

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 727 899**

51 Int. Cl.:

**C22C 21/02** (2006.01)

**B22D 19/00** (2006.01)

**C22C 1/02** (2006.01)

**C22C 1/10** (2006.01)

**C22C 32/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2014 PCT/CA2014/050576**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.12.2014 WO14201565**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2014 E 14813162 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 3011066**

54 Título: **Composición de aleación de aluminio con propiedades mecánicas mejoradas a temperatura elevada**

30 Prioridad:

**19.06.2013 US 201361836953 P**

**31.03.2014 US 201461972767 P**

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

**21.10.2019**

73 Titular/es:

**RIO TINTO ALCAN INTERNATIONAL LIMITED  
(100.0%)**

**1188 Sherbrooke Street West  
Montréal, QC H3A 3G2, CA**

72 Inventor/es:

**PARSON, NICHOLAS, C.;**  
**MARCHAND, PIERRE y**  
**LAURIN, JEAN-ALAIN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 727 899 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 de aleación de aluminio con propiedades mecánicas mejoradas a temperatura elevada

### Campo de la invención

Generalmente, la presente invención hace referencia a materiales de composite B<sub>4</sub>C.

### 5 Antecedentes

Los composites de matriz de aluminio reforzados con material particulado de B<sub>4</sub>C se usan ampliamente para la captura de neutrones durante el almacenamiento de combustible nuclear gastado. Durante el presente uso, el contenido de isótopo <sup>10</sup>B del material particulado de B<sub>4</sub>C proporciona la capacidad de absorción de neutrones necesaria para el almacenamiento seguro del combustible, al tiempo que dota de resistencia a la matriz de aluminio y permite que el material se conforme de manera sencilla para dar lugar a formas útiles por medio de técnicas convencionales de conformación, tales como laminado o extrusión. Los perfiles sometidos a extrusión se usan en los sistemas actuales de almacenamiento en seco, y se ha descubierto que las aleaciones de tipo serie 6XXX son materiales de matriz apropiados que proporcionan compatibilidad con una ruta de producción de metal líquido para el composite junto con el proceso de extrusión. Adicionalmente, la metalurgia de la familia de aleaciones 6XXX permite llevar a cabo la etapa de tratamiento térmico de la disolución durante la extrusión, lo cual permite eliminar una etapa de proceso. Además, a temperatura ambiente la serie de aleación 6XXX puede proporcionar propiedades de tracción útiles de hasta ~ 300 MPa YS y 350 MPa de UTS debido a la estructura de precipitado β' Mg-Si de tamaño nanométrico desarrollada durante el tratamiento térmico.

Las temperaturas de servicio en el almacenamiento en seco de combustible nuclear gastado pueden aproximarse hasta 250 °C, y los tiempos de servicio esperados pueden ser de 40 años y más. Como sucede con la mayoría de los materiales metálicos, el aluminio se puede reblandecer a temperatura elevada, debido a la mayor movilidad de dislocación. No obstante, para el sistema de endurecimiento por precipitación de Al-Mg-Si, puede tener lugar una pérdida adicional y más drástica de las propiedades mecánicas por encima de ~ 150 °C, debido al engrosamiento y disolución de los precipitados de la microestructura endurecida y curada. Dicha pérdida de las propiedades mecánicas puede provocar el fallo de estabilidad y/o integridad de los recipientes fabricados usando dichas aleaciones, cuando se usan a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo prolongados. La solicitud japonesa publicada JP 2006 316 321 hace referencia a la producción de un material de composite en forma de polvo de aleación de Al que contiene B<sub>4</sub>C para su uso en el campo de absorción de neutrones.

La presente invención se proporciona para abordar al menos algunos de estos problemas y otros problemas, y para proporcionar las ventajas y aspectos no provistos por las aleaciones, composites y métodos de procesado anteriores. Una discusión completa de las características y ventajas de la presente invención queda ligada a la siguiente descripción detallada.

### Sumario de la invención

Lo siguiente presenta un sumario general de los aspectos de la invención con el fin de proporcionar una comprensión básica de la invención. El presente sumario no es una revisión amplia de la invención. No se pretende identificar los elementos clave o críticos de la invención o perfilar el alcance de la invención. El siguiente sumario simplemente presenta algunos conceptos de la invención en forma general como preludeo de la descripción más detallada que se aporta a continuación.

Los aspectos de la divulgación hacen referencia a un material de composite que comprende:

40 i) una matriz de composición de aleación de aluminio que contiene, en porcentaje en peso:

Si	0,50 - 1,30
Fe	0,2 - 0,60
Cu	0,15 máximo
Mn	0,5 - 0,90
Mg	0,6 - 1,0
Cr	0,20 máximo

siendo el equilibrio aluminio e impurezas inevitables;

ii) Ti 0,2, - 2;

iii) partículas de un material de relleno de carburo de boro dispersadas en la matriz,

en el que las partículas incluyen un compuesto intermetálico que contiene titanio que reviste al menos una parte de la superficie del mismo, y

5 en el que el material de relleno de carburo de boro tiene una fracción en volumen de un 4-20 % en el material de composite.

Las impurezas inevitables pueden estar presentes en una cantidad de hasta un 0,05 % en peso cada una y hasta un 0,15 % en peso en total, en una realización. De acuerdo con ciertos aspectos, se puede considerar que la aleación es una aleación 6XXX.

10 De acuerdo con un aspecto, la composición de aleación de aluminio puede tener un contenido de cobre de un 0,1 % en peso como máximo, un contenido de silicio de un 0,70-1,30 % en peso, y/o un contenido de magnesio de un 0,60-0,80 % en peso.

15 De acuerdo con un aspecto adicional, la aleación puede incluir magnesio en exceso con respecto a la cantidad que podría representar los precipitados de Mg-Si. Se observa que este exceso de magnesio produce una mejora de las propiedades mecánicas a temperatura elevada. La aleación puede incluir al menos un 0,25 % en peso de magnesio en exceso en una realización.

De acuerdo con otro aspecto, el material de relleno tiene una dureza más elevada y un punto de fusión más elevado que la aleación de aluminio de la matriz.

20 Aspectos adicionales de la divulgación hacen referencia a un método de fabricación de un material de composite como en una cualquiera de las reivindicaciones 8-10, que usa la aleación que se ha descrito en la presente memoria como material de matriz. Generalmente, el método incluye la preparación o el suministro de una aleación de aluminio fundido como se describe en la presente memoria, la adición de partículas de un material de relleno a una aleación de aluminio fundido para formar una mezcla fundida que tiene un material de relleno dispersado por toda la aleación, y la colada de la mezcla fundida para formar el material de composite que tienen una aleación de aluminio como material de matriz y el material de relleno dispersado por toda la matriz. El material de composite colado se  
25 puede someter a extrusión de forma adicional para formar un producto sometido a extrusión.

