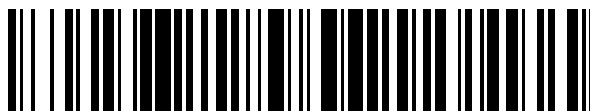


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 936**

51 Int. Cl.:

B22D 11/04	(2006.01)
B22D 11/22	(2006.01)
C22B 9/22	(2006.01)
B22D 11/00	(2006.01)
B22D 11/103	(2006.01)
B22D 11/114	(2006.01)
B22D 1/00	(2006.01)
B22D 21/00	(2006.01)
B22D 35/06	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.02.2016 PCT/US2016/017092**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2016 WO16130510**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2016 E 16749686 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 3256275**

54 Título: **Refinado de grano por ultrasonidos**

30 Prioridad:

09.02.2015 US 201562113882 P

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

02.10.2020

73 Titular/es:

**HANS TECH, LLC (100.0%)
426 Lagrange Street
West Lafayette, IN 47906, US**

72 Inventor/es:

**HAN, QINGYOU;
SHAO, LU y
XU, CLAUSE**

74 Agente/Representante:

VIDAL GONZÁLEZ, Maria Ester

ES 2 784 936 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

Refinado de grano por ultrasonidos

5 **Antecedentes de la Invención****Campo**

10 La presente invención se relaciona con un procedimiento de producción de piezas fundidas metálicas con un tamaño de grano controlado, un sistema de producción de piezas fundidas metálicas y productos obtenidos por las piezas fundidas metálicas.

Descripción de la técnica relacionada

15 Se ha realizado un esfuerzo considerable en el campo metalúrgico para desarrollar técnicas para colar metal fundido en varillas de metal continuas o productos fundidos. Tanto la colada por lotes como la colada continua están bien desarrolladas. Hay una serie de ventajas de la colada continua sobre la colada por lotes, aunque ambas se usan de manera prominente en la industria.

20 En la producción continua de fundición de metal, el metal fundido pasa de un horno de retención a una serie de artesas y al molde de una rueda de moldeo donde se funde en una barra de metal. La barra de metal solidificado se retira de la rueda de moldeo y se dirige a un tren de laminación donde se enrolla en una varilla continua. En dependencia del uso final previsto del producto y la aleación de la varilla metálica, la varilla puede someterse a enfriamiento durante el laminado o la varilla puede enfriarse o templarse inmediatamente tras salir del tren de laminación para impartir a la
25 misma las propiedades mecánicas y físicas deseadas. Técnicas tales como las descritas en la patente de Estados Unidos núm. 3,395,560 de Cofer y otros se han usado para procesar continuamente un producto de varilla o barra de metal.

30 La solicitud de patente de Estados Unidos núm. 3,938,991 de Jackson y otros muestra que ha habido un problema reconocido desde hace mucho tiempo con la fundición de productos metálicos "puros" cuando el producto fundido. Por fundición de metales "puros", este término se refiere a un metal o una aleación de metal formada por los elementos metálicos primarios diseñados para una conductividad particular o resistencia a la tracción o ductilidad sin incluir impurezas separadas agregadas con el propósito de controlar el grano.

35 El refinado de granos es un proceso por el cual el tamaño de cristal de la fase recién formada se reduce por medios o bien químicos o físicos/mecánicos. Los refinadores de granos generalmente se agregan al metal fundido para reducir significativamente el tamaño de grano de la estructura solidificada durante el proceso de solidificación o el proceso de transición de fase líquida a sólida.

40 De hecho, una solicitud de patente de la OMPI el documento WO/2003/033750 de Boily y otros describe el uso específico de "refinadores de grano". La solicitud '750 describe en su sección de antecedentes que, en la industria del aluminio, generalmente se incorporan diferentes refinadores de grano en el aluminio para formar una aleación madre. Las aleaciones madres típicas para el uso en la fundición de aluminio comprenden de 1 a 10 % de titanio y de 0,1 a 5 % de boro o carbono, el resto que consiste esencialmente de aluminio o magnesio, con partículas de TiB_2 o TiC se
45 dispersa por toda la matriz de aluminio. De acuerdo con la solicitud '750, se pueden producir aleaciones madres que contienen titanio y boro al disolver las cantidades requeridas de titanio y boro en una masa fundida de aluminio. Esto se logra al hacer reaccionar el aluminio fundido con KBF_4 y K_2TiF_6 a temperaturas superiores a 800 °C. Estas sales de haluro complejas reaccionan rápidamente con aluminio fundido y proporcionan titanio y boro a la masa fundida.

50 La solicitud '750 también describe que, a partir de 2002, esta técnica se usó para producir aleaciones madres comerciales por casi todas las compañías de fabricación de refinadores de granos. Los refinadores de granos frecuentemente denominados como agentes de nucleación todavía se usan hoy en día. Por ejemplo, un proveedor comercial de una aleación madre Tibor describe que el control estricto de la estructura de fundición es un requisito importante en la producción de productos de aleación de aluminio de alta calidad.

55 La patente alemana DE 933 779 divulga un dispositivo de fundición que tiene un molde, en el que una capa de líquido de enfriamiento en la pared interna de un molde se diseña como un conductor sónico, y en el que el elemento generador de sonido se dispone dentro de la carcasa del molde de manera que pueda enfriarse bien, y en que, por lo tanto, el sonido se irradia radialmente a través de la capa de líquido de enfriamiento hacia la masa fundida.

60 El documento CN 101 633 035 A divulga un cristizador metálico que adopta un refuerzo de cavitación por ondas ultrasónicas y un procedimiento de enfriamiento del mismo, que se usan para los campos técnicos de la cristalización de colada continua, y similares de acero y metales no ferrosos.

65 El documento CN 103 722 139 A se refiere al campo técnico de la lechada semisólida, en particular a un dispositivo de lechada semisólida y un dispositivo de fabricación de tableros compuestos que usa el dispositivo de lechada semisólida.

Antes de esta invención, los refinadores de grano eran reconocidos como la manera más efectiva de proporcionar una estructura uniforme de grano bruto de colada. Las siguientes referencias proporcionan detalles de este trabajo de fondo:

- 5 Abramov, O. V., (1998), "High-Intensity Ultrasonics, " Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, Países Bajos, págs. 523-552 .
- Alcoa, (2000), "New Process for Grain Refinement of Aluminum, " DOE Project Final Report, núm. de contrato DE-FC07-98ID13665, 22 de septiembre de 2000 .
- 10 Cui, Y., Xu, C.L. and Han, Q., (2007), "Microstructure Improvement in Weld Metal Using Ultrasonic Vibrations, Advanced Engineering Materials," v. 9, núm. 3, págs. 161-163 .
- Eskin, G.I., (1998), "Ultrasonic Treatment of Light Alloy Melts, " Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, Países Bajos. .
- Eskin, G.I. (2002) "Effect of Ultrasonic Cavitation Treatment of the Melt on the Microstructure Evolution during Solidification of Aluminum Alloy Ingots, " Zeitschrift Fur Metallkunde/Materials Research and Advanced Techniques, v.93, num. 6, junio de 2002, págs. 502-507 .
- 15 Greer, A.L., (2004), "Grain Refinement of Aluminum Alloys," in Chu, M.G., Granger, D.A., and Han, Q., (eds.), " Solidification of Aluminum Alloys, " Proceedings of a Symposium Sponsored by TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), TMS, Warrendale, PA 15086-7528, págs. 131-145 .
- Han, Q., (2007), "The Use of Power Ultrasound for Material Processing," Han, Q., Ludtka, G. y Zhai, Q., (eds), (2007), "Materials Processing under the Influence of External Fields," Proceedings of a Symposium Sponsored by TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), TMS, Warrendale, PA 15086-7528, págs. 97-106 .
- 20 Jackson, K.A., Hunt, J.D., and Uhlmann, D.R., and Seward, T.P., (1966), "On Origin of Equiaxed Zone in Castings, " Trans. Metall Soc. AIME, v. 236, págs.149-158 .
- Jian, X., Xu, H., Meek, T. T., and Han, Q., (2005), "Effect of Power Ultrasound on Solidification of Aluminum A356 Alloy," Materials Letters, v. 59, núm. 2-3, págs. 190-193.
- 25 Keles, O. y Dundar, M., (2007). "Aluminum Foil: Its Typical Quality Problems and Their Causes, " Journal of Materials Processing Technology, v. 186, págs.125-137 .
- Liu, C., Pan, Y., and Aoyama, S., (1998), Proceedings of the 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Eds.: Bhasin, AK, Moore, JJ, Young, KP, y Madison, S., Colorado School of Mines, Golden, CO, págs. 439-447 .
- 30 Megy, J., (1999), "*Molten Metal Treatment*, " Patente de Estados Unidos núm. 5,935,295 Agosto de 1999
- Megy, J., Granger, D.A., Sigworth, G.K., and Durst, C.R., (2000), "Effectiveness of In-Situ Aluminum Grain Refining Process, " Light Metals, págs.1-6 .
- 35 Cui y otros, "Microstructure Improvement in Weld Metal Using Ultrasonic Vibrations," Advanced Engineering Materials, 2007, vol. 9, núm. 3, págs. 161-163 .
- Han y otros, "Grain Refining of Pure Aluminum", Light Metals 2012, págs. 967-971 .

Breve Descripción de la Invención

40 En una realización de la presente invención, se proporciona un dispositivo de procesamiento de metal fundido que incluye una estructura de contención de metal fundido para la recepción y transporte de metal fundido a lo largo de una longitud longitudinal del mismo. El dispositivo incluye además una unidad de enfriamiento para la estructura de contención que incluye un canal de enfriamiento para el paso de un medio líquido en el mismo, y una sonda ultrasónica dispuesta en el canal de enfriamiento de manera que las ondas ultrasónicas se acoplen a través del medio líquido en el canal de enfriamiento y a través de la estructura de contención de metal fundido en el metal fundido.

50 En una realización de la presente invención, se proporciona un procedimiento para formar un producto de metal. El procedimiento transporta metal fundido a lo largo de una longitud longitudinal de una estructura de contención de metal fundido. El procedimiento enfría la estructura de contención de metal fundido mediante el paso de un medio a través de un canal de enfriamiento acoplado térmicamente a la estructura de contención de metal fundido, y acopla ondas ultrasónicas a través del medio en el canal de enfriamiento y a través de la estructura de contención de metal fundido al metal fundido a través de una sonda ultrasónica dispuesta en el canal de enfriamiento.

55 En una realización de la presente invención, se proporciona un sistema para formar un producto de metal. El sistema incluye 1) el dispositivo de procesamiento de metal fundido descrito anteriormente y 2) un controlador que incluye entradas de datos y salidas de control, y se programa con control lo que permite la operación de las etapas del procedimiento descritas anteriormente.

60 En una realización de la presente invención, se proporciona un producto de metal que incluye una composición metálica fundida que tiene tamaños de grano submilimétricos y que incluye menos del 0,5 % de refinadores de grano en el mismo.

65 Debe entenderse que tanto la descripción general anterior de la invención y la siguiente descripción detallada son ejemplares, pero no son restrictivas de la invención. La presente invención y el ámbito de la misma se define por las reivindicaciones adjuntas. La descripción más genérica de la invención se proporciona únicamente con fines ilustrativos. Las realizaciones que no se incluyen en estas reivindicaciones son solo para fines de referencia.

Breve descripción de los dibujos

- Una apreciación más completa de la invención y muchas de las ventajas consiguientes de la misma se obtendrán más fácilmente cuando la misma se entienda mejor como referencia a la siguiente descripción detallada cuando se considere junto con los dibujos acompañantes, en la que:
- La Figura 1A es un esquema de un canal de colada de acuerdo con una realización de la invención;
 La Figura 1B es una representación fotográfica de la base de un canal de colada de acuerdo con una realización de la invención;
 La Figura 1C es una representación fotográfica compuesta de la base de un canal de colada de acuerdo con una realización de la invención;
 La Figura 1D es una representación esquemática de dimensiones ilustrativas para una realización de un canal de colada;
 La Figura 2 es una representación fotográfica de un molde de acuerdo con una realización de la invención;
 La Figura 3A es un esquema de un tren de colada continua de acuerdo con una realización de la invención;
 La Figura 3B es un esquema de otro tren de colada continua de acuerdo con una realización de la invención;
 La Figura 4A es una micrografía que muestra macroestructuras presentes en un lingote de aluminio;
 La Figura 4B es otra micrografía que muestra macroestructuras presentes en un lingote de aluminio;
 La Figura 4C es otra micrografía que muestra macroestructuras presentes en un lingote de aluminio;
 La Figura 4D es otra micrografía que muestra macroestructuras presentes en un lingote de aluminio;
 La Figura 5 es un gráfico que representa el tamaño de grano en función de la temperatura de fundición;
 La Figura 6A es una micrografía que representa la macroestructura presente en un lingote de aluminio; preparado en las condiciones descritas en la presente memoria;
 La Figura 6B es otra micrografía que representa la macroestructura presente en un lingote de aluminio; preparado en las condiciones descritas en la presente memoria;
 La Figura 6C es otra micrografía que representa la macroestructura presente en un lingote de aluminio; preparado en las condiciones descritas en la presente memoria;
 La Figura 7 es otro gráfico que representa el tamaño de grano en función de la temperatura de fundición;
 La Figura 8 es otro gráfico que representa el tamaño de grano en función de la temperatura de fundición;
 La Figura 9 es otro gráfico que representa el tamaño de grano en función de la temperatura de fundición;
 La Figura 10 es otro gráfico que representa el tamaño de grano en función de la temperatura de fundición;
 La Figura 11A es una micrografía que muestra macroestructuras presentes en un lingote de aluminio; preparado en las condiciones descritas en la presente memoria;
 La Figura 11B es otra micrografía que muestra macroestructuras presentes en un lingote de aluminio; preparado en las condiciones descritas en la presente memoria;
 La Figura 11C es una representación esquemática de dimensiones ilustrativas para una realización de los canales de colada;
 La Figura 11D es una representación esquemática de dimensiones ilustrativas para una realización de los canales de colada;
 La Figura 12 es otro gráfico que representa el tamaño de grano en función de las temperaturas de colada;
 La Figura 13A es otra representación esquemática de dimensiones ilustrativas para una realización de un canal de colada;
 La Figura 13B es otro gráfico que representa el tamaño de grano en función de las temperaturas de colada;
 La Figura 14 es un esquema de una máquina de colada continua de acuerdo con una realización de la invención;
 La Figura 15A es un esquema en sección transversal de un componente de un tren de colada vertical;
 La Figura 15B es un esquema en sección transversal de otro componente de un tren de colada vertical;
 La Figura 15C es un esquema en sección transversal de otro componente de un tren de colada vertical;
 La Figura 15D es un esquema en sección transversal de otro componente de un tren de colada vertical;
 La Figura 16 es un esquema de un sistema informático ilustrativo para los controles y controladores representados en la presente memoria;
 La Figura 17 es un diagrama de flujo que representa un procedimiento de acuerdo con una realización de la invención.

55 Descripción detallada

El refinado de granos de metales y aleaciones es importante por muchas razones, que incluyen maximizar la velocidad de colada en lingotes, mejorar la resistencia al desgarre en caliente, minimizar la segregación elemental, mejorar las propiedades mecánicas, particularmente la ductilidad, mejorar las características de acabado de los productos forjados y aumentar las características de llenado del molde, y disminuir la porosidad de las aleaciones de fundición. Usualmente, el refinado de granos es una de las primeras etapas de procesamiento para la producción de productos de metal y aleaciones, especialmente aleaciones de aluminio y aleaciones de magnesio, que son dos de los materiales livianos usados cada vez más en la industria aeroespacial, de defensa, automotriz, de construcción y empaque. El refinado de granos también es una etapa de procesamiento importante para hacer que los metales y las aleaciones se puedan colar mediante la eliminación de granos columnares y la formación de granos equiaxiales. Todavía, antes de esta invención, el uso de impurezas o "refinadores de granos" químicos era la única manera de abordar el problema reconocido desde

hace mucho tiempo en la industria de fundición de metales de formación de granos columnares en fundiciones de metales.

Aproximadamente el 68 % del aluminio producido en los Estados Unidos se cuela primero en lingotes antes de su posterior procesamiento en láminas, placas, extrusiones o papel de aluminio. El proceso de colada semicontinua con enfriamiento directo (DC) y el proceso de colada continua (CC) han sido el pilar de la industria del aluminio debido en gran medida a su naturaleza robusta y relativa simplicidad. Un problema con los procesos DC y CC es la formación de desgarres en caliente o la formación de grietas durante la solidificación del lingote. Básicamente todos los lingotes se agrietarían (o no se fundirían) sin el uso del refinado de granos.

Aun así, las tasas de producción de estos procesos modernos están limitadas por las condiciones para evitar la formación de grietas. El refinado de granos es una manera efectiva de reducir la tendencia al desgarre en caliente de una aleación y, por lo tanto, aumentar las tasas de producción. Como resultado, se ha concentrado una gran cantidad de esfuerzo en el desarrollo de refinadores de granos potentes que pueden producir tamaños de granos tan pequeños como sea posible. La superplasticidad se puede lograr si el tamaño de grano se puede reducir al nivel submicrométrico, lo que permite que las aleaciones no solo se cuele a velocidades mucho más rápidas, sino que también se laminen/extrudan a temperaturas más bajas a velocidades mucho más rápidas que los lingotes que se procesan hoy en día, lo que conduce a importantes ahorros de costos y ahorros de energía.

En la actualidad, casi todos los moldes de aluminio en el mundo, ya sea de chatarra primaria (aproximadamente 20 mil millones de kg) o secundaria e interna (25 mil millones de kg) son granos refinados con núcleos heterogéneos de núcleos insolubles de TiB_2 de aproximadamente unas pocas micras de diámetro, que nuclean una estructura de grano fino en aluminio. Una cuestión relacionada con el uso de refinadores químicos de granos es la capacidad limitada de refinado de granos. Además, el uso de refinadores químicos de granos causa una disminución limitada en el tamaño de grano de aluminio, desde una estructura columnar con dimensiones de granos lineales de algo más de $2.500\ \mu m$, hasta granos equiaxiales de menos de $200\ \mu m$. Los granos equiaxiales de $100\ \mu m$ en aleaciones de aluminio parecen ser el límite que se puede obtener mediante el uso de los refinadores químicos de granos disponibles comercialmente.

Es ampliamente reconocido que la productividad puede incrementarse significativamente si el tamaño de grano puede reducirse aún más. El tamaño de grano en el nivel submicrométrico conduce a una superplasticidad que hace que la formación de aleaciones de aluminio sea mucho más fácil a temperatura ambiente.

