

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 211**

51 Int. Cl.:

<b>B22D 19/02</b>	(2006.01)	<b>C22C 49/06</b>	(2006.01)
<b>B22D 19/14</b>	(2006.01)		
<b>C04B 38/00</b>	(2006.01)		
<b>C22C 47/12</b>	(2006.01)		
<b>B22F 3/22</b>	(2006.01)		
<b>B29C 70/88</b>	(2006.01)		
<b>B32B 5/14</b>	(2006.01)		
<b>C22C 32/00</b>	(2006.01)		
<b>C22C 49/04</b>	(2006.01)		
<b>F16D 65/12</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2014 PCT/US2014/000050**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14149135**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2014 E 14729490 (4)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.05.2018 EP 2969313**

54 Título: **Artículos composite de densidad variable y procedimiento**

30 Prioridad:

**15.03.2013 US 201361802277 P**

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

**25.09.2018**

73 Titular/es:

**REL, INC. (100.0%)  
57640 North Eleventh Street  
Calumet, MI 49913, US**

72 Inventor/es:

**LOUKUS, ADAM R. y  
LOUKUS, JOSH E.**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 683 211 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

Artículos composite de densidad variable y procedimiento

**Referencias cruzadas**

5 Esta solicitud reclama el beneficio de la Solicitud Provisional de los Estados Unidos N.º 61/802.277, presentada el 15 de marzo de 2013.

**Campo**

Esta divulgación se refiere en general a artículos composite y piezas fundidas que tienen diversos grados de refuerzo, y se refiere más particularmente a preformas de fundición, artículos de fundición que contienen tales preformas infiltradas con un material de matriz, y a procedimientos para fabricar las mismas.

10 **Antecedentes**

Los materiales tradicionales (por ejemplo, metales, plásticos, cerámicas, resinas, hormigón, etc.) no siempre proporcionan componentes con todas las propiedades requeridas suficientes para un rendimiento adecuado en condiciones de servicio de campo. Como es bien sabido, una manera de modificar y/o mejorar las propiedades finales de un componente es reforzar el material primario que compone el componente con uno o más materiales adicionales. Una clase de materiales reforzados son los materiales composite de matriz, que generalmente se forman a partir de materiales tradicionales (por ejemplo, un material de matriz) que incluyen uno o más constituyentes de refuerzo discretos (por ejemplo, un material o componente de refuerzo) distribuidos dentro de una fase continua del material de matriz. Dichos materiales composite de matriz exhiben características funcionales y estructurales que dependen, por ejemplo, de las propiedades del constituyente o constituyentes de refuerzo, la forma arquitectónica y la geometría de dicho constituyente o constituyentes, y las propiedades de las interfaces entre el mismo y entre los diferentes constituyentes y el material de matriz.

Los materiales composite generalmente incluyen uno o más tipos diferentes de materiales de refuerzo. El refuerzo de partículas a menudo incluye partículas no metálicas, y comúnmente cerámicas (por ejemplo, SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, etc.), pero puede incluir una variedad de partículas y materiales que proporcionan ventajas o refuerzo para una o más propiedades del material composite de matriz. El refuerzo del material de la matriz con fibras, que incluyen fibras continuas, monofilamento y/o fibras cortas también es conocido en la técnica. Generalmente, diferentes tipos de materiales composite de matriz requieren o están generalmente asociados con diferentes rutas/procedimientos de procesamiento primario. Ejemplos de diferentes procedimientos para formar materiales composite de matriz incluyen, aunque no están limitados a, procedimientos reactivos *in situ*, unión por difusión, mezcla y consolidación, deposición de vapor y consolidación, procesamiento en estado líquido, mezcla y colada en líquido/colada de lechada, colada centrífuga y procedimientos de infiltración que implican la infiltración del material de la matriz en preformas porosas.

Algunos procedimientos de fabricación y conformación existentes están diseñados para proporcionar distribuciones de un material de refuerzo dentro de un material de matriz. En algunos casos, el material de refuerzo puede distribuirse uniformemente en un área, mientras que en otros casos la distribución puede ser no uniforme. Sin embargo, en muchos casos, las limitaciones con las técnicas anteriores han conducido a resultados poco deseables, dando como resultado una búsqueda continua de procedimientos de conformación, y de los materiales composite correspondientes que exhiban las propiedades estructurales y/o funcionales deseadas.

Se proporcionará una breve descripción general de algunos procedimientos que se han utilizado para formar materiales composite. Los procedimientos de refuerzo selectivo *in situ* implican colocar y posicionar un elemento de material de refuerzo precolada (a veces denominado 'preforma') en moldes de fundición de forma aproximada. El material de matriz se cuela alrededor del miembro de refuerzo para formar el material composite. Aunque la cantidad y/o densidad del material de refuerzo precolada puede variarse como se desee, el material constituyente de los miembros de refuerzo no se integra (por ejemplo, se mezcla o infiltra) con el material de la matriz, excepto tal vez en una medida limitada en los límites interfaciales entre el miembro de refuerzo y el material de matriz no reforzado. Por lo tanto, tales procedimientos *in situ* se ven obstaculizados por diferentes coeficientes de expansión térmica ('CET') abruptos y problemáticos entre el material de la matriz y el miembro de refuerzo. Dichas transiciones abruptas en los CET en los límites de la interfaz de refuerzo de la matriz pueden dar lugar a tensiones residuales durante el procedimiento de conformación (por ejemplo, concentración de tensiones residuales) y también se manifiestan en fracturas por tensión durante el ciclo térmico de los componentes reforzados durante el servicio.

Otro ejemplo de refuerzo selectivo *in situ* implica la *fundición por infiltración* del material de la matriz en preformas porosas colocadas en moldes de fundición de forma aproximada. La estructura de la preforma porosa incluye un constituyente de refuerzo, que puede ser uniforme o no uniforme. Una ventaja de la fundición por infiltración de preformas es que el procedimiento es relativamente rápido, lo que da como resultado una preforma infiltrada más integrada con sustancialmente más área de contacto entre el refuerzo y los materiales de la matriz. Aun así, los materiales todavía exhiben transiciones abruptas de los CET en la interfaz/límites entre la preforma y el material de matriz no reforzado que pueden crear los problemas de tensión indicados anteriormente. Además, existen límites

prácticos para la cantidad y densidad del material de refuerzo que puede colocarse dentro de una preforma porosa, porque la resistencia a la fundición por infiltración aumenta sustancialmente con niveles de refuerzo elevados (por ejemplo, más del 15 % al 20 % de material en la preforma). Además, el espesor y el área de la sección transversal de dichas preformas debe limitarse para permitir la infiltración completa antes del enfriamiento del material de la matriz.

Las técnicas de colada centrífuga se han usado para reforzar selectivamente los materiales composite colocando o distribuyendo favorablemente el material de refuerzo para formar distribuciones en gradiente o en capas del material de refuerzo dentro del material de la matriz. Mientras que las transiciones abruptas en el coeficiente de expansión térmica ("CET") en los límites de la interfaz de refuerzo de la matriz pueden reducirse en realizaciones centrífugas donde se forman gradientes de partículas continuos dentro del material de la matriz, tales procedimientos aún exhiben efectos diferenciales en cuanto a los CET en rentabilidad en las realizaciones que comprenden partículas de refuerzo estratificadas. Además, en los procedimientos centrífugos, las variaciones alcanzables de las distribuciones de partículas están limitadas a bandas o capas y/o gradientes continuos, y si se usan simultáneamente diferentes tipos de partículas de refuerzo que tienen densidades diferentes, puede ser imposible obtener distribuciones de gradientes de partículas adecuadamente coordinadas (colocalizadas) o conseguir los diferentes tipos de partículas que se necesitan y en el patrón deseado.

En ejemplos adicionales, otro tipo de refuerzo selectivo implica la deposición o pulverización (por ejemplo, mediante técnicas de pulverización a baja o alta velocidad) de partículas de refuerzo sobre la superficie de piezas fundidas de material de matriz de forma aproximada. Una desventaja de tales procedimientos para estas aplicaciones es que la pulverización o deposición es superficial, porque se aplica a la superficie de las coladas de material de matriz sólida, y no penetra sustancialmente más allá de la superficie. Además, tales revestimientos superficiales de refuerzo generalmente se deben mecanizar de manera significativa antes de poner en servicio la colada reforzada. Además, al no modificar la superficie con más refuerzo, la vida útil efectiva de tales piezas fundidas termina una vez que la capa de refuerzo superficial se desgasta y/o se degrada de otra manera. Además, en tales aplicaciones de refuerzo superficial, la unión e integración del refuerzo rociado/depositado con el material de la matriz es limitado, incluso con los procedimientos de pulverización/deposición más óptimos.

