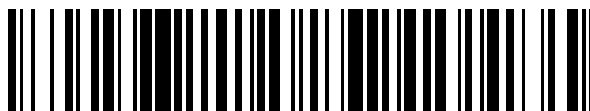


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 952 063**

51 Int. Cl.:

C03B 37/01 (2006.01)
C03B 37/06 (2006.01)
C03C 13/00 (2006.01)
C03C 13/06 (2006.01)
C03B 3/02 (2006.01)
C03B 5/02 (2006.01)
C03B 7/07 (2006.01)
C03B 37/02 (2006.01)
C03B 37/083 (2006.01)
C03B 37/09 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.06.2017** **PCT/US2017/037718**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2017** **WO17218800**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2017** **E 17814107 (3)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 3472110**

54 Título: **Aparato y proceso para producir fibra a partir de roca ígnea**

30 Prioridad:

16.06.2016 US 201662350832 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.10.2023

73 Titular/es:

BILAND, OLEKSANDR (50.0%)
21711 FM 1093 Road
Richmond, TX 77407, US y
FERGUSON, ROBERT BRUCE, SR. (50.0%)

72 Inventor/es:

BILAND, OLEKSANDR y
FERGUSON, ROBERT BRUCE, SR.

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 952 063 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

Aparato y proceso para producir fibra a partir de roca ígnea

5 Antecedentes de la invención

10 **[0001]** Uno de los principales desafíos de la fabricación de fibras a partir de rocas ígneas es la compleja estructura mineral de las rocas ígneas. Las rocas ígneas típicas que son adecuadas para la formación de fibras son los complejos de feldespatos, cuarzo, feldespatoideos, olivinos, piroxenos, anfíboles y micas. Varios estudios geológicos de la composición mineral de las rocas ígneas en los Estados Unidos, Arabia Saudita, Japón, Rusia, Ucrania y Kirguizistán revelaron además que la mayoría de los depósitos de rocas ígneas existentes contienen cierta cantidad de minerales que no se pueden fundir, tal como el cuarzo, la forsterita, corindón, circonio y similares distribuidos aleatoriamente en todo el depósito de roca. La presencia de tales minerales en la materia prima causa ineficiencias en el proceso continuo de fabricación de fibra de roca al interrumpir el proceso de atenuación, aumentar las roturas de la fibra y asfixiar los bujes. Además, las partículas cristalinas en las fibras son concentradores de tensiones que pueden reducir significativamente la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad de las fibras continuas. Estos problemas dan como resultado fibras de calidad significativamente reducida, ya que la calidad de las fibras depende de la composición química de las materias primas y de lograr una fundición homogénea de las rocas, libre de partículas no fundidas.

20 **[0002]** Varios de estos problemas con la producción de un fundido homogéneo se basan en la variedad de temperaturas de fusión de los minerales que se encuentran en los depósitos ígneos crudos. Por ejemplo, las temperaturas de fusión de los diversos minerales incluyen forsterita a 1890°C; cuarzo a 1728°C; corindón a 2050°C; y circonio a 2125°C. La presencia de estos minerales no puede tolerarse para las tecnologías de escala industrial convencional, ya que no hay refractarios en el mercado que puedan soportar tales temperaturas y lograr una campaña de por vida razonable para el horno de fusión. La fabricación convencional, por lo tanto, requiere grandes gastos de tiempo y recursos solo para descubrir depósitos de roca adecuados para ser utilizados como materias primas.

30 **[0003]** El logro de una fundición homogénea de rocas ígneas también es difícil debido a la oscuridad natural del material. A diferencia de los vidrios convencionales (artificiales), las rocas ígneas que son apropiadas para la formación de fibras típicamente tienen una estructura mineral complicada. Los feldespatos, cuarzo o feldespatoideos, olivinos, piroxenos, anfíboles y micas, por ejemplo, son minerales básicos en la formación de tales rocas ígneas. Adicionalmente, el alto contenido de óxidos de formación de rocas, tal como el FeO y el Fe₂O₃, hace que la forma fundida de las rocas ígneas sea oscura (no transparente). Esta oscuridad evita que el calor radiante generado por los quemadores de gas/combustible que normalmente están ubicados por encima del nivel de fundición penetre sustancialmente en la fundición. Como resultado, los gradientes significativos de temperaturas y viscosidades prevalecen desde la parte superior a la parte inferior de la fundición de rocas en los procesos convencionales. Estos gradientes de temperatura pueden evitar la homogeneización porque una disminución de la temperatura de 150°C, por ejemplo, puede producir un aumento de 5 a 8 veces en la viscosidad del fundido, como se describe en los capítulos 3 y 3 o Dzighiris, et al. "Basics of basalt fibers production", Teploenergetic, 2002. Por lo tanto, la utilización de una fuente de calor radiante como se describe requiere una agitación vigorosa de las rocas fundidas y/o la implementación de una fuente de calor interna a la fundición para mejorar la transferencia de masa y calor de principio a fin de la fundición. Esta necesidad de mejorar la transferencia de calor impulsa los diseños de básicamente todos los hornos de escala industrial convencionales para fundir rocas ígneas.

45 **[0004]** La mayoría de los hornos que funden rocas ígneas como materia prima para la fabricación de fibras son los llamados hornos grandes tipo tanque con áreas de fusión de 3 a 80 metros cuadrados. Estos hornos a menudo emplean quemadores de combustibles fósiles y/o electrodos hechos de materiales tales como estaño, molibdeno o grafito para calentar el fundido. Ejemplos de tales hornos se describen en Trier, "Glass Furnaces, Design Construction and Operation", Society of Glass Technology, 2000, (capítulos, 2, 6 y 8), Lowenstein, "Manufacturing Technology of Continuous Glass Fibres", Elsevier Science Publishers BV 1983 (capítulo 4) y en los siguientes documentos de patente, US07530240, US08037719, US08042362, US08414807, US20050103058, US20050223752, US200520060218972, US200520080179779, US20120104306, CN103043897, CN104211296, CN104291551, CN202808558, CN202849233, CN203033871, CN203256109, CN203397236, CN203429057, CN203960029, CN202543025, CN204079775, CN204097308, CN204097326, CN204097327 y UA88150.

55 **[0005]** El documento CN1513782A divulga un método de calentamiento por inducción para fundición de mineral de lava basáltica para producir fibras. Comprende hornos de calentamiento por inducción S1 y S2 y un dispositivo de manguito de boquilla para la producción de fibra.

60 **[0006]** Los elementos básicos de la tecnología convencional para hornos a escala industrial para la fundición de rocas ígneas se ilustran en la figura 1. En un sistema de horno típico 10, hay una cámara delantera (11) que puede usarse para precalentar materias primas o previa fusión; una cámara de fusión (12) que puede incluir una o más partes conectadas y se usa normalmente para la homogeneización; un canal de distribución (13) y cámaras de extrusión (14) donde se colocan dispositivos formadores de fibra/bujes; y aparatos de arrollamiento (15) debajo de los dispositivos formadores de fibra.

65 **[0007]** Como se indicó anteriormente, lograr un fundido homogéneo es un desafío principal en la producción de fibras y es un problema particular para los hornos convencionales que dependen de quemadores de gas o electrodos internos

para el calentamiento. Se han utilizado varios métodos para agitar una masa de rocas fundidas en intentos de lograr una distribución de temperatura más homogénea. El burbujeo, por ejemplo, se utiliza en la mayoría de los hornos convencionales (ver Dzhighiris, Loewenstein, Trier, citado anteriormente). Este método típicamente requiere la instalación de una o varias filas de burbujeadores (tubos) a través del ancho en la parte inferior del horno. El flujo de aire caliente suministrado a través de los burbujeadores ayuda a proporcionar una corriente ascendente a través de las rocas fundidas. Si bien este método puede proporcionar un efecto de agitación efectivo, el método tiene desventajas tales como un aumento significativo del desgaste de metales refractarios costosos en la zona de fusión del horno. Este desgaste se debe a las intensas corrientes de fusión a temperaturas tan altas que aumentan en gran medida la interacción de fusión/refractario de la roca, lo que reduce el tiempo de vida del horno. La instalación de los burbujeadores también requiere la institución de medidas de salvaguardia adicionales, ya que los burbujeadores tienden a romperse (bloquearse) y dejar de funcionar. Los burbujeadores confiables también son costosos, ya que típicamente están hechos de aleación de platino-rodio (Pt-Rh), lo que aumenta significativamente el capital requerido para la fabricación del horno.

[0008] Un segundo método para mejorar la transferencia de masa y calor a través de un volumen de fusión es la instalación de elementos de calentamiento dentro de la zona de fusión. Varios tipos de elementos de calentamiento de electrodos son ampliamente utilizados en la industria del vidrio (ver Trier y Loewenstein, citado anteriormente), y se usan o al menos se proponen para usar en rocas ígneas de fusión (número de patente de Estados Unidos 6.647.747). Aunque se han llevado a cabo décadas de investigación para diseñar electrodos para su uso en una fundición de rocas ígneas, muchas dificultades importantes siguen sin resolverse, que incluyen muchos de los mismos problemas o similares causados por el uso de burbujeadores. Por ejemplo, la distribución desigual del calor entre los electrodos cilíndricos requiere disposiciones eléctricas y mecánicas especiales. Sin embargo, los electrodos de placa son inservibles y, por lo general, requieren el gasto de un apagado completo del horno para su reemplazo. Además, la agresividad del fundido de rocas puede desgastar los electrodos dos veces más rápido que los electrodos en un horno de vidrio, y los elementos de calentamiento de los electrodos pueden aumentar significativamente los gastos de capital y operativos, ya que este proceso requiere un sistema eléctrico avanzado y equipos especiales de personal calificado para el servicio diario del sistema de electrodos.

[0009] Otro método más conocido en la materia para mejorar la transferencia de calor y masa en la fundición de roca ígnea es aplicar agitadores mecánicos, vertederos y diversas disposiciones geométricas. Los agitadores mecánicos se usan a menudo en hornos de vidrio convencionales (ver, por ejemplo, Trier) y están disponibles comercialmente para tal uso. Sin embargo, la vida útil de tales agitadores puede ser corta debido a la corrosividad del fundido y puede acortarse aún más con el aumento de las temperaturas de operación requeridas para la roca ígnea. El desarrollo de materiales refractarios fundidos por fusión ha dado como resultado solo una ligera mejora en el tiempo de vida útil. La instalación de vertederos (Trier) o de orificios verticales en cascada especiales (número de patente de Estados Unidos 6.647.747), utilizados para promover la homogeneización del cuerpo de vidrio, no ofrece ninguna mejora significativa.

