

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 704 883**

(51) Int. Cl.:

<b>B22D 11/15</b>	(2006.01)	<b>F27B 14/06</b>	(2006.01)
<b>B22D 7/12</b>	(2006.01)	<b>F27B 14/10</b>	(2006.01)
<b>B22D 27/02</b>	(2006.01)		
<b>B22D 41/005</b>	(2006.01)		
<b>F27B 14/14</b>	(2006.01)		
<b>B22D 11/00</b>	(2006.01)		
<b>B22D 11/14</b>	(2006.01)		
<b>B22D 23/06</b>	(2006.01)		
<b>C30B 11/00</b>	(2006.01)		
<b>C30B 29/06</b>	(2006.01)		

(12)

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2012 PCT/US2012/028064**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **20.09.2012 WO12125367**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2012 E 12757811 (0)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2018 EP 2686122**

(54) Título: **Crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto para su uso en colada electromagnética de lingotes y método para colar en el crisol**

(30) Prioridad:

**14.03.2011 US 201161452408 P**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**20.03.2019**

(73) Titular/es:

**CONSARC CORPORATION (100.0%)  
100 Indel Avenue, P.O. Box 156  
Rancocas, NJ 08073, US**

(72) Inventor/es:

**KEOUGH, GRAHAM A.**

(74) Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 704 883 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

Crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto para su uso en colada electromagnética de lingotes y método para colar en el crisol

### Referencia a las solicitudes relacionadas

#### 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a la colada electromagnética de lingotes, donde un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto se usa en el proceso de colada.

#### Antecedentes de la invención

10 Se puede colar un lingote calentando y fundiendo una carga de material depositada en un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto. Se puede alimentar una carga al crisol, por ejemplo en forma de mineral en bruto o procesado, para mantener una masa fundida (fundente) del material en el crisol, dado que una parte de la masa fundida solidifica y sale de la abertura inferior del crisol como un lingote formado. El material debe ser eléctricamente conductor al menos en el estado fundido (líquido) para este proceso de colada electromagnética. La fusión y el calentamiento de la carga pueden dar como resultado la purificación de dicha carga, por ejemplo, debido a las impurezas que se evaporan del fundente, o que ascienden a través del mismo para flotar como sedimentos en la superficie del fundente dentro del crisol.

15 Como se ha mencionado anteriormente, el material no tiene que ser de modo necesario eléctricamente conductor en el estado sólido. Por ejemplo, en un proceso de colada electromagnética de silicio, se puede alimentar a la parte superior del crisol una carga de silicio no eléctricamente conductor sólida a temperatura ambiente, después de que se haya establecido dentro del crisol una masa fundida de silicio eléctricamente conductor. La patente de EE. UU. número 4.572.812, titulada "Method and Apparatus for Casting Conductive and Semiconductive Materials", describe un proceso continuo básico de colada electromagnética de silicio.

20 La patente de EE. UU. número 4.572.812 (denominada "la patente '812") describe un proceso de colada electromagnética que utiliza una única bobina de calentamiento por inducción que rodea la pared ranurada exterior (formada a partir de una pluralidad de miembros verticales) de un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto, estando la bobina de inducción conectada en sus terminales a una única fuente de potencia RF.

25 El documento JP201017749 describe un proceso de colada electromagnética que usa un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto que tiene una bobina de inducción separada por una pantalla magnética frente a un campo magnético de corriente continua introducido para obtener un frente de solidificación más plano.

30 El crisol frío con fondo abierto puede estar instalado en una cámara cerrada, de manera que los procesos de calentamiento, fusión y/o solidificación se llevan a cabo en un entorno de vacío o de gas del proceso. Además, un aparato de enfriamiento adecuado puede interactuar térmicamente con el lingote mientras sale del crisol, de manera que la velocidad de enfriamiento del lingote con el paso del tiempo está controlada hasta que alcanza la temperatura ambiente.

35 En otros procesos de colada electromagnética, se pueden utilizar dos o más bobinas de inducción en una configuración apilada (adyacente) alrededor de una altura exterior parcial del crisol. Por ejemplo, como se muestra en la figura 1(a), la figura 1(b) y la figura 1(c), un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto 100 comprende una pared ranurada que está formada a partir de una pluralidad de miembros verticales 112 separados entre sí por ranuras verticales 114 (mostradas con línea continua en las figuras), con dos bobinas de inducción 116a y 116b independientes que rodean una altura exterior parcial del crisol. Los miembros ranurados verticales están formados a partir de un material adecuado, tal como cobre en este ejemplo, y pueden estar conectados en la parte superior e inferior del crisol. La conexión entre miembros ranurados en la parte superior del crisol se usa casi siempre y proporciona a menudo la conexión entre cada miembro y un circuito de refrigeración por agua. La conexión superior está normalmente a una distancia significativa del fundente y, por consiguiente, no afecta materialmente en el acoplamiento de inducción a la carga de material en el crisol. La conexión inferior, por otro lado, no se usa siempre para crisoles de tamaño más pequeño, sino que se usa más comúnmente para crisoles más grandes en los que la conexión proporciona soporte a la parte inferior de cada miembro ranurado vertical. En un proceso de colada electromagnética, las ranuras del crisol son al menos suficientemente largas para soportar el calentamiento inductivo del fundente dentro del crisol y facilitar el enfriamiento gradual del lingote cuando se crea en el límite de solidificación 120 (como se ilustra esquemáticamente en la figura 1(c)) hasta que sale del fondo del crisol. El descubrimiento de esta invención es que, donde las ranuras entre miembros verticales no se extienden hasta el fondo del crisol (terminando en el extremo de ranura 114a en la figura 1(c)) y, por consiguiente, se forma un miembro de conexión (horizontal) inferior 117 (en este ejemplo) de cobre, el campo electromagnético generado por la corriente alterna en la bobina de inducción 116b tenderá a inducir una corriente de circulación que es muy próxima a la carga (lingote) mientras sale del crisol. Esta proximidad de las corrientes de circulación genera calor en la carga en un lugar crítico donde puede aumentar el riesgo de un caso de descentrado que ocurre cuando el silicio líquido se las arregla para encontrar un camino hacia el borde exterior del borde normalmente solidificado del lingote colado mientras se extrae

5 del crisol. El silicio líquido fluye a continuación de manera incontrolada al interior de la parte inferior del recinto cerrado de horno para dañar las partes mecánicas, los calentadores y los aisladores secundarios. Cada una de las bobinas puede estar conectada a una fuente de energía de corriente alterna (AC) independiente que funciona a una frecuencia diferente. Por ejemplo, la bobina superior 116a puede estar funcionando a una frecuencia que es menor que la frecuencia de la bobina inferior 116b. La corriente alterna en cada bobina establece un campo de flujo magnético, que penetra en las ranuras (llenas de un material aislante eléctrico) del crisol, para calentar electromagnéticamente y fundir un material eléctricamente conductor colocado dentro del volumen de crisol interior.