Otro tema relacionado con el uso de refinadores químicos de granos es la formación de defectos asociados con el uso de refinadores de granos. Aunque en la técnica anterior se considera necesario para el refinado del grano, las partículas extrañas insolubles son indeseables de cualquier otra manera en el aluminio, particularmente en forma de aglomerados de partículas ("conglomerados"). Los refinadores de granos actuales, que están presentes en forma de compuestos en aleaciones madres a base de aluminio, se producen por una cadena complicada de procesos de minería, beneficio y fabricación. Las aleaciones madres usadas ahora frecuentemente contienen sal de fluoruro de aluminio y potasio (KAIF) e impurezas de óxido de aluminio (escoria) que surgen del proceso de fabricación convencional de los refinadores de granos de aluminio. Estos provocan defectos locales en el aluminio (por ejemplo, "goteras" en latas de bebidas y "picaduras" en láminas delgadas), abrasión de máquinas herramienta y problemas de acabado superficial en aluminio. Los datos de una de las compañías de cable de aluminio indican que el 25 % de los defectos de producción se deben a aglomerados de partículas de TiB_2 , y otro 25 % de los defectos se debe a la escoria atrapada en el aluminio durante el proceso de colada. Los aglomerados de partículas de TiB_2 a menudo rompen los alambres durante la extrusión, especialmente cuando el diámetro de los alambres es más pequeño que 8 mm.

Otro tema relacionado con el uso de refinadores químicos de granos es el costo de los refinadores de granos. Esto es extremadamente cierto para la producción de lingotes de magnesio mediante el uso de refinadores de grano Zr. El refinado de granos que usa refinadores de granos Zr cuesta aproximadamente \$ 1 extra por kilogramo de colada de Mg producida. Los refinadores de granos para aleaciones de aluminio cuestan alrededor de \$ 1,50 por kilogramo.

Otro problema relacionado con el uso de refinadores químicos de granos es la conductividad eléctrica reducida. El uso de refinadores químicos de granos introduce una cantidad excesiva de Ti en aluminio, provoca una disminución sustancial en la conductividad eléctrica del aluminio puro para aplicaciones de cable. Para mantener cierta conductividad, las empresas tienen que pagar dinero extra para usar aluminio más puro para fabricar cables y alambres.

En el siglo pasado se han explorado otros procedimientos de refinado de granos, además de los procedimientos químicos. Estos procedimientos incluyen el uso de campos físicos, tales como los campos magnéticos y electromagnéticos, y el uso de vibraciones mecánicas. La vibración ultrasónica de alta intensidad y baja amplitud es uno de los mecanismos físicos/mecánicos que se ha demostrado para el refinado de granos de metales y aleaciones sin el uso de partículas extrañas. Sin embargo, los resultados experimentales, tales como los de Cui y otros, 2007 mencionados anteriormente, se obtuvieron en pequeños lingotes de hasta unas pocas libras de metal sometidos a un corto período de tiempo de vibración ultrasónica. Se ha realizado un pequeño esfuerzo en el refinado de granos de lingotes/palanquillas de colada CC o DC mediante el uso de vibraciones ultrasónicas de alta intensidad.

Los desafíos técnicos abordados en la presente invención para el refinado de granos son (1) el acoplamiento de energía ultrasónica al metal fundido durante tiempos prolongados, (2) mantener las frecuencias de vibración natural del sistema a temperaturas elevadas y (3) aumentar la eficiencia de refinado del grano del refinado ultrasónico del grano cuando la temperatura de la guía de ondas ultrasónicas es alta. El enfriamiento mejorado tanto para la guía de ondas ultrasónicas como para el lingote (como se describe a continuación) es una de las soluciones presentadas aquí para abordar estos desafíos.

Además, otro desafío técnico abordado en la presente invención se refiere al hecho de que, cuanto más puro es el aluminio, más difícil es obtener granos equiaxiales durante el proceso de solidificación. Incluso con el uso de refinadores externos de grano tal como TiB (boruro de titanio) en aluminio puro, tales como las series 1000, 1100 y 1300 de aluminio, sigue siendo difícil obtener una estructura de grano equiaxial. Sin embargo, mediante el uso de la nueva tecnología de refinado de granos descrita en la presente memoria, se ha obtenido una estructura de granos equiaxiales.

La presente invención suprime el problema de la formación de grano columnar sin la necesidad de introducir refinadores de grano. Los inventores han descubierto sorprendentemente que el uso de la aplicación controlada de vibraciones ultrasónicas al metal fundido a medida que se vierte en la fundición permite la realización de tamaños de grano comparables o más pequeños que los obtenidos con refinadores de grano de última generación tal como aleación madre de TiBor.

En un aspecto de la invención, se obtienen granos equiaxiales dentro del producto fundido sin la necesidad de agregar partículas de impurezas, tales como boruro de titanio, al metal o aleación de metal para aumentar la cantidad de granos y mejorar la solidificación heterogénea uniforme. En lugar de usar los agentes de nucleación, pueden usarse vibraciones ultrasónicas para crear sitios de nucleación. Específicamente, como se explica con más detalle a continuación, las vibraciones ultrasónicas se combinan con un medio líquido para afinar los granos en metales y aleaciones metálicas, y crear granos equiaxiales.

Para comprender la morfología de un grano equiaxial, considere el crecimiento convencional del grano de metal en el que las dendritas crecen unidimensionalmente y se forman granos alargados. Estos granos alargados se denominan como granos columnares. Si un grano crece libremente en todas las direcciones, se forma un grano equiaxial. Cada grano equiaxial contiene 6 dendritas primarias que crecen perpendicularmente. Estas dendritas pueden crecer a una velocidad idéntica. En cuyo caso, los granos aparecen más esféricos, si se ignoran las características dendríticas detalladas dentro del grano.

En una realización de la presente invención, una estructura de canal 2 (es decir, una estructura de contención) como se muestra en la Figura 1A transporta metal fundido a un molde de colada (no se muestra en la Figura 1A) tal como, por ejemplo, la rueda de moldeo detallada a continuación. La estructura de canal 2 incluye paredes laterales 2a que contienen el metal fundido y una placa inferior 2b. Las paredes laterales 2a y la placa inferior 2b pueden ser entidades separadas como se muestra o pueden ser una unidad integrada. Debajo de la placa inferior 2b hay un paso del medio líquido 2c que en funcionamiento se llena con un medio líquido. Además, estos dos elementos pueden ser integrales como en un objeto fundido.

Una sonda de onda ultrasónica 2d (o sonotrodo o radiador ultrasónico) se dispone acoplada al paso del medio líquido 2c de un transductor ultrasónico que proporciona vibraciones ultrasónicas (UV) a través del medio líquido y a través de la placa inferior 2b hacia el metal líquido. En una realización de la invención, la sonda de onda ultrasónica 2d se inserta en el paso del medio líquido 2c. En una realización de la invención, se puede insertar más de una sonda de ondas ultrasónicas o una matriz de sondas de ondas ultrasónicas en el paso del medio líquido 2c. En una realización de la invención, la sonda de ondas ultrasónicas 2d se une a una pared del paso del medio líquido 2c. Si bien no está sujeto a ninguna teoría en particular, una cantidad relativamente pequeña de subenfriamiento (por ejemplo, menos de 10 °C) en el fondo del canal da como resultado que se forme una capa de pequeños núcleos de aluminio más puro. Las vibraciones ultrasónicas desde el fondo del canal crean estos núcleos de aluminio puro que luego se usan como agentes de nucleación durante la solidificación, lo que da como resultado una estructura de grano uniforme. En consecuencia, en una realización de la invención, el procedimiento de enfriamiento garantiza que una pequeña cantidad de subenfriamiento en el fondo del canal dé como resultado una capa de pequeños núcleos de aluminio. Las vibraciones ultrasónicas desde el fondo del canal dispersan estos núcleos y rompen las dendritas que se forman en la capa subenfriada. Estos núcleos de aluminio y fragmentos de dendritas se usan luego para formar granos equiaxiales en el molde durante la solidificación, lo que da como resultado una estructura de grano uniforme.

En otras palabras, las vibraciones ultrasónicas transmitidas a través de la placa inferior 2b y dentro del metal líquido crean sitios de nucleación en los metales o aleaciones metálicas para afinar el tamaño de grano. La placa inferior puede ser un metal refractario u otro material de alta temperatura tal como cobre, hierros y aceros, niobio, niobio y molibdeno, tantalito, tungsteno y renio, y aleaciones de los mismos que incluyen uno o más elementos tales como silicio, oxígeno o nitrógeno que puede extender los puntos de fusión de estos materiales. Además, la placa inferior puede ser una de varias aleaciones de acero, tales como por ejemplo, aceros con bajo contenido de carbono o acero H13.

En una realización de la presente invención, se proporciona una pared entre el metal fundido y la unidad de enfriamiento en la que el grosor de la pared es lo suficientemente delgado (como se detalla a continuación en los ejemplos) de

manera que, en la producción en estado estacionario, el metal fundido adyacente a esta pared se enfría por debajo de las temperaturas críticas para el metal en particular que se funde.

5 En una de las realizaciones de la presente invención, el sistema de vibración ultrasónica se usa para mejorar la transferencia de calor a través de la pared delgada entre el canal de enfriamiento y el metal fundido y para inducir la nucleación o romper las dendritas que se forman en el metal fundido adyacente a la pared delgada del canal de enfriamiento.

10 En las demostraciones a continuación, la fuente de vibraciones ultrasónicas proporcionó una potencia de 1,5 kW a una frecuencia acústica de 20 kHz. Esta invención no está restringida a esas potencias y frecuencias. Por el contrario, puede usarse una amplia gama de potencias y frecuencias, aunque los siguientes intervalos son de interés.

15 Potencia: En general, las potencias entre 50 y 5.000 W para cada sonotrodo, dependen de las dimensiones del sonotrodo o sonda. Estas potencias se aplican típicamente al sonotrodo para garantizar que la densidad de potencia al final del sonotrodo sea superior a 100 W/cm², que es el umbral para provocar cavitación en metales fundidos. Las potencias en esta área pueden variar de 50 a 5.000 W, 100 a 3.000 W, 500 a 2.000 W, 1.000 a 1.500 W o cualquier intervalo intermedio o de solapamiento. Son posibles potencias más altas para sonda/sonotrodo más grandes y potencias más bajas para sonda más pequeña.

20 Frecuencia: En general, puede usarse de 5 a 400 kHz (o cualquier intervalo intermedio). Alternativamente, puede usarse 10 y 30 kHz (o cualquier intervalo intermedio). Alternativamente, puede usarse 15 y 25 kHz (o cualquier intervalo intermedio). La frecuencia aplicada puede variar de 5 a 400 KHz, 10 a 30 kHz, 15 a 25 kHz, 10 a 200 KHz, o 50 a 100 kHz o cualquier intervalo intermedio o de solapamiento.

25 Además, la sonda ultrasónica/sonotrodo 2d puede construirse de manera similar a las sondas ultrasónicas usadas para la desgasificación de metal fundido como se describe en la patente de Estados Unidos núm. 8,5743,36.

30 En la Figura 1A, las dimensiones de la estructura de canal 2 se seleccionan de acuerdo con el flujo volumétrico de material a fundir. Las dimensiones del paso del medio líquido 2c se seleccionan de acuerdo con un caudal del medio de enfriamiento a través del canal para garantizar que el medio de enfriamiento permanezca sustancialmente en fase líquida. El medio líquido puede ser agua. El medio líquido también puede ser aceite, líquidos iónicos, metales líquidos, polímeros líquidos u otros líquidos minerales (inorgánicos). El desarrollo de vapor, por ejemplo, en el conducto de enfriamiento, puede degradar el acoplamiento de las ondas ultrasónicas en el metal fundido que se procesa. El grosor y la construcción del material de la placa inferior 2b se selecciona de acuerdo con la temperatura del metal fundido, el gradiente de temperatura a través del grosor de la placa inferior y la naturaleza de la pared subyacente del paso del medio líquido 2c. A continuación, se proporcionan más detalles con respecto a las consideraciones térmicas.

35 Las Figuras 1B y 1C son vistas en perspectiva de la estructura del canal 2 (sin las paredes laterales 2a) que muestran la placa inferior 2b, la entrada del paso del medio líquido 2c-1, la salida del paso del medio líquido 2c-2 y la sonda de onda ultrasónica 2d. La Figura 1D muestra las dimensiones asociadas con la estructura de canal 2 representada en las Figuras 1B y 1C.

40 Durante el funcionamiento, el metal fundido a una temperatura sustancialmente más alta que la temperatura líquida de la aleación fluye por gravedad a lo largo de la parte superior de la placa inferior 2b y se expone a vibraciones ultrasónicas mientras transita por la estructura del canal 2. La placa inferior se enfría para garantizar que el metal fundido adyacente a la placa inferior esté cerca de la temperatura sublíquida (por ejemplo, menos de 5 a 10 °C por encima de la temperatura líquida de la aleación o incluso más baja que la temperatura líquida), aunque la temperatura de vertido puede ser mucho más alta que 10 °C en nuestros resultados experimentales). La temperatura de la placa inferior puede controlarse si es necesario, ya sea mediante el uso del líquido en el canal o mediante el uso de calentadores auxiliares. Durante el funcionamiento, la atmósfera alrededor del metal fundido puede controlarse por medio de una cubierta (no se muestra) que se llena o purga, por ejemplo, con un gas inerte tal como Ar, He o nitrógeno. El metal fundido que fluye hacia abajo de la estructura del canal 2 está típicamente en un estado de detención térmica en el que el metal fundido se convierte de un líquido a un sólido. El metal fundido que fluye hacia abajo de la estructura del canal 2 sale de un extremo de la estructura del canal 2 y se vierte en un molde tal como el molde 3 que se muestra en la Figura 2. El molde 3 tiene un recinto de contención de metal fundido 3 fabricado de un material a temperatura relativamente alta tal como cobre o acero que encierra parcialmente una región de cavidad 3b. El molde 3 puede tener una tapa 3c. El molde que se muestra en la Figura 2 puede contener aproximadamente 5 kg de una masa fundida de aluminio. La presente invención no está restringida a esta capacidad de peso. El molde no está restringido a la forma que se muestra en la Figura 2. En un ejemplo alternativo, se ha usado un molde de cobre dimensionado para producir aproximadamente 7,5 cm de diámetro y 6,35 cm de alto en lingotes de forma cónica. Pueden usarse otros tamaños, formas y materiales para el molde. El molde puede ser estacionario o estar en movimiento.

60 El molde 3 puede tener atributos de los moldes descritos en la patente de Estados Unidos núm. 4,211,271 usados para máquinas de colada continua de metal tipo llantas. En particular, como se describe en la misma y se aplica como una realización de esta invención, se usa un dispositivo o material de relleno de esquinas en combinación con los miembros del molde, tales como la rueda y la banda, para modificar la geometría del molde para evitar el agrietamiento de las

esquinas debido a las tensiones de solidificación presentes en otras formas de moldes que tienen bordes afilados o cuadrados. Los materiales ablativos, conductores o aislantes, seleccionados de acuerdo con el cambio deseado en el patrón de solidificación, pueden introducirse en el molde, ya sea por separado o unidos a los miembros móviles del molde, tales como la banda sin fin o la rueda de moldeo.

En un modo de operación, una bomba de agua (no se muestra) bombea agua hacia la estructura del canal 2, y la estructura del canal que sale del agua 2 rocía el exterior del recinto de contención de metal fundido 3. En otros modos de operación, se usan suministros de enfriamiento separados para enfriar la estructura del canal 2 y el recinto de contención de metal fundido 3. En otros modos de operación, pueden usarse fluidos distintos al agua para el medio de enfriamiento. En el molde, el metal se enfría formando un cuerpo solidificado, típicamente se encoge en volumen y se libera de las paredes laterales del molde.

Si bien no se muestra en la Figura 2, en un proceso de colada continua, el molde 3 sería parte de una rueda giratoria, y el metal fundido llenaría el molde 3 por la entrada a través de un extremo expuesto. Tal proceso de colada continua se describe en la patente de Estados Unidos núm. 4,066,475 de Chis y otros . Por ejemplo, en un aspecto de la presente invención y con referencia a la Figura 3A, las etapas de colada continua se pueden llevar a cabo en el aparato mostrado en la misma. El aparato incluye un dispositivo de suministro 10 que recibe metal de cobre fundido que contiene impurezas normales y suministra el metal a una boquilla de vertido 11. La boquilla de vertido incluiría como un accesorio separado (o se habría integrado con los componentes de) la estructura de canal 2 mostrada en las Figuras 1A-1B (u otras estructuras de canal descritas en otra parte en esta descripción) para proporcionar el tratamiento ultrasónico al metal fundido para inducir los sitios de nucleación.

La boquilla de vertido 11 dirige el metal fundido a una ranura periférica contenida en un anillo de molde giratorio 13 (por ejemplo, el molde 3 que se muestra en la Figura 2 sin la tapa 3c). Una banda metálica flexible sin fin 14 rodea tanto una porción del anillo de molde 13 así como también una porción de un conjunto de rodillos de posicionamiento de banda 15 de manera que un molde de colada continua se define por la ranura en el anillo de molde 13 y la banda metálica superpuesta 14 entre los puntos A y B. Se proporciona un sistema de enfriamiento para enfriar el aparato y efectuar una solidificación controlada del metal fundido durante su transporte en el anillo de molde giratorio 13. El sistema de enfriamiento incluye una pluralidad de cabezales laterales 17, 18 y 19 dispuestos en el lado del anillo de molde 13 y los cabezales de banda interna y externa 21 y 22, respectivamente, dispuestos en los lados interno y externo de la banda metálica 14 en una localización donde rodea el anillo de molde. Una red de conducto 24 que tiene válvulas adecuadas se conecta para suministrar y extraer refrigerante a los diversos cabezales para controlar el enfriamiento del aparato y la velocidad de solidificación del metal fundido. Para una demostración y explicación más detallada de este tipo de aparato, podría hacerse referencia a la patente de Estados Unidos núm. 3,596,702 de Ward y otros .

La Figura 3A también muestra el controlador 500 que controla las diversas partes del sistema de colada continua de aluminio que se muestra en la misma. Como se describe en detalle a continuación, el controlador 500 incluye uno o más procesadores con instrucciones programadas para controlar el funcionamiento del sistema de colada continua representado en la Figura 3A.

Mediante tal construcción, el metal fundido se alimenta desde la boquilla de vertido 11 al molde de colada en el punto A y se solidifica y se enfría parcialmente durante su transporte entre los puntos A y B mediante la circulación de refrigerante a través del sistema de enfriamiento. Por lo tanto, cuando la barra colada alcanza el punto B, tiene forma de una barra colada sólida 25. La barra colada sólida 25 se retira de la rueda de moldeo y se alimenta a un transportador 27 que transporta la barra colada a un tren de laminación 28. Se debe señalar que en el punto B, la barra colada 25 solo se ha enfriado una cantidad suficiente para solidificar la barra y la barra permanece a una temperatura elevada para permitir que se realice una operación de laminación inmediata sobre la misma. El tren de laminación 28 puede incluir una disposición en tándem de soportes de laminación que sucesivamente enrollan la barra en una longitud continua de alambón 30 que tiene una sección transversal circular sustancialmente uniforme.