[0010] La discusión anterior deja claro que la tecnología utilizada en la producción de fibra de vidrio no se transfiere fácil o simplemente a la producción de fibras de roca ígnea, al menos debido a la naturaleza heterogénea de la materia prima y sus diversos puntos de fusión, la dificultad para lograr y mantener un fundido homogéneo debido a la oscuridad de la fundición de rocas en comparación con el vidrio, y las temperaturas de fusión más altas requeridas para la roca ígnea. Todavía hay una necesidad, por lo tanto, de sistemas y métodos para producir fibras de buena calidad mediante el logro de una fundición homogénea de rocas ígneas que sean efectivas y rentables.

[0011] Otro problema con los sistemas y métodos convencionales es el gasto de los dispositivos formadores de fibra. Las tecnologías de formación de fibra convencionales requieren bujes costosos hechos de materiales tales como Pt-Rh. Se cree que el número máximo de bujes de punta disponibles para la formación de fibra de roca es de 1200 en comparación con los 6000 bujes de punta para uso en la producción de fibra de vidrio. El número de puntas está limitado con la tecnología convencional debido a la oscuridad de la fundición de rocas, lo que dificulta el mantenimiento de la homogeneidad como se describió anteriormente. Adicionalmente, el intervalo de temperatura de la formación de fibra es estrecho en comparación con los vidrios convencionales, como, por ejemplo, el intervalo de variación permitida es de 20° a 70° o, en algunos ejemplos, de 30° a 60°C para roca en comparación con 180° a 200°C para vidrio. Esta tolerancia estrecha hace que la formación de fibras de la roca sea muy sensible a los gradientes de temperatura. Además, la presencia de óxidos de hierro en rocas ígneas aumenta la humectabilidad de la placa de Pt-Rh por fundición de rocas, lo que requiere que la distancia entre las puntas de los bujes de fibra de roca sea casi el doble que la distancia entre las puntas de los bujes de vidrio convencionales. Con base en las limitaciones de la geometría del buje y el costo de Pt-Rh, un buje típico para fibras de roca tiene solo un cuarto del número de bujes que los bujes del mismo tamaño para las fibras de vidrio convencionales, lo que resulta en una reducción de cuatro veces en la capacidad de producción en comparación con el vidrio.

[0012] Los dispositivos formadores de fibra para fibras minerales continuas ampliamente conocidos como bujes han sido un desafío importante en la tecnología de fabricación de fibra de roca debido básicamente a las mismas razones mencionadas anteriormente, es decir, la compleja estructura mineral de las materias primas (rocas) y el alto nivel de contenido de óxidos de hierro.

[0013] Los primeros intentos de diseñar bujes para producir fibras minerales continuas se realizaron en la década de 1960 en la Unión Soviética. Los bujes de fundición de rocas que básicamente copian el diseño de los bujes de fibra de vidrio

no han tenido mucho éxito. Las dificultades para obtener la uniformidad de la composición y la temperatura del fundido y la remoción de la placa de bujes han provocado inestabilidad en el proceso, altos niveles de rupturas de filamentos e ineficiencias generales del proceso.

[0014] Los primeros bujes apropiados para la fabricación de fibras minerales continuas a escala industrial se introdujeron en la industria a principios de la década de 1980 (ver, por ejemplo, los documentos SU1211230, SU461908). La propiedad básica de ese diseño de buje fue la presencia de un calentador eléctrico adicional en forma de tubo (tubería descendente), que se colocó en la fundición de basalto en la parte inferior del canal de distribución y se extendió a un buje formador de fibra normal debajo del canal de distribución. Por lo tanto, la tubería tomó la fundición de basalto de un puntal pequeño en el canal de distribución, y suministro el material desde esa ubicación en el frente hacia los bujes con base en el supuesto de que el material de esa ubicación única podría considerarse que tiene una composición y temperatura uniformes.

[0015] Este diseño convencional tiene muchas limitaciones. Primero, el diámetro de la tubería descendente no puede ser lo suficientemente grande como para suministrar una cantidad suficiente de fundido a la placa de bujes para tener una capacidad de producción competitiva en comparación con la tecnología de fibra de vidrio convencional. La fundición de rocas (y el basalto en particular) tiene hasta un 15 % de óxidos de hierro, lo que resulta en un fundido oscuro que no es transparente como el fundido de vidrio. Por lo tanto, el calor en la tubería se limita al calor de conducción, ya que esencialmente no puede haber radiación o transferencia de calor por convección en la fusión oscura. Debido a que la pared de la tubería se calienta eléctricamente y la transferencia de calor se realiza por conducción, el fundido generalmente se sobrecalienta en el punto de contacto de "pared fundida" y la temperatura del fundido disminuye exponencialmente hacia el eje central de la tubería. Por lo tanto, el diámetro de la tubería está limitado por la necesidad de suministrar el fundido a la placa de bujes (orificio) lo más cerca posible a una temperatura uniforme (y por lo tanto a la viscosidad). A pesar de mucha investigación y desarrollo dirigidos a superar las obvias limitaciones de este diseño, el diseño de tubería descendente históricamente ha sido ampliamente utilizado en casi todas las instalaciones de fabricación de basalto en todo el mundo.

[0016] Esta limitación en el diámetro de la tubería descendente también limita el número de orificios que pueden usarse en la placa de bujes. El área en sección transversal de la tubería descendente no puede exceder efectivamente el 40 % del área en sección transversal total de todos los orificios. Por lo tanto, los procesos de fabricación comercial que utilizan la tubería descendente están esencialmente limitados a 836 placas de bujes de orificio en comparación con las 4800 placas de bujes de orificio utilizadas normalmente en la industria de fibra de vidrio convencional. Este sistema está aún más limitado al requerir una tubería descendente compuesta de aleación de Pt-Rh que produce al menos un aumento del 30% en el costo del buje.

[0017] Durante operación, los dispositivos formadores de fibras convencionales (bujes) se calientan eléctricamente para compensar la caída brusca de la temperatura y la viscosidad desde el borde superior del contenedor de bujes a la placa de orificio (boquilla). El método estándar para calentar los bujes es mediante la conexión de las placas de orificio a través de los devanados de bajo voltaje de un transformador reductor que normalmente opera a 3-6 voltios y varios miles de amperios, dependiendo del tamaño del buje. Este proceso hace que la distribución de calor en las placas de bujes sea únicamente una función de los patrones de corriente eléctrica. Esto causa un problema porque mientras la corriente es constante para todo el montaje de buje, el calor no lo es. Este efecto se debe a la variación en la resistencia. La producción de calor está sujeta a la potencia de la fórmula, $P = I^2R$. La resistencia eléctrica (R) en las secciones más delgadas es mayor que en las secciones más gruesas, lo que produce una temperatura más alta en las secciones más delgadas.

[0018] Los dispositivos formadores de fibra se construyen como combinaciones de láminas metálicas de diferentes espesores que se sueldan entre sí a lo largo de los bordes, a menudo se extienden desde una terminal a otra. Por lo tanto, cierto flujo lateral de la corriente es inevitable, afectando la distribución de temperatura de una manera que no es fácil de predecir. En un intento de maximizar la distribución uniforme del calor, los dispositivos formadores de fibra convencionales tienen a menudo una forma rectangular larga con terminales eléctricos sujetadas a lo largo de un lado corto de la placa de orificio.

[0019] Estas abrazaderas requieren ocasionalmente ajustes hacia dentro o hacia fuera para lograr una distribución más uniforme de la temperatura en toda la placa de orificio. Este ajuste implica desconectar la energía, aflojar los pernos de la abrazadera, deslizar el contacto a una posición diferente con respecto a la terminal del buje y volver a apretar los pernos de la abrazadera. El efecto del ajuste no puede determinarse hasta que el buje haya vuelto a la temperatura de operación. Entonces, si el ajuste no logra el efecto deseado, el proceso debe repetirse. Una ineficiencia adicional puede ser causada por la ruptura inevitable de las terminales durante el proceso de ajuste.

[0020] Se han hecho intentos adicionales para superar el problema de mantener la homogeneidad en el fundido a medida que se transfiere hacia y a través del buje. Un método incluye agregar elementos de calentamiento en el interior de las tuberías. Sin embargo, la solución todavía depende del calentamiento de la conducción localizada en el fundido y del aumento adicional de los costos de mantenimiento y operación asociados con la colocación de los elementos de calentamiento en el horno de fusión.

[0021] Otras dificultades en la producción de fibras incluyen las que se producen en el proceso de atenuación del filamento cuando el filamento se extrae del orificio. Los materiales convencionales utilizados en los diseños de bujes se humedecen

en cierta medida por la fundición de rocas. La humectabilidad de la placa de orificio depende estrictamente de la temperatura del fundido. Cuanto mayor sea la temperatura, menor será el ángulo de contacto. La humectabilidad de la placa de orificio por fundición de rocas es mucho más alta que la de los vidrios convencionales debido al alto contenido de óxidos de hierro típicamente presente en la fundición de rocas. Esto hace que las rocas fundidas (en particular el basalto) corra hacia el exterior de una boquilla, extendiéndose y eventualmente cubriendo toda la parte inferior de la placa de orificio. La fundición debe eliminarse mediante una tediosa operación de limpieza antes de que pueda continuar el dibujo de la fibra. Se descubrió que este problema podría eliminarse virtualmente al proporcionar las boquillas con orificios opuestos, o al hacer la pared de la boquilla lo más delgada posible. Antes de extraer la fibra de una boquilla, el fundido fluye a través de ella, forma una gota suspendida del anillo anular que constituye la salida de la boquilla, y luego cae dejando la fibra unida a la boquilla a través de un menisco, siempre que la viscosidad del fundido esté dentro del intervalo adecuado para el dibujo de fibra. El tiempo necesario para que una gota de fundido se forme y desaparezca de esta manera es una función del tamaño de la gota que, a su vez, es una función del área del anillo anular. Por lo tanto, cuanto más delgada sea la pared de la boquilla en la salida, más rápido se formará una gota y menor será la tendencia a humedecer la superficie vertical exterior de la boquilla. El número de publicación de solicitud de Estados Unidos 2006/0218972, incorporado en el presente documento como referencia, aborda este problema al proporcionar una placa de orificio plano con solo orificios sin boquillas instaladas. Tal disposición, sin embargo, aumenta la tendencia a mojarse con el tiempo.

[0022] Estos problemas con la boquilla se agravan de nuevo por la naturaleza de la fundición de rocas y no pueden resolverse simplemente transfiriendo la tecnología de formación de fibra de vidrio a la producción de fibras producidas a partir de rocas ígneas. Por lo tanto, existe la necesidad de mejorar no solo la tecnología de fundición, sino también el aspecto de formación de fibra de los sistemas y métodos para fabricar fibras de rocas.

