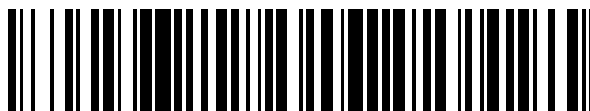


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 742 125**

51 Int. Cl.:

F27B 3/10 (2006.01)

F27D 27/00 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2015** **E 15382205 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019** **EP 3086069**

54 Título: **Horno para fusión y tratamiento de metal y residuos metálicos y método de realización**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
13.02.2020

73 Titular/es:
DIGIMET 2013 SL (100.0%)
C/ Gabiria 82
20305 Irún (Gipuzkoa), ES

72 Inventor/es:
COBOS, LUIS

74 Agente/Representante:
VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 742 125 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

Horno para fusión y tratamiento de metal y residuos metálicos y método de realización

5 Campo técnico

La presente invención se refiere al campo de hornos para fundir y/o tratar metales y/o residuos metálicos. En particular, se refiere a hornos para la circulación de un lecho de metal fundido.

10 Estado de la técnica

En las operaciones de fusión de metales y tratamiento de residuos metálicos se utilizan una amplia variedad de hornos cuya geometría, procedimiento y sistemas de calentamiento difieren sensiblemente. Atendiendo a su modo de operación, los hornos se pueden agrupar en hornos continuos o discontinuos, que pueden utilizar energía eléctrica o combustibles fósiles. También pueden clasificarse en función de su geometría. Además pueden ser de aplicación directa o indirecta. Las ventajas de cada tipo de horno están directamente relacionadas con el tipo y tamaño de la carga utilizada, ya que esta condiciona en gran medida la eficiencia energética y la calidad metalúrgica resultantes del proceso de fusión o tratamiento.

Por otra parte, un aspecto común a todos los procesos de fusión o tratamiento es la formación de escoria flotante. El modo y condición en que esta se separa del metal fundido o tratado es una característica particular y diferenciadora de cada horno, ya que supone una limitación muy importante respecto al sistema operativo empleado. Así, mientras en el cubilote la escoria se extrae automáticamente de forma continua y en estado líquido, en un horno de inducción debe retirarse en estado semisólido mediante una operación manual y discontinua tras cada fusión o tratamiento y previamente al vaciado del horno. En los hornos rotativos, esta operación se realiza tras el sangrado completo del metal, por vuelco o giro del horno antes de proceder a la nueva carga.

En cualquier caso, la realidad industrial nos presenta varios hornos con importantes diferencias en su rendimiento y operatividad. Los sistemas mayoritariamente utilizados se basan en el calentamiento directo de la carga por medio de corrientes inducidas, radiación o convección. El cubilote es un ejemplo de horno de calentamiento directo y fusión continua que produce una excelente calidad metalúrgica, pero presenta la desventaja de ser una instalación altamente contaminante debido a la utilización de coque como fuente energética. A ello se añaden los condicionantes dimensionales y de calidad que se imponen a la carga con el fin de dotarla de la suficiente permeabilidad y composición para permitir el flujo de los gases ascendentes y el grado de recarburación adecuado. El horno eléctrico no sufre de estos condicionantes, ya que admite cualquier tipo de carga, con la única limitación en tamaño impuesta por el diámetro del horno. Por ejemplo, la patente europea EP0384987B1 describe un horno eléctrico. Sin embargo, parte con el inconveniente de la necesidad de refrigeración de la bobina, lo que supone una importante reducción de su eficiencia energética y un alto coste de mantenimiento debido al elevado factor de potencia que es preciso contratar. Los hornos de gas, pese a utilizar una fuente energética menos gravosa, tienen un rendimiento energético aún más bajo y ocasionan unas mayores pérdidas por oxidación del material de carga debido al calentamiento por convección.

Las patentes estadounidenses US4060408 y US4322245 describen hornos de reverbero en los que la superficie del baño metálico se separa en cámaras diferenciadas. El metal se hace circular con ayuda de bombas rotativas que lo impulsan a través de pasajes y conductos practicados en las paredes de separación de las distintas cámaras. En ambos casos el calentamiento es directo y se aplican mecheros de gas tanto en la cámara de carga como en la de mantenimiento, lo que provoca la inevitable oxidación de una parte del metal y resulta en un rendimiento energético pobre. La solicitud de patente estadounidense US2013/0249149A1 trata de solucionar este problema mediante el montaje de una placa radiante que separa el mechero de la carga. El calentamiento del metal se produce por radiación de la placa sobre el baño metálico protegido por una atmósfera de nitrógeno para evitar las pérdidas por oxidación. Sin embargo, las tres propuestas anteriores están limitadas por un mismo aspecto, que es el nivel variable de la altura del baño, lo que impide la extracción continua de la escoria generada. Esto obliga a realizar operaciones de limpieza manuales y repetitivas que interfieren en la marcha del horno. Por ejemplo, es necesario abrir las compuertas de desescoriado en pleno proceso de fusión.

Por otra parte, la disposición de rotores mecánicos sumergidos en el metal para su recirculación limita el uso de estos hornos a metales no féreos de bajo punto de fusión, no siendo aptos para procesar hierro o acero, cuyo punto de fusión tiene lugar a temperaturas que no soportan los rotores sumergidos en el metal. Por ejemplo, la patente estadounidense US8158055B2 describe un rotor magnético acoplado a un canal exterior que comunica dos extremos de una cuba y que genera una corriente de metal que extrae y reintroduce una pequeña parte del metal fundido en la cámara de calentamiento. Este rotor magnético no sirve para hacer recircular todo el metal fundido, sino que se utiliza para homogeneizar la temperatura del baño y la composición química.

La solicitud de patente Europea EP2009121A1 describe un método de tratamiento de residuos en el que un lecho de metal fundido se mueve continuamente y define el circuito cerrado. Los residuos se retienen en la superficie del lecho de metal fundido. Los residuos se tratan bajo el efecto de un intercambio de calor constante y continuo

generado por el movimiento del lecho de metal fundido bajo los residuos retenidos sobre el mismo. El documento US2011/0248432 A1 desvela una bomba de fundición de metal no férreo y un sistema de horno de fundición que usa la misma.

En resumen, actualmente no existen hornos de uso discrecional (es decir, que pueden detenerse y reiniciarse en cualquier momento, incluso cuando están llenos de metal fundido), en los que la composición química pueda modificarse a voluntad gracias al acceso disponible al metal limpio, por ejemplo añadiendo un metal de formación de aleación, que permite la retirada continua de escoria y que puede cargarse con cualquier residuo metálico seco, mientras que se proporciona un rendimiento energético optimizado.

Descripción de la invención

Es por tanto un objetivo de la invención proporcionar un horno mejorado para la fusión y/o el tratamiento de una gran variedad de metales y residuos metálicos, teniendo el horno un bajo consumo y un alto rendimiento metalúrgico y energético gracias a su geometría y a su modo de funcionamiento, en el que el nivel de metal fundido permanece sustancialmente constante.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un horno que comprende un tanque que tiene un tabique exterior y un tabique interior. El tanque define un canal cerrado entre el tabique interior y el tabique exterior. El tanque se configura para, durante el uso del horno, llenarse con metal fundido que circulará a lo largo del canal cerrado de una manera continua y cíclica.

El horno comprende en dicho canal cerrado definido entre dicho tabique interior (5') y dicho tabique exterior (5):

- al menos una zona de calentamiento que comprende medios de calentamiento configurados para transferir energía al metal fundido sobrecalentando así el metal fundido;
- al menos una zona de carga configurada para cargar residuos metálicos o metal a fundir o tratar. El metal o residuos metálicos, durante el uso del horno, se arrastran por el metal fundido sobrecalentado en su superficie;
- una zona de fusión/tratamiento configurada para recibir el metal fundido sobrecalentado y el residuo metálico o metal arrastrado en su superficie. El metal fundido sobrecalentado transfiere su energía sobrante al metal o residuo metálico arrastrado causando así su fusión/tratamiento.

El tanque comprende un hueco central delimitado por el tabique interior. El horno comprende además al menos un medio de accionamiento ubicado dentro del hueco central. El al menos un medio de accionamiento comprende un rotor que comprende al menos dos imanes permanentes. El rotor se acopla a un motor y se configura para rotar tras la activación del motor, generando así un campo magnético capaz de provocar la circulación del metal fundido de una manera cíclica y continua a lo largo de la zona de calentamiento, la zona de carga y la zona de fusión/tratamiento. La energía y distribución del campo magnético generado se selecciona para afectar a la mayoría del metal fundido en el tanque para mover todo el metal fundido (con el metal y el residuo metálico en su superficie) a lo largo del canal cerrado.

En una realización particular, la al menos una zona de carga se superpone parcial o totalmente con dicha al menos una zona de calentamiento.

En una realización particular, la zona de fusión/tratamiento se superpone al menos parcialmente con dicha al menos una zona de calentamiento.

Preferentemente, el rotor se rodea por un primer cuerpo de aislamiento térmico dispuesto entre el rotor y una cara exterior del tabique interior del tanque que delimita el hueco central del tanque. El primer cuerpo de aislamiento térmico define un primer canal entre el rotor y un tabique interior del cuerpo de aislamiento térmico y un segundo canal entre un tabique exterior del primer cuerpo de aislamiento térmico y la cara exterior del tabique interior que delimita el hueco central o cavidad. El horno también comprende medios de soplado para soplar aire a través de los primeros y segundos canales para proporcionar aire de refrigeración al rotor para evitar que el rotor se caliente por encima de una temperatura determinada (por ejemplo, no superior a 80 °C). El primer cuerpo de aislamiento térmico es permeable al campo magnético.

En una realización particular, la cara exterior del tabique interior del tanque, que delimita dicha cavidad, se cubre con un segundo cuerpo de aislamiento térmico.

En una realización alternativa, la cara exterior del tabique interior del tanque, que delimita dicha cavidad, se realiza de un segundo cuerpo de aislamiento térmico.

Preferentemente, el cuerpo de aislamiento térmico se realiza de un material elegido a partir de los siguientes materiales: acero inoxidable, mica, un material compuesto o combinación de los mismos.

En una realización particular, el medio de calentamiento en dicha al menos una zona de calentamiento se coloca

sustancialmente fuera del efecto del campo magnético generado por el medio de accionamiento. Más preferentemente, el tabique exterior del tanque define una nariz exterior o protuberancia por lo que los medios de calentamiento se colocan en dicha nariz o protuberancia. Aún más preferentemente, el tabique interior del tanque define una nariz interior o protuberancia, por lo que dichos medios de calentamiento se colocan en el espacio definido por dichas narices interiores y exteriores.

En una realización particular, el horno comprende además una zona de extracción que termina en un tabique configurado para evitar el progreso de la escoria, comprendiendo dicha zona de extracción medios de extracción para verter parte del metal fundido y/o de la escoria.

En una realización particular, la al menos una zona de fusión/tratamiento comprende medios de retención cuya parte inferior termina ligeramente sobre el nivel alcanzado por el metal fundido dentro del tanque. Los medios de retención se configuran para evitar que el metal o residuos metálicos en la superficie fundida viajen hacia delante, por lo que los residuos se funden sustancialmente en la superficie del lecho de metal fundido, sin evitar el progreso del metal fundido por debajo de los medios de retención.

Los medios de calentamiento son preferentemente una antorcha de plasma.

Preferentemente, la velocidad angular del metal fundido en circulación es constante en la zona de fusión/tratamiento (en toda la sección de la zona de fusión/tratamiento).

En otro aspecto de la invención, el uso del horno previamente descrito, se proporciona, para fundir o tratar materiales férreos o no férreos.

En un aspecto final de la invención, se proporciona un método para tratar o fundir metal o residuos metálicos en un horno. El horno comprende un tanque que tiene un tabique exterior y un tabique interior, definiendo dicho tanque un canal cerrado entre dicho tabique interior y dicho tabique exterior. El tanque comprende al menos una zona de calentamiento, al menos una zona de carga y al menos una zona de tratamiento.

El método comprende las etapas de:

- llenar dicho tanque con metal fundido;
- transferir energía al metal fundido sobrecalentando así dicho metal fundido (en la zona de calentamiento);
- cargar metal o residuos metálicos a fundir o tratar, dicho metal o residuos metálicos arrastrándose por el metal fundido sobrecalentado en su superficie (en la zona de carga);
- recibir el metal fundido sobrecalentado y el metal o residuo metálico arrastrado en su superficie, transfiriendo el metal fundido sobrecalentado su energía sobrante al metal o residuo metálico arrastrado (en la zona de fusión/tratamiento);
- hacer circular el metal fundido a lo largo de dicho canal cerrado de una manera continua y cíclica, lográndose dicho movimiento mediante la acción de al menos un medio de accionamiento localizado dentro de un hueco central delimitado por dicho tabique interior del tanque. Dicho al menos un medio de accionamiento comprende un rotor, con al menos dos imanes permanentes, acoplándose el rotor a un motor y configurado para rotar tras la activación de dicho motor, generando así un campo magnético capaz de provocar dicha circulación del metal fundido de una manera cíclica y continua.

