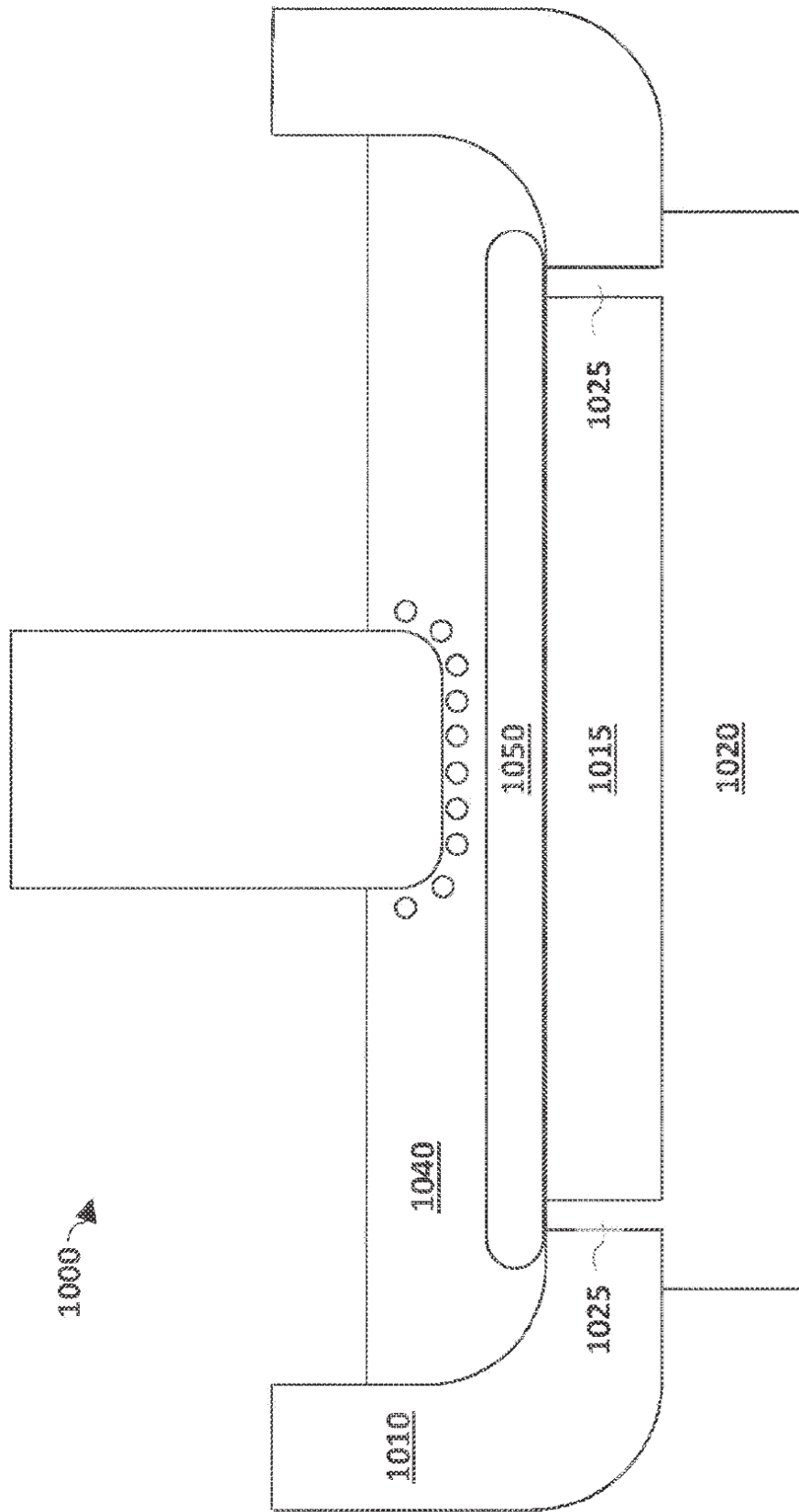


FIG. 7B

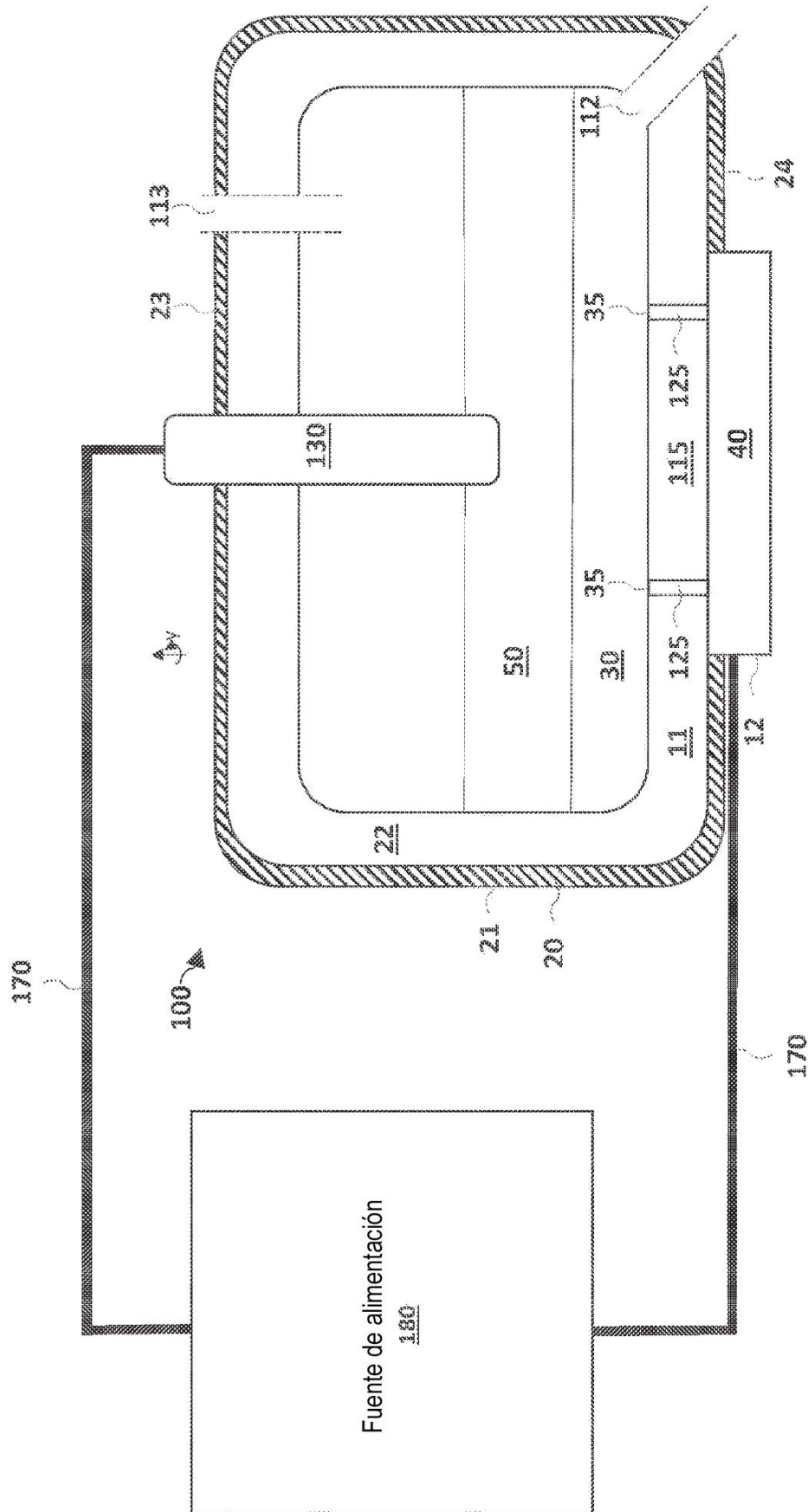