De acuerdo con un aspecto, el material de relleno incluye partículas de carburo de boro. En dicho método, la aleación fundida incluye un 0,2-2 % en peso de titanio. Durante la colada del presente material, se forma un compuesto intermetálico que contiene titanio para revestir al menos una parte de la superficie de las partículas del material de relleno.

30 De acuerdo con otro aspecto, el material de relleno forma hasta un 20 % de fracción en volumen de la mezcla fundida, y también forma hasta un 20 % de fracción en volumen del material de composite resultante.

De acuerdo con un aspecto adicional, el método además incluye agitar la mezcla fundida para humedecer la aleación de aluminio de cara a las partículas del material de relleno y para distribuir las partículas por todo el volumen de la mezcla fundida, antes de la colada.

35 Aspectos adicionales de la divulgación hacen referencia a productos sometidos a extrusión que se forman a partir de una aleación de aluminio o un material de composite tal y como se describe en la presente memoria. Antes de la extrusión, la aleación o el material de composite se pueden formar por medio de colada de acuerdo con un método tal y como se describe en la presente memoria.

Otras ventajas y características de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción.

#### 40 **Breve descripción de los dibujos**

Para permitir una comprensión más completa de la presente invención, ahora se describe a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 es una ilustración gráfica de la presión de penetración de diversas aleaciones sometidas a ensayo en conexión con el Ejemplo siguiente;

45 La Figura 2 es una ilustración gráfica de los límites aparentes de fluencia de diversas aleaciones sometidas a ensayo a temperatura ambiente y 175 °C, en conexión con el Ejemplo siguiente;

La Figura 3 es una ilustración gráfica del límite aparente de fluencia de diversas aleaciones sometidas a ensayo a 150 °C y 200 °C, en conexión con el Ejemplo siguiente;

50 La Figura 4 es una ilustración gráfica del límite aparente de fluencia de diversas aleaciones sometidas a ensayo a 250 °C, en conexión con el Ejemplo siguiente; y

La Figura 5 es una ilustración gráfica del límite aparente de fluencia de diversas aleaciones sometidas a ensayo a 300 °C, en conexión con el Ejemplo siguiente.

#### Descripción detallada

5 En general, se proporcionan composiciones de aleación que exhiben propiedades mecánicas mejoradas a temperaturas elevadas con respecto a otras aleaciones, tales como al menos 150 °C o al menos 250 °C, incluyendo propiedades mecánicas mejoradas cuando se exponen a dichas temperaturas elevadas durante un período de tiempo prolongado (por ejemplo, 40 años). En una realización, la aleación puede proporcionar propiedades mecánicas mejoradas para una exposición de hasta 350 °C durante períodos de tiempo prolongados. Las  
10 composiciones de aleación de acuerdo con las realizaciones descritas en la presente memoria se pueden utilizar en diversas aplicaciones, incluyendo aplicaciones en las que resulta deseable resistencia a temperatura elevada y/o aptitud de extrusión. En un ejemplo, la aleación se puede usar como matriz para los materiales de composite de carburo de boro y otros materiales compuestos.

El material compuesto comprende

i) una matriz de composición de aleación de aluminio contiene, en porcentaje en peso:

Si 0,50 - 1,30

Fe 0,2 - 0,60

Cu 0,15 máximo

Mn 0,5 - 0,90

Mg 0,6 - 1,0

Cr 0,2 máximo

15

siendo el equilibrio aluminio e impurezas inevitables;

ii) Ti 0,2, - 2;

iii) partículas de un material de relleno de carburo de boro dispersadas en la matriz,

20 en el que las partículas incluyen un compuesto intermetálico que contiene titanio que reviste al menos una parte de la superficie del mismo y

en el que el material de relleno de carburo de boro tiene una fracción en volumen de un 4-20 % en el material de composite.

25 El equilibrio de la aleación incluye aluminio e impurezas inevitables. Las impurezas inevitables pueden estar presentes cada una de ellas a un porcentaje en peso máximo de 0,05, y el porcentaje en peso máximo total de impurezas inevitables puede ser un de 0,15, en una realización. La aleación puede incluir además adición de aleación en otra realización.

30 La aleación contiene un 0,50-1,30 % en peso de silicio. En otra realización, la aleación contiene un 0,70-1,30 % en peso de silicio. Las adiciones de silicio pueden aumentar la resistencia de la aleación, tal como por medio de endurecimiento por precipitación en la formación de precipitados de Mg-Si. El silicio también se puede combinar con otras adiciones, tales como hierro y manganeso, para formar fases intermetálicas. El silicio no está presente en exceso en una realización, definiéndose silicio en "exceso" en base a la cantidad de silicio que puede formar precipitados de Mg-Si (usando una relación atómica de Mg/Si de 1/1) además de la cantidad de silicio que se puede combinar con Fe y Mn en fases intermetálicas. La cantidad de Si combinado con fases intermetálicas que contienen Mn y Fe es bastante imprecisa, pero se puede aproximar por medio de  $(Mn+Fe+Cr)/3$ . Se puede usar la siguiente  
35 ecuación para determinar el silicio en exceso usando estos factores:

$$\text{Si en exceso} = \text{Si} - 1,16 \text{ Mg} - (Mn+Fe+Cr)/3 \text{ (todos los valores en \% en peso)}$$

40 Cuando la cantidad de silicio es mayor que lo que dicta la ecuación anterior, se considera que la aleación contiene silicio en exceso. En una realización, la aleación puede incluir magnesio en exceso, como se describe a continuación. En una realización adicional, la aleación puede contener una cantidad de equilibrio de silicio y magnesio o, en otras palabras, puede que no contenga silicio en exceso o magnesio.

La aleación contiene un 0,60 a un 1,0 % en peso de magnesio, y la aleación puede contener de un 0,60 a un 0,80 % en peso de magnesio en otra realización. Como se ha comentado anteriormente, en una realización, la aleación puede contener al menos cierto exceso de magnesio (es decir, exceso de  $\text{Mg} > 0$ ), y en otra realización, la aleación

puede contener al menos un 0,25 % en peso de magnesio en exceso. El exceso de magnesio se puede determinar esencialmente por medio de la misma ecuación que se ha usado anteriormente para determinar el exceso de silicio. La presente ecuación, cuando se configura para el cálculo del magnesio en exceso, es como se muestra a continuación:

$$5 \quad \text{Mg en exceso} = \text{Mg} - (\text{Si} - (\text{Mn} + \text{Fe} + \text{Cr})/3)/1,16 \text{ (todos los valores en \% en peso)}$$

Las aleaciones existentes de este tipo generalmente no usan magnesio en exceso, con un objetivo de optimización de la aptitud de extrusión y la resistencia mecánica a temperatura ambiente, y típicamente usan silicio y magnesio cerca de la proporción para formar los precipitados de MgSi de endurecimiento por curado. De hecho, dichas adiciones de Mg en exceso con frecuencia se consideran un uso ineficiente de las adiciones de aleación, ya que la respuesta de curado no se encuentra optimizada y el magnesio en exceso puede resultar negativo para la aptitud de extrusión. No obstante, se demuestra en la presente memoria que el uso de magnesio en exceso puede aumentar las propiedades mecánicas a temperatura elevada al tiempo que proporciona una aptitud de extrusión apropiada. En otra realización, las cantidades de silicio y magnesio se pueden equilibrar de acuerdo con las ecuaciones anteriores, como se ha mencionado con anterioridad.