La Figura 3B es un esquema de otro tren de colada continua de acuerdo con una realización de la invención. La Figura 3B proporciona una vista general de un sistema de varilla continua (CR) y tiene un recuadro que muestra una vista ampliada sobre la boquilla de vertido. El sistema CR que se muestra en la Figura 3B se caracteriza por un sistema de colada de polea y correa, que tiene una rueda de moldeo de cobre enfriada por agua 50 y una banda de acero flexible 52. En una realización de la invención, la rueda de moldeo 50 tiene una ranura (no aparente desde la vista proporcionada) en la periferia exterior de la rueda de moldeo, y la banda de acero flexible 52 va aproximadamente a la mitad de la rueda de moldeo 50 para encerrar la ranura de colada. En una realización de la invención, la ranura de colada y la banda de acero flexible que encierra la ranura de colada forman una cavidad de molde 60. En una realización de la invención, una artesa de colada 62, una boquilla de vertido 64 y un dispositivo dosificador 66 suministran aluminio fundido a la ranura de colada a medida que la rueda 50 gira. En una realización de la invención, se aplica un agente separador/revestimiento de molde a la rueda y a la banda de acero justo antes del punto de vertido. El metal fundido se mantiene típicamente en su lugar mediante la banda de acero 52 hasta la finalización del proceso de solidificación. A medida que la rueda gira, el aluminio (o el metal vertido) se solidifica. El aluminio solidificado, con la ayuda de una zapata desmoldeadora 70, sale de la rueda 50. Luego se limpia la rueda 50 y se vuelve a aplicar el agente de desmoldeo antes de la introducción de aluminio fundido fresco.

En el sistema CR de la Figura 3B, la boquilla de vertido incluiría como un accesorio separado (o se habría integrado con los componentes de) la estructura de canal 2 mostrada en las Figuras 1A-1B (u otras estructuras de canal descritas en otra parte en esta descripción) en orden para proporcionar el tratamiento ultrasónico al metal fundido para inducir los sitios de nucleación.

La Figura 3B también muestra el controlador 500 que (como anteriormente) controla las diversas partes del sistema de colada continua de aluminio que se muestra en el mismo. El controlador 500 incluye uno o más procesadores con instrucciones programadas para controlar el funcionamiento del sistema de colada continua representado en la Figura 3B.

Como se indicó anteriormente, el molde puede ser estacionario como se usaría en la fundición en arena, la fundición en molde de yeso, el moldeo en cáscara, la fundición a la cera perdida, la pieza fundida en coquilla, la fundición a presión, etc. Si bien se describe a continuación con respecto al aluminio, esta invención no es tan limitada y otros metales tales como cobre, plata, oro, magnesio, bronce, latón, estaño, aceros, hierros y aleaciones de los mismos pueden usar los principios de esta invención. Además, los compuestos de matriz metálica pueden usar los principios de esta invención para controlar los tamaños de grano resultantes en los objetos fundidos.

Demostraciones:

Las siguientes demostraciones muestran la utilidad de la presente invención y no pretenden limitar la presente invención a ninguna de las dimensiones específicas, condiciones de enfriamiento, velocidades de producción y temperaturas establecidas a continuación, a menos que tal descripción se use en las reivindicaciones.

Mediante el uso de las estructuras de canal mostradas en las Figuras 1A-1D y el molde en la Figura 2, se documentaron los resultados de la invención. Excepto como se indica a continuación, las estructuras del canal tenían placas inferiores 2b de aproximadamente 5 cm de ancho y 54 cm de largo, lo que hacía una trayectoria vibratoria de aproximadamente 52 cm (es decir, aproximadamente la longitud del canal de enfriamiento líquido 2c). El grosor de la placa inferior varió como se indica a continuación, pero para una placa de acero inferior el grosor fue de 6,35 mm. La aleación de acero usada aquí fue acero 1010. La altura y el ancho del canal de enfriamiento líquido 2c fue de aproximadamente 2 cm y 4,5 cm, respectivamente. El fluido de enfriamiento era agua suministrada a temperatura casi ambiente y fluía a aproximadamente 22-25 litros/min.

1) Sin refinadores de grano y sin vibración ultrasónica.

Las Figuras 4A y 4B son representaciones de las macroestructuras de un lingote de aluminio puro vertido sin refinadores de grano y sin las vibraciones ultrasónicas de la presente invención. Las muestras fundidas se formaron a temperaturas de vertido de 1.238 °F o 670 °C (Figura 4A) y 1292 °F o 700 °C (Figura 4B), respectivamente. El molde se enfrió al pulverizar agua sobre el mismo durante el proceso de solidificación. Se usó un canal de acero que tenía un grosor de 6,35 mm para la estructura del canal en las Figuras 4A-4D. Las Figuras 4C y 4D son representaciones de las macroestructuras de un lingote de aluminio puro vertido sin refinadores de grano y sin las vibraciones ultrasónicas de la presente invención. Las muestras fundidas se formaron a temperaturas de vertido de 1.346 °F o 730 °C (Figura 4C) y 1.400 °F o 760 °C (Figura 4D), respectivamente. El molde se enfrió nuevamente al pulverizar agua sobre el mismo durante el proceso de solidificación. En las Figuras 4A-4D, la velocidad de vertido fue de aproximadamente 40 kg/min.

La Figura 5 es un gráfico de los tamaños de grano medidos en función del vertido (o temperatura de fundición). Los granos muestran cristales que son columnares y tienen tamaños de grano que varían de mm a decenas de mm con un tamaño medio de grano de más de 12 mm a más de 18 mm, en dependencia de la temperatura de fundición

2) Sin refinadores de grano y con vibración ultrasónica.

Las Figuras 6A-6C son representaciones de las macroestructuras de un lingote de aluminio puro vertido sin refinadores de grano y con las vibraciones ultrasónicas de la presente invención. Las muestras fundidas se formaron a temperaturas de vertido de 1.256 °F o 680 °C (Figura 6A), 1.292 °F o 700 °C (Figura 6B) y 1.328 °F o 720 °C (Figura 6C), respectivamente. El molde se enfrió al pulverizar agua sobre el mismo durante el proceso de solidificación. Se usó un canal de acero que tenía un grosor de 6,35 mm para la estructura del canal usada para formar las muestras mostradas en las Figuras 6A-6C. En estos ejemplos, el aluminio fundido fluyó sobre el canal de acero (una placa inferior de 5 cm de ancho) para una distancia de flujo de aproximadamente 35 cm en la superficie superior. Se instaló una sonda de vibración ultrasónica debajo del lado superior de la estructura del canal de acero y se localizó a aproximadamente 7,5 cm del extremo de la estructura del canal desde donde se vertió el aluminio fundido. En las Figuras 6A-6C, la velocidad de vertido fue de aproximadamente 40 kg/min. La sonda ultrasónica/sonotrodo estaba fabricada de aleación de Ti (Ti-6Al-4V). La frecuencia fue de 20 kHz, y la intensidad de la vibración ultrasónica es del 50 % de la amplitud máxima, aproximadamente 40 µm.

La Figura 7 es un gráfico de los tamaños de grano medidos en función del vertido (o temperatura de fundición). Los granos muestran cristales que son columnares y tienen tamaños de grano de menos de 0,5 micras. Estos resultados muestran que el tratamiento ultrasónico de la presente invención es tan efectivo como los refinadores de grano Tibor (un

compuesto que contiene titanio y boro) en la producción de granos equiaxiales de metal puro. Véase, por ejemplo, la Figura 13 para datos con muestras que tienen refinadores de grano Tibor.

Además, el efecto de la presente invención se ha realizado para velocidades de vertido aún mayores. Mediante el uso de una velocidad de vertido de 75 kg/min a través de un canal de acero (una placa inferior de 7,5 cm de ancho) para una distancia de flujo de aproximadamente 52 cm en la superficie superior, el tratamiento ultrasónico de la presente invención también fue tan efectivo como los refinadores de grano Tibor en la producción granos equiaxiales de metal puro. La Figura 8 es un gráfico de los tamaños de grano medidos en función del vertido (o temperatura de fundición) bajo las velocidades de vertido de 75 kg/min.

Se han realizado demostraciones similares mediante el uso de una placa inferior de cobre que tiene un grosor de 6,35 mm y las mismas dimensiones laterales que las indicadas anteriormente. La Figura 9 es un gráfico de los tamaños de grano medidos en función del vertido (o temperatura de fundición) bajo las velocidades de vertido de 75 kg/min y mediante el uso del canal de cobre descrito anteriormente. Los resultados muestran que el efecto de refinado del grano es mejor para el cobre cuando la temperatura de fundición es de 1.238 °F o 670 °C.

Se han realizado demostraciones similares mediante el uso de una placa inferior de niobio que tiene un grosor de 1,4 mm y las mismas dimensiones laterales que se indicaron anteriormente. La Figura 10 es un gráfico de los tamaños de grano medidos en función del vertido (o temperatura de fundición) bajo las velocidades de vertido de 75 kg/min y mediante el uso del canal de niobio descrito anteriormente. Los resultados muestran que el efecto de afinación del grano es mejor para el niobio cuando la temperatura de fundición es de 1.238 °F o 670 °C.

En otra demostración de esta invención, se descubrió que variar el desplazamiento de la sonda ultrasónica desde el extremo de vertido del canal 3 proporciona una manera de variar el tamaño de grano sin la adición de los refinadores de grano. Las Figuras 11A y 11B para la placa de niobio descrita anteriormente a temperaturas de vertido respectivas de 1.346 °F o 730 °C (Figura 11A) y 1.400 °F o 760 °C (Figura 11B) muestran una estructura de grano mucho más gruesa cuando la distancia de la sonda ultrasónica del extremo de vertido se extendió de 7,5 cm a un desplazamiento total de 22 cm. Las Figuras 11C y 11D son esquemas del posicionamiento experimental y el desplazamiento de la sonda ultrasónica de la que se recolectaron los datos con respecto al efecto del desplazamiento de la sonda ultrasónica. Los desplazamientos por debajo de 23 cm o incluso más son efectivos para reducir el tamaño de grano. Sin embargo, la ventana (es decir, el intervalo) para la temperatura de vertido disminuye al aumentar la distancia entre la localización de la sonda/sonotrodo al molde de metal. La presente invención no está limitada a este intervalo.

La Figura 12 es un gráfico de los tamaños de grano medidos en función del vertido (o temperatura de fundición) bajo las velocidades de vertido de 75 kg/min y mediante el uso del canal de niobio descrito anteriormente, pero con la distancia de la sonda ultrasónica desde el extremo de vertido extendida para el desplazamiento total de 22 cm. Este gráfico muestra que los tamaños de grano se ven afectados significativamente por la temperatura de vertido. Los tamaños de grano son mucho más grandes y con cristales columnares parciales cuando la temperatura de vertido es superior a aproximadamente 1.300 °F o 704 °C, mientras que los tamaños de grano son casi equivalentes a otras condiciones por la temperatura de vertido inferior a 1.292 °F o 700 °C.

Además, a temperaturas más altas, el uso de refinadores de granos típicamente resultó en un tamaño de grano más pequeño que a temperaturas más bajas. El tamaño promedio de grano del lingote de grano refinado a 760 °C fue de 397,76 µm, mientras que el tamaño promedio de grano del lingote tratado con vibraciones ultrasónicas fue de 475,82 µm, con la desviación estándar de los tamaños de grano alrededor de 169 µm y 95 µm, respectivamente, lo que muestra que las vibraciones ultrasónicas produjeron granos más uniformes que el refinador de granos Al-Ti-B.

En un aspecto particularmente atractivo de la presente invención, a temperaturas más bajas, el tratamiento de vibración ultrasónica es más efectivo que la adición de refinadores de grano.

En otro aspecto de la presente invención, la temperatura de vertido puede usarse para controlar el cambio del tamaño de grano en lingotes sometidos a vibración ultrasónica. Los inventores observaron que el tamaño de grano disminuía con una disminución de la temperatura de vertido. Los inventores también observaron que se producían granos equiaxiales cuando se usaba vibración ultrasónica y cuando la masa fundida se vertió en un molde a temperaturas dentro de 10 °C por encima de la temperatura liquidus de la aleación que se estaba vertiendo.

La Figura 13A es el esquema de una configuración final de ejecución extendida. En la configuración final de ejecución extendida de la Figura 13A, el final de ejecución del canal de niobio se extiende a aproximadamente 12,5 cm desde 1,25 cm, y la posición de la sonda ultrasónica se localiza desde 7,5 cm hasta el extremo del tubo. El final de ejecución extendida se realiza agregando una placa de niobio al final de ejecución original. La Figura 13B es un gráfico que representa el efecto de la temperatura de fundición sobre el tamaño de grano resultante, cuando se usa un canal de niobio. Los tamaños de grano realizados fueron efectivamente equivalentes al final de ejecución más corto cuando la temperatura de vertido era inferior a 1.292 °F o 700 °C.

La presente invención no está limitada a la aplicación del uso de vibraciones ultrasónicas simplemente a la estructura del canal descrito anteriormente. En general, las vibraciones ultrasónicas pueden inducir la nucleación en los puntos del

proceso de colada donde el metal fundido comienza a enfriarse desde el estado fundido y entra al estado sólido (es decir, al estado de detención térmica). Visto de manera diferente, la invención, en diversas realizaciones, combina vibración ultrasónica con la gestión térmica de manera que el metal fundido adyacente a la superficie de enfriamiento esté cerca de la temperatura líquida de la aleación. En estas realizaciones, la temperatura de la superficie de la placa de enfriamiento es lo suficientemente baja como para inducir la nucleación y el crecimiento de cristales (formación de dendritas) mientras que la vibración ultrasónica crea núcleos y rompe las dendritas que pueden formarse en la superficie de la placa de enfriamiento.

Configuraciones alternativas

En consecuencia, en la invención, las vibraciones ultrasónicas (además de las introducidas en la estructura del canal indicadas anteriormente) pueden usarse para inducir la nucleación en un punto de entrada del metal fundido al molde por medio de un vibrador ultrasónico preferentemente acoplado a la entrada del molde de un refrigerante líquido. Esta opción puede ser más atractiva en un molde estacionario. En algunas configuraciones de fundición (por ejemplo, con una colada vertical), esta opción puede ser la única implementación práctica.

Alternativamente o en conjunto, las vibraciones ultrasónicas pueden inducir la nucleación en una artesa que proporciona el metal fundido a la estructura del canal o que proporciona el metal fundido directamente a un molde. Como antes, el vibrador ultrasónico se acopla preferentemente a la artesa y, por lo tanto, al metal fundido por medio de un refrigerante líquido.

Por otra parte, además del uso del tratamiento de vibraciones ultrasónicas de la presente invención en la colada en moldes estacionarios y en los moldes tipo varilla continua descritos anteriormente, la presente invención también tiene utilidad en el tren de colada descrito en la patente de Estados Unidos núm. 4,733,717. Como se muestra en la Figura 14 (reproducida de esa patente), un sistema de colada continua y conformación en caliente 110 incluye una máquina de colada 112 que incluye además una rueda de moldeo 114 que tiene una ranura periférica en la misma, una banda flexible 116 transportada por una pluralidad de ruedas de guía 117 que presionan la banda flexible 116 contra la rueda de moldeo 114 para que una porción de la circunferencia de la rueda de moldeo 114 recubra la ranura periférica y forme un molde entre la banda 116 y la rueda de moldeo 114. A medida que el metal fundido se vierte en el molde a través de la boquilla de vertido 119, la rueda de moldeo 114 gira y la banda 116 se mueve con la rueda de moldeo 114 para formar un molde en movimiento. La boquilla de vertido 119 incluiría como un accesorio separado (o se habría integrado con los componentes de) la estructura de canal 2 mostrada en las Figuras 1A-1B (u otras estructuras de canal descritas en otra parte en esta descripción) para proporcionar el tratamiento ultrasónico al metal fundido para inducir sitios de nucleación.

Un sistema de enfriamiento 115 de la máquina de fundición 112 hace que el metal fundido se solidifique uniformemente en el molde y salga de la rueda de moldeo 114 como una barra colada 120.

Desde la máquina de fundición 112, la barra colada 120 pasa a través de un medio de calentamiento 121. El medio de calentamiento 121 funciona como un precalentador para elevar la temperatura de la barra 120 desde la temperatura de fundición sana a una temperatura de conformación en caliente de aproximadamente 1.700 °F o 927 °C a aproximadamente 1.750 °F o 954 °C. Inmediatamente después del precalentamiento, la barra 120 pasa a través de un tren de laminación convencional 124, que incluye soportes de rodillos 125, 126, 127 y 128. Los soportes de rodillos del tren de laminación 124 proporcionan la conformación en caliente primaria de la barra colada al comprimir la barra precalentada secuencialmente hasta que la barra se reduce a un tamaño y forma de sección transversal deseada.

La Figura 14 también muestra el controlador 500 que controla las diversas partes del sistema de colada continua que se muestra en la misma. Como se describe en detalle a continuación, el controlador 500 incluye uno o más procesadores con instrucciones programadas para controlar el funcionamiento del sistema de colada continua de cobre que se representa en la Figura 14.

Por otra parte, además del uso del tratamiento de vibraciones ultrasónicas de la presente invención en la colada en moldes estacionarios y en los sistemas de colada continua de tipo rueda descritos anteriormente, la presente invención también tiene utilidad en trenes de coladas verticales.

La Figura 15 representa los componentes seleccionados de un tren de colada vertical. Se encuentran más detalles de estos componentes y otros aspectos de un tren de colada vertical en la patente de Estados Unidos núm. 3,520,352. Como se muestra en la Figura 15, el tren de colada vertical incluye una cavidad de fundición de metal fundido 213, que generalmente es cuadrada en la realización ilustrada, pero que puede ser redonda, elíptica, poligonal o cualquier otra forma adecuada, y que está limitada por el vertical, que interseca mutuamente las primeras porciones de pared 215, y las segundas o porciones de pared de esquina, 217, situadas en la porción superior del molde. Una envoltura de retención de fluido 219 rodea las paredes 215 y los miembros de esquina 217 de la cavidad de fundición en una relación separada de la misma. La envoltura 219 se adapta para recibir un fluido de enfriamiento, tal como agua, a través de un conducto de entrada 221, y para descargar el fluido de enfriamiento a través de un conducto de salida 223.

Mientras que las primeras porciones de pared 215 se fabrican preferentemente de un material altamente conductor térmico tal como el cobre, las segundas o porciones de pared de esquina 217 están construidas de un material menos conductor térmico, tal como, por ejemplo, un material cerámico. Como se muestra en la Figura 15, las porciones de pared de esquina 217 tienen una sección transversal generalmente en forma de L o angular, y los bordes verticales de cada esquina se inclinan hacia abajo y de manera convergente uno hacia el otro. Por lo tanto, el miembro de esquina 217 termina en cierto nivel conveniente en el molde por encima del extremo de descarga del molde que está entre las secciones transversales.

En funcionamiento, el metal fundido fluye de una artesa de colada a un molde de colada que se corresponde verticalmente y una hebra de metal fundida se retira continuamente del molde. El metal fundido se enfría primero en el molde al entrar en contacto con las paredes del molde más frío en lo que se puede considerar como una primera zona de enfriamiento. El calor se elimina rápidamente del metal fundido en esta zona, y se cree que se forma completamente una costra de material alrededor de un baño de fusión central de metal fundido.

En la presente invención, la estructura de canal 2 (o estructura similar a la mostrada en la Figura 1) podría proporcionarse como parte de un dispositivo de vertido para transportar el metal fundido a la cavidad de fundición de metal fundido 213. En esta configuración, la estructura de canal 3 con su sonda ultrasónica proporcionaría el tratamiento ultrasónico al metal fundido para inducir sitios de nucleación.