Sumario

[0023] La presente divulgación aborda al menos algunas de las deficiencias de la materia anterior al proporcionar aparatos completamente eléctricos para la fabricación de fibras continuas a partir de rocas ígneas, que incluyen, pero no se limitan a, riolita, dacita, andesita, basalto, diabasa, granito, granodiorita, diorita, gabro y similares y mezclas de los mismos. En ciertas realizaciones, los aparatos y métodos divulgados fabrican fibras dúctiles y continuas de alta calidad, completamente homogéneas, de al menos 5 micrómetros de diámetro a partir de rocas volcánicas y plutónicas con contenidos de sílice de al menos 40 % a 70 %. Tales fibras tienen una alta resistencia mecánica y una resistencia química y de temperatura excepcional. Las fibras producidas por los métodos y aparatos divulgados pueden usarse en numerosas aplicaciones de alta tecnología en una variedad de industrias, que incluyen, pero no se limitan a, la industria de la construcción; las industrias químicas, criogénicas y petroleras; las industrias automotriz y marina; así como para aplicaciones espaciales, de defensa y balísticas; protección contra el fuego y el calor; aislamiento acústico; ingeniería civil y tuberías; y tanques y cilindros de alta presión.

[0024] Los aparatos y métodos divulgados para fabricar fibras continuas a partir de rocas ígneas son capaces de fundir todas las rocas ígneas adecuadas al producir un excelente efecto de agitación a través de la combinación adecuada de potencia de inducción y frecuencia, y eliminan la necesidad de una cámara/zona de homogeneización especial, dado que la homogeneización se produce durante la etapa de fusión. El aparato no requiere medios mecánicos para la homogeneización y logra fundidos homogéneos que carecen de puntos fríos y gradientes de temperatura extremos.

[0025] La presente divulgación puede describirse en ciertas realizaciones, por lo tanto, como un método para producir fibras a partir de rocas ígneas, el método incluye agregar un volumen de rocas ígneas trituradas a una cámara del horno, en donde la cámara del horno está envuelta con una bobina de inducción eléctrica; aplicar corriente alterna a la bobina de inducción, eficaz para calentar el volumen de rocas ígneas trituradas agregada a la cámara del horno y para producir una fundición sustancialmente homogénea de rocas en al menos una porción del volumen de rocas ígneas; y pasar al menos una parte de la porción de la fundición homogénea de rocas a través de una cámara de formación de fibra y posteriormente pasar al menos una porción del volumen de rocas ígneas desde la cámara de formación de fibra a través de orificios formadores de fibra bajo temperatura controlada efectiva para producir fibras, en donde la cámara de formación de fibra está envuelta en una bobina de inducción eléctrica y la temperatura de la porción de la fundición homogénea de rocas en la cámara de formación de fibra se controla mediante la potencia y la frecuencia de la corriente eléctrica en la bobina de inducción que rodea la cámara de formación de fibra. El método también puede incluir controlar la temperatura en los orificios formadores de fibra dentro de los 20° a 70° o, en algunos ejemplos, de 30°C a 60°C, o dentro de 5°C a 10°C o menos de una temperatura objetivo, que es la temperatura óptima para formar fibra a partir del material del lote particular. La temperatura adecuada, por ejemplo, debe ser lo suficientemente alta para mantener la fundición de rocas en un estado homogéneo y lo suficientemente fría para permitir que el material se extienda a través de los orificios formadores de fibras para formar fibras sin que la placa de orificio se humedezca excesivamente.

[0026] Los métodos divulgados pueden incluir además pasar al menos una porción de tal porción de fundición homogénea de rocas a través de una cámara de acondicionamiento rodeada por una bobina de inducción eléctrica y enfriar la porción de fundición homogénea de rocas efectiva para producir un flujo laminar en al menos una porción de la cámara de acondicionamiento antes de pasar la porción de fundición homogénea de rocas a la cámara de formación de fibra. Se entiende que las bobinas de inducción eléctrica que rodean la cámara de acondicionamiento y las cámaras de formación de fibra pueden conectarse a generadores o circuitos eléctricos iguales o diferentes, o que la potencia y la frecuencia de

los circuitos pueden controlarse individualmente.

[0027] En ciertas realizaciones, el volumen de rocas ígneas trituradas puede precalentarse antes de agregarse a la cámara del horno y la etapa de precalentamiento puede realizarse al menos en parte al transferir gases de escape calientes desde la cámara del horno a un cargador de lotes que contiene un lote de roca ígnea triturada. Durante la operación, un volumen de rocas ígneas trituradas se precalienta y luego se libera en la cámara del horno por una canaleta o rampa, donde el lote se calienta a una temperatura de aproximadamente 1200°C a aproximadamente 3000°C. En ciertas realizaciones, la temperatura se determina mediante una prueba previa de la roca ígnea para determinar la temperatura de fusión óptima, que variará dependiendo de la composición de cada materia prima en particular.

[0028] La cámara del horno puede dividirse en una primera zona y una segunda zona separada de la primera zona por un deflector de flujo inferior y en donde tal segunda zona está en comunicación fluida con una cámara de acondicionamiento a través de una apertura en la pared de dicha cámara del horno. La cámara de acondicionamiento puede incluir una o más aperturas en la superficie inferior de la misma que proporciona comunicación fluida entre la cámara de acondicionamiento y una o más cámaras de formación de fibra. Las cámaras de formación de fibra pueden envolverse en una camisa de agua de temperatura efectiva para enfriar las paredes de las cámaras de formación de fibra efectivas para formar una capa del horno de crisol en la superficie interior de las cámaras de formación de fibra. En ciertas realizaciones, las rocas ígneas trituradas pueden incluir basalto y también puede incluir al menos uno de los feldespatos, cuarzo, feldespatoides, olivinos, piroxenos, anfíboles y micas. La roca ígnea también puede incluir cualquiera de riolita, dacita, andesita, basalto, diabasa, granito, granodiorita, diorita o gabro. En ciertas realizaciones, la roca ígnea es principalmente basalto con mezclas de ciertos otros minerales para afectar a las propiedades seleccionadas de las fibras producidas, tal como la mejora de las propiedades mecánicas o químicas, por ejemplo, o el mejoramiento del blindaje o la resistencia a la radiación. En ciertas realizaciones, las muestras de rocas trituradas pueden incluir minerales que pueden contener elementos químicos, que incluyen, pero sin limitarse a, circonio, boro, cadmio, hafnio, gadolinio o europio.

[0029] En otras realizaciones preferidas, los métodos pueden incluir colocar sensores de temperatura al menos en la cámara de acondicionamiento y las cámaras de formación de fibra y controlar la temperatura en la cámara de acondicionamiento y cámaras de formación de fibra mediante el control informatizado de la corriente eléctrica en las bobinas de inducción con base en la retroalimentación recibida por un ordenador de los sensores de temperatura.

[0030] Puede describirse la divulgación, por lo tanto, en ciertas realizaciones como un método para producir fibras, de acuerdo con la reivindicación 7.

[0031] Los métodos también pueden incluir procesamiento continuo que incluye repetir las etapas de:

obtener una cantidad de rocas ígneas trituradas para convertirla en fibra;
colocar un lote de dicha cantidad de rocas ígneas trituradas en un cargador de lotes;
precalentar de dicho lote; y
transportar dicho lote a una primera cámara de un horno de fusión, en donde el horno de fusión se envuelve con una bobina de inducción eléctrica. Las etapas repetibles adicionales pueden incluir la eliminación adicional de gases calentados de dicha segunda zona de dicho horno de fusión y el flujo de dichos gases en dicho cargador de lotes, y controlar la temperatura en dicho horno y cámaras con una computadora; en donde la computadora recibe datos de temperatura de sensores de temperatura colocados en dicha cámara de acondicionamiento y en cada una de dichas cámaras de formación de fibra y controla el nivel de potencia y la frecuencia de CA con base en los datos recibidos de dichos sensores de temperatura.

[0032] Los métodos divulgados para preparar roca ígnea para uso en la producción de fibras también pueden incluir colocar roca ígnea triturada sin procesar en un horno de fusión, en donde el horno de fusión está envuelto con una bobina de inducción eléctrica conectada eléctricamente a un generador; y aplicar una corriente eléctrica de CA de alta frecuencia a dicha bobina de inducción de dicho generador con suficiente potencia para elevar la temperatura por encima del punto de fusión del vidrio de todos los constituyentes minerales de dicha roca ígnea.

[0033] En ciertas realizaciones, la divulgación también puede describirse como un aparato para producir fibras que comprende de acuerdo con la reivindicación 12.

[0034] El aparato divulgado puede incluir además uno o más de una pluralidad de sensores de temperatura colocados en el horno de fusión, la cámara de acondicionamiento y en cada cámara de formación de fibra, una pluralidad de pulverizadores de agua configurados para rociar la niebla en los filamentos a medida que emergen de dicho orificios, una o más ruletas de recolección cada una configurada para consolidar las fibras de una de dichas cámaras de formación de fibra, uno o más enrolladores configurados para recibir filamento de una o más de dichas ruletas, y una o más computadoras configuradas para recibir datos de temperatura y flujo de agua de dicho aparato y para controlar dichos generadores de energía, convertidores de frecuencia y suministros de agua, y para controlar la introducción de lotes adicionales en el horno de calentamiento, según sea necesario. El cargador de lotes puede, por lo tanto, incluir un motor configurado para proporcionar vibración a dicha tolva configurada para facilitar el vaciado de la tolva.

[0035] En ciertas realizaciones, el aparato puede incluir además una o más camisas de enfriamiento que comprenden

tubos de cobre o acero inoxidable, cada uno en comunicación fluida con una unidad de suministro de agua y de intercambio de calor, un primer generador que puede ser, pero no está limitado a, un generador de 500 kW, uno o más segundos generadores, en donde los segundos generadores pueden ser, pero no están limitados a, generadores de 250 kW y unidades de intercambio de calor que comprenden un enfriador de aire o una torre de enfriamiento. Cada superficie de formación de fibra puede comprender una placa metálica, cerámica o combinación de metal y cerámica, en donde las placas de metal pueden comprender platino o una aleación de platino, y en donde cada una de dichas superficies de formación de fibra comprende de aproximadamente 200 a 2000 orificios. En ciertas realizaciones, las cámaras de formación de fibras pueden ser de forma cilíndrica y en donde la superficie de formación de fibras es redonda y forma sustancialmente toda la superficie inferior de la cámara de formación de fibras.

