

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 806 548**

51 Int. Cl.:

F27B 7/06 (2006.01)

C22B 9/00 (2006.01)

C22B 21/00 (2006.01)

F27B 7/34 (2006.01)

F27B 7/36 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.12.2018** **E 18211465 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2020** **EP 3499162**

54 Título: **Método para reducir el uso de sal en el reciclaje de aluminio**

30 Prioridad:

18.12.2017 US 201715845113

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

18.02.2021

73 Titular/es:

AIR PRODUCTS AND CHEMICALS, INC. (100.0%)
7201 Hamilton Boulevard
Allentown, Pennsylvania 18195, US

72 Inventor/es:

LAWRENCE, MARTIN y
TLAMICHA, PETR

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 806 548 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 para reducir el uso de sal en el reciclaje de aluminio

5 **Antecedentes**

Normalmente se requiere una cantidad sustancial de sal para la refundición de chatarra de aluminio (reciclaje). Una vez utilizado, el residuo que contiene sal se conoce como escoria de aluminio o torta de sal. La torta de sal se considera un desecho peligroso y, por lo tanto, no se puede depositar en un vertedero. La torta de sal normalmente se envía, a un coste adicional, a una planta de reciclaje, donde la sal se extrae y se limpia de vuelta casi hasta su especificación original, para que pueda usarse nuevamente.

En el proceso de refundición de chatarra de aluminio en la producción secundaria de aluminio, la adición de una cantidad significativa de sal significa que la sal puede representar una parte sustancial del peso total del material cargado. El material cargado en el horno consiste principalmente en chatarra de aluminio y sal. También hay materiales adicionales que se añaden deliberadamente a la mezcla, dependiendo de los requisitos específicos del producto. Por ejemplo, hay muchos tipos diferentes de chatarra de aluminio que varían en composición y pueden contener diversos contaminantes. Para los fines de esta divulgación, los contaminantes se describirán como impurezas metálicas (por ejemplo, Mg, Si, Ca, Zn, Mn), óxidos (por ejemplo, MgO, SiO₂, Al₂O₃) y compuestos orgánicos (por ejemplo, hidrocarburos, plásticos, pinturas, recubrimientos). Los tipos de chatarra pueden variar considerablemente, donde se considera que la chatarra nueva/limpia tiene más del 95 % de aluminio y cualquier chatarra con más del 5 % de contaminantes es chatarra vieja/sucia. Algunas chatarras contienen significativamente más contaminantes que otras, como los envases recubiertos, donde más del 20 % del material puede consistir en contaminantes. Los contaminantes como los compuestos orgánicos se eliminan durante una etapa inicial del proceso de fusión (es decir, los compuestos orgánicos se queman a bajas temperaturas mientras se calienta la chatarra).

El aluminio tiene una alta afinidad por el oxígeno y rápidamente forma una capa delgada de óxido cuando se expone a una atmósfera oxidante. Por lo tanto, toda la chatarra tiene cierto porcentaje de óxido de aluminio presente desde el inicio del reciclaje. La cubierta de óxido de aluminio tiene un punto de fusión mucho más alto que el aluminio y, por lo tanto, no se funde dentro de un horno de reciclaje de aluminio. La cubierta de óxido de aluminio debe romperse química o mecánicamente, permitiendo que el aluminio fundido escape. Posteriormente, el material de óxido menos denso flota a la superficie. Si el aluminio fundido no está protegido de la atmósfera oxidante dentro del horno, sufrirá más oxidación, reduciendo el rendimiento. La formación del óxido de aluminio adicional actúa como una red, atrapando aluminio fundido dentro de su estructura, reduciendo también el rendimiento.

Se añade sal al horno para mejorar el proceso de fusión y puede tener una serie de beneficios. Habitualmente, la masa de sal añadida a la chatarra de aluminio en el horno es de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 15 % de la masa de la chatarra de aluminio, dependiendo del tipo de chatarra, el tipo de horno, la metodología de operación y algunos otros parámetros. La función principal de la sal es proteger el aluminio de la atmósfera oxidante. La sal también participa en la reacción al proporcionar un mecanismo químico para romper la capa de óxido de aluminio de la chatarra. La sal ayuda a romper el óxido de aluminio formado durante la fusión, liberando parte del aluminio atrapado. A menudo se utilizan agitadores mecánicos u hornos rotativos para ayudar a la descomposición del óxido de aluminio. La sal también reacciona con impurezas metálicas para ayudar a eliminarlas. Otros beneficios de la sal incluyen cambiar las propiedades de la masa fundida, como la densidad y la viscosidad, mejorando la separación entre la masa fundida y sus contaminantes.

Se han ideado diferentes tipos de hornos de fusión de aluminio para reducir la cantidad de sal utilizada en el proceso de reciclaje. Sin embargo, aquellos que eliminan una cantidad significativa de la sal son mucho menos eficientes y, por lo tanto, no son la solución ideal. Existe la necesidad en la industria de proporcionar ahorros significativos en los costes al reducir el uso de sal sin provocar un perjuicio significativo a la eficiencia del ciclo, el rendimiento o el coste.

Una patente anterior, US 5563903, describe un método para introducir una sola capa o estrato de gas no oxidante (protector) en un horno de reciclaje de aluminio entre la zona o estratos de combustión y el aluminio, para reducir el ataque oxidativo sobre el aluminio y así disminuir la formación de escoria y aumentar el rendimiento. Este esquema se muestra en general en la Figura 1. Una capa no oxidante 101 puede comprender un gas inerte tal como nitrógeno o argón, o un gas reductor tal como hidrógeno, metano u otro hidrocarburo. En esta implementación, tanto los reactivos de combustión 104 (por ejemplo, gas natural y aire/oxígeno) como un gas no oxidante 105 (por ejemplo, nitrógeno) se introducen a bajas velocidades en el horno, para minimizar la mezcla de los dos estratos de gases 101 y 103. Específicamente, se recomienda un quemador de baja velocidad, ya sea un quemador de flujo laminar o un quemador premezclado de tipo radiante, para reducir la mezcla entre la capa de combustión 103 y la capa no oxidante 101, y se enseña que la velocidad del gas no oxidante 105 no debe exceder los 50 pies por segundo, y preferiblemente debe ser inferior a 20 pies por segundo. No hay reducción en el consumo de sal.

Se han realizado otros intentos para reducir la oxidación del metal, por ejemplo mediante el uso de un quemador con etapas oxidantes que forma una llama rica en combustible (reductora) cerca de la superficie del metal y una llama

estequiométrica o pobre en combustible en el lado opuesto de la llama rica en combustible del baño de metal. Véase, por ejemplo, el documento US 8806897, aunque relacionado con hornos de vidrio. De manera similar, un sistema como el descrito en el documento EP 0962540 proporciona una lanza de oxígeno por encima de un quemador de combustible de aire, que funciona con una cantidad de aire subestequiométrica (es decir, rica en

5 combustible). La lanza de oxígeno debe instalarse sobre el quemador, de modo que la atmósfera reductora del quemador rico en combustible actúe como barrera entre el flujo oxidante y el aluminio.

Además, otros sistemas emplean una idea similar para crear efectivamente una capa no oxidante o reductora al operar un quemador estándar de tubo en tubo (dos tubos o tuberías concéntricos) con un oxidante que fluye a través del tubo central y el combustible que fluye a través del espacio anular entre los tubos. Esto inhibe el contacto de oxígeno con la masa fundida porque se usa en la zona de combustión. Si bien dicha disposición tiende a reducir el oxígeno que escapa del quemador, no hace nada activamente para proteger el aluminio fundido de las moléculas de oxígeno libres que escapan.

15 Breve descripción de los dibujos

La presente invención se describirá en adelante junto con las figuras adjuntas en las que los números similares representan elementos similares:

20 La Figura 1 es una ilustración de un horno de la técnica anterior con una capa estratificada no oxidante entre una zona de combustión y un baño de aluminio.

La Figura 2 es un esquema de vista lateral que muestra una realización de un sistema para introducir una zona no oxidante entre una zona de combustión y un baño de aluminio.

25 La Figura 3 es un esquema de vista lateral que muestra una realización de un sistema para introducir una zona no oxidante entre una zona de combustión y un baño de aluminio con la puerta en una posición abierta.

La Figura 4A es un esquema que muestra una realización de la invención en una fase de fusión.

30 La Figura 4B es un esquema que muestra una realización de la invención en una fase de transición.

La Figura 4C es un esquema que muestra una realización de la invención en una fase de agitación.

35 La Figura 4D es un esquema que muestra una realización de la invención en una fase de vertido o extracción.

La Figura 5 es un esquema de vista lateral que muestra una realización de un sistema para introducir tanto una zona de combustión como una zona no oxidante entre la zona de combustión y un baño de aluminio.

40 La Figura 6 es un gráfico de gas específico y oxígeno en un ejemplo experimental de la invención.

La Figura 7 es un gráfico del tiempo del ciclo de prueba de nitrógeno en un ejemplo experimental de la invención.

La Figura 8 es un gráfico del metal total cargado en un ejemplo experimental de la invención.

45 La Figura 9 es un diagrama de flujo de un método de la invención.

Sumario de la invención

50 En un aspecto, un método de fundir en un horno una carga de aluminio que comprende no más del 4 % de sal en masa, comprende, durante una fase de fusión, introducir combustible y oxidante en el horno a través de un quemador que funciona a una primera velocidad de encendido, el combustible y el oxidante que reaccionan para formar una zona de combustión por encima de la carga de aluminio, terminar la fase de fusión y comenzar una fase de transición cuando la carga de aluminio está casi completamente fundida, durante la fase de transición, reducir la

55 velocidad de combustión del quemador a una segunda velocidad de encendido que es menor que la primera velocidad de encendido, introducir un gas no oxidante en el horno a una primera velocidad para formar una zona no oxidante entre la zona de combustión y la carga de aluminio, y permitir que la carga de aluminio se funda por completo, y terminar la fase de transición y comenzar una fase de colada en un momento después de que la carga de aluminio se haya fundido completamente, y durante la fase de colada, verter la carga de aluminio fundido fuera del horno.

60

En una realización, el método comprende además las etapas, después de la fase de transición y antes de la fase de colada, de comenzar una fase de agitación, que comprende las etapas de detener el flujo de gas no oxidante, agitar la carga de aluminio fundido, y reanudar el flujo de gas no oxidante a una segunda velocidad. En una realización, la carga de aluminio fundido se agita mediante el uso de un implemento grande unido a un vehículo de construcción, y/o haciendo girar el horno alrededor de un eje. En una realización, el método comprende además, durante la fase

65

de colada, hacer fluir el gas no oxidante a una tercera velocidad sobre la carga de aluminio fundido mientras se vierte la carga de aluminio fundido fuera del horno. En una realización, el gas no oxidante es un gas inerte, y en el que la zona no oxidante es una zona inerte. En una realización, el gas inerte es nitrógeno, argón o una de sus mezclas. En las realizaciones anteriores, la segunda velocidad y la tercera velocidad pueden ser iguales y diferentes de la primera velocidad.

En una realización, el flujo de gas no oxidante se introduce en un ángulo complementario a un ángulo del flujo de combustible y oxidante, de modo que el flujo del gas no oxidante y el flujo del combustible y oxidante no se perturbarán entre sí. En una realización, el flujo de gas no oxidante forma un manto sobre el aluminio fundido. En una realización, la primera velocidad del flujo de gas no oxidante es de al menos 400 m/s. En una realización, la segunda velocidad del flujo de gas no oxidante es menor que la primera velocidad. En una realización, la tercera velocidad del flujo de gas no oxidante es de al menos 200 m/s. En una realización, el método comprende además, durante la fase de colada, enfriar el flujo de gas no oxidante y enfriar por convección el aluminio fundido con el flujo de gas no oxidante.

En otro aspecto, un sistema para fundir una carga de aluminio comprende no más del 5 % de sal en masa en un horno que tiene una puerta, que comprende un quemador montado en la puerta del horno, el quemador que está configurado para introducir combustible y oxidante en el horno para formar una zona de combustión por encima de la carga de aluminio, una lanza configurada para introducir un gas no oxidante en el horno para formar una zona no oxidante entre la zona de combustión y la carga de aluminio, y un inyector de gas configurado para introducir un gas no oxidante cerca de la puerta del horno. En una realización, el quemador y la lanza están montados en la puerta del horno.