Los procedimientos de colado de gel son otra forma de hacer preformas que tienen materiales de gradiente funcional. En el colado de gel, las preformas reforzadas con gradiente se pueden formar usando fuerzas gravitacionales o centrífugas para lograr un gradiente de composición vertical en todos moldeados. Las preformas pueden ser posteriormente infiltradas. Al igual que sucede con las realizaciones de colada centrífuga, las variaciones que se pueden conseguir en las distribuciones de partículas para los procedimientos de colado de gel de preformas están limitadas a capas y/o gradientes continuos. Si se desean/utilizan simultáneamente diferentes tipos de partículas de refuerzo con diferentes densidades, puede ser imposible obtener distribuciones adecuadas de gradiente de partículas coordinadas (colocalizadas) para los tipos de partículas divergentes, o para obtener los diferentes tipos de partículas donde se necesitan, y en el patrón deseado. Adicionalmente, las preformas fabricadas mediante tales procedimientos de colado de gel son problemáticas debido a la deformación excesiva y la contracción anisotrópica que se produce durante la etapa de sinterización debido a la cinética de sinterización diferente para los componentes del material.

Por consiguiente, existen métodos y procedimientos para formar materiales composite, así como materiales composite que tienen densidades de material variables tales como gradientes de material de refuerzo y otras distribuciones, tanto no uniformes como uniformes. Como se discutió anteriormente, sin embargo, las limitaciones de las técnicas anteriores han conducido a una búsqueda continua de procedimientos mejorados para formar materiales composite, y materiales composite y los artículos correspondientes que exhiban propiedades estructurales y/o funcionales mejoradas y/o deseadas.

## **Sumario**

Una realización incluye un artículo composite de matriz metálica, que comprende un cuerpo reforzado fundido. El cuerpo tiene una primera región y una segunda región con la primera región que tiene más refuerzo que la segunda región. El artículo también incluye un primer material de refuerzo, un segundo material de refuerzo, un material composite de matriz metálica que ocupa la segunda región del cuerpo y una preforma colocada en la primera región del cuerpo. El material composite de matriz metálica comprende un material de matriz metálica y el segundo componente de refuerzo. La preforma está infiltrada por al menos el material de matriz metálica del material composite de matriz metálica y además comprende un primer extremo, un segundo extremo, una superficie exterior, el primer componente de refuerzo y una estructura porosa configurada para permitir el paso del material de matriz metálica en la preforma y para bloquear o reducir el paso del primer componente de refuerzo en la preforma. El primer componente de refuerzo comprende una densidad que aumenta entre el primer extremo de la preforma y el segundo extremo de la preforma de acuerdo con un primer gradiente. El artículo incluye además una región de transición del cuerpo situado cerca de la superficie exterior de la preforma que incluye una distribución del segundo componente de refuerzo adyacente a la superficie exterior de la preforma, comprendiendo la distribución del segundo componente de refuerzo una densidad que aumenta de acuerdo con un segundo gradiente en una dirección hacia la superficie exterior de la preforma.

Estas y varias otras características y ventajas serán evidentes a partir de la lectura de la siguiente descripción detallada

**Breve descripción de los dibujos**

5 Los siguientes dibujos ilustran algunas realizaciones particulares de la presente invención y, por lo tanto, no limitan el alcance de la invención. Los dibujos no están a escala (a menos que así se indique) y están destinados a ser utilizados en conjunto con las explicaciones en la siguiente descripción detallada. Algunas realizaciones se describirán a continuación conjuntamente con los dibujos adjuntos, en los que los mismos números indican elementos similares.

10 La Figura 1 es un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de llenado de cavidades y preformas de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 2 es una representación de un gradiente de refuerzo funcional de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 3 es una porción ampliada del gradiente de refuerzo funcional de la Figura 2 de acuerdo con una realización de la invención.

15 Las Figuras 4A-4C son vistas ampliadas del gradiente de refuerzo funcional de la Figura 2 de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de un conjunto de freno de acuerdo con una realización.

La Figura 6 es una vista en sección de un rotor de freno de acuerdo con una realización.

La Figura 7 es una vista en sección de un rotor de freno de acuerdo con una realización.

20 Las Figuras 8A-8E ilustran un procedimiento para fabricar un rotor de freno composite de matriz metálica de acuerdo con una realización.

La Figura 9 ilustra un procedimiento para fabricar un tambor de freno composite de matriz metálica de acuerdo con una realización.

25 La Figura 10 ilustra una vista de vistas en primer plano de un gradiente de refuerzo funcional formado por un procedimiento de deposición de una suspensión de preforma de acuerdo con una realización.

Las Figuras 11A-11D ilustran un procedimiento para fabricar una preforma de densidad variable de acuerdo con una realización.

La Figura 12 ilustra un procedimiento para fabricar una preforma de densidad variable de acuerdo con una realización.

30 Las Figuras 13 y 14 ilustran superficies de trabajo para fabricar una preforma de densidad variable de acuerdo con las realizaciones.

**Descripción detallada**

35 La siguiente descripción detallada es de naturaleza ilustrativa y no pretende limitar el alcance, la aplicabilidad o la configuración de la invención de ninguna manera. Por el contrario, la siguiente descripción proporciona algunas ilustraciones prácticas para implementar algunas realizaciones de la presente invención. Se proporcionan ejemplos de construcciones, materiales, dimensiones y procedimientos de fabricación para elementos seleccionados, y todos los demás elementos empleados son conocidos por los expertos en el campo de la invención. Los expertos en la técnica reconocerán que muchos de los ejemplos señalados tienen una variedad de alternativas adecuadas.

40 Ciertas realizaciones descritas en esta divulgación proporcionan y/o se refieren a un rotor de freno de automóvil que tiene una composición de matriz metálica (CMM) ligera que proporciona la capacidad de adaptar la estructura y las propiedades para cumplir con ciertas cargas térmicas y mecánicas variables y de corte. Además de los atributos térmicos y mecánicos, la tecnología CMM proporciona un procedimiento rentable para la fabricación de rotores de freno.

45 De acuerdo con algunas realizaciones, se pueden fabricar una o más preformas con uno o más Gradientes de Refuerzo Funcional (GRF) como se desvela en la patente US-8.075.827 B2 en copropiedad con el Solicitante titulada "Preformas de densidad variable" expedida el 13 de diciembre de 2011, y en la Solicitud de Patente de los Estados Unidos N.º 13/323.118 en copropiedad con el solicitante titulada "Preformas de densidad variable" presentada el 13 de diciembre de 2011 (ahora Publicación de Solicitud de Patente de los Estados Unidos N.º 2012/0227624 A1, de fecha 13 de septiembre de 2012).

50

Brevemente, de acuerdo con una realización de la invención, se forman uno o más GRF en una preforma estableciendo un flujo de suspensión cerámica en un molde y luego filtrando la suspensión para extraer y eliminar el líquido, creando (o dejando atrás) un gradiente funcional de los medios cerámicos contenidos en la suspensión. En algunas realizaciones, tales procedimientos pueden producir un GRF de aproximadamente 30 % a 45 % en volumen en la superficie de fricción.

La presente solicitud desvela realizaciones en las que la fracción volumétrica puede variar desde este alto nivel de refuerzo encontrado en la superficie de fricción hasta un nivel de refuerzo muy bajo o aproximadamente 0 % requerido en otras áreas. Las realizaciones desveladas son muy adecuadas para, entre otras, aplicaciones en automóviles y aviones, incluyendo sistemas de freno de rotor para camiones pesados y/o remolques. Las realizaciones desveladas en este documento proporcionan una o más ventajas o características sobre las prácticas anteriores. Por ejemplo, en la industria se han utilizado hasta la fecha rotores de dos piezas (por ejemplo, Brembo, Performance Friction) porque es extremadamente difícil mantener la planicidad del rotor durante un evento de frenado transitorio. La presente solicitud desvela realizaciones que superan esta y/u otras deficiencias. En un ejemplo, el uso de un gradiente reforzado funcional puede ayudar a superar este tipo de problemas.