15 La aleación contiene hasta un 0,15 % en peso como máximo de cobre. La presencia de cobre puede aumentar la resistencia de la aleación, tal como mediante la formación de precipitados que contribuyen al endurecimiento por precipitación. En otras realizaciones, la aleación puede contener hasta un 0,1 % en peso como máximo o hasta un 0,10 % en peso como máximo de cobre. En una realización adicional, la aleación puede contener hasta un 0,3 % en peso como máximo de cobre.

20 La aleación contiene un 0,2-0,60 % en peso de hierro. Adicionalmente, en una realización, la aleación incluye un 0,5-0,90 % en peso de manganeso. Además, en una realización, la aleación contiene hasta un 0,2 % en peso como máximo de cromo.

La aleación puede incluir impurezas como se ha descrito anteriormente. Se añade un 0,2-2 % en peso de titanio a la aleación líquida para mantener la fluidez durante la operación de mezcla de líquido, como se describe a continuación. No obstante, típicamente este titanio reacciona durante la mezcla de líquidos y, por tanto, generalmente no está presente en la matriz de aleación sólida.

Las aleaciones descritas en la presente memoria pueden proporcionar buena resistencia en un amplio intervalo de temperaturas, y pueden proporcionar mayor resistencia con respecto a otras aleaciones a temperaturas elevadas, en particular tras la exposición a largo plazo a temperaturas elevadas. A temperatura ambiente, el endurecimiento por precipitación de MgSi es un mecanismo efectivo para el fortalecimiento de las aleaciones tal y como se describe en la presente memoria, pero su efecto disminuye a temperaturas elevadas, debido al engrosamiento de las partículas. Otros mecanismos de fortalecimiento, tales como el fortalecimiento en dispersión y el fortalecimiento en disolución, son térmicamente más estables. Las adiciones de Mn y Fe en las aleaciones de acuerdo con las realizaciones descritas en la presente memoria producen una mayor fracción en volumen de partículas estables de segunda fase tales como Al-Fe-Mn-Si, que proporcionan fortalecimiento en dispersión. Adicionalmente, las aleaciones de acuerdo con las realizaciones descritas en la presente memoria contienen Mg en exceso, que no está ligado a los precipitados de MgSi y que por el contrario se encuentra en disolución donde puede proporcionar fortalecimiento en disolución. El fortalecimiento en dispersión y el fortalecimiento en disolución de sólidos puede lograr las mejores propiedades mecánicas a temperatura elevada descritas en la presente memoria, en particular cuando sus efectos se combinan.

La aleación se puede usar en la formación de una diversidad de objetos diferentes, y se puede producir inicialmente en forma de lingote. El término "lingote" tal y como se usa en la presente memoria puede hacer referencia a lingotes tradicionales, así como también a lingotes y otros productos intermedios que se pueden producir por medio de una diversidad de técnicas, incluyendo técnicas de colada tales como colada continua o semicontinua y otras.

45 Las aleaciones descritas en la presente memoria se pueden procesar de forma adicional en la creación de productos. Por ejemplo, se pueden someter a extrusión los lingotes de una aleación para dar lugar a diversos perfiles, que generalmente tienen una forma de corte transversal constante junto con su longitud vendible completa. Se pueden inactivar las extrusiones de la aleación, tal como inactivación con agua, tras la extrusión. Además, las extrusiones u otros productos de aleación se pueden curar artificialmente, tal como mediante tratamiento a 175 °C durante 8 horas. Se pueden usar etapas de procesamiento adicional en otras realizaciones, incluyendo etapas de procesamiento conocidas en la técnica para las aleaciones 6XXX. Se comprende que un objeto sometido a extrusión puede tener un corte transversal constante en una realización, y además se puede procesar para modificar la forma o conformar el objeto, tal como por medio de corte, maquinizado, conexión con otros componentes y otras técnicas. Adicional o alternativamente, se pueden usar otras técnicas de conformación, incluyendo laminado, forja u otras técnicas de trabajo.

También se pueden usar algunas de estas técnicas para el procesamiento de composites usando la aleación como matriz. Por ejemplo, se puede colar un lingote tal como un composite a partir de la masa fundida, tal como se describe a continuación. También se puede formar un material de composite resultante para dar lugar a la forma

deseada, tal como por medio de extrusión, laminado, forja, otro procesado, maquinizado, etc. Las realizaciones de aleación, y los composites producidos usando dichas aleaciones, son compatibles con el proceso de extrusión en caliente y la formación de disolución "en prensa", que elimina la necesidad de una etapa por separado de formación de disolución. Para una formación de disolución en prensa satisfactoria, la combinación de temperatura del lingote/velocidad del ariete debería generar temperaturas suficientes en el interior de la prensa de extrusión para llevar el metal por encima de la temperatura de disolución o temperatura de solubilidad. Este proceso se puede controlar por medio de la temperatura de salida en la platina de la prensa, donde se prefiere típicamente una temperatura de al menos 510 °C. Posteriormente, se debería inactivar la extrusión por medio de agua o aire en la salida de la prensa para conservar la microestructura tratada en disolución. Por ejemplo, la aleación/el composite se puede inactivar en prensa tras la extrusión en dicho proceso. En otra realización, la aleación/el composite se puede someter a un tratamiento formal de disolución en horno. La aleación, o un composite que incluye la aleación, también se puede colar-conformar usando una diversidad de técnicas de colada-conformación diferentes.

Las realizaciones de las aleaciones descritas en la presente memoria se usan para producir materiales de composite, con la aleación como material de matriz, en combinación con un material de relleno. Se aprecia que el uso del término "matriz" no implica que la aleación forme una mayoría o parte más grande del peso, volumen, etc., del composite, a menos que se especifique lo contrario. En lugar de ello, la matriz es el material en el que se intercala el material de relleno y que se une al material de relleno de manera conjunta, y la matriz puede ser completamente continua en algunas realizaciones.

El material de composite contiene un 4-20 % de fracción en volumen del material de relleno, y el material de matriz forma un 80 % o más de la fracción en volumen del composite. Por ejemplo, en un composite con un material de relleno de carburo de boro, la fracción en volumen del material de relleno puede ser de un 4 %, 7 %, 10,5 %, 12 %, 16 % o un 17,5 % en diversas realizaciones.