En una realización, la lanza está configurada para introducir gas no oxidante a una velocidad de al menos 400 m/s. En una realización, el quemador y la lanza están orientados sustancialmente perpendiculares a la puerta. En una realización, el inyector de gas comprende un colector que tiene una o más salidas, la una o más salidas que están configuradas para suministrar un flujo plano de gas no oxidante al horno cuando la puerta está abierta. En una realización, la una o más salidas comprenden una salida única, plana y ancha. En una realización, el inyector de gas está configurado para suministrar el gas no oxidante a una velocidad de al menos 200 m/s. En una realización, el inyector de gas está orientado de tal manera que las salidas introducen el flujo de gas no oxidante sustancialmente paralelo a una superficie superior de la carga de aluminio.

Descripción detallada

Debe entenderse que las figuras y descripciones de la presente invención se han simplificado para ilustrar elementos que son relevantes para una comprensión clara de la presente invención, al tiempo que, por razones de claridad, se eliminan muchos otros elementos encontrados en sistemas y métodos. Los expertos en la materia pueden reconocer que otros elementos y/o etapas son deseables y/o necesarios para implementar la presente invención. Sin embargo, debido a que dichos elementos y etapas son bien conocidos en la técnica, y debido a que no facilitan una mejor comprensión de la presente invención, no se proporciona una discusión de dichos elementos y etapas en este documento. La divulgación en este documento está dirigida a todas esas variaciones y modificaciones a dichos elementos y métodos conocidos por los expertos en la materia.

A menos que se defina lo contrario, todos los términos técnicos y científicos utilizados en este documento tienen el mismo significado que el entendido comúnmente por un experto en la materia a la que pertenece esta invención. Aunque en la práctica o prueba de la presente invención puede usarse cualquier método y material similar o equivalente a los descritos en este documento, se describen los métodos y materiales preferidos.

Como se usa en este documento, cada uno de los siguientes términos tiene el significado asociado con él en esta sección.

Los artículos "un" y "una" se usan en este documento para referirse a uno o más de uno (es decir, al menos uno) del objeto gramatical del artículo. A modo de ejemplo, "un elemento" significa un elemento o más de un elemento.

"Aproximadamente", como se usa en el presente documento cuando se refiere a un valor medible, como una cantidad, una duración temporal y similares, debe abarcar variaciones de $\pm 20\%$, $\pm 10\%$, $\pm 5\%$, $\pm 1\%$, y $\pm 0,1\%$ del valor especificado, ya que dichas variaciones son apropiadas.

Como se usa en el presente documento, "gases de combustión" significa una combinación de al menos un combustible que contiene hidrocarburos y al menos un oxidante que contiene oxígeno capaz de mantener una reacción de combustión de liberación de calor, en la que el hidrocarburo reacciona con el oxígeno, incluyendo sin limitación, combustibles que contienen hidrocarburos, como combustible gaseoso, combustible líquido y combustible sólido en un gas de transporte, y oxidantes que contienen oxígeno, como aire, aire viciado (que tiene menos del 21 % de oxígeno molecular), aire enriquecido con oxígeno (que tiene por encima de aproximadamente el 21 % de oxígeno molecular, al menos 23 % de oxígeno molecular, al menos 70 % de oxígeno molecular, al menos 90 % de oxígeno molecular) u oxígeno de grado industrial (al menos 93 % de oxígeno molecular, al menos 95 % de oxígeno

molecular, o al menos 99 % de oxígeno molecular).

Un quemador de la presente invención puede describirse como que tiene una "velocidad de encendido". Según lo entiende una persona con conocimientos en la materia, la velocidad de encendido de un quemador es la velocidad a la que el quemador confiere energía a su entorno, y generalmente se calcula como el caudal del combustible multiplicado por el valor calorífico teórico de la combustión completa de ese combustible con una cantidad estequiométrica de oxígeno (suministrado por un caudal de oxidante). A cualquier velocidad de encendido dada, el quemador también puede tener una estequiometría, que es la relación de oxígeno proporcionado en el oxidante a la cantidad de oxígeno teóricamente requerida para quemar completamente el combustible sin dejar ningún exceso de oxígeno. A cualquier velocidad de encendido dada, un quemador puede funcionar rico en combustible (con menos de una cantidad estequiométrica de oxígeno), a estequiometría o pobre en combustible (por encima de una cantidad estequiométrica de oxígeno).

Como se usa en el presente documento, un gas "no oxidante" es un gas que no oxida sustancialmente el hidrógeno o el combustible de hidrocarburos a las temperaturas de combustión del oxi-combustible. Los ejemplos de gases no oxidantes incluyen, entre otros, gases inertes como argón, gases sustancialmente inertes como nitrógeno y gases reductores, como hidrógeno o monóxido de carbono. Sin embargo, un "gas no oxidante" puede reaccionar con el combustible y el oxidante para producir menos del porcentaje de productos, por ejemplo, se entiende que un gas como el nitrógeno puede producir componentes secundarios como el NO_x en reacciones de combustión.

Las frases "carga de aluminio", "carga" y "peso de carga" se utilizan a lo largo de la presente divulgación. Según entiende un experto en la materia, una carga de aluminio o carga es el material cargado en un horno para ser fundido de acuerdo con los métodos de la presente invención. La carga comprende una cantidad de chatarra para reciclar, así como una cantidad de sal. El "peso de carga" es el peso de la carga completa, incluida la chatarra y la sal. El "peso de la chatarra" es el peso de la chatarra sola, y el "peso de la sal" es el peso de la sal sola.

A lo largo de esta divulgación, se pueden presentar varios aspectos de la invención en un formato de rango. Debe entenderse que la descripción en formato de rango es meramente por conveniencia y brevedad y no debe interpretarse como una limitación inflexible en el alcance de la invención. Por consiguiente, se debe considerar que la descripción de un rango desvela específicamente todos los subrangos posibles, así como los valores numéricos individuales dentro de ese rango. Por ejemplo, se debe considerar que la descripción de un rango como del 1 al 6 desvela específicamente subrangos como del 1 al 3, del 1 al 4, del 1 al 5, del 2 al 4, del 2 al 6, del 3 a 6, etc., así como números individuales dentro de ese rango, por ejemplo, 1, 2, 2,7, 3, 4, 5, 5,3, 6 y cualquier incremento total y parcial entre ellos. Esto se aplica independientemente de la amplitud del rango.

La reducción en el uso de sal es muy deseada en la industria del reciclaje de aluminio, ya que la sal puede ser costosa tanto de comprar como de reciclar. En el presente documento se describe un sistema y un método para complementar un contenido de sal más bajo con una cobertura de gas no oxidante de alta velocidad para aumentar el rendimiento y la eficiencia en un horno de reciclaje de aluminio. Los métodos de la presente invención además protegen el aluminio del vapor de agua en la atmósfera del horno, inhibiendo la reacción del aluminio y el agua, reduciendo la absorción de hidrógeno en el aluminio, así como la consiguiente formación de óxido de aluminio. Para obtener resultados óptimos, cada receta individual de horno y chatarra de aluminio debe considerarse cuidadosamente a través de pruebas preliminares, para determinar las condiciones óptimas del proceso, ya que la cantidad de sal que se ahorrará variará para los diferentes tipos de procesos y chatarra. La cantidad de sal que se puede ahorrar dependerá de varios factores, incluida la receta de la chatarra que se funde. Sin embargo, se espera que los métodos descritos para ahorrar sal produzcan mejores resultados en comparación con cualquier otra estrategia de ahorro de sal para cada tipo de chatarra, respectivamente.

Partes de esta divulgación se refieren a un horno rotativo de inclinación. Los hornos rotativos de inclinación son conocidos en la técnica y están diseñados para procesar material a granel que consiste en piezas relativamente pequeñas, en comparación con un horno de reverberación, donde los principales mecanismos de transferencia de calor son la radiación de llama y la convección de gas. Mientras que las partículas pequeñas tienen un área de superficie alta, la forma y el ángulo del tambor hacen que una superficie comparativamente pequeña quede expuesta a la atmósfera del horno. La conducción de calor entre piezas individuales de chatarra es deficiente debido a la gran cantidad de bordes y el espacio entre ellas. Sin embargo, la rotación del tambor permite una mayor transferencia de calor a través de la conducción en la pared del horno. La pared del horno se calienta constantemente y a continuación se sumerge en el baño fundido. Además, el movimiento del tambor agita constantemente la carga, lo que mejora la transferencia de calor.

Haciendo referencia ahora a la Figura 2, se muestra una realización de un sistema de la presente invención. Un horno rotativo de inclinación 201 se carga con una carga o fundido de aluminio 206 que incluye una cantidad de chatarra de aluminio y una cantidad correspondiente de sal. El horno 201 incluye un quemador 202 que tiene una boquilla 207 colocada en una puerta 208. El quemador 202 está configurado para inyectar un flujo de gases de combustión 204 en el horno 201, para calentar la carga o fundido de aluminio 206. En algunas realizaciones, el quemador 202 puede estar fijado perpendicularmente a la puerta 208, o alternativamente el quemador 202 puede estar montado sustancialmente paralelo a la superficie de la carga o fundido de aluminio 206 de modo que el flujo de