10 Como con todos los crisoles fríos de inducción eléctrica, la pluralidad de miembros verticales 112 que forman la pared del crisol están refrigerados (típicamente por agua que circula internamente) de manera que se congela la masa fundida en contacto con la pared. Esto impide la contaminación de la masa fundida con material de la pared. Las zonas superiores de la masa fundida están soportadas, al menos parcialmente, por las fuerzas de Lorentz generadas por la interacción del campo magnético producido por las bobinas de inducción y las corrientes inducidas en el fundente, para formar una zona de presión de contacto reducida, o incluso una separación, entre la pared y la masa líquida de metal.

15 5 La ventaja de múltiples bobinas funcionando a frecuencias diferentes es la capacidad para bajar la magnitud del voltaje entre terminales a través de cada bobina de inducción, mientras que sigue consiguiendo un alto nivel de transferencia de energía inducida al material dentro del crisol. Esto tiene ventajas particulares cuando el proceso de colada electromagnética se realiza con un agente recubridor de prevención frente a la oxidación en el interior del crisol, que impide la oxidación del material fundido, como es el caso en algunos procesos de colada electromagnética de silicio. Unos voltajes entre terminales más bajos mitigan el fenómeno de formación de arco eléctrico entre el fundente y la pared en la zona de separación mencionada anteriormente, lo que puede dar como resultado una fusión localizada de los miembros verticales que forman la pared del crisol y la migración de impurezas desde estos miembros verticales al interior del material fundido dentro del crisol. Cuanto mayor sea el voltaje entre terminales a través de cada bobina, mayor será el riesgo de un arco. Esto es más significativo cuando el área en corte transversal interior del crisol es suficientemente grande para requerir un alto voltaje entre terminales de la bobina para suministrar suficiente energía inducida al fundente en el crisol. En general, cuando el área en corte transversal interior del crisol excede aproximadamente los 0,116 metros cuadrados (180 pulgadas cuadradas), son beneficiosas múltiples bobinas funcionando a frecuencias diferentes, ya que esta disposición permite voltajes entre terminales de la bobina a menos de 600 voltios, al tiempo que se puede transferir una magnitud equivalente de energía inducida al fundente, como se haría con una bobina que funcionase con un voltaje entre terminales de 600 voltios o más, y evitando así el problema de contaminación del fundente debido a la formación de arco eléctrico, como se ha descrito anteriormente.

30 35 La altura del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto se extiende una distancia,  $h_1$ , por debajo del extremo inferior de la bobina de inducción inferior 116b. En general, los miembros verticales 112 que forman la pared del crisol están inclinados (estrechados gradualmente) hacia fuera en dirección al fondo abierto del crisol para facilitar que el lingote formado salga de dicho crisol. En la disposición de dos bobinas mostrada en la figura 1(a), el estrechamiento gradual hacia fuera puede empezar entre las terminaciones adyacentes de las bobinas de inducción superior e inferior, para establecer una distancia que se estrecha gradualmente de  $h_2$ .

40 45 En algunas disposiciones de colada electromagnética, una pantalla magnética entre bobinas 118 puede estar situada entre los extremos adyacentes de las bobinas 116a y 116b para impedir el acoplamiento magnético mutuo (y la interferencia) entre el flujo magnético establecido por la corriente en cada una de las dos bobinas. En la figura 1(a) están representados por líneas de trazos los patrones típicos de flujo magnético resultantes. La corriente alterna a través de la bobina superior 116a establece el flujo magnético 116a' y la corriente alterna a través de la bobina inferior 116b establece el flujo magnético 116b'. El campo de flujo magnético 116b' se extiende por debajo de la abertura inferior del crisol. Tal disposición da como resultado anomalías alrededor del perímetro exterior del lingote formado que sale del fondo del crisol. La parte del campo de inducción electromagnética que abarca el miembro de conexión (horizontal) inferior 117 de cobre del crisol induce una corriente de circulación que produce un calentamiento local de la superficie de la carga debido al hecho de que, a la temperatura relativamente alta, el silicio sólido es todavía parcialmente conductor. Esto puede producir un cambio local en el gradiente de la temperatura de solidificación que aumentará los esfuerzos en la carga y puede aumentar el riesgo de descentrados (que finalizarían el proceso y dañarían el equipo).

50 55 60 La figura 1(d) ilustra las anomalías mediante un diagrama térmico en corte transversal parcial cerca del fondo del crisol. Las líneas de trazos representan límites (contornos) para los intervalos de temperatura típicos en un lingote de silicio que se está colando. El intervalo indicado de números, por ejemplo, "20-19 kilovatios (kW) por metro cúbico ( $m^3$ )" indica un intervalo de 20 a 19 kilovatios por metro cúbico de pérdidas óhmicas (volumétricas) dentro del contorno en corte transversal representativo en el lingote de silicio que se está colando. La magnitud de las pérdidas óhmicas dentro de una zona es representativa de la temperatura en la zona. El efecto perjudicial del calentamiento local se muestra en los contornos (zona destacada en rayado transversal sencillo), que ilustran un efecto de calentamiento (pérdida óhmica) relativamente intenso en el silicio colado adyacente al miembro de conexión (horizontal) inferior 117 y, alrededor de esa zona, un contorno adicional de calentamiento menos intenso (destacado en rayado transversal doble).

Un objeto de la presente invención es eliminar las anomalías que se presentan alrededor de la abertura inferior de un crisol

frío de inducción eléctrica con fondo abierto utilizado en un horno de colada electromagnética, que están causadas por la prolongación del flujo magnético en la zona del miembro de conexión (horizontal) inferior de cobre del crisol.

#### Breve compendio de la invención

En un aspecto, la invención es un aparato, y un método, para calentar por inducción y fundir un material en un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto utilizado en un proceso de colada electromagnética. El crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto incluye una pantalla magnética inferior en la proximidad de los extremos inferiores de las ranuras en la pared, el miembro de conexión (horizontal) inferior de cobre del crisol y el fondo abierto del crisol.

En otro aspecto, la invención es un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto para una colada electromagnética. El crisol tiene un volumen de crisol a cuyo interior se puede alimentar una carga para el calentamiento por inducción eléctrica y la fusión. El fundente solidifica, al menos parcialmente, dentro del volumen de crisol para formar un lingote que sale del fondo abierto del crisol. El volumen de crisol está formado a partir de una pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras. La pared segmentada con ranuras se interconecta con una zona de pared perimetral no ranurada en el fondo abierto del crisol frío y una o más bobinas de inducción rodean una parte de la altura exterior del volumen de crisol para calentar inductivamente y fundir la carga en el volumen de crisol. Una pantalla magnética inferior eléctricamente conductora está dispuesta alrededor del perímetro exterior de la pared segmentada con ranuras, en una zona inferior del crisol adyacente a la zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada.