Las ventajas y características adicionales de la invención serán aparentes a partir de la descripción detallada que sigue y en particular se señalarán en las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción y para proporcionar un mejor entendimiento de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman una parte integral de la descripción e ilustran una realización de la invención, que no debería interpretarse como limitante del alcance de la invención, sino como un ejemplo de cómo puede llevarse a cabo la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

La Figura 1 muestra una vista superior del horno de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 2 muestra una sección transversal del horno, su cubierta y su rotor, de acuerdo con una realización de la invención.

Las Figuras 3A-3D muestran una realización más preferente del horno: las Figuras 3A a 3C muestran vistas laterales del horno. La Figura 3D muestra una vista superior del mismo.

La Figura 4 muestra una vista en sección del horno de las Figuras 3A-3D.

La Figura 5 muestra una vista lineal de la fusión o tratamiento del metal sólido o residuo metálico y la posición y

funcionamiento de tabiques y otros elementos del horno.

Las Figuras 6A, 6B y 6C muestran posibles alternativas de la geometría del horno, incluyendo la configuración de los rotores.

La Figura 7 ilustra una representación esquemática de las líneas de fuerza del campo magnético generado por el rotor.

La Figura 8 muestra una simulación de la intensidad del campo magnético como una función de la distancia al rotor.

Descripción de una manera de llevar a cabo la invención

En este texto, el término “comprende” y sus derivados (tal como “comprendiendo” etc.) no deberían interpretarse en el sentido excluyente, es decir, este término no debería interpretarse como excluyendo la posibilidad de que lo que se describe y define puede incluir además elementos, etapas, etc.

En el contexto de la presente invención, el término “aproximadamente” y los términos de su familia (tal como “aproximado” etc.) deberían interpretarse como indicando valores muy cercanos a los que acompañan al término antes mencionado. Es decir, una derivación dentro de límites razonables respecto a un valor exacto debería aceptarse, porque un experto en la materia entenderá que tal desviación de los valores indicados es inevitable debido a imprecisiones de medición etc. Lo mismo se aplica a los términos “alrededor de” y “en torno a” y “sustancialmente”.

La siguiente descripción no debe tomarse en el sentido limitante, sino que se proporciona solo con el fin de describir los principios amplios de la invención. Las siguientes realizaciones de la invención se describirán a modo de ejemplo, en referencia a los dibujos antes mencionados que muestran aparatos y resultados de acuerdo con la invención.

En referencia a las figuras, una realización preferente del horno de esta invención se describe a continuación.

El horno de la invención se basa en el calentamiento indirecto del material cargado mediante el metal fundido en circulación que transfiere la energía necesaria para la fusión o tratamiento del metal sólido cargado. Este calentamiento indirecto es especialmente importante cuando el material a tratar/fundir se carga en una zona separada de la zona de calentamiento. En algunos otros casos, en los que el material cargado puede estar en contacto con o en las proximidades del medio de calentamiento (es decir, antorcha de plasma), el medio de calentamiento tiene una contribución relevante al calentamiento del material cargado.

La Figura 1 muestra una vista superior del horno de acuerdo con una primera realización de la invención. La Figura 2 muestra una sección transversal del horno de acuerdo con esta realización de la invención. En la Figura 1, las cubiertas o tapas del horno se han retirado para mostrar los elementos o partes que están dentro del tanque 1 del horno. El cuerpo principal 5 del tanque 1 se realiza de un material refractario adaptado a las características del material a fundir/tratar (material férreo o no férreo). Los ejemplos no limitantes de materiales refractarios que pueden usarse son hormigón o ladrillo.

El tanque 1 del horno comprende un tabique exterior de bucle cerrado 5 y un tabique interior de bucle cerrado 5' que delimita una cavidad central o hueco (orificio pasante) 16. Los medios de accionamiento 17 se alojan dentro de la cavidad central 16 mencionada. Los medios de accionamiento 17 son un rotor 17 que comprende al menos un cuerpo de imán que tiene al menos dos imanes permanentes. El rotor 17 se monta en un eje vertical 19 que se acopla a un motor eléctrico 20. Este acoplamiento puede ser directo o indirecto, por ejemplo mediante una polea. Existe preferentemente un medio de refrigeración 18 para refrigerar el motor 20 dispuesto bajo el rotor 17. El funcionamiento del rotor 17 es crear un campo magnético constante cuando gira (rota) alrededor de dicho eje 19 tras la activación del motor 20. El campo magnético así generado provoca la circulación del metal fundido de una manera continua y cíclica a lo largo del canal cerrado definido por el tanque 1.

La Figura 7 ilustra una representación esquemática de las líneas de fuerza del campo magnético generado por el rotor 17 a modo de ejemplo que tiene seis polos. El metal fundido en circulación actúa como un medio de recorrido para el metal o residuos a fundir/tratar y para la escoria. Cuanto más cerca esté del rotor el metal fundido, más circula el metal fundido debido al efecto del campo magnético generado por el rotor. Sin embargo, la velocidad angular del metal fundido en circulación es constante para todo el volumen del metal fundido. En la Figura 2, la referencia 4 se usa para referirse al metal fundido 4 que llena parcialmente la cavidad del tanque. El horno es adecuado para fundir/tratar tanto material férreo como no férreo, debido al efecto de repulsión aplicado por el campo magnético alternativo a los metales líquidos (fundidos), por que estos son no magnéticos y conductores. El tanque 1 se coloca en un elemento de soporte 2. Bajo el tanque 1, se colocan unos segundos medios de soporte para el conjunto formado por el rotor 17 y el motor 20 (no se ilustran).

El rotor 17 se rodea preferentemente por (o se aloja dentro) de un primer cuerpo de aislamiento térmico 6, mostrado en la Figura 2, que en una realización particular puede adoptar la forma de un cilindro. Este cilindro 6 se coloca entre el rotor 17 y una cara exterior del tabique interior 5' del tanque 1. El rotor 17 se separa suficientemente preferentemente de los tabiques (o el único tabique circular, en el caso de un cilindro) de dicho primer cuerpo de aislamiento 6 para definir un primer canal 50 que permite que pase un flujo de aire (indicado por flechas en la figura 2). En otras palabras, el tabique cilíndrico hueca del cuerpo de aislamiento 6 forma, en su cara interior, una chimenea de evacuación para el flujo de aire (aire refrigerante). En su tabique exterior, el cuerpo de aislamiento 6 está separado suficientemente preferentemente de la cara exterior del tabique interior 5' del tanque 1 para definir un segundo canal 51 que permite también que fluya el aire. Tal flujo de aire llega preferentemente a través de soplantes 22 correspondientes, preferentemente soplantes de baja presión.

El cuerpo de aislamiento térmico 6 es permeable al campo magnético. El cuerpo de aislamiento 6 comprende un material no magnético que soporta altas temperaturas (hasta 700 °C). Los ejemplos no limitantes de tal material son acero inoxidable, mica o un material compuesto entre otros. El fin de este cuerpo de aislamiento térmico 6 es garantizar que la temperatura alrededor del rotor 17 no sea mayor de 80 °C y que se proteja la radiación del horno. La altura del cuerpo de aislamiento 6 es al menos la del rotor 17. Esta también puede ser mayor que la del rotor 17. La Figura 8 muestra una simulación de la intensidad del campo magnético (Gauss) producida por un imán con respecto a la distancia.

Los hornos convencionales tienen normalmente un tabique metálico o lámina 35 que cubre externamente el cuerpo refractario (que es normalmente hormigón o ladrillo), como se muestra por ejemplo en la Figura 2. En una realización preferente, sin embargo, tal tabique o lámina metálica se ha retirado de la superficie exterior del tabique de cuerpo interior (es decir, la parte que en la Figura 2 está más cerca del cuerpo de aislamiento 6). En lugar de tal tabique o lámina metálica, un segundo cuerpo de aislamiento térmico 6' para el aislamiento térmico se ha dispuesto para cubrir el cuerpo del tanque refractario. En otras palabras, el tabique metálico se sustituye por un tabique del segundo material de aislamiento, que comprende preferentemente acero inoxidable, mica, un material compuesto o una combinación de los mismos. De esta manera, el segundo cuerpo de aislamiento térmico está en contacto con el tabique refractario 5' del horno. En una realización alternativa, el segundo cuerpo de aislamiento térmico 6' se añade al tabique metálico, que no se retira.

Este segundo cuerpo de aislamiento térmico 6' se muestra en la Figura 2. Este segundo cuerpo de aislamiento 6' contribuye a lograr la temperatura deseada alrededor del rotor 17 (temperatura que no supera aproximadamente 80 °). En una realización preferente, el segundo cuerpo de aislamiento 6' se realiza de mica.

En el uso del horno, el tanque 1 se llena de metal fundido (4 en la Figura 2). En la realización mostrada, el horno tiene una zona de carga A para cargar metal (sólido) SM o residuos metálicos R a fundir o tratar en el tanque 1. Las realizaciones alternativas del horno pueden tener más de una zona de carga A. Como se ha explicado ya, el medio de accionamiento 17 genera un movimiento del metal fundido de una manera cíclica y continua dentro del tanque 1. Al cambiar la velocidad de rotación del rotor, la velocidad del metal fundido en circulación puede ajustarse por un operario. Mientras se mueve, el metal fundido arrastra el metal sólido SM o residuo metálico R. Las flechas en la Figura 1 representan la dirección de movimiento del metal fundido dentro del tanque 1. El metal fundido y el metal cargado SM o residuo metálico R viaja hacia una zona de tratamiento/fusión B en la que el metal o residuo metálico se funde/trata como consecuencia del intercambio de calor y el movimiento del metal fundido. Dependiendo de la configuración del horno, puede haber una o más de una zona de fusión/tratamiento B. La velocidad angular del metal fundido en circulación es constante por todo el volumen de metal fundido al menos en la zona de fusión/tratamiento B. La velocidad angular es constante tanto en la superficie como dentro del tanque 1.

En la realización mostrada en la Figura 1, el horno comprende una zona de calentamiento D que comprende medios de calentamiento 11. Las realizaciones alternativas del horno pueden tener más de una zona de calentamiento D. En la realización mostrada, la zona de calentamiento D se ubica preferentemente antes de la zona de carga A, incrementando así el rendimiento del tratamiento porque en las proximidades de la zona de calentamiento el metal fundido alcanza su mayor temperatura. Como alternativa, la zona de carga A puede estar dentro de la zona de calentamiento D. En una realización preferente, el medio de calentamiento 11 es una antorcha de plasma. La antorcha de plasma se soporta normalmente por un elemento de soporte, que no se ilustra, en el que se monta la antorcha. Este elemento de soporte permite que el electrodo (de la antorcha) gire hasta 180° para permitir un cambio de electrodo. El electrodo es uno convencional, tal como uno fabricado de grafito. La energía proporcionada por el medio de calentamiento 11 se transfiere al lecho de metal fundido, que circula en un bucle cerrado. En esta zona de calentamiento o cámara D, el metal fundido (lecho metálico) se sobrecalienta con respecto a la temperatura de sangrado, de manera que el metal fundido sobrecalentado puede pasar la energía sobrante sobre el metal sólido SM o residuo metálico R durante su circulación. La temperatura del proceso se ajusta y controla leyendo la temperatura de sangrado. Dependiendo del valor de la temperatura de sangrado, la potencia aplicada por el medio de calentamiento 11 y /o el volumen de carga (metal sólido SM o residuo metálico R) cargado ahora y después en el horno se incrementa/reduce. El horno también comprende al menos una salida de extracción de humo 15, mostrada en la Figura 2.

En la realización mostrada en la Figura 1, el horno también comprende una zona de extracción de escoria y metal C

dispuesta después de la zona de tratamiento/fusión B y antes de la zona de calentamiento D. Esta zona de extracción de escoria y metal C comprende medios de extracción 9, tal como una piquera de sangrado, para verter la escoria y el metal fundido que superan el nivel de esta piquera de sangrado. La escoria flota en la superficie de la zona de extracción C. La escoria circula hacia la piquera de sangrado 9. Como alternativa, los medios de extracción pueden formarse mediante dos piqueras de sangrado 9, 9' separadas (mostradas por ejemplo en las Figuras 3A-3D), para extraer por separado la escoria del metal fundido. Esto permite realizar un control estricto sobre la temperatura del sistema, controlando la temperatura del metal fundido y así evitando daños en el tabique refractario. El control de la temperatura del metal fundido también permite regular la cantidad de metal SM o residuo metálico R cargado en el lecho de metal fundido. El rendimiento del horno se optimiza así. Preferentemente, en la zona de extracción C también existe un termopar 32 (o incluso un termopar óptico) para controlar la temperatura del metal fundido. La escoria y el metal se extraen en esta zona C, por lo que la superficie de metal fundido está libre de escoria cuando alcanza la zona de calentamiento D y la zona de carga A. Esto incrementa considerablemente el rendimiento del calentamiento del metal circulante y la transferencia de calor al material cargado. Como puede observarse, el medio de calentamiento 11 está dispuesto después de la zona de extracción de escoria y metal C, de manera que el metal fundido tiene una temperatura sustancialmente homogénea en su superficie cuando alcanza la zona de carga A.

