

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 555**

51 Int. Cl.:

**C22C 21/10** (2006.01)

**C22F 1/053** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2016 PCT/US2016/059272**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.05.2017 WO17075319**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2016 E 16834065 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2019 EP 3265595**

54 Título: **Aleaciones de aluminio 7xxx de alta resistencia y métodos para fabricarlas**

30 Prioridad:

**30.10.2015 US 201562248796 P**  
**25.04.2016 US 201662326858 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**11.07.2019**

73 Titular/es:

**NOVELIS, INC. (100.0%)**  
**3560 Lenox Road, Suite 2000**  
**Atlanta, GA 30326, US**

72 Inventor/es:

**KAMAT, RAJEEV G.;**  
**CHAKRABARTI, DHRUBA J.;**  
**MOHANTY, RASHMI RANJAN;**  
**KULKARNI, RAHUL VILAS;**  
**BENDZINSKI, DUANE E. y**  
**TIMM, JUERGEN**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 719 555 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

Aleaciones de aluminio 7xxx de alta resistencia y métodos para fabricarlas

### 5 **Campo**

En este documento se proporcionan nuevas composiciones de aleación de aluminio y métodos para fabricarlas y procesarlas. Las aleaciones descritas en este documento exhiben alta resistencia y se pueden usar en aplicaciones automotrices, de transporte, electrónica e industriales.

10

### **Antecedentes**

Las aleaciones de aluminio de alta resistencia son deseables para su uso en aplicaciones estructurales automotrices. Las aleaciones de aluminio bajo la designación de la serie 6xxx, por ejemplo, se usan principalmente para aplicaciones estructurales automotrices. Sin embargo, las actuales aleaciones de la serie 6xxx no son capaces de satisfacer las demandas de alta resistencia de los fabricantes de equipos originales (OEM). Por ejemplo, las aleaciones tipo AA6111 y AA6013 alcanzan una resistencia a la fluencia de solo 300 a 350 MPa en el templeado T6. Para lograr la alta resistencia deseada en aplicaciones estructurales automotrices, se están utilizando varios grados de acero, como el acero al boro. Sin embargo, dichas láminas de calidad de acero son excesivamente pesadas e inadecuadas para el uso en diseños automotrices modernos que requieren materiales livianos.

15

20

Específicamente, la legislación gubernamental ha impuesto requisitos de kilometraje obligatorio para los vehículos y también ha reducido las emisiones permitidas de los tubos de escape de los vehículos. Por lo tanto, se necesitan materiales menos densos para que los diseños automotrices cumplan con estas restricciones. La aleación de aluminio, que es menos densa que el acero en un factor de 2,8, se usa cada vez más en la fabricación de automóviles porque ofrece una reducción sustancial del peso del vehículo. Sin embargo, para lograr una reducción de peso suficiente y ser un reemplazo efectivo para el acero (y para otras partes de menor resistencia), el material debe exhibir una resistencia a la fluencia de 500 MPa o más para un calibre de lámina de aproximadamente 2 mm. La solicitud de patente estadounidense US 2014/0069557 A1 describe una aleación de la serie 7XXX que está diseñada para partes de vehículos de motor con carrocería en blanco ("BIW"). Cuando la aleación se conforma en una lámina enrollada con un espesor de 0,5-4 mm, presenta resistencias a la fluencia superiores a 500 MPa después de haberse sometida a un tratamiento térmico en solución, enfriamiento y posterior ciclo de pintura al horno.

25

30

35

El objetivo de una resistencia a la fluencia de 500 MPa para una lámina de aleación de aluminio de 2 mm es un desafío importante, incluso en el contexto de las aleaciones de aluminio aeroespaciales que son conocidas por sus resistencias mucho más altas. Esto se debe en parte a la relación entre el espesor de las piezas y la resistencia alcanzable. Las placas generalmente tienen más de 10 mm de espesor. Normalmente, a medida que disminuye el espesor de las secciones de placa, la resistencia aumenta correspondientemente debido a la extinción más rápida de la sección con respecto a la temperatura del tratamiento térmico en solución. Esto ayuda a retener una mayor sobresaturación de los elementos de aleación, lo que aumenta la resistencia.

