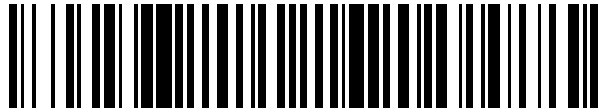


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 932 022**

51 Int. Cl.:

**B22D 19/02** (2006.01)

**B22F 1/00** (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2016 PCT/IB2016/056825**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2017 WO17081665**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2016 E 16820332 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.11.2022 EP 3374107**

54 Título: **Composición en polvo para la fabricación de insertos de fundición, inserto de fundición y método de obtención de zonas de material compuesto locales en piezas fundidas**

30 Prioridad:

**12.11.2015 PL 41475515**

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

**09.01.2023**

73 Titular/es:

**INNERCO SP. Z O.O. (100.0%)  
ul. Jadwigi Majowny 43A  
30-298 Krakow, PL**

72 Inventor/es:

**OLEJNIK, EWA y  
JESIOLOWSKA, ANNA**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI, Peter**

**Observaciones:**

**Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes**

ES 2 932 022 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

Composición en polvo para la fabricación de insertos de fundición, inserto de fundición y método de obtención de zonas de material compuesto locales en piezas fundidas

El objeto de la presente invención es una composición en polvo para la fabricación de insertos de fundición utilizados en la fabricación de zonas de material compuesto locales resistentes al desgaste; otro objeto de la presente invención es un inserto de fundición, cuyo uso permite aumentar la resistencia al desgaste abrasivo en piezas fundidas de máquinas que operan bajo condiciones de fuertes cargas mecánicas. La presente invención también proporciona un método para la fabricación de zonas de material compuesto locales en piezas fundidas, en donde dichas zonas de material compuesto locales aumentan la resistencia de las piezas fundidas al proceso de degradación y la resistencia al desgaste abrasivo de la maquinaria que opera en condiciones de cargas mecánicas elevadas.

En la tecnología de fabricación de piezas fundidas, que en áreas seleccionadas se caracterizan por una mayor resistencia a los golpes y la abrasión, el proceso de síntesis *in situ* del carburo de silicio SiC utiliza el método de Síntesis de alta temperatura de autopropagación (Self-Propagating High Temperature Synthesis, SHS). El proceso de síntesis de carburo de titanio TiC es bien conocido en el campo de la pulvimetalurgia clásica. Igualmente conocidos son los problemas relacionados con el control de la reacción SHS, en donde dicha reacción, una vez iniciada, es un proceso autosostenido, lo que significa que la cantidad de calor generado por la reacción puede extender aún más esta reacción. El desvanecimiento de la reacción puede ocurrir solo entonces, cuando el volumen de calor disipado por el sistema es mayor que el volumen de calor generado durante la reacción.

En cuanto a los procesos de fundición, es bien conocido el método divulgado en la patente estadounidense US2011/0226882A1, mediante el cual se fabrican refuerzos de material compuesto locales en las piezas fundidas de máquinas y equipos. El método divulgado implica colocar en la cavidad del molde los insertos conformados o gránulos de reactantes responsables de la formación de carburo de titanio TiC, donde luego se vierte una aleación a base de hierro fundido. El calor suministrado por la aleación fundida inicia la reacción de síntesis del carburo de titanio TiC. El proceso de síntesis *in situ* que tiene lugar en la aleación fundida está gobernado por los fenómenos físicos que ocurren en los líquidos. Esto se aplica, en particular, a la infiltración reactiva asistida por fenómenos capilares, intensificada por una alta temperatura de la aleación fundida y por un alto valor del calor generado durante la reacción de síntesis del carburo de titanio TiC. Una vez iniciada la reacción de síntesis, los cristales de carburo de titanio TiC que se nuclean y crecen en una aleación fundida pueden construir puentes y experimentar coalescencia. Sin embargo, dicha infiltración reactiva da como resultado la dispersión de la aleación fundida entre los cristales de nucleación y en crecimiento o las partículas coaguladas de TiC. Como consecuencia, las partículas o cristales de carburo de titanio TiC son separados por el líquido. Dado que los cristales o partículas de carburo de titanio TiC están expuestos al efecto de la fuerza de flotabilidad provocada por las diferentes densidades de la aleación a base de hierro fundido y carburo de titanio, el resultado es una distribución desigual de dichos elementos en la pieza fundida. Esto puede conducir a la fragmentación de la zona de material compuesto, lo cual es un obstáculo para la formación de un refuerzo de material compuesto local eficaz en la pieza fundida. Particularmente indeseable en las fundiciones es el efecto devastador de la propagación de grietas. Las grietas en el material colado son iniciadas por microfisuras, que pueden producirse en aquellas áreas de la pieza fundida donde se encuentra la fase más frágil del material, estando dicha fase en este caso compuesta por las partículas de carburo de titanio TiC. Por lo tanto, es ventajoso y deseable que las áreas frágiles compuestas de carburo de titanio TiC estén completamente separadas entre sí por un material de matriz metálica, ya que cualquier cantidad mayor del material de matriz metálica presente entre las partículas de carburo de titanio TiC detendrá la propagación adicional de estas áreas frágiles.

La patente estadounidense US 20110303778A1 divulga un proceso que reduce el fenómeno de propagación de grietas. El objetivo se ha logrado mediante el uso de material caracterizado por una estructura jerárquica, en donde la fase reforzada comprende, dispersa en una aleación ferrosa, gránulos milimétricos que contienen partículas micrométricas coaguladas de carburo de titanio TiC, y en donde las áreas entre las partículas de carburo de titanio TiC también se rellenan con una aleación ferrosa. Para lograr la estructura mostrada, los gránulos de polvos comprimidos de Ti y C previamente preparados se colocan en áreas seleccionadas del molde de fundición, y se evita que se dispersen por medios de separación, y luego se vierte en el molde una aleación ferrosa. La estructura del material compuesto granulado permite controlar el tamaño de las áreas con acúmulos de carburo de titanio TiC y un control parcial de la distancia entre estos acúmulos. Adicionalmente, también facilita la eliminación de los gases formados durante la síntesis SHS, lo que reduce el número de poros en la pieza fundida. Por otro lado, la estructura granular no proporciona suficiente resistencia del material al desgaste abrasivo. No se prefieren grandes distancias entre los gránulos con partículas de carburo de titanio TiC, ya que facilitan el proceso de erosión en el material infiltrante, y esto, a su vez, favorece el desmenuzamiento de los aglomerados de carburo de titanio TiC. Por lo tanto, el objetivo es desarrollar una estructura de material compuesto que resista el efecto de la propagación de grietas y también el efecto de la erosión.

En la fabricación de piezas modernas de máquinas y equipos fabricados mediante la técnica de fundición, el objetivo es buscar nuevos métodos simplificados para la fabricación de zonas locales de mayor resistencia y resistencia al desgaste abrasivo, mejorando así aún más la durabilidad de las piezas fundidas de dichas máquinas y equipos,

- 5 permitiendo simultáneamente una aplicación cómoda y sencilla de estos métodos sin necesidad de utilizar ningún dispositivo adicional. La esencia de la presente invención es una composición en polvo para la fabricación de insertos de fundición diseñados para producir zonas de material compuesto locales resistentes al desgaste abrasivo, en donde dichas zonas de material compuesto están reforzadas con carburos y boruros formados *in situ* en piezas fundidas, y en donde dicha composición en polvo se caracteriza por que comprende reactantes en polvo de la formación de carburos, formando dichos carburos después de la cristalización partículas que refuerzan las zonas de material compuesto en las piezas fundidas, y en donde dicha composición en polvo comprende además polvos de moderador en forma de una mezcla de polvos metálicos que después de la cristalización forman la matriz de la zona de material compuesto en la pieza fundida.
- 10 La cantidad de reactantes en polvo de la formación de carburo de titanio TiC en la composición de acuerdo con la invención es del 3 al 40 % en peso y la cantidad de polvos de moderador es del 60 al 97 % en peso.
- 15 La cantidad de reactantes en polvo de la formación de carburo de tungsteno WC en la composición de acuerdo con la invención es del 40 al 99 % en peso y la cantidad de polvos de moderador es del 1 al 60 % en peso.
- 20 La cantidad de la mezcla de reactantes en polvo de la reacción acoplada de formación de carburo de titanio TiC y carburo de tungsteno WC en la composición de acuerdo con la invención es del 10 al 70 % en peso y la cantidad de polvos de moderador es del 30 al 90 % en peso.
- 25 Preferentemente, los reactantes en polvo de la formación de carburos y/o boruros tienen partículas del tamaño de hasta 100  $\mu\text{m}$ , pero preferentemente no superior a 45  $\mu\text{m}$ .
- Preferentemente, los polvos de moderador comprenden adicionalmente un no metal en forma de C.
- 30 Preferentemente, el carbono como polvo de reactante adopta la forma de grafito, grafito amorfo, un material carbonoso o mezclas de los mismos, y en el caso del Ti, W, Zr, Nb, Ta estos son polvos de metales puros o polvos de aleaciones de estos metales con otros elementos, o mezclas de los mismos.
- 35 Los polvos de moderador tienen la composición química de una aleación seleccionada del grupo que comprende hierro fundido gris, hierro fundido blanco, hierro fundido al cromo, acero fundido al cromo, acero fundido sin alear, acero fundido de baja aleación, acero fundido Hadfield al manganeso o hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni.
- 40 Preferentemente, los polvos de moderador también incluyen polvos de fases cerámicas que aumentan la resistencia al desgaste, en particular polvos seleccionados del grupo de  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  estabilizado,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , o una mezcla de los mismos, y/o un componente reductor en forma de Al y/o Si, en donde la cantidad del componente reductor en la composición en polvo es como máximo del 5 % en peso.
- 45 La esencia de la presente invención es también un inserto de fundición para producir zonas de material compuesto locales resistentes al desgaste en piezas fundidas, en donde dicho inserto de fundición comprende los reactantes de formación de carburo y/o boruro, y en donde dicho inserto de fundición está en forma de formas, sólidas, preformas o gránulos, y se caracteriza por que comprende una composición en polvo compactada de acuerdo con la invención.
- 50 En otra realización más, la invención también se refiere a un método para producir zonas de material compuesto locales en piezas fundidas, que implica la reacción de síntesis de alta temperatura autopropagante (SHS), en donde se prepara una mezcla de polvos que comprende los reactantes de formación de carburo y/o boruro, dicha mezcla de polvos se somete a continuación a compactación, confiriendo a la mezcla de polvos compactado la forma de formas particulares, sólidas, preformas o gránulos que sirven como insertos de fundición, colocando a continuación al menos un inserto de fundición en el interior del molde, y vertiendo a continuación dicho molde con aleación de fundición fundida en una cantidad suficiente para iniciar la reacción SHS, y en donde dicha invención se caracteriza por que se prepara una mezcla de polvos que comprende los reactantes para la formación del carburo y/o boruro, formando dicha mezcla de polvos la composición en polvo de acuerdo con la invención.
- 55 Preferentemente, la mezcla de polvos preparada se seca, preferentemente a una temperatura de 200 °C hasta que el contenido de humedad sea como máximo del 2 %.
- La operación de compactación se realiza bajo una presión que varía de 450 MPa a 650 MPa.
- 60 Preferentemente, el inserto de fundición se coloca en la cavidad del molde en una posición predeterminada y se fija al molde con pernos o se coloca sobre un marco de acero, estando dicho marco colocado dentro de la cavidad del molde, en donde preferentemente el marco de acero consiste en varillas sobre las que se enroscan los compactos que tienen los agujeros.
- 65 Debido al uso del moderador, las zonas de material compuesto producidas *in situ* en las piezas fundidas se caracterizan por un tamaño estable y predecible, y los cristales de carburo de titanio TiC tienen dimensiones

submicrónicas similares. La presencia de un gran número de cristales finos de carburo de titanio TiC de una distribución relativamente uniforme imparte a la zona de material compuesto una resistencia al desgaste abrasivo mejorada y también una resistencia al impacto mejorada, ya que en las proximidades de los cristales finos se reduce la tensión mecánica, mientras que distancias más pequeñas entre estos cristales aumentan la resistencia de la zona de material compuesto a la erosión.