El horno puede tener diferentes tabiques, dispuestos entre el cuerpo principal 5 (o tabique exterior 5) del tanque 1 y su tabique interior 5', asociado con las diferentes zonas de trabajo en las que se divide el horno. En otras palabras, los tabiques son transversales al flujo o movimiento del metal fundido. Dependiendo de la altura de cada tabique con respecto a la superficie del lecho de metal fundido, cada tabique permitirá o no el recorrido de la escoria y/o el metal sólido o residuo arrastrado por el metal fundido. El metal fundido siempre pasa por los tabiques. En la realización de la Figura 1, el tabique divisor 27 delimita la zona de calentamiento D, para que el medio de calentamiento 11 se aíse del resto del horno. El tabique divisor 27 es opcional. El motivo de tener el tabique divisor 27 es para cerrar la zona de calentamiento D, para evitar que la radiación abandone dicha zona D. El tabique divisor 27 preferentemente separa la zona de carga A de la zona de calentamiento D. El extremo inferior de este tabique divisor 27 es aproximadamente de la misma altura, pero ligeramente superior, que el nivel del lecho de metal fundido. En particular, el extremo inferior del tabique divisor 27 está preferentemente a una altura de manera que el material sólido cargado no puede ir hacia atrás a la zona de calentamiento D desde la zona de carga A mientras que la escoria que puede generarse en la zona de calentamiento D puede abandonar dicha zona de calentamiento D. En otras palabras, si el proceso de carga en la zona de carga A se optimiza, el tabique divisor 27 no es necesario. El extremo inferior del tabique 27 está ligeramente por encima de la superficie del lecho de metal fundido. Preferentemente, el extremo inferior del tabique 27 es como mucho 5 mm superior al nivel del metal fundido. Es decir, existe un hueco mínimo de 5 mm entre el extremo inferior del tabique 27 y el nivel del metal fundido. El metal fundido en circulación se calienta, arrastra y funde el material cargado a lo largo del bucle cerrado (zona de fusión/tratamiento B). En el extremo de esta zona de fusión/tratamiento B, puede existir un medio de retención 24, preferentemente en la forma de un tabique de retención. La zona de extracción de escoria y metal C se delimita mediante un tabique de sifonado 25 que penetra (está ligeramente sumergido) dentro del metal fundido hacia abajo a una cierta profundidad, preferentemente hasta 40 mm, evitando así el recorrido de la escoria hacia la zona de calentamiento D. El tabique de sifonado 25 permite la extracción de escoria (a través de la piquera de sangrado 9) de manera continua y evita su recorrido hacia la zona de calentamiento D. El circuito de circulación (bucle) se cierra así. Puede existir una piquera de vaciado 7 ubicada en cualquier zona para vaciar el tanque 1 en caso necesario.

Como ya se ha mencionado, en una realización particular, la zona de fusión/tratamiento B comprende medios de retención de residuos 24. En esta realización, cuando el metal SM o residuo metálico R, que viaja en la superficie del metal fundido X, alcanza el medio de retención 24, este no permite que pasen el metal sólido flotante SM o el residuo metálico flotante R que tienen una altura superior al extremo inferior del medio de retención 24, mientras que el metal fundido X, junto con las partículas metálicas que puede contener, continúa su movimiento por debajo del metal sólido SM o residuo metálico, provocando la fusión/tratamiento completo del metal sólido SM o residuo metálico R, como se describirá a continuación. En otras palabras, el medio de retención 24 es para retener tal metal sólido o residuos en la superficie del metal circulante. El medio de retención 24 puede implementarse como un tabique soportado o apoyado contra la superficie interior del tanque 1. Preferentemente, el extremo inferior del tabique de retención 24 está como mucho a 2 mm sobre el nivel de metal fundido. Es decir, existe un hueco mínimo de 2 mm entre el extremo inferior del tabique de retención 24 y el nivel del metal fundido. Esta altura depende del tamaño del residuo metálico o metal sólido SM a fundir/tratar y varía dependiendo del tipo de residuo metálico o metal sólido.

El horno mostrado en la Figura 1 representa una realización básica. El horno puede tener un diseño modular, de tal manera que la realización básica puede repetirse tantas veces como sea necesario dependiendo de las cantidades de metal/residuo metálico a tratar/fundir, pero siempre con un único bucle cerrado a lo largo del que circula el mismo metal fundido.

En la realización mostrada en la Figura 1, diferentes zonas (zona de carga A, zona de fusión/tratamiento B, zona de extracción C y zona de calentamiento D) se han definido. Las características específicas de estas zonas dependen de las características específicas de los diferentes materiales a fundir/tratar. Así, la ubicación y tamaño de esas zonas se configuran con el fin de obtener un rendimiento optimizado del horno durante el funcionamiento (consumo

de energía específico, reciclado metálico y desgaste de tabique refractario). Los residuos a tratar se caracterizan normalmente por su naturaleza, composición, forma de cargarse y/o requisitos y evolución durante el tratamiento/fusión. Así, diferentes realizaciones específicas del horno pueden implementarse, dependiendo de los residuos a tratar y sus características.

5 La realización mostrada en la Figura 1 puede usarse para tratar/fundir materiales que tienen un alto contenido metálico (que normalmente se funden relativamente con rapidez) y con alta evolución gaseosa. Un ejemplo no limitante de tal material es polvo EAF (horno de arco eléctrico). Estos materiales pueden procesarse (tratarse) en la zona de fusión/tratamiento B mediante la energía proporcionada por el metal fundido circulante. Para tales
10 materiales, que generan normalmente una gran cantidad relativa de escoria, la implementación mostrada en la Figura 1 se usa. En particular, el tratamiento de polvo EAF requiere la presencia de los dos tabiques 24, 25: tabique o medio de retención 24, en el extremo de la zona de tratamiento/fusión B, para retener residuos o metal sólido en la superficie del lecho de metal fundido; y tabique de sifonado 25, para evitar el recorrido de la escoria hacia la zona de calentamiento D. Un tabique divisor 27 puede implementarse opcionalmente para, en el caso de sobrecarga en la
15 zona de carga A, evitar que parte de los materiales cargados viajen contra corriente hacia la zona de calentamiento D. La carga de material en la zona de carga A se controla para evitar que el material de sobrecarga alcance la zona de calentamiento D. El tabique divisor 27 también es para aislar el medio de calentamiento 11 del resto del horno y evitar así que la radiación abandone dicha zona D.

20 Si, al contrario, el material a tratar/fundir está lo suficientemente limpio y por tanto no genera grandes cantidades de escoria, la zona de fusión/tratamiento B puede incluir una o más antorchas de plasma complementarias en una parte en esta zona B alejada de la zona de carga A. Los ejemplos no limitantes de tales materiales son escoria, virutas metálicas, óxido de cobre u óxido de hierro. Esto es porque, debido a su poca evolución gaseosa y bajo punto de fusión, tales materiales pueden estar sometidos a la acción de la antorcha de plasma sin evaporación. Por este
25 motivo, el material cargado puede estar en contacto con o en las proximidades de la antorcha de plasma. A esto se debe que la zona de carga A y/o la zona de tratamiento/fusión B pueden superponerse (parcial o totalmente) con la zona de calentamiento D. Estos materiales requieren también la presencia de dos tabiques: tabique o medio de retención 24 y tabique de sifonado 25, para evitar el recorrido de la escoria hacia la zona de calentamiento D.

30 En otra realización alternativa, el horno se usa para la fusión/tratamiento de material que tiene un punto de tratamiento/fusión alto y poca evolución gaseosa, tal como asbesto, residuos de catalizador de automóvil, que se combinan normalmente con cerámica, residuos petroquímicos con alto grado de molibdeno. Estos materiales se cargan preferentemente (A) en la zona de calentamiento D, bien a través de la antorcha de plasma (que está hueca) o en las proximidades de la misma. En esta misma zona los materiales se procesan (se tratan o funden). El horno
35 está por tanto configurado preferentemente con una cámara/zona principal para calentamiento y tratamiento, y con una pequeña zona de extracción C en el extremo de la zona principal. En este caso, solo el tabique de sifonado 25 y el tabique divisor 27 se necesitan estrictamente, para evitar respectivamente el recorrido de la escoria hacia la zona principal (para el calentamiento, conducción y tratamiento) y para actuar como medio de retención.

40 En otra realización alternativa, usada para tratar o fundir el material que tiene una alta evolución gaseosa y alta temperatura de tratamiento/fusión, el material debe cargarse (zona cargada A) en la cámara antes de la zona de calentamiento (D) y después de la zona de extracción C. La zona de calentamiento D puede superponerse parcialmente con la zona de tratamiento/fusión D porque el material puede tratarse/fundirse en ambas zonas. Por tanto, para tales materiales, el tabique de sifonado 25 y el tabique divisor 27 son necesarios. Se remarca que, en
45 esta realización, el tabique divisor 27 funciona como medio de retención.

La Figura 5 muestra una vista lineal del tratamiento/fusión de metal sólido o residuo metálico y la colocación y función de los tabiques y otros elementos del horno de acuerdo con la realización ilustrada en la Figura 1. La línea horizontal representa el nivel de metal fundido dentro del tanque. El primer elemento es el medio de calentamiento
50 11 (preferentemente una antorcha de plasma) ubicada en la zona de calentamiento. La antorcha de plasma 11 permanece por encima del lecho de metal fundido. El tabique divisor opcional 27 delimita el extremo de la zona de calentamiento. El extremo inferior de este tabique divisor 27 está ligeramente sobre el nivel del lecho de metal fundido. El metal SM o residuo metálico R se carga tras el tabique divisor 27, por lo que este tabique evita que el material cargado vaya hacia atrás en la zona de calentamiento. El metal SM o residuo metálico R se arrastra por el
55 metal fundido circulante X en la dirección de las flechas. Cuando el metal fundido circulante X, que arrastra el metal SM o residuo metálico R, alcanza el medio de retención 24, el medio de retención 24 evita que el material metálico no fundido viaje hacia delante, mientras que permite el progreso por debajo del medio de retención 24 de la escoria, y el metal fundido. El medio de retención 24 también es opcional, ya que solo es necesario en ciertos usos del horno. Como se ilustra en la Figura 5, la fracción de metal soluble MM se incorpora en el lecho de metal fundido, mientras que la fracción volatilizable V, en caso de que exista, se moverá a una fase de tratamiento/fusión y extracción que comprende gases de filtrado y la recuperación de la parte valorizable. La fracción I que no es soluble a la temperatura del lecho de metal y no volatilizable, se mueve a la superficie del lecho de metal fundido en la forma de escoria I.

65 El medio de retención 24 se diseña de manera que su parte inferior termina ligeramente sobre el nivel alcanzado por el metal fundido X dentro del tanque 1. En otras palabras, el medio de retención 24 termina en un nivel con respecto