[0036] Se entiende que los generadores descritos en el presente documento son solo representativos, y que la potencia y la frecuencia utilizadas para cualquier lote particular de material dependerán de la capacidad del aparato, del material que se procesa y de la temperatura requerida. Por ejemplo, un aparato con una capacidad de 150 kg de fundido por hora puede utilizar, por ejemplo, un primer generador (principal) que proporciona una potencia de 500 kW a una frecuencia de 3 MHz para alcanzar una temperatura de fusión de 2600°C, un generador secundario proporciona una potencia de 200 kW a una frecuencia de 10 kHz para alcanzar una temperatura de 1500°C y una superficie de formación de fibra que incluye hasta 2400 orificios. Se entiende además que, para un aparato a escala industrial con una capacidad de 1200 kg de fundido por hora, puede utilizar, por ejemplo, un generador principal que proporciona una potencia de 4 MW a una frecuencia de hasta 30 MHz para alcanzar una temperatura de fusión de 3000°C y uno o más generadores secundarios, cada uno de los cuales proporciona una potencia de 300 kW a una frecuencia de hasta 100 kHz para lograr una temperatura de fusión de 1500°C y utiliza múltiples dispositivos formadores de fibra que totalizan desde aproximadamente 1000 hasta aproximadamente 6000 orificios. Se entiende que pueden emplearse hornos más pequeños o mucho más grandes y que la potencia y la frecuencia proporcionadas a las bobinas se adaptan a la materia prima sin procesar particular y la capacidad de salida continua. Los generadores para uso en los aparatos y métodos divulgados actualmente pueden, por lo tanto, incluir aquellos capaces de generar una potencia de aproximadamente 1 kW a 10 MW o mayor según sea necesario y en frecuencias compatibles de aproximadamente 60 Hz a 100 kHz, o de aproximadamente 1 kHz a 100 MHz, por ejemplo.

[0037] La divulgación también puede describirse en ciertas realizaciones como una fibra fabricada por los procesos divulgados. Tales fibras pueden incluir fibras con un diámetro de 1 micrómetro (μm) a 100 μm , o más, dependiendo de la materia prima, el uso previsto y la estructura de las superficies que forman la fibra. Las fibras pueden incluir diámetros de 1 μm , 2 μm , 3 μm , 4 μm , 5 μm , 6 μm , 7 μm , 8 μm , 9 μm , 10 μm , 12 μm , 15 μm , 17 μm , 20 μm , 25 μm , 30 μm , 35 μm , 40 μm , 45 μm , 50 μm , 55 μm , 60 μm , 65 μm , 70 μm , 75 μm , 80 μm , 85 μm , 90 μm , 95 μm , o 100 μm , por ejemplo, o cualquier otro tamaño específico dentro de ese intervalo. Las fibras divulgadas pueden estar libres, o sustancialmente libres, de partículas cristalinas no fusionadas cuando se observan al microscopio. Por sustancialmente libre, se entiende que al menos el 80 % o al menos el 90 % o más del 99 % de las fibras por volumen o área de sección transversal no contienen partículas cristalinas visibles. Una vista de las fibras libres de partículas cristalinas se muestra microscópicamente en las figuras 5D y 5B. Como puede verse en las figuras, las fibras (5C y 5D) hechas por el proceso divulgado están libres de partículas cristalinas visibles, mientras que las fibras en 5A y 5B, hechas por procesos de formación de fibras convencionales, contienen altos niveles de partículas cristalinas fácilmente visibles, según lo indicado por las flechas.

Breve descripción de los dibujos

[0038] Los siguientes dibujos forman parte de la presente especificación y se incluyen para demostrar adicionalmente ciertos aspectos de la presente invención. La divulgación puede entenderse mejor haciendo referencia a uno o más de estos dibujos en combinación con la descripción detallada de las realizaciones específicas presentadas en el presente documento.

La figura 1 es un dibujo esquemático de un sistema de horno típico como se conoce en la materia para producir fibras a partir de rocas ígneas.

La figura 2 es un dibujo esquemático de una realización preferida de un aparato de producción de fibra.

La figura 3 es un diagrama de flujo de un proceso preferido.

La figura 4A es una vista en sección transversal lateral de una realización de un dispositivo de formación de fibra.

La figura 4B es una vista isométrica desde la parte inferior del dispositivo de formación de fibra de la figura 4A.

Las figuras 5A-5D son vistas microscópicas de fibras fabricadas mediante métodos de fusión convencionales (5A y 5B) y fibras fabricadas mediante el método y aparato divulgados (5C y 5D).

Descripción detallada

[0039] El aparato y los métodos divulgados abordan al menos algunos de los problemas para producir fibras con tecnología de horno convencional al menos porque no utilizan refractarios para el aislamiento térmico de la caldera y tienen la capacidad de calentar la fundición de rocas de manera homogénea hasta 3000°C sin un aparato mecánico para agitar. Esto puede lograr un estado 100 % homogéneo de la fundición de rocas incluso en presencia de tales minerales infusibles como el cuarzo/cuarcita, forsterita; corundo; circonio, etc. Además, la formación de una capa de horno de crisol en la pared del horno protege al horno de los efectos de alta temperatura y fusión agresiva, reduciendo el desgaste de las paredes y prolongando en gran medida la vida del horno. Se cree que un horno de la presente divulgación probablemente

tenga una vida útil de 20 a 30 años, por ejemplo, en comparación con una vida útil de 2 a 5 años para un horno utilizado en tecnologías de la fundición de rocas convencionales.

[0040] Hay tres etapas básicas para fundir rocas ígneas en un horno, arranque (que incluye la iluminación inicial y/o calentamiento a la temperatura objetivo), operación de rutina y apagado, típicamente para reparación o mantenimiento. Debido a las limitaciones técnicas del diseño de hornos de tanque convencionales y materiales refractarios, el proceso de arranque de la iluminación y el calentamiento generalmente requiere un aumento gradual de la temperatura con ajustes en la estructura a medida que aumenta la temperatura, un proceso que toma un promedio de hasta 20 días. El tiempo de apagado para un horno convencional es aproximadamente igual al arranque, para evitar grietas y destrucción de refractarios durante el enfriamiento. Durante el modo de operacional normal para los tanques de hornos convencionales, las ineficiencias a menudo se experimentan debido a la inercia de la fusión, especialmente la fusión oscura, como ocurre con las rocas ígneas. Los dispositivos de calentamiento convencionales, tal como los electrodos de gas o de calentamiento, actúan localmente, lo que hace que existan discontinuidades de temperatura en todo el volumen. En ciertos casos puede llevar horas alcanzar una temperatura homogénea.

[0041] Por el contrario, el aparato y los métodos divulgados pueden lograr un efecto térmico uniforme en todo el volumen del fundido a través de corrientes eléctricas circulares, conocidas como corrientes parásitas, inducidas dentro del fundido por un campo magnético cambiante. Las corrientes parásitas, también llamadas corrientes de Foucault, son bucles de corriente eléctrica inducida dentro de los conductores por un campo magnético cambiante en el conductor, debido a la ley de inducción de Faraday. Las corrientes parásitas fluyen en bucles cerrados dentro de los conductores, en planos perpendiculares al campo magnético. Este proceso distribuye el calor de manera uniforme en todo el volumen del fundido, que sirve como conductor en este caso. Los procedimientos de arranque y apagado para un aparato de la presente divulgación pueden demorar solo una hora y el ajuste de la temperatura de fusión de todo el cuerpo de fusión puede demorar unos minutos. Por lo tanto, el proceso es muy flexible y puede detenerse y comenzar en cualquier momento, según sea necesario, sin demoras prolongadas.

[0042] Un ejemplo de una realización preferida de un aparato para fabricar fibras continuas se muestra en la figura 2. El aparato 100 incluye un cargador de lotes 101 que incluye una tolva para recibir basalto triturado o roca ígnea sin procesar. La tolva puede diseñarse para albergar aproximadamente 7,5 metros cúbicos (25 pies cúbicos) en algunas realizaciones, y hasta 630 metros cúbicos (1200 pies cúbicos) o más en un entorno industrial, y puede incluir uno o más motores pequeños 128 de 1 kilovatio a 4 kilovatios (2 a 5 caballos de fuerza), por ejemplo, o incluso 2 kilovatios (2,5 caballos de fuerza) para hacer vibrar la carga de la tolva a una bandeja para descargar la roca sin procesar 130 en la cámara de fusión 102. La cámara de fusión 102 se divide en dos zonas, la zona de carga 130 y la zona de fusión preparada 134. Las dos zonas están separadas por un deflector de flujo inferior 103 para mantener el mineral de fusión en la zona de carga hasta que se logre la completa homogeneidad. Si bien se describe en el presente documento como una sola zona de fusión y carga en una cámara del horno, se entiende que pueden emplearse hornos de múltiples cámaras en los procesos divulgados en el presente documento, en los que una o más zonas de fusión están separadas de una o más zonas de carga por uno o más deflectores, o que pueden emplearse variaciones de deflectores diferentes a los deflectores de flujo inferior.

[0043] Un generador y una alimentación de potencia 104 proporcionan corriente eléctrica a una bobina de inducción 105 que envuelve la cámara de fusión 102. En ciertas realizaciones, puede usarse una alimentación de potencia de 500 kW con un convertidor de alta frecuencia (HF). Se entiende, por supuesto, que la elección de la alimentación de potencia y la frecuencia del convertidor dependerá de la aplicación particular y del diseño del horno, y que la potencia descrita es un ejemplo de una realización preferida. Adicionalmente, la alimentación de potencia y el convertidor pueden estar contenidos en un solo dispositivo como se muestra, o pueden estar en ubicaciones separadas según lo requiera el diseño individual del horno. Por ejemplo, una única bobina eléctrica puede servir a múltiples hornos, o un solo horno o cámara puede emplear múltiples bobinas de inducción.

[0044] Una bomba 106 extrae gases de la cámara de fusión a través de la tubería 126 y suministra el gas calentado al cargador de lotes 101 para precalentarlo. Una unidad de suministro de agua y de intercambiador de calor 107 también está conectada a la cámara de fusión 102 para enfriarla. Un intercambiador de calentamiento puede ser de cualquier tipo conocido en la materia y puede seleccionarse entre los enfriadores de aire seco y las torres de enfriamiento, por ejemplo, u otros tipos dependiendo del entorno en el que se haga operar el horno.

[0045] La fundición de rocas se extrae de la zona de fusión preparada 134 a una cámara de acondicionamiento 108 conectada a la cámara de fusión 102 de tal manera que el fundido fluye desde la zona de carga 132 debajo del deflector de flujo inferior 103 y se eleva a la apertura hacia la cámara de acondicionamiento. La cámara de acondicionamiento está configurada preferiblemente como un canal horizontal que enfría el fundido desde la temperatura del horno hasta la temperatura de formación de la fibra, y dirige el fundido a las cámaras de formación de fibra. El fundido puede enfriarse, por ejemplo, desde temperaturas en el intervalo de 3000°C o 2000°C o 1800°C o 1400°C hasta una temperatura que reduce la turbulencia y produce un flujo laminar en la cámara de acondicionamiento 108. El flujo puede controlarse en respuesta a las lecturas de temperatura proporcionadas por los dispositivos de sensor de temperatura 120 colocados en varios puntos de la trayectoria de flujo, que incluyen la apertura en la cámara de acondicionamiento 108 como se muestra. Se entiende que los sensores pueden colocarse en todo el sistema según sea necesario y que la colocación de los sensores en la realización mostrada en la figura 2 es solo un ejemplo y no es limitante.