Como se conoce generalmente en la técnica, cuando se usa un freno para desacelerar y/o parar un objeto en movimiento, el movimiento del objeto se transforma en calor y se transfiere al disco de freno para detener el vehículo en movimiento. Al aplicar el actuador de freno, el disco queda sujeto entre las pastillas de freno y se crea un arrastre rotativo. Este pinzamiento provoca la transformación de energía y se genera calor. En ciertas condiciones de funcionamiento, la energía térmica no se transfiere al disco uniformemente en toda la superficie debido a las diferencias en las velocidades tangenciales (o lineales) a lo largo del radio de la interfaz de la pastilla de freno. La velocidad tangencial del rotor del freno a cualquier distancia radial,  $r$ , desde el centro del rotor se define como el producto de  $2\pi r$  y la velocidad de rotación (es decir,  $((2\pi r) \times (\text{RPM}))$ ). Como será evidente, la mayor velocidad encontrada en las posiciones externas corresponde a un estado de energía térmica más alto (es decir, temperaturas más altas). Por lo tanto, las capacidades de transporte de carga térmica del rotor en las localizaciones externas necesitan manejar la mayor energía térmica generada allí.

De acuerdo con una realización, se puede lograr una mayor capacidad/manipulación de calor mediante la utilización de una concentración más alta de material cerámico a temperatura ultraalta en ubicaciones específicas del rotor. En algunas realizaciones, el coeficiente de expansión térmica (CET) se adapta al cambio del componente cerámico en el contenido de CMM de manera que el rotor se expandirá y se contraerá mientras permanezca en el plano. El control de la expansión y contracción no es posible si se utiliza un material monolítico como el hierro fundido en un rotor de freno. Esta es una de las razones por las cuales se nota la "inestabilidad del freno" en un sistema de frenado automotriz de hierro fundido monolítico.

Por consiguiente, algunas realizaciones desveladas en este documento proporcionan la capacidad de controlar la expansión y contracción del rotor durante el frenado (por ejemplo, debido al calentamiento y enfriamiento), permitiendo que las realizaciones del rotor o rotores de la invención desveladas en la presente divulgación se 'monten fuertemente' en el cubo. Aunque otras opciones de material pueden contener mejores propiedades de materiales en términos de temperaturas máximas de operación, la capacidad de adaptar (o personalizar) las propiedades del material GRF como se enseña en el presente documento permite un montaje efectivo de las superficies de fricción directamente en la sección del cubo del rotor y un control térmico más efectivo para evitar el desvanecimiento del freno (es decir, reducción de la capacidad de frenado).

### Ejemplos de realizaciones

De acuerdo con algunas realizaciones de la invención, la fracción volumétrica de cerámica en el rotor de freno cambia a través de la superficie de frenado que se extiende entre los diámetros interior y exterior del rotor. Por ejemplo, en un ejemplo de realización no limitativa, una ubicación o sección próxima a la extensión más externa (por ejemplo, próxima a la circunferencia) del disco de freno puede incluir aproximadamente 40 % a 45 % en volumen de refuerzo cerámico y aproximadamente 55 % a 60 % en volumen de una o más aleaciones ligeras; mientras que en algún lugar que no sea la extensión más externa, por ejemplo, cerca del cubo o en una sección o ubicación entre el cubo y la circunferencia, el disco de freno puede incluir aproximadamente de 30 % a 35 % en volumen de refuerzo cerámico y aproximadamente de 65 % a 70 % en volumen de una o más aleaciones ligeras. Un procedimiento para hacer tales cambios en la fracción volumétrica es enseñado por la patente US-8.075.827 B2, otorgada al Solicitante y titulada "Preformas de densidad variable" expedida el 13 de diciembre de 2011.

En algunos casos, se proporcionan distintas zonas e interfaces entre zonas. Por ejemplo, ciertas realizaciones de rotores de freno incluyen al menos tres zonas funcionales, a saber, a) interfaz de fricción (zona de calentamiento), b) ventilación (zona de enfriamiento) y) cubo de soporte (zona de transferencia del par). En algunos casos, estas zonas deberían o deben tener atributos específicos de los materiales para que el rotor, en su conjunto, funcione correctamente. También deben tener las interfaces adecuadas entre las zonas. Un alto contenido de material cerámico en la superficie de frenada del rotor, por ejemplo, próxima a la extensión más exterior, debe equilibrarse con un contenido de material cerámico inferior en la dirección radial que se extiende entre la circunferencia y el cubo, y a través del espesor hacia la ventilación interna.

5 En algunos casos, un diseño ilustrativo de acuerdo con algunas realizaciones implica el uso de dos preformas para moldear un artículo tal como una cuchilla o rotor de freno. En algunos casos, las dos preformas están funcionalmente graduadas en la dirección radial. En algunas realizaciones, las palas se infiltran durante el procedimiento de colada que crea toda la geometría del rotor tal como, pero sin limitarse a, el cubo, la ventilación y la sección de la pala, etc.

En ciertas realizaciones, el efluente (o suspensión espesa) puede ser, pero no se limita a, una aleación de aluminio o magnesio que contiene partículas y/o fibras cerámicas.

En algunas realizaciones, el al menos un extremo u orificio de salida puede ser, pero no está limitado a, una preforma porosa de gradiente funcional.

10 En ciertas realizaciones, se puede desarrollar un gradiente secundario en la interfaz de la preforma de metal de un artículo fundido.

15 En algunas realizaciones, el gradiente funcional en las regiones de interfaz puede servir, pero no se limita a, uno o más de los siguientes: (1) proporcionar una estructura cerámica continuamente cambiante para minimizar el aumento de tensión en la interfaz desde la carga mecánica y/o (2) calificar las diferencias en el CET en la interfaz para reducir las tensiones térmicas desarrolladas en la interfaz. En un evento de frenado, la carga térmica es tan importante, e incluso más, que la carga mecánica.

20 En algunas realizaciones de la invención, el grosor del GRF puede alterarse cambiando una o más de la densidad o el grosor o la composición de la preforma en la cavidad de la matriz. En ciertas realizaciones, la preforma y el aluminio portador del material cerámico entrante se pueden adaptar de manera que se consiga un GRF predeterminado en la una o más interfaces. En algunas realizaciones, la fracción de la combinación de fibra y/o partícula puede alterarse para aumentar o disminuir el grosor de la región de transición.

25 Por consiguiente, en algunas realizaciones, la preforma puede contener partículas cerámicas o fibras cerámicas continuas o fibras cerámicas discontinuas o cualquier combinación de las mismas en una cantidad que varía entre aproximadamente el 5 % y aproximadamente el 70 % en volumen. En ciertas realizaciones, la aleación o suspensión entrante puede incluir partículas cerámicas y/o fibras cerámicas en una cantidad que varía entre aproximadamente 5 % a 40 % en volumen. En algunas realizaciones, se puede inducir la vibración durante el procedimiento de moldeo para iniciar y/o mejorar la dispersión del material cerámico para proporcionar un gradiente predeterminado.

30 Como es bien conocido en la técnica, los diferentes materiales tienen diferentes coeficientes de expansión térmica (CET) y, por lo tanto, cada uno se expande a una velocidad diferente cuando se calientan. En consecuencia, si se unen entre sí materiales diferentes que tienen diferentes CET, la tensión térmica en la interfaz y en las proximidades de la misma puede ser sustancialmente, y en algunos casos significativamente, alta cuando se calienta. En consecuencia, proporcionar o crear un GRF puede reducir, minimizar y/o eliminar las tensiones térmicas que puedan surgir debido a las diferencias (o falta de correspondencia) en el CET del material utilizado en el rotor.

35 El estrés térmico en un material restringido se define por  $\sigma = \alpha E \Delta T$  donde  $\sigma$  es el estrés térmico,  $\alpha$  es el coeficiente de expansión térmica (CET) del material,  $E$  es el módulo de Young del material y  $\Delta T$  es el cambio de temperatura. El CET ( $\alpha$ ) de aluminio no reforzado es de aproximadamente  $22,9 \mu\text{m/m} \cdot ^\circ\text{C}$  (en el intervalo de temperatura de aproximadamente  $20^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $300^\circ\text{C}$ ); mientras que para un 40 % de aluminio reforzado con partículas de SiC, el CET ( $\alpha$ ) es aproximadamente  $11 \mu\text{m/m} \cdot ^\circ\text{C}$ . En consecuencia, a aproximadamente  $300^\circ\text{C}$ , la tensión en el aluminio y en la interfaz entre el aluminio y la CMM, respectivamente, sería

40 
$$\sigma_{\text{Al-MMC}} = ((22,9 - 11 \mu\text{m/m} - ^\circ\text{C}) * 124\text{E}9 \text{ N/m}^2 * 300^\circ\text{C}) = 443,39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Al}} = ((22,9 - 11 \mu\text{m/m} - ^\circ\text{C}) * 69\text{E}9 \text{ N/m}^2 * 300^\circ\text{C}) = 246,33 \text{ MPa}$$

45 Esto indica que se produciría un fallo en la CMM ya que la tensión en cada material está en el límite elástico de muchas aleaciones a temperatura ambiente y excede el rendimiento de casi todas las aleaciones de aluminio reforzadas y no reforzadas a  $300^\circ\text{C}$ . Esta es la razón por la cual un gradiente funcional puede ser deseable en esta interfaz en algunos casos. Si se implementa un cambio incremental en la fracción volumétrica, la tensión térmica se puede controlar eficazmente.