FIG. 8 Técnica Anterior

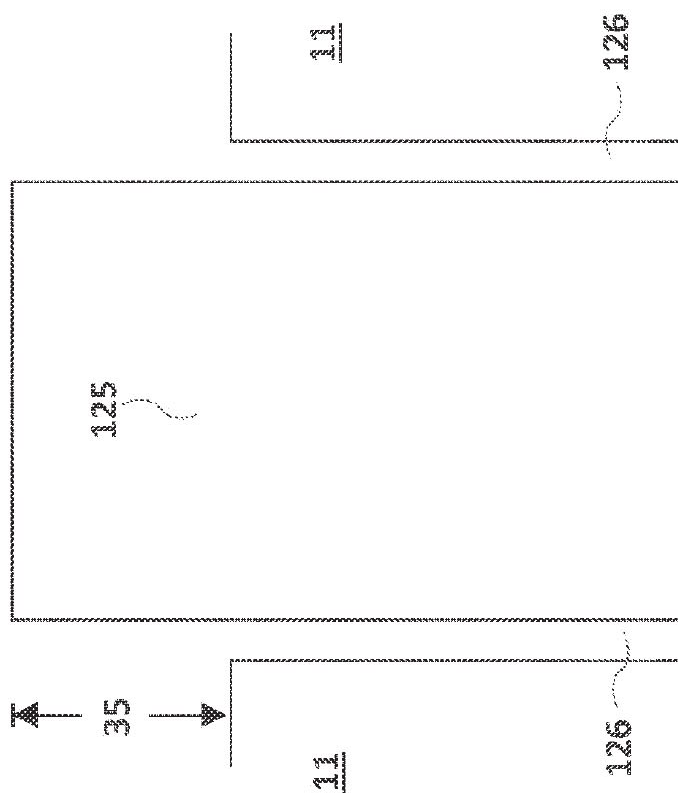