El método de acuerdo con la presente invención proporciona un control mucho más preciso del proceso SHS durante la fundición. Como ya se ha mencionado, el proceso típico de SHS es una reacción autosostenida, que una vez iniciada avanza rápidamente hasta que todo el material de entrada reacciona. Dado que la reacción es altamente exotérmica y da como resultado un rápido aumento de la temperatura combinado con la emisión de gases, existe un riesgo inminente de formación de cavidades y poros. En una realización de acuerdo con la presente invención, mediante una cuidadosa selección de la composición del moderador, en donde dicha composición de moderador no solo tiene la capacidad de absorber eficazmente el exceso de calor sino que también tiene la capacidad de aumentar la dureza y la resistencia al desgaste de la matriz de material compuesto, y además tiene la capacidad de absorber gases, los inconvenientes antes mencionados se han minimizado.

Dentro de la descripción de la invención y las reivindicaciones de la patente, los siguientes términos se interpretarán como se definen a continuación:

La expresión "**polvo metálico**" pretende significar cualquier metal en cualquier forma disgregada en polvo por cualquier método arbitrario.

El término "**moderador**" pretende significar una mezcla de polvos metálicos, conteniendo opcionalmente también dicha mezcla no metales, en donde dichos polvos metálicos durante la reacción de la síntesis SHS de carburo seleccionado o de una mezcla de carburos experimentan fusión y forman una matriz de la zona de material compuesto. El papel fundamental del moderador introducido en los reactantes de formación de un compuesto que experimenta la reacción SHS es reducir la cantidad de energía disipada, lo cual es posible gracias a la sustitución de una parte en peso de los reactantes con dicho moderador. La tarea del moderador es, por lo tanto, reducir la infiltración reactiva, que ocurre durante la síntesis SHS altamente exotérmica de la fase cerámica seleccionada, y junto con la infiltración reactiva para reducir también el fenómeno adverso conocido como fragmentación destructiva de las zonas de material compuesto generadas *in situ*. Una tarea adicional del moderador es reducir el tamaño de las partículas formadas como resultado de la reacción de la síntesis SHS, lo cual se logra a través del impacto del moderador en el proceso de cristalización de las partículas. La presencia del moderador también da como resultado una distribución relativamente uniforme de partículas dentro de las zonas de material compuesto y aumenta la dureza y la resistencia al desgaste de estas zonas.

La expresión "**moderador de cerámica**" pretende significar un polvo cerámico, preferentemente de  $ZrO_2$  y/o  $Al_2O_3$ , que se incorpora para aumentar la resistencia al desgaste abrasivo de las zonas de material compuesto, controlar el fenómeno de la infiltración reactiva y reducir el efecto adverso de la fragmentación total.

La expresión "**componente reductor**" pretende significar una adición de polvo, preferentemente de Al y/o Si, incorporados para unir los átomos de gas liberados durante la reacción de la síntesis SHS que se produce en la pieza fundida dentro de las zonas de material compuesto generadas *in situ* y también para reducir o eliminar los defectos en forma de porosidad.

La expresión "**inserto de fundición**" pretende significar una composición de polvo densificado, incorporado para producir *in situ* en la pieza fundida las zonas de material compuesto reforzadas con carburos y/u óxidos, siendo un elemento clave en dicho inserto de fundición la adición de un moderador. El moderador presente en el inserto de fundición evita que se produzca un fenómeno adverso de fragmentación de las zonas de material compuesto, dando como resultado que dichas zonas se rompen en pedazos y pueden moverse en la aleación fundida vertida en la cavidad del molde. El inserto de fundición puede adoptar la forma de cualquier cuerpo sólido o preforma arbitrario, o puede usarse en forma de gránulos. Se coloca en la cavidad del molde y debe fijarse en ella de forma que se impida su movimiento en la pieza fundida durante el vertido de la cavidad del molde.

La expresión "**aleación de base**" pretende significar una aleación de fundición que se vierte en la cavidad del molde con el inserto de fundición dispuesto en el interior de dicha cavidad del molde para producir las zonas de material compuesto en la pieza fundida.

A continuación se explica el objeto de la presente invención en las realizaciones que no limitan su alcance y en los dibujos, en donde:

La Figura 1 muestra las etapas secuenciales de un método para producir zonas de material compuesto en piezas fundidas, incluyendo una cavidad de molde en donde se colocan los insertos de fundición (a), un método para fijar dichos insertos de fundición en posición (b), zonas de material compuesto visibles en la sección transversal fresada de la parte inferior de la pieza fundida (c), y en la sección transversal fresada de la parte superior de la pieza fundida, mostrando esta última fragmentos dispersos de dichas zonas de material compuesto producidas a

partir de insertos de fundición que contienen los reactantes de formación de carburo de titanio (TiC) y menos del 50 % en peso de un polvo de moderador en forma de acero fundido Hadfield con alto contenido de manganeso con 21 % en peso de Mn (d);

La Figura 2 muestra una cavidad de molde en donde se colocan los insertos de fundición (a), y una sección transversal pulida de la pieza fundida (b), cuando las zonas de material compuesto, que no están de acuerdo con la invención, están fabricados con materiales que contienen los reactantes de formación de carburo de titanio (TiC) y un polvo de moderador en forma de hierro puro;

La Figura 3 muestra una cavidad de molde en donde se colocan los insertos de la pieza fundida (a), una sección transversal fresada de la pieza fundida (b), y una sección transversal pulida de la pieza fundida (c), cuando las zonas de material compuesto se fabrican a partir de materiales que contienen los reactantes de formación de carburo de titanio (TiC) y un polvo de moderador en forma de acero fundido Hadfield con alto contenido de manganeso con 21 % en peso de Mn;

La Figura 4 muestra una cavidad de molde en donde se colocan los insertos de la pieza fundida (a), una sección transversal fresada de la pieza fundida (b), y una sección transversal pulida de la pieza fundida (c), cuando las zonas de material compuesto están fabricadas con materiales que contienen los reactantes de formación de carburo de titanio (TiC) y un polvo de moderador en forma de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni;

La Figura 5 muestra una cavidad de molde en donde se colocan los insertos de fundición (a), y una sección transversal pulida de la pieza fundida (b), cuando las zonas de material compuesto se fabrican a partir de materiales que contienen los reactantes de formación de carburo de tungsteno (WC) y un polvo de moderador en forma de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni;

La Figura 6 muestra una cavidad de molde en donde se colocan los insertos de fundición (a) y las secciones transversales pulidas de la pieza fundida (b-c), cuando las zonas de material compuesto se fabrican a partir de materiales que contienen los reactantes de formación acoplada de carburo de titanio y carburo de tungsteno (TiC, WC) y un polvo de moderador en forma de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni;

Las Figuras 7-9 muestran la microestructura en una sección transversal de la región de transición ubicada entre la zona de material compuesto y el resto de la pieza fundida y la microestructura de la zona de material compuesto, en donde dicha microestructura depende de la composición de una mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición, incluyendo la cantidad de moderador;

La Figura 10 muestra un diagrama de flujo general de un método para producir zonas de material compuesto locales en piezas fundidas de acuerdo con la invención;

Las Figuras 11-16 muestran la relación entre los cambios en la dureza de las zonas de material compuesto producidas *in situ* en la pieza fundida y la composición de la mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición, incluyendo el contenido en peso de moderador incorporado en dicha mezcla de polvos utilizada para la fabricación de dichos insertos.

La presente invención se ilustra ahora mediante los siguientes ejemplos de sus realizaciones.

### Ejemplo 1

En el Ejemplo 1, la cavidad del molde y los insertos de fundición se prepararon para la fabricación de zonas de material compuesto reforzadas con carburo TiC (Fig. 1a), incluyendo la operación de fijación de dichos insertos de fundición mediante un sistema de ensamble en dicha cavidad del molde (Fig. 1b). Los insertos de fundición se fabricaron a partir de una mezcla de polvos que comprendía los reactantes de formación de TiC y un moderador que tenía la composición de acero fundido con alto contenido de manganeso que contenía un 21 % de Mn. La composición de la mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición y los resultados obtenidos se incluyen en la Tabla 1. Los símbolos "+" y "-" en las Tablas 1-6 representan las respuestas "sí" y "no", respectivamente, en una descripción esquemática de los resultados de los exámenes de la sección transversal pulida de una pieza fundida con las zonas de material compuesto fabricadas por un método *in situ*. La composición química de un moderador en forma de acero fundido Hadfield con alto contenido en manganeso se da en la Tabla 8.

Tabla 1

N.º de muestra	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Reactantes de formación de TiC [% en peso]	100	90	70	50	30	10
Moderador que tiene la composición de acero fundido Hadfield con alto contenido de manganeso con un 21 % de Mn [% en peso]	0	10	30	50	70	90
La visibilidad de las zonas de material compuesto	-	-	-	+	+	+
Fragmentación total de la zona de material compuesto	+	+	+	-	-	-
Fragmentación parcial de la zona de material compuesto	-	-	-	+	-	-
El contenido de macroporosidad y fragmentos de la zona de material compuesto en la parte superior de la pieza fundida	+	+	+	-	-	-

En el primer experimento, se fijaron insertos de fundición en la cavidad del molde para producir zonas de material compuesto reforzadas con carburo de titanio TiC, como se muestra en las Figuras 1a y 1b. Los insertos contenían diversas cantidades del moderador en forma de una mezcla de polvos que tenía la composición de acero fundido Hadfield con alto contenido de manganeso, con 21 % en peso de Mn y reactantes de formación de carburo de titanio

TiC. La relación atómica de los reactantes fue 50 % en átomos de Ti: 50 % en átomos de C. Los insertos se fabricaron por compactación bajo una presión de 600 MPa y tenían unas dimensiones de 20 x 100 x X mm, donde X para insertos individuales fue de 8 a 15 mm, respectivamente. Seguidamente, se fabricó una pieza fundida que pesaba 6 kg y medía 70 x 150 x 150 mm de acero L35GSM y que tenía las zonas de material compuesto visibles en la Figura 1c formadas *in situ* de los insertos de fundición que contienen 50 % en peso, 70 % en peso y 90 % en peso de la adición del moderador en las zonas A4 a A6, respectivamente, mientras que las zonas de material compuesto formadas *in situ* de los insertos de fundición que contienen 0 % en peso, 10 % en peso y el 30 % en peso de la adición del moderador estaban dispersas y eran invisibles (el área marcada con los símbolos A1 a A3 en la Figura 1c). Los fragmentos de las zonas de material compuesto dispersas son visibles en la superficie superior fresada de la pieza fundida que se muestra en la Figura 1d.