En otro aspecto, la presente invención es un método para colar electromagnéticamente un lingote en un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto. Se suministra una carga de material de lingote previo a un volumen de crisol formado a partir de una pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras que tiene una zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada en el fondo abierto del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto. Se genera un campo de flujo magnético, exterior a la pared segmentada con ranuras, alrededor de una parte de la altura de la pared segmentada con ranuras. El campo de flujo magnético penetra en el volumen de crisol para calentar inductivamente y fundir la carga de material de lingote previo dentro del volumen de crisol para formar una composición fundida de lingote previo dentro del volumen de crisol. Se solidifica, al menos parcialmente, la composición fundida de lingote previo dentro del volumen de crisol para formar el lingote en el fondo abierto del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto. Se impide que el campo de flujo magnético penetre en la pared segmentada con ranuras adyacente a la zona de pared perimetral no ranurada.

Otros aspectos de la invención se exponen en esta memoria descriptiva y en las reivindicaciones adjuntas.

#### Breve descripción de los dibujos

Con el propósito de ilustrar la invención, se muestra en los dibujos una forma que se prefiere actualmente; entendiéndose, sin embargo, que esta invención no está limitada a las disposiciones y contribuciones precisas mostradas.

La figura 1(a) es una vista simplificada, en alzado lateral y en corte transversal, de un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto que se puede usar en un proceso de colada electromagnética.

La figura 1(b) es una vista simplificada, en alzado lateral y en corte transversal, del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto mostrado en la figura 1(a), con un lingote formado saliendo del fondo del crisol.

La figura 1(c) es una vista simplificada, en alzado lateral y en corte transversal, del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto mostrado en la figura 1(b), con masas fundidas y solidificadas a modo de ejemplo mostradas dentro del crisol durante un proceso de colada electromagnética.

La figura 1(d) es una vista detallada, en corte transversal parcial, de las anomalías que ocurren en el fondo abierto del crisol frío de inducción eléctrica mostrado en la figura 1(a), debido a la prolongación del flujo magnético por debajo de la abertura inferior del crisol que tiene un miembro de conexión horizontal inferior alrededor de la circunferencia del crisol.

La figura 2 es una vista isométrica de un ejemplo de un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto de la presente invención para su uso en un proceso de colada electromagnética.

La figura 3 es una vista simplificada, en alzado lateral y en corte transversal, del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto mostrado en la figura 2, con un lingote formado saliendo del fondo del crisol.

La figura 4 es una vista simplificada, en alzado lateral y en corte transversal, del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto mostrado en la figura 2, con un patrón típico de campo de flujo magnético ilustrado cuando a las bobinas de inducción se les suministra alimentación de corriente alterna.

La figura 5(a) y la figura 5(b) son vistas, en planta superior y lateral, de un ejemplo de una pantalla magnética inferior que se puede usar en un ejemplo de la presente invención.

La figura 6 es una vista detallada, en corte transversal parcial, de un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto de la presente invención, con una pantalla magnética inferior que elimina las anomalías mostradas en la figura 1(d).

#### Descripción detallada de la invención

5 Cuando se usa en la presente memoria, la expresión "material eléctricamente conductor" incluye materiales que no son necesariamente eléctricamente conductores en el estado sólido, pero son eléctricamente conductores en el estado fundido, tales como las composiciones con base de silicio que tienen grados de pureza variables.

10 Se muestra en la figura 2 a la figura 4 un ejemplo de un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto 10 de la presente invención para su uso en un proceso de colada electromagnética. En el ejemplo particular mostrado en las figuras, se usa una disposición de dos bobinas.

15 En un ejemplo de la presente invención, el crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto tiene una altura total,  $h_3$ , de 94,30 centímetros (37 1/8 pulgadas) y comprende 60 miembros verticales 12 refrigerados por agua (segmentos de pared ranurada) dispuestos para formar un volumen interior cuadrado con una longitud lateral superior,  $L_1$ , de 34,92 centímetros (13 3/4 pulgadas); una longitud lateral inferior estrechada gradualmente,  $L_2$ , de 35,56 centímetros (14 pulgadas); y una altura estrechada gradualmente,  $h_2$ , de 34,29 centímetros (13 1/2 pulgadas) que empieza en una pantalla magnética entre bobinas 18 y que se extiende hasta el fondo del crisol, como se muestra en la figura 3. La altura total,  $h_4$ , de las ranuras aisladas eléctricamente 14 es 67,94 centímetros (26 3/4 pulgadas), terminando las partes inferiores de las ranuras a una distancia,  $h_5$ , de 2,54 centímetros (1 pulgada) desde el fondo del crisol, como se muestra en la figura 3. Las partes inferiores 14a de las ranuras terminan en el miembro de conexión inferior 17. La pared segmentada con ranuras y el miembro de conexión inferior están formados a partir de un material eléctricamente conductor adecuado.

20 Una pantalla magnética inferior 20, en este ejemplo de la invención, comprende un anillo aplanado de cobre conformado rectangularmente que tiene una longitud lateral,  $L_3$ , de 42,54 centímetros (16 3/4 pulgadas); una anchura del anillo,  $L_4$ , de 15,24 centímetros (6 pulgadas); y un grosor,  $L_5$ , de 0,63 centímetros (1/4 de pulgada), como se muestra en la figura 5(a) y la figura 5(b). La pantalla magnética inferior está instalada a una altura,  $h_6$ , de 6,35 centímetros (2 1/2 pulgadas) desde el fondo del crisol, de manera que la pantalla magnética inferior está situada aproximadamente a 3,81 centímetros (1 1/2 pulgadas) encima de la terminación de la ranura inferior con el miembro de conexión inferior. Es decir, está dispuesta alrededor del perímetro exterior de la pared segmentada con ranuras, en una zona inferior del crisol adyacente al miembro de conexión inferior, que se puede describir también como una zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada.

25 La pantalla magnética inferior descrita anteriormente es un ejemplo de una pantalla magnética adecuada. En la presente invención, la pantalla magnética inferior puede estar formada con cualquier configuración que conduzca una corriente inducida en un lugar exterior al crisol, de manera que el miembro de conexión (horizontal) inferior de cobre no está sometido al campo de inducción y, por consiguiente, no conduce una corriente muy próxima a la carga, mitigando así los efectos de calentamiento perjudiciales que se presentarían de otro modo. La pantalla magnética inferior impide que el campo de flujo magnético 16b' penetre en la pared ranurada adyacente a la zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada (el miembro de conexión inferior 17). La pantalla magnética inferior se puede refrigerar, por ejemplo, haciendo circular un medio de refrigeración a través de pasos dentro de la pantalla magnética inferior o fijados a la misma, tales como un conducto 22 con terminaciones de suministro y retorno 22a y 22b adecuadas para su conexión al aparato de circulación del medio de refrigeración.