En una configuración alternativa, una sonda ultrasónica estaría dispuesta en relación con la envoltura de retención de fluido 219 y preferentemente dentro del medio de enfriamiento que circula en la envoltura de retención de fluido 219. Como antes, las vibraciones ultrasónicas pueden inducir la nucleación en el metal fundido, por ejemplo, en su estado de detención térmica en el que el metal fundido se convierte de un líquido a un sólido, ya que la hebra de metal fundido se retira continuamente de la cavidad de fundición de metal 213.

25 **Gestión térmica**

Como se indicó anteriormente, en un aspecto de la presente invención, las vibraciones ultrasónicas de una sonda ultrasónica se acoplan con un medio líquido para afinar mejor los granos en metales y aleaciones metálicas, y para crear una solidificación más uniforme. Las vibraciones ultrasónicas se comunican preferentemente al metal líquido a través de un medio de enfriamiento líquido intermedio.

Aunque no está limitada a ninguna teoría particular de funcionamiento, la siguiente descripción ilustra algunos de los factores que influyen en el acoplamiento ultrasónico.

Se prefiere que el flujo de líquido de enfriamiento se proporcione a una velocidad suficiente para enfriar el metal adyacente a la placa de enfriamiento (menos de ~ 5 a 10 °C por encima de la temperatura liquidus de la aleación o ligeramente por debajo de la temperatura liquidus). Por lo tanto, un atributo de la presente invención usa estas condiciones de placa de enfriamiento y vibración ultrasónica para reducir el tamaño de grano de una gran cantidad de metal. Las técnicas anteriores que usaban vibración ultrasónica para el refinado de granos funcionaban solo para una pequeña cantidad de metal en tiempos de colada cortos. El uso de un sistema de enfriamiento garantiza que esta invención pueda usarse para una gran cantidad de metal durante largos períodos de tiempo o de cualquier otra manera de colada continua.

En una realización, el caudal del medio de enfriamiento es preferentemente, pero no necesariamente, suficiente para evitar que el consumo específico de calor que transita por la placa inferior y hacia las paredes del canal de enfriamiento produzca una bolsa de vapor de agua que podría interrumpir el acoplamiento ultrasónico.

En una consideración del flujo de temperatura desde el metal fundido hacia el canal de enfriamiento, la placa inferior (a través del diseño de su grosor y el material de construcción) puede diseñarse para soportar la mayor parte de la caída de temperatura desde la temperatura del metal fundido hasta la temperatura de enfriamiento del agua. Si, por ejemplo, la caída de temperatura a través del grosor de la placa inferior es solo de unos 100 °C, entonces las caídas de temperatura restantes existirán a través de una interfaz agua/vapor de agua, lo que degradaría potencialmente el acoplamiento ultrasónico.

Además, como se indicó anteriormente, la placa inferior 2b de la estructura del canal se puede unir a la pared del paso del medio líquido 2c lo que permite que se usen diferentes materiales para estos dos elementos. En esta consideración de diseño, pueden usarse materiales de diferente conductividad térmica para distribuir la caída de temperatura de manera adecuada. Además, la forma de la sección transversal del paso del medio líquido 2c y/o el acabado superficial de la pared interior del paso del medio líquido 2c se puede ajustar para promover el intercambio de calor en el medio de enfriamiento sin el desarrollo de una interfaz de fase de vapor. Por ejemplo, se pueden proporcionar protuberancias superficiales intencionales en la pared interior del paso del medio líquido 2c para promover la ebullición nucleada caracterizada por el crecimiento de burbujas en una superficie calentada, que surgen de puntos discretos en una superficie, cuya temperatura está solo ligeramente por encima de temperatura del líquido

65 **Productos metálicos**

En un aspecto de la presente invención, los productos que incluyen una composición metálica fundida pueden fabricarse sin la necesidad de refinadores de grano y que tienen aún tamaños de grano submilimétricos. En consecuencia, las composiciones metálicas fundidas se pueden hacer con menos del 5 % de las composiciones, que incluyen los refinadores de grano, y aún obtener tamaños de grano submilimétricos. Las composiciones metálicas fundidas se pueden hacer con menos del 2 % de las composiciones, que incluyen los refinadores de grano, y aún obtener tamaños de grano submilimétricos. Las composiciones metálicas fundidas se pueden hacer con menos del 1 % de las composiciones, que incluyen los refinadores de grano, y aún obtener tamaños de grano submilimétricos. En una composición preferida, los refinadores de grano son menos de 0,5 % o menos de 0,2 % o menos de 0,1 %. Las composiciones metálicas fundidas se pueden hacer con las composiciones que no incluyen refinadores de grano y aún obtener tamaños de grano submilimétricos.

Las composiciones metálicas fundidas pueden tener una variedad de tamaños de grano submilimétricos en dependencia de una serie de factores que incluyen los constituyentes del metal "puro" o aleado, las velocidades de vertido, las temperaturas de vertido, la velocidad de enfriamiento. La lista de tamaños de grano disponibles para la presente invención incluye lo siguiente. Para aluminio y aleaciones de aluminio, los tamaños de grano varían de 200 a 900 micras, o de 300 a 800 micras, o de 400 a 700 micras, o de 500 a 600 micras. Para cobre y aleaciones de cobre, los tamaños de grano varían de 200 a 900 micras, o de 300 a 800 micras, o de 400 a 700 micras, o de 500 a 600 micras. Para el oro, la plata o el estaño o aleaciones de los mismos, los tamaños de grano varían de 200 a 900 micras, o de 300 a 800 micras, o de 400 a 700 micras, o de 500 a 600 micras. Para magnesio o aleaciones de magnesio, los tamaños de grano varían de 200 a 900 micras, o de 300 a 800 micras, o de 400 a 700 micras, o de 500 a 600 micras. Aunque se proporciona en intervalos, la invención también es capaz de tener valores intermedios. En un aspecto de la presente invención, se pueden agregar pequeñas concentraciones (menos del 5 %) de los refinadores de grano para reducir aún más el tamaño de grano a valores entre 100 y 500 micras. Las composiciones metálicas fundidas pueden incluir aluminio, cobre, magnesio, zinc, plomo, oro, plata, estaño, bronce, latón y aleaciones de los mismos.

Las composiciones metálicas fundidas se pueden estirar o formar de cualquier otra manera en material en barras, varilla, material, material en láminas, alambres, palanquillas y gránulos.

Control computarizado

El controlador 500 en las Figuras 3A, 3B y 14 puede implementarse por medio del sistema informático 1201 que se muestra en la Figura 16. El sistema informático 1201 puede usarse como el controlador 500 para controlar los sistemas de colada mencionados anteriormente o cualquier otro sistema o aparato de colada que emplee el tratamiento ultrasónico de la presente invención. Si bien se representa singularmente en las Figuras 3A, 3B y 14 como un controlador, el controlador 500 puede incluir procesadores discretos y separados en comunicación entre sí y/o dedicados a una función de control específica.

En particular, el controlador 500 puede programarse específicamente con algoritmos de control que llevan a cabo las funciones representadas por el diagrama de flujo en la Figura 17.

La Figura 17 representa un diagrama de flujo cuyos elementos se pueden programar o almacenar en un medio legible por ordenador o en uno de los dispositivos de almacenamiento de datos que se describen a continuación. El diagrama de flujo de la Figura 17 representa un procedimiento de la presente invención para inducir sitios de nucleación en un producto de metal. En el elemento de la etapa 1702, el elemento programado dirigiría la operación de transporte de metal fundido, en un estado de detención térmica en el que el metal se convierte de un líquido a un sólido, a lo largo de una longitud longitudinal de una estructura de contención de metal fundido. En el elemento de la etapa 1704, el elemento programado dirigiría la operación de enfriamiento de la estructura de contención de metal fundido mediante el paso de un medio líquido a través de un canal de enfriamiento. En el elemento de la etapa 1706, el elemento programado dirigiría la operación de acoplar ondas ultrasónicas a través del medio líquido en el canal de enfriamiento y a través de la estructura de contención de metal fundido en el metal fundido. En este elemento, las ondas ultrasónicas tendrían una frecuencia y potencia que induce sitios de nucleación en el metal fundido, como se describió anteriormente.

Los elementos tales como la temperatura del metal fundido, la velocidad de vertido, el flujo de enfriamiento a través de los pasos del canal de enfriamiento y el enfriamiento y elementos del molde relacionados con el control y extracción del producto fundido a través del tren de laminación se programarían con lenguajes de software estándar (descritos a continuación) para producir procesadores de propósito especial que contienen instrucciones para aplicar el procedimiento de la presente invención para inducir sitios de nucleación en un producto de metal

Más específicamente, el sistema informático 1201 mostrado en la Figura 16 incluye un bus 1202 u otro mecanismo de comunicación para comunicar información, y un procesador 1203 acoplado con el bus 1202 para procesar la información. El sistema informático 1201 también incluye una memoria principal 1204, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM) u otro dispositivo de almacenamiento dinámico (por ejemplo, RAM dinámica (DRAM), RAM estática (SRAM) y DRAM síncrona (SDRAM)), acoplada al bus 1202 para almacenar información e instrucciones que debe ejecutar el procesador 1203. Además, la memoria principal 1204 puede usarse para almacenar variables temporales u

otra información intermedia durante la ejecución de las instrucciones por el procesador 1203. El sistema informático 1201 incluye además una memoria de solo lectura (ROM) 1205 u otro dispositivo de almacenamiento estático (por ejemplo, memoria de solo lectura programable (PROM), PROM borrable (EPROM) y PROM borrable eléctricamente (EEPROM)) acoplado al bus 1202 para almacenar información estática e instrucciones para el procesador 1203.

El sistema informático 1201 también incluye un controlador de disco 1206 acoplado al bus 1202 para controlar uno o más dispositivos de almacenamiento para almacenar información e instrucciones, tales como un disco duro magnético 1207 y una unidad de medios extraíbles 1208 (por ejemplo, unidad de disquete, unidad de disco compacto de solo lectura, unidad de disco compacto de lectura/escritura, cargador automático de disco compacto, unidad de cinta y unidad magneto-óptica extraíble). Los dispositivos de almacenamiento pueden agregarse al sistema informático 1201 mediante el uso de una interfaz de dispositivo apropiada (por ejemplo, interfaz de pequeño sistema informático (SCSI), electrónica de dispositivos integrados (IDE), IDE mejorados (E-IDE), acceso directo a memoria (DMA), o ultra-DMA).

El sistema informático 1201 también puede incluir dispositivos lógicos de propósito especial (por ejemplo, circuitos integrados de aplicación específica (ASIC)) o dispositivos lógicos configurables (por ejemplo, dispositivos lógicos simples programables (SPLD), dispositivos lógicos complejos programables (CPLD) y matrices de puertas programables en campo (FPGA)).

El sistema informático 1201 también puede incluir un controlador de visualización 1209 acoplado al bus 1202 para controlar un visualizador, tal como un tubo de rayos catódicos (CRT), para visualizar la información a un usuario del ordenador. El sistema informático incluye dispositivos de entrada, tales como un teclado y un dispositivo de puntero, para interactuar con un usuario del ordenador (por ejemplo, un usuario que interactúa con el controlador 500) y proporcionar información al procesador 1203.

El sistema informático 1201 realiza una porción o la totalidad de las etapas de procesamiento de la invención (tales como, por ejemplo, las descritas en relación con el suministro de energía vibratoria a un metal líquido en un estado de detención térmica) en respuesta al procesador 1203 que ejecuta una o más secuencias de una o más instrucciones contenidas en una memoria, tal como la memoria principal 1204. Tales instrucciones pueden leerse en la memoria principal 1204 desde otro medio legible por ordenador, tal como un disco duro 1207 o una unidad de medios extraíbles 1208. También se pueden emplear uno o más procesadores en una disposición de procesamiento múltiple para ejecutar las secuencias de instrucciones contenidas en la memoria principal 1204. En las realizaciones alternativas, los circuitos cableados pueden usarse en lugar de o en combinación con las instrucciones de software. Por lo tanto, las realizaciones no están limitadas a cualquier combinación específica de circuitos de hardware y de software.

Como se indicó anteriormente, el sistema informático 1201 incluye al menos un medio o memoria legible por ordenador para contener instrucciones programadas de acuerdo con las enseñanzas de la invención y para contener estructuras de datos, tablas, registros u otros datos descritos en la presente memoria. Los ejemplos de medios legibles por ordenador son discos compactos, discos duros, disquetes, cintas, discos magnetoópticos, PROM (EPROM, EEPROM, flash EPROM), DRAM, SRAM, SDRAM o cualquier otro medio magnético, discos compactos (por ejemplo, CD-ROM), o cualquier otro medio óptico, u otro medio físico, una onda portadora (descrita a continuación), o cualquier otro medio desde el que pueda leer un ordenador.

Almacenado en cualquiera o en una combinación de medios legibles por ordenador, la invención incluye software para controlar el sistema informático 1201, para conducir un dispositivo o dispositivos para implementar la invención, y para permitir que el sistema informático 1201 interactúe con un usuario humano. Tal software puede incluir, pero no está limitada a, controladores de dispositivos, sistemas operativos, instrumentos de desarrollo y software de aplicaciones. Tales medios legibles por ordenador incluyen además el producto de programa de ordenador de la invención para realizar todo o una porción (si se distribuye el procesamiento) del procesamiento realizado en la implementación de la invención.

Los dispositivos de código de ordenador de la invención pueden ser cualquier mecanismo de código interpretable o ejecutable, que incluye, pero no está limitada a, secuencias de comandos, programas interpretables, bibliotecas de enlaces dinámicos (DLL), clases Java y programas ejecutables completos. Además, partes del procesamiento de la invención pueden distribuirse para un mejor rendimiento, fiabilidad y/o costo.

El término "medio legible por ordenador", como se usa en la presente memoria, se refiere a cualquier medio que participe en el proporcionamiento de instrucciones al procesador 1203 para su ejecución. Un medio legible por ordenador puede tomar muchas formas, que incluyen, pero no está limitado a, medios no volátiles, medios volátiles, y medios de transmisión. Los medios no volátiles incluyen, por ejemplo, discos ópticos, magnéticos y discos magnetoópticos, tales como el disco duro 1207 o la unidad de medios extraíbles 1208. Los medios volátiles incluyen una memoria dinámica, tal como la memoria principal 1204. Por ejemplo, los medios de transmisión incluyen cables coaxiales, alambre de cobre y fibras ópticas, que incluyen los alambres que comprenden el bus 1202. Los medios de transmisión pueden tener la forma de ondas acústicas o luminosas tales como las generadas durante las comunicaciones de datos de ondas de radio e infrarrojas.

El sistema informático 1201 también incluye una interfaz de comunicación 1213 acoplada al bus 1202. La interfaz de comunicación 1213 proporciona un acoplamiento de comunicación de datos bidireccional a un enlace de red 1214 que se conecta, por ejemplo, a una red de área local (LAN) 1215, o a otra red de comunicaciones 1216 tal como Internet. Por ejemplo, la interfaz de comunicación 1213 puede ser una tarjeta de interfaz de red para acoplar a cualquier LAN de paquetes conmutados. Como otro ejemplo, la interfaz de comunicación 1213 puede ser una tarjeta de línea de suscripción asimétrica digital (ADSL), una tarjeta de red digital de servicios integrados (ISDN) o un módem para proporcionar una conexión de comunicación de datos a un tipo correspondiente de línea de comunicaciones. Pueden implementarse además enlaces inalámbricos. En cualquiera de tales implementaciones, la interfaz de comunicación 1213 envía y recibe señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas que transportan flujos de datos digitales que representan varios tipos de información.

El enlace de red 1214 típicamente proporciona comunicación de datos a través de una o más redes a otros dispositivos de datos. Por ejemplo, el enlace de red 1214 puede proporcionar una conexión a otro ordenador a través de una red local 1215 (por ejemplo, una LAN) o mediante un equipo operado por un proveedor de servicios, que proporciona servicios de comunicación a través de una red de comunicaciones 1216. En una realización, esta capacidad permite que la invención tenga múltiples de los controladores 500 descritos anteriormente interconectados para fines tales como automatización de toda la fábrica o control de calidad. La red local 1214 y la red de comunicaciones 1216 usan, por ejemplo, señales eléctricas, electromagnéticas u ópticas que transportan flujos de datos digitales y la capa física asociada (por ejemplo, cable CAT 5, cable coaxial, fibra óptica, etc.). Las señales a través de las diversas redes y las señales en el enlace de red 1214 y a través de la interfaz de comunicación 1213, que transportan los datos digitales hacia y desde el sistema informático 1201 pueden implementarse en señales de banda base o señales basadas en ondas portadoras. Las señales de banda base transmiten los datos digitales como pulsos eléctricos no modulados que son descriptivos de un flujo de bits de datos digitales, donde el término "bits" debe interpretarse en términos generales como un símbolo, donde cada símbolo transmite al menos uno o más bits de información. Los datos digitales también pueden usarse para modular una onda portadora, tal como señales de amplitud, fase y/o moduladas por desplazamiento de frecuencia que se propagan a través de un medio conductor o se transmiten como ondas electromagnéticas a través de un medio de propagación. Por lo tanto, los datos digitales pueden enviarse como datos de banda base no modulados a través de un canal de comunicación "cableado" y/o enviarse dentro de una banda de frecuencia predeterminada, diferente de la banda base, al demodular una onda portadora. El sistema informático 1201 puede transmitir y recibir datos, que incluye el código del programa, a través de la(s) red(es) 1215 y 1216, el enlace de red 1214 y la interfaz de comunicación 1213. Además, el enlace de red 1214 puede proporcionar una conexión a través de una LAN 1215 a un dispositivo móvil 1217 tal como un ordenador portátil de asistente digital personal (PDA) o un teléfono celular.

Muchas modificaciones y variaciones de la presente invención son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores. Por lo tanto, debe entenderse que dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas, la invención puede ponerse en práctica de cualquier otra manera que la descrita específicamente en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo de procesamiento de metal fundido que comprende:
 - 5 una estructura de contención de metal fundido para la recepción y transporte de metal fundido a lo largo de una longitud longitudinal del mismo;
 - una unidad de enfriamiento para la estructura de contención que incluye un canal de enfriamiento para el paso (2c) de un medio líquido en el mismo;
 - 10 una sonda ultrasónica (2d) dispuesta en el canal de enfriamiento de manera que las ondas ultrasónicas se acoplen a través del medio líquido en el canal de enfriamiento y a través de la estructura de contención de metal fundido en el metal fundido.

2. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención comprende las paredes laterales (2a) que contienen el metal fundido y una placa inferior (2b) que entra en contacto con el metal fundido, preferentemente
 - 15 (a) en el que la placa inferior (2b) comprende al menos uno de niobio, o una aleación de niobio; o
 - (b) en el que la placa inferior (2b) comprende una cerámica, preferentemente en el que la cerámica comprende una cerámica de nitruro de silicio, más preferentemente
 - 20 en el que la cerámica de nitruro de silicio comprende un sialón; o
 - (c) en el que las paredes laterales (2a) y la placa inferior (2b) comprenden placas de diferentes materiales.

3. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la sonda ultrasónica (2d) está dispuesta en el canal de enfriamiento más cerca de un extremo aguas abajo de la estructura de contención que a un extremo aguas arriba de la estructura de contención.
 - 25

4. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención comprende niobio.

5. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención comprende cobre.
 - 30

6. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención comprende una aleación de acero.

7. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención comprende una cerámica, preferentemente
 - 35 en el que la cerámica comprende una cerámica de nitruro de silicio, más preferentemente en el que la cerámica de nitruro de silicio comprende un sialón.

8. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención comprende un material que tiene un punto de fusión mayor que el del metal fundido.
 - 40

9. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención incluye un extremo aguas abajo que tiene una configuración para suministrar dicho metal fundido en un molde (3), preferentemente
 - 45 (a) en el que el molde (3) comprende un molde de rueda de moldeo; o
 - (b) en el que el molde (3) comprende un molde de colada vertical; o
 - (c) en el que el molde (3) comprende un molde estacionario.

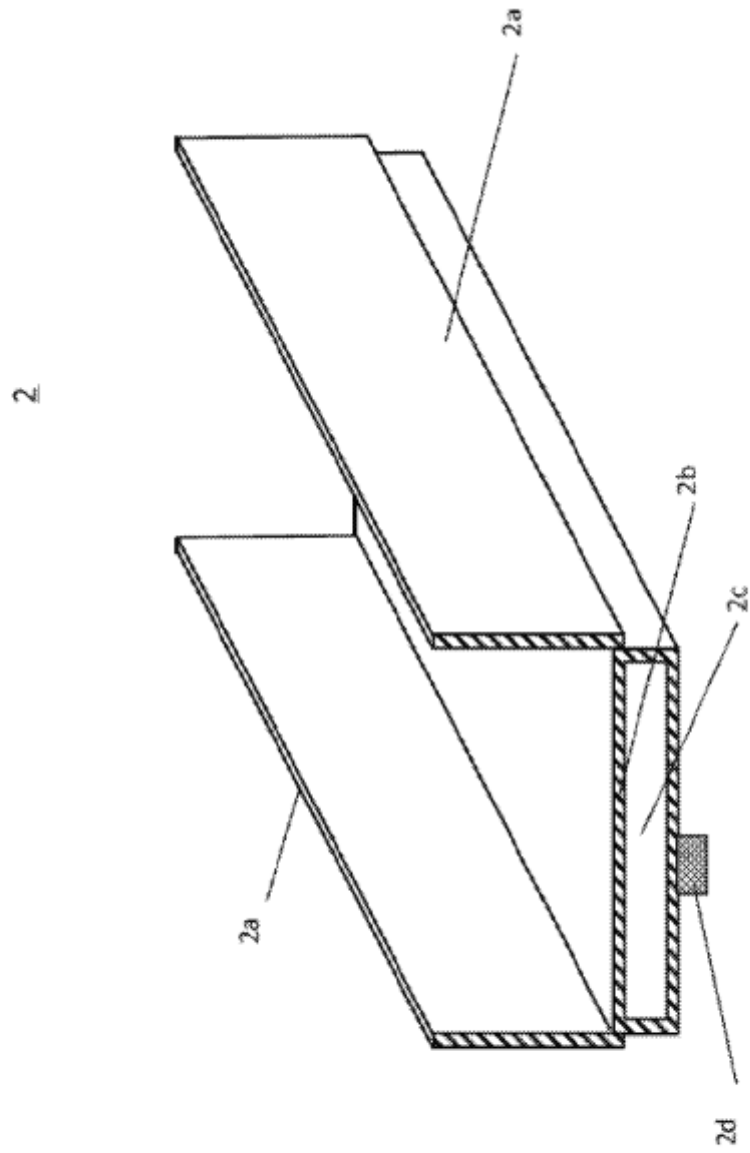
10. El dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la estructura de contención comprende un material refractario, preferentemente
 - 50 en el que el material refractario comprende al menos uno de cobre, niobio, niobio y molibdeno, tántalo, tungsteno y renio, y aleaciones de los mismos, más preferentemente
 - 55 en el que el material refractario comprende una aleación de acero.

11. Un procedimiento para formar un producto de metal, que comprende:
 - 60 transportar el metal fundido a lo largo de una longitud longitudinal de una estructura de contención de metal fundido;
 - enfriar la estructura de contención de metal fundido mediante el paso de un medio a través de un canal de enfriamiento acoplado térmicamente a la estructura de contención de metal fundido, logrando de esta manera un subenfriamiento en el fondo del canal; y
 - 65 acoplar ondas ultrasónicas a través del medio en el canal de enfriamiento y a través de la estructura de contención de metal fundido al metal fundido a través de una sonda ultrasónica (2d) dispuesta en el canal de enfriamiento.

12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el canal de enfriamiento proporciona enfriamiento al metal fundido de manera que el metal fundido adyacente al canal de enfriamiento alcanza la temperatura subliquidus.