FIG. 9A Técnica Anterior

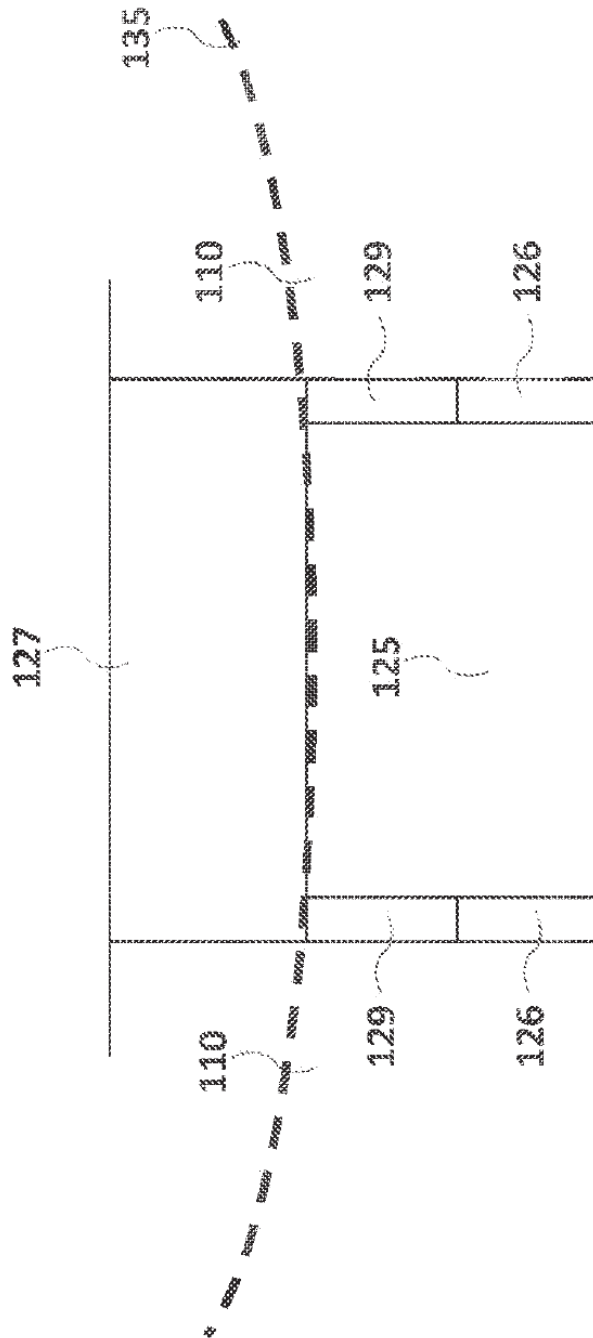


FIG. 9B