Considerando el mismo cambio de temperatura que el anterior, pero con una diferencia CET incremental (directamente relacionada con la fracción volumétrica de material cerámico en la CMM por la regla de las mezclas), el esfuerzo en la interfaz se calcula como:

50 
$$\sigma_{\text{Al}} = ((22,9 - 20 \mu\text{m/m} - ^\circ\text{C}) * 69\text{E}9 \text{ N/m}^2 * 300^\circ\text{C}) = 60 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Al-MMC}} = ((22,9 - 20 \mu\text{m/m} - ^\circ\text{C}) * 124\text{E}9 \text{ N/m}^2 * 300^\circ\text{C}) = 108 \text{ MPa}$$

El estrés térmico resultante es más manejable en ambos materiales y, por lo tanto, será capaz de manejar las cargas repetidas que experimentará durante los eventos de frenado.

5 Por consiguiente, en una realización que tiene la modificación de la interfaz de acuerdo con una realización de la invención, el elevado refuerzo de fracción volumétrica puede graduarse fácilmente sin demasiada fuerza o sin refuerzo.

Atributos de mecanizado: se sabe que las aleaciones reforzadas con SiC son muy difíciles de taladrar y roscar. La capacidad de introducir altos niveles de refuerzo solo en la superficie de frenado ayuda a reducir el tiempo y el costo de mecanizado. Históricamente, los rotores que han estado en producción en aplicaciones automotrices se han reforzado completamente hasta el cubo.

10 En algunas realizaciones, la cara de fricción puede contener hasta aproximadamente un 45 % de material cerámico mientras que el cubo del rotor tiene aproximadamente un 5 % de material cerámico.

Los ejemplos de productos no limitantes en los que las realizaciones de la invención desvelada en este documento pueden implementarse incluyen, pero no se limitan a, uno o más de los ilustrados y descritos a continuación:

15 Algunos productos que cubre esta tecnología incluyen los siguientes: rotores para automóviles, vehículos militares, camiones comerciales y remolques: cada cara de fricción se refuerza con una CMM a base de preformas y se añade un gradiente funcional entre las áreas de las preformas y las áreas no reforzadas.

20 Un ejemplo de procedimiento en algunas realizaciones significa que el efluente pasa a través de un medio poroso para crear un gradiente funcional en la interfaz de la preforma. En una realización ilustrativa no limitativa, el efluente en este caso es una aleación ligera (aluminio, magnesio o silicio) que contiene algún porcentaje de medio cerámico. Por ejemplo, Duralcan (10 % de partículas de SiC). De acuerdo con una realización de la invención, la preforma puede usarse como una matriz en la que el efluente pasa a través de ella pero las partículas no pasan (o se retienen) para acumularse (o quedar retenidas).

25 Con referencia a la figura inmediatamente debajo, una realización ilustrativa no limitativa incluye aproximadamente 90 % de aluminio y aproximadamente 10 % de fibras cortas de cerámica y/o partículas. La preforma tiene un promedio de aproximadamente 40 % de refuerzo de cerámica y aproximadamente 60 % de vacío.

30 En un ejemplo de realización no limitativa, el espesor de la preforma para la superficie de fricción de un rotor se establece en aproximadamente 6 mm de grosor para  $6,45 \text{ cm}^2$ , esto es aproximadamente  $3,83 \text{ cm}^3$  de volumen de los cuales aproximadamente  $2,30 \text{ cm}^3$  (aproximadamente 60 %) está vacío ( $23007,43 \text{ cm}^3 = 0.60 * 3834,573$  centímetros cúbicos). La fracción volumétrica de la interfaz se creará para igualar la fracción volumétrica de la preforma que es de aproximadamente 40 % y disminuirá linealmente desde la interfaz a medida que la aleación se presiona desde el material de la mezcla y colada en líquido a la preforma. La fracción volumétrica se iguala a la fracción volumétrica de la mezcla y colada en líquido de la CMM original (es decir, aproximadamente 10 %). Por lo tanto, la pendiente para determinar el grosor de la zona de transición en la interfaz está determinada por el volumen de aleación perdido en la preforma y la velocidad del chorro.

35 De acuerdo con una realización de la invención, se puede obtener una estructura de CMM con GRF similar resultante mediante una aplicación por pulverización de la preforma. Un ejemplo de realización no limitativa incluye un procedimiento mediante el cual se usa una alta concentración de partículas en una suspensión de preformas y se pulveriza a través de una boquilla (por ejemplo, una boquilla Venturi) sobre una superficie o placa calentada sobre la que se aplica vacío (para eliminar el exceso de agua/efluente). En algunas realizaciones de la invención, la composición de suspensión puede alterarse después de la acumulación deseada de estructura cerámica a una mezcla que contiene más fibra para crear una estructura cerámica menos densa. En ciertas realizaciones de la invención, tal acumulación de un GRF puede proporcionar una estructura similar a la descrita previamente sin la necesidad de fundición con una aleación que contiene cerámica. De acuerdo con una realización de la invención, la preforma puede secarse y cocerse, como se describió previamente, para secar la humedad y/o eliminar los aglutinantes orgánicos y/o sinterizar los aglutinantes inorgánicos para producir una preforma lista para fundición. De acuerdo con una realización de la invención, la estructura puede fundirse a continuación usando un procedimiento de infiltración por presión (por ejemplo, fundición con presión). La figura siguiente ilustra un ejemplo de realización no limitativa de una estructura dentro de una pieza fundida fabricada de acuerdo con una realización de la invención.

50 En algunas realizaciones, la mezcla de la preforma varía desde todo fibras hasta una combinación con un contenido bajo de fibras y un contenido elevado de partículas hasta todo partículas. El área clara, en una realización de la invención, es la aleación que se ha infiltrado en la mezcla.

En algunas realizaciones, la mezcla de la preforma desde todo fibras hasta una combinación con un contenido alto de fibras y un contenido bajo de partículas hasta una combinación con un contenido bajo de fibras y un contenido elevado de partículas hasta todo partículas.

55 En ciertas realizaciones, el procedimiento de pulverización desvelado de la presente invención podría usarse para pulverizar una preforma existente (por ejemplo, una preforma que tiene un gran volumen de partículas de SiC) con

una capa de partículas de fibra y luego una capa de fibra antes de la fundición por presión para minimizar las concentraciones de tensión que puedan surgir debido a las diferencias, y no limitadas a, CET y la rigidez en una o más interfaces de los materiales de acoplamiento.

5 En algunos casos se aplica un procedimiento mediante el cual se usa una alta concentración de partículas en una suspensión de preformas y se pulveriza o deposita a través de una boquilla Venturi o se deposita en una superficie o placa calentada o no calentada sobre la que se aplica vacío y/o fuerza centrífuga (para eliminar el exceso de agua/efluente). La composición de la suspensión puede alterarse después de crear la estructura cerámica deseada para obtener una mezcla de densidad que contiene mayor o menor cerámica fibrosa para crear una estructura cerámica menos/o más o menos densa. Mediante esta creación de GRF se obtiene una estructura similar a la anterior sin necesidad de colada con una aleación que contenga cerámica. Esta preforma se seca y se cuece siguiendo la misma práctica común descrita anteriormente en la patente de los autores, pero el procedimiento de secado también se puede usar entre cambios de capa de composición. Mediante este procedimiento de secado se seca la humedad final, se eliminan los aglutinantes orgánicos y se sinterizan los aglutinantes inorgánicos para obtener una preforma lista para fundición.

10  
15 Esta estructura puede fundirse seguidamente usando un procedimiento de infiltración por presión (es decir, fundición por presión). La estructura final de la pieza fundida se ve a continuación. La mezcla de preformas varía desde todo fibras hasta un bajo contenido de fibras-alto contenido de partículas hasta una mezcla con todo partículas. El área clara es la aleación en la que se ha infiltrado la mezcla.