- 5 **[0046]** La temperatura en la cámara de acondicionamiento **108** se controla en una realización preferida mediante una bobina de inducción separada **109**, impulsada por un generador y una alimentación de potencia separados **127**, y enfriada por una unidad de suministro de agua y de intercambiador de calor **111** separada. La alimentación de potencia **127** para la cámara de acondicionamiento **108** puede ser más pequeña, tal como 250 kW para uso en una realización particular, por ejemplo, y el suministro de agua y el intercambiador de calor pueden estar separados, pero de los mismos tipos que el intercambiador de calor para la cámara de fusión. Se entiende, sin embargo, que la cámara de acondicionamiento puede tener un requisito de capacidad de enfriamiento más bajo.
- 10 **[0047]** Una pluralidad de cámaras de formación de fibra **125** se extienden desde la parte inferior a lo largo del canal de la cámara de acondicionamiento **108** e incluyen una apertura superior **136** para el flujo de fundido en cada cámara de formación de fibra **125**. Se determina el número de cámaras de formación de fibra por la capacidad de la cámara de fusión y puede ser 2, 3, 4, 5, 10, 20 o más. Las cámaras de formación de fibra pueden considerarse como pequeños hornos con temperaturas estrictamente controladas. Cada cámara de formación de fibra **125**, en esta realización particular, incluye una bobina de inducción **113** y en ciertas realizaciones, alimentación de potencia y generador **140** controlados individualmente, y sistema de intercambiador de calor y de suministro de agua **110**. La parte inferior de cada cámara **125** se forma al menos en parte por un dispositivo de formación de fibra **115** que puede ser una placa metálica tal como una placa de platino o de aleación de platino unida a la parte inferior de cada cámara de formación de fibra **125** y que incluye un patrón de aperturas u orificios, opcionalmente inclinado por boquillas. A medida que el fundido de enfriamiento atraviesa los orificios para formar las fibras **142**, los pulverizadores de agua de enfriamiento **146** enfrían las fibras con niebla para evitar la recristalización. Las fibras se reúnen luego en filamentos en un dispositivo de ruleta **145** y se atenúan en los rebobinadores **123**. El proceso puede controlarse y gestionarse con un sistema computarizado de gestión de procesos **122**.
- 25 **[0048]** En las figuras 4A y 4B se muestra una realización de un dispositivo de formación de fibra **200**. Como se ve mejor en la figura 4B, el dispositivo de formación de fibra **200** es redondo y la cámara de formación de fibra **125**, que recibe las rocas fundidas, se envuelve en una camisa de agua **206**, que se envuelve con una bobina de inducción **113**. Toda la parte inferior de la cámara forma la placa de orificio (boquilla) **208** en la que se forman las boquillas **210**. Esta configuración opera para minimizar la distorsión bajo la temperatura de operación y debajo del cabezal de las rocas fundidas sobre la placa del orificio (boquilla); y para mantener la placa de orificio (boquilla) muy grande a temperatura uniforme.
- 30 **[0049]** El contacto de fusión en caliente con las paredes enfriadas por agua del dispositivo de formación de fibra se solidifica para formar una capa delgada del horno de crisol **212**, que no solo protege las paredes de la corrosión, sino que compensa la distribución de calor exponencial de las paredes al eje central del dispositivo. Se entiende que el horno de crisol en la materia es una capa de hierro o escoria solidificada en la superficie interna del revestimiento del horno. En realizaciones de la divulgación, un cuerpo de recipiente de forma redonda, una bobina de inducción y la regulación de la temperatura del agua y el caudal de agua en las paredes del dispositivo hacen posible lograr una distribución de calor uniforme en todo el cuerpo fundido. Con algunas disposiciones adicionales, como la instalación de salientes enfriados por agua, el dispositivo divulgado permite placas de orificio (boquilla) de tamaños muy grandes (6000 puntas y más) sin afectar negativamente el proceso de atenuación de la fibra. Por lo tanto, este proceso es altamente compatible en términos de capacidad y costo de producción con los procesos de producción de fibra de vidrio convencionales existentes. También es hasta un 50% más eficiente energéticamente que los métodos de calentamiento de placas con orificios (boquillas) convencionales.
- 45 **[0050]** En la práctica de los métodos de la divulgación, la materia prima tal como rocas ígneas trituradas con o sin materiales suplementarios puede precalentarse en el cargador de lotes **101** y transferirse a la cámara de fusión de fundido primaria **102**. En la cámara de fusión **102**, la materia prima entra en contacto con la fusión en caliente dentro de la cámara y se combina con la fusión en caliente como resultado de las corrientes eléctricas circulares inducidas por la bobina **105**. La conductividad y el efecto térmico en la materia prima aumenta hasta que se completa un cambio completo de estado, de sólido a líquido. Es un aspecto de la divulgación que el proceso de fusión puede mejorarse mediante la adición de grafito, ya sea un anillo o polvo de grafito, al lote inicial. Después de la fusión inicial, no es necesaria ninguna mejora adicional. El primer producto fundido que puede o no incluir un potenciador se desecha típicamente.
- 50 **[0051]** Durante la operación, la frecuencia F1 y la potencia P1 de un generador **104** se establecen para proporcionar un efecto de agitación estable e intenso en todo el volumen de fusión, para fundir todos los minerales en la materia prima inicial y para lograr un material 100% homogéneo. Al regular F1 y P1, la temperatura de fusión puede ajustarse dentro de un intervalo de aproximadamente 1300°C a aproximadamente 3000°C, por ejemplo.
- 60 **[0052]** La cámara de fusión **102** y el deflector de flujo inferior **103** pueden estar compuestos por tubos de cobre o acero inoxidable, que pueden suministrarse continuamente con agua de enfriamiento. Las paredes de la cámara de fusión **102** y el deflector de flujo inferior **103** pueden protegerse por el horno de crisol formado entre la pared y el fundido y el flujo de agua pueden enfriar el fundido en la unidad de intercambiador de calor **107**.
- 65 **[0053]** Los gases que se liberan durante el proceso de fusión pueden bombearse fuera de la cámara de fusión **102** mediante la bomba **106** a través de aperturas especiales en la parte superior de la cámara de fusión **102** y enviarlos al cargador de lotes **101** para precalentar la materia prima.

[0054] El fundido homogéneo puede entonces entrar en la cámara de acondicionamiento **108** ubicada sobre el nivel inferior de la cámara de fusión **102**. La cámara de acondicionamiento **108** puede conectarse a la cámara de fusión **102** en el lado opuesto del cargador de materia prima y la cámara de fusión **102** puede incluir dos zonas separadas por un deflector de flujo inferior **103**. Este deflector puede evitar que los materiales no fundidos del lado de la zona de carga de la cámara de fusión entren en la cámara de acondicionamiento antes de que estén completamente fundidos.

[0055] La cámara de acondicionamiento **108** puede calentarse mediante corrientes inducidas por la bobina **109**. La frecuencia F2 y la potencia P2 generadas por el generador **109** pueden ajustarse a niveles que suprimen el efecto de agitación dentro de la cámara de acondicionamiento **108** y disminuyen la temperatura del fundido para reducir la turbulencia y producen el flujo laminar en la cámara de acondicionamiento.

[0056] El fundido acondicionado y estabilizado puede fluir luego a las cámaras de formación de fibra **125**. Cada cámara de formación de fibra **125** puede estar hecha de tubos de cobre o acero inoxidable o cualquier material apropiado conocido en la materia, que puede suministrarse continuamente con agua de enfriamiento proporcionada por un suministro de agua separado y unidades de intercambiador de calor **110**. El enfriamiento de las paredes de la cámara de formación de fibra **125** por el agua crea una capa de horno de crisol entre la pared y el fundido que protege el refractario de la degradación por el fundido. La temperatura y la viscosidad del fundido dentro de cada cámara de formación de fibra **125** pueden controlarse mediante los generadores **140** y las bobinas de inducción **113**. La frecuencia F3 y la potencia P3 pueden ajustarse a niveles que mantengan la temperatura y la viscosidad dentro del intervalo estrecho requerido para la formación de filamentos.

[0057] Los dispositivos formadores de fibra **115** pueden unirse al parte inferior de cada cámara de formación de fibra **125**. Cada dispositivo de formación de fibra puede ser una placa de forma especial hecha de materiales resistentes al calor con un número de orificios que permiten que los filamentos de fibras de rocas se formen a medida que pasan a través y fuera de los orificios. Los filamentos que salen de los dispositivos formadores de fibra pueden exponerse al enfriamiento por choque mediante los dispositivos de enfriamiento de filamento de fibra **146**. Los dispositivos de enfriamiento de filamento de fibra **146** pueden diseñarse como un conjunto de boquillas, que crean una neblina de agua fría presurizada ubicada justo debajo del dispositivo de formación de fibra; esta disposición puede ser necesaria para evitar la cristalización inversa durante el proceso de formación de fibra. El proceso produce filamentos 100 % homogéneos sin ningún tipo de cristalinidad o defectos superficiales. Los cristales y los defectos superficiales reducirían significativamente la resistencia mecánica de las fibras. Las microfotografías de fibras formadas por tecnología convencional y por los sistemas y métodos divulgados se muestran en la figura 5. Como puede verse en las fibras 5A-5D formadas por el método divulgado están sustancialmente libres de partículas cristalinas causadas por una fusión incompleta.

[0058] Los filamentos formados pasan luego a través de los aplicadores de agentes de encolado (no mostrados), y pueden ensamblarse en fila mediante las ruletas de recolección **145** y enrollarlos en tortas con rebobinadores **123**. Las fibras formadas pueden ser preferiblemente de aproximadamente 8 a aproximadamente 15 μm de diámetro. Todo el proceso puede controlarse y administrarse por un sistema computarizado de gestión de procesos **122** que administra las frecuencias, las potencias, los flujos de agua y el cargador de acuerdo con los datos de entrada recibidos de los sensores de temperatura **120** y los rebobinadores **123**.