Las zonas de material compuesto producidas sin la adición de moderador y con la adición de moderador en una cantidad de 10 % en peso y 30 % en peso (compactos A1, A2 y A3, respectivamente, Tabla 1) han sufrido el proceso de fragmentación (Fig. 1c) con una cantidad significativa de macroporosidad y fragmentos de capa de material compuesto presentes en la parte superior de la pieza fundida (Fig. 1d). Esta macroestructura fue el resultado de una intensa infiltración inducida por un aumento significativo de la temperatura durante la reacción de síntesis SHS del carburo de titanio TiC provocado por la ausencia de moderador. Dado que la reacción de síntesis es altamente exotérmica, el aumento significativo de la temperatura favorece el proceso de infiltración así como la producción y disolución de gases. Como resultado, no se obtienen zonas de material compuesto estables en la pieza fundida; en cambio, solamente están presentes fragmentos distribuidos aleatoriamente de estas zonas que contienen carburo TiC. Con el contenido porcentual creciente de la adición de moderador que tiene la composición de acero fundido con alto contenido de manganeso con 21 % de Mn, comienza a prevalecer la tendencia a la estabilización dimensional y desaparecen los defectos de macroporosidad en las respectivas zonas. Como se muestra en las Tablas 1 y 2, con un 70 % en peso de contenido del moderador, se obtiene una estabilidad dimensional macroscópicamente óptima y una menor fracción de macroporosidad en las piezas fundidas. Usando este moderador, la estabilidad dimensional relativa se obtiene solo en aquellas zonas en las que el contenido porcentual del polvo de moderador supera el 50 % en peso. La superficie superior, visible en la Figura 1d, de la pieza fundida muestra fragmentos de zonas de material compuesto obtenidas con la adición de moderador de 0 % en peso, 10 % en peso, 30 % en peso, en donde dichas zonas de material compuesto durante la reacción de síntesis *in situ* de TiC en aleación fundida ha sufrido el proceso de fragmentación y flotado hasta la parte superior. Este efecto se observó en una serie de 15 pruebas. Los resultados de los estudios experimentales también han indicado que cuando los insertos de fundición para la fabricación *in situ* de zonas de material compuesto en piezas fundidas contienen solo reactantes en polvo de la síntesis de TiC, no se forman zonas de material compuesto locales debido al fenómeno desventajoso de la fragmentación de estas zonas.

En el segundo experimento, que no es parte de la invención, se prepararon la cavidad del molde y los insertos de fundición para la fabricación de zonas de material compuesto reforzadas con carburo TiC (Fig. 2a), incluyendo la operación de fijación de dichos insertos de fundición mediante un sistema de ensamble en dicha cavidad del molde. Los insertos de fundición se fabricaron a partir de una mezcla de polvos que comprendía los reactantes de formación de TiC y un moderador que tenía la composición de polvo de Fe puro añadido en las cantidades indicadas en la Tabla 2. La composición de la mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición y los resultados obtenidos se incluyen en la Tabla 2. La relación atómica de los reactantes fue 55 % en átomos de Ti: 45 % en átomos de C. Los insertos se fabricaron por compactación bajo una presión de 500 MPa y tenían unas dimensiones de 20 x 50 x X mm, donde X para insertos individuales fue de 15 a 25 mm, respectivamente.

Tabla 2

N.º de muestra	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
Reactantes de formación de TiC [% en peso]	100	90	70	50	40	30	20	10	3
Moderador que tiene la composición de polvo de Fe puro [% en peso]	0	10	30	50	60	70	80	90	97
La visibilidad de las zonas de material compuesto	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Fragmentación total de la zona de material compuesto	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Fragmentación parcial de la zona de material compuesto	-	-	-	+	-	-	-	-	-
El contenido de macroporosidad y fragmentos de la zona de material compuesto en la parte superior de la pieza fundida	+	+	+	-	-	-	-	-	-

En el tercer experimento, los insertos de fundición para producir las zonas de material compuesto reforzadas con carburo TiC se fijaron en la cavidad del molde, como se muestra en la Figura 3a. Los insertos contenían diversas cantidades del polvo de moderador que tenía la composición de acero fundido con alto contenido de manganeso con 21 % en peso de Mn. La composición de la mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición y los resultados obtenidos se incluyen en la Tabla 3. La relación atómica de los reactantes fue 55 % en átomos de Ti:

45 % en átomos de C. Los insertos se fabricaron por compactación bajo una presión de 500 MPa y tenían unas dimensiones de 20 x 50 x X mm, donde X para insertos individuales fue de 15 a 25 mm, respectivamente. Después, en una pieza fundida que pesaba 7 kg fabricada con acero L450 con unas dimensiones de 43 x 70 x 250 mm y un espesor de pared de 48 mm, se prepararon dos secciones transversales mediante fresado (Fig. 3b) y pulido (Fig. 3c). En ambas áreas transversales son visibles las zonas de material compuesto fabricadas *in situ* a partir de los insertos de fundición que contienen 50 % en peso, 60 % en peso, 70 % en peso de A, 70 % en peso de B, 80 % en peso, 90 % en peso y 97 % en peso de la adición del moderador en las muestras C3-C8, respectivamente, mientras que las zonas de material compuesto que contienen 10 % en peso y 30 % en peso de la adición del moderador en las muestras C1-C2, respectivamente, están dispersas y son invisibles debido al efecto de fragmentación total que se produce en la pieza fundida. La zona producida con el 50 % en peso de la adición del moderador ha sufrido una fragmentación parcial, como lo demuestra la presencia de aleación fundida que penetra en la zona y la divide en fragmentos más pequeños.

**Tabla 3**

N.º de muestra	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Reactantes de formación de TiC [% en peso]	90	70	50	40	30A	30B	20	10	3
Moderador que tiene la composición de acero fundido Hadfield con alto contenido de manganeso con un 21 % de Mn [% en peso]	10	30	50	60	70A	70B	80	90	97
La visibilidad de las zonas de material compuesto	-	-	+	+	+	+	+	+	+
Fragmentación total de la zona de material compuesto	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Fragmentación parcial de la zona de material compuesto	-	-	+	-	-	-	-	-	-
El contenido de macroporosidad y fragmentos de la zona de material compuesto en la parte superior de la pieza fundida	+	+	-	-	-	-	-	-	-

En el cuarto experimento, las composiciones de polvo se probaron para la fabricación de zonas de material compuesto locales reforzadas con carburo TiC, que contenía la adición de moderador en forma de una mezcla de polvos que tenía la composición de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contenía Ni. La composición de la mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición y los resultados obtenidos se incluyen en la Tabla 4. La relación atómica de los reactantes fue 55 % en peso de Ti: 45 % en átomos de C. Los insertos se fabricaron por compactación bajo una presión de 500 MPa y tenían unas dimensiones de 20 x 50 x X mm, donde X para insertos individuales fue de 15 a 25 mm, respectivamente. Los insertos de fundición se fijaron en la cavidad del molde como se muestra en la Figura 4a. En la cavidad del molde con los insertos de fundición fijados se vertió la aleación L450 que tenía la composición que se muestra en la Tabla 8. De este modo, se fabricó una pieza fundida de 7 kg de peso que medía 43 x 70 x 250 mm con un espesor de pared de 48 mm y con las zonas de material compuesto presentes en ella. Después, se prepararon dos secciones transversales de la pieza fundida de acero L450 mediante fresado (Fig. 4b) y pulido (Fig. 4c). En ambas áreas transversales son visibles las zonas de material compuesto fabricadas *in situ* a partir de los insertos de fundición que contienen 50 % en peso, 60 % en peso, 70 % en peso, 80 % en peso, 90 % en peso y 97 % en peso de la adición del moderador en las muestras C3-C8, respectivamente, mientras que las zonas de material compuesto que contienen 0 % en peso, 10 % en peso y 30 % en peso de la adición del moderador en las muestras C1-C2, respectivamente, están dispersas y son invisibles debido al efecto de fragmentación total que se produce en la pieza fundida. La zona producida con el 50 % en peso de la adición del moderador ha sufrido una fragmentación parcial, como lo demuestra la presencia de aleación fundida que penetra en la zona y la divide en fragmentos más pequeños.

**Tabla 4**

N.º de muestra	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Reactantes de formación de TiC [% en peso]	100	90	70	50	40	30	20	10	3
Moderador que tiene la composición de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni [% en peso]	0	10	30	50	60	70	80	90	97
La visibilidad de las zonas de material compuesto	-	-	-	+	+	+	+	+	+
Fragmentación total de la zona de material compuesto	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Fragmentación parcial de la zona de material compuesto	-	-	-	+	-	-	-	-	-
El contenido de macroporosidad y fragmentos de la zona de material compuesto en la parte superior de la pieza fundida	+	+	+	-	-	-	-	-	-

En la realización de estudios experimentales, el espesor de la pared de la pieza fundida se fijó en el intervalo de 50 a 150 mm, que es un valor típico para una serie de componentes estructurales fundidos utilizados en las trituradoras cónicas, de mandíbula, de martillo y de impacto, y también para los rodillos o bolas de los molinos de bolas o de rodillos. En el intervalo de valores antes mencionado, las zonas de material compuesto producidas con un contenido de moderador superior al 60 % en peso eran estables y no sufrieron fragmentación. Para paredes de piezas fundidas más pesadas, se pueden usar composiciones de polvo con un mayor contenido del moderador para reducir la infiltración y producir zonas de material compuesto estables en dichas piezas fundidas.

### Ejemplo 2

En el Ejemplo 2, se fijaron insertos de fundición en la cavidad del molde para producir zonas de material compuesto reforzadas con carburo WC como se muestra en la Figura 5a. Los insertos de fundición contenían los reactantes de formación de carburo WC y cantidades variables del moderador en polvo que tenía la composición de hierro fundido blanco NiHard 4 que contenía Ni. La composición de la mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición y los resultados obtenidos se incluyen en la Tabla 5. La relación atómica de los reactantes para formar carburo WC fue 94,93 % W: 5,07 % C. El moderador utilizado para la fabricación de los insertos de fundición E2-E9 contenía la adición de un desoxidante en forma de polvo de Al introducido en una cantidad de 2 % en peso. Los insertos se fabricaron por compactación bajo una presión de 500 MPa y tenían unas dimensiones de 20 x 50 x X mm, donde el valor de la dimensión X dependía de la compactabilidad de las composiciones de polvo individuales. Los compactos E1-E8 se fabricaron a partir de muestras de composiciones de polvos que pesaban 100 g cada una, mientras que el compacto E9 se fabricó a partir de una muestra que pesaba 150 g. Después, se fabricó la sección transversal pulida (Fig. 5b) en una pieza fundida de acero L450 de 7 kg de peso que medía 43 x 70 x 250 mm y con un espesor de pared de 48 mm. El área de la sección transversal pulida muestra la presencia de zonas de material compuesto formadas *in situ* a partir de los insertos de fundición E1-E5, en donde dichos insertos han producido las zonas dimensionalmente estables reforzadas con carburo WC, mientras que las zonas E6-E9 presentan defectos resultantes de la reacción incompleta que se produce en los compactos con mayor contenido del moderador. Esto apunta a una naturaleza diferente de la reacción de la síntesis SHS de la formación de carburo de titanio TiC y carburo de tungsteno WC. En el caso del TiC, la alta energía que acompaña a la reacción de síntesis y una energía de activación relativamente baja dan como resultado la fragmentación de la zona de material compuesto y, por lo tanto, la adición de moderador debe usarse preferentemente en cantidades superiores al 60 % en peso, mientras que en el caso del carburo WC, dicho moderador debe usarse preferentemente en cantidades que no excedan el 60 % en peso, ya que un mayor contenido de este moderador tiende a suprimir la reacción y hacerla ineficaz. Esto provoca defectos en el área de la zona de material compuesto. La energía asociada a la reacción de la síntesis SHS y la energía de activación son diferentes para los carburos de TiC y los carburos WC, y por lo tanto la formación de zonas de material compuesto en las piezas fundidas se realiza de forma diferente y depende del tipo de carburo utilizado, requiriendo así diferentes intervalos del contenido de la adición del moderador. En las zonas de material compuesto a base de carburo WC, el fenómeno de la fragmentación no se produce y estas zonas se pueden producir con un bajo contenido del moderador.