20 Por lo tanto, se desvelan realizaciones de la invención. Aunque la presente invención se ha descrito con considerable detalle con referencia a ciertas realizaciones desveladas, las realizaciones desveladas se presentan con fines ilustrativos y no limitativos y son posibles otras realizaciones de la invención. Un experto en la materia apreciará que pueden realizarse diversos cambios, adaptaciones y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

25

**REIVINDICACIONES**

1. Un artículo composite de matriz metálica, que comprende:

un cuerpo fundido reforzado, comprendiendo el cuerpo una primera región y una segunda región, teniendo la primera región más refuerzo que la segunda región;  
 un primer componente de refuerzo;  
 un segundo componente de refuerzo;  
 un material composite de matriz metálica que ocupa la segunda región del cuerpo y que comprende un material de matriz metálica y el segundo componente de refuerzo;

una preforma colocada en la primera región del cuerpo e infiltrada por al menos el material de matriz metálica del material composite de matriz metálica, comprendiendo la preforma

un primer extremo,  
 un segundo extremo,  
 una superficie exterior,  
 el primer componente de refuerzo, comprendiendo el primer componente de refuerzo una densidad que aumenta entre el primer extremo de la preforma y el segundo extremo de la preforma según un primer gradiente, y  
 una estructura porosa configurada para permitir el paso del material de matriz metálica en la preforma y para bloquear o reducir el paso del primer componente de refuerzo en la preforma; y

una región de transición del cuerpo situada cerca de la superficie exterior de la preforma, comprendiendo la región de transición una distribución del segundo componente de refuerzo adyacente a la superficie exterior de la preforma, comprendiendo la distribución del segundo componente de refuerzo una densidad que aumenta según un segundo gradiente en una dirección hacia la superficie exterior de la preforma.

2. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 1, en el que el material de matriz metálica comprende un metal o una aleación metálica y en el que el segundo componente de refuerzo comprende un componente de partículas cerámicas y/o un componente de fibra cerámica.

3. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 2, en el que el material de matriz metálica comprende aluminio, magnesio o una aleación de los mismos.

4. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 1, en el que el primer componente de refuerzo comprende un componente de partículas cerámicas y/o un componente de fibra cerámica.

5. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 1, en el que la región de transición comprende un espesor correspondiente a una cantidad del material de matriz metálica infiltrado en la preforma.

6. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 1, en el que la distribución del segundo componente de refuerzo en la superficie exterior de la preforma comprende una primera fracción volumétrica que coincide con una fracción volumétrica del primer componente de refuerzo en la superficie exterior de la preforma.

7. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 6, en el que el material composite de matriz metálica comprende el segundo componente de refuerzo en una fracción volumétrica mínima, y en el que la fracción volumétrica de la distribución del segundo componente de refuerzo disminuye linealmente o sustancialmente linealmente desde la primera fracción volumétrica hasta una fracción volumétrica mínima.

8. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 1, en el que el artículo es un rotor de freno de fundición.

9. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 8, en el que la primera región comprende una cara de fricción y la segunda región comprende un cubo.

10. El artículo composite de matriz metálica de la reivindicación 8, que comprende además una segunda preforma colocada en la primera región del cuerpo adyacente a la primera preforma, estando la segunda preforma infiltrada por al menos el material de matriz metálica del material composite de matriz metálica.

11. Un procedimiento para fabricar un artículo composite de matriz metálica, que comprende:

proporcionar una preforma porosa que comprende un primer extremo, un segundo extremo, una superficie externa y un primer componente de refuerzo, comprendiendo el primer componente de refuerzo una densidad que aumenta entre el primer extremo de la preforma y el segundo extremo de la preforma de acuerdo con un primer gradiente;  
 posicionar la preforma dentro de una cavidad de matriz;  
 introducir un material composite de matriz metálica fundido en la cavidad de matriz alrededor de la preforma, comprendiendo el material composite de matriz metálica un componente líquido y un segundo componente de

- refuerzo;
- 5 presurizar así el material composite de la matriz metálica fundido, infiltrar la preforma con al menos el componente líquido, y formar una distribución del segundo componente de refuerzo adyacente a la superficie exterior de la preforma, comprendiendo la distribución del segundo componente de refuerzo una densidad que aumenta en una dirección hacia la superficie exterior de la preforma de acuerdo con un segundo gradiente.