El material de relleno tiene un punto de fusión elevado y/o una dureza mayor que la matriz de aleación. El carburo de boro de dicho composite puede proporcionar absorción de neutrones y capacidades de protección frente a la radiación, mientras que la matriz de aleación puede proporcionar resistencia y permitir que el material de composite experimente conformación para dar lugar a formas útiles por medio de técnicas convencionales de conformación, tales como laminado o extrusión. Se puede utilizar un composite de acuerdo con la presente realización para el almacenamiento, contención, protección, etc. de combustible nuclear gastado y otros materiales radioactivos. Por ejemplo, el composite se puede usar para fabricar recipientes, barreras y/u otros componentes para su uso en dichas aplicaciones. Además, se puede usar carburo de boro en el material de composite para proporcionar otras propiedades beneficiosas, tales como dureza, resistencia al desgaste, resistencia, diferentes propiedades de fricción, diferentes propiedades térmicas o eléctricas, etc.

Los composites que usan la aleación como matriz se pueden producir en una diversidad de maneras. En una realización, la aleación se puede mezclar con el material de relleno mientras que la aleación se encuentra en forma líquida, y a continuación se puede producir el composite por medio de varias técnicas de moldeo/colada. Una técnica se describe en la patente de Estados Unidos N.º 7.562.692 que utiliza técnicas para mantener la fluidez de la mezcla fundida, tal como presentando al menos un 0,2 % en peso de titanio presente en la mezcla, u otras técnicas descritas en la misma. Esta técnica es particularmente útil para composites que incluyen materiales de relleno de carburo de boro. La aleación de matriz en masa fundida incluye al menos un 0,2 % en peso o un 0,2-2 % en peso de titanio, que puede estar presente en la aleación antes de la fusión o se puede añadir a la propia masa fundida, por ejemplo, en forma de una aleación maestra de Al-Ti, gránulos que contienen titanio o polvos etc. El material de relleno de carburo de boro se añade a la masa fundida, y el titanio reacciona con el carburo de boro para formar una capa de compuesto intermetálico que contiene titanio, tal como boruro de titanio (por ejemplo, TiB<sub>2</sub>) en al menos parte de las superficies de las partículas de carburo de boro. La capa intermetálica también puede contener otros elementos, tales como carbono y/o aluminio. Este compuesto intermetálico no se dispersa en la matriz y resiste la reacción posterior entre las partículas de carburo de boro y la matriz de aleación de aluminio. De este modo, el composite fundido se puede mantener durante períodos prolongados de tiempo sin pérdida de fluidez provocada por la formación gradual de carburos de aluminio y otros compuestos, lo cual contribuye a mantener la fluidez de la mezcla fundida. Las partículas de carburo de boro pueden conservar este revestimiento intermetálico tras la solidificación de la matriz. Generalmente, este método se puede llevar a cabo por medio de la preparación de una mezcla de una matriz de aleación de aluminio como se describe en la presente memoria, que incluye al menos un 0,2 % en peso o un 0,2-2 % en peso de titanio, y hasta un 20 % en volumen de partículas de carburo de boro, agitar la mezcla fundida para humedecer la aleación de aluminio para las partículas de carburo de boro y distribuir las partículas por todo el volumen de la masa fundida, y posteriormente colar la mezcla fundida.

También se pueden usar otros métodos de formación del composite. En otra realización, la aleación se puede infiltrar en el material de relleno, tal como proporcionando el material de relleno en forma porosa (por ejemplo, forma de partículas, preforma porosa, etc.) y fundiendo la aleación para crear la infiltración. En una realización adicional, se pueden usar técnicas de metalurgia en forma de polvo, combinando partículas de la aleación con partículas del material de relleno (por ejemplo, carburo de boro u óxido de aluminio) y posteriormente calentando/sinterizando para formar el composite. Se pueden usar técnicas diferentes adicionales en otras realizaciones. Se comprende que las técnicas descritas en la presente memoria para generar productos de aleación también se pueden usar para obtener composites utilizando dichas aleaciones, tales como inactivación con agua tras la extrusión, curado artificial, etc. El

material de relleno se puede proporcionar en forma porosa y/o de partículas para algunas o todas las realizaciones de conformación.

El ejemplo siguiente es un ejemplo de referencia que ilustra las propiedades beneficiosas que se pueden obtener con realizaciones de las aleaciones descritas en la presente memoria.

5 **Ejemplo**

Se colaron en frío de manera directa (DC) las composiciones de aleación de la Tabla 1 como lingotes de 101 mm de diámetro y se homogeneizó durante 2 horas/560 °C, y posteriormente se enfrió a 350 °C/h. Se cortaron los lingotes homogeneizados para dar lugar a longitudes de lingote de 200 mm y posteriormente se sometió a extrusión en una prensa de extrusión de 106 mm de diámetro y 780 toneladas. Se calentaron por inducción los lingotes hasta una temperatura de lingote de 500 +/- 7 °C y se sometió a extrusión a una velocidad de ariete de 5 mm/s para dar lugar a un fleje de 3 x 41,7 mm. Se inactivó con agua el perfil sometido a extrusión usando un baño de agua situado a 2,5 m del troquel. Las temperaturas de salida del troquel medidas usando un termopar de contacto de doble punta fueron mayores de 515 °C para todas las extrusiones. Se mantuvieron las extrusiones a temperatura ambiente tras la inactivación durante 16 horas y posteriormente se curaron artificialmente durante 8 horas a 175 °C, que es una práctica típica usada con aleaciones 6XXX para lograr una resistencia máxima a temperatura ambiente. La Tabla 1 siguiente ilustra todas las composiciones sometidas a ensayo en el presente Ejemplo, incluyendo la aleación de control, así como también el magnesio o silicio en exceso presente en cada aleación, calculado de acuerdo con las ecuaciones anteriores. La cantidad de precipitado de MgSi presente en la aleación y disponible para contribuir al endurecimiento por precipitación también resulta conocida.

20 Tabla 1: Composiciones de Aleación

ID	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Si en exceso	Mg en exceso	% en peso de MgSi
Control	1,05	0,21	< ,01	0,51	0,58	0,008	0,14	--	1,25
A	1,11	0,22	0,06	0,51	0,75	0,013	0,00	0,00	1,62
B	1,23	0,46	0,07	0,74	0,74	0,011	--	0,02	1,55
C	1,12	0,45	0,07	0,73	0,75	0,014	--	0,12	1,35
D	0,77	0,45	0,07	0,74	0,76	0,014	--	0,44	0,70

La composición de aleación designada como "Control" es una composición típica AA6351 o AA6082 usada para aplicaciones de resistencia media, reforzadas que no son de partículas, en la industria de extrusión. Se designa para proporcionar una combinación de buena aptitud de extrusión y buena resistencia mecánica a temperatura ambiente. La aleación A contiene niveles de elementos de soluto principales que contribuyen al endurecimiento por precipitación: Si, Mg y Cu. La aleación B contiene niveles mayores de Fe y Mn, junto con un nivel ligeramente más elevado de Si. La aleación C contiene niveles mayores de Fe y Mn, con todos los elementos de soluto principales en cantidades similares a la aleación A. Finalmente, la aleación D contiene los mismos niveles elevados de Mn, Fe, Mg y Cu, pero con una cantidad deliberadamente menor de Si, que crea un contenido mayor de Mg en exceso. Adicionalmente, la aleación A se encuentra equilibrada en términos de la relación atómica Mg/Si de 1/1, no obstante, usando un enfoque preliminar basado en Mg<sub>2</sub>Si, se habría considerado con un exceso grande de silicio. La aleación de control presentó un ligero exceso de silicio, pero cuando se pasa de la aleación A a D, las composiciones se vuelven cada más elevadas en cuanto al exceso de Mg.