Tabla 5

N.º de muestra	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Reactantes de formación de TiC [% en peso]	100	90	70	50	40	30	20	10	3
Moderador que tiene la composición de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni [% en peso]	0	10	30	50	60	70	80	90	97
La visibilidad de las zonas de material compuesto	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Fragmentación total de la zona de material compuesto	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fragmentación parcial de la zona de material compuesto	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La presencia de macroporosidad y ausencia de reacción	-	-	-	-	-	+	+	+	+

### Ejemplo 3

En el Ejemplo 3, los insertos de fundición se fijaron en la cavidad del molde para iniciar la reacción acoplada de la síntesis SHS y producir el carburo (Ti, W)C como se muestra en la Figura 6a. Los insertos de fundición contenían los reactantes de TiC y WC de la síntesis SHS acoplada del carburo (Ti, W)C y cantidades variables del moderador en forma de una mezcla de polvos que tenía la composición de hierro fundido blanco NiHard4 que contenía Ni. La composición de la mezcla de polvos utilizada para la fabricación de insertos de fundición y los resultados obtenidos se incluyen en la Tabla 6. La fracción en peso de los reactantes fue 50 % TiC (donde 55 % en átomos de Ti: 45 % en átomos de C) y 50 % en peso de WC (donde 94,93 % en átomos de W: 5,07 % en átomos de C). El moderador utilizado para la fabricación de insertos de fundición F1-F4 contenía la adición de un desoxidante en forma de polvo de Al introducido en una cantidad del 5 %, mientras que en el caso de los insertos F5-F8, la cantidad del desoxidante se redujo al 0,1 %. Los insertos se fabricaron por compactación bajo una presión de 500 MPa y tenían unas

dimensiones de 20 x 60 x X mm, donde el valor de la dimensión X dependía de la compactabilidad de las composiciones de polvo individuales. A continuación, se fabricó la sección transversal pulida (Fig. 5b) en una pieza fundida de acero LGS30 de 7 kg de peso de 43 x 70 x 250 mm y con un espesor de pared de 48 mm, fabricándose dicha sección transversal pulida sobre la superficie superior (Fig. 6b) de la pieza fundida y sobre la superficie lateral (Fig. 6c) de la pieza fundida. Ambas áreas transversales mostraron la presencia de zonas de material compuesto formadas *in situ* a partir de los insertos de fundición. El uso de la reacción acoplada de la síntesis SHS de los carburos TiC y WC produjo zonas de material compuesto dimensionalmente estables y resistentes a la fragmentación reforzadas con carburo (Ti, W)C con un contenido de moderador de 55 a 89,9 % en peso. Las observaciones macroscópicas revelaron la presencia de defectos por gases en las zonas F6-F8 producidos con un bajo contenido del desoxidante de Al agregado en una cantidad de 0,1 % en peso, mientras que las zonas producidas con la adición de 5 % en peso de Al estaban libres de defectos de porosidad.

**Tabla 6**

N.º de muestra	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Reactantes de formación de carburo (Ti,W)C [% en peso]	40	30	20	10	40	30	20	10
La cantidad de desoxidante en forma de polvo de Al puro [% en peso]	5	5	5	5	0,1	0,1	0,1	0,1
Moderador que tiene la composición de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni [% en peso]	55	65	75	85	59,9	69,9	79,9	89,9
La visibilidad de las zonas de material compuesto	+	+	+	+	+	+	+	+
Fragmentación total de la zona de material compuesto	-	-	-	-	-	-	-	-
Fragmentación parcial de la zona de material compuesto	-	-	-	-	-	-	-	-
El contenido de macroporosidad y defectos en forma de sopladuras	-	-	-	-	-	+	+	+

Para materiales seleccionados utilizados en la fabricación de zonas de material compuesto locales de acuerdo con la presente invención, se examinó la microestructura en una sección transversal de la región de transición ubicada entre la zona de material compuesto y la parte restante de la pieza fundida de acero y también en una sección transversal de la zona de material compuesto. Las pruebas se realizaron en modelos experimentales incluidos en la Tabla 7.

**Tabla 7**

N.º de muestra	D1	D2	D9
Matriz	acero fundido L35GSM	acero fundido L35GSM	acero fundido L450
Tipo de moderador	Acero fundido con alto contenido de manganeso con 21 % en peso de manganeso		Hierro fundido al cromo Ni-Hard4
Contenido de moderador	70 % en peso	90 % en peso	97 % en peso
Resultados	Figura 5	Figura 6	Figura 7
Comentarios	en cada una de las Figuras 7-9, la foto (a) muestra la vista transversal de la región de transición entre la zona de material compuesto y la matriz, mientras que las Figuras 7-9 (b) - (d) o (b) - (f) muestran vistas ampliadas de la zona de material compuesto		
Efectos observados	límite de fase continua, ausencia de grietas y porosidad, muy buena unión producida por infiltración	son visibles partículas submicrónicas y nanométricas de TiC	son visibles partículas submicrónicas y nanométricas de TiC

**Tabla 8.** Composición química de los moderadores utilizados en los ejemplos de realizaciones

Composición del moderador	Composición química [% en peso]						
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Fe
Acero fundido Hadfield con alto contenido de manganeso con un 21 % de Mn	1,2	21	0,5	-	-	-	resto
Hierro fundido al cromo NiHard 4 que contiene Ni	3,6	0,8	2,2	5,5	10	0,5	resto
Hierro fundido con alto contenido de cromo	3,31	0,69	0,87	-	26,6	1,25	resto

Las Figuras 7 y 8 muestran las imágenes de microestructuras de las zonas de material compuesto producidas en acero fundido L35GSM. Las zonas de material compuesto se fabricaron a partir de insertos de fundición que contenían un 70 % en peso de moderador que tenía la composición de acero fundido Hadfield con alto contenido de manganeso con un 21 % en peso de Mn, siendo dicho moderador una mezcla de polvos de Fe, FeMn,

C, FeSi, Al. La región de transición entre la zona de material compuesto y el resto de la pieza fundida visible en la Figura 7a se caracteriza por una fuerte unión obtenida en el proceso controlado de infiltración y difusión que ocurre en estado líquido entre el área de la zona de reacción *in situ* y la aleación líquida vertida en la cavidad del molde. El límite de fase entre la zona de material compuesto y el resto de la pieza fundida forma una línea recta y se caracteriza por la continuidad y la estabilidad dimensional. La zona de material compuesto fabricada contiene principalmente carburos TiC de tamaño submicrónico distribuidos uniformemente dentro del área de la zona. El efecto visible de la fragmentación mejora el desarrollo de la superficie del carburo TiC y su distribución uniforme dentro del área de la zona, como se observa en la Figura 7 c-d. La Figura 8 muestra que con un alto contenido del moderador agregado en una cantidad del 90 % en peso, la distribución de los cristales de carburo de titanio TiC en la zona de material compuesto es menos uniforme, mientras que los grupos de cristales de TiC asumen una forma específica de estructuras autoorganizadas en forma de anillos y cadenas visibles en la Figura 8f. Los anillos de estas cadenas tienen un grosor submicrónico y nanométrico.

El uso de moderador en forma de polvo afecta favorablemente a la cinética de nucleación y el crecimiento de cristales en la aleación fundida durante la reacción de síntesis de carburos, tal como, por ejemplo, TiC, WC, (W, Ti) C, y otros carburos que experimentan la reacción SHS que ocurre entre los reactantes en polvo de formación de carburo contenidos en la mezcla de polvos, formando dicha mezcla de polvos después de la compactación un inserto de fundición. Particularmente preferida es la excelente dispersión de los cristales de, por ejemplo, TiC en una matriz de la zona de material compuesto. Permite obtener parámetros de operación favorables de la zona de material compuesto con un contenido porcentual relativamente bajo de carburos tales como, por ejemplo, carburo de titanio TiC. La incorporación del moderador, introducido como una mezcla de polvos metálicos y no metálicos, mejora significativamente tanto la dureza como la resistencia al desgaste de las zonas de material compuesto obtenidas en piezas fundidas *in situ*.

El ensayo de dureza se realizó en zonas de material compuesto locales fabricadas por el método de acuerdo con la presente invención a partir de materiales de diferentes composiciones con diferente contenido del moderador de acuerdo con la presente invención. Los resultados se muestran en las Figuras 10-13. La dureza de las zonas de material compuesto se probó en piezas fundidas que pesaban 7 kg y que medían 43 x 70 x 250 mm con un espesor de pared de 48 mm, en donde dichas zonas de material compuesto fueron fabricadas mediante el método *in situ*.

Los resultados de las mediciones de dureza Vickers que se muestran en las Figuras 11-14 se obtuvieron utilizando muestras del tamaño de 30 piezas cada una. Los símbolos utilizados en los gráficos indican: punto - el valor promedio; guión - la mediana del 50 %; marco - límites de confianza para la desviación  $2\sigma$ ; x, x - valores extremos. La dureza se midió bajo una carga de 9,807 N (HV1) (a) y 294,2N (HV30) (b).

A diferencia de los métodos anteriores, la matriz de la zona de material compuesto de acuerdo con la presente invención puede fabricarse a partir de materiales de composición química caracterizada por propiedades sustancialmente diferentes de las propiedades de la aleación de fundición base vertida en la cavidad del molde. Esto permite una selección cuidadosa de la aleación que proporciona las propiedades mecánicas y funcionales predecibles, un proceso repetible de síntesis y distribución reproducible de los cristales de carburos tales como, por ejemplo, carburo de titanio TiC en zonas de material compuesto locales.

Las características preferidas del nuevo método se confirman con los resultados de las pruebas comparativas de dureza que se muestran en las Figuras 11 y 12, en donde la Figura 11 muestra la relación entre la dureza de las zonas de material compuesto obtenidas *in situ* en una pieza fundida hecha de acero L450 y la cantidad de moderador en forma de polvo de hierro puro que tiene propiedades similares a las propiedades de la aleación de fundición base, mientras que la Figura 12 muestra la relación entre la dureza de las zonas de material compuesto obtenidas *in situ* en una pieza fundida hecha de acero L35GSM y la cantidad de moderador, en donde los reactantes aplicados de la formación de carburo de titanio TiC se mezclan con polvos de moderador, que por la reacción de la síntesis SHS forman hierro fundido al cromo que tiene propiedades sustancialmente diferentes de las propiedades de la aleación de fundición base.

Los resultados de los estudios experimentales indican dos parámetros importantes que influyen en el curso de los cambios de dureza. El primero es el efecto del moderador, que al estabilizar el proceso de infiltración reactiva controla la estabilidad dimensional de las zonas de material compuesto. La estabilidad dimensional asegura la máxima fracción volumétrica de carburos en la zona con un contenido dado de los reactantes de formación de estos carburos, y la dureza de la zona de material compuesto correspondiente a esta fracción. Además de la fracción volumétrica de los carburos obtenidos, también tiene cierta importancia su morfología y las interconexiones entre los puentes formados. Como puede verse en las Figuras 11-14, la mayor dureza se obtiene en las zonas reforzadas con carburo TiC, cuando el contenido de moderador es 60-70 % en peso de la composición de polvo utilizada para la fabricación del inserto de fundición. Este intervalo del contenido porcentual del moderador en la zona de material compuesto es óptimo para moderadores en forma de una mezcla de polvos que tiene la composición de hierro fundido al cromo, una mezcla de polvos que tiene la composición de acero fundido Hadfield con un alto en manganeso con un 21 % de Mn y una mezcla de polvos que tiene la composición de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni. El moderador que tiene la composición de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 (70 % en peso) se eligió como óptimo para aumentar la dureza de las zonas de material compuesto fabricadas en un acero fundido

L450 relativamente blando. El alto valor de dureza resultante (1400HV1, Fig. 13) se debió a una sinergia entre los polvos de moderador utilizados en una cantidad del 70 % en peso para producir fases típicas de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 y reactantes de formación de carburo de titanio TiC.

5 En una manera similar, el moderador que tiene la composición de acero fundido al manganeso (Fig. 14) agregado en una cantidad del 70 % en peso produce valores altos de dureza en la zona de material compuesto (1200HV1) con una dureza relativamente baja del acero fundido L450 base (550HV1).