- al nivel del metal fundido X que es lo suficientemente superior para permitir que la escoria I vaya hacia delante pero evita que el metal sólido MS continúe más lejos. Este se ubica a una distancia del lecho metálico que puede variar (dependiendo del uso para el que va destinado el horno). Su objetivo es evitar el recorrido hacia delante de los restos flotantes antes de que se fundan totalmente y sustancialmente. La altura del tabique de retención 24 depende
- 5 del tamaño del residuo metálico R o el metal sólido SM a fundir/tratar y varía dependiendo del tipo de residuo metálico R o metal sólido SM. El metal fundido X que tiene escoria flotante I en su superficie viaja a lo largo del canal cerrado definido por el tanque. Si el nivel de metal fundido supera la altura a la que está la piqueta de sangrado (o donde están las piqueras de sangrado), la cantidad sobrante de metal fundido abandona el tanque a través de las piqueras de sangrado (no se muestra en la Figura 5). La escoria flotante no abandona el tanque, sino que viaja hacia
- 10 delante hasta que alcanza el medio de retención 24, cuyo extremo inferior tal como se muestra en la Figura 5, está ligeramente por encima del nivel del metal fundido. Esta disposición del medio de retención 24 permite que la escoria I vaya hacia delante pero evita que el metal sólido MS continúe más. Por tanto, la escoria I viaja hacia delante hasta que alcanza el tabique de sifonado 25.
- 15 El tabique de sifonado 25 delimita una zona de extracción de metal y se sumerge ligeramente en el lecho de metal fundido. Este penetra dentro del metal fundido hacia abajo una cierta profundidad, evitando así el recorrido de la escoria I hacia la zona de calentamiento. Si existen dos piqueras de sangrado 9, 9', el metal fundido sobrante se extrae mediante una de ellas y la escoria se extrae mediante la otra. Si existe solo una piqueta de sangrado, el metal fundido y la escoria se extraen mediante esa única piqueta. Así, el metal fundido sustancialmente libre de escoria
- 20 alcanza la zona de calentamiento. El tabique divisor 27 delimita el extremo de la zona de calentamiento en el que se ubica la antorcha de plasma 11. La Figura 5 también ilustra un termopar 32, parcialmente sumergido en el lecho de metal fundido.
- Las Figuras 3A a 3D y 4 ilustran una realización preferente del tanque 31 (tapas o cubiertas no mostradas). El
- 25 perímetro exterior del tanque 31 es un tabique circular 5 que se ha modificado de manera que en la zona de calentamiento D, es decir, en la zona en la que se ubica el medio de calentamiento 11, el tabique exterior 5, en lugar de ser exactamente circular, se aleja con respecto al tabique interior 5', definiendo así una protuberancia o nariz 311. En una realización más preferente, el perímetro interior del tanque 31, que es originalmente también un tabique circular 5' que define la cavidad 16 en la que se coloca el medio de accionamiento 17, también se ha modificado
- 30 como el perímetro exterior del tanque, definiendo una protuberancia o nariz 211 similar. Las implementaciones preferentes de estas protuberancias 211 y 311 se describen a continuación, en referencia a la Figura 4. En la realización de las Figuras 3A-3D, un medio de extracción doble 9, 9' se muestra, para extraer por separado (sangrado) escoria y el metal fundido respectivamente, que pueden superar un nivel determinado H1, que es el nivel en el que la piqueta de sangrado 9 está en la realización con una única piqueta de sangrado y en el que la piqueta de sangrado 9' está en la realización con dos piqueras de sangrado separadas. Si existen dos piqueras de sangrado 9, 9', el metal fundido sobrante se extrae mediante una de ellas y la escoria se extrae mediante la otra. Así, el metal fundido sustancialmente libre de escoria alcanza la zona de calentamiento. Como alternativa, un único medio de extracción 9 (por ejemplo, piqueta de sangrado) podría usarse en su lugar, tal como se muestra por ejemplo en la
- 35 Figura 1. Una piqueta de vaciado 7 también se muestra, para vaciar el tanque 1 cuando sea necesario. La Figura 4 muestra una implementación preferente de protuberancias 311, 211. Los inventores han observado que esta configuración optimiza el rendimiento del horno, porque el campo magnético generado por el medio de accionamiento 17, cuando está en funcionamiento, no afecta al rendimiento del medio de calentamiento 11, que es preferentemente una antorcha de plasma.
- 45 Aunque la velocidad angular del material fundido circulante es constante para todo el volumen del metal fundido en la zona de fusión/tratamiento B, en la zona de calentamiento D la velocidad debido al campo magnético es mucho menor porque el campo magnético es mucho menor en esta zona (véase por ejemplo la Figura 8, que representa el comportamiento del campo magnético con distancia). En esta zona del canal donde se encuentra la protuberancia, el metal fundido circula principalmente debido a la fuerza de arrastre aplicada por el resto del metal fundido.
- 50 En una realización alternativa, el aislamiento del medio de calentamiento 11 respecto al efecto del campo magnético generado por el medio de accionamiento 17 se logra mediante una configuración diferente del horno. En lugar de tener una protuberancia 311 (o protuberancias 211, 311), la anchura del canal que forma un bucle cerrado (definido por los dos tabiques del tanque) es constante, pero lo suficientemente gruesa para tener sustancialmente ninguna
- 55 influencia del campo magnético generado por el medio de accionamiento 17 en el medio de calentamiento 11 ubicado en la zona de calentamiento D. En esta realización, la velocidad lineal del metal fundido circulante ya no es constante, siendo inferior dicha velocidad lineal en la parte exterior del canal.
- En una realización preferente, el horno tiene dos cubiertas o tapas, no mostradas: una primera cubierta que cubre la
- 60 zona de fusión/tratamiento y una segunda cubierta que cubre la zona de calentamiento. La tapa o tapas permiten el acceso de uno o más mecheros de gas, por ejemplo, para precalentar y/o para suministrar energía adicional al medio de calentamiento 11. Los tabiques 24, 25, 27 diferentes pueden estar o bien fijos al tanque o a la tapa o tapas.
- 65 La operativa de fusión o tratamiento en un horno, como el modo de realización de las figuras 1 o 3A-3D, en su caso, se inicia con la puesta en marcha del motor 20 de giro del rotor magnético 17 y el o los soplantes, y sigue con el

precalentamiento de la cuba del horno y la cámara de plasma (zona de calentamiento D) con mecheros de gas hasta alcanzar una temperatura ajustada a la del material a procesar en la superficie del horno refractario (tanque 1, 31). Cuando se alcanza la temperatura deseada, mediante una cuchara de trasvase se llena el canal del tanque 1, 31 con metal fundido. El volumen del metal fundido debe ser el suficiente para llenar completamente el canal hasta su desbordamiento por la piqueta de sangrado (piqueta de sangrado 9' en las figuras 3A-3D). El metal excedente llena un crisol de sifonado situado en un plano inferior vertical a la piqueta y se mantiene en estado líquido con medios auxiliares de calentamiento (por ejemplo, una bobina de inducción o gas) en el caso de que haya una sola piqueta. En el caso de que haya dos piqueras, el metal excedente rebosa por 9' y va a una lingotera.

10 Tras ajustar la velocidad de giro del metal fundido, se da marcha a la antorcha de plasma 11 para elevar la temperatura del metal hasta la consigna de fusión o tratamiento requerida y, una vez alcanzada, se inicia la carga de material sólido R (o SM) que se funde por contacto con la corriente de metal fundido X en su circulación hacia la piqueta de sangrado. La incorporación de este metal provoca la elevación del nivel del baño (lecho de metal fundido) y se produce el desbordamiento del mismo en la piqueta de sangrado, arrastrando en su salida las escorias en flotación I, en el caso de que se utilice una única piqueta de sangrado común. En este caso, la mezcla de metal y escoria se separa en el sifón exterior (no ilustrado), que vierte dos chorros separados de metal limpio y escoria. Alternativamente, si se usan dos piqueras de sangrado 9, 9', las escorias en flotación se extraen del tanque en la segunda piqueta de sangrado 9.

20 Para garantizar el correcto funcionamiento del proceso, el horno dispone preferentemente de los dos tabiques descritos, situados junto a la(s) piqueta(s) de sangrado. El primero de ellos (tabique 24) se sitúa en la zona inmediatamente anterior a la piqueta (o primera piqueta 9' en caso de haber dos piqueras) respecto a la dirección de la corriente y a un nivel rasante con la altura del baño. Como se ha explicado, su misión consiste en retener los restos de carga aún no fundidos que puedan quedar en flotación. Estos restos terminan de fundirse por la acción combinada de la convección forzada que aporta el metal circulante sobre un elemento estático y opcionalmente por el calentamiento directo de, por ejemplo, un mechero de gas de baja potencia situado sobre el propio tabique de retención 24. El tabique de sifonado 25 se sitúa en la zona posterior de la piqueta de salida (o entre las dos piqueras 9, 9', en caso de que haya dos) respecto a la dirección del metal y su nivel se hunde en el baño a una profundidad suficiente para impedir el paso de la escoria hacia la cámara de calentamiento D y a su vez permitir la recirculación del metal. En el caso de que haya dos piqueras 9, 9', en su extremo exterior este tabique de sifonado 25 se conecta directamente con la segunda piqueta de sangrado 9, por la que fluye la escoria, que se vierte en un sifón separador.

El metal circulante sustancialmente exento de escoria entra en la cámara de calentamiento D, donde eleva su temperatura hasta el máximo necesario y suficiente para fundir el material sólido que se carga en la zona en el que el metal abandona dicha cámara (zona de carga A), iniciando nuevamente el ciclo de fusión/tratamiento y arrastre del material cargado y cerrando el ciclo de fusión y colada. Este proceso se regula automáticamente mediante el control de la temperatura de sangrado, para cuyo control preferentemente se utiliza un termopar 32. El aumento o disminución de la temperatura de sangrado se convierte en un parámetro indicativo de la marcha del proceso y permite al operario seleccionar los parámetros de funcionamiento en función de las necesidades prioritarias del mismo. El aumento o disminución de la temperatura de sangrado establecida se corrige mediante la regulación del volumen de carga introducida, por el incremento o reducción de la potencia aplicada o por una combinación de ambos factores.

El proceso descrito permite utilizar el horno de un modo discrecional ya que, tras su cebado con metal líquido, puede mantenerse en espera de recibir carga sólida el tiempo que se precise. Para ello basta con ajustar la potencia de calentamiento a la necesaria para mantener el metal a una temperatura apropiada y ajustar la velocidad de rotación al mínimo imprescindible para esta operación. Dado que el sifón incorpora preferentemente su propio sistema de calentamiento, el proceso de fusión se puede interrumpir y reanudar a voluntad del operario sin ninguna consecuencia negativa para el funcionamiento del horno.

50 Las Figuras 6A, 6B y 6C muestran posibles alternativas de la geometría del horno, incluyendo la configuración de los rotores. Por ejemplo, en la Figura 6A, un horno que tiene una geometría elíptica se muestra. Para lograr la circulación del metal fundido, dos rotores se han previsto, sustancialmente en el extremo del radio mayor de la elipse definida por el tanque. En la Figura 6B, un horno que tiene una forma sustancialmente cuadrada se muestra. Cuatro rotores se han previsto, en esquinas correspondientes de la cavidad de orificio definida por el tanque. Finalmente, la Figura 6C muestra un horno que tiene una geometría triangular, en la que tres rotores se han previsto, en esquinas correspondientes de la cavidad de orificio definida por el tanque. Los ejemplos no limitantes de geometrías adecuadas adicionales son circulares, elípticas o poligonales, siempre que comprendan un radio de giro exterior e interior para permitir la circulación de metal. La sección del bucle cerrado es sustancialmente preferentemente constante. Las configuraciones pueden necesitar más de una zona de calentamiento y medios de calentamiento correspondientes. El medio de calentamiento debe colocarse lo suficientemente lejos de los rotores, para que los imanes no afecten al medio de calentamiento. En realizaciones preferentes, los medios de calentamiento (antorchas de plasma preferentemente) se ubican en el canal cerrado, a una distancia equidistante de los rotores. La distancia es suficientemente alta para que las antorchas no se vean afectadas por el campo magnético de los rotores. Por este motivo, las protuberancias 211, 311 son opcionales y no estrictamente necesarias.

La invención ofrece un horno de fusión multidisciplinar, apto para la fusión y tratamiento de una amplia variedad de metales y residuos y que presenta importantes ventajas operativas, económicas y medioambientales respecto a los hornos actualmente utilizados. La alta eficiencia energética del horno de la invención se deriva de la combinación de diversos factores: a) el calentamiento se produce preferentemente por arco de plasma de alta eficiencia preferentemente; b) la circulación del metal fundido bajo el arco de plasma incrementa el grado de transferencia térmica; c) el circuito de refrigeración de agua se limita preferentemente a las bridas de los electrodos (fuera del horno, por lo que no hay circuito de refrigeración en el horno en sí); d) el rotor magnético está refrigerado por aire a baja presión; e) el motor que acciona el movimiento del metal es de baja potencia; f) la aportación de la carga sobre una corriente de metal líquido exento de escoria permite la fusión de materiales sin limitaciones en su forma y estructura; g) el horno es apto para fundir prácticamente todo tipo de metal (entre otros, metales de base hierro, cobre y aluminio); h) su geometría puede ser adaptada a las necesidades del fundidor; i) el horno puede funcionar en modo automático y no requiere ninguna manipulación interior ni apertura de compuertas o trampillas en ninguna fase del proceso; j) su utilización es totalmente discrecional, pudiendo funcionar como horno continuo o discontinuo; k) gracias a la agitación del metal es posible el ajuste continuo de la composición química por aportación de elementos aleantes.

Un experimento llevado a cabo con un horno implementado de acuerdo con las Figuras 3A-3D se divulga. El tanque define un canal (bucle cerrado) de 300 mm de anchura. El canal tiene 110 mm de profundidad y se carga con 600 kg de metal fundido. La composición fundida es (porcentajes expresados por peso con respecto al peso total de la composición fundida):

C	3,60 %
Si	2,20 %

el resto de la composición química es Fe y otros elementos residuales.

La temperatura del metal fundido varía entre 1.350 y 1.580 °C. El rotor comprende un cuerpo de imán que tiene 4 imanes de neodimio. El campo magnético en la superficie lateral del rotor (zona de máximo magnetismo) es 4.300 Gauss. El campo magnético en el tabique interior del tanque (zona de máximo magnetismo dentro del tanque) es 380 Gauss. El campo magnético en el tabique exterior del tanque (zona de mínimo magnetismo dentro del tanque) es 30 Gauss. La velocidad lineal en el eje del canal del metal fundido es 18 cm/s a 40 Hz de frecuencia rotativa del rotor.