- los gases de combustión 204 sea sustancialmente paralelo a la superficie de la carga o fundido de aluminio 206. En algunas realizaciones, el quemador 202 es extraíble de la puerta 208 y, en su lugar, se inserta en un orificio (no mostrado) en la puerta 208. En algunas realizaciones, el sistema comprende además una lanza 203, que puede estar unida fija a la puerta 208 o insertarse a través del orificio en la puerta 208. La lanza 203 está configurada para
- 5 inyectar un gas no oxidante 205, y puede montarse de manera similar sustancialmente perpendicular a la puerta 208 o sustancialmente paralela a la superficie de la carga o fundido de aluminio 206. En algunas realizaciones, la lanza 203 está montada de tal manera que el flujo del gas no oxidante 205 es sustancialmente paralelo al flujo de los gases de combustión 204 procedente del quemador 202.
- 10 Haciendo referencia ahora a la Figura 3, una realización del sistema de la presente invención comprende además un inyector de gas 301, que puede estar unido de forma fija al exterior del horno 201, a la puerta 208, o alternativamente puede estar separado del resto del aparato y movido a su posición en el momento apropiado. El inyector de gas 301 es una tubería o colector que tiene una pluralidad de boquillas u orificios para distribuir un gas no oxidante. En una realización, como se muestra, el inyector de gas 301 puede ser un rastrillo. En la realización
- 15 representada, el rastrillo 301 comprende una entrada 303 y uno o más orificios de salida 304 colocados a lo largo del barril, configurados para inyectar una o más corrientes de gas no oxidante 302 en el horno 201. En algunas realizaciones, el rastrillo 301 está montado de manera que, cuando se abre la puerta 208, los orificios de salida 304 están orientados para inyectar corrientes del gas no oxidante 302 sustancialmente paralelas a la superficie de la carga o fundido de aluminio 206.
- 20 Haciendo referencia ahora a la Figura 4A, se muestra una fase de fusión de un método de la presente invención. En una realización, las partes iniciales de la fase de fusión se llevan a cabo de acuerdo con la práctica convencional seguida por operadores, donde la chatarra se carga con sal de forma normal, pero gracias a las mejoras de la presente invención, se requiere menos sal. En una realización, una masa fundida producida de acuerdo con un
- 25 método de la presente invención requiere al menos un 50 % menos de sal que una masa fundida convencional. En otra realización, se requiere un 80 % menos de sal. El quemador 207 funciona a una temperatura alta e inyecta los gases de combustión 204 en el horno rotativo de inclinación 201. En una realización, durante la fase de fusión, hay poco o ningún flujo de gas no oxidante desde el inyector de gas no oxidante 203.
- 30 En algunas realizaciones, cuando el baño 206 está casi fundido, comienza una fase de transición. Como se muestra en la Figura 4B, durante una fase de transición de un método de la presente invención, el quemador 207 se baja a fuego lento o se apaga. El gas no oxidante 205 se inyecta a continuación a través del inyector de gas no oxidante 203, donde idealmente deberían inyectarse dos o tres volúmenes de horno del gas durante un periodo de cinco a
- 35 diez minutos. En una realización, el gas no oxidante 205 se inyecta desde el inyector de gas 203 a una velocidad de aproximadamente 425 m/s. En otras realizaciones, la velocidad de inyección de gas puede ser de al menos 200 m/s, al menos 300 m/s, al menos 400 m/s, o al menos 500 m/s. Debe entenderse que la velocidad de inyección de gas no oxidante puede variar según el tipo de chatarra utilizada, el tipo de gas no oxidante utilizado y la geometría del horno. En una realización, el gas no oxidante se inyecta a través de la lanza 203. En una realización, el gas no oxidante 205 tiene una alta velocidad de flujo y la lanza 203 está en ángulo de tal manera que el flujo de gas no oxidante complementa el del quemador. Específicamente, la lanza 203 y el quemador 207 están en ángulo de tal manera que si el quemador 207 permanece encendido durante la inyección del gas no oxidante 205, los dos flujos 204 y 205 no se perturbarán entre sí y el gas no oxidante 205 formará un manto sobre el metal fundido 206.
- 40 En algunas realizaciones, la fase de transición que se muestra en la Figura 4B va seguida por una fase de agitación. Una realización de una fase de agitación de un método de la presente invención se muestra en la Figura 4C. Durante una fase de agitación, la masa fundida 206 se agita mediante un dispositivo de agitación insertado a través de la puerta del horno 208 (que se abre para ese fin) y/o haciendo girar o continuando haciendo girar el horno 201. Dichos dispositivos de agitación son conocidos en la técnica, e incluyen, por ejemplo, un JCB o una carretilla elevadora o similar con un accesorio largo que se usa para agitar manualmente el baño fundido. En algunas realizaciones, durante la fase de agitación, el inyector de gas no oxidante 203 inunda el horno 201 con gas no oxidante para proteger el baño fundido 206 del oxígeno dentro del horno 201. El propósito de la fase de agitación es distribuir uniformemente la temperatura del baño y romper cualquier pieza relativamente grande de chatarra restante. En algunas realizaciones, el proceso dura entre 5 y 10 minutos y puede tener que repetirse. Una vez que se completa la primera agitación, la puerta se cierra nuevamente y el operador determinará si se requiere más
- 45 agitación. En algunas realizaciones, si se necesita más agitación, un método de la presente invención puede repetir la fase de transición, como se muestra en la Figura 4B, en su totalidad o en parte. Durante la fase de agitación y con la puerta abierta, la capa de gas no oxidante formada por la corriente de gas no oxidante 205 permanece en la parte superior del baño fundido 206 y actúa como protección contra la oxidación. En algunas realizaciones, se introduce gas no oxidante adicional durante la fase de agitación a través de la parte superior de la masa fundida. En una
- 50 realización, el gas no oxidante adicional se introduce a través de un rastrillo (como se muestra en la Figura 4C).
- 55 En la Figura 4D se muestra una fase de colada de un método de la presente invención. La preparación para colar el aluminio fundido se lleva a cabo de acuerdo con la práctica normal. En algunas realizaciones, la puerta 208 se desliza para abrirse, pero en otras realizaciones, la puerta 208 puede estar unida al horno 201 usando un brazo mecánico configurado para levantar la puerta 208 del horno 201 cuando se desee, o usando un medio de bisagra para que la puerta 208 pueda inclinarse ligeramente hacia arriba para permitir que se derrame el metal fundido.
- 60

- 5 Cuando la puerta 208 se abre y durante la colada, se usa el inyector de gas no oxidante adicional 301 para introducir gas no oxidante a través de la superficie de la masa fundida 206. En una realización, el inyector 301 comprende una sola boquilla de pulverización plana y de gran angular; en otra realización, mostrada en la Figura 3, el inyector 301 comprende varias boquillas colocadas a lo largo del ancho de la superficie del baño fundido 206. En algunas realizaciones, el inyector 301 comprende un rastrillo. En una realización, el gas no oxidante 302 se inyecta desde el inyector de gas 301 a una velocidad de 340 m/s. En otras realizaciones, la velocidad de inyección de gas puede ser de al menos 50 m/s, al menos 200 m/s, al menos 300 m/s, o al menos 400 m/s. En una realización, como se muestra en la Figura 4, la corriente de gas 302 introducida por el inyector 301 es paralela o tan paralela como sea posible a la superficie del baño fundido 206. Un objeto de la corriente de gas no oxidante 302 es evitar o inhibir que las moléculas de oxígeno entren en contacto con el aluminio, lo que puede lograrse proporcionando una capa de cobertura sobre el baño fundido 206, o mediante la dilución de gases que contienen oxígeno en el horno, o mediante alguna combinación de los mismos. Además, la corriente de gas 302 adicional y beneficiosamente proporciona enfriamiento al baño fundido 206.
- 10
- 15 En una realización, un método de la presente invención implica múltiples fases alternadas de agitación y vertido, en el que la agitación se realiza mediante laminación y la corriente de gas 302 desde el inyector 301 se introduce durante cada fase de vertido para minimizar la exposición al oxígeno que entra por el hueco en la puerta del horno 208.
- 20 Una consecuencia del uso de sal en el reciclaje de aluminio es la acumulación de escoria en el horno. La escoria es un producto de desecho del proceso de fusión compuesta principalmente de óxidos, sal y aluminio. La escoria se considera un desecho peligroso y, por lo tanto, no se puede eliminar en un vertedero. El reprocesamiento de la escoria cuesta tiempo y dinero, y la propia escoria captura aluminio, reduciendo el rendimiento. El reprocesamiento de la escoria también consume mucha energía, por lo que los métodos de la presente invención consumen menos energía que los métodos de reciclaje convencionales. Se forma más escoria a medida que se añade más sal, por lo que la reducción de escoria constituye una ventaja adicional para reducir el uso de sal en el reciclaje de aluminio.
- 25
- 30 La acumulación de escoria contiene aluminio capturado, así como impurezas. Cuando la escoria se expone al oxígeno, el aluminio capturado y las impurezas experimentan diversas reacciones exotérmicas que pueden causar un aumento significativo de la temperatura durante las fases de agitación (laminado) y vertido de un método de la invención. Para agravar el problema, un menor contenido de sal en la masa fundida resulta en una transferencia de calor más eficiente.
- 35 En una realización, un método de la presente invención incluye una etapa de formación de escoria, en la que cualquier material de escoria que quede en el horno 201 se elimina por vertido, de manera similar a la etapa de vertido mostrada en la Figura 4. Durante la etapa de formación de escoria, la escoria entra en contacto con el aire dando como resultado una oxidación exotérmica que puede causar sobrecalentamiento como se describe anteriormente. La introducción de gas no oxidante durante la etapa de formación de escoria y las etapas anteriores, como se muestra en la Figura 4, puede mitigar este efecto mediante enfriamiento por convección, ya que la temperatura del gas no oxidante es relativamente más fría que la temperatura de la masa fundida, así como mediante el recubrimiento o la inertización de la atmósfera sobre la masa fundida.
- 40
- 45 En algunas realizaciones de los métodos descritos en el presente documento, se forma una atmósfera estratificada en un horno de aluminio, la atmósfera estratificada que tiene al menos una capa no oxidante interpuesta entre la zona de combustión y la carga de aluminio para separar la zona de combustión del aluminio, y de ese modo inhibir la oxidación del aluminio. Como se ha descrito anteriormente, esta atmósfera estratificada puede emplear una sola capa no oxidante o más de una capa no oxidante.
- 50 El beneficio principal de emplear protección de atmósfera estratificada es reducir significativamente la cantidad de sal requerida para proteger el aluminio. Una desventaja es que puede reducirse ligeramente la eficiencia general del horno, debido a la carga de calor adicional del gas frío no oxidante añadido al horno. Se pueden obtener beneficios adicionales, por ejemplo, mejorar la calidad y el rendimiento del aluminio. Uno de los fines principales de añadir sal a la masa fundida es proteger el aluminio de la oxidación. Si el método de protección de la atmósfera estratificada se emplea correctamente, es posible reducir significativamente la cantidad de sal requerida en el proceso. Si entra en contacto menos oxígeno con la masa fundida, habrá menos oxidación, lo que dará como resultado un mejor rendimiento.
- 55
- 60 Las realizaciones de la presente invención se pueden operar para formar una zona gaseosa, dos zonas gaseosas como en la Figura 1 o más de dos zonas gaseosas. En todas las realizaciones, el quemador 207 quema oxidante y combustible para crear calor para fundir la carga de aluminio 206 colocada en el fondo del horno 201. El oxidante de combustión y el combustible crean una zona o capa de combustión en el espacio del horno sobre la carga de aluminio. Debido a que el mecanismo primario de transferencia de calor a la carga de aluminio 206 es por radiación en lugar de por convección, la creación de una atmósfera estratificada no disminuirá significativamente el calentamiento del aluminio. Además, para mejorar la transferencia de calor radiante, el oxidante en el quemador puede ser un aire enriquecido con oxígeno, en lugar de aire, con una concentración de oxígeno molecular de al menos el 23 %, al menos el 30 %, al menos el 70 %, al menos el 90 %, o al menos el 95 %. Se puede usar cualquier
- 65

quemador convencional en esta realización.

Se prefiere que el quemador sea un quemador de alta velocidad, lo que significa que al menos uno del oxidante y el combustible se introduzca en el horno a una velocidad de al menos 60 pies por segundo, preferiblemente al menos 75 pies por segundo, y más preferiblemente al menos 100 pies por segundo. Esta alta velocidad permite que la llama penetre en el horno lo suficiente antes de que circule de regreso hacia la chimenea, que en un horno rotatorio de aluminio típico se encuentra en la puerta por encima de la ubicación del quemador. Debe entenderse que también podrían ser adecuadas otras configuraciones de quemador/chimenea para su uso con los sistemas y métodos de la presente invención. Por ejemplo, la chimenea podría colocarse en la parte posterior del horno, frente al quemador.

En la realización alternativa representada de la Figura 5, un inyector, boquilla o lanza 503, debajo de un quemador 502, introduce un gas no oxidante para formar una zona o capa protectora no oxidante 506 debajo de una capa de combustión 505 emitida desde el quemador 502. El gas no oxidante se introduce cerca de una carga o fundido de aluminio 504 para crear un manto o protección que reduce aún más la cantidad de oxidante que entra en contacto con el aluminio 504. El gas no oxidante puede ser cualquier gas que no esté sustancialmente involucrado en la combustión u oxidación de hidrocarburos, por ejemplo nitrógeno o argón.

En algunas realizaciones, la presente invención incluye además un método para reducir el uso de sal en una masa fundida de aluminio. Con referencia a la Figura 9, un método de la presente invención comprende una fase de fusión 900, que comprende las etapas de introducir flujos de combustible y oxidante en un horno que contiene una carga 901, con el combustible y el oxidante que reaccionan para formar una zona de combustión por encima de la carga 902. Cuando la carga de aluminio está casi completamente fundida, el método de la presente invención comienza una fase de transición 910, que comprende las etapas de reducir la velocidad de combustión del quemador 911, introducir un flujo de gas no oxidante en el horno a una primera velocidad para formar una zona no oxidante entre la zona de combustión y la carga de aluminio 912, y permitir que la carga de aluminio se funda completamente 914. En algunas realizaciones, un método de la presente invención comprende una o más fases de agitación opcionales 920. En estas realizaciones, después de que se introduce el gas no oxidante pero antes de que la carga se haya fundido por completo, el flujo de gas no oxidante se detiene 921, la carga se agita 922 y a continuación el flujo de gas no oxidante se reanuda al mismo caudal 923 o uno diferente. En algunas realizaciones, los métodos de la presente invención comprenden múltiples fases de agitación y transición alternas. Cuando la carga de aluminio se ha fundido completamente, el método de la presente invención comienza una fase de colada 930, en la que la carga de aluminio fundido se vierte del horno 931.