10 Opcionalmente, la composición de moderador puede complementarse con fases cerámicas como el óxido de aluminio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u óxido de circonio ZrO<sub>2</sub>, incluidas sus variedades estabilizadas. La introducción de fases cerámicas en las zonas de material compuesto puede aumentar, a través de una infiltración limitada, el porcentaje de contenido de los reactantes de formación de carburo de titanio y así mejorar significativamente la resistencia a la abrasión. Las fases cerámicas en forma de óxidos introducidas por sí mismas también pueden aumentar la resistencia al desgaste de las zonas de material compuesto y son menos costosas que, por ejemplo, el titanio Ti utilizado para la formación de carburo TiC. En este caso particular, el alto porcentaje de contenido de los reactantes de formación de carburo de titanio TiC no da como resultado la fragmentación de la zona de material compuesto, ya que las fases cerámicas, especialmente el óxido de aluminio, al tener un calor específico alto, absorben el calor formado durante la síntesis SHS, ejerciendo así un control sobre el proceso SHS. El uso de óxido de aluminio Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> u óxido de circonio ZrO<sub>2</sub> en la composición del moderador produce zonas de material compuesto caracterizadas por una resistencia al desgaste abrasivo muy alta, pero el uso práctico de dichos insertos se limita a aquellas aplicaciones en las que no se requiere una alta resistencia al impacto.

25 En las zonas de material compuesto reforzadas con carburo WC, la mayor dureza mostrada en la Figura 15 se obtiene con un bajo contenido del moderador. En este caso particular, sin embargo, la dureza no disminuye con la adición creciente del moderador. Como consecuencia, preferentemente, usando la adición de moderador, es posible producir un refuerzo en la pieza fundida con una cantidad reducida del costoso tungsteno W. Las zonas compuestas reforzadas con el carburo (Ti, W)C, formado como resultado de la reacción acoplada de síntesis, tienen los valores de dureza preferibles que se muestran en la Figura 16 a un nivel del 55 % de la adición del moderador.

30 Además de los resultados de las mediciones de dureza obtenidas para zonas de material compuesto individuales y que se muestran en las Figuras 11-14, la Tabla 9 compara los resultados de las pruebas de resistencia a la abrasión realizadas en zonas de material compuesto seleccionadas. Las medidas del índice de desgaste de las zonas de material compuesto y del acero fundido L35GSM se tomaron mediante el método Ball-on-Disc de acuerdo con la norma ISO 20808: 2004. Los resultados de las pruebas divulgadas en la siguiente tabla confirman que las zonas de material compuesto con alta dureza se caracterizan por un bajo índice de desgaste. Por ejemplo, la zona de material compuesto basada en una matriz fabricada con hierro fundido al cromo Ni-Hard4 tiene una dureza de 1400HV1 y, al mismo tiempo, el índice de desgaste más bajo de  $7,07 \cdot 10^{-6}$  [mm<sup>3</sup>/Nm].

**Tabla 9**

Descripción de la zona de material compuesto	Composición química del moderador	Contenido de moderador	Reactantes de formación de TiC	Índice de desgaste del disco, $W \cdot 10^{-6}$
	% en peso	% en peso	% en peso	[mm <sup>3</sup> /N*m]
Zona compuesta a base de hierro fundido al cromo Ni-Hard4	3,6-C; 2,2-Si; 0,8-Mn; 5,5-Ni; 10-Cr; 0,5-Mo; Fe - resto;	70	30	7,07
Zona compuesta a base de acero fundido Hadfield	12-Mn; 0,4-Si; 0,32-C; Fe-resto	70	30	14,11
Zona compuesta a base de acero fundido Hadfield con la adición de moderadores Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	70 % (12-Mn; 0,4-Si; 0,32-C; Fe-resto); 15 % (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 7,5; ZrO <sub>2</sub> - Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - 7,5)	85	15	17,80
Zona compuesta a base de hierro fundido con alto contenido de cromo	3,31-C; 0,87-Si; 0,69-Mn; 26,6-Cr; Fe resto	70	30	21,95
Zona compuesta a base de hierro puro	100-Fe	70	30	137,23
Acero fundido L35GSM	-	-	-	860

40 El método para producir zonas de material compuesto locales en piezas fundidas de acuerdo con la presente invención se ilustra en la Figura 11 y se describe en los Ejemplos 4-7.

Ejemplo 4

45 Pieza fundida de material compuesto para uso en un entorno de alto desgaste abrasivo y bajas cargas dinámicas.

Se preparó una mezcla de polvos de titanio con un diámetro promedio inferior a 44,5  $\mu\text{m}$  y polvos de carbono con un diámetro promedio inferior a 3  $\mu\text{m}$ , manteniendo la relación atómica recíproca de 1:1. A un 40 % en peso de la mezcla de polvos de reactantes de formación de carburo de titanio TiC, se añadió 59 % en peso de un moderador, siendo dicho moderador una mezcla de polvos que tiene la composición de hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que comprende Fe, Cr, Ni, Mn, Si, Mo y C, algunos de los cuales se introdujeron en forma de ferroaleaciones. Adicionalmente, a la mezcla de polvos, se añadió un 1 % en peso de un componente reductor en forma de polvo de Al. A continuación se mezclaron todos los polvos, se secaron y se comprimieron bajo una presión de 500 MPa. Se obtuvieron treinta y cuatro insertos de fundición de dimensiones 10 x 20 x 100 mm, y dichos insertos de fundición se fijaron mediante herramientas de ensamble en la cavidad del molde en la zona de mayor desgaste estimado que se produce en una pieza fundida de 17 kg de peso. Para eliminar la humedad, el molde con el conjunto fijo de insertos de fundición se secó con un quemador de gas. En dicho molde se vertió a continuación una aleación de fundición fundida que tenía la composición de hierro fundido al cromo. Como resultado, se obtuvo una pieza fundida, reforzada con las zonas de material compuesto que contienen principalmente partículas ovales submicrónicas del carburo TiC dispuestas en una matriz austenítica y que también contienen partículas del carburo  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ .

#### Ejemplo 5

Pieza fundida compuesta para uso en un entorno de alto desgaste abrasivo y altas cargas dinámicas. Se preparó una mezcla de polvos de titanio con un diámetro promedio inferior a 44,5  $\mu\text{m}$  y polvos de carbono con un diámetro promedio inferior a 3  $\mu\text{m}$ , manteniendo la relación atómica recíproca de 1:1. A un 30 % en peso de la mezcla de polvos de reactantes de formación de carburo de titanio TiC, se añadió un 69 % en peso de un moderador, siendo dicho moderador una mezcla de polvos que tiene la composición de acero fundido con alto contenido de manganeso con 21 % en peso de Mn que comprende Fe, Mn, Si, C, algunos de los cuales se introdujeron en forma de ferroaleaciones, introduciendo también adiciones menores de otros elementos. Adicionalmente, a la mezcla de polvos, se añadió un 1 % en peso de un componente reductor en forma de polvo de Al. El componente reductor se introdujo para aglutinar los gases presentes en el compacto. A continuación se mezclaron todos los polvos, se secaron y se comprimieron bajo una presión de 500 MPa. Los insertos de fundición obtenidos de dimensiones 15 x 20 x 100 mm producidos en una cantidad de 100 piezas se colocaron en el área de mayor desgaste estimado que se produce en una pieza fundida de 200 kg de peso. Para eliminar la humedad, el molde con el conjunto fijo de insertos de fundición se secó con un quemador de gas. Dicho molde se vertió a continuación con una aleación de fundición fundida que tenía la composición de acero al manganeso que contenía 18 % en peso de Mn. Como resultado, se obtuvo una pieza fundida, reforzada con las zonas de material compuesto que contienen principalmente partículas submicrónicas del carburo TiC dispuestas en una matriz austenítica.

#### Ejemplo 6

Pieza fundida ultra resistente al desgaste abrasivo para uso en un entorno libre de altas cargas dinámicas. Se preparó una mezcla de polvos de titanio con un diámetro promedio inferior a 44,5  $\mu\text{m}$  y polvos de carbono con un diámetro promedio inferior a 3  $\mu\text{m}$ , manteniendo la relación atómica recíproca de 1:1. A un 50 % en peso de la mezcla de polvos de reactantes de formación de carburo TiC, se añadieron los siguientes moderadores: 10 % en peso de  $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ , 10 % en peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y 29 % en peso de una mezcla de polvos que tiene la composición de acero fundido con alto contenido de manganeso que contiene 21 % en peso de Mn. Adicionalmente, a la mezcla de polvos, se añadió un 1 % en peso de un componente reductor en forma de polvo de Al para aglutinar los gases presentes en el compacto. A continuación se mezclaron todos los polvos, se secaron y se comprimieron bajo una presión de 500 MPa. Como resultado, se obtuvieron insertos de fundición con unas dimensiones de 10 x 20 x 100 mm y a continuación se fijaron por medio de herramientas de ensamble en la cavidad del molde. Para eliminar la humedad, el molde con el conjunto fijo de insertos de fundición se secó con un quemador de gas. A continuación, en dicho molde se vertió una aleación de fundición fundida que tenía la composición de acero con alto contenido de manganeso que contenía 18 % en peso de Mn. Como resultado, se obtuvo una pieza fundida de 40 kg de peso, reforzada con las zonas que comprenden un material compuesto híbrido del tipo TiC/ $\text{Al}_2\text{O}_3$ / $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ /matriz, que consiste principalmente en partículas submicrónicas y micrométricas del carburo TiC, y de partículas micrométricas y milimétricas de los óxidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ .

#### Ejemplo 7

Pieza fundida ultra resistente al desgaste abrasivo para uso en un entorno libre de altas cargas dinámicas. Se preparó una mezcla de polvos de titanio con un diámetro promedio inferior a 44,5  $\mu\text{m}$  y polvos de carbono con un diámetro promedio inferior a 3  $\mu\text{m}$ , manteniendo la relación atómica recíproca de 1:1. A un 30 % en peso de la mezcla de polvos de reactantes de formación de carburo de titanio TiC, se añadió un 39 % en peso de un moderador, siendo dicho moderador una mezcla de polvos que tiene la composición de acero fundido con alto contenido de manganeso que contiene un 21 % de Mn, comprendiendo dicha mezcla Fe, Mn, Si, C, algunos de los cuales se introdujeron en forma de ferroaleaciones, introduciendo también adiciones menores de otros elementos con un diámetro promedio inferior a 44,5  $\mu\text{m}$ , y un 30 % en peso de un moderador cerámico en forma de polvo de  $\text{ZrO}_2$  estabilizado con  $\text{Y}_2\text{O}_3$  con un diámetro promedio de menos de 1 mm. Además, a la mezcla de polvos, se añadió 1 % en peso de un componente reductor en forma de polvo de Al. El componente reductor se introdujo para aglutinar los gases presentes en el compacto. A continuación se mezclaron todos los polvos, se secaron y se

comprimieron bajo una presión de 500 MPa.