30 Una aplicación del crisol 10 de la presente invención es en un proceso de colada electromagnética de silicio, donde el crisol está instalado en una cuba opcional de horno de colada electromagnética sellable que funciona en una atmósfera inerte. Unas bobinas de inducción 16a y 16b están instaladas externamente alrededor del volumen de crisol con una pantalla magnética entre bobinas 18 situada entre las bobinas en el interior de la cuba de horno sellada, con las dos bobinas dispuestas en una configuración apilada (adyacente) alrededor de una parte de la altura del crisol. Un aparato adecuado de suministro de carga se puede usar para alimentar una carga de silicio sólido al fondo abierto del crisol dentro de la cuba sellada. La carga sólida no eléctricamente conductora puede ser calentada y fundida inicialmente por aparatos y métodos de calentamiento auxiliares, como se conoce en la técnica, hasta que se forma suficiente silicio fundido eléctricamente conductor dentro del crisol, de manera que la corriente alterna a través de las bobinas de inducción puede calentar inductivamente además el fundente y se puede suministrar una carga sólida adicional al mismo, a medida que crece la longitud del lingote 90 que sale del crisol. Un aparato de control de temperatura se puede utilizar en la salida inferior del crisol (interno o externo a la cuba de horno sellada) para controlar la temperatura del lingote mientras se solidifica más. El lingote 90 está soportado sobre un miembro de soporte de lingotes 30 mientras se extrae del crisol y de la cuba de horno sellada. El miembro de soporte 30 puede estar formado a partir de grafito y usarse como un elemento de calentamiento en el calentamiento y la fusión de la carga de silicio sólida inicial en el horno. Un aparato de retracción vertical 32 está fijado al fondo del miembro de soporte 30 para controlar el régimen de caída vertical del lingote desde el fondo del crisol.

35 Una vez que un aparato de calentamiento auxiliar ha fundido en el crisol una carga inicial de silicio sólido, se puede proporcionar energía inducida al fundente aumentando la salida de potencia inducida desde la bobina de inducción

superior 16a hasta aproximadamente 750 kW a 15 kHz al aplicar un voltaje a través de los terminales de la bobina superior. Posteriormente, o en combinación con la misma, se puede proporcionar energía inducida adicional al fundente aumentando la salida de potencia inducida desde la bobina de inducción inferior 16b hasta aproximadamente 300 kW a 35 kHz al aplicar un voltaje a través de los terminales de la bobina inferior. El voltaje entre terminales aplicado a la bobina de inducción superior 16a fue aproximadamente 600 voltios como máximo y el voltaje entre terminales aplicado a la bobina de inducción inferior 16b fue aproximadamente 600 voltios como máximo para conseguir las salidas de energía inductiva anteriormente mencionadas, limitando así los voltajes entre terminales a aproximadamente menos de 600 voltios, respectivamente, para evitar el problema de contaminación de fundentes mencionado anteriormente.

10 La figura 6 ilustra la ventaja típica de la presente invención en un diagrama térmico, en corte transversal parcial, cerca del fondo del crisol. Comparando la figura 6 con una pantalla magnética inferior 20 colocada en el exterior del crisol, como en la presente invención con la figura 1(d) donde no se usa una pantalla magnética inferior, a la misma corriente en la bobina o bobinas que la que se tiene para el ejemplo de la figura 1(d), el miembro de conexión (horizontal) inferior 17 está apantallado contra el efecto del campo de inducción y los contornos en línea de trazos muestran que se mitigan los efectos de calentamiento perjudiciales usando en la presente invención la pantalla magnética inferior.

El proceso anterior de colada electromagnética de silicio de la presente invención se puede usar en composiciones distintas de silicio con una selección adecuada de un material de carga de lingote previo, dando como resultado una composición fundida de lingote previo a partir de la que se forma el lingote.

20 Aunque se ilustra en los ejemplos anteriores de la invención un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto de dos bobinas, la invención puede aplicarse a crisoles con una única bobina, o a otros distintos de dos bobinas múltiples que rodean el exterior del crisol, situando la pantalla magnética inferior con relación al lugar de la bobina más baja, los extremos inferiores de las ranuras 14a y la abertura inferior, como se ha descrito anteriormente para la disposición de dos bobinas.

25 Aunque los ejemplos anteriores de la invención describen un crisol con un volumen interior de crisol que tiene una sección transversal cuadrada, la presente invención se aplica a otras configuraciones, tales como un volumen interior de crisol que tiene una sección transversal circular.

Cuando se usa en la presente memoria, la expresión "proceso de colada electromagnética continua" incluye la 30 colada electromagnética intermitente donde, por ejemplo, el proceso de colada se detiene después de que un lingote fabricado de una altura deseada salga del fondo del crisol, de manera que el lingote fabricado se puede volver a situar antes de que el proceso de colada siga para producir otro lingote.

Aunque se han descrito e ilustrado anteriormente realizaciones preferidas de la invención, se deberá entender que son a modo de ejemplo de la invención y no han de considerarse como limitativas. Se pueden realizar adiciones, omisiones, sustituciones y otras modificaciones sin salirse del alcance de la presente invención, como se define por las reivindicaciones. Por consiguiente, no debe considerarse que la invención está limitada por la descripción anterior.

## REIVINDICACIONES

1. Un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto (10) para una colada electromagnética, comprendiendo el crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto:

5 un volumen de crisol a cuyo interior se puede alimentar una carga para el calentamiento inductivo y la fusión, y la solidificación posterior dentro del volumen de crisol para formar un lingote en el fondo abierto del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto, estando el volumen de crisol formado a partir de una pared (12) eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras, en donde la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras tiene una zona de pared perimetral (17) continua, eléctricamente conductora y no ranurada en el fondo abierto del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto;

10 al menos una bobina de inducción que rodea una parte de la altura del volumen de crisol para calentar inductivamente y fundir la carga en el volumen de crisol cuando una corriente alterna circula a través de dicha al menos una bobina de inducción; y

15 una pantalla magnética inferior (20) eléctricamente conductora está dispuesta alrededor del perímetro exterior de la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras, en una zona inferior del crisol adyacente a la zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada.

2. El crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto según la reivindicación 1, en donde la pantalla magnética inferior eléctricamente conductora comprende un anillo aplanado de cobre conformado rectangularmente.