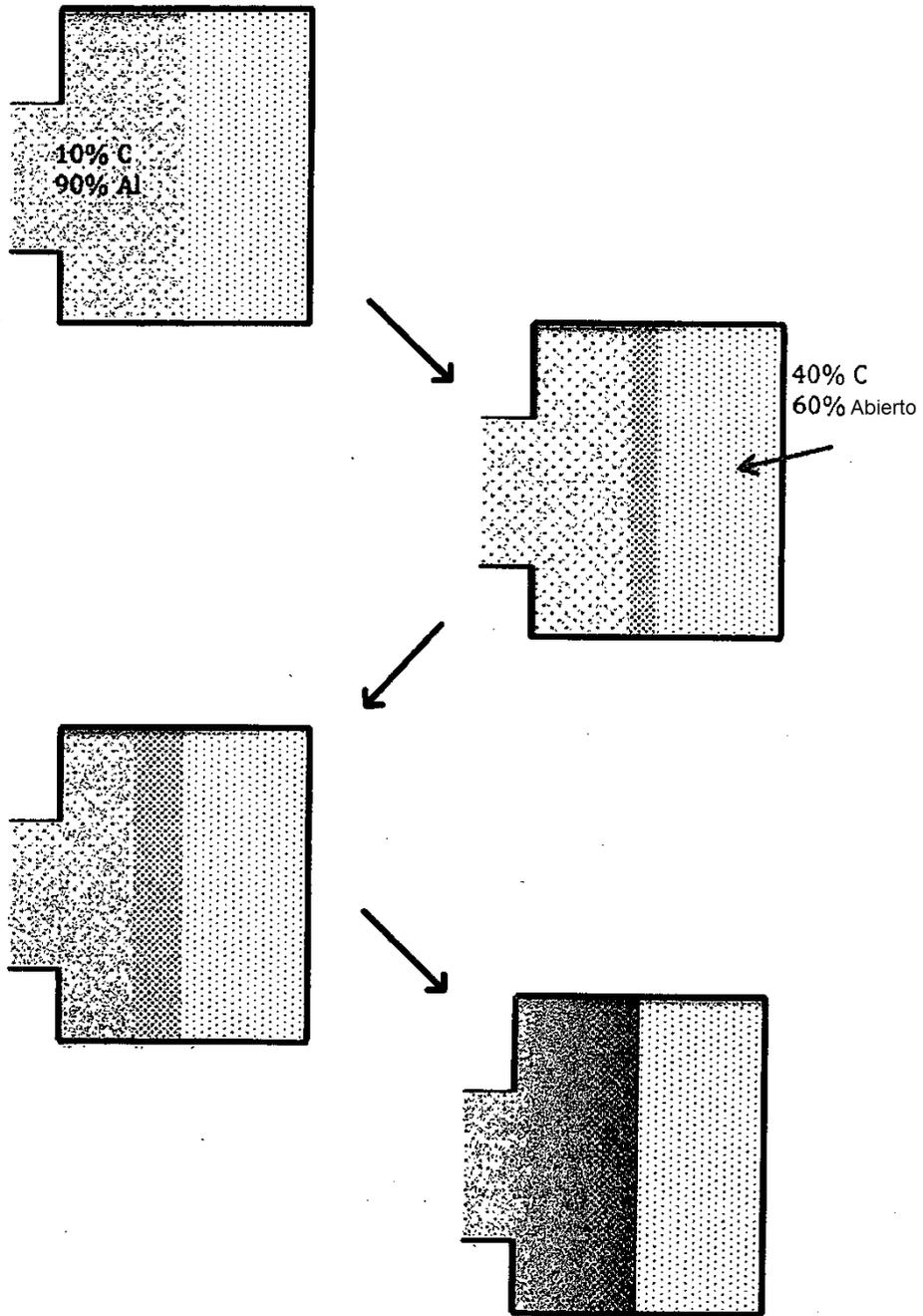


Fig. 1

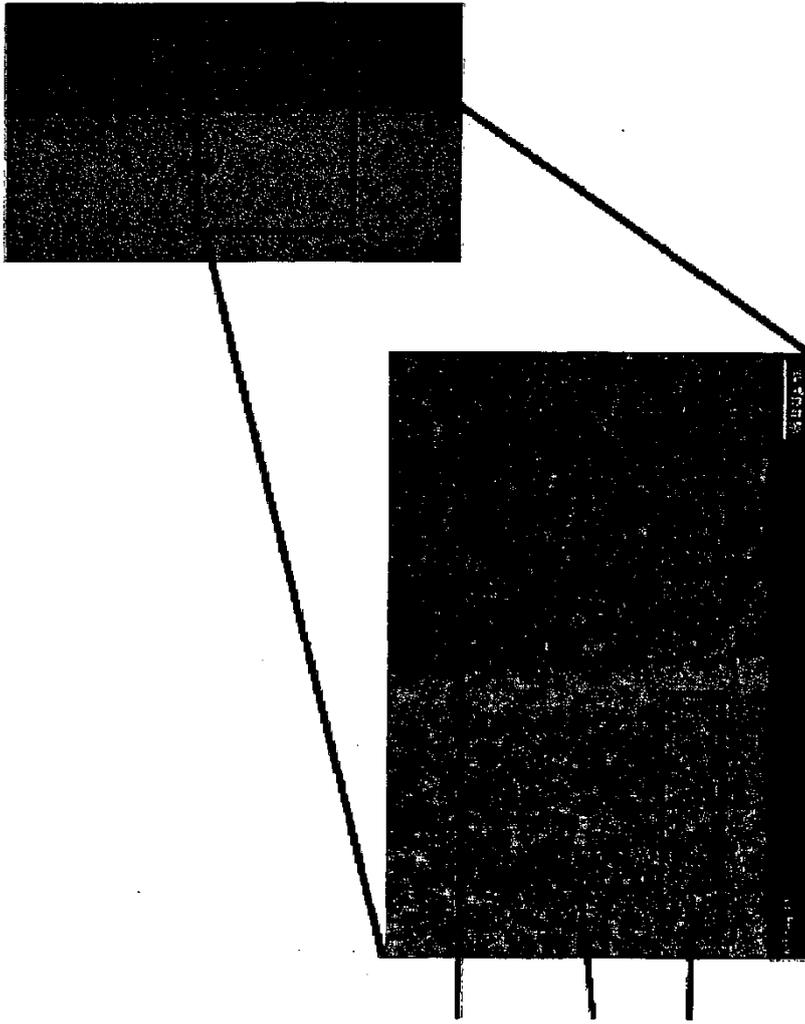


Fig. 2

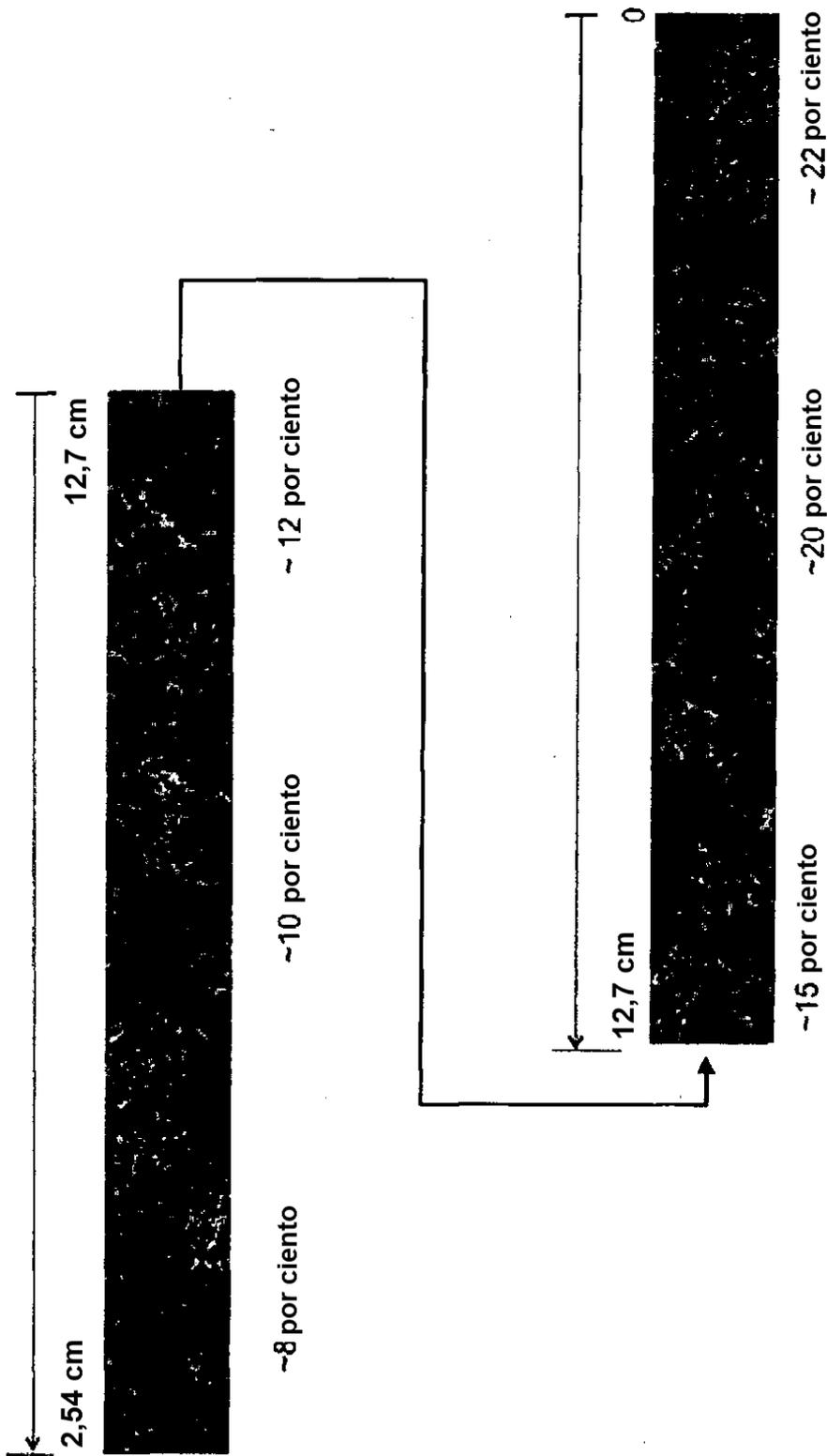


Fig. 3

Fig. 4A

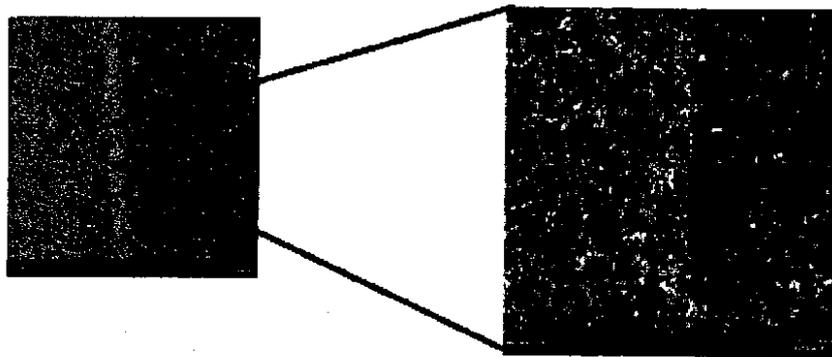
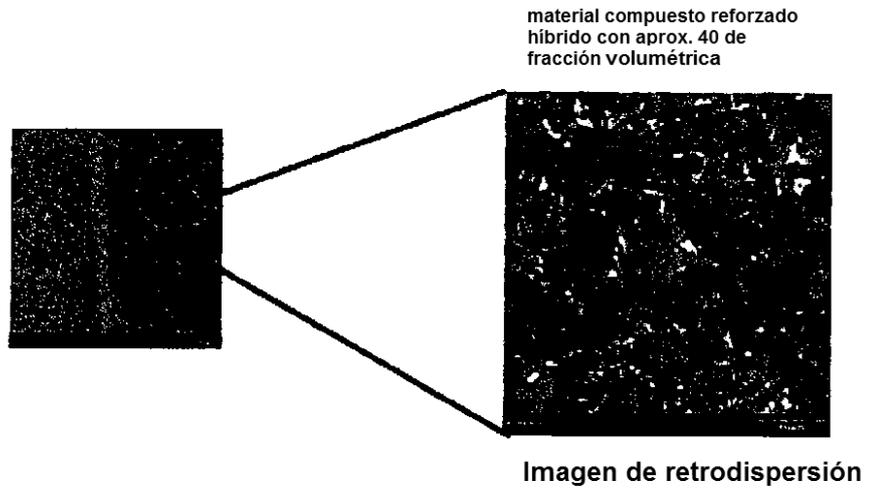
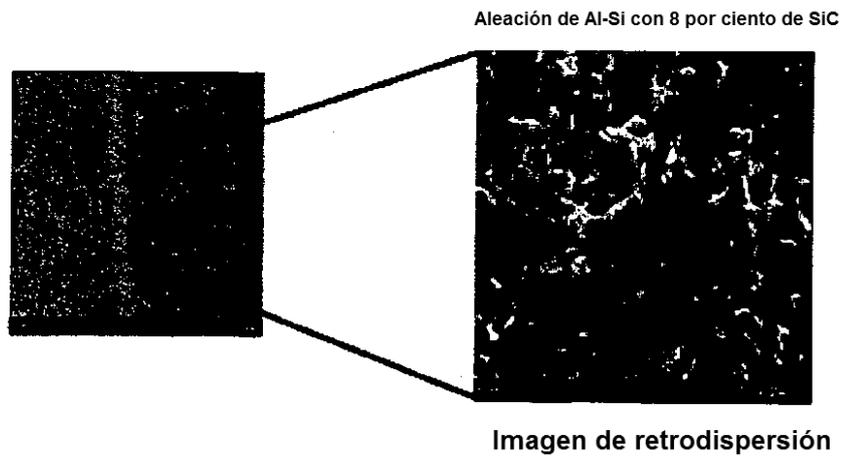