El precalentamiento de los gases estratificados antes de la introducción en el horno, y específicamente el precalentamiento de los gases no oxidantes, puede ser beneficioso, pero no es esencial. En una realización, la recirculación de gases de escape puede usarse para añadir calor al gas no oxidante, ya sea por intercambio de calor o mediante mezcla o mixtura. En otra realización, la recirculación de gases de escape puede usarse para proporcionar la propia capa no oxidante. Sin embargo, la adición de más agua puede provocar una absorción excesiva de hidrógeno en la masa fundida y puede no ser deseable. Las cantidades óptimas de recirculación de gases de escape o precalentamiento del flujo no oxidante se pueden determinar experimentalmente.

En un horno típico que tiene una capacidad de 5 a 40 toneladas métricas que funciona con una sola capa no oxidante, se estima que se requeriría un caudal inicial de nitrógeno o argón para formar una capa de gas no oxidante, seguido por un caudal de mantenimiento (que puede ser igual o inferior al caudal inicial) para garantizar que la capa de gas no oxidante permanezca lo suficientemente intacta como para cubrir la masa fundida, o al menos a una dilución significativa mezclando cualquier oxidante que se aproxime a la masa fundida. El caudal de nitrógeno inicial esperado sería de 50 a 400 metros cúbicos normales por hora (Nm^3/h) y preferiblemente de 50 a 200 Nm^3/h , durante un período de tiempo inicial, para cubrir la masa fundida. El período de tiempo inicial puede ser de al menos 1 minuto y menos de 60 minutos, y es preferiblemente de aproximadamente 5 a 30 minutos. Un caudal de mantenimiento esperado sería de 1 a 300 Nm^3/h (5 % al 75 % del caudal inicial), preferiblemente de 10 a 200 Nm^3/h (20 % al 50 % del caudal inicial), y más preferiblemente de 10 a 100 Nm^3/h (20 % al 25 % del caudal inicial) durante al menos una parte del resto del ciclo de fusión.

Operativamente, la fusión de la chatarra de aluminio a menudo incluye una etapa temprana donde los contaminantes como pinturas, recubrimientos y otros materiales orgánicos o volátiles se queman, oxidan o vaporizan a partir de la chatarra, seguidos de una etapa de fusión en la que el resto del metal de aluminio se funde. Por lo tanto, durante la etapa inicial, es necesario y deseable tener una atmósfera que contenga oxígeno en contacto con la carga de aluminio, de modo que el sistema y el método descritos en este documento solo funcionen después de que se hayan eliminado dichos contaminantes. Además, como se ha señalado anteriormente, la chatarra de aluminio sólido tiene una delgada capa de óxido que la protege de la oxidación adicional, de modo que la atmósfera estratificada no es necesaria hasta que comience la descomposición de esa capa de óxido. Los sistemas y métodos relacionados con la etapa inicial en la que se eliminan los contaminantes se describen, por ejemplo, en el documento US 9091484.

Por consiguiente, el método descrito en el presente documento para crear una atmósfera estratificada se aplicará en una etapa posterior de la fusión, cuando el aluminio está casi fundido o ha comenzado a fundirse. Antes de esto, el

aluminio sólido ya tiene una capa protectora de óxido de aluminio y, por lo tanto, no se requiere protección adicional.

Como se describe en el presente documento, el objetivo principal de la atmósfera estratificada es reemplazar la sal para proteger el aluminio de la oxidación durante el proceso de fusión. Sin embargo, debido a que la sal beneficia el proceso más que simplemente proteger el aluminio de la oxidación, el uso del sistema de atmósfera estratificada puede requerir su ajuste dependiendo de los diferentes tipos de chatarra cargados. Por ejemplo, diferentes materiales pueden requerir diferentes velocidades de combustión del quemador, diferentes velocidades de gas no oxidante o diferentes velocidades de flujo de gas no oxidante. En la mayoría de los casos, al menos un porcentaje de la sal se puede reemplazar con una atmósfera estratificada para su protección.

Por ejemplo, al cargar chatarra nueva/limpia, se requerirá menos sal para romper los óxidos y para eliminar químicamente las impurezas metálicas y, por lo tanto, un alto porcentaje de la sal podría reemplazarse por una atmósfera estratificada para proteger contra la oxidación. Pero la chatarra que contiene más impurezas metálicas u óxidos aún requeriría un poco de sal para ayudar a romper los óxidos y eliminar los productos químicos. Por lo tanto, el porcentaje de impurezas metálicas y óxidos presentes en la chatarra inicial afectará la cantidad de sal que se puede ahorrar. Para chatarra más sucia, es probable que haya un compromiso entre el ahorro de sal y el rendimiento. Las diferentes recetas tendrían que determinarse experimentalmente para hornos individuales caso por caso.

Ejemplos experimentales

La invención se describe ahora con referencia a los siguientes ejemplos. Estos ejemplos se proporcionan solo con fines ilustrativos y la invención no debe interpretarse de ningún modo como limitada a estos ejemplos, sino que debe interpretarse para abarcar todas y cada una de las variaciones que se hacen evidentes como resultado de la enseñanza proporcionada en este documento.

Sin una descripción adicional, se cree que un experto en la materia, utilizando la descripción anterior y los siguientes ejemplos ilustrativos, puede crear y utilizar la presente invención y poner en práctica los métodos reivindicados. Los siguientes ejemplos de trabajo, por tanto, señalan específicamente las realizaciones preferidas de la presente invención, y no deben interpretarse como limitantes de ninguna manera del resto de la divulgación.

Los ensayos se llevaron a cabo en un horno rotativo de inclinación de 8MT con quemador y chimenea colocados en la puerta. Se cargó escoria de alto rendimiento (75-85 %) en el horno, conocida como 'mets de sal'. Antes de la carga, el material de chatarra se procesó en piezas pequeñas, de no más de 15 cm de ancho. La metodología descrita anteriormente se siguió a lo largo de los ensayos. El nitrógeno se usó como gas no oxidante en las pruebas y se implementó con éxito, donde se ahorró hasta un 80 % de sal. No surgieron problemas significativos por la reducción de la sal o por seguir el procedimiento de inyección de gas no oxidante. Los datos de rendimiento mostraron que el gas específico y el oxígeno específico utilizados durante los experimentos se encontraban dentro del rango operativo normal. Los datos también mostraron que se logró una reducción significativa en el tiempo de fusión para todos los experimentos de inyección de nitrógeno, en comparación con el rango operativo normal. Como resultado, la velocidad de fusión mejoró significativamente.

Los resultados se resumen brevemente en la Tabla 1 a continuación. Las masas fundidas 1 y 2 ahorraron un 60 % de sal, lo que equivalía a aproximadamente 380 kg de sal ahorrados en ambos derretimientos. La masa fundida 3 ahorró aproximadamente un 80 % de sal, lo que resultó en el ahorro de 500 kg de sal. Como se muestra a continuación, las masas fundidas de referencia normalmente estarían entre el 8,2 % y el 8,5 % de sal. Al aplicar el método de la presente invención, el contenido de sal de la masa fundida se redujo al 3,4 % en la masa fundida 1, al 3,6 % en la masa fundida 2, y tan solo al 1,9 % en la masa fundida 3. Todas las masas fundidas salieron bien y no surgieron problemas significativos al reducir la sal. La reducción del porcentaje de sal da como resultado una tasa de transferencia de calor más alta, por tanto, la entrada de energía en el horno debe controlarse de cerca hacia el final de la fusión. Es posible que el uso de menos sal pueda reducir la producción de escoria y, por lo tanto, aumentar el rendimiento. Sin embargo, se requiere un conjunto de datos mucho más grande para proporcionar certeza estadística sobre los efectos de rendimiento.

Tabla 1

Prueba	Peso de la chatarra	Uso de sal de referencia	Sal usada
Masa fundida 1	7078 kg	630 kg	250 kg/40 %
Masa fundida 2	6465 kg	600 kg	240 kg/40 %
Masa fundida 3	6891 kg	630 kg	130 kg/20 %

El rendimiento del horno se analizó durante los experimentos de inyección de nitrógeno y se comparó con las masas fundidas "normales" similares recientes. Todas las masas fundidas recientes que contienen mets de sal se analizaron en busca de métricas de rendimiento importantes, incluidos gases específicos, oxígeno específico, tiempo de ciclo y velocidad de fusión. La comparación de estas métricas para las masas fundidas con y sin nitrógeno proporcionó información sobre cómo la introducción de nitrógeno relativamente frío y una cantidad reducida de sal cargada afectó el rendimiento de fusión del horno.

Se identificaron veinte masas fundidas que eran comparables a las pruebas de inyección de nitrógeno y se usaron para determinar el rendimiento de referencia para las condiciones normales de funcionamiento de los mets de sal. Los datos se promediaron y las desviaciones típicas se usaron para determinar un rango de referencia para los mets de sal, en el que las pruebas de inyección de nitrógeno deberían estar dentro de las métricas de rendimiento normales. Estos rangos de referencia se presentan en las Figs. 6-8 como líneas azules con barras de error que representan la desviación típica para cada métrica. Los datos de referencia se presentan como pequeños puntos de datos azules en cada figura. Las figuras también incluyen puntos de datos de las pruebas de inyección de nitrógeno, que se muestran como triángulos grandes (Figura 6), cuadrados (Figura 6), círculos (Figura 7) y diamantes (Figura 8), para gas específico, oxígeno específico, tiempo de ciclo y velocidad de fusión, respectivamente.

La Figura 6 muestra las métricas de rendimiento de gas específico y oxígeno específico. Los puntos de datos azules muestran la extensión de los datos de referencia y las líneas azules con barras de error muestran el valor promedio (media) para el funcionamiento normal. El gas específico promedio es $34,8 \text{ Nm}^3/\text{MT}$ de la chatarra total cargada. La desviación típica se calculó como $3,5 \text{ Nm}^3/\text{MT}$, que es el 10,0 % de la media y está representada por las barras de error azules. Por lo tanto, el gas específico utilizado durante los experimentos de inyección de nitrógeno debe estar dentro del rango de $31,3\text{-}38,3 \text{ Nm}^3/\text{MT}$, igualando el rendimiento de una fusión normal. Los triángulos rojos grandes representan el gas específico y se puede ver que todas las masas fundidas caen dentro de este rango a $37,2$, $36,2$ y $32,7 \text{ Nm}^3/\text{MT}$. Esto indica que el método de inyección de gas no oxidante no afecta significativamente la cantidad de gas utilizado para completar una fusión.

La Figura 6 también muestra oxígeno específico. Los datos sugieren que las mismas observaciones son verdaderas para el uso de oxígeno como se ha descrito anteriormente para el uso de gas. El oxígeno específico promedio es $64,1 \text{ Nm}^3/\text{MT}$ de la chatarra total cargada. La desviación típica se calculó como $6,1 \text{ Nm}^3/\text{MT}$, que es el 9,6 % de la media, representada por las barras de error azules. Por lo tanto, el oxígeno específico utilizado durante los experimentos de inyección de nitrógeno debe estar dentro del rango de $58,0\text{-}70,2 \text{ Nm}^3/\text{MT}$ para que coincida con el rendimiento de una fusión normal. Los cuadrados verdes grandes representan oxígeno específico y, de nuevo, se puede ver que todas las masas fundidas caen dentro de este rango a $68,9$, $67,3$ y $60,6 \text{ Nm}^3/\text{MT}$.

La Figura 7 muestra el tiempo del ciclo, que se registra desde que comienza la carga hasta que termina la formación de escoria. Los puntos de datos azules muestran la dispersión de los datos de referencia y la línea azul con barras de error muestra el valor promedio (media) para el funcionamiento normal. El tiempo de ciclo promedio es de 3,26 horas (o 03:15:36 en hr:min:seg). La desviación típica se calculó como 0,46 h (27,6 min) y, por lo tanto, el rango del ciclo normal cae dentro de 2,80-3,72 h. Los círculos grandes de color naranja representan los datos de inyección de nitrógeno y se puede ver que el tiempo de ciclo para las tres masas fundidas es algo menor que el rango normal de operación, donde el tiempo de ciclo para las masas fundidas 1 a 3 son de 2,48, 2,48 y 2,68 h, respectivamente. Esto está en línea con las expectativas, ya que hay menos material cargado en el horno y hay un mayor porcentaje de aluminio en la carga, lo que resulta en una mayor tasa de transferencia de calor. La reducción en el tiempo del ciclo sugiere que la técnica de inyección de gas no oxidante podría aportar un beneficio adicional de una mayor producción. Los datos muestran una reducción promedio en el tiempo de ciclo de 45 minutos para los mets de sal. Esto podría dar como resultado un aumento de la producción en el horno, según los datos que figuran en este documento.