[0059] Un aspecto adicional de la divulgación es que las fibras de rocas producidas por el aparato y los métodos divulgados en el presente documento se consideran de mayor calidad, por ejemplo, libres o sustancialmente libres de debilitamiento causado por una fusión incompleta y producidas a un costo menor que las fibras producidas convencionalmente. Las fibras divulgadas son, por lo tanto, útiles en numerosas aplicaciones en una variedad de industrias, que incluyen, pero no se limitan a, la industria de computadoras y electrónica, la industria de la construcción; las industrias químicas, criogénicas y petroleras; las industrias automotriz y marina; así como para aplicaciones espaciales, de defensa y balísticas; protección contra el fuego y el calor; aislamiento acústico; ingeniería civil y tuberías; y tanques y cilindros de alta presión. Se contempla como un aspecto de esta divulgación los muchos productos que probablemente contengan tales fibras, que incluyen, pero no se limitan a, vigas de construcción, concreto, aislamiento, tuberías y herramientas, computadoras y dispositivos electrónicos, que incluyen antenas, artículos deportivos, equipo de protección para la policía, defensa y recreación, así como componentes estructurales de automóviles, barcos, aviones y otros tipos de vehículos. Se contempla que los usos de las fibras descritas anteriormente y todas las demás aparentes para los técnicos en la materia están dentro del alcance de la presente divulgación.

[0060] Todos los aparatos, composiciones y métodos divulgados y reivindicados en el presente documento pueden fabricarse y/o ejecutarse sin experimentación excesiva a la luz de la presente divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Un método de producción de fibras a partir de basalto bruto o roca ígnea, comprendiendo el método:

5 añadir un volumen de basalto crudo triturado o roca ígnea (130) a una primera zona (132) de la cámara del horno de fusión (102), en el que la primera zona (132) de la cámara del horno de fusión (102) está al menos parcialmente rodeada en una primera bobina de inducción eléctrica (105);
 10 aplicar una primera corriente alterna a la primera bobina de inducción (105) para calentar la primera bobina de inducción de manera eficaz para calentar el volumen de basalto bruto triturado o roca ígnea (130) añadido a la primera zona (132) y para producir una roca fundida homogénea en al menos una parte del volumen de basalto bruto o roca ígnea (130);
 hacer pasar al menos una parte de la porción de roca fundida homogénea a través de al menos una cámara de formación de fibras (125);
 15 hacer pasar al menos una porción de la roca fundida de la al menos una cámara de formación de fibras (125) a través de orificios de formación de fibras bajo temperatura controlada eficaz para producir fibras (142), en la que la cámara de formación de fibras (125) está rodeada al menos parcialmente por una tercera bobina de inducción eléctrica (113) y la temperatura de la porción de roca fundida homogénea en la cámara de formación de fibras (125) está controlada al menos en parte por la potencia y la frecuencia de la corriente eléctrica en la tercera bobina de inducción (113).

20 2. El método de la reivindicación 1, en el que la temperatura controlada en los orificios de formación de fibras se controla dentro de 20°C a 70°C de una temperatura objetivo, tal como dentro de 30°C a 60°C de una temperatura objetivo; y/o en el que el volumen de basalto bruto triturado o roca ígnea (130) se calienta a una temperatura de aproximadamente 1300°C a aproximadamente 3000°C en la cámara del horno (102).

25 3. El método de la reivindicación 1, que comprende además hacer pasar al menos una porción de la porción de roca fundida homogénea a través de una cámara de acondicionamiento (108) rodeada al menos parcialmente por una segunda bobina de inducción eléctrica (109) y enfriar la porción de roca fundida homogénea de manera eficaz para producir un flujo laminar en al menos una porción de la cámara de acondicionamiento (108) antes de hacer pasar la porción de roca fundida homogénea a la cámara de formación de fibras (125), opcionalmente, en el que la cámara del horno (102) está dividida en una primera zona (132) y una segunda zona (134), y en el que la segunda zona (134) está en comunicación fluida con la cámara de acondicionamiento (108) a través de una abertura en la pared de la cámara del horno (102), en el que la primera zona (132) y la segunda zona (134) están opcionalmente separadas por un deflector de flujo inferior (103).

35 4. El método de la reivindicación 1, en el que el volumen de basalto bruto triturado o roca ígnea (130) se precalienta antes de ser añadido a la cámara del horno (102); tal como en el que el volumen de basalto bruto triturado o roca ígnea se calienta mediante gases de escape de la cámara del horno (102) antes de añadirse a la cámara del horno (102), opcionalmente en el que el volumen de basalto bruto triturado o roca ígnea se mantiene en un cargador de lotes (101) antes de añadirse a la cámara del horno (102), y en el que los gases de escape de la cámara del horno (102) se bombean al cargador de lotes (101).

40 5. El método de la reivindicación 1, en el que el basalto bruto triturado o la roca ígnea (130) comprende al menos uno de feldespatos, cuarzo, feldespatoides, olivinos, piroxenos, anfíboles y micas; o en el que el basalto bruto triturado o la roca ígnea comprende riolita, dacita, andesita, basalto, diabasa, granito, granodiorita, diorita o gabro.

45 6. El método de la reivindicación 3, que comprende además colocar sensores de temperatura (120) al menos en la cámara de acondicionamiento (108) y en la cámara de formación de fibras (125) y controlar la temperatura en la cámara de acondicionamiento (108) y en la cámara de formación de fibras (125) mediante el control informatizado de la corriente eléctrica en la segunda y tercera bobinas de inducción (109, 113) basándose en la retroalimentación recibida por el ordenador desde los sensores de temperatura (120).

7. Un método de producción de fibras, que comprende las etapas de:

55 obtener una cantidad de basalto bruto triturado o roca ígnea (130) que se convertirá en fibra (142);
 transportar el lote a un horno de fusión, en el que el horno de fusión está rodeado, al menos parcialmente, por una primera bobina de inducción eléctrica (105);
 aplicar corriente alterna a la primera bobina de inducción (105), eficaz para calentar el lote a una temperatura superior al punto de fusión de todos los minerales del lote para producir una roca fundida homogénea en al menos una parte del lote;
 60 hacer fluir la roca fundida homogénea a una cámara de acondicionamiento (108) a través de una abertura en una porción superior de una pared del horno de fusión, en el que el horno de acondicionamiento (108) está rodeado al menos parcialmente por una segunda bobina de inducción (109);
 aplicar corriente eléctrica a la segunda bobina de inducción (109) eficaz para suprimir la agitación conductiva de la roca fundida y permitir que la temperatura disminuya para producir roca fundida acondicionada;
 65 hacer fluir la roca fundida acondicionada hacia una pluralidad de cámaras de formación de fibras (125), en el que cada cámara de formación de fibras (125) está rodeada, al menos parcialmente, por una tercera bobina inductiva

(113);

aplicar corriente eléctrica a las terceras bobinas inductivas (113), eficaz para alcanzar y mantener la masa fundida acondicionada a la temperatura de formación de fibras;

hacer fluir la masa fundida acondicionada de las cámaras de formación de fibras (125) a través de una pluralidad de orificios en una superficie inferior de una cámara de formación de fibras (125) para producir fibras (142) extruidas de al menos una parte de los orificios, formando así fibras (142).

8. El método de la reivindicación 7, en el que el basalto bruto triturado o la roca ígnea se precalienta en un cargador de lotes (101) antes de ser transportado al horno de fusión; y/o en el que el horno de fusión se divide en una primera zona (132) y una segunda zona (134) y en el que la roca fundida homogénea entra en la cámara de acondicionamiento (108) a través de una abertura en la pared de la segunda zona (134) del horno de fusión, en el que la primera zona (132) está opcionalmente separada de la segunda zona (134) por un deflector de flujo inferior (103); y/o en el que el método comprende además enfriar por choque las fibras (142) rociando una niebla de agua sobre las fibras (142) a medida que emergen de los orificios; y/o en el que el método comprende además reunir fibras individuales (142) en una pluralidad de hebras con una zapata de reunión (145), y opcionalmente enrollar una o más de las hebras en un rebobinador (123).

9. El método de la reivindicación 7, que comprende además producir fibras (142) en un proceso continuo obteniendo una segunda y subsiguientes cantidades de basalto bruto triturado o roca ígnea (130) que se convertirá en fibra y transportando el basalto bruto triturado o roca ígnea (130) al horno de fusión para mantener el flujo de roca fundida homogénea desde el horno de fusión a las cámaras de formación de fibras (125), en el que los gases calentados se extraen opcionalmente del horno de fusión y fluyen hacia el cargador de lotes (101) eficaz para precalentar el basalto bruto triturado o la roca ígnea (130) en el cargador de lotes (101).

10. El método de la reivindicación 7, que comprende además controlar la temperatura en la cámara de acondicionamiento del horno de fusión (108) y las cámaras de formación de fibras (125) con un ordenador; en el que el ordenador recibe datos de temperatura de sensores de temperatura (120) colocados en uno o más del horno de fusión, la cámara de acondicionamiento (108) y las cámaras de formación de fibras (125) y controla el nivel de potencia y la frecuencia de CA basándose en los datos recibidos de los sensores de temperatura (120).

11. El método de la reivindicación 1 o de la reivindicación 7, en el que las cámaras de formación de fibras (125) tienen forma cilíndrica.

12. Aparato (100) para producir fibras (142) que comprende:

un horno de fusión configurado con una abertura para recibir lotes de basalto bruto o roca ígnea (130), en el que el horno de fusión comprende una cámara de fusión (102) dividida en una primera zona (132) para recibir lotes cargados y una segunda zona (134) para la masa fundida preparada, en el que la primera zona (132) y la segunda zona (134) están divididas por un deflector de flujo inferior (109), en el que una pared de la segunda zona forma una abertura de salida, y en el que la abertura de salida está situada más cerca de una parte superior de la cámara de fusión que de un pasillo situado bajo el deflector de flujo inferior (103);

una primera bobina de inducción (105) situada al menos parcialmente alrededor del horno de fusión; un primer generador (104) y un primer convertidor de alta frecuencia conectados eléctricamente a la primera bobina de inducción (105);

una primera camisa de refrigeración situada en las paredes del horno de fusión, en el que la primera camisa de refrigeración está en comunicación fluida con una primera unidad de suministro de agua e intercambiador de calor (107);

una cámara de acondicionamiento (108) que comprende un canal horizontal con un primer extremo y un segundo extremo, en el que la cámara de acondicionamiento (108) está en comunicación fluida con la segunda zona (134) a través de la abertura de salida, y en el que una pared inferior de la cámara de acondicionamiento (108) forma una pluralidad de aberturas en relación espaciada a lo largo de una longitud de la cámara de acondicionamiento (108) hacia el segundo extremo del canal horizontal;

una segunda bobina de inducción (109) situada al menos parcialmente alrededor de la cámara de acondicionamiento (108);

un segundo generador (127) y un segundo convertidor de alta frecuencia conectados eléctricamente a la segunda bobina de inducción (108);