La Tabla 2 representa la presión de ruptura para diversas aleaciones. La presión de ruptura es una medida de la aptitud de extrusión y generalmente representa la resistencia a la deformación a la temperatura de extrusión. Los valores también se expresan como el % de aumento con respecto a la aleación de control de la Tabla 2. Los mismos datos se presentan gráficamente en la Figura 1.

35 Tabla 2: Presión de Ruptura (unidades psi)

Aleación	Pmax	ΔP %
Control	1300	0
A	1322	1,69
B	1423	9,46

## ES 2 727 899 T3

C	1404	8
D	1477	13,6

Estos resultados indican que los cambios de composición realizados en términos de mayores niveles de Mg, Si y Cu, Fe y Mn, y finalmente, un aumento deliberado el contenido de Mg en exceso, aumentaron todos la presión de extrusión. Las variaciones en la presión de extrusión listada anteriormente son aceptables para muchos procesos de extrusión, en particular la extrusión para dar lugar a formas sólidas simples con bajas relaciones de extrusión.

Se midieron las propiedades mecánicas a temperatura ambiente de acuerdo con ISO 6892-1:2009. Se llevó a cabo un ensayo de tracción a temperaturas elevadas de acuerdo con ISO 6892-2:2011-método A, usando un precalentamiento de 10 minutos. Se llevó a cabo el ensayo a temperatura ambiente y 175 °C. Adicionalmente, se expusieron muestras durante 100 horas a temperaturas de 150, 200, 250 y 300 °C, y se sometieron a ensayo a las mismas temperaturas con el fin de simular la exposición a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo prolongados.

Las Tablas 3-5 presentan el límite aparente de fluencia, la resistencia de tracción y los valores de estiramiento medidos para las diversas condiciones del material y las temperaturas de ensayo descritas con anterioridad. Para cada condición, la diferencia de resistencia en comparación con la aleación de control se proporciona como porcentaje (% inc). Los resultados de límite aparente de fluencia y resistencia de tracción siguieron tendencias similares. Los resultados de límite aparente de fluencia para las seis condiciones de ensayo también se presentan gráficamente en las Figuras 2-5.

Tabla 3: Resultados de Límite Aparente de Fluencia

Aleación	Ninguna		Ninguna		100 horas		100 horas		100 horas		100 horas		Exp.
	Temperatura Ambiente		175 °C		150 °C		200 °C		250 °C		300 °C		Temp. Ensayo
	YS MPa	% inc	YS MPa	% inc	YS MPa	% inc	YS MPa	% inc	YS MPa	% inc	YS MPa	% inc	
Control	310,9	0	214,7	0	243,0	0	105,4	0	55,4	0	27,3	0	
A	323,2	3,9	224,8	4,7	265,9	9	143,4	36	73,9	33	27,2	0	
B	320,5	3,1	217,5	1,3	254,9	5	146,2	39	71,3	29	31,0	14	
C	333,0	7,1	225,5	5,0	256,9	6	140,0	33	70,1	27	30,4	11	
D	274,2	-11,8	202,0	-5,9	235,4	-3	136,7	30	65,8	19	31,8	16	

Tabla 4: Resultados de Resistencia a la Tracción Final

Aleación	Ninguna		Ninguna		100 horas		100 horas		100 horas		100 horas		Exp.
	Temperatura Ambiente		175 °C		150 °C		200 °C		250 °C		300 °C		Temp. Ensayo
	UTS MPa	% inc	UTS MPa	% inc	UTS MPa	% inc	UTS MPa	% inc	UTS MPa	% inc	UTS MPa	% inc	
Control	341,2	0	237,4	0	261,7	0	125,2	0	66,0	0	33,9	0	
A	352,1	3,2	249,5	5,1	285,5	9	165,3	32	85,9	30	34,7	2	
B	351,2	2,9	246,9	4,0	280,2	7	169,6	35	84,4	28	39,4	16	
C	361,5	5,9	255,8	7,8	280,4	7	164,9	32	85,5	30	38,6	14	
D	317,3	-7,0	226,2	-4,7	254,0	-3	159,3	27	80,8	22	40,3	19	

Tabla 5: Resultados de Estiramiento

Aleación	Ninguna	Ninguna	100 horas	100 horas	100 horas	100 horas	Exp.
	Temperatura Ambiente	175 °C	150 °C	200 °C	250 °C	300 °C	Temp. Ensayo
Control	12,2	20,7	15,0	21,5	46,5	48,5	
A	12,4	19,0	14,0	19,0	31,5	66,0	
B	12,2	19,0	17,0	24,0	33,5	62,0	
C	12,0	20,0	16,0	19,5	35,0	66,0	
D	13,0	23,0	18,0	24,5	46,0	66,3	

Las tendencias en cuanto a límite aparente de fluencia fueron similares para el ensayo de temperatura ambiente y el ensayo a 175 °C y también tras 100 horas de exposición a 150 °C, aunque el nivel de resistencia total se redujo en ~ un 30 % para cada aleación a 175 °C en comparación con temperatura ambiente. Las variantes A, B y C exhibieron niveles de resistencia similares y fueron más fuertes que el control, que a su vez fue más fuerte que la variante D, para el ensayo a temperatura ambiente y 175 °C, y también para el ensayo tras 100 horas de exposición a 150 °C. Las adiciones de Mg, Si y Cu a la aleación de control (es decir, aleación A) proporcionaron un fortalecimiento significativo, mientras que pareció que los contenidos mayores de Mn y Fe (es decir, Aleaciones B y C) proporcionaron una menor contribución a los aumentos de resistencia en estas condiciones. Esto indica que, en estas condiciones, el mecanismo de fortalecimiento dominante se debe al endurecimiento por precipitación. El exceso de Mg en la composición D realmente tuvo como resultado una resistencia menor que la aleación de control en estas condiciones, debido a la menor cantidad de precipitado de MgSi como se muestra en la Tabla 1.