La Figura 8 muestra la velocidad de fusión, que se determinó a partir del peso de la carga y el tiempo de ciclo. La velocidad de fusión promedio se puede ver como $2,10 \text{ MT/h}$, tomada a lo largo de todo el tiempo del ciclo. La desviación típica se calculó como $0,29 \text{ MT/h}$ y, por lo tanto, el rango operativo normal es de $1,81\text{-}2,39 \text{ MT/h}$. La velocidad de fusión para las masas fundidas 1-3 (diamantes grandes) fue de $2,85$, $2,61$ y $2,58$, respectivamente. La velocidad de fusión mejora significativamente cuando se usa menos sal, lo que está en línea con las expectativas.

Los mets de sal usan una cantidad relativamente baja de sal (100 kg/MT de mets de sal cargados), en comparación con otros materiales, como mets y escoria, que usan 130 y 160 kg/MT cargados, respectivamente. El beneficio potencial por fusión es significativamente mayor para esos materiales.

El alcance de la presente invención no está limitado por los aspectos específicos o realizaciones desveladas en los ejemplos que está previsto que sean ilustraciones de algunos aspectos de la invención y cualquier realización que sea funcionalmente equivalente está dentro del alcance de esta invención. Diversas modificaciones de la invención, además de las mostradas y descritas en el presente documento, serán evidentes para los expertos en la materia y está previsto que caigan dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

60

REIVINDICACIONES

1. Un método para fundir en un horno una carga de aluminio que comprende no más del 4 % de sal en masa, el método que comprende:
- 5 durante una fase de fusión, introducir combustible y oxidante en el horno a través de un quemador que funciona a una primera velocidad de combustión, el combustible y el oxidante que reaccionan para formar una zona de combustión por encima de la carga de aluminio;
- 10 terminar la fase de fusión y comenzar una fase de transición cuando la carga de aluminio está casi completamente fundida; durante la fase de transición:
- 15 reducir la velocidad de combustión del quemador a una segunda velocidad de combustión inferior a la primera velocidad de combustión, introducir un gas no oxidante en el horno a una primera velocidad para formar una zona no oxidante entre la zona de combustión y la carga de aluminio; y permitir que la carga de aluminio se funda por completo; y
- 20 terminar la fase de transición y comenzar una fase de colada en un momento posterior a que la carga de aluminio se haya fundido completamente; y durante la fase de colada, verter la carga de aluminio fundido fuera del horno.
2. El método de la reivindicación 1, que comprende además las etapas de: después de la fase de transición y antes de la fase de colada, comenzar una fase de agitación, que comprende las etapas de:
- 25 detener el flujo de gas no oxidante; agitar la carga de aluminio fundido; y reanudar el flujo de gas no oxidante a una segunda velocidad.
- 30 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que la carga de aluminio fundido es agitada por uno o ambos implementos unidos a un vehículo de tipo construcción y haciendo girar el horno alrededor de un eje.
- 35 4. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además, durante la fase de colada, hacer fluir el gas no oxidante a una tercera velocidad sobre la carga de aluminio fundido mientras se vierte la carga de aluminio fundido fuera del horno.
- 40 5. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el gas no oxidante es un gas inerte, y en el que la zona no oxidante es una zona inerte.
6. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el flujo de gas no oxidante se introduce en un ángulo complementario a un ángulo del flujo de combustible y oxidante, de modo que el flujo del gas no oxidante y el flujo de combustible y oxidante no se perturbarán sustancialmente entre sí.
- 45 7. El método de la reivindicación 6, en el que el flujo de gas no oxidante forma un manto sobre el aluminio fundido.
8. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la primera velocidad del flujo de gas no oxidante es de al menos 400 m/s.
- 50 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, en el que la segunda velocidad del flujo de gas no oxidante es igual o menor que la primera velocidad.
10. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 9, en el que la tercera velocidad del flujo de gas no oxidante es igual o menor que la primera velocidad y es de al menos 200 m/s.
- 55 11. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 10, que comprende además, durante la fase de colada:
- 60 enfriar el flujo de gas no oxidante; y enfriar convectivamente el aluminio fundido con el flujo de gas no oxidante.
12. Un sistema para fundir una carga de aluminio que comprende no más del 4 % de sal en masa en un horno rotativo de inclinación que tiene una puerta, que comprende:
- 65 un quemador montado en la puerta del horno, el quemador que está configurado para introducir combustible y oxidante en el horno para formar una zona de combustión por encima de la carga de aluminio; una lanza configurada para introducir un gas no oxidante en el horno para formar una zona no oxidante

entre la zona de combustión y la carga de aluminio; y
un inyector de gas configurado para introducir un gas no oxidante cerca de la puerta del horno.

- 5 13. El sistema de la reivindicación 12, en el que la lanza está montada en la puerta del horno.
14. El sistema de la reivindicación 13, en el que la lanza está configurada para introducir gas no oxidante a una velocidad de al menos 400 m/s.
- 10 15. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que el inyector de gas comprende un colector que tiene una o más salidas, la una o más salidas que están configuradas para suministrar un flujo plano de gas no oxidante al horno cuando la puerta está abierta.
- 15 16. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, en el que el inyector de gas está configurado para suministrar el gas no oxidante a una velocidad de al menos 200 m/s.
- 20 17. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16, en el que el inyector de gas está orientado de tal manera que las salidas introducen el flujo de gas no oxidante sustancialmente paralelo a una superficie superior de la carga de aluminio.