3. El crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto según la reivindicación 1 o 2, en donde la pantalla magnética inferior eléctricamente conductora está refrigerada por agua.

20 4. El crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto según la reivindicación 3, en donde un medio de refrigeración se hace circular a través de un conducto (22) fijado a la pantalla magnética inferior eléctricamente conductora.

25 5. El crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde dicha al menos una bobina de inducción comprende una bobina de inducción superior (16a) y una inferior (16b) dispuestas adyacentes entre sí en la parte de la altura del volumen de crisol, estando las bobinas de inducción superior e inferior separadas entre sí por una pantalla magnética entre bobinas (18).

6. Un método para colar electromagnéticamente un lingote (90) en un crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto (10), comprendiendo el método las etapas de:

suministrar una carga de un material de lingote previo a un volumen de crisol formado a partir de una pared (12) eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras que tiene una zona de pared perimetral (17) continua, eléctricamente conductora y no ranurada en el fondo abierto del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto;

30 generar, exterior a la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras, al menos un campo de flujo magnético alrededor de una parte de la altura de la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras, penetrando dicho al menos un campo de flujo magnético en el volumen de crisol para calentar inductivamente y fundir la carga del material de lingote previo dentro del volumen de crisol para formar una composición fundida de lingote previo dentro del volumen de crisol;

35 solidificar, al menos parcialmente, la composición fundida de lingote previo dentro del volumen de crisol para formar el lingote en el fondo abierto del crisol frío de inducción eléctrica con fondo abierto; e

40 impedir que dicho al menos un campo de flujo magnético penetre en la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras adyacente a la zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada.

45 7. El método según la reivindicación 6, en donde la etapa de impedir que dicho al menos un campo de flujo magnético penetre en la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras adyacente a la zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada comprende además la etapa de situar un anillo aplanado de cobre conformado rectangularmente alrededor del perímetro exterior de la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras en una zona inferior del crisol adyacente a la zona de pared perimetral continua, eléctricamente conductora y no ranurada.

8. El método según la reivindicación 7, que incluye la etapa de refrigerar el anillo aplanado de cobre conformado rectangularmente.

50 9. El método según la reivindicación 8, que incluye la etapa de hacer circular un medio de refrigeración a través de un paso dentro de la pantalla magnética inferior eléctricamente conductora o fijado a la misma.

10. El método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en donde la etapa de generar, exterior a la pared

eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras, al menos un campo de flujo magnético alrededor de una parte de la altura de la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras comprende además generar un primer y un segundo campos de flujo magnético a partir de corriente alterna que circula, respectivamente, a través de unas bobinas de inducción superior e inferior que rodean una parte exterior de la pared eléctricamente conductora, refrigerada por agua y segmentada con ranuras mediante las bobinas de inducción superior e inferior dispuestas adyacentes entre sí y separadas entre sí por una pantalla magnética entre bobinas.

- 5            11. El método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, que incluye la etapa de encerrar el horno de inducción eléctrica con fondo abierto en una cuba de horno sellable.
- 10          12. El método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, en donde el lingote comprende un lingote de silicio y el material de lingote previo comprende un material de silicio.

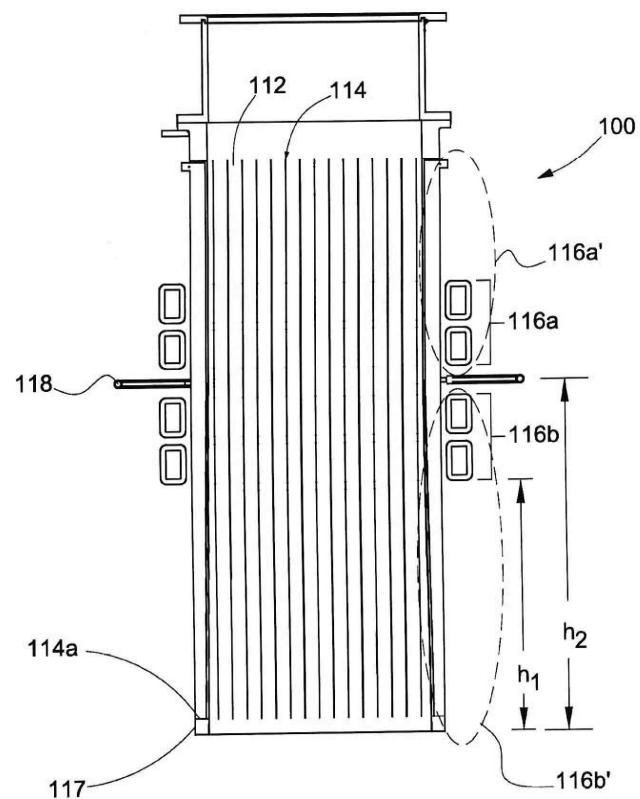


FIG. 1(a)

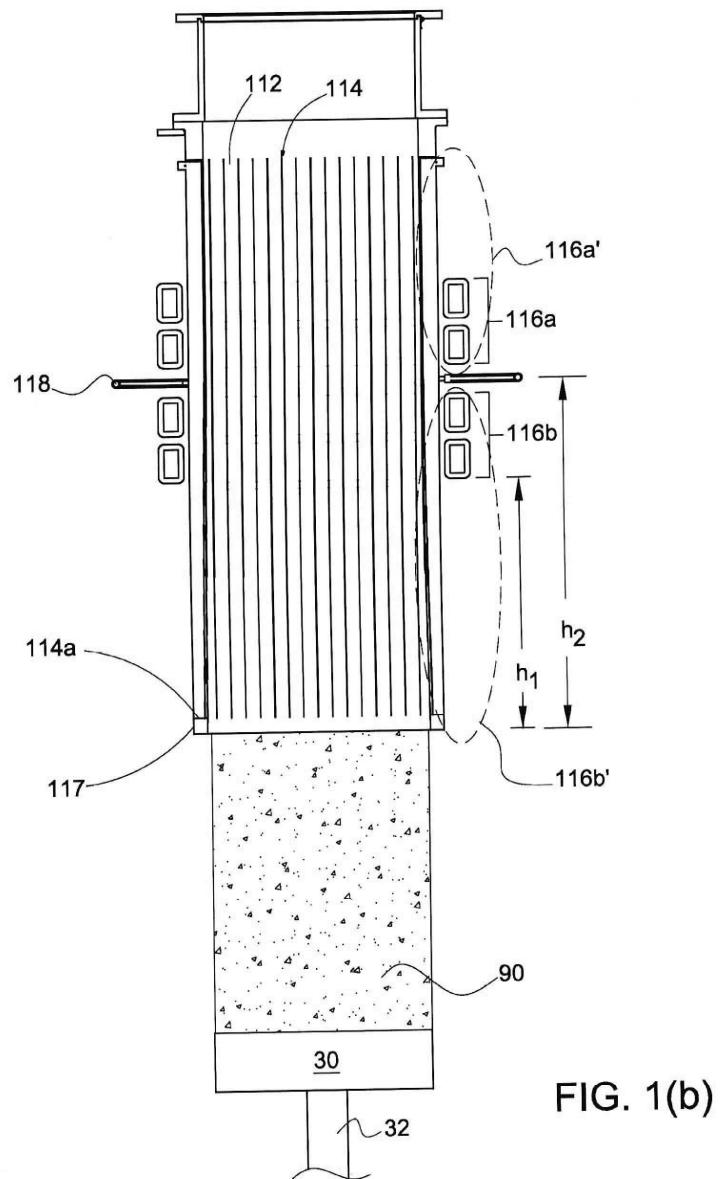


FIG. 1(b)