Tras la exposición y ensayo tras 100 horas a 200 °C y 250 °C, todas las variantes experimentales A-D proporcionaron mejoras significativas (al menos un 30 %) en el límite aparente de fluencia en comparación con la aleación de control. Tras 100 horas a 250 °C, la puntuación de resistencia de las aleaciones fue de A > B > C > D > Control. Esto indica que el endurecimiento por precipitación debido a mayores precipitados de MgSi (por ejemplo, Mg<sub>2</sub>Si) todavía proporciona una contribución de resistencia para esta temperatura y tiempo de exposición, aunque los contenidos mayores de Fe y Mn junto con el magnesio en exceso también producen una contribución a la resistencia en las variantes B-D.

Para estos ensayos, se limitaron las exposiciones a 100 horas para producir unos resultados de ensayo en los tiempos experimentales prácticos. Se sabe que la resistencia de las aleaciones típicas de tipo 6XXX expuestas a 250 °C típicamente continúa para deteriorarse hasta las 10.000 horas de exposición (Kaufman, Properties of Aluminium Alloys, ASM International), debido al engrosamiento de las fases de precipitado de Mg-Si, hasta alcanzar la meseta. No obstante, a temperaturas próximas a 300 °C, las propiedades de tracción tienden a la meseta tras ~ 100 horas, debido a que el engrosamiento y la disolución de las fases de precipitado de Mg-Si tiene lugar de manera más rápida. Por consiguiente, se contempla que los resultados tras la exposición a 300 °C en el programa de ensayo actual proporcionan un mejor indicativo de la capacidad de las variantes de aleación para mantener la resistencia con una exposición a largo plazo (años) a temperaturas elevadas (por ejemplo, > 200 °C). Como se muestra en la Figura 5, tras 100 horas a 300 °C, las aleaciones B-D que contienen adiciones mayores de Fe y Mn exhibieron todos aumentos de resistencia significativos en comparación con el control. Por el contrario, la aleación A, con mayor contenido de Mg<sub>2</sub>Si, no proporcionó mejora alguna con respecto al control. Sobre todo, la aleación D, con el contenido de Mg en exceso más elevado, proporcionó la resistencia más elevada tras la exposición a temperatura elevada. Se aprecia que la tendencia para el límite aparente de fluencia a temperatura elevada ilustrado en la Figura 5 es casi idéntico al efecto del tipo de aleación sobre la presión de ruptura ilustrada en la Figura 1. La última es efectivamente una medida de la tensión de flujo a la temperatura de extrusión de 500 °C, e indica que los mecanismos de fortalecimiento asociados a mayores valores de Fe y Mn y Mg en exceso también son operativos a esa temperatura.

Los resultados de resistencia final de tracción reflejaron los resultados de límite aparente de fluencia comentados con anterioridad. Las aleaciones A-D produjeron en su mayoría resultados de estiramiento similares a la aleación de control a temperaturas de ensayo más bajas (hasta 250 °C). No obstante, tras la exposición a 300 °C, todas las aleaciones experimentales proporcionaron ductilidad en comparación con el control.

A la vista de los resultados anteriores, se muestra que las aleaciones de acuerdo con determinadas realizaciones que incluyen niveles mayores de Mg, Si y Cu, dentro de los intervalos descritos en la presente memoria (por ejemplo, las Aleaciones A-C) producen una resistencia mayor a valores de temperatura más bajos y valores de temperatura intermedios (por ejemplo, 175 °C), y también tras una exposición prolongada a valores de temperatura intermedios (por ejemplo, 130-150 °C). También se muestra que las aleaciones de acuerdo con determinadas realizaciones que tienen contenidos mayores de Mn y Fe dentro de los intervalos descritos en la presente memoria

(por ejemplo, Aleaciones B-D) producen una resistencia mayor tras una exposición prolongada a valores de temperatura intermedios (por ejemplo, 130-150 °C) y a valores de temperatura elevados (por ejemplo, 250 °C), y que este aumento de resistencia es posible incluso sin los niveles de Si elevados para producir el endurecimiento por precipitación (por ejemplo, Aleación D), en particular a valores de temperatura elevados. Se muestra además que las aleaciones de acuerdo con determinadas realizaciones que tienen contenidos de Mg en exceso tal y como se describe en la presente memoria (por ejemplo, Aleaciones B-D) producen una resistencia mayor tras la exposición prolongada a niveles de temperatura intermedios (por ejemplo, 130 °C) y niveles de temperatura elevados (por ejemplo, 250 °C), y que niveles mayores de Mg en exceso (por ejemplo, Aleación D) producen una resistencia aún mayor tras la exposición prolongada a niveles de temperatura intermedios (por ejemplo, 250 °C). Se contempla que dichos niveles de Mg en exceso pueden proporcionar una resistencia mayor durante una exposición prolongada a niveles de temperatura de más de 150 °C. También se contempla que dichos niveles de Mg en exceso pueden proporcionar una resistencia mayor a niveles de temperatura de hasta 300 °C, o posiblemente mayores.

Las realizaciones descritas en la presente memoria pueden proporcionar ventajas con respecto a las aleaciones, composites, extrusiones y procesos existentes, incluyendo ventajas con respecto a las aleaciones 6XXX típicas y aleaciones usadas en la producción de materiales de blindaje de neutrones. Por ejemplo, la aleación descrita en la presente memoria exhibe una resistencia superior y propiedades de tracción a temperaturas elevadas, y en particular cuando se mantiene a temperaturas elevadas durante períodos de tiempo prolongados. Esto proporciona ventajas para uso en aplicaciones de alta temperatura, donde resulta deseable una mayor resistencia a temperatura elevada durante un período de tiempo prolongado, para reducir el riesgo de fallo del producto. Esta resistencia a alta temperatura resulta útil, por ejemplo, en la producción de materiales de blindaje de neutrones, que pueden estar sometidos a temperatura elevada (por ejemplo, 250 °C) durante períodos de tiempo prolongados (por ejemplo, 40 años). Los composites que incluyen materiales de relleno de carburo de boro son particularmente útiles para aplicaciones de blindaje de neutrones. Las mayores propiedades mecánicas a temperaturas elevadas logradas por medio de la aleación pueden resultar deseables también para otras aplicaciones de alta temperatura, y dichas aplicaciones pueden resultar conocidas por parte de los expertos en la técnica. Por ejemplo, la aleación se puede utilizar sola como aleación estructural de alta temperatura. Como otro ejemplo, la aleación se puede usar como matriz para un material de composite diferente, tal como un material de composite diferente de alta temperatura. Además, la aleación y los composites resultantes puede resultar apropiados para extrusión. Ventajas y beneficios adicionales resultan conocidos por los expertos en la técnica.