A continuación, se describen dos ejemplos de aplicación del horno. Primero, se describe cómo el horno puede usarse para fundir un metal (en particular hierro). Después, se describe cómo el horno puede usarse para tratar polvo de acería.

Ejemplo 1: proceso de fusión: hierro.

La utilización del presente horno como horno fusor se basa en la importante mejora de rendimiento en la transferencia de calor por convección que se produce por el movimiento constante del metal fundido en torno a una masa sólida. En un baño estático de hierro fundido, el coeficiente de convección es de 1.000 W/m²K, sin embargo, este coeficiente aumenta por efecto del movimiento del metal hasta 12.000 W/m²K y con una velocidad de circulación de 18 cm/s.

El proceso de fusión se inicia con el ajuste de la temperatura del metal circulante (en el caso de la fundición de hierro se eleva la temperatura hasta los 1.580 °C). Se procede después a la carga de la chatarra en la zona posterior contigua a la cámara de calentamiento y se inicia la fusión de la escoria aportada, produciéndose la consiguiente disminución de temperatura del metal circulante. La temperatura de salida del metal del horno se controla mediante el termopar sumergido colocado en la zona de extracción de metal y escoria. Esta temperatura se establece preferentemente a 1.400 °C y se puede controlar mediante la regulación de la cantidad de escoria cargada y/o la potencia de calentamiento aplicada a la antorcha de plasma situada en la cámara de calentamiento. La fusión del metal aportado eleva el nivel del baño y se inicia el desbordamiento del metal y la escoria por la piqueta de salida. Este metal se vierte a un crisol que dispone de un tabique intermedio y dos piquetas laterales a distinta altura, produciéndose la separación del metal por decantación y sangrando del metal por la piqueta inferior y la escoria por la piqueta superior.

Dependiendo de su densidad y geometría, los materiales de carga pueden sumergirse en el baño metálico o flotar junto a la escoria, en cuyo caso, son retenidos por el medio de retención situado en el extremo opuesto del canal. Este medio de retención se sitúa a una distancia suficiente respecto a la superficie del lecho de metal fundido, de forma que permite el paso de la escoria, que flota sobre el lecho de metal fundido. Sobre la pared anterior del horno (respecto a la dirección de circulación del metal fundido), se dispone de un mechero que permite la fluidificación total de las escorias semisólidas para facilitar su paso hacia la zona de extracción. En la zona de extracción, se dispone un segundo mechero que mantiene líquida la escoria y la empuja hacia la dirección en que se encuentra la piqueta de vaciado. Para evitar que la escoria pase hacia la cámara de calentamiento, se dispone de un tabique parcialmente sumergido en el metal y que cierra la zona de extracción. Así se logra que la superficie del metal en la cámara de calentamiento se encuentre libre de escoria para proceder a un nuevo ciclo de sobrecalentamiento y

fusión de la carga.

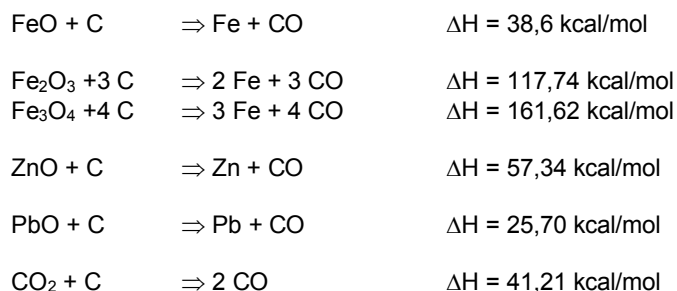
Gracias a la ausencia de escoria en la zona de carga y a la agitación continua del metal por la acción del rotor magnético, se pueden añadir los elementos aleantes necesarios para conseguir una calidad metalúrgica adecuada a las exigencias del producto final.

Ejemplo 2: proceso de tratamiento: polvo de acería.

El polvo de acería recogido en los filtros de aspiración del horno de arco eléctrico (EAFD) es un residuo con altas concentraciones de óxidos metálicos, principalmente hierro, cinc y plomo. Para la recuperación de estos metales por carborreducción, es preciso aglomerar este polvo con un producto rico en carbono, utilizándose prioritariamente los comprendidos entre el grupo del coque metalúrgico, antracita, hulla y grafito. Las formas preferentes de aglomeración del polvo son la briqueta de alta densidad producida por prensado o el pelet aglomerado por rotación en tambor de peletizado.

El proceso de reducción de los óxidos metálicos contenidos en el polvo de acería se lleva a cabo mediante el carbono adicionado a la briqueta o pelet de tal modo que el óxido de hierro se reduce a metal y pasa a formar parte del baño de metal fundido. Del mismo modo, los otros óxidos mayoritarios, Zn y Pb, en un primer momento se reducen a metal y, dada la volatilidad de ambos metales, son arrastrados hacia el sistema de tratamiento de gases en el que se oxidan con gran facilidad dando lugar al concentrado de óxidos, compuesto en su mayor parte por óxido de cinc y plomo y en menor medida por óxidos de hierro, cloruros, sílice, álcalis, etc. La fracción gruesa de este concentrado de óxidos metálicos se retiene en un sistema de tratamiento de gases, que consta de uno o varios de los siguiente elementos: ciclón, filtro de mangas, scrubber.

Los procesos de reducción de mayor importancia, dada la concentración de estos óxidos en el polvo de acería son:



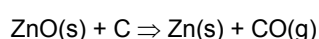
Además de estas reacciones primarias, tienen lugar otras reacciones de reducción con CO y reacciones secundarias que se exponen en la siguiente tabla:

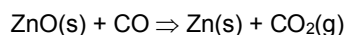
Tabla 1.- Reacciones y entalpías de reacción posibles en un horno alimentado con briquetas de polvo de acería.

Reacción	Entalpía de Reacción (kcal/mol)
$\text{MnO} + \text{C} = \text{Mn} + \text{CO(g)}$	65,65
$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 9\text{CO(g)} = 6 \text{Fe} + 9\text{CO}_2\text{(g)}$	-17,67
$\text{MnO} + \text{CO(g)} = \text{Mn} + \text{CO}_2\text{(g)}$	24,44
$\text{ZnO} + \text{CO(g)} = \text{Zn} + \text{CO}_2\text{(g)}$	16,13
$\text{PbO} + \text{CO(g)} = \text{Pb} + \text{CO}_2\text{(g)}$	-15,51
$\text{Zn} = \text{Zn(g)}$	31,17
$\text{Zn(g)} + 1/2\text{O}_2\text{(g)} = \text{ZnO (s)}$	-114,93
$\text{C} + \text{O}_2\text{(g)} = \text{CO}_2\text{(g)}$	-94,05
$2\text{CO} = \text{CO}_2\text{(g)} + \text{C}$	-41,21
$\text{ZnOFe}_2\text{O}_3 = \text{ZnO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,04
$\text{ZnOFe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = \text{Zn} + \text{CO}_2\text{(g)} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	17,17
$3\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6\text{Fe} + 9/2\text{O}_2\text{(g)}$	591,00
$\text{PbSO}_4 = \text{PbO} + \text{SO}_2\text{(g)} + 1/2\text{O}_2\text{(g)}$	97,57
$3\text{CaO} + \text{P}_2\text{O}_5 = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	-172,93
$\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{O(v)}$	10,52
$\text{NaCl} = \text{NaCl(v)}$	54,90
$\text{KCl} = \text{KCl (v)}$	53,06

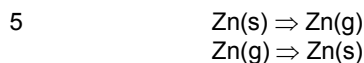
La secuencia del procedimiento de reducción carbotérmica del proceso puede ser la siguiente:

a) Reducción del óxido de cinc por el C y CO:

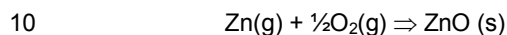




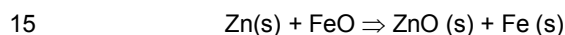
b) Una parte del cinc se evapora y otra, se condensa en la superficie de las briquetas, según las ecuaciones:



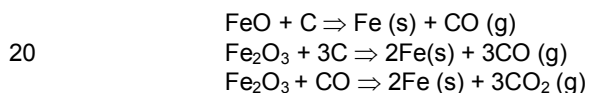
c) Oxidación rápida del gas de cinc conforme a la ecuación:



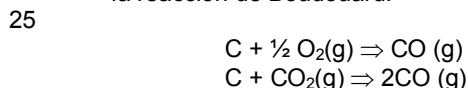
d) Oxidación del cinc condensado en la superficie de la briqueta con los óxidos de hierro que contiene esta, según:



e) Reducción de los óxidos de hierro (FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4) con el carbón y el CO , conforme a:



f) Estas últimas reacciones están influenciadas por la competencia entre las reacciones de oxidación del carbón y la reacción de Boudouard:



30 El proceso se lleva a cabo partiendo de un baño metálico fundido, a una temperatura entre 1.400 y 1.500 °C. Sobre el baño metálico fundido se añaden las briquetas autorreductoras o pelets con el fin de facilitar la incorporación del hierro reducido al baño metálico fundido. Se emplea un pie de baño saturado en carbono que no perturba la labor de la porción de este elemento que en las briquetas o pelets está reduciendo los diferentes óxidos de hierro para su posterior incorporación a dicho metal fundido, lo que permite evaluar las variaciones que se producen en el metal resultante en función de los diversos orígenes del polvo procesado.

35 Las briquetas o pelets se depositan en la zona de carga libre de escoria, donde flotan sobre el metal fundido sobrecalentado que procede de la cámara de calentamiento. Este metal fundido cede parte de su energía a la carga (briquetas o pelets) y se inicia el proceso de reducción del polvo mientras este es arrastrado por el metal fundido a lo largo de la zona de tratamiento. Durante este recorrido, la fracción metálica del polvo se incorpora al baño metálico fundido, la fracción volátil es aspirada y recogida en los filtros y la fracción inerte flota sobre el metal en forma de escoria líquida. Al llegar al medio de retención (situado al final de la zona de tratamiento y a una altura máxima de 2 milímetros respecto al baño), todas aquellas partículas de tamaño superior a la altura del pasaje formado son retenidas hasta su disolución. La escoria flotante sigue su circulación bajo el medio de retención hasta llegar al tabique de sifonado (que se hunde hasta un máximo de 40 mm en el baño), donde, por efecto de la circulación de metal fundido, se dirige a la piqueta de extracción junto con el metal, saliendo del tanque juntamente con el metal por desbordamiento del baño. A su salida, la mezcla de escoria y metal es nuevamente sifonada en un crisol con tabique intermedio, y se separa la escoria del metal.

50 El proceso se realiza de forma automática, ajustando el caudal de material de carga y la potencia de calentamiento en función de la temperatura del metal y escoria en la salida del horno, medida por el termopar instalado en la zona de extracción.

55 En resumen, un horno de uso discrecional se ha proporcionado, en el que la composición química puede modificarse a voluntad gracias al acceso disponible al metal limpio, que permite la retirada continua de escoria y que puede cargarse con cualquier residuo metálico seco, mientras se proporciona un rendimiento energético optimizado.