Fig. 4B

Fig. 4C



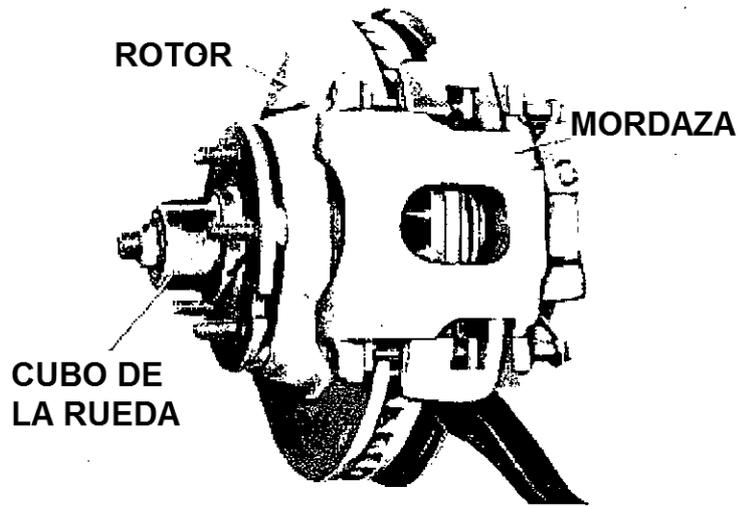


Fig. 5

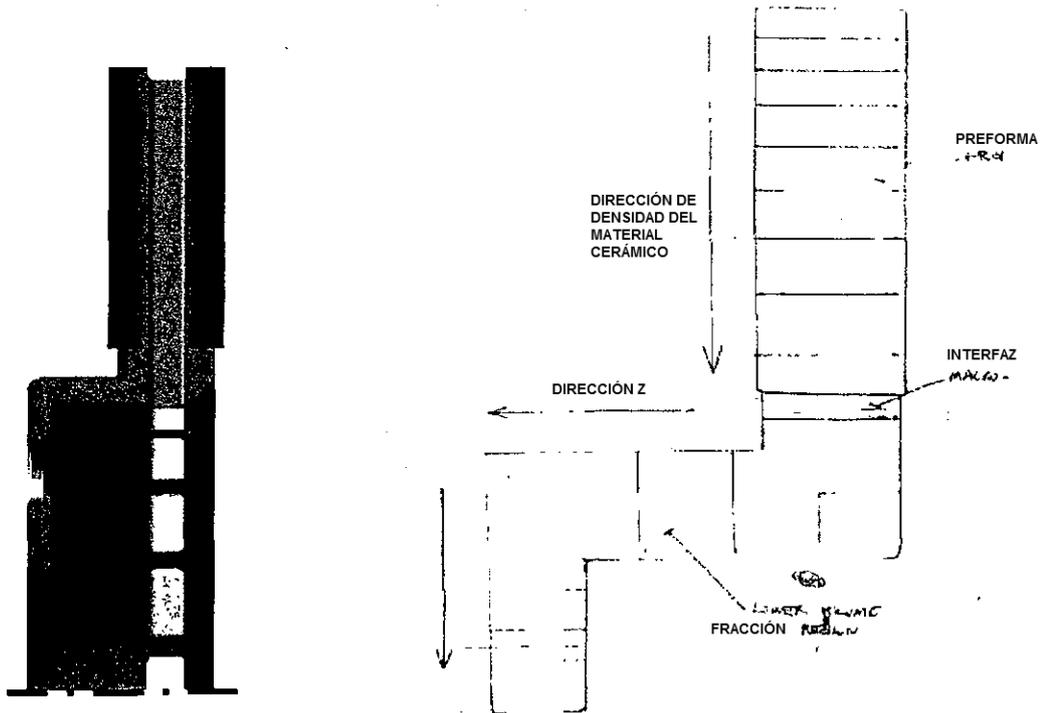


Fig. 6

Fig. 7

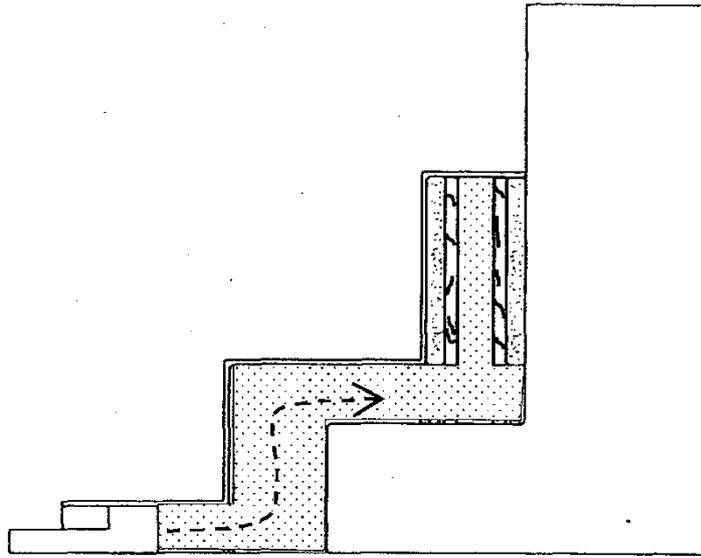


Fig. 8D

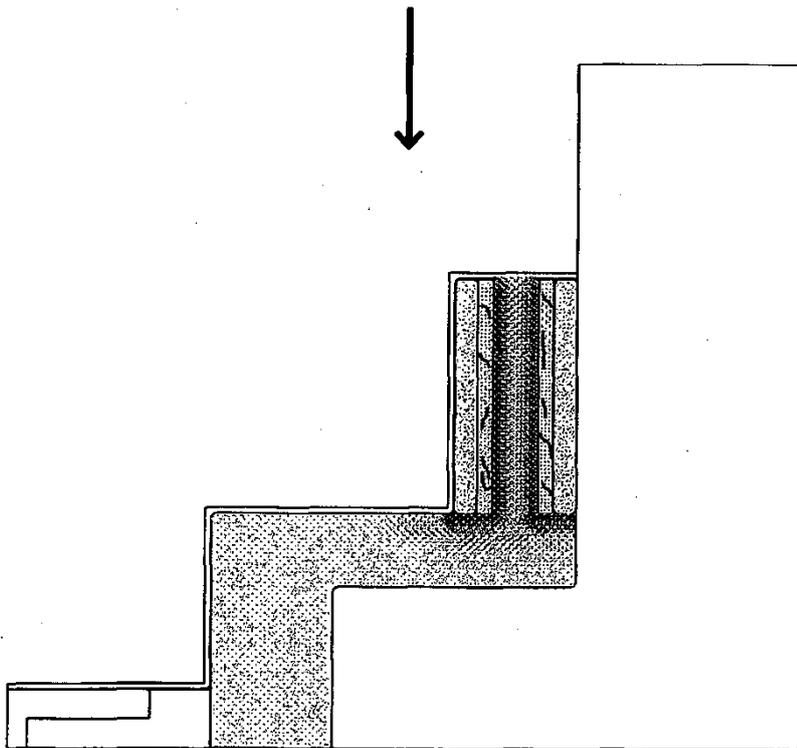


Fig. 8E