TÉCNICA ANTERIOR

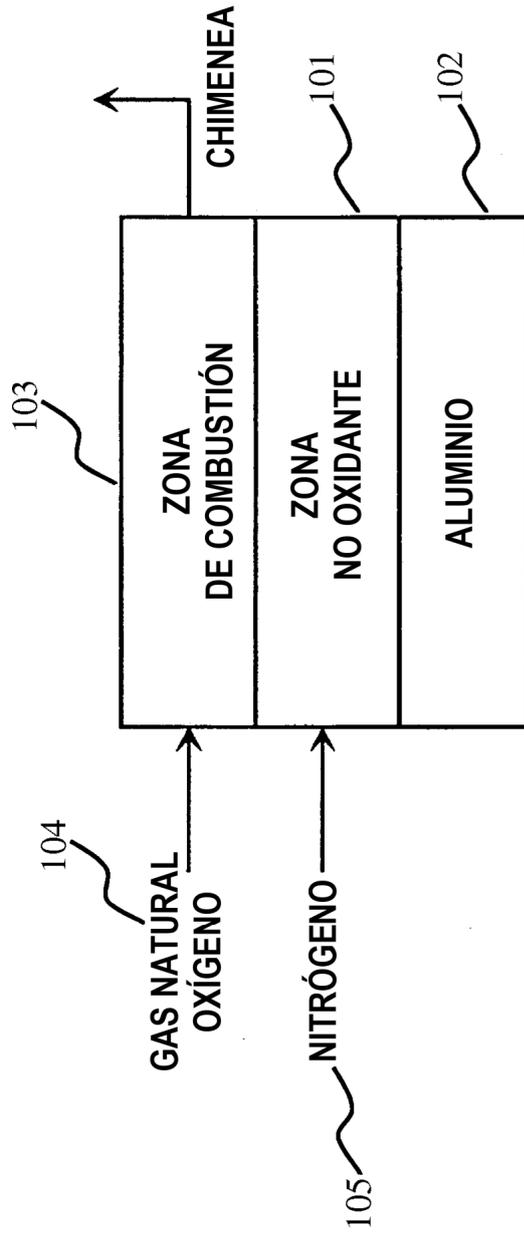


Fig. 1

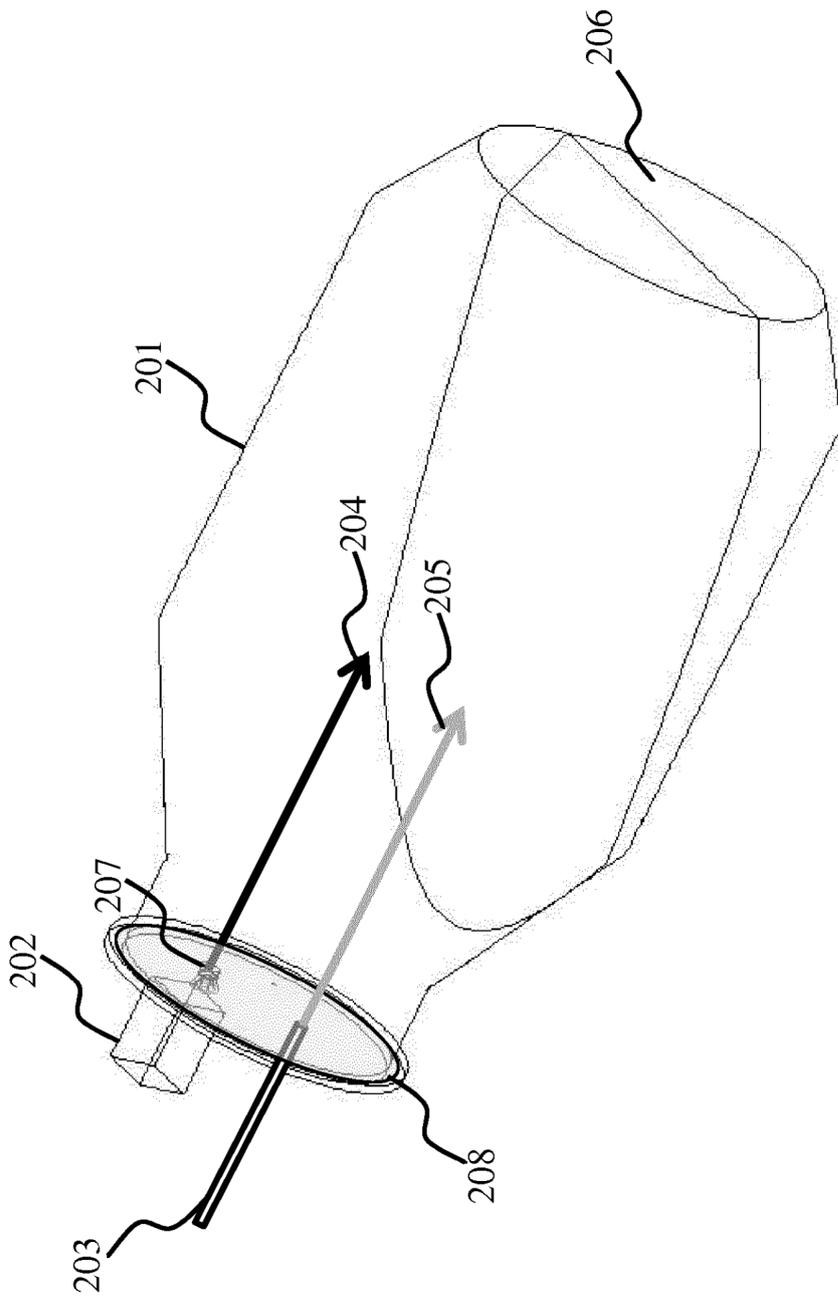


Fig. 2

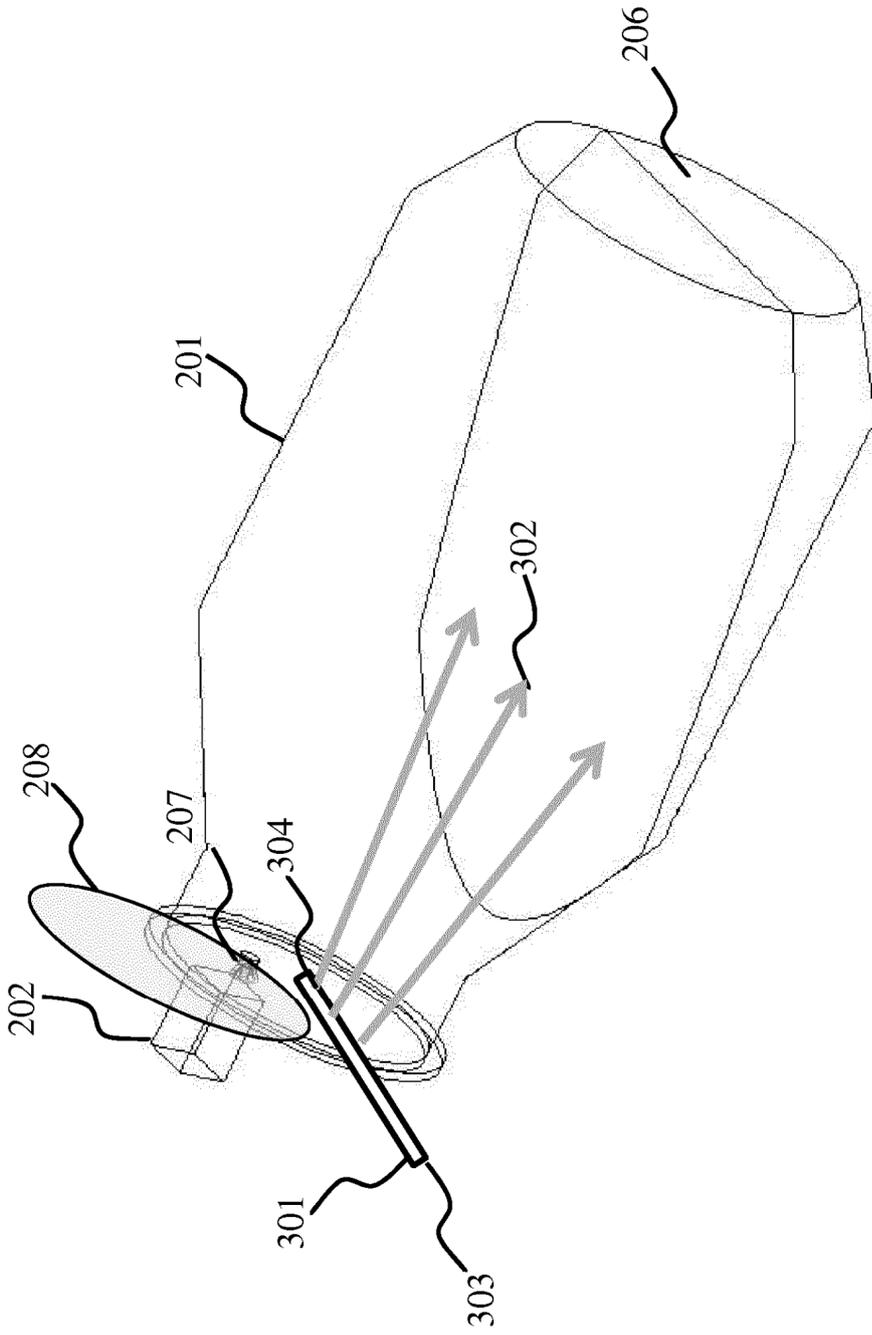


Fig. 3

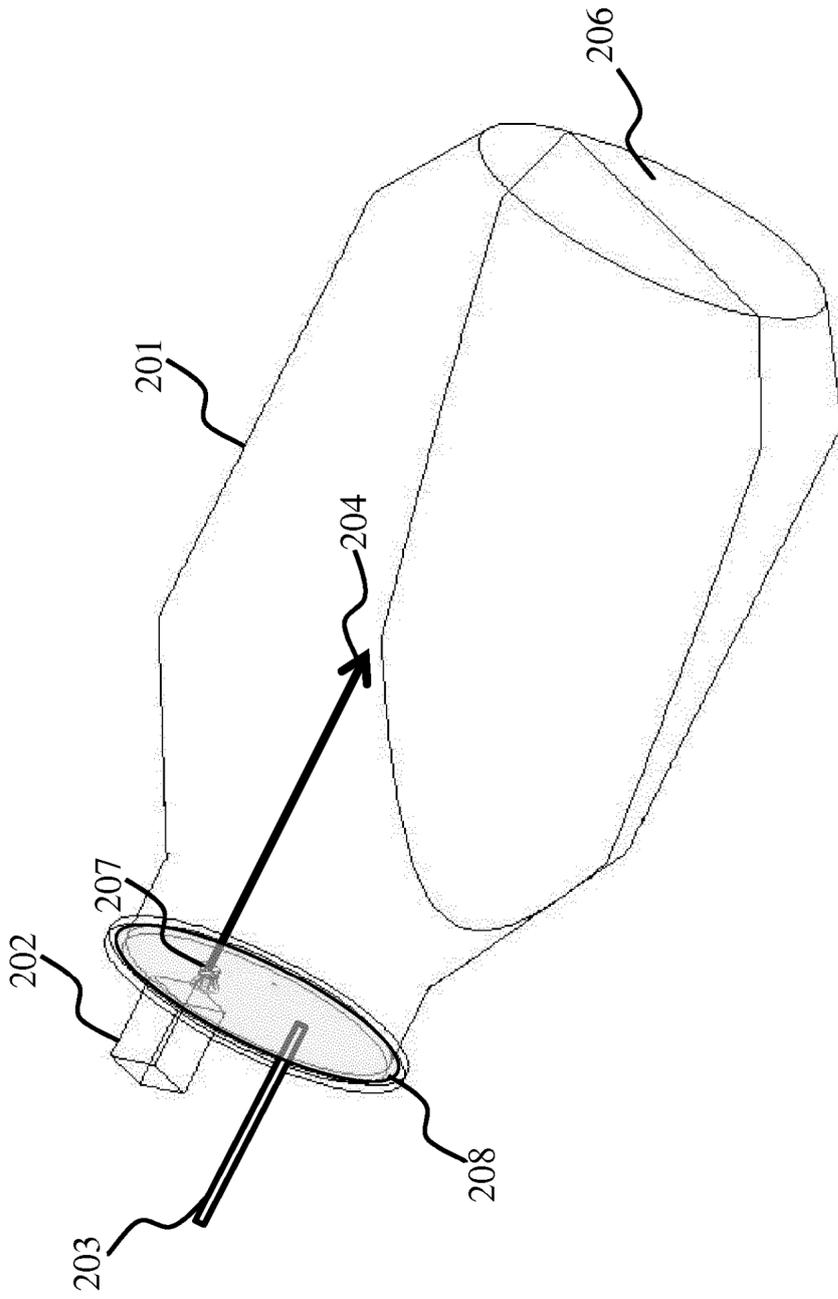