60 Por otro lado, la invención no se limita obviamente a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que también abarca cualquier variación que pueda considerarse por cualquier experto en la materia (por ejemplo, con respecto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.) dentro del alcance general de la invención como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un horno que comprende un tanque (1, 31) que tiene un tabique exterior (5) y un tabique interior (5'), dispuestos para definir un canal cerrado entre dicho tabique interior (5') y dicho tabique exterior (5), en donde el tanque (1, 31) está configurado para, durante el uso del horno, llenarse con metal fundido (X) que circulará a lo largo de dicho canal cerrado de una manera cíclica y continua, comprendiendo dicho horno en dicho canal cerrado definido entre dicho tabique interior (5') y dicho tabique exterior (5):
 - al menos una zona de calentamiento (D) que comprende medios de calentamiento (11) configurados para transferir energía al metal fundido (X) durante el uso del horno, sobrecalentando así dicho metal fundido (X);
 - al menos una zona de carga (A) configurada para cargar metal (SM) o residuo metálico (R) en dicho metal fundido (X) a fundir o tratar, siendo dichos metal (SM) o residuo metálico (R), en el uso del horno, arrastrados mediante el metal fundido sobrecalentado (X) en su superficie;
 - una zona de fusión/tratamiento (B) configurada para, durante el uso del horno, recibir el metal fundido sobrecalentado (X) y el metal (SM) o el residuo metálico (R) arrastrados en su superficie, transfiriendo el metal fundido sobrecalentado (X) su energía sobrante al metal arrastrado (SM) o al residuo metálico (R), provocando así su fusión/tratamiento;
- en donde el tanque (1, 31) comprende un hueco central (16) delimitado por dicho tabique interior (5'), comprendiendo el horno, además, al menos un medio de accionamiento (17) situado entre dicho hueco central (16), en donde dicho al menos un medio de accionamiento (17) comprende un rotor que comprende al menos dos imanes permanentes, estando acoplado el rotor a un motor (20) y configurado para rotar tras la activación de dicho motor (20), generando así un campo magnético capaz de provocar dicha circulación del metal fundido (X) dentro de dicho canal cerrado de una manera cíclica y continua a lo largo de la zona de calentamiento, la zona de carga y la zona de tratamiento/fusión.
2. El horno de la reivindicación 1, en el que dicha al menos una zona de carga (A) se superpone parcialmente o totalmente con dicha al menos una zona de calentamiento (D).
3. El horno de las reivindicaciones 1 o 2, en el que dicha zona de fusión/tratamiento (B) se superpone al menos parcialmente con dicha al menos una zona de calentamiento (D).
4. El horno de cualquier reivindicación anterior, en el que dicho rotor (17) está rodeado por un primer cuerpo de aislamiento térmico (6) permeable al campo magnético dispuesto entre el rotor (17) y una cara exterior del tabique interior (5') del tanque que delimita el hueco central (16), definiendo dicho primer cuerpo de aislamiento térmico (6) un primer canal (50) entre el rotor (17) y un tabique interior del cuerpo de aislamiento térmico (6) y un segundo canal (51) entre un tabique exterior del primer cuerpo de aislamiento térmico (6) y la cara exterior del tabique interior (5') que delimita dicho hueco central (16), estando al menos uno de dichos primer y segundo canal configurado para recibir un flujo de aire desde medios soplantes (22) configurados para proporcionar aire de refrigeración al rotor (17) para evitar que el rotor (17) se caliente por encima de una temperatura determinada.
5. El horno de cualquier reivindicación anterior, en el que la cara exterior del tabique interior (5') del tanque (1), que delimita dicha cavidad, está cubierta con un segundo cuerpo de aislamiento térmico (6').
6. El horno de cualquier reivindicación de la 1 a la 4, en el que la cara exterior del tabique interior (5') del tanque (1), que delimita dicha cavidad, está hecha de un segundo cuerpo de aislamiento térmico (6').
7. El horno de cualquier reivindicación de la 4 a la 6, en el que dicho cuerpo de aislamiento térmico (6, 6') está hecho de un material elegido de los siguientes materiales: acero inoxidable, mica, un material compuesto o una combinación de los mismos.
8. El horno de cualquier reivindicación anterior, en el que en dicha al menos una zona de calentamiento (D), los medios de calentamiento (11) están situados sustancialmente fuera del efecto del campo magnético generado por el medio de accionamiento (17).
9. El horno de la reivindicación 8, en el que en dicha al menos una zona de calentamiento (D), el tabique exterior (5) del tanque (31) define una protuberancia (311), estando dichos medios de calentamiento (11) colocados en dicha protuberancia (311).
10. El horno de las reivindicaciones 8 a 9, en el que en dicha al menos una zona de calentamiento (D), el tabique interior (5') del tanque (31) define una protuberancia (211), estando dichos medios de calentamiento (11) colocados en dicha protuberancia (211).
11. El horno de cualquier reivindicación anterior, que comprende además una zona de extracción (C) que termina en un tabique de sifonado (25) configurado para evitar el progreso de la escoria, comprendiendo dicha zona de extracción (C) medios de extracción (9, 9') para verter parte del metal fundido (X) y/o la escoria (I).

12. El horno de cualquier reivindicación anterior, en el que dicha al menos una zona de fusión/tratamiento (B) comprende medios de retención (24) cuya parte inferior termina ligeramente sobre el nivel alcanzado por el metal fundido (X) dentro del tanque (1, 31), estando los medios de retención (24) configurados para, cuando el metal fundido en circulación (X) y el metal arrastrado (SM) o el residuo metálico (R) en su superficie alcanzan los medios de retención (24), evitar que el metal (SM) o el residuo metálico (R) en la superficie fundida viajen hacia delante, por lo que el residuo se funde sustancialmente en la superficie del lecho de metal fundido, sin impedir el progreso del metal fundido (X) por debajo del medio de retención (24).
13. El horno de cualquier reivindicación anterior, en el que dicho medio de calentamiento (11) es una antorcha de plasma.
14. El horno de cualquier reivindicación anterior, en el que la velocidad angular del metal fundido en circulación (X) es constante en la zona de fusión/tratamiento (B).
15. Uso del horno de cualquier reivindicación anterior para fundir o tratar material férreo o no férreo.
16. Un método para tratar o fundir metal (SM) o residuo metálico (R) en un horno que comprende un tanque (1, 31) que tiene un tabique exterior (5) y un tabique interior (5'), definiendo dicho horno un canal cerrado entre dicho tabique interior (5') y dicho tabique exterior (5) del tanque (1, 31), que comprende las etapas de:
- llenar dicho tanque (1, 31) con metal fundido (X),
 - en al menos una zona de calentamiento (D) comprendida en dicho canal cerrado definido entre dicho tabique interior (5') y dicho tabique exterior (5), transferir energía al metal fundido (X) sobrecalentando así dicho metal fundido (X);
 - en al menos una zona de carga (A) comprendida en dicho canal cerrado definido entre dicho tabique interior (5') y dicho tabique exterior (5), cargar metal o residuo metálico a fundir o tratar, siendo dicho metal o residuo metálico arrastrado mediante el metal fundido sobrecalentado (X) en su superficie;
 - en al menos una zona de fusión/tratamiento (B) comprendida en dicho canal cerrado definido entre dicho tabique interior (5') y dicho tabique exterior (5), recibir el metal fundido sobrecalentado (X) y el metal (SM) o el residuo metálico (R) arrastrado en su superficie, transfiriendo el metal fundido sobrecalentado (X) su energía sobrante al metal arrastrado (SM) o al residuo metálico (R);
- estando el método **caracterizado por que** dicho metal fundido (X) circula a lo largo de dicho canal cerrado de una manera continua y cíclica, lográndose dicho movimiento mediante la acción de al menos un medio de accionamiento (17) situado dentro de un hueco central (16) delimitado por dicho tabique interior (5') del tanque (1, 31), comprendiendo dicho al menos un medio de accionamiento (17) un rotor (17) que comprende al menos dos imanes permanentes, estando el rotor (17) acoplado a un motor (20) y configurado para rotar tras la activación de dicho motor (20), generando así un campo magnético capaz de provocar dicha circulación del metal fundido (X) en dicho canal cerrado de una manera continua y cíclica a lo largo de la zona de calentamiento, la zona de carga y la zona de fusión/tratamiento.