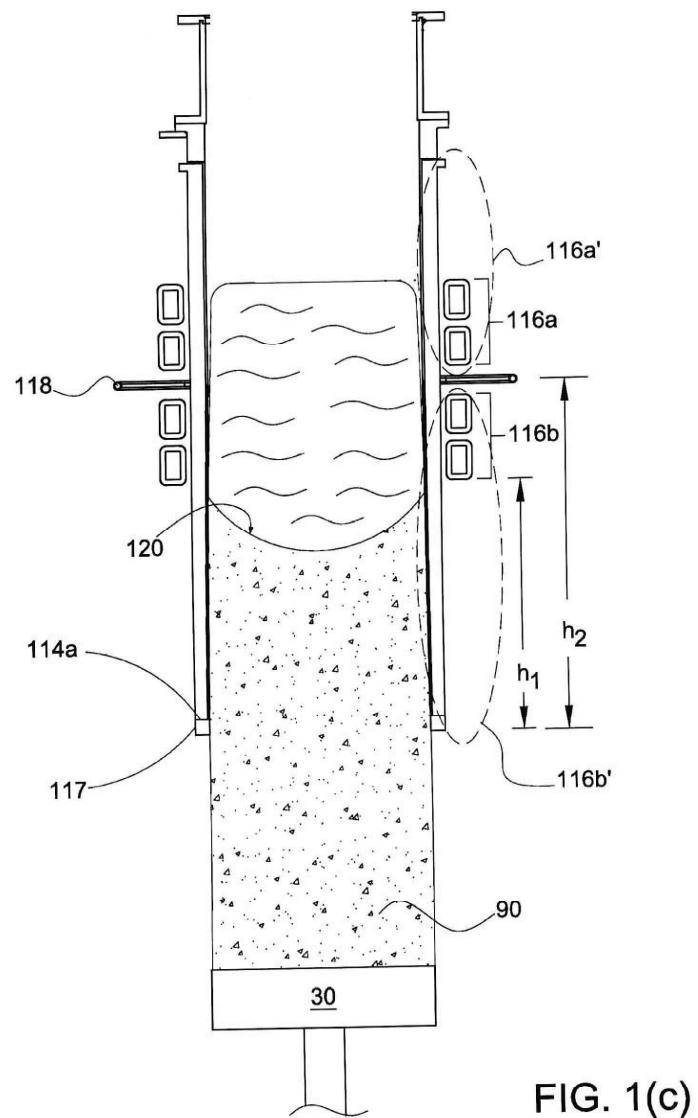


FIG. 1(c)

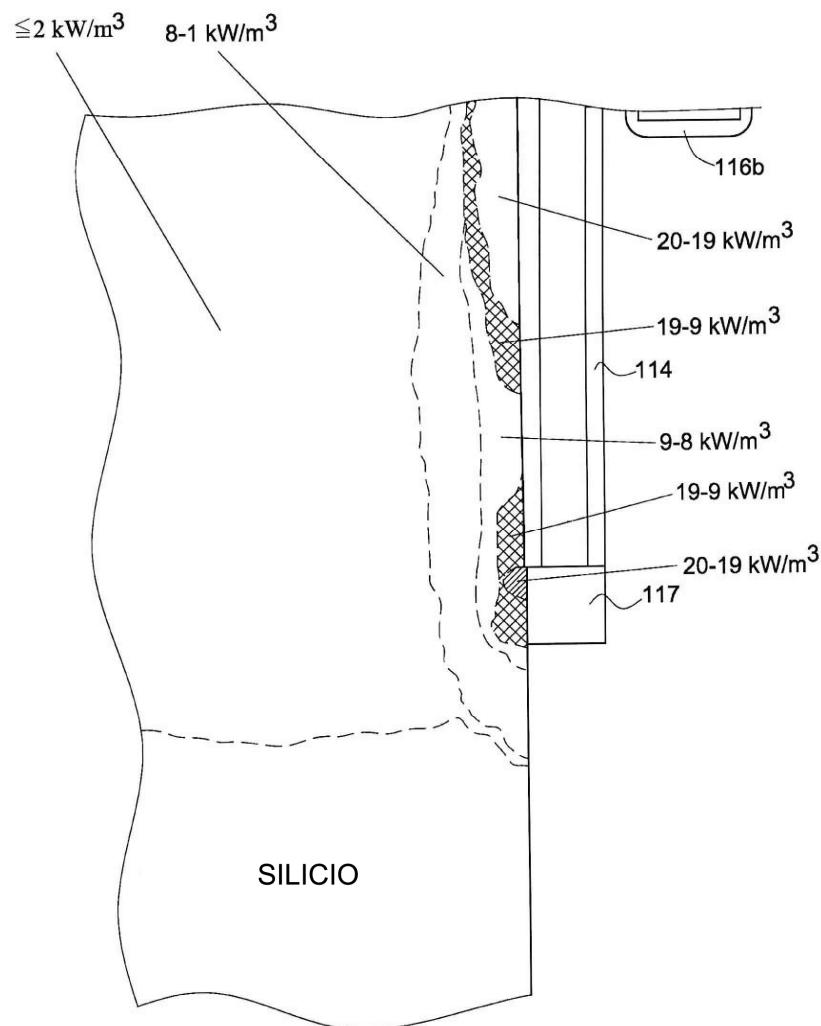


FIG. 1(d)