**REIVINDICACIONES**

1.- Un material de composite que comprende:

i) una matriz de aleación de aluminio que comprende, en porcentaje en peso:

Si	0,50 - 1,30
Fe	0,2 - 0,60
Cu	0,15 máximo
Mn	0,5 - 0,90
Mg	0,6 - 1,0
Cr	0,2 máximo

5 siendo el equilibrio aluminio e impurezas inevitables;

ii) Ti 0,2, - 2;

iii) partículas de un material de relleno de carburo de boro dispersadas en la matriz,

en el que las partículas incluyen un compuesto intermetálico que contiene titanio que reviste al menos una parte de la superficie del mismo, y

10 en el que el material de relleno de carburo de boro tiene una fracción en volumen de un 4-20 % en el material de composite.

2.- El material de composite de la reivindicación 1, en el que el material de relleno de carburo de boro tiene capacidades mayores de absorción de neutrones y blindaje frente a la radiación que la matriz o una dureza más elevada y un punto de fusión más elevado que la aleación de aluminio de la matriz.

15 3.- El material de composite de la reivindicación 1, en el que el contenido de Cu de la aleación es de hasta un 0,1 % en peso como máximo.

4.- El material de composite de la reivindicación 1, en el que el contenido de Si de la aleación es de un 0,70-1,30 por ciento en peso.

20 5.- El material de composite de la reivindicación 1, en el que el contenido de Mg de la aleación es de un 0,60-0,80 por ciento en peso.

6.- El material de composite de la reivindicación 1, en el que la aleación tiene Mg en exceso por encima de una cantidad que puede estar ligada a los precipitados de Mg-Si, en el que el Mg en exceso se calcula como se muestra a continuación usando los valores en porcentaje en peso:  $Mg \text{ en exceso} = Mg - (Si - (Mn+Fe+Cr)/3)/1,16$ .

25 7.- El material de composite de la reivindicación 6, en el que la aleación tiene al menos un 0,25 % en peso de Mg en exceso.

8.- Un método para preparar un material de composite de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, comprendiendo el método:

preparar una aleación de aluminio fundido que comprende, en porcentaje en peso:

Si	0,50 - 1,30
Fe	0,2 - 0,60
Cu	0,15 máximo
Mn	0,5 - 0,90
Mg	0,6 - 1,0
Cr	0,2 máximo
Ti	0,2-2

siendo el equilibrio aluminio e impurezas inevitables;

añadir partículas de un material de relleno de carburo de boro a la aleación de aluminio fundida para formar una mezcla fundida que tiene el material de relleno de carburo de boro dispersado por toda la aleación;

en el que la cantidad de carburo de boro que se añade a la aleación está dentro del intervalo de un 4-20 %;

- 5 colar la mezcla fundida para formar el material de composite que tiene el material de relleno de carburo de boro dispersado por toda la matriz de aleación de aluminio, en el que las partículas incluyen un compuesto intermetálico que contiene titanio que reviste al menos una parte de la superficie de las mismas;

y

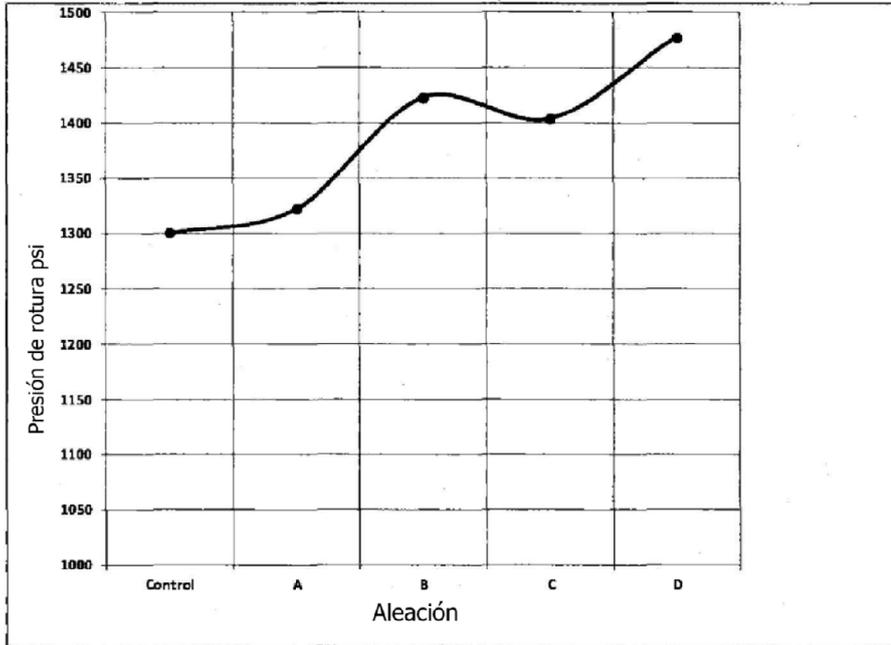
opcionalmente someter a extrusión el material de composite para formar un producto sometido a extrusión.

- 10 9.- El método de la reivindicación 8, en el que la fracción del material de relleno de carburo de boro es de un 20 % del material de composite.

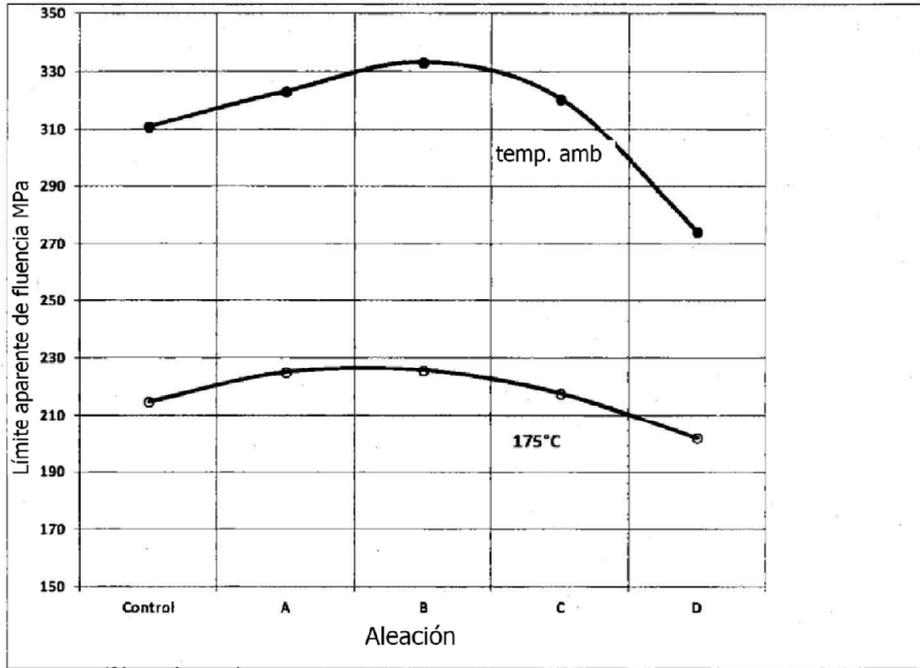
10.- El método de la reivindicación 8, que además comprende:

agitar la mezcla fundida para humedecer la aleación de aluminio para las partículas del material de relleno y para distribuir las partículas por todo el volumen de la mezcla fundida, antes de la colada.