5

Figura 1A



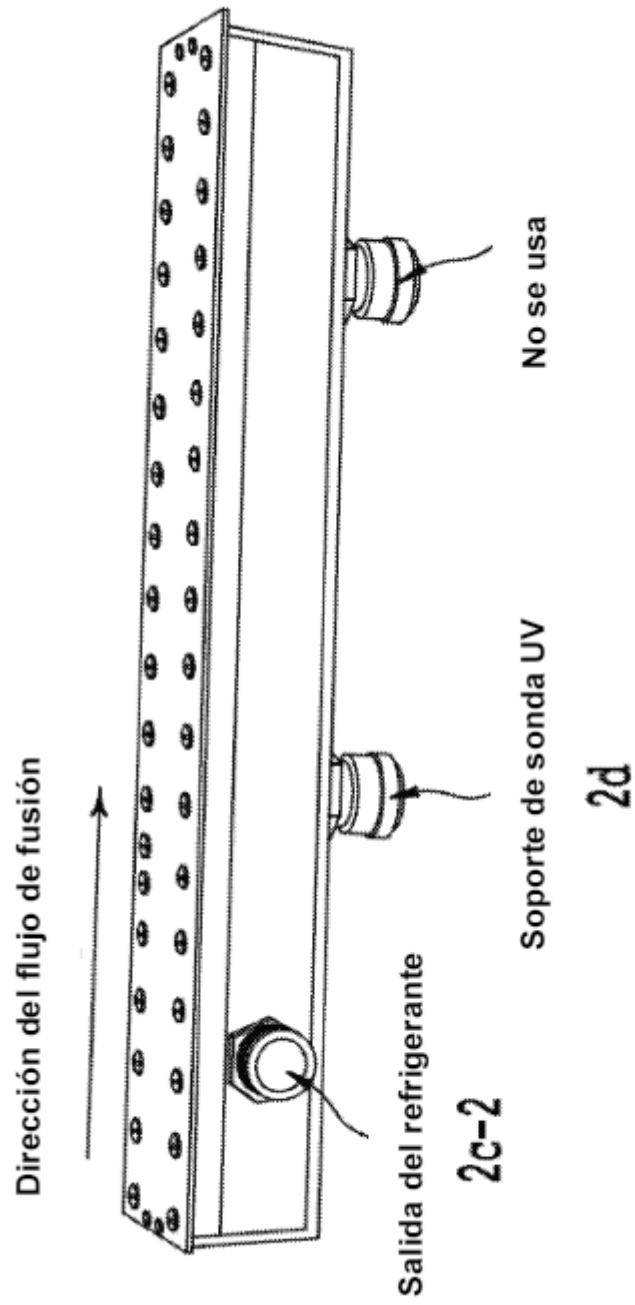


Figura 1B

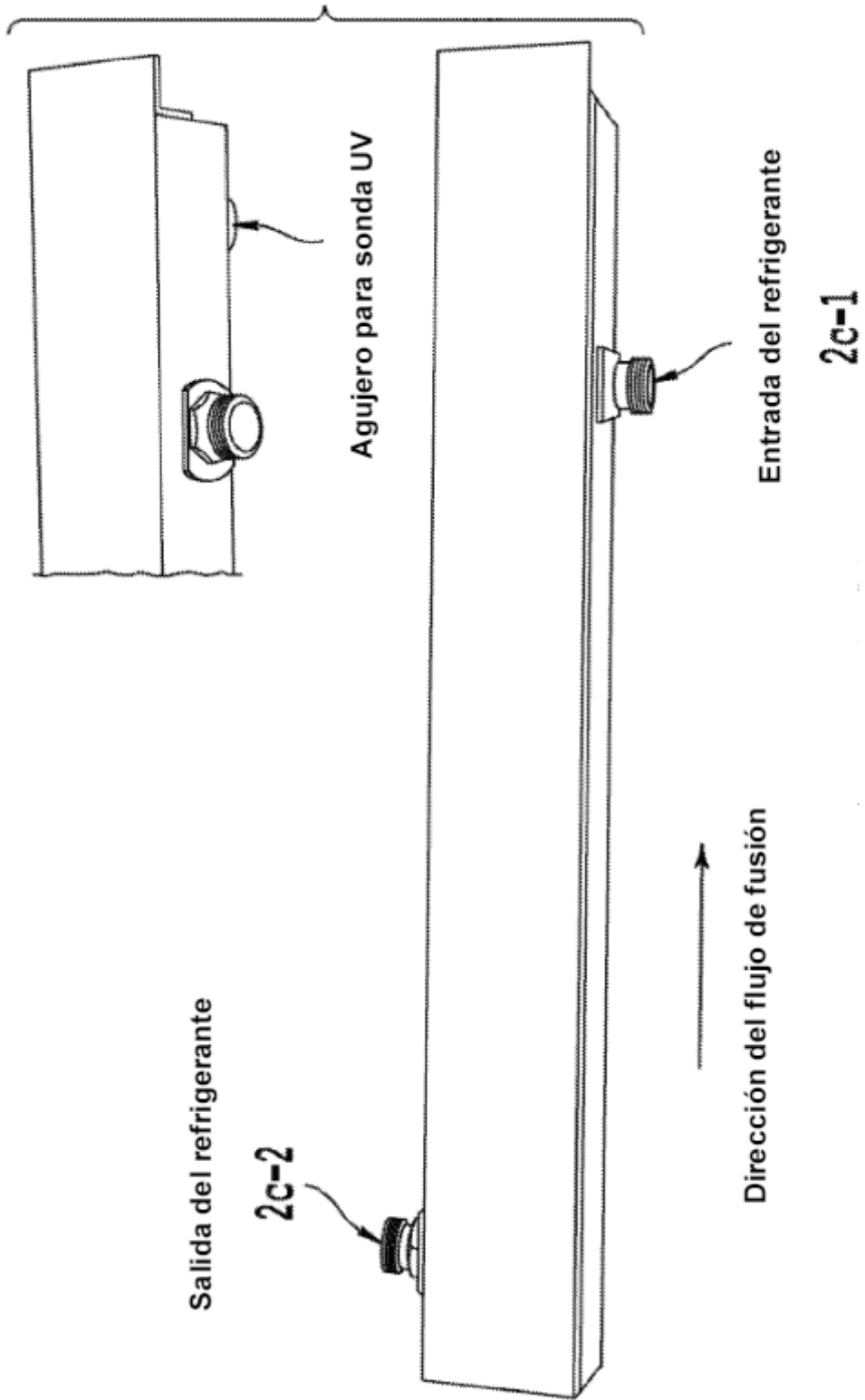


Figura 1C

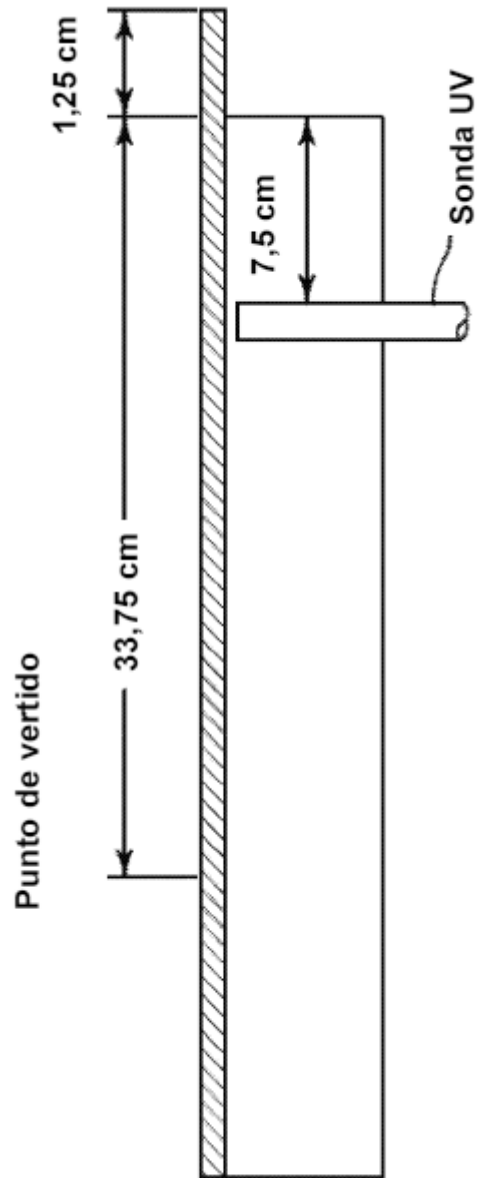


Figura 1D

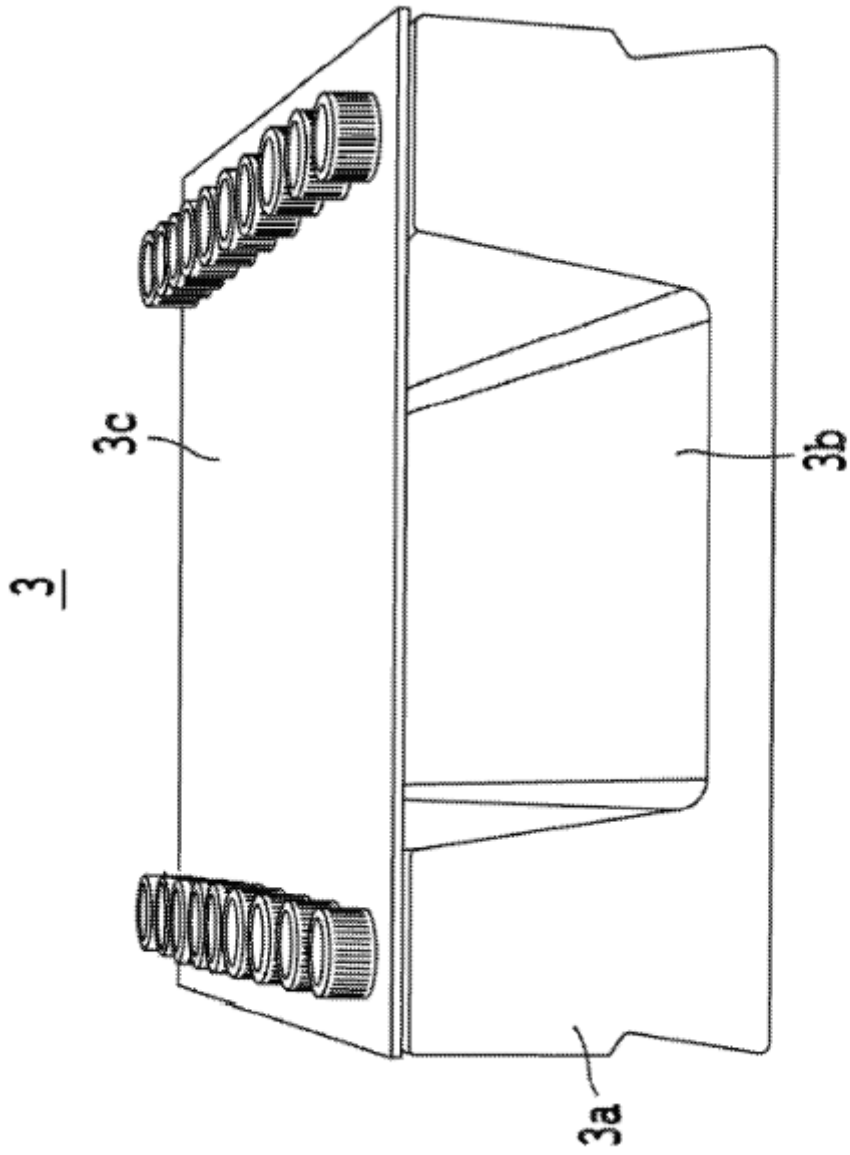


Figura 2

Figura 3A

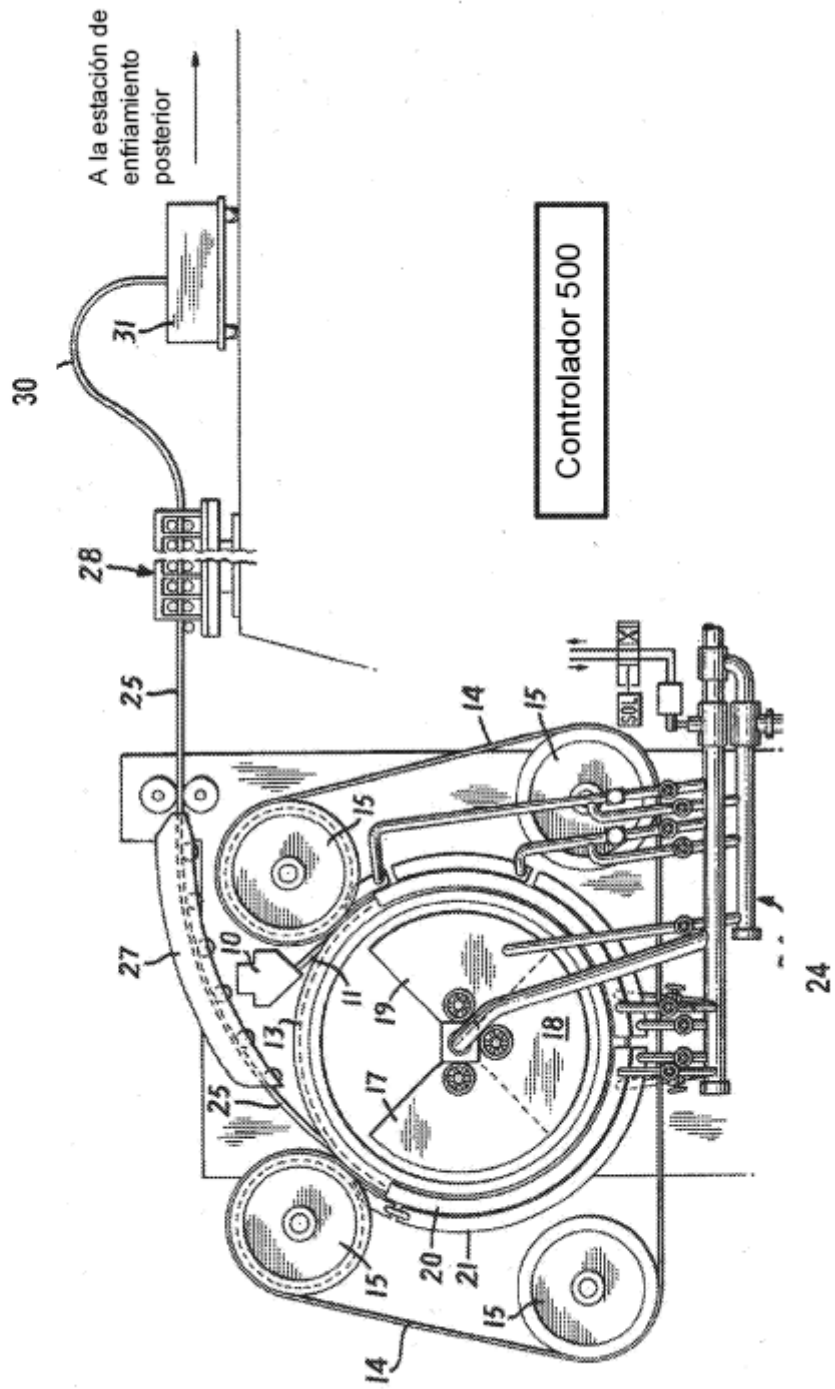
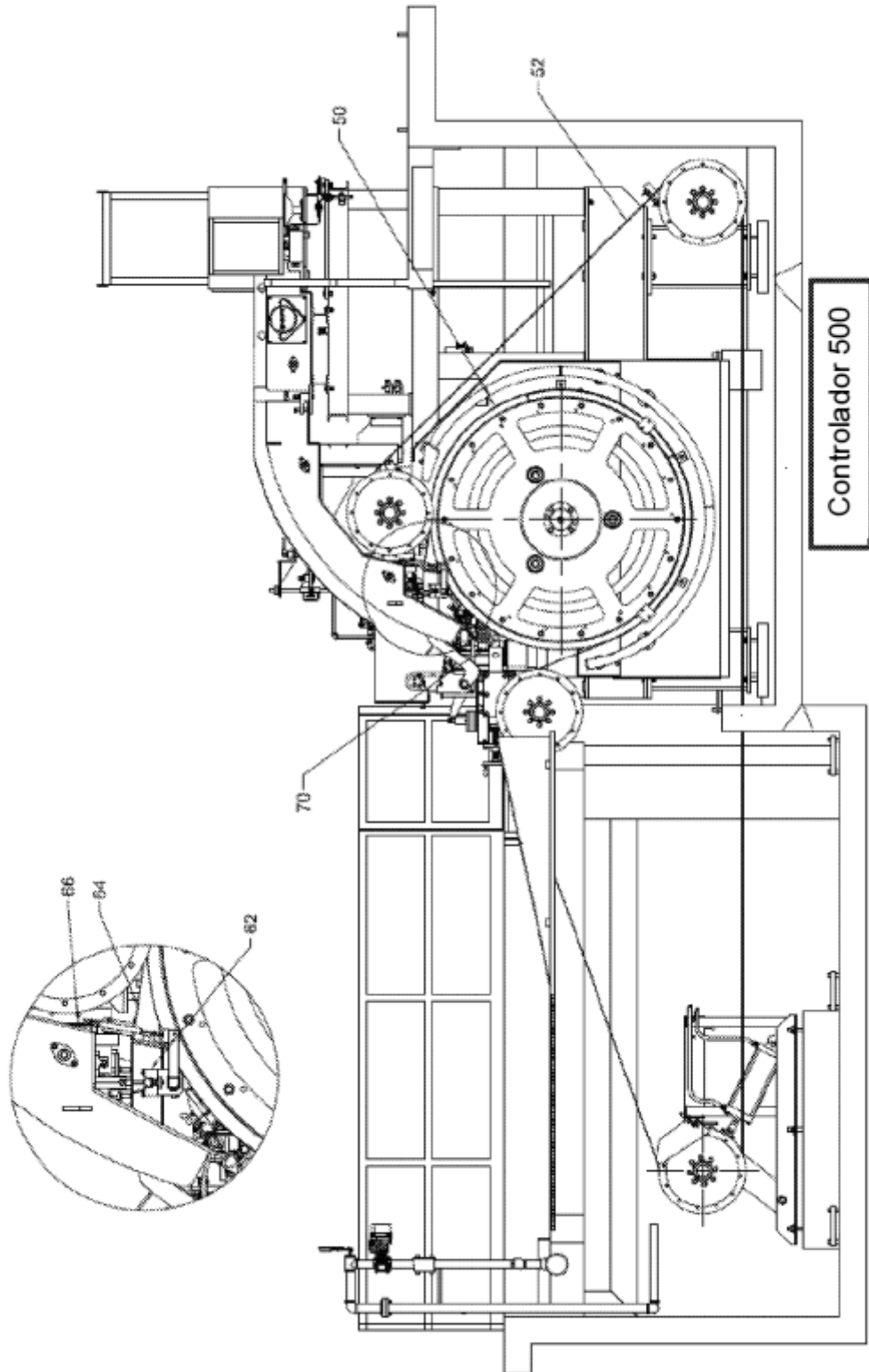
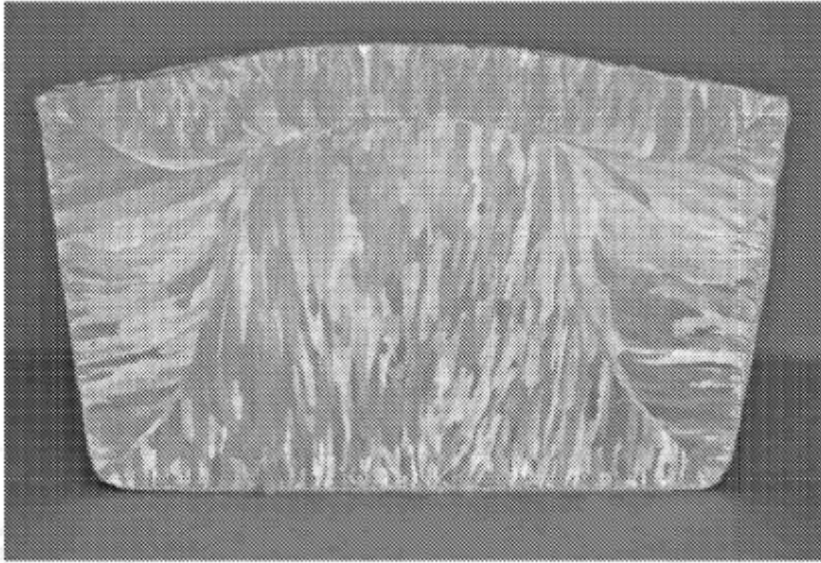