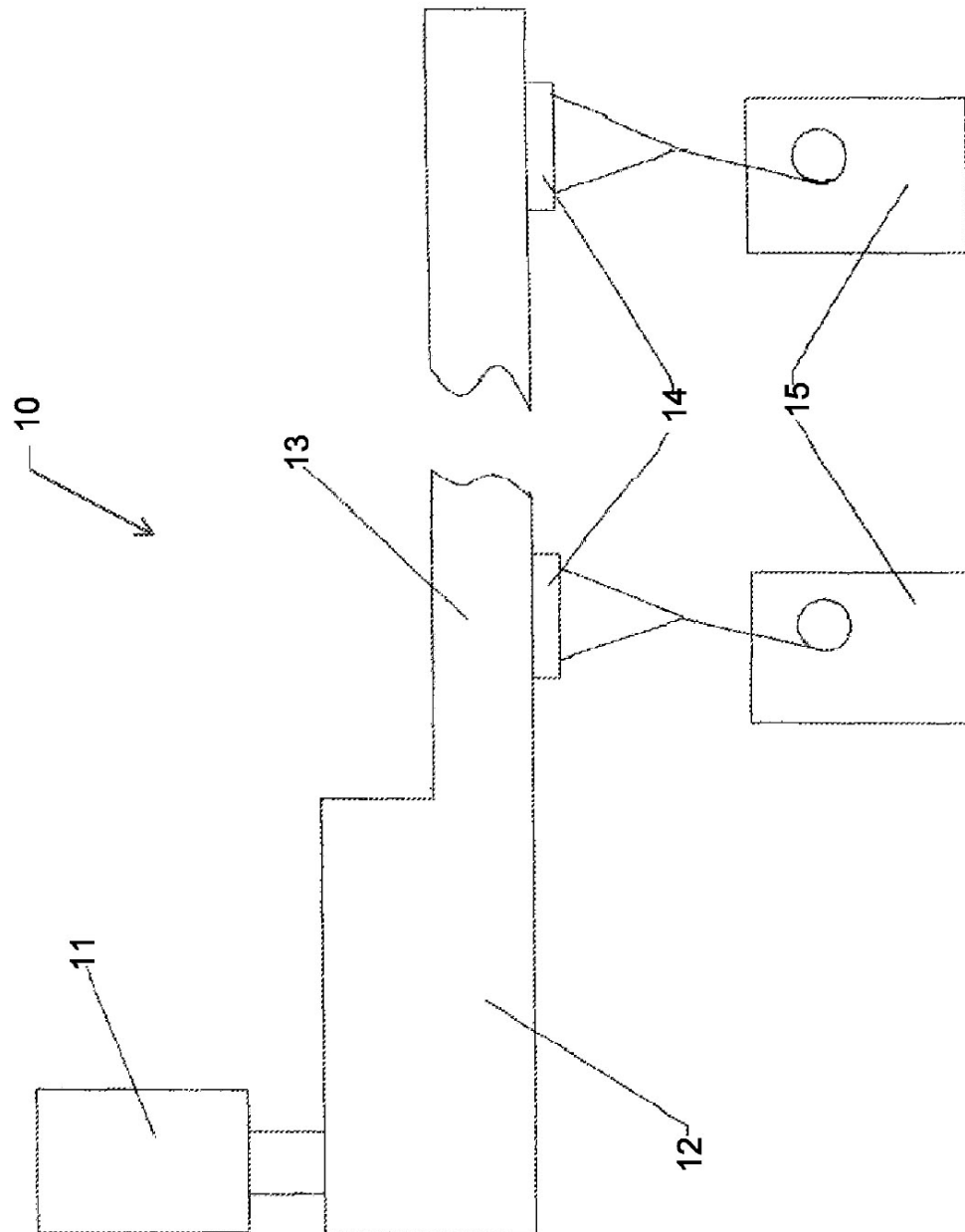
una segunda camisa de refrigeración situada en las paredes de la cámara de acondicionamiento (108), en el que la segunda camisa de refrigeración está en comunicación fluida con una segunda unidad de suministro de agua e intercambiador de calor (111);

una pluralidad de cámaras de formación de fibras (125) situadas debajo de la cámara de acondicionamiento (108) y respectivamente en comunicación fluida con la cámara de acondicionamiento (108) a través de la respectiva pluralidad de aberturas en la pared inferior de la cámara de acondicionamiento (108), en el que cada cámara de formación de fibras (125) de la pluralidad de cámaras de formación de fibras (125) comprende una superficie de formación de fibras situada en el fondo de cada cámara de formación de fibras (125), en el que la superficie de formación de fibras comprende una pluralidad de orificios dimensionados y configurados para formar cada uno respectivamente una fibra a partir de roca fundida a medida que la roca fundida pasa a través de los orificios respectivos;

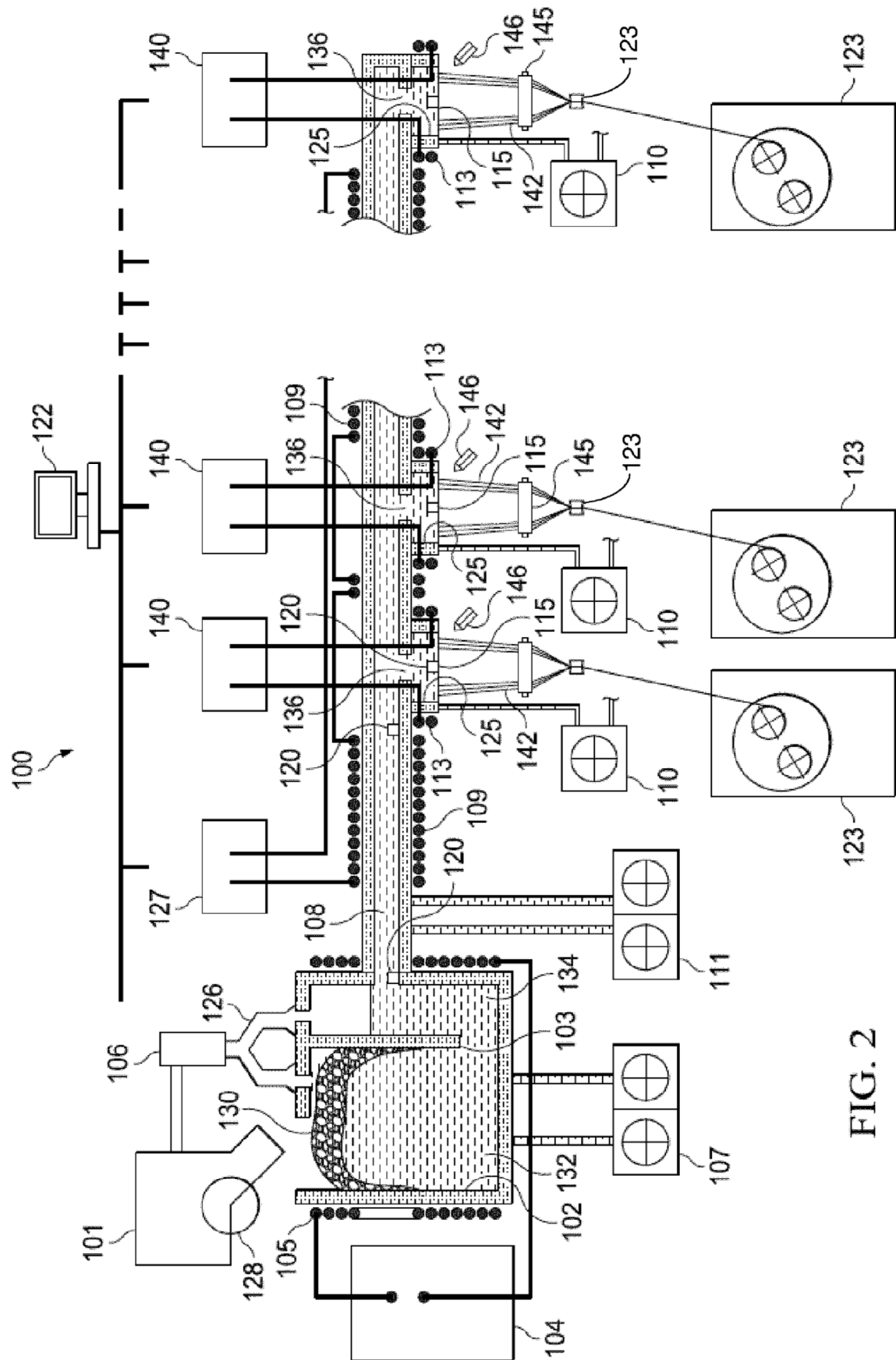
una tercera bobina de inducción (113) situada al menos parcialmente alrededor de la pluralidad de cámaras de formación de fibras (125);
 un tercer generador (140) y un tercer convertidor de alta frecuencia conectados eléctricamente a la tercera bobina de inducción (113); y
 una tercera camisa de refrigeración situada en las paredes de la pluralidad de cámaras de formación de fibras (125), en la que la tercera camisa de refrigeración está en comunicación fluida con una tercera unidad de suministro de agua e intercambiador de calor (110).

13. El aparato de la reivindicación 12, que comprende además un cargador de lotes (101) que comprende una tolva para recibir basalto triturado o roca ígnea (130) y para hacer fluir el basalto triturado o roca ígnea (130) a la primera zona (132) del horno de fusión, y que comprende opcionalmente además un canal de aire (126) que conecta la segunda zona (134) con el cargador de lotes (101) y una bomba (106) configurada para extraer gases de la cámara de fusión (102) y entregar los gases al cargador de lotes (101); y/o que comprende además una pluralidad de sensores de temperatura (120) situados en el horno de fusión, en la cámara de acondicionamiento (108) y en una o más cámaras de formación de fibras (125); y/o que comprenda además una pluralidad de pulverizadores de agua (146) configurados para rociar niebla sobre los filamentos a medida que emergen de los orificios y/o que comprende además una o más zapatas de recolección (145) configuradas cada una de ellas para consolidar fibras procedentes de una de las cámaras de formación de fibras (125), y opcionalmente uno o más rebobinadores (123) configurados para recibir filamento de una o más de las zapatas (145); y/o que comprende además un ordenador configurado para recibir datos de temperatura y caudal de agua procedentes del aparato (100) y para controlar el primer generador (104), el segundo generador (127), y el tercer generador (140), el primer convertidor de alta frecuencia, el segundo convertidor de alta frecuencia, y el tercer convertidor de alta frecuencia; y el primer suministro de agua (107), el segundo suministro de agua (111), y el tercer suministro de agua (110); en el que el cargador por lotes (101) comprende opcionalmente un motor (128) configurado para proporcionar vibración a la tolva configurada para facilitar el vaciado de la tolva.