40

45

Por debajo de un espesor de aproximadamente 100 a 150 mm, sin embargo, la microestructura de la placa cambia de una estructura generalmente no recristalizada a una estructura recristalizada. En este punto, la resistencia comienza a disminuir. A medida que la reducción continúa en el calibre de la lámina, la reducción de la resistencia continúa sin disminuir, lo que hace que las láminas delgadas normalmente tengan una resistencia mucho menor que las placas de la misma aleación. En el calibre deseado de 2 mm, la lámina está virtualmente recristalizada por completo y puede ofrecer solo una fracción de su capacidad de resistencia como un calibre de placa con una estructura no recristalizada.

50

Un objetivo de resistencia a la fluencia de 500 MPa o superior es un desafío, incluso en el calibre de placa. Por lo tanto, lograr ese objetivo es aún más difícil de obtener para un calibre de lámina de 2 mm, tal como desean los fabricantes de automóviles. Por lo tanto, se necesitan nuevas aleaciones ligeras que puedan satisfacer las demandas de alta resistencia de los OEM.

55

### **Sumario**

Las realizaciones cubiertas de la invención se definen mediante las reivindicaciones, no este sumario. Este sumario es una descripción general de alto nivel de varios aspectos de la invención e introduce algunos de los conceptos que se describen con más detalle en la sección Descripción detallada a continuación. Este sumario no tiene la intención de identificar características clave o esenciales de la materia reivindicada, ni se pretende utilizar de forma aislada para determinar el alcance de la materia reivindicada. El objeto debe entenderse por referencia a las partes apropiadas de toda la memoria descriptiva, cualquiera o todos los dibujos y cada reivindicación.

60

65

En este documento se proporcionan las nuevas aleaciones de aluminio de la serie 7xxx. Las aleaciones exhiben alta resistencia y se pueden usar en una variedad de aplicaciones, incluyendo aplicaciones automotrices, de transporte,

electrónica e industriales. Las aleaciones de aluminio descritas en este documento comprenden el 8,9-9,2 % en peso de Zn, 0,2-2,1 % en peso de Cu, 2,2-2,4 % en peso de Mg, 0,18-0,23 % en peso de Fe, 0,09-0,12 % en peso de Si, 0,05-0,15 % en peso de Zr, 0,04-0,09 % en peso de Mn, 0,03-0,09 % en peso de Cr, 0,01-0,02 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al, en el que la aleación de aluminio comprende además hasta el 0,20 % de uno o más de Mo, Nb, Be, B, Co, Sn, Sr, V, In, Hf, Ag, Sc y Ni o comprende además hasta el 0,10 % de un elemento de las tierras raras seleccionado del grupo que consiste en Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu. A lo largo de esta solicitud, todos los elementos se describen en porcentaje en peso (% en peso) en función del peso total de la aleación. La aleación de aluminio comprende el 8,9-9,2 % en peso de Zn, 0,2-2,1 % en peso de Cu, 2,2-2,4 % en peso de Mg, 0,18-0,23 % en peso de Fe, 0,09-0,12 % en peso de Si, 0,05-0,15 % en peso de Zr, 0,04-0,09 % en peso de Mn, 0,03-0,09 % en peso de Cr, 0,01-0,02 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al. En algunos casos, la aleación de aluminio comprende el 9 % en peso de Zn, 0,3 % en peso de Cu, 2,3 % en peso de Mg, 0,2 % en peso de Fe, 0,1 % en peso de Si, 0,1 % en peso de Zr, 0,05 % en peso de Mn, 0,04 % en peso de Cr, 0,02 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al. En algunos casos, la aleación de aluminio comprende el 9,2 % en peso de Zn, 1,2 % en peso de Cu, 2,3 % en peso de Mg, 0,23 % en peso de Fe, 0,1 % en peso de Si, 0,11 % en peso de Zr, 0,04 % en peso de Mn, 0,04 % en peso de Cr, 0,01 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al. En algunos ejemplos, las aleaciones de aluminio pueden incluir hasta el 0,20 % de uno o más de Mo, Nb, Be, B, Co, Sn, Sr, V, In, Hf, Ag, Sc y Ni. En algunos ejemplos, las aleaciones de aluminio pueden incluir hasta un 0,10 % de un elemento de las tierras raras seleccionado del grupo que consiste en Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, y Lu.