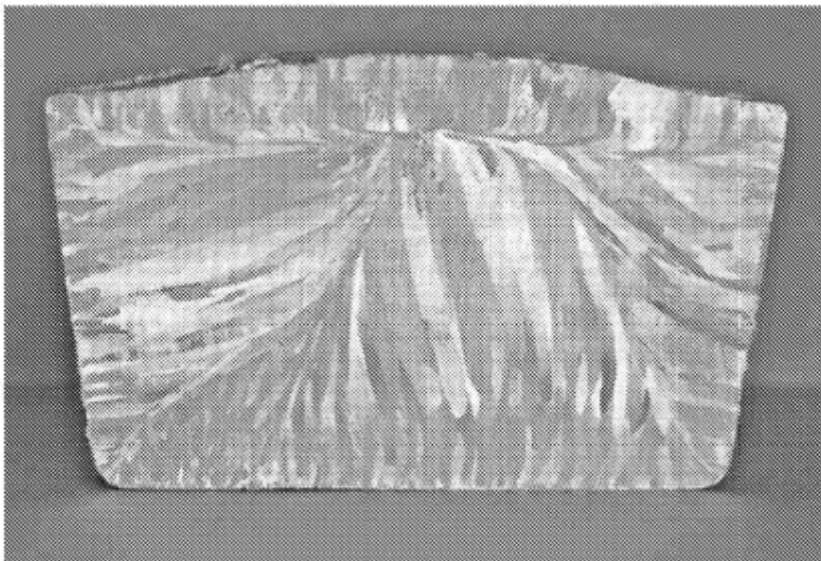
Figura 3B





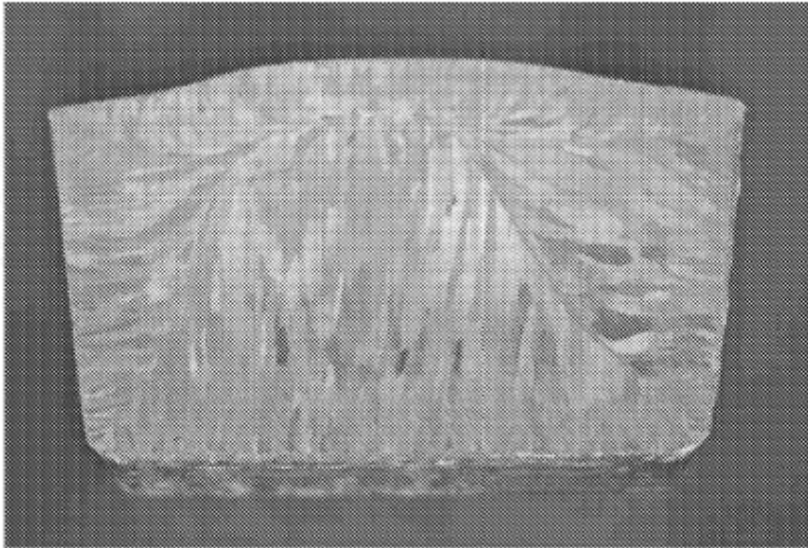
A 670 °C

Figura 4A



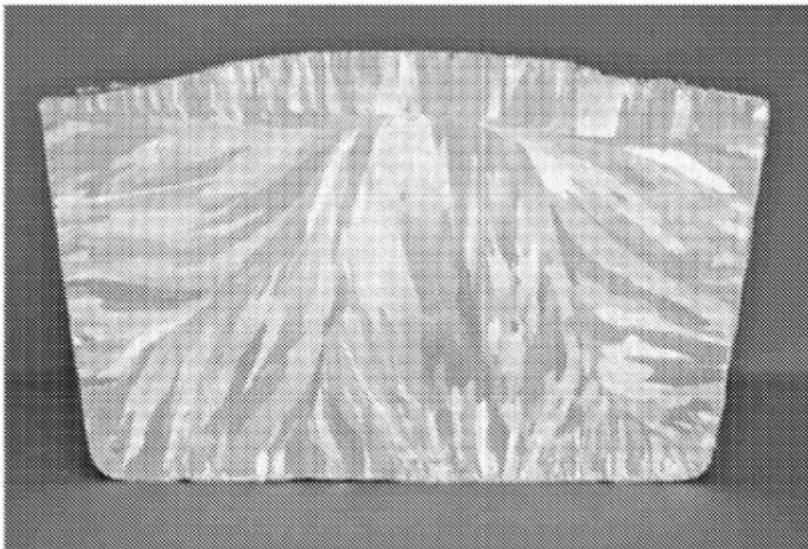
A 700 °C

Figura 4B



A 730 °C

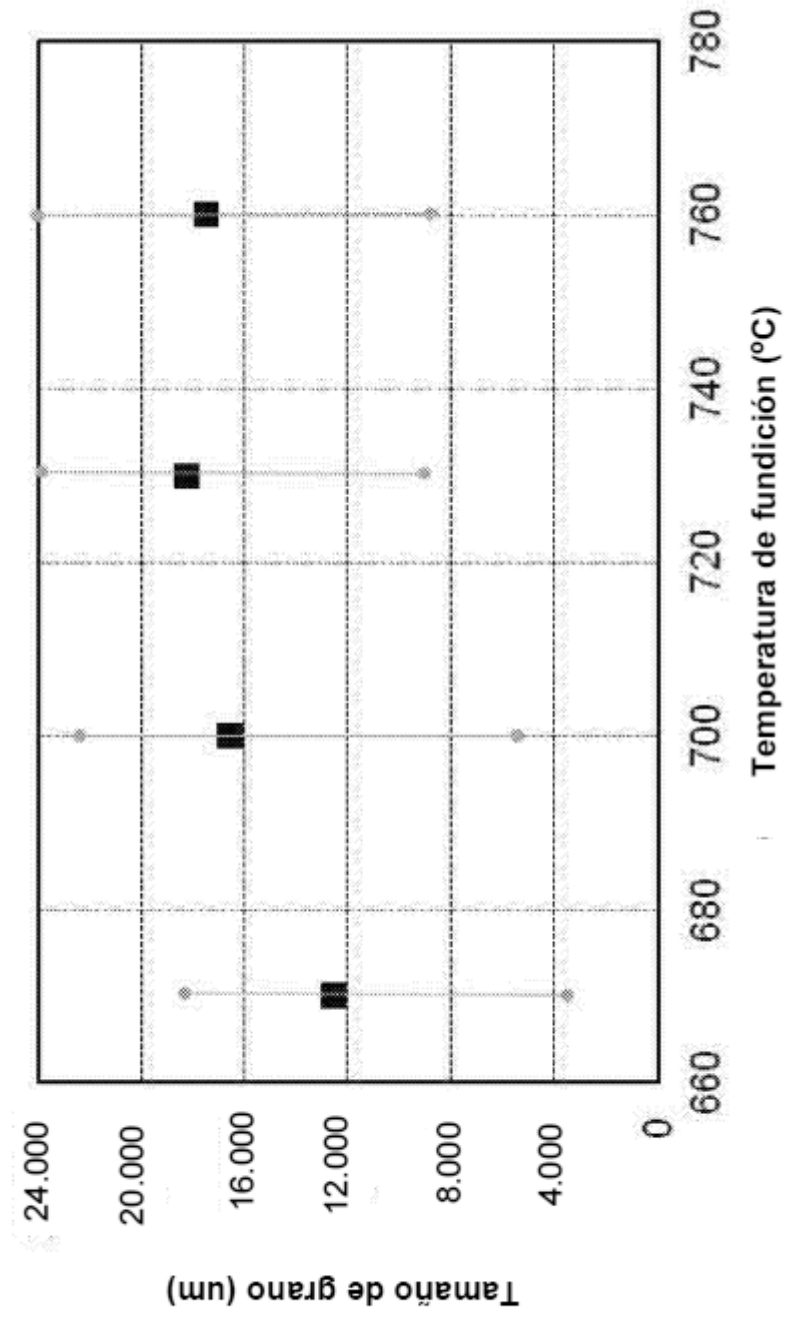
Figura 4C



A 760 °C

Figura 4D

Figura 5



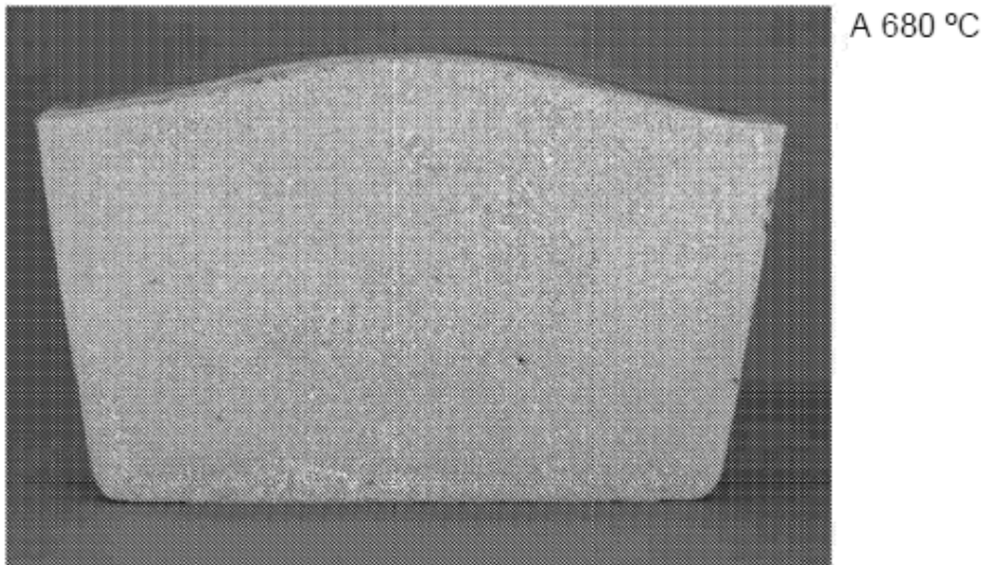


Figura 6A

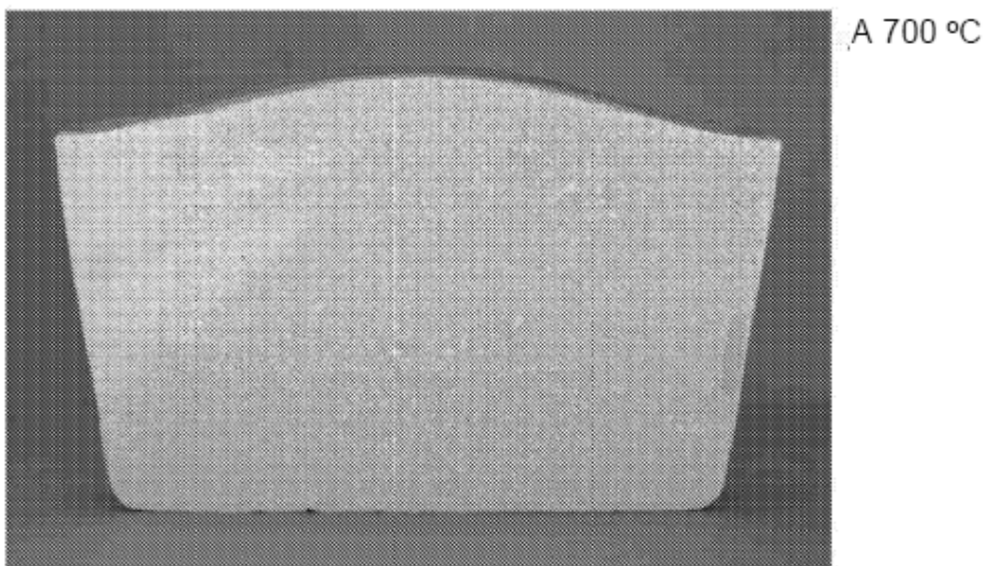


Figura 6B

A 720 °C

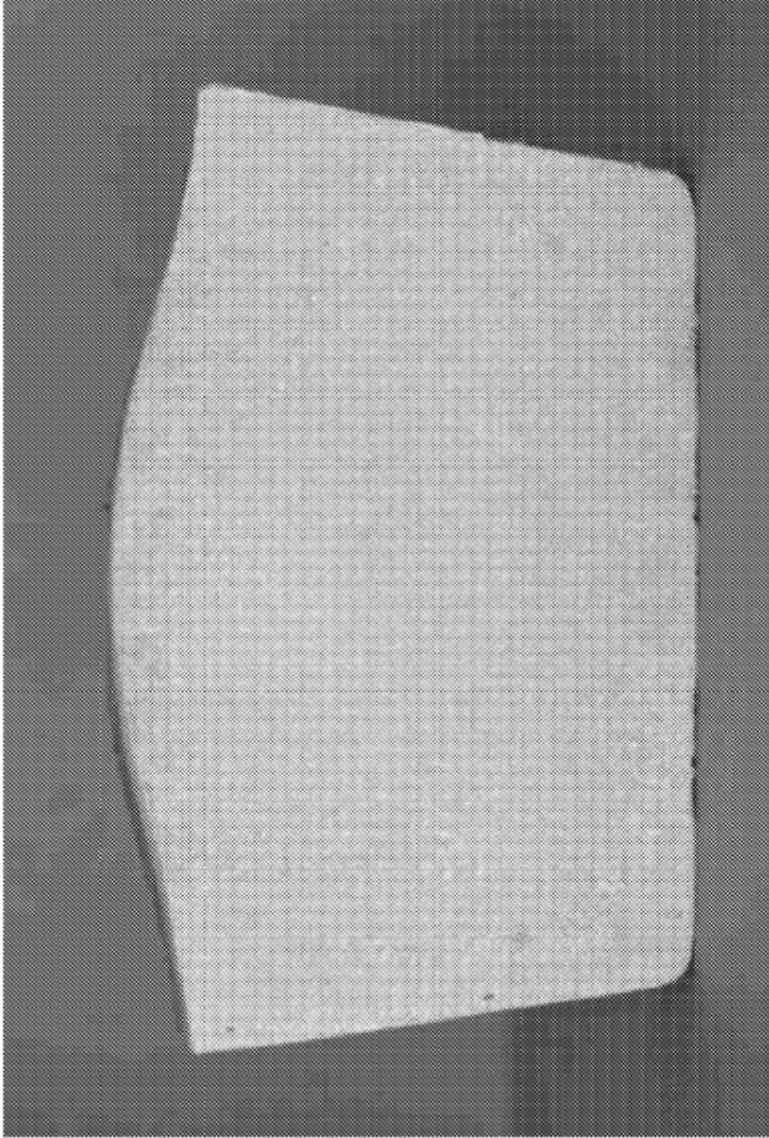


Figura 6C

Figura 7

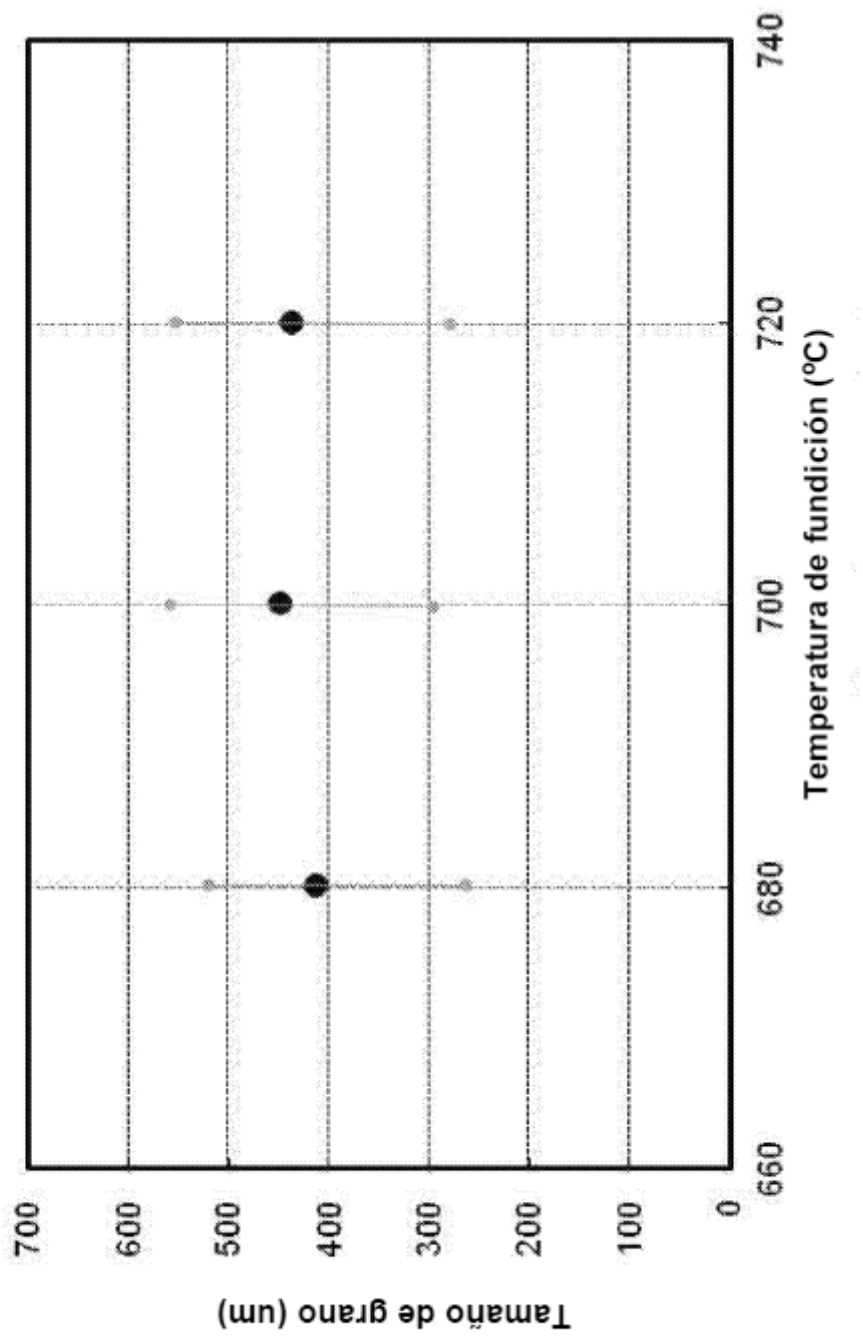


Figura 8

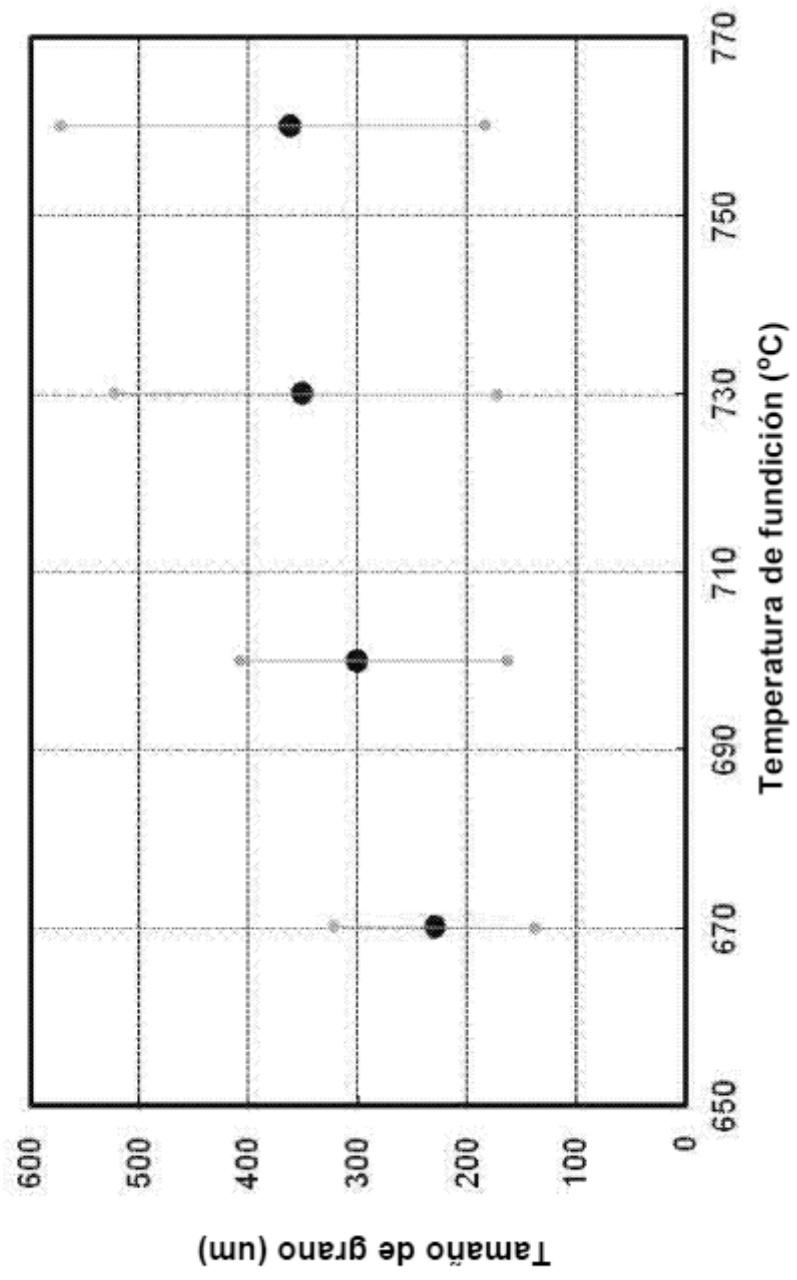


Figura 9

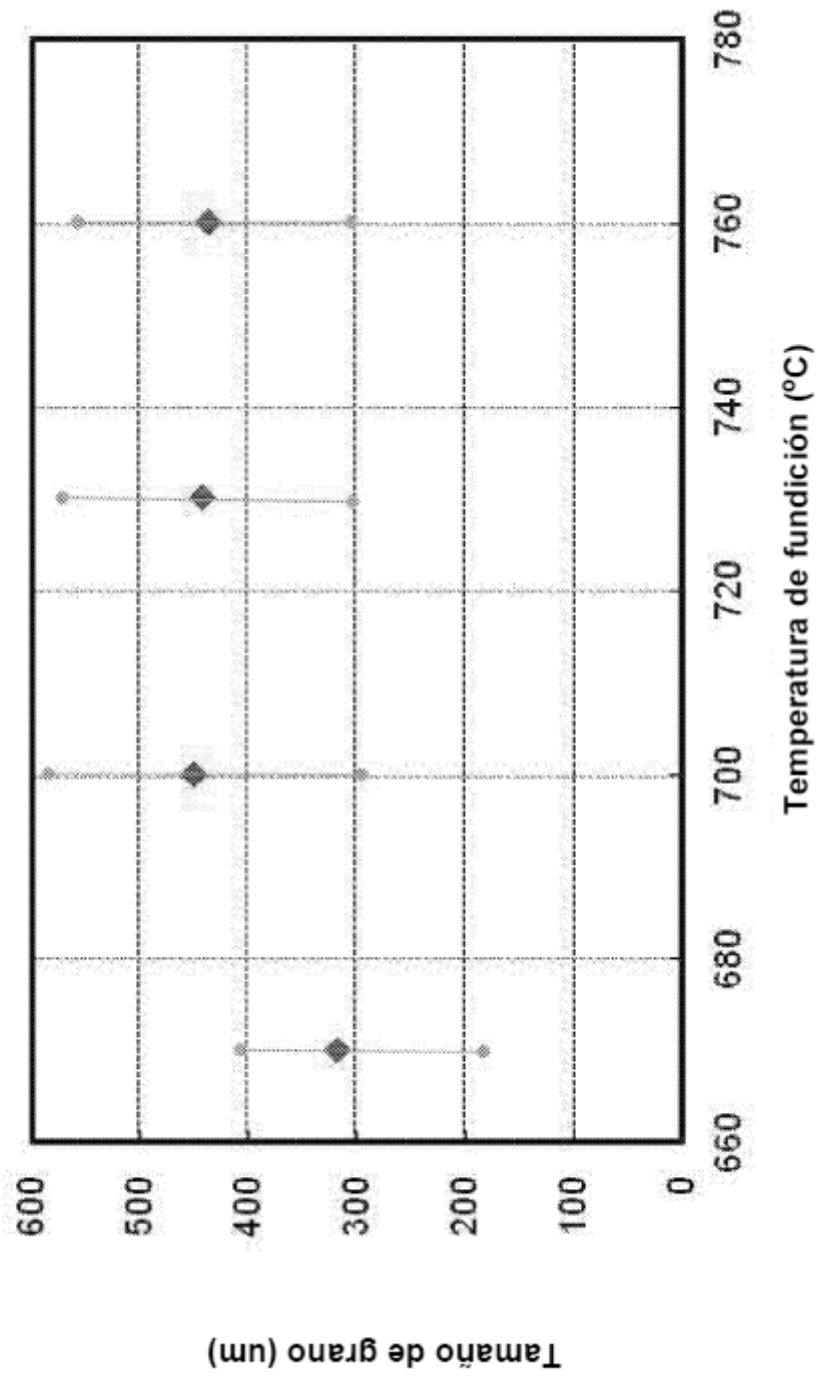
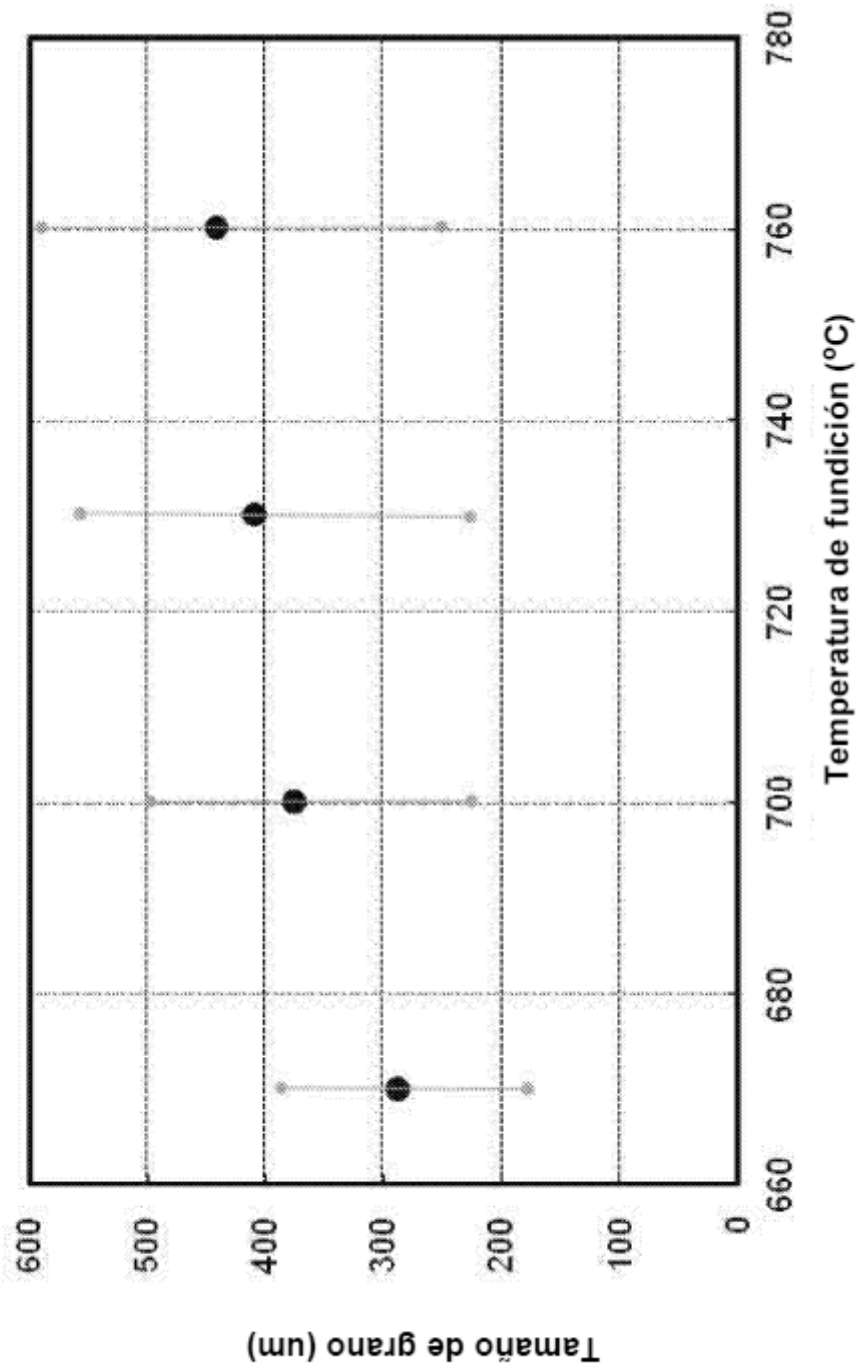