#### Ejemplo 8a

5 Se produjeron insertos de fundición con unas dimensiones de 15 x 20 x 100 mm basados en la mezcla de polvos de acuerdo con el Ejemplo 7 y en una cantidad de 5 piezas se fijaron a continuación en una pieza fundida de 7 kg de peso en el área de mayor desgaste esperado. Para eliminar la humedad absorbida, se secó con un quemador de gas el molde con el conjunto de insertos de fundición fijados en el interior. En dicho molde se vertió a continuación una aleación de fundición fundida que tenía la composición de acero L35GSM. Como resultado, se obtuvo una pieza  
10 fundida, reforzada con las zonas que comprenden un material compuesto híbrido de tipo TiC/ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/matriz que consiste principalmente en partículas submicrónicas y micrométricas del carburo TiC, y partículas micrométricas y milimétricas del óxido de ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### Ejemplo 8b

15 Inserto de fundición en una primera variante de la segunda realización. Se preparó una mezcla de polvos de titanio con un diámetro promedio inferior a 44,5 μm y polvos de carbono con un diámetro promedio inferior a 3 μm, manteniendo la relación atómica recíproca de 1:1. A un 45 % en peso de la mezcla de polvos de reactantes de formación de carburo de titanio TiC, se añadió 10 % en peso de un moderador, siendo dicho moderador una mezcla  
20 de polvos que tiene la composición de hierro fundido al cromo que comprende Fe, Cr, Mn, Mo, Si, C, algunos de los cuales se introdujeron en forma de ferroaleaciones, incluyendo también adiciones menores de otros elementos con un diámetro promedio inferior a 44,5 μm, y la adición de un 45 % en peso de un moderador cerámico compuesto de un 5 % en peso de polvo de ZrO<sub>2</sub> estabilizado con Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con un diámetro promedio inferior a 100 μm y 40 % en peso de polvo de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con un diámetro medio promedio inferior a 130 μm. Adicionalmente, a la mezcla de polvos, se  
25 añadió 1 % en peso de un componente reductor en forma de polvo de Al. A continuación, todos los polvos se mezclaron, secaron y comprimieron bajo una presión de 500 MPa para formar insertos de fundición con unas dimensiones de 15 x 20 x 100 mm.

#### Ejemplo 8c

30 Inserto de fundición en una segunda variante de la segunda realización. Se preparó una mezcla de polvos de titanio con un diámetro promedio inferior a 44,5 μm y polvos de carbono con un diámetro promedio inferior a 3 μm, manteniendo la relación atómica recíproca de 1:1. A un 20 % en peso de la mezcla de polvos de reactantes de formación de carburo de titanio TiC, se añadió 19 % en peso de un moderador, siendo dicho moderador una mezcla  
35 de polvos que tiene la composición de hierro fundido al cromo que comprende Fe, Cr, Mn, Si, C, algunos de los cuales se introdujeron en forma de ferroaleaciones, y se añadió un 60 % en peso de un moderador cerámico compuesto por el polvo de ZrO<sub>2</sub> estabilizado con Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con un diámetro promedio inferior a 0,5 mm. Además, a la mezcla de polvos, se añadió 1 % en peso de un componente reductor en forma de polvo de Al. A continuación, todos los polvos se mezclaron, secaron y comprimieron bajo una presión de 500 MPa para producir insertos de fundición  
40 con unas dimensiones de 15 x 20 x 100 mm.

Las zonas de material compuesto locales se producen colocando insertos de fundición en la cavidad del molde, obteniéndose dichos insertos por compactación de una mezcla de polvos que comprende los reactantes de  
45 formación de carburos que experimentan la síntesis SHS, por ejemplo, carburos TiC y una mezcla de polvos seleccionados de metales y no metales, que después de la solidificación de la pieza fundida forman una matriz compuesta, siendo dicha matriz una aleación a base de hierro fundido. El moderador introducido en una cantidad del 60 al 97 % en peso estabiliza las dimensiones geométricas de las zonas de material compuesto y evita la fragmentación de dichas zonas en el curso de la infiltración reactiva que tiene lugar durante la síntesis de carburo de titanio TiC en piezas fundidas con un espesor de pared de 10 a 150 mm. La cantidad mínima de los reactantes de  
50 formación de carburo de titanio TiC que proporciona la formación *in situ* de una matriz compuesta es del 3 % en peso. La reducción de la cantidad de reactantes de formación de carburo de titanio TiC no es eficaz y no conduce a la formación de la estructura diseñada de la matriz compuesta en la zona de material compuesto. El uso de estructuras cerámicas a base de óxido de aluminio y óxido de circonio puede aumentar el contenido porcentual de cristales de TiC (> 30 %) en la zona de material compuesto, produciendo así un aumento significativo tanto en la  
55 dureza como en la resistencia a la abrasión.

Para la síntesis de zonas de material compuesto reforzadas con carburo WC, el moderador puede usarse en cantidades de hasta 60 % en peso, por encima de este nivel, la reacción es ineficaz y queda suprimida. Usando los  
60 reactantes de formación de carburo WC con la adición de moderador en una cantidad de hasta 60 % en peso, es posible obtener zonas de material compuesto dimensionalmente estables, tal como se ilustra en la Figura 5.

También es posible producir las zonas de material compuesto de acuerdo con la presente invención usando mezclas de los reactantes de formación de, por ejemplo, carburo TiC y carburo WC, como se muestra en la Figura 6. Después, como resultado de la reacción acoplada de síntesis que tiene lugar en la pieza fundida, se forman carburos del tipo (W, Ti)C o (Ti, W)C con estructura núcleo - anillo. Debido a la reacción acoplada de síntesis, es posible utilizar un mayor contenido del moderador y controlar las propiedades mecánicas de la zona de material compuesto.

5 Las composiciones de polvos y los insertos de fundición para la fabricación *in situ* de zonas de material compuesto en piezas fundidas de acuerdo con la presente invención permite un amplio uso de diferentes tipos de carburos y boruros que experimentan la reacción de la síntesis SHS. Los ejemplos de fabricación de zonas de material compuesto en piezas fundidas comprenden dos casos extremos de uso de carburos y mezclas de los mismos; estos son los carburos TiC y WC, y un carburo (W, Ti)C, respectivamente.

## REIVINDICACIONES

1. La composición de los polvos para la fabricación de insertos de fundición diseñada para producir zonas de material compuesto locales resistentes al desgaste abrasivo, en donde dichas zonas de material compuesto reforzadas con carburos, se forman in situ en piezas fundidas, y en donde dicha composición de polvos **se caracteriza por que** la composición consiste en:
- 5 reactantes en polvo de la formación de carburos seleccionados del grupo de TiC, WC, o una mezcla de los mismos, en donde dichos carburos después de la cristalización forman partículas que refuerzan las zonas de material compuesto en las piezas fundidas,
- 10 en donde la cantidad de reactantes en polvo de la formación de TiC es de 3 a 40 % en peso, el carburo WC es de 40 a 99 % en peso y la mezcla de carburos TiC y WC es de 10 a 70 % en peso, siendo las cantidades restantes
- 15 polvos de moderador que forman una mezcla de polvos metálicos que tienen una composición química de una aleación seleccionada del grupo de hierro fundido gris, hierro fundido blanco, hierro fundido al cromo, acero fundido al cromo, acero fundido sin alear, acero fundido de baja aleación, acero fundido Hadfield al manganeso, o hierro fundido al cromo Ni-Hard4 que contiene Ni, en donde dichos polvos metálicos después de la cristalización forman una matriz de la zona de material compuesto en la pieza fundida, y opcionalmente comprenden un no metal adicional en forma de carbono y/o opcionalmente incluyen fases de polvos cerámicos que aumentan la resistencia al desgaste, en particular las fases de polvos cerámicos seleccionados del grupo de ZrO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> estabilizado, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o una mezcla de los mismos, y/o incluyen opcionalmente un componente reductor en forma de Al y/o Si, en donde la cantidad del componente reductor es como máximo el 5 % en peso de la composición en polvo.
- 20
- 25 2. La composición de polvos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada por que** los polvos de los reactantes de formación de carburos tienen partículas del tamaño de hasta 100 µm, pero preferentemente no superior a 45 µm.
- 30 3. La composición de polvos de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada por que** el carbono como reactante en polvo está en forma de grafito, grafito amorfo, un material carbonoso o una mezcla de los mismos, y en el caso del Ti y/o W estos son los polvos de metales puros o aleaciones de dichos metales con otros elementos, o mezclas de los mismos.
- 35 4. Un inserto de fundición para la fabricación de zonas de material compuesto locales resistentes al desgaste, que comprende reactantes de formación de carburo, en donde dicho inserto en forma de formas, sólidas, preformas o gránulos **se caracteriza por que** comprende una composición compactada de polvos de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 3.
- 40 5. Un método para la fabricación de zonas de material compuesto locales en piezas fundidas, que utiliza la reacción de síntesis de alta temperatura autopropagante (SHS), comprendiendo dicho método la preparación de una mezcla de polvos, en donde dicha mezcla comprende los reactantes de formación de carburos, y en donde dicha mezcla se compacta a continuación confiriendo a la composición de polvo compactado una forma particular, especialmente de formas, sólidas, preformas o gránulos que forman un inserto de fundición, y en donde al menos un inserto de fundición se coloca a continuación en el interior del molde, y en dicho molde se vierte una aleación de fundición fundida en una cantidad suficiente para iniciar la reacción SHS, y en donde dicho método se caracteriza además por
- 45 que se prepara una mezcla de polvos que comprende los reactantes de formación de carburos, siendo dicha mezcla la composición en polvo de acuerdo con las reivindicaciones 1 a 3 y por que la operación de compactación se realiza bajo una presión que varía de 450 MPa a 650 MPa.
- 50 6. El método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** después de preparar la mezcla de polvos, dicha mezcla se seca, preferentemente a 200 °C, hasta que el contenido de humedad sea como máximo del 2 %.
- 55 7. El método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** el inserto de fundición se coloca en la cavidad del molde en una posición predeterminada y se fija al molde con pernos o se coloca sobre un marco de acero, estando dicho marco colocado dentro de la cavidad del molde, en donde preferentemente el marco de acero consiste en varillas en las que se enroscan piezas compactas que tienen los agujeros.