En el presente documento también se proporcionan productos que comprenden las aleaciones de aluminio como se describe en el presente documento. Los productos pueden incluir una lámina, una placa, una extrusión, un vaciado o una forja. En algunos ejemplos, el producto puede tener una profundidad máxima de las picaduras de menos de 40 micrómetros. En algunos ejemplos, el producto puede tener una profundidad promedio de las picaduras de menos de 20 micrómetros. En algunos casos, el producto puede tener una resistencia a la fluencia superior a 550 MPa. En algunos casos, el producto puede tener una resistencia a la fluencia superior a 600 MPa. En algunos ejemplos, el producto que comprende la aleación de aluminio puede incluir una aleación de aluminio que tiene más del 0,30 % en peso de Cu (por ejemplo, más del 0,80 % en peso de Cu o más del 1,1 % en peso de Cu), y el producto tiene una resistencia a la fluencia superior a 600 MPa.

En algunos ejemplos, los productos pueden incluir partes de la carrocería de un automóvil y/o de un transporte, incluidas partes de carrocería del vehículo motorizado (por ejemplo, parachoques, vigas laterales, vigas de techo, vigas transversales, refuerzos de pilares, paneles interiores, paneles exteriores, paneles laterales, cubiertas interiores, cubiertas exteriores, y paneles de la tapa del maletero). Los productos también pueden incluir productos electrónicos, como carcasas de dispositivos electrónicos. Los productos también pueden incluir partes de una carrocería aeroespacial, que incluyen una parte estructural (por ejemplo, un ala, un fuselaje, un alerón, un timón, un elevador, una cubierta o un soporte) o una parte no estructural (por ejemplo, un carril del asiento, un bastidor de asiento, un panel o una bisagra).

Además, en la presente memoria se proporcionan métodos para producir un producto metálico. Los métodos para producir el producto metálico incluyen, pero no se limitan a, las etapas de moldear una aleación de aluminio como se describe en este documento para formar un lingote o una losa, homogeneizar el lingote o la losa, laminar en caliente el lingote o la losa para producir una banda caliente de calibre intermedio, y enrollar en frío la banda caliente para obtener un producto metálico de calibre final. Opcionalmente, el producto metálico es una lámina. En estos casos, los métodos pueden incluir además una etapa para someter la lámina a un tratamiento térmico en solución a una temperatura de 430 °C a 600 °C (por ejemplo, de 430 °C a 500 °C, de 440 °C a 490 °C, de 450 °C a 480 °C, o de 460 °C a 475 °C). Los métodos también pueden incluir el enfriamiento de la lámina a una temperatura de 25 °C a 120 °C. En algunos casos, la velocidad de enfriamiento durante la etapa de enfriamiento puede ser opcionalmente de 200 °C por segundo a 600 °C por segundo. En otros casos, la velocidad de enfriamiento durante la etapa de enfriamiento es de 2000 °C por segundo a 3000 °C por segundo. Los métodos descritos en el presente documento pueden comprender opcionalmente someter la lámina a un proceso de envejecimiento. En algunos casos, el proceso de envejecimiento puede incluir calentar la lámina a una temperatura de 100 °C a 170 °C, mantener la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C durante un período de tiempo y enfriar la lámina a temperatura ambiente. En otros casos, el proceso de envejecimiento puede incluir calentar la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C; mantener la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C durante un período de tiempo; calentar la lámina a una temperatura superior a 140 °C; mantener la lámina a una temperatura superior a 140 °C (por ejemplo, entre 140 °C y 170 °C) durante un período de tiempo; y enfriar la lámina a temperatura ambiente. En algunos casos, la lámina se puede someter a un tratamiento térmico con pintura al horno, por ejemplo, calentando la lámina a una temperatura superior a 140 °C (por ejemplo, 150 °C, 160 °C, 170 °C, 180 °C, 190 °C, 200 °C, o superior) y mantener la lámina a una temperatura superior a 140 °C (por ejemplo, entre 150 °C, 160 °C, 170 °C, 180 °C, 190 °C, 200 °C o más) durante un período de tiempo (por ejemplo, 10 minutos, 20 minutos, 30 minutos, 40 minutos, 50 minutos, 60 minutos, 70 minutos, 80 minutos, 90 minutos, 100 minutos, 110 minutos, o 120 minutos).