Figura 10



A 730 °C

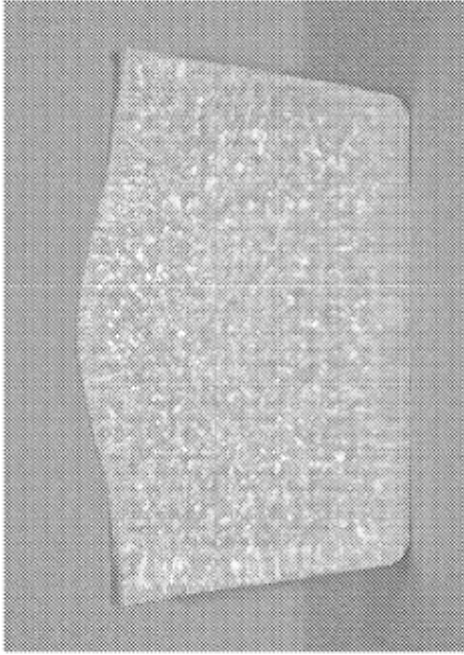


Figura 11A

A 760 °C

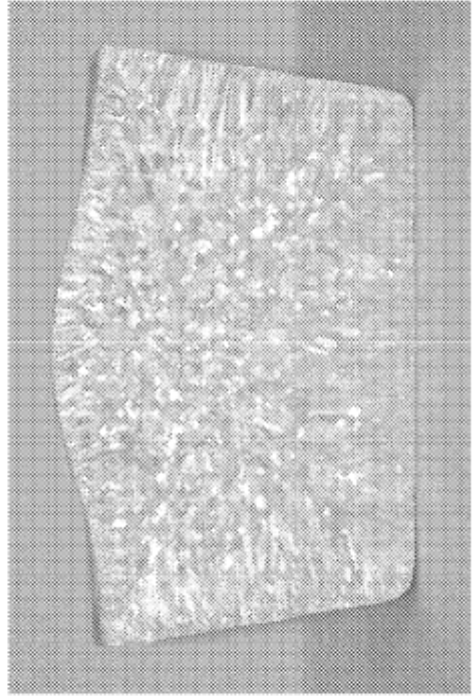


Figura 11B

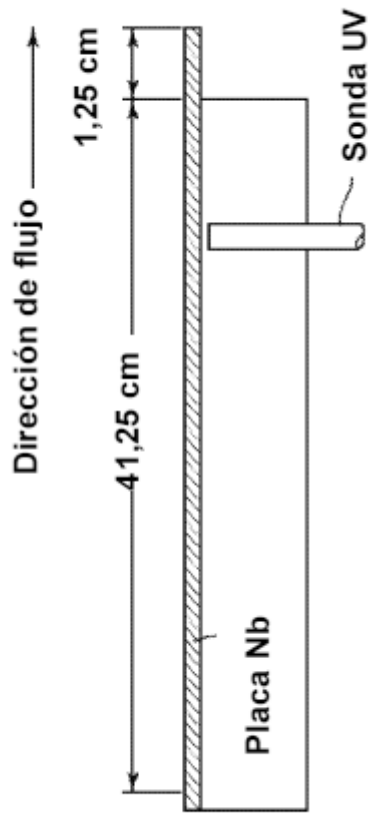


Figura 11C

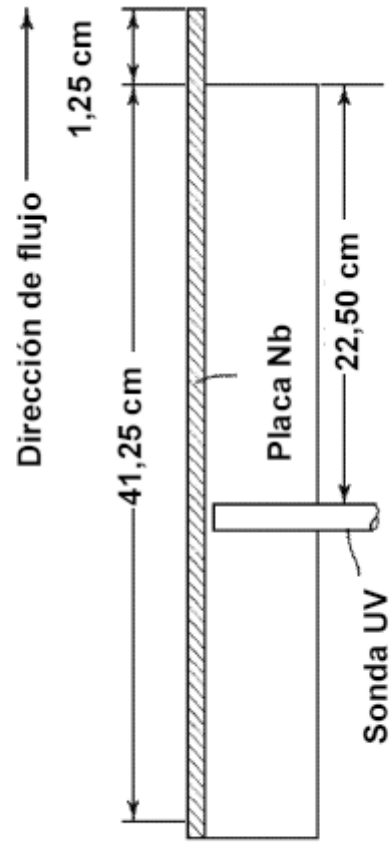
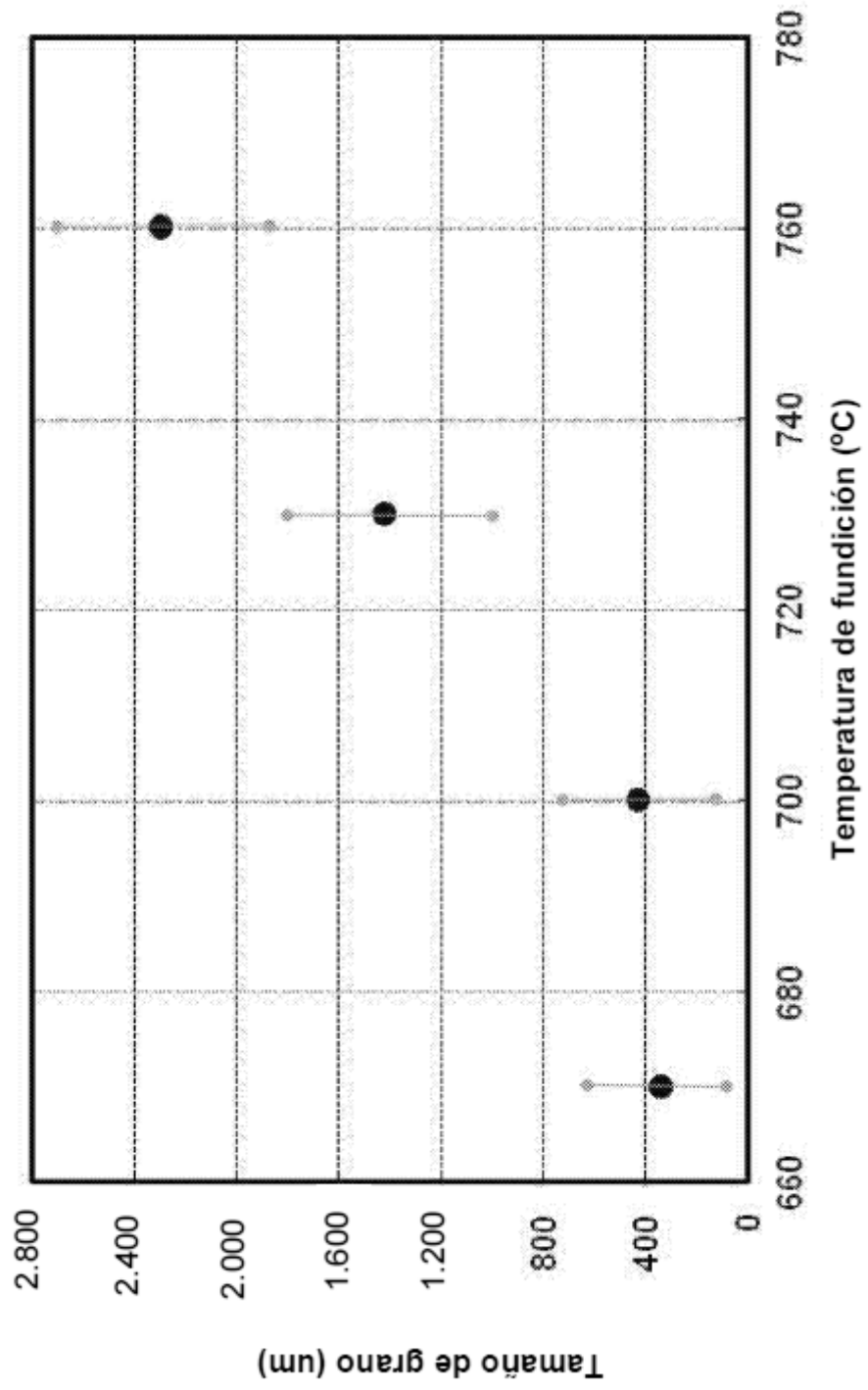


Figura 11D

Figura 12



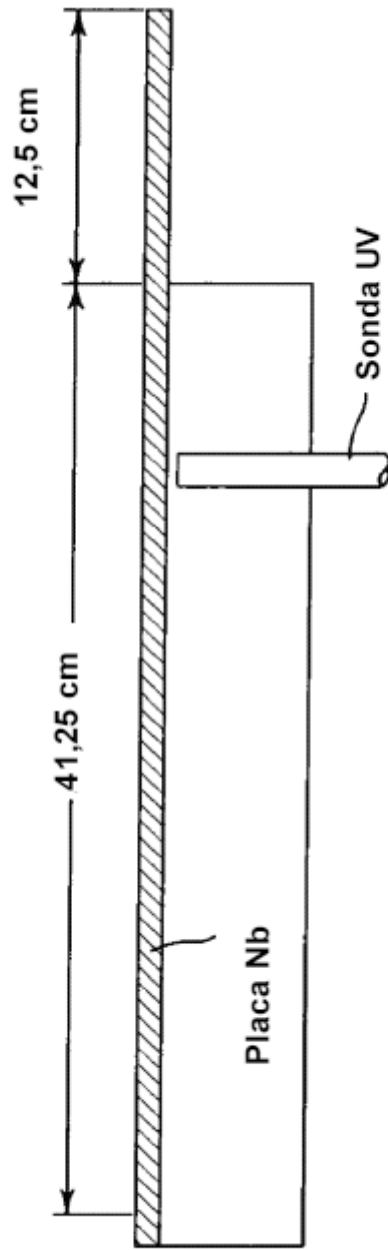


Figura 13A

Figura 13B

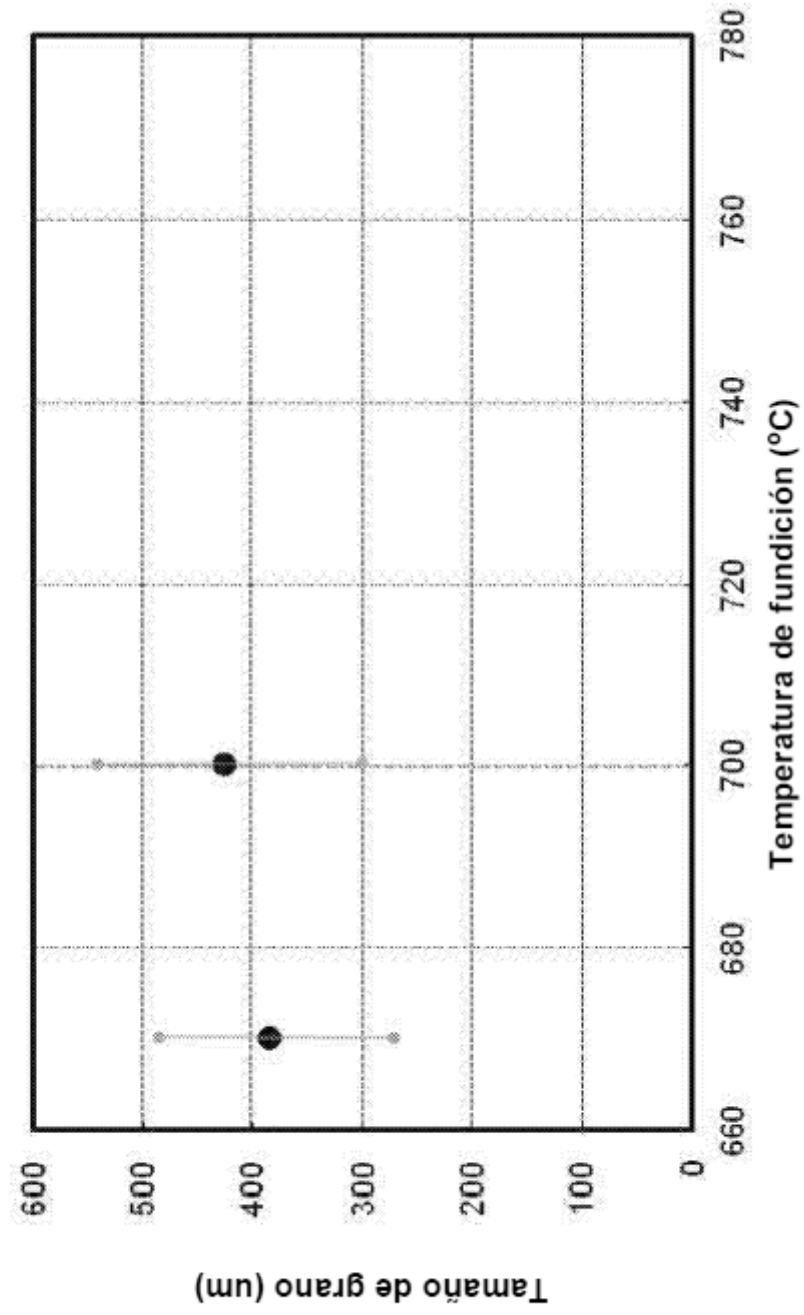
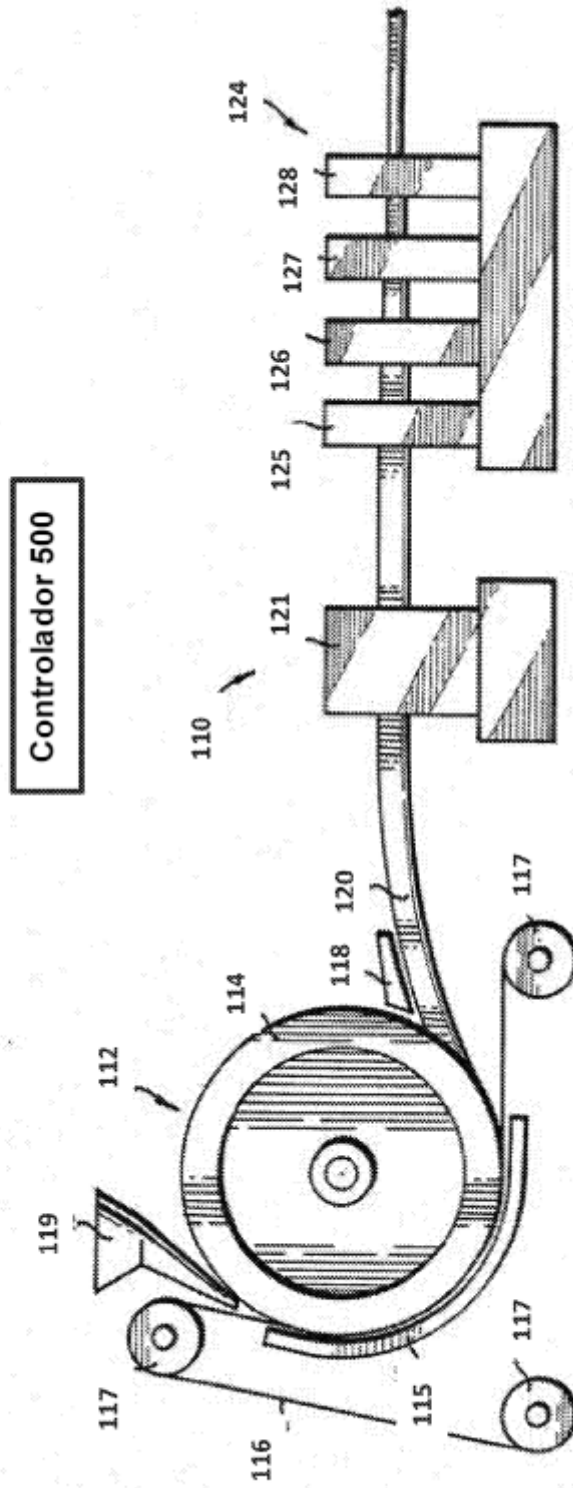


Figura 14



Figuras 15A-15D

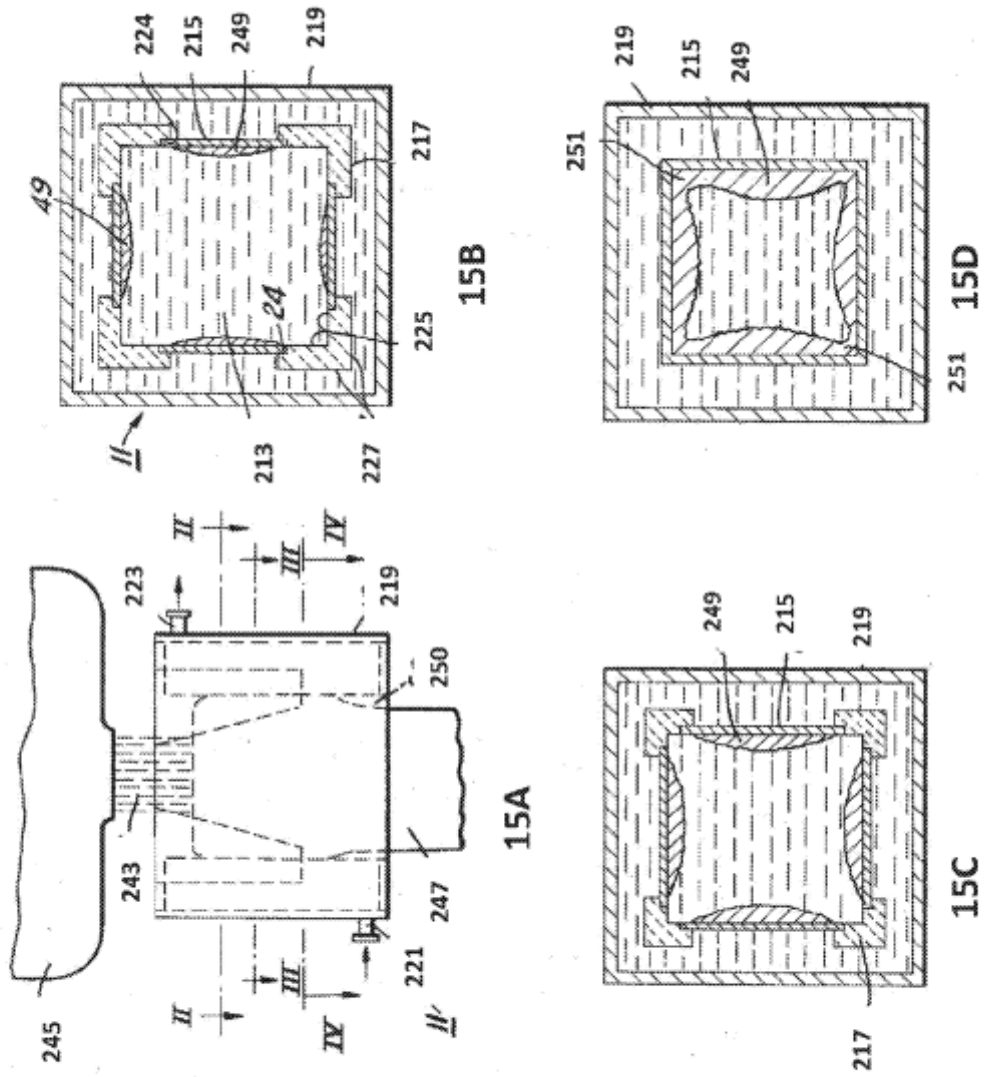


Figura 16

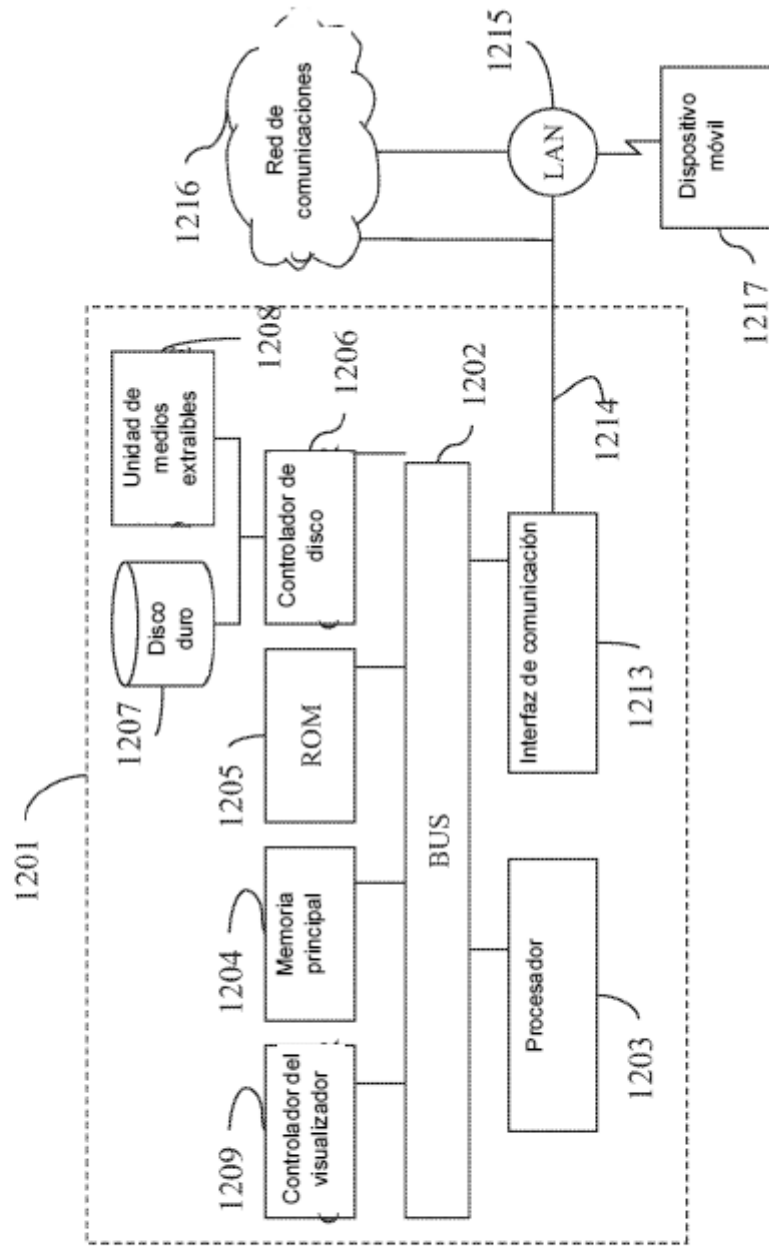


Figura 17