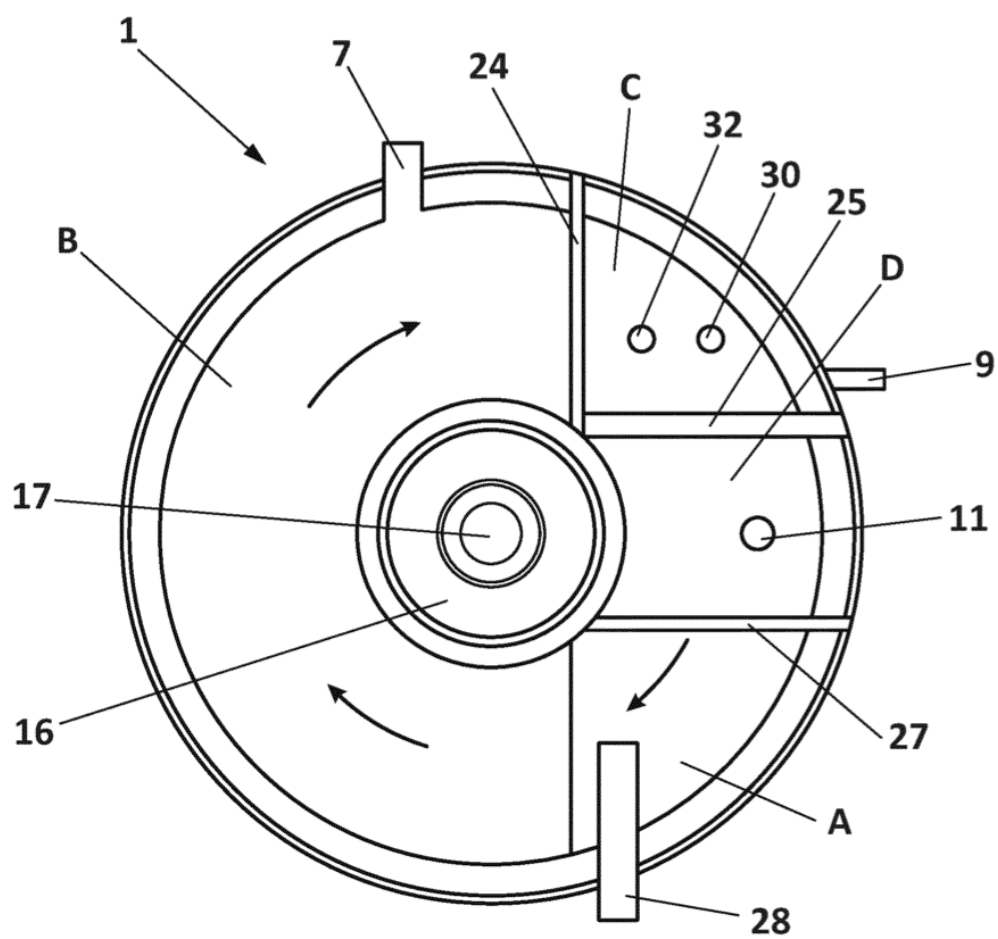


FIG. 1

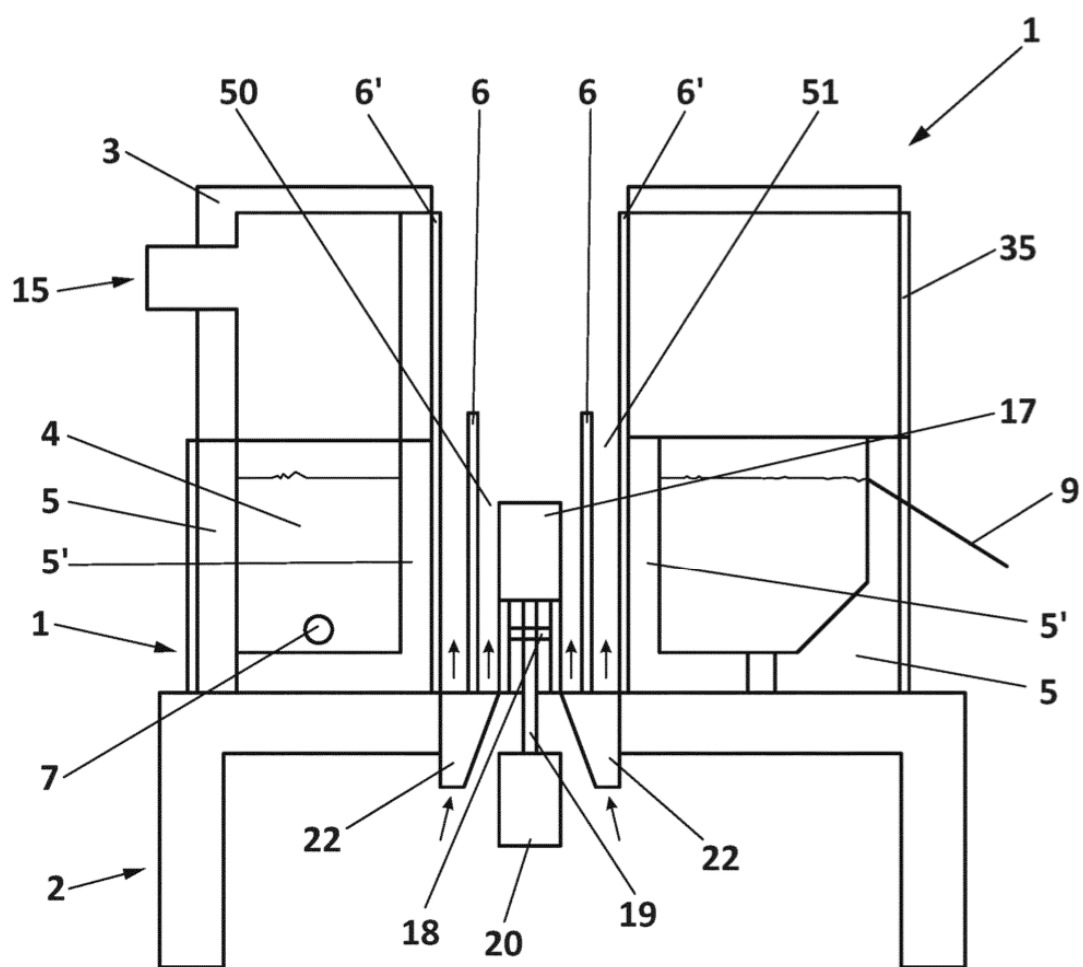


FIG. 2

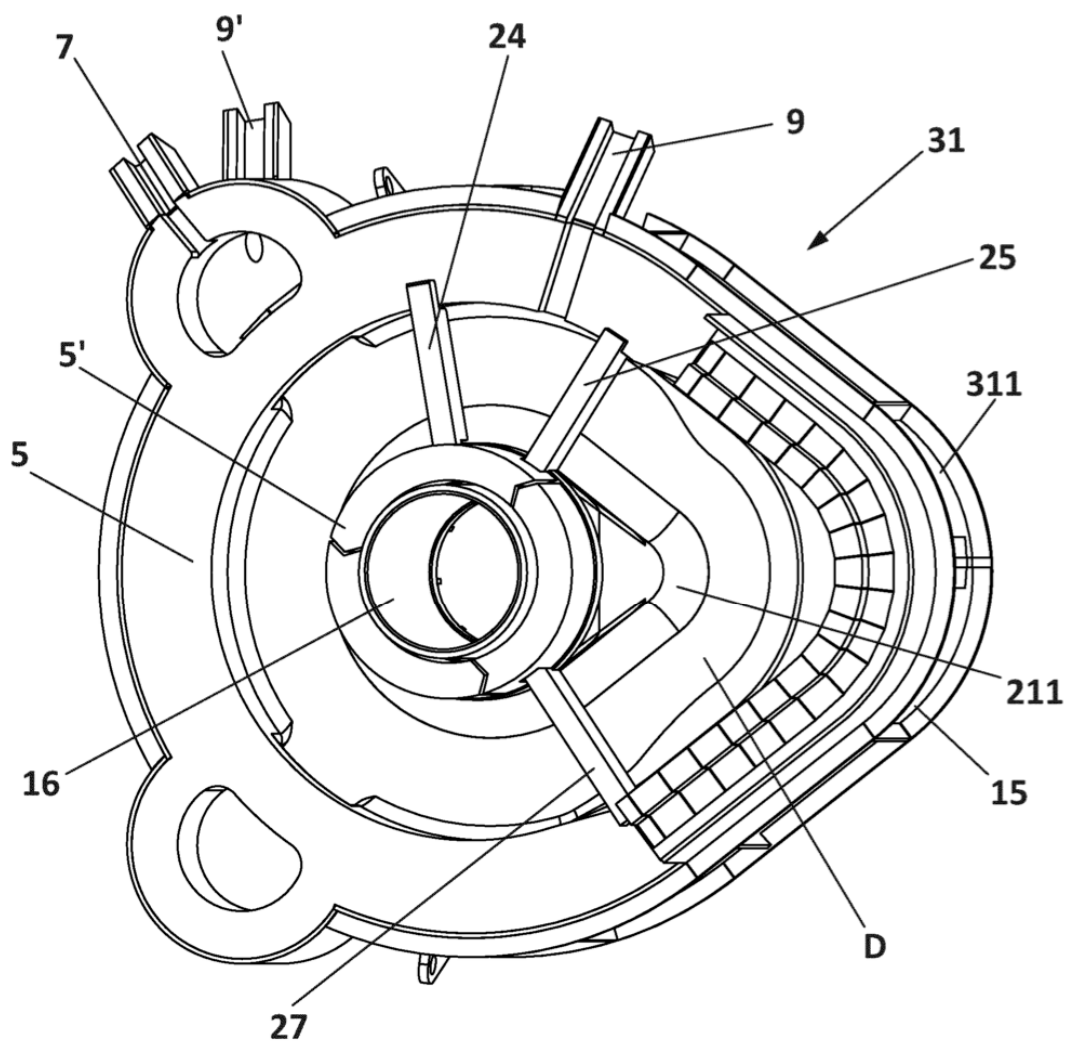


FIG. 3A

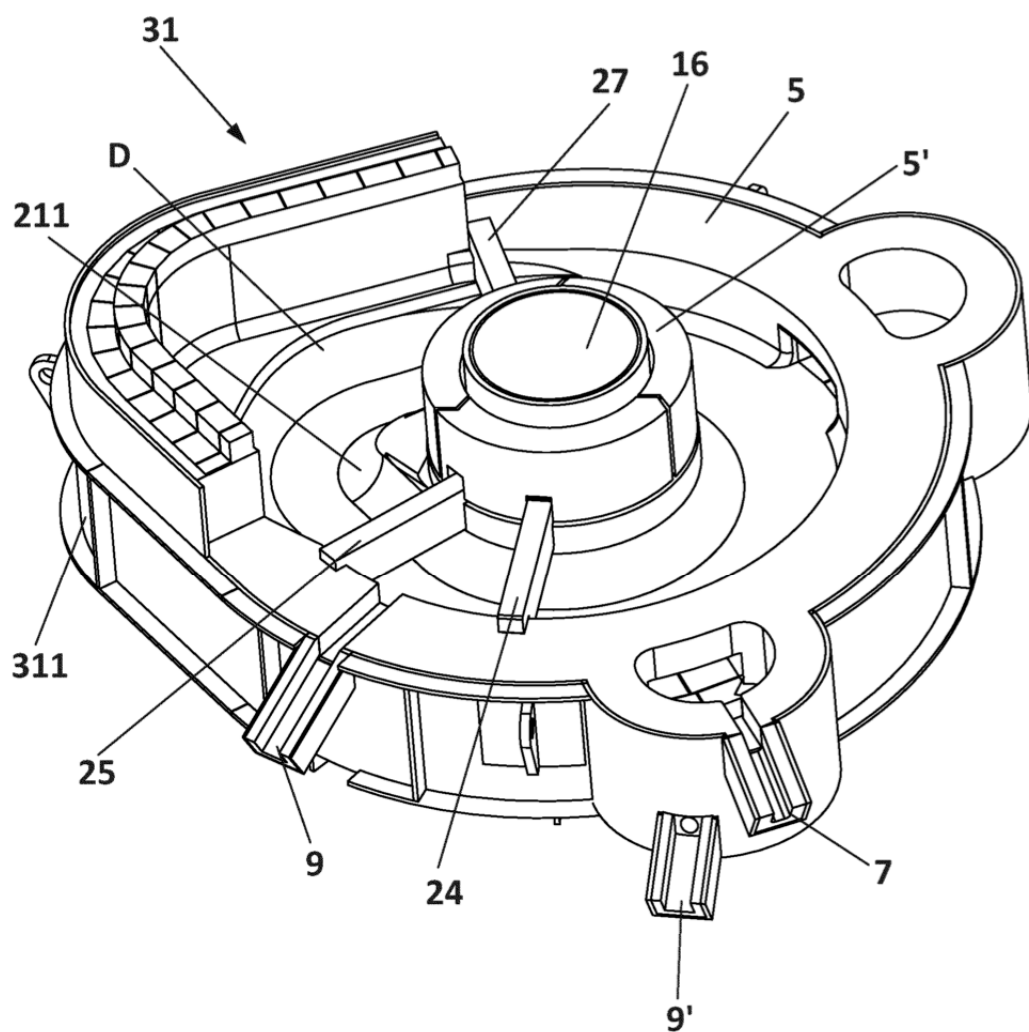


FIG. 3B

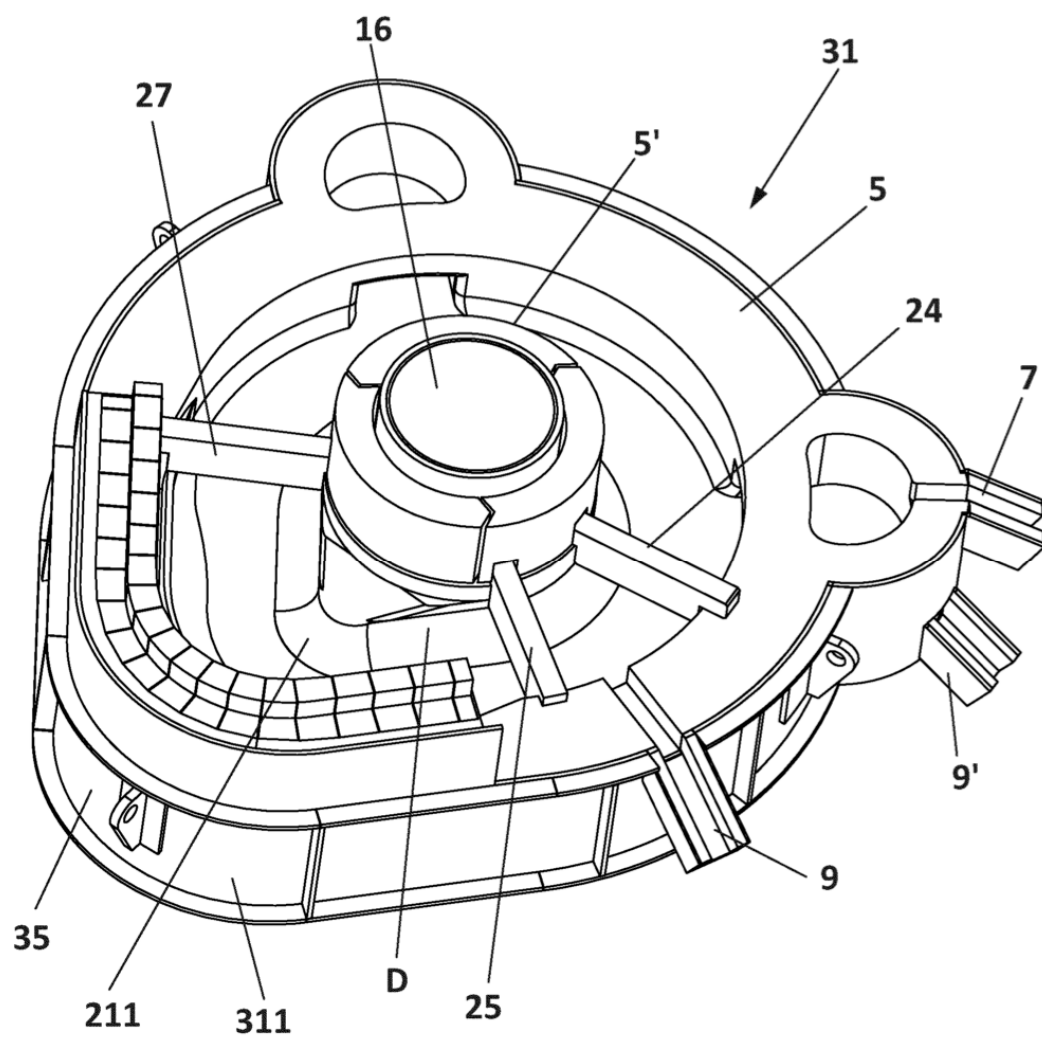


FIG. 3C

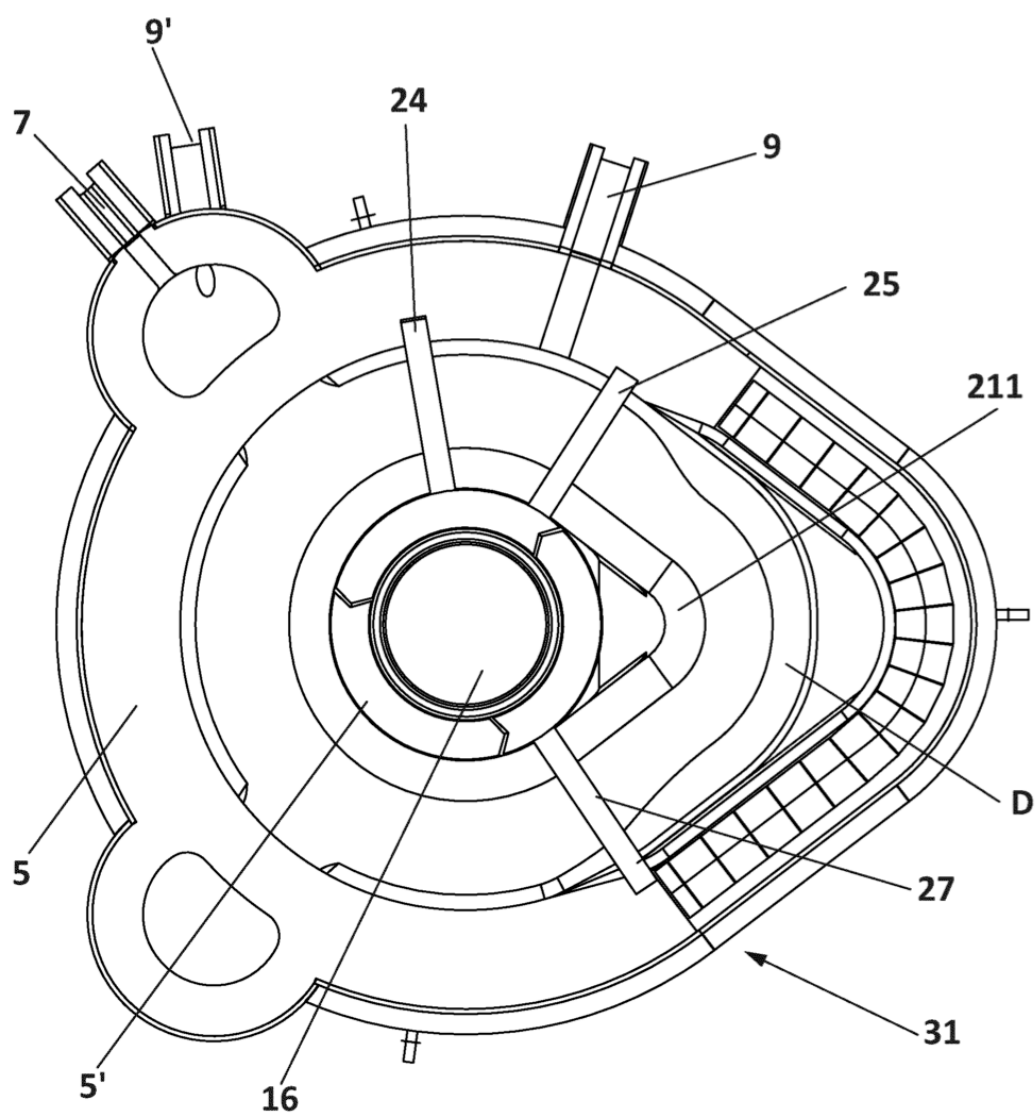


FIG. 3D

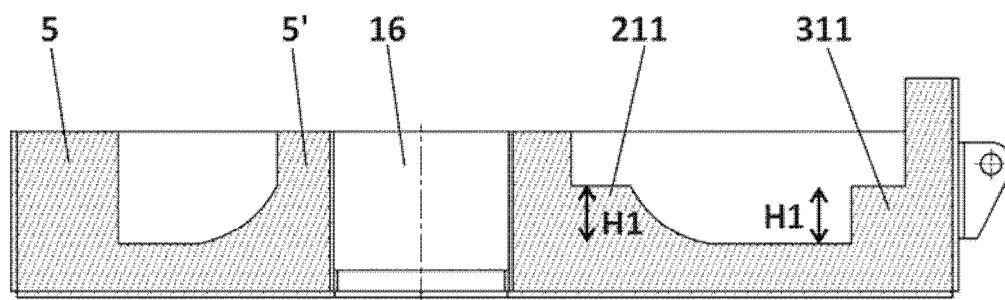