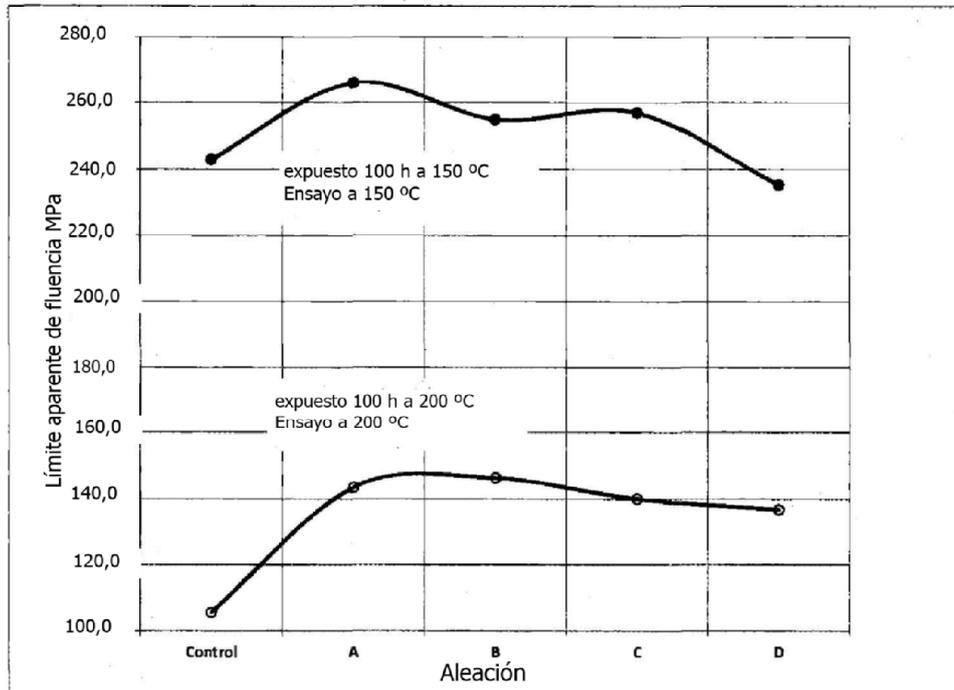
15



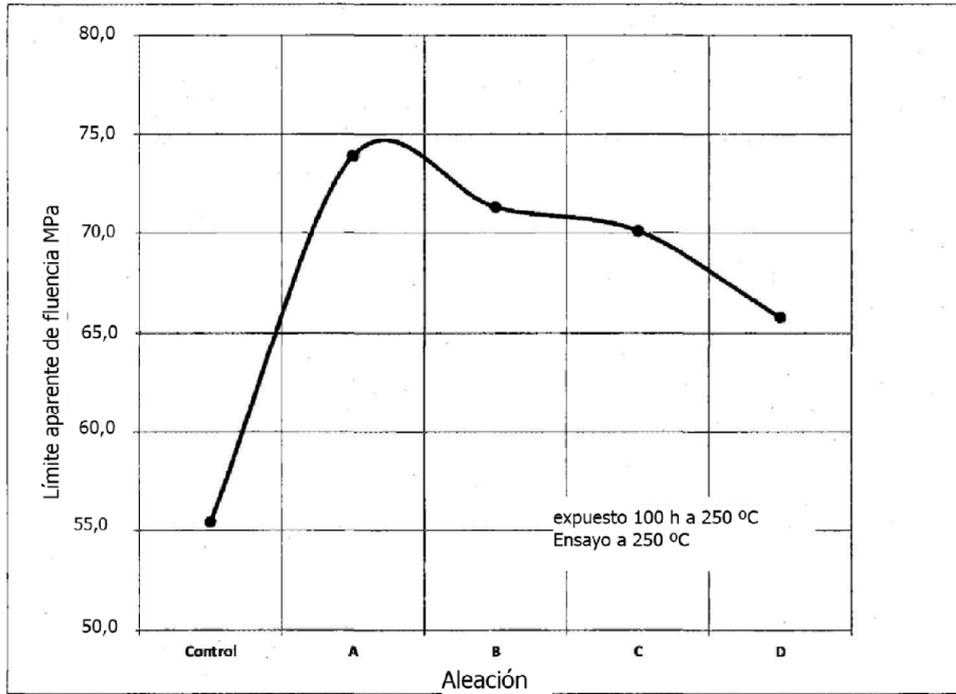
**FIG. 1**



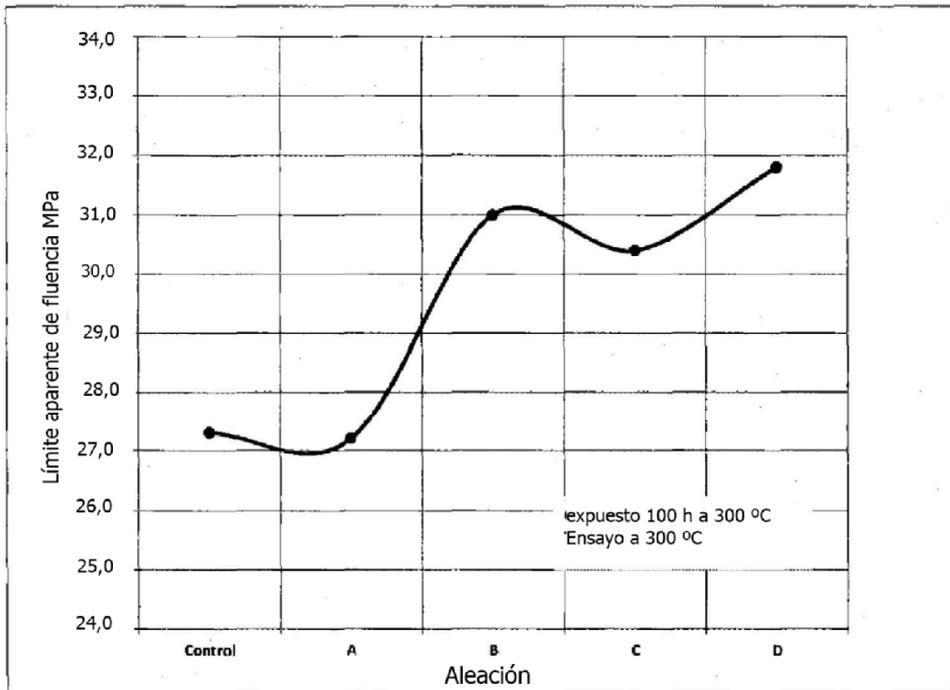
**FIG. 2**



**FIG. 3**



**FIG. 4**



**FIG. 5**