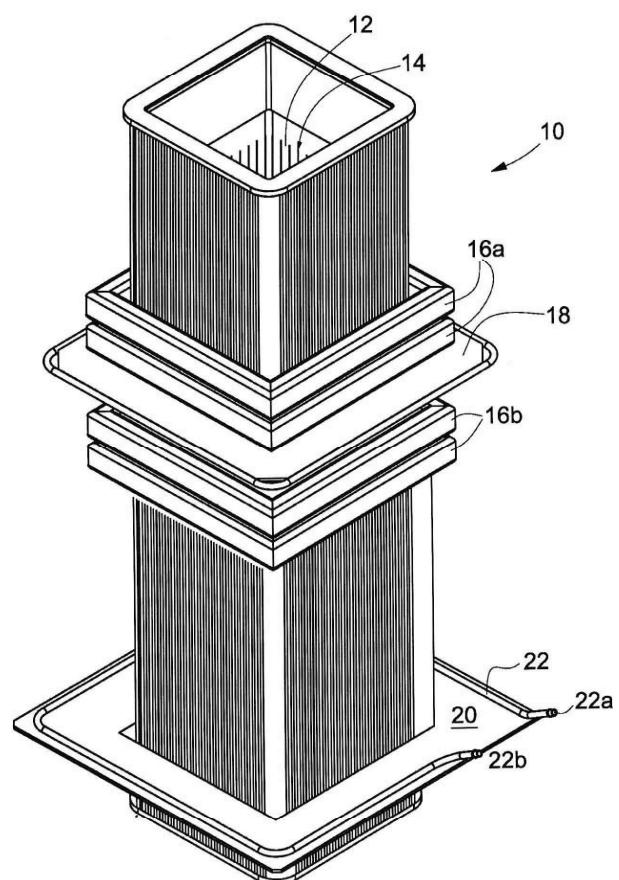
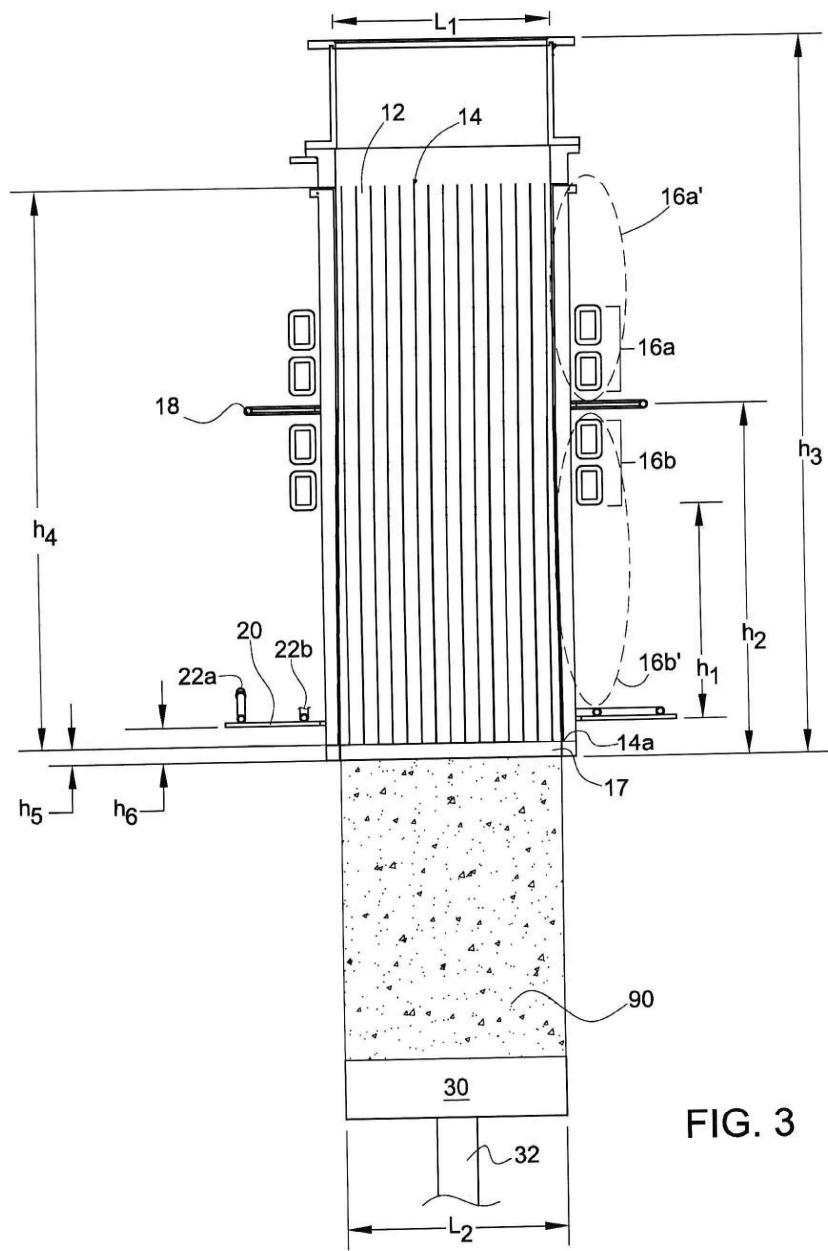
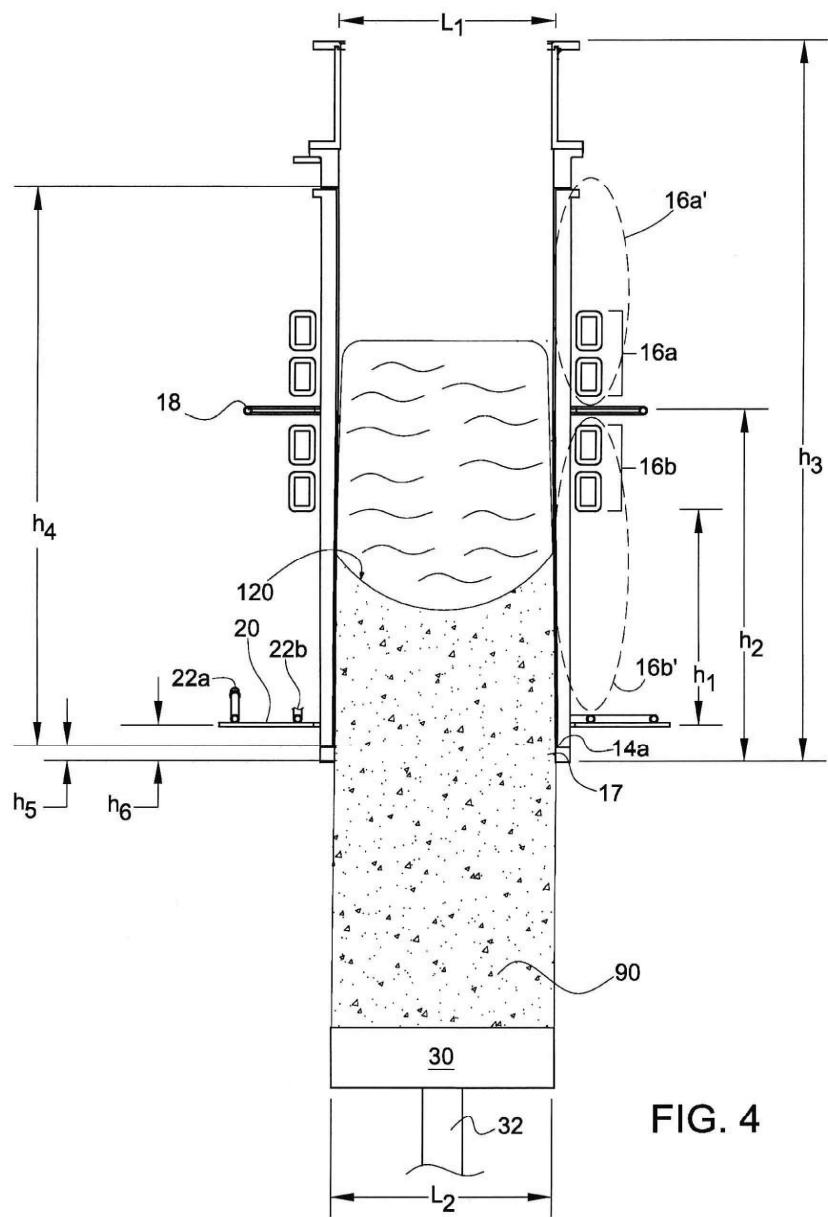