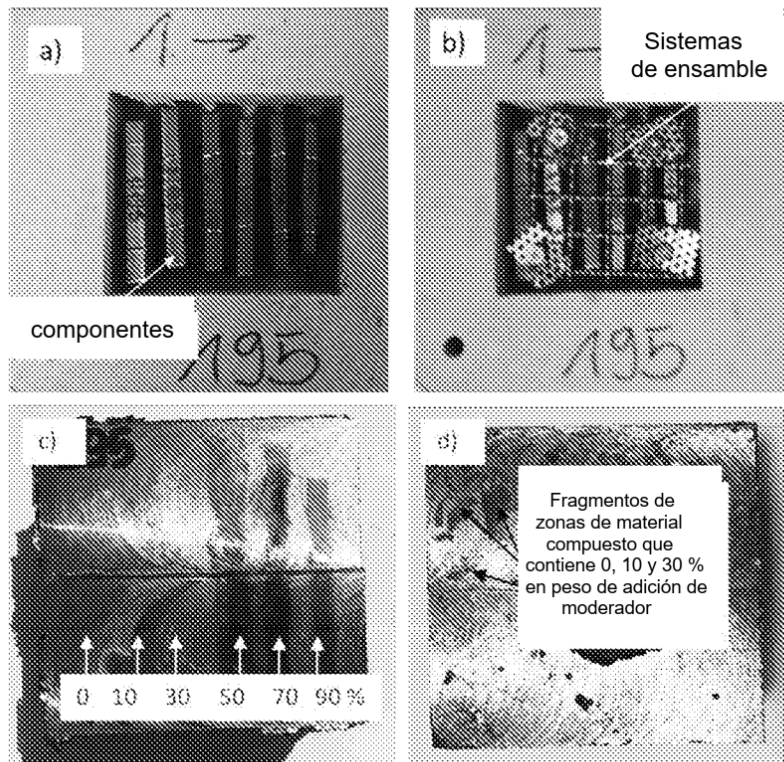


Fig. 1

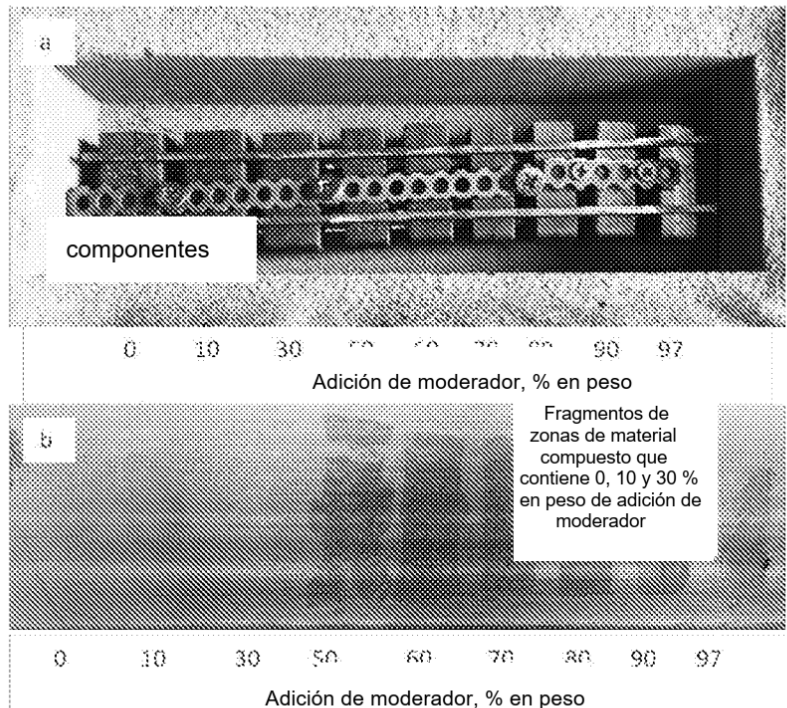


Fig. 2

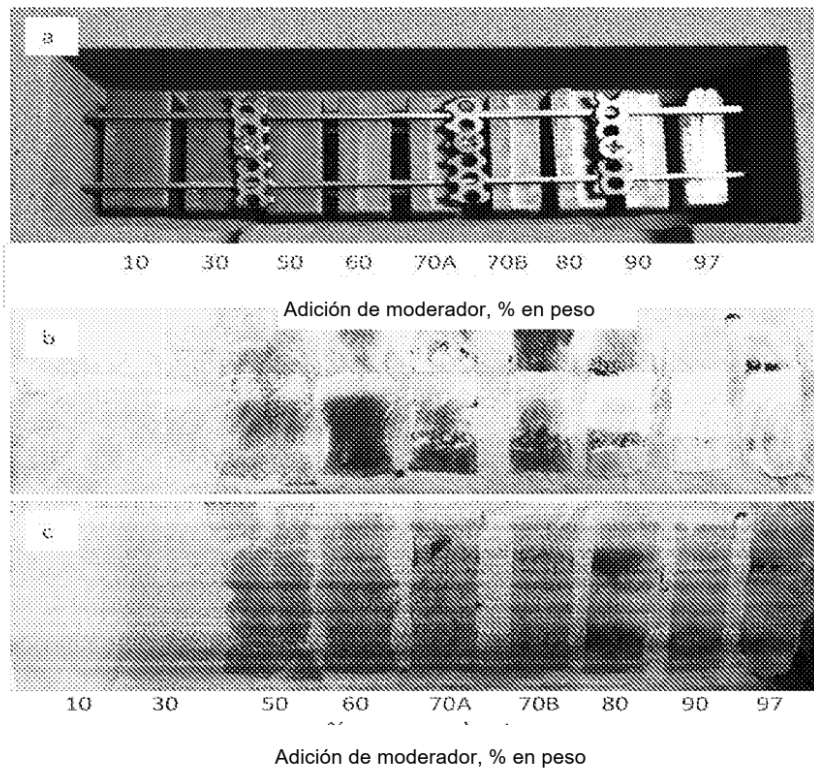


Fig. 3

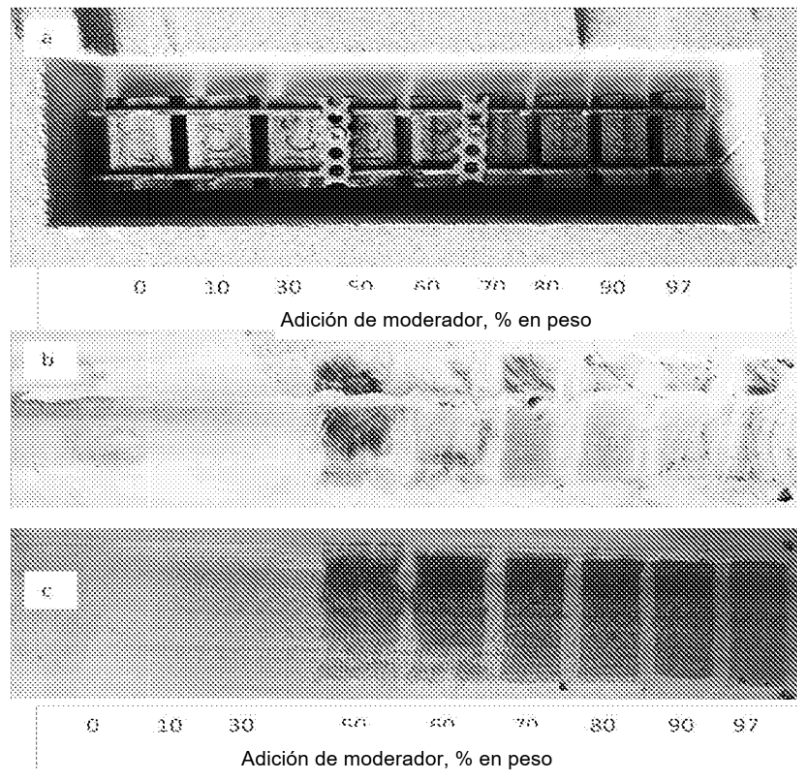


Fig. 4

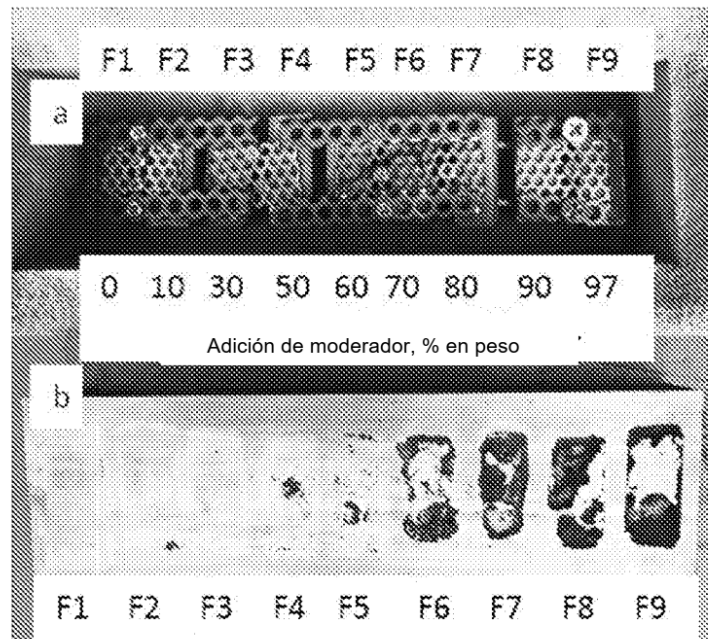


Fig. 5

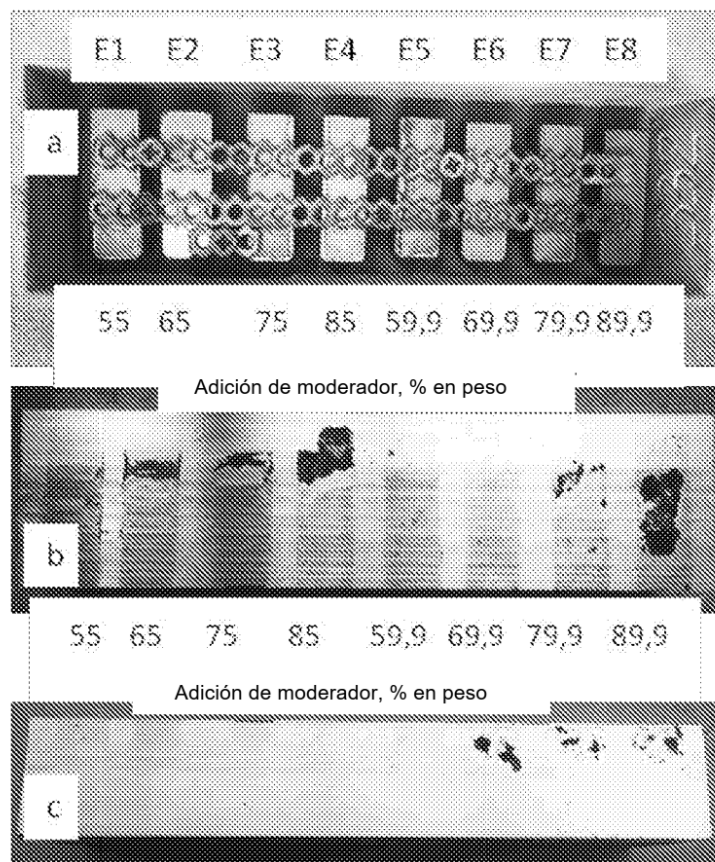