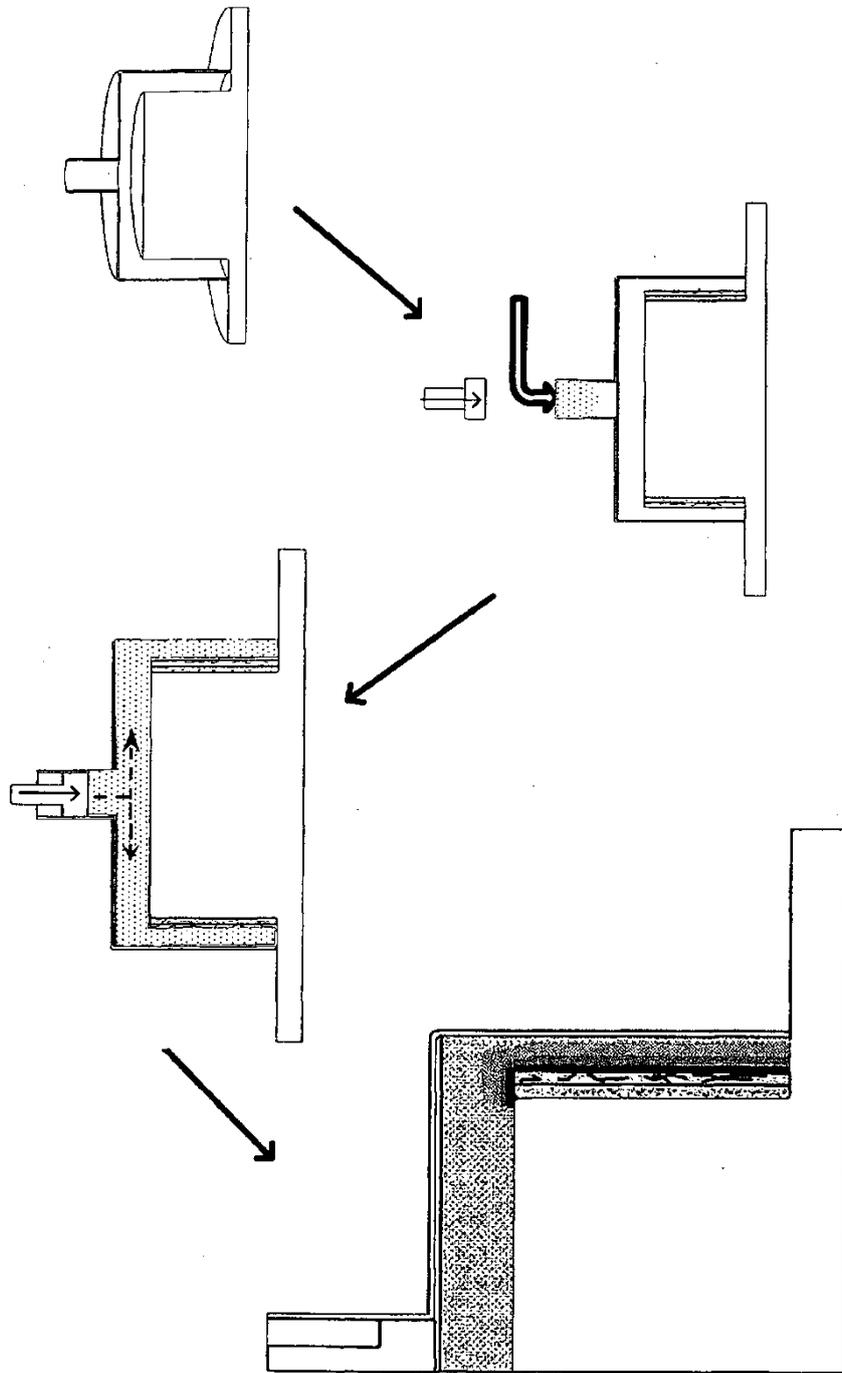


Fig. 9

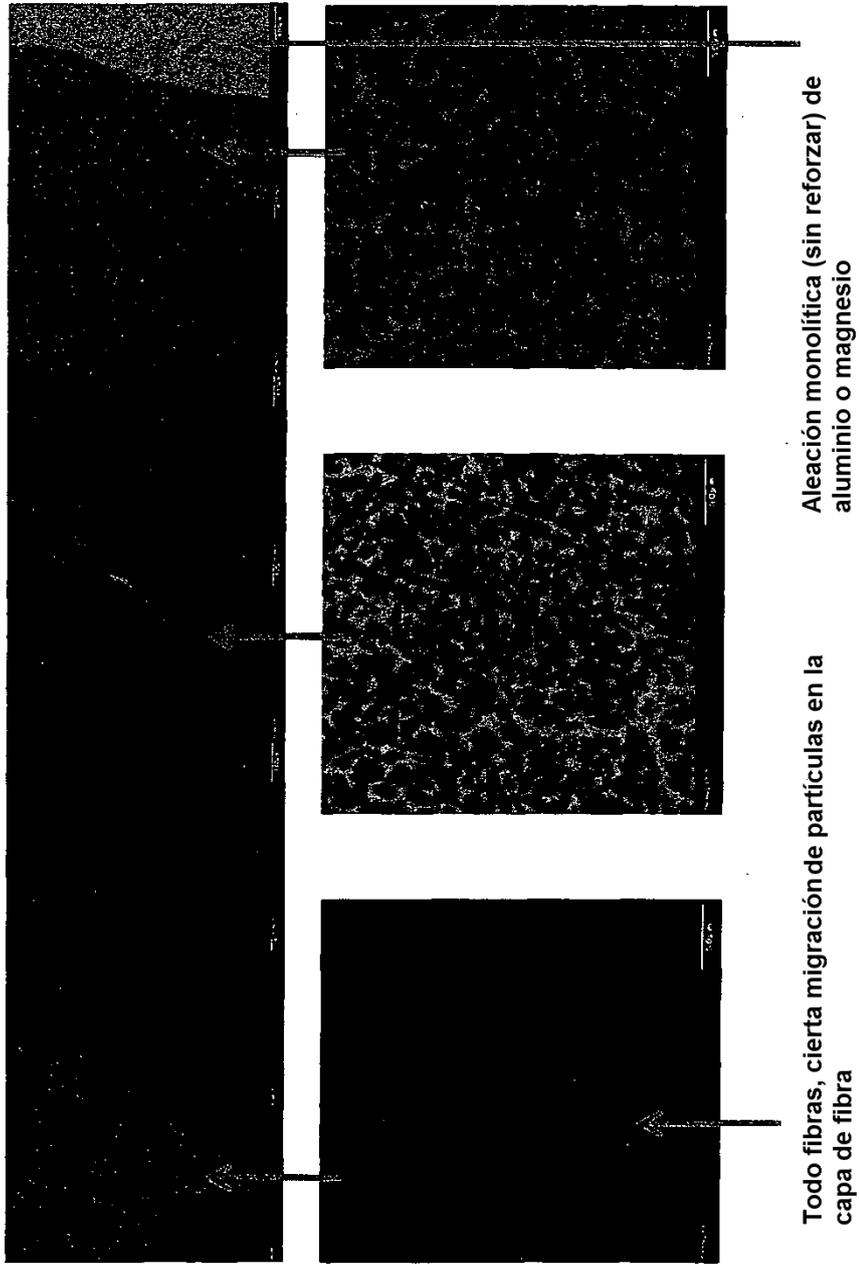


Fig. 10

Fig. 11A

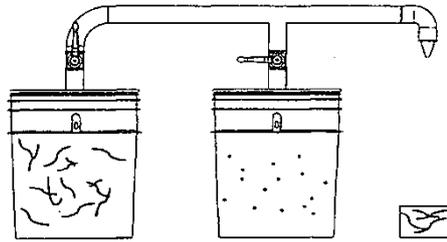


Fig. 11B

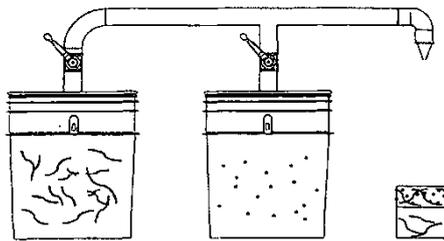


Fig. 11C

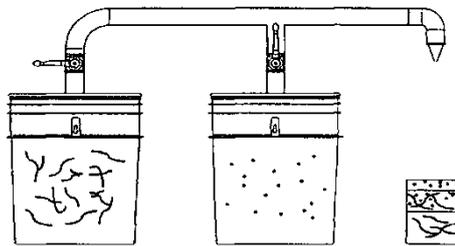


Fig. 11D