FIG. 2





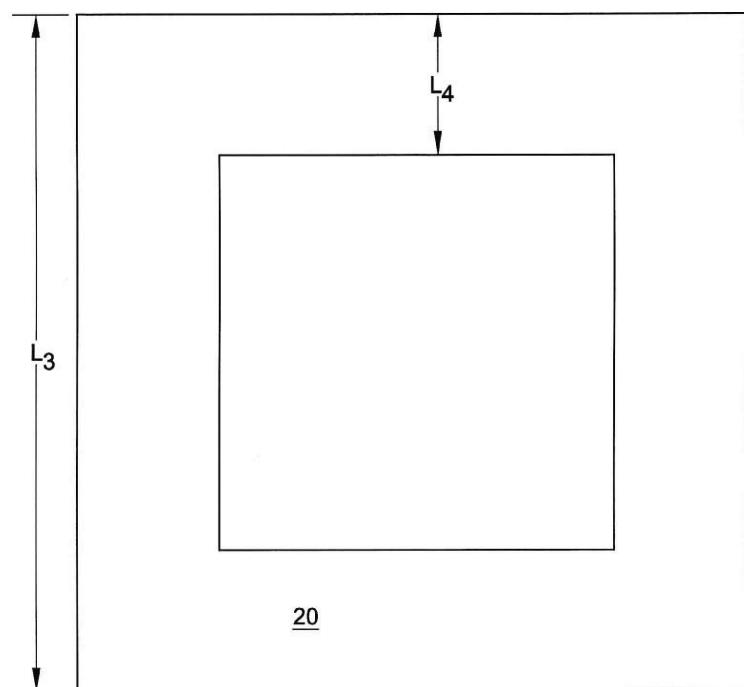


FIG. 5(a)

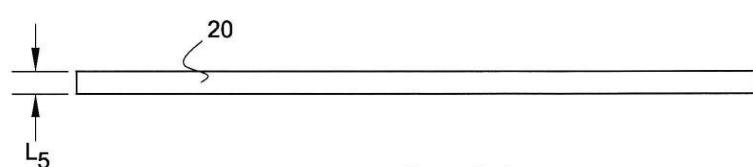


FIG. 5(b)

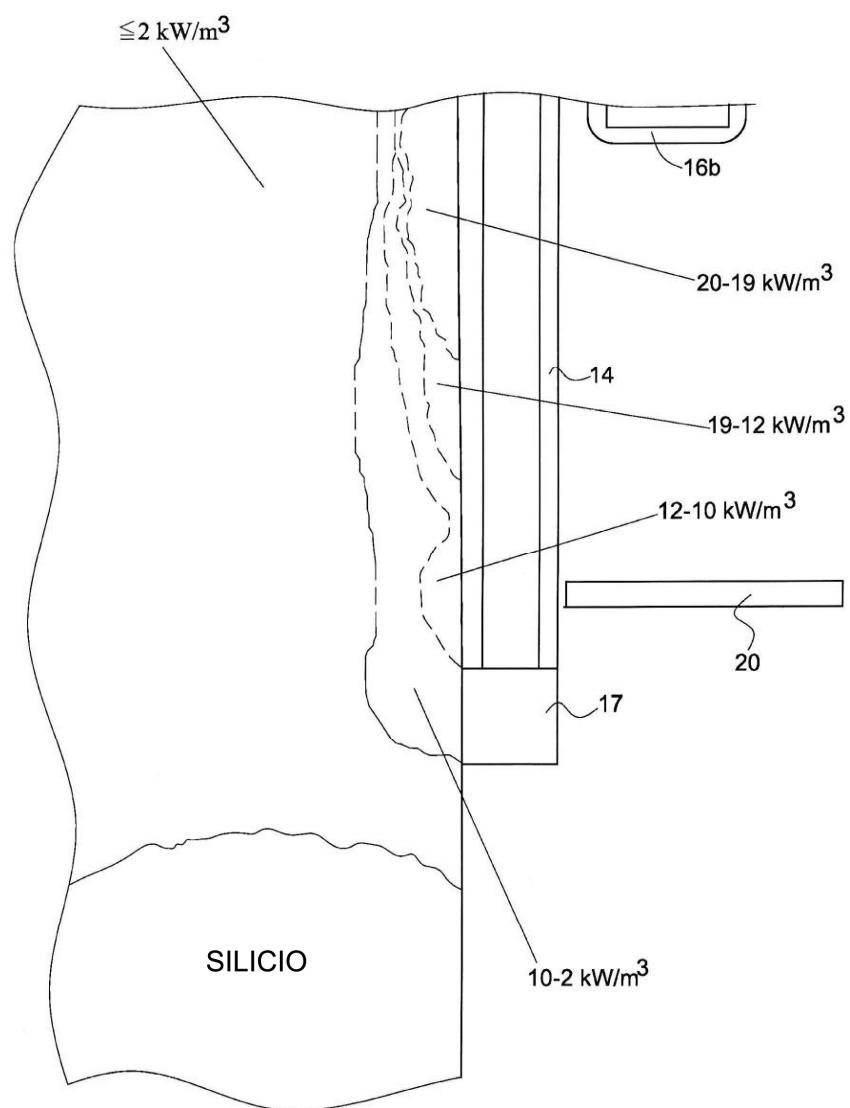


FIG. 6