Fig. 6

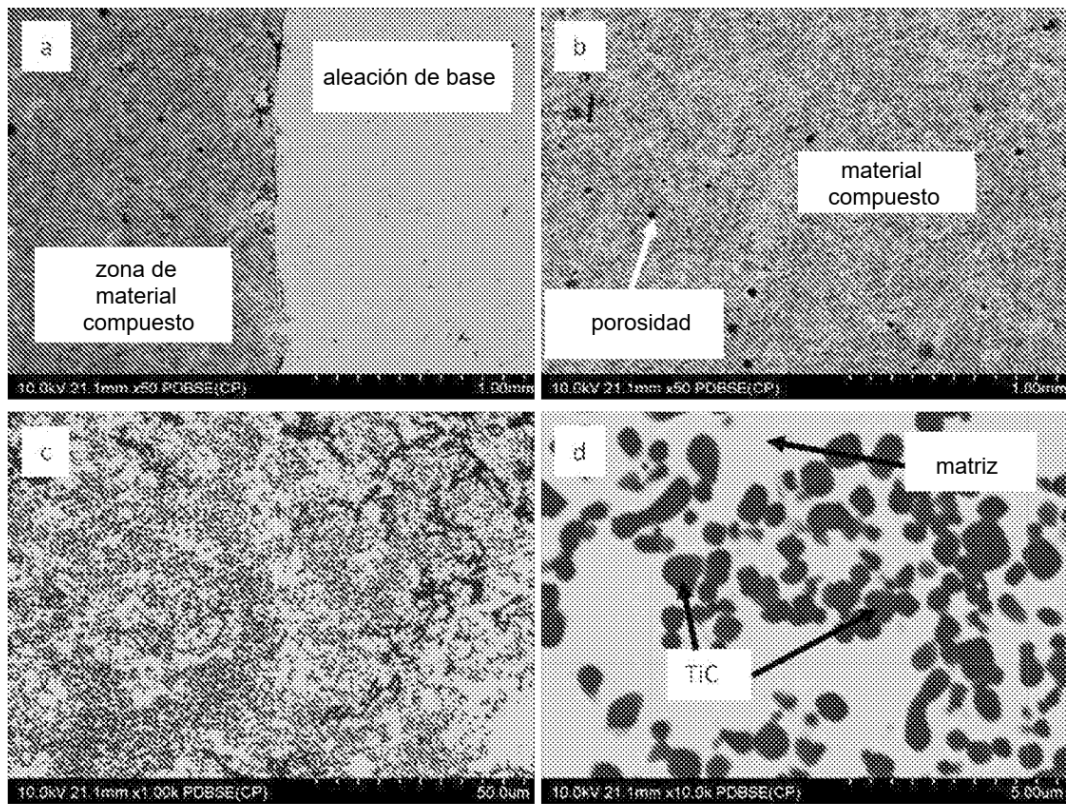


Fig. 7

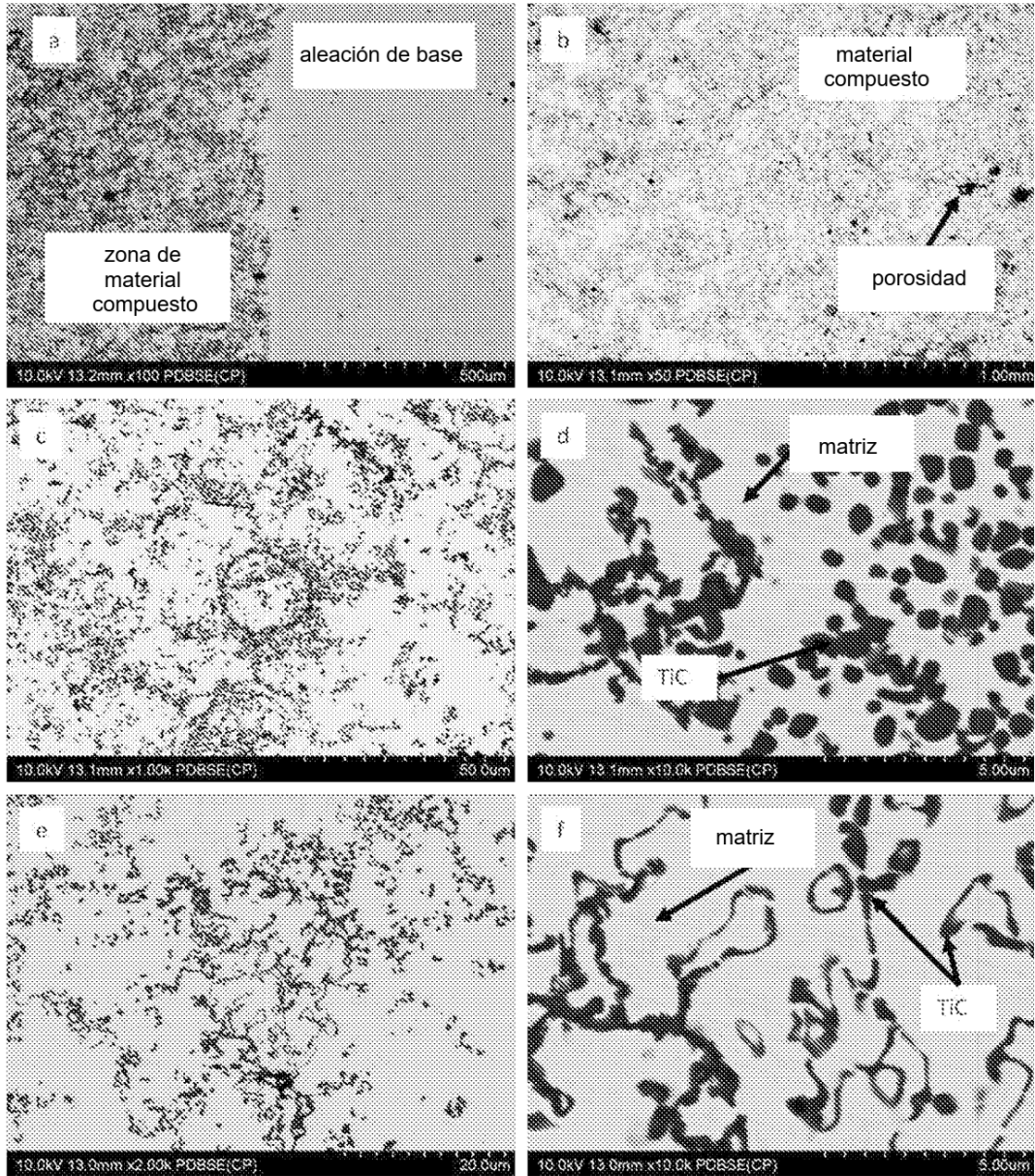


Fig. 8

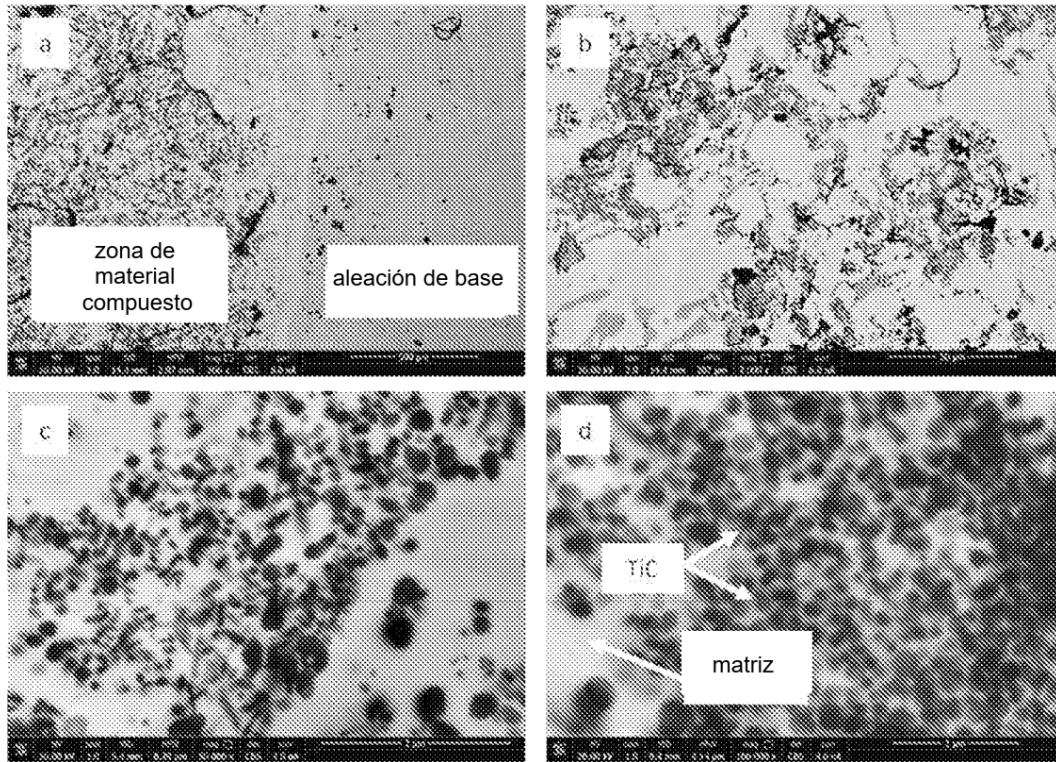


Fig. 9

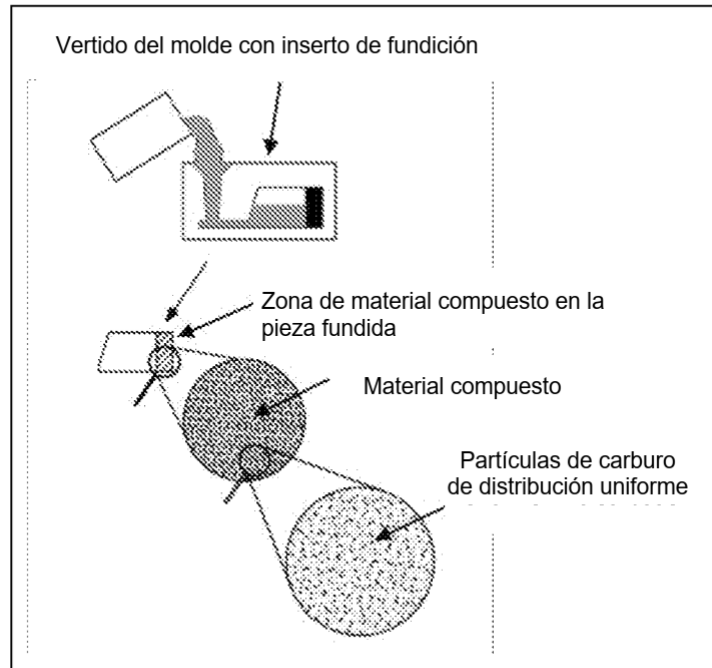


Fig. 10

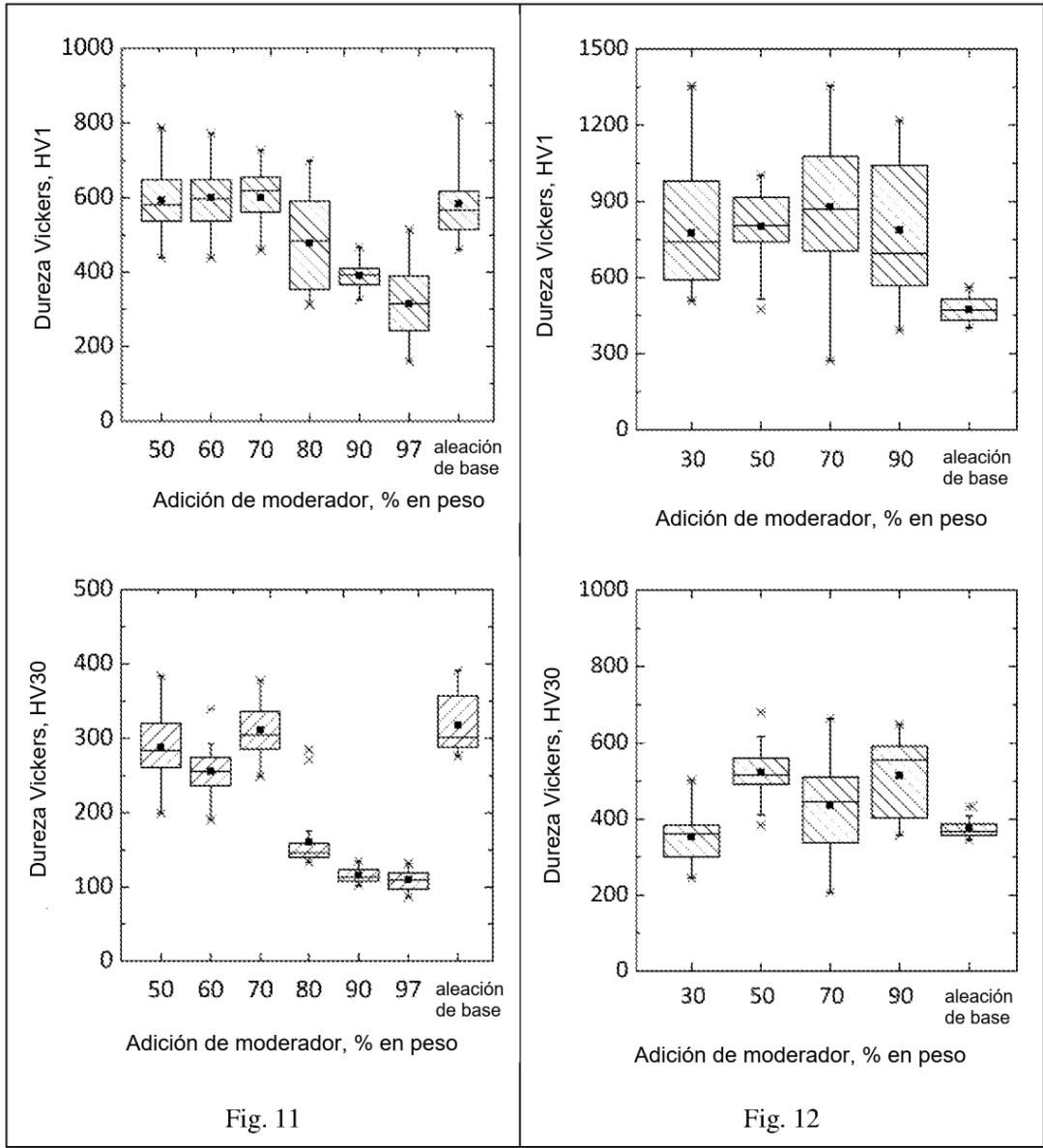


Fig. 11

Fig. 12