FIG. 4

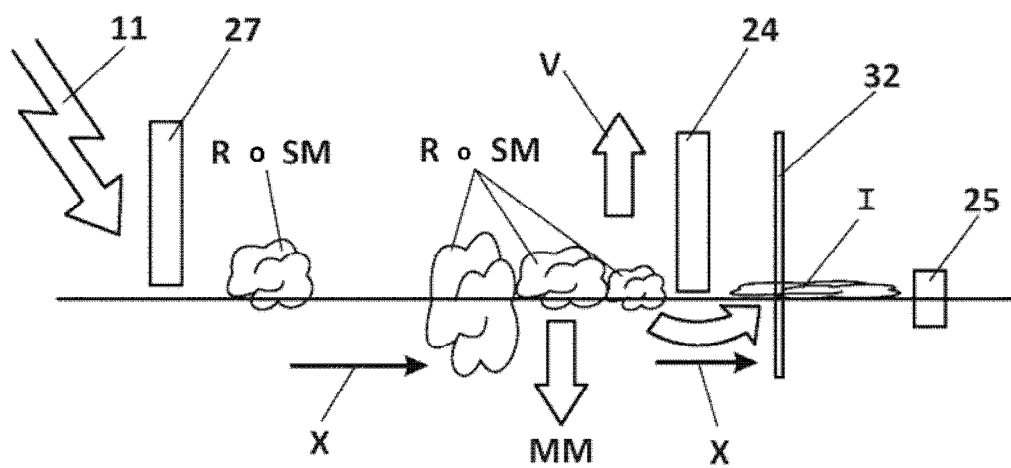


FIG. 5

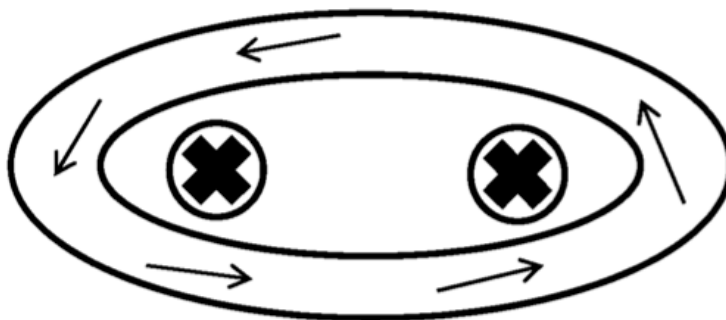


FIG. 6A

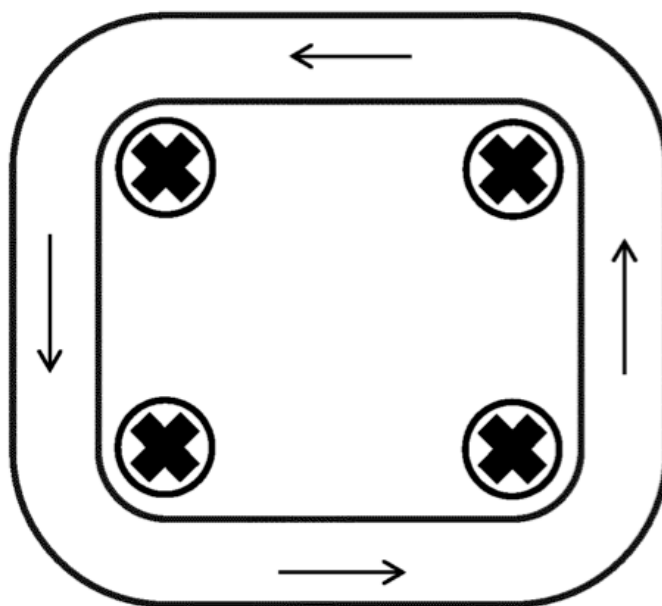


FIG. 6B

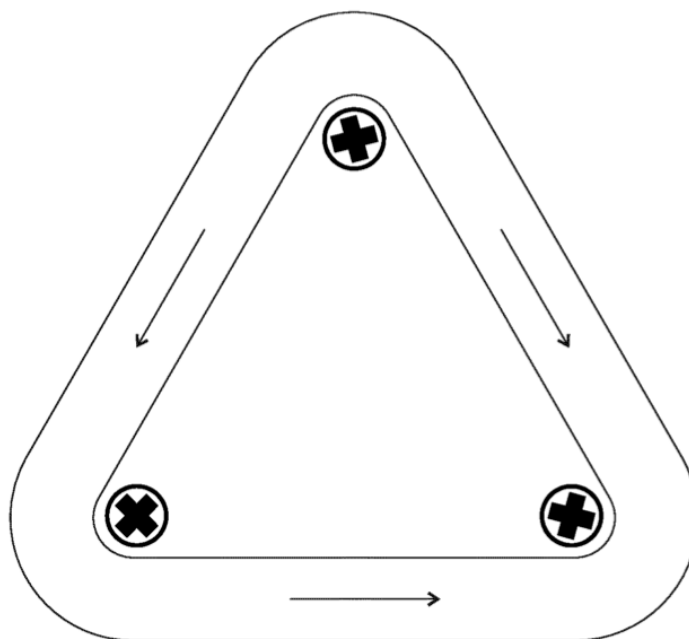


FIG. 6C

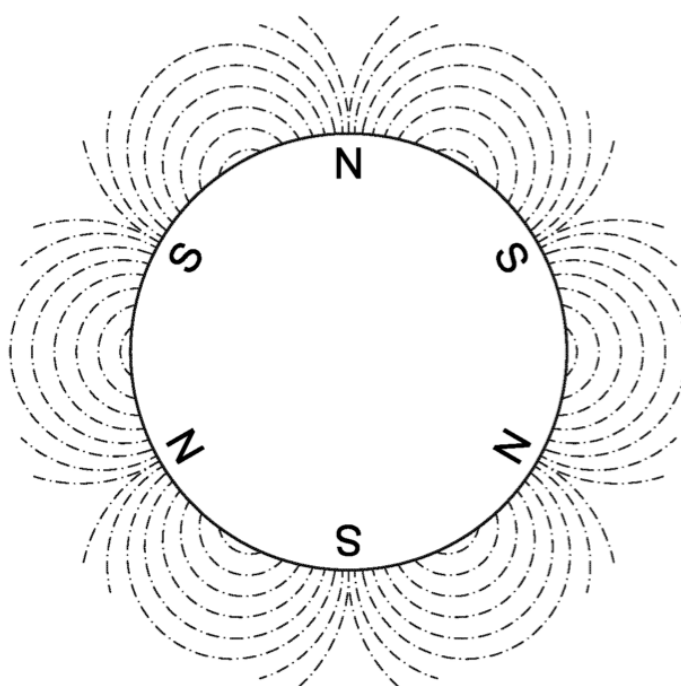


FIG. 7

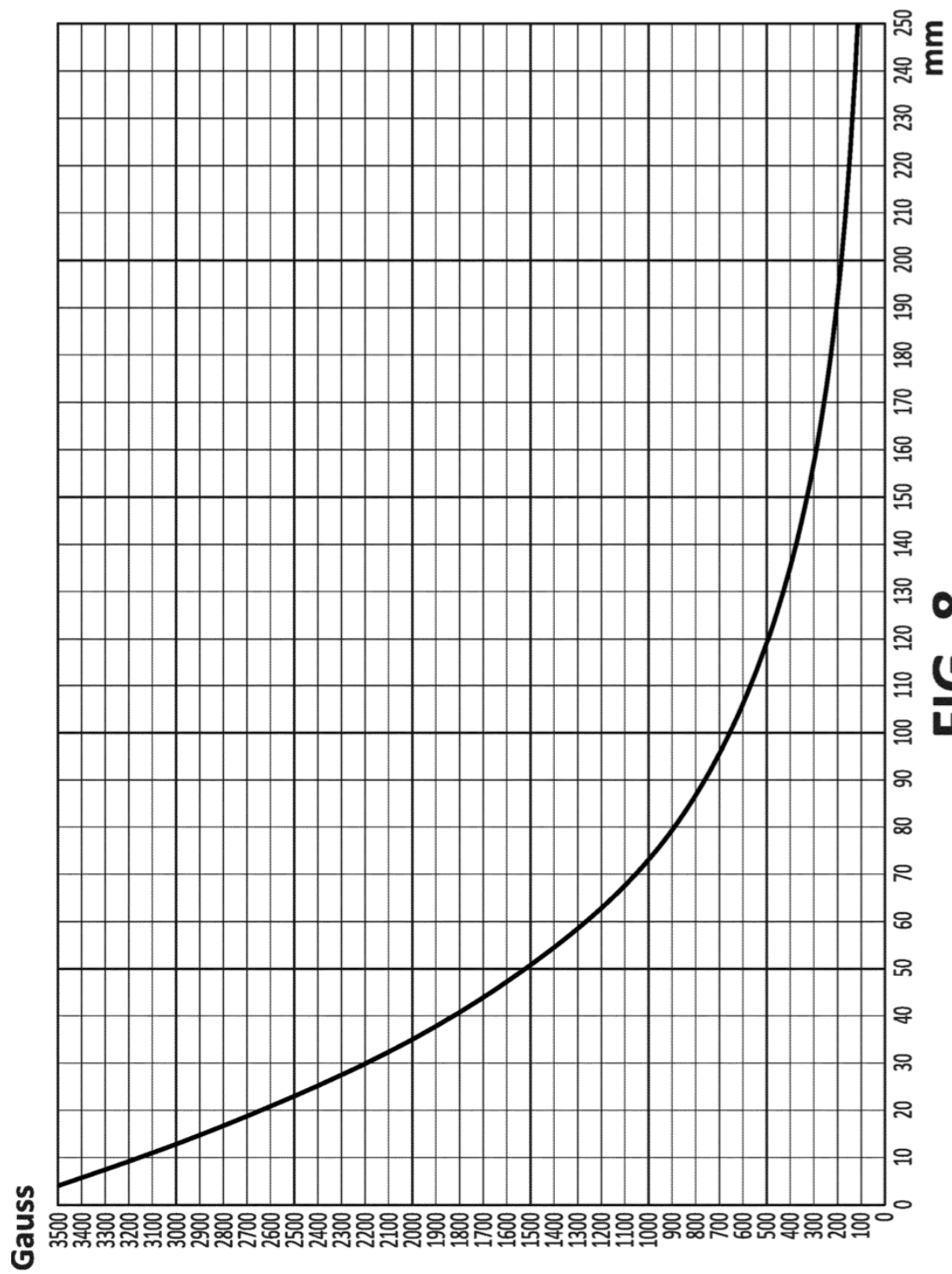


FIG. 8