14. El aparato de la reivindicación 12, en el que una o más de la primera camisa de refrigeración, la segunda camisa de refrigeración y la tercera camisa de refrigeración comprende tubos de cobre o acero inoxidable en comunicación fluida con una o más unidades de suministro de agua e intercambio de calor (107, 110, 111); y/o en el que al menos uno del primer generador (104), el segundo generador (127), y el tercer generador (140) proporciona de 500 kW a 10 MW de potencia y en el que al menos uno del primer convertidor de alta frecuencia, el segundo convertidor de alta frecuencia, y el tercer convertidor de alta frecuencia permite suministrar la potencia eléctrica a una frecuencia de 100 kHz a 30 MHz; y/o en el que al menos uno del primer generador (104), el segundo generador (127), y el tercer generador (140) proporciona de 50 kW a 500 kW de potencia, y en el que al menos uno del primer convertidor de alta frecuencia, el segundo convertidor de alta frecuencia, y el tercer convertidor de alta frecuencia permite que la potencia eléctrica se proporcione a una frecuencia de 60 Hz a 100 kHz; y/o en el que cada una de las unidades de intercambio de calor comprende un enfriador de aire o una torre de refrigeración; y/o en la que cada superficie de formación de fibras comprende una placa metálica, en la que la placa metálica comprende opcionalmente platino o una aleación de platino; y/o en la que cada una de las superficies de formación de fibras comprende de 100 a 4000 orificios; y/o en la que las cámaras de formación de fibras (125) tienen forma cilíndrica y en la que la superficie de formación de fibras es redonda y forma sustancialmente toda la superficie inferior de la cámara de formación de fibras (125).



Técnica anterior
Fig. 1



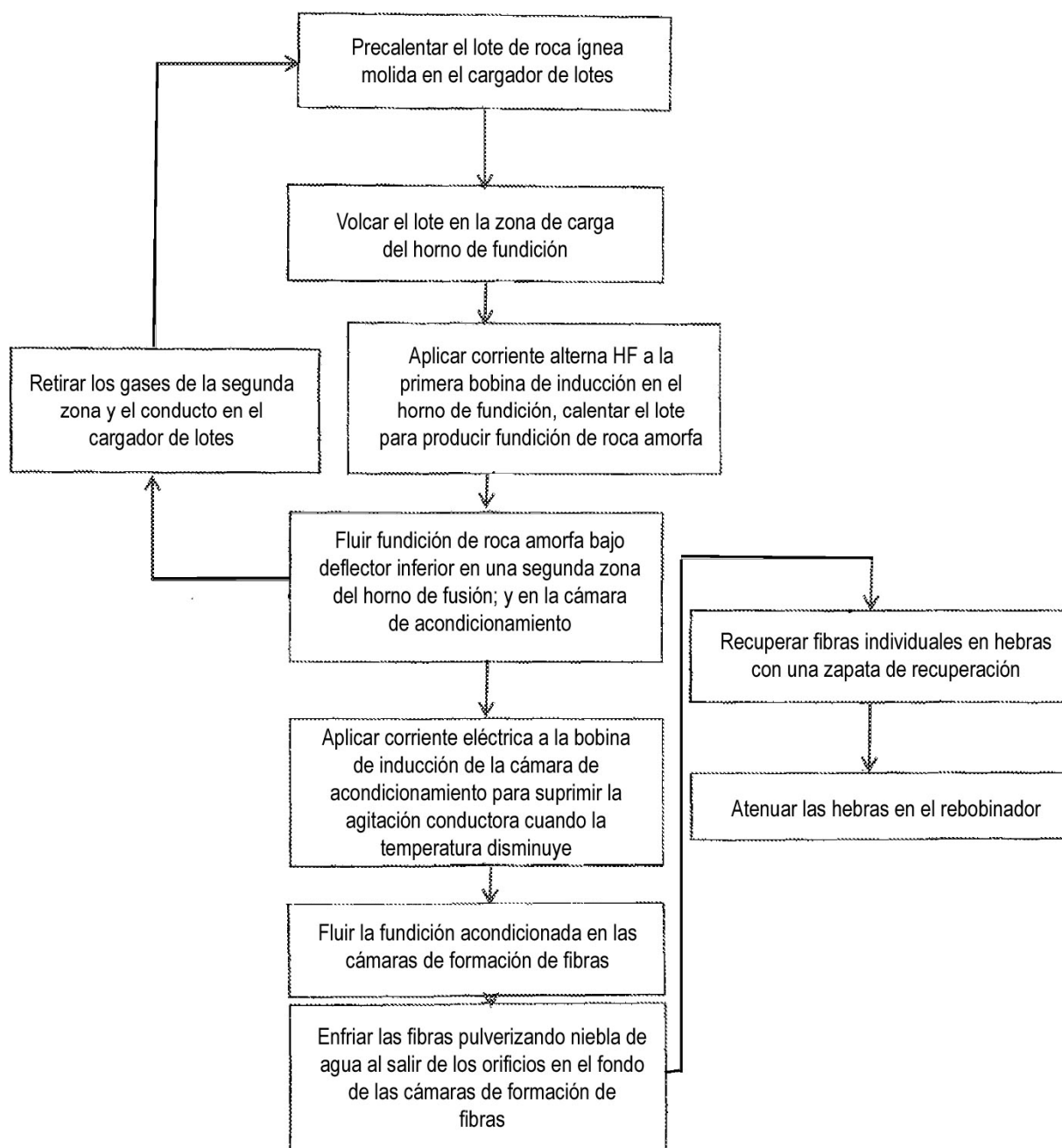


Fig. 3

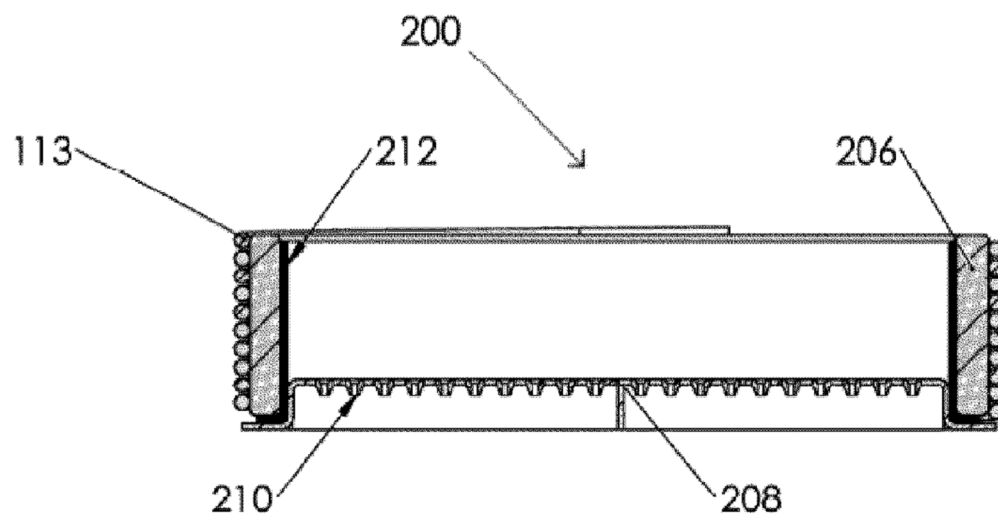


Fig. 4A

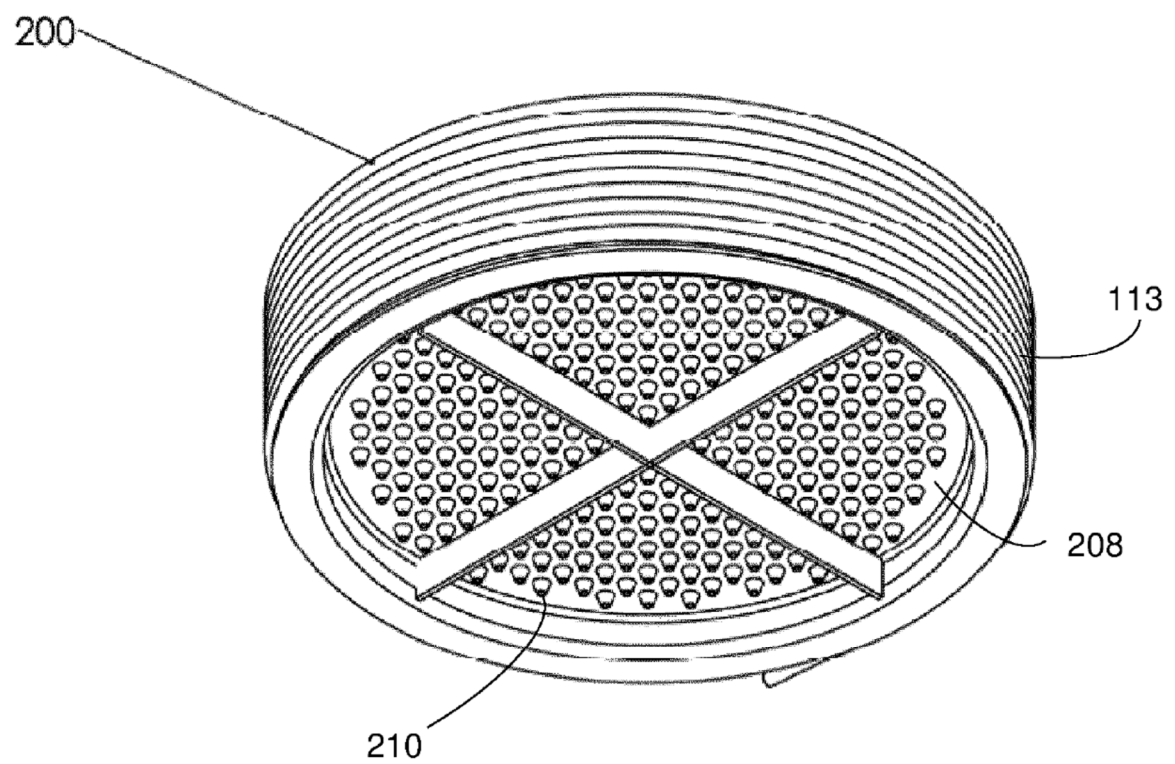


Fig. 4B

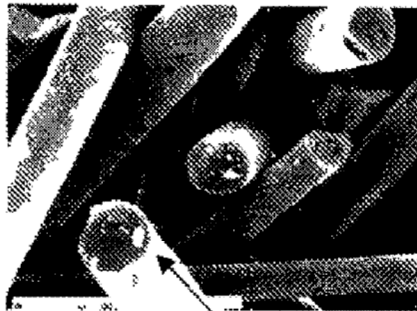


Fig. 5A



Fig. 5B



Fig. 5C



Fig. 5D