Fig. 4A

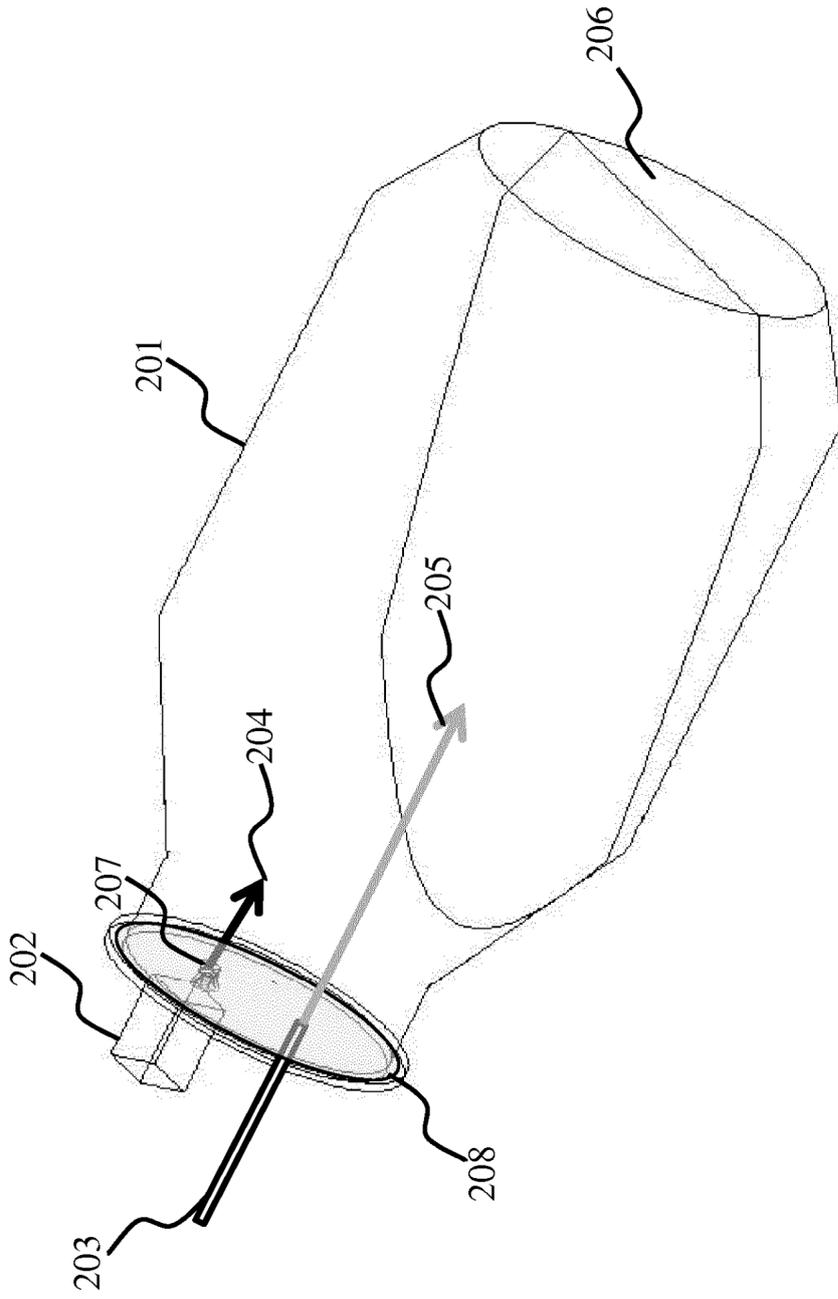


Fig. 4B

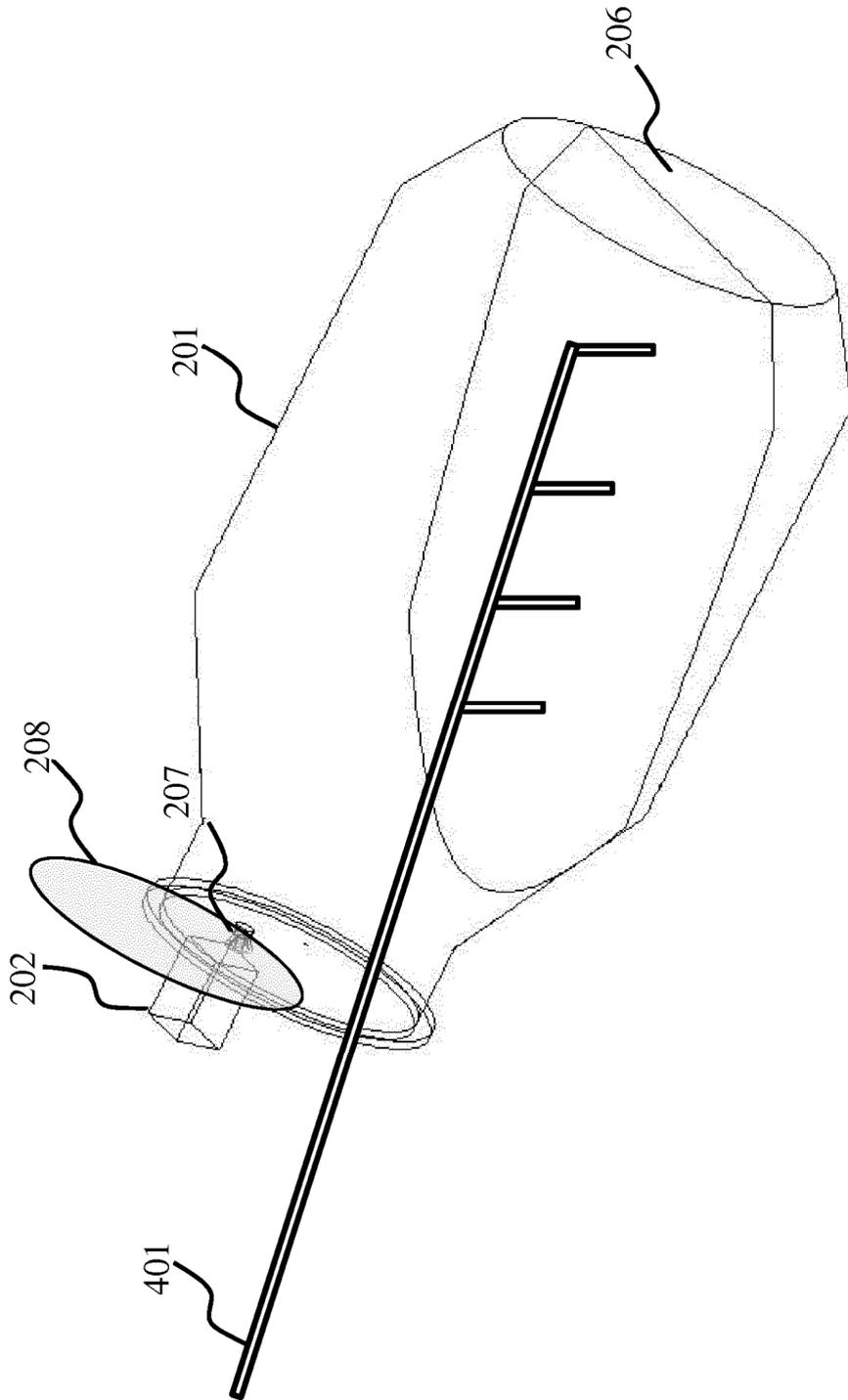


Fig. 4C

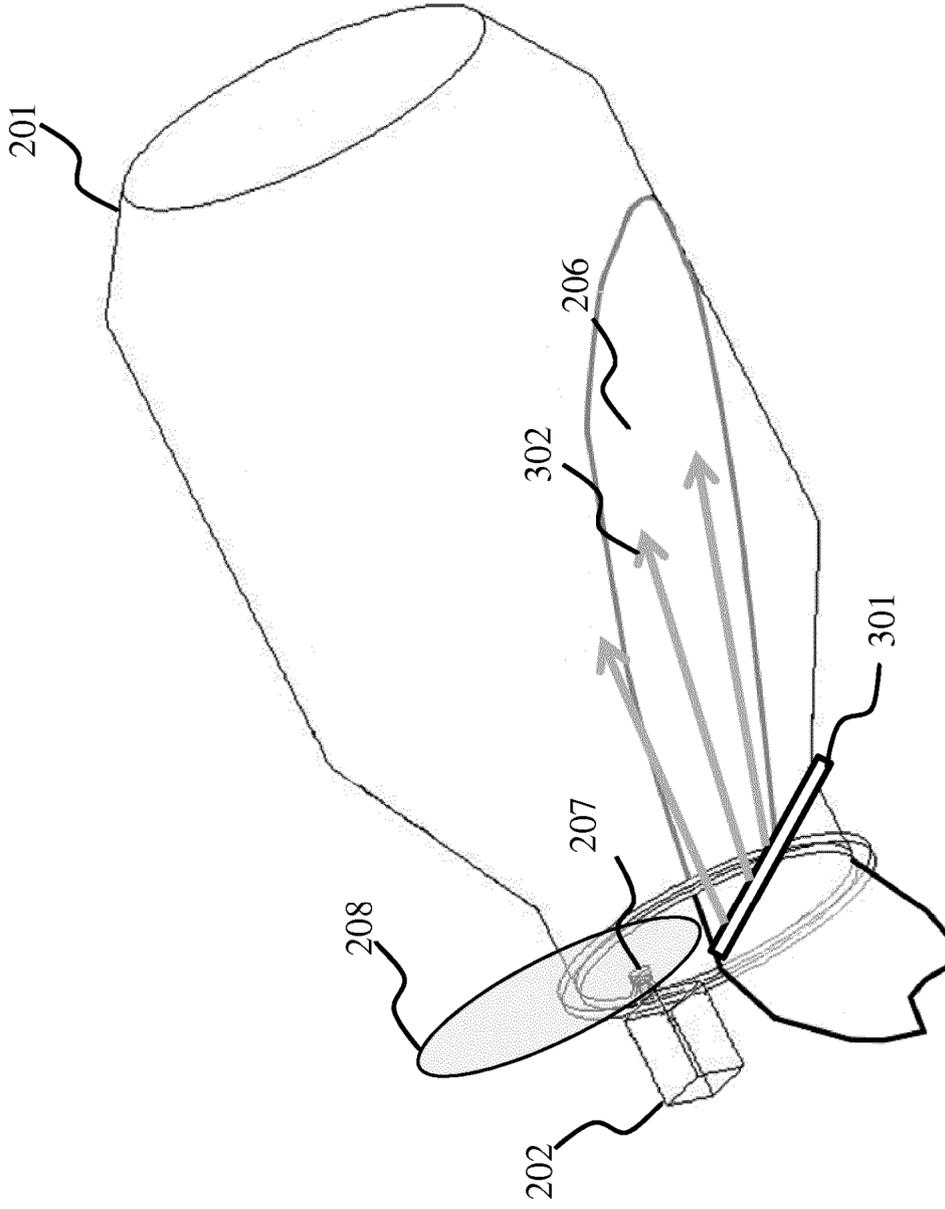


Fig. 4D

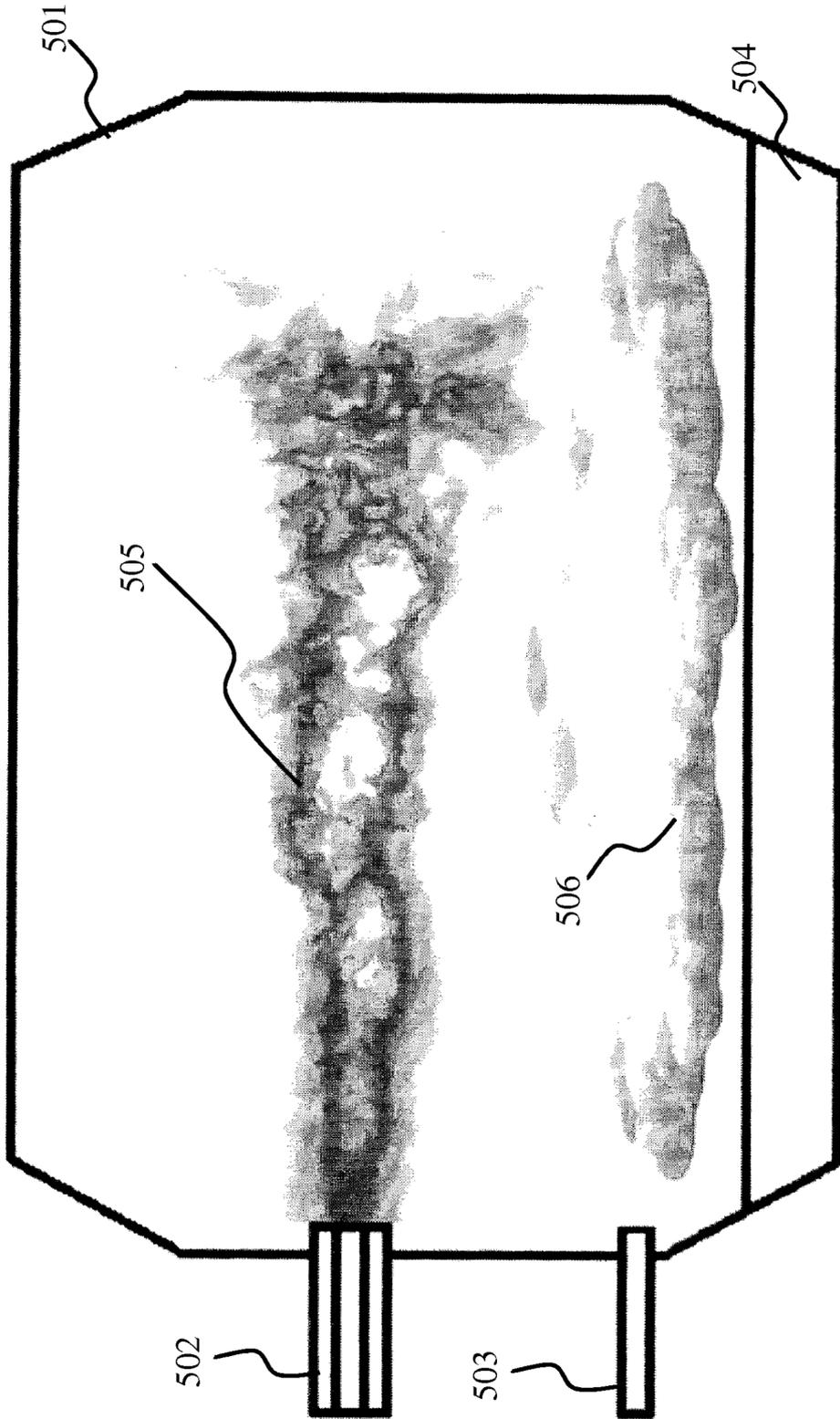


Fig. 5

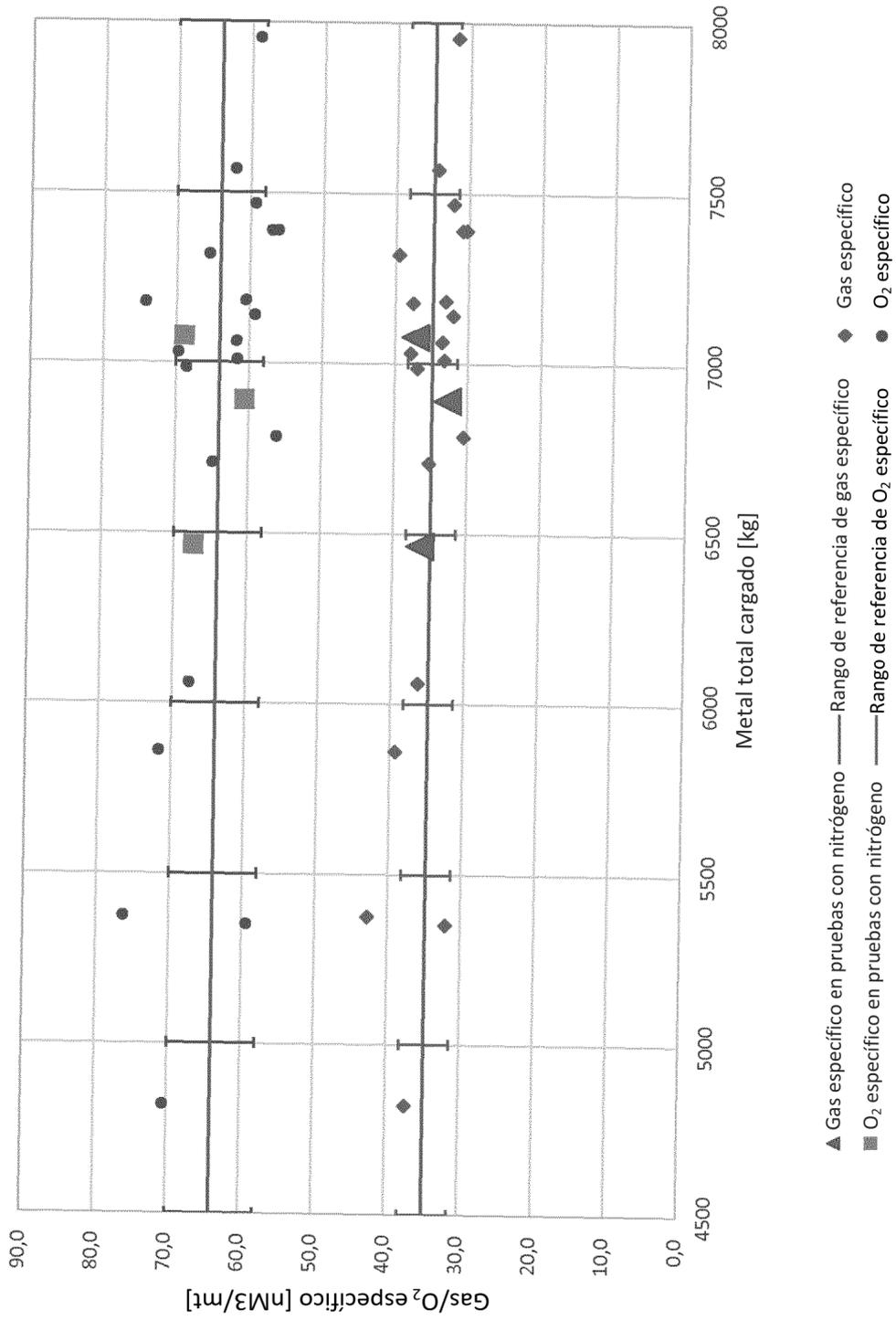


Fig. 6

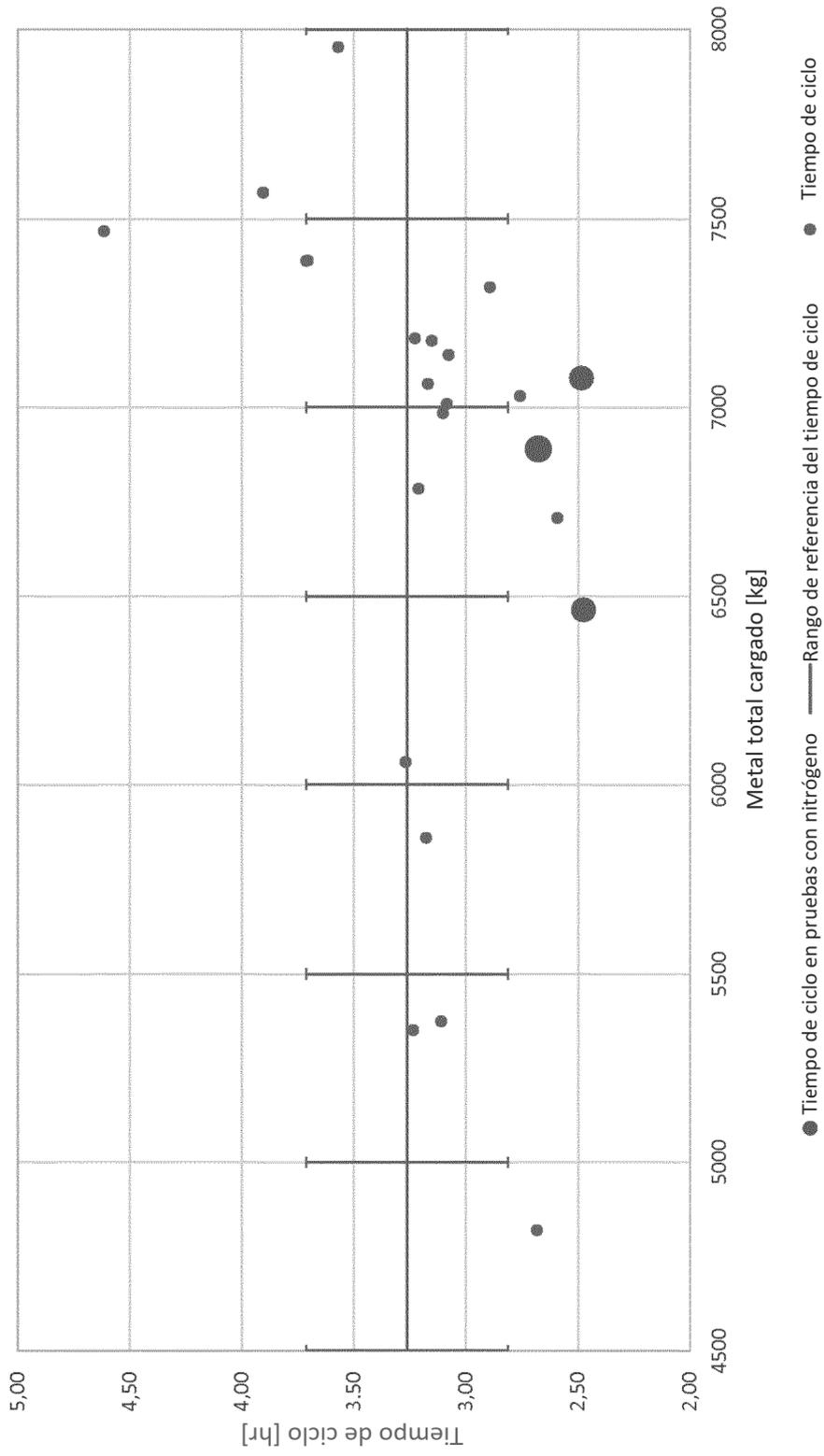


Fig. 7

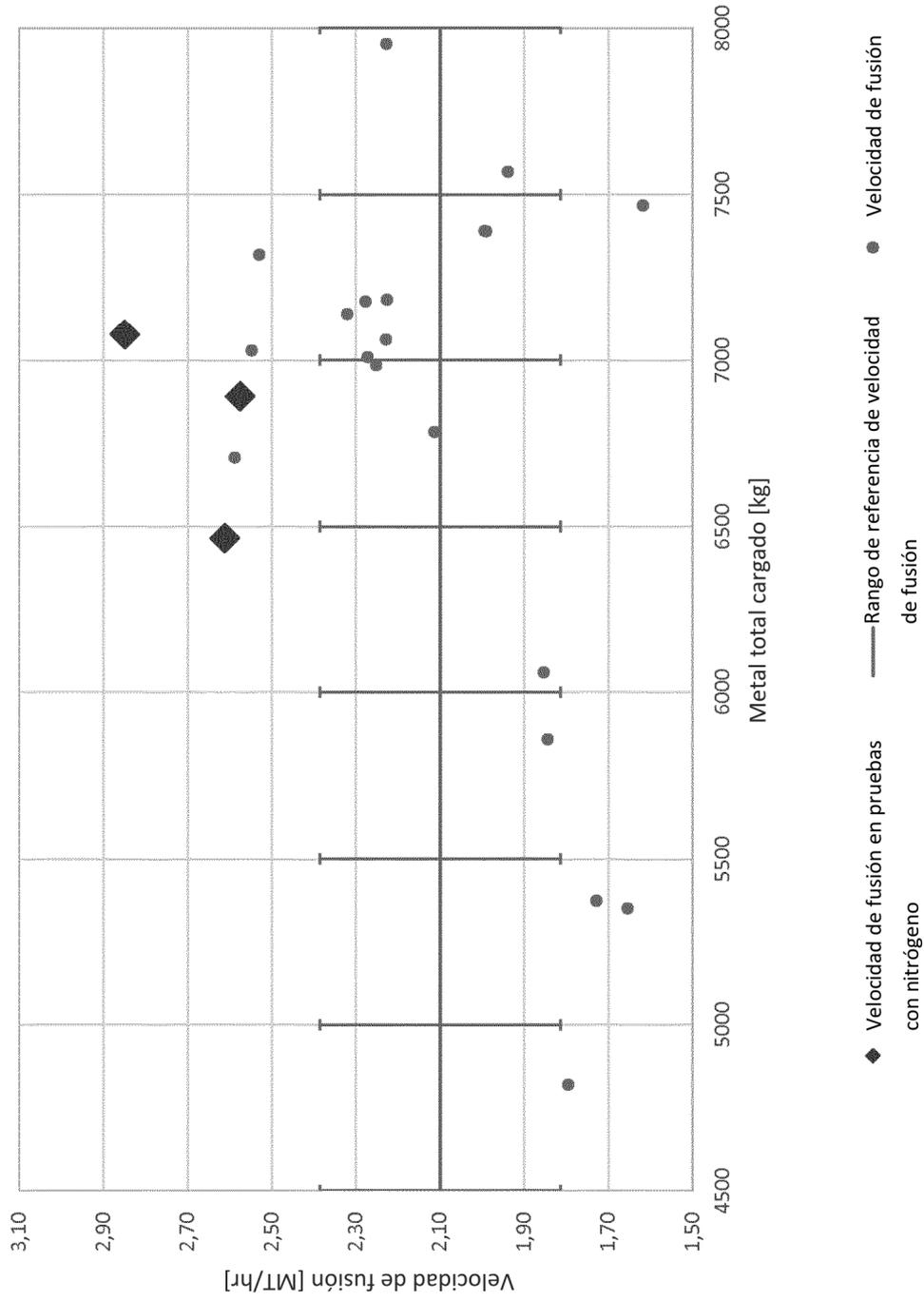


Fig. 8

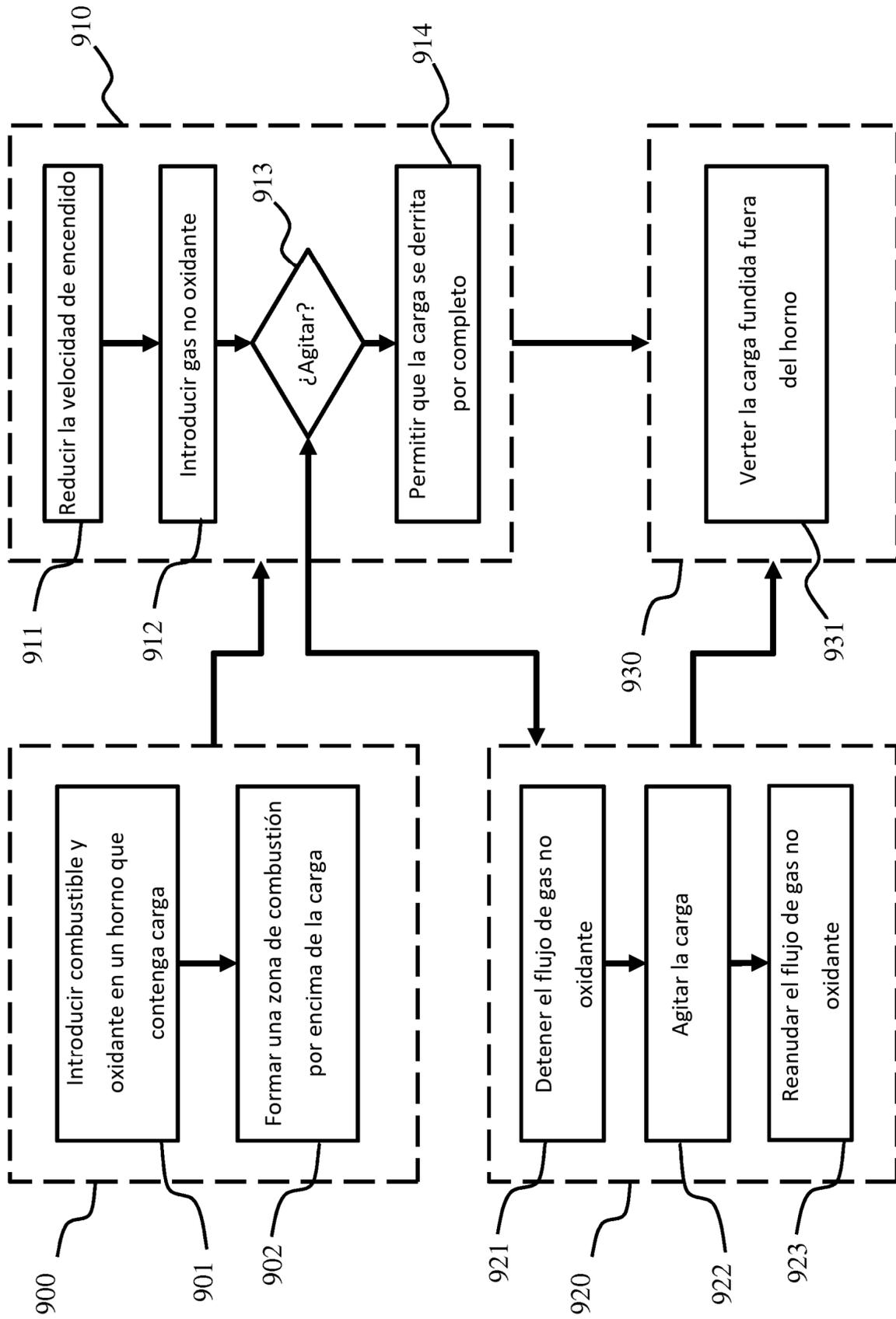


Fig. 9