Alternativamente, los blancos de la lámina de templado F laminados en frío se pueden calentar a una temperatura de tratamiento térmico en solución, seguido de la conformación en caliente en piezas utilizando matrices frías. Las

matrices frías pueden proporcionar velocidades de enfriamiento rápidas necesarias para mantener los elementos de aleación en la solución para la respuesta de envejecimiento artificial posterior. Después del estampado en caliente y el enfriamiento de la matriz, las partes formadas pueden envejecerse artificialmente como se describe anteriormente.

5 En el presente documento también se proporcionan láminas de aluminio que comprenden una aleación de la serie 7xxx preparada según los métodos descritos en este documento. La lámina opcionalmente puede estar en el templado T1 a T9. En algunos casos, la lámina puede estar en el templado T6. En algunos casos, la lámina puede estar en el templado T7. En algunos casos, la lámina tiene una resistencia a la fluencia superior a 500 MPa. En algunos casos, las láminas de aluminio pueden comprender dispersoides de  $Al_3Zr$ . En algunos casos, los dispersoides de  $Al_3Zr$  pueden tener un diámetro de 5 nm a 50 nm (por ejemplo, de 5 nm a 20 nm, de 8 nm a 20 nm o de 5 nm a 10 nm). En algunos casos, los dispersoides de  $Al_3Zr$  pueden tener un diámetro de menos de 20 nm (por ejemplo, menos de 15 nm, menos de 10 nm o menos de 8 nm). Además, en este documento se proporcionan placas de aluminio, extrusiones, fundiciones y piezas forjadas que comprenden una aleación de la serie 7xxx como se describe en la presente invención.

15 Otros objetos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de ejemplos no limitantes de la invención.

### 20 Breve descripción de las figuras

La Figura 1 es un gráfico que muestra las resistencias a la fluencia de una aleación comparativa y aleaciones ejemplares descritas en este documento después del tratamiento térmico en solución y el envejecimiento en diferentes condiciones.

La Figura 2 es un gráfico que muestra las máximas resistencias a la tracción de una aleación comparativa y las aleaciones ejemplares descritas en este documento después del tratamiento térmico en solución y el envejecimiento en diferentes condiciones.

La Figura 3 contiene imágenes de pepitas de soldadura por puntos de resistencia formados en una lámina de aleación 7075 (paneles superior e inferior izquierdo), una lámina de aleación V6 (paneles central superior e inferior) y una lámina de aleación V12 (paneles superior e inferior derecho).

30 La Figura 4 contiene imágenes de las secciones transversales de las láminas preparadas a partir de la aleación 7075 (muestra 1 y 2), aleación V6, y aleación V12 después de haberse sumergido en una solución que contiene 57 g/l de NaCl y 10 ml de  $H_2O_2$  durante 24 horas.

La Figura 5 es un gráfico de las profundidades de las picaduras media y máxima en láminas preparadas a partir de la aleación 7075 (muestra 1 y 2), aleación V6 y aleación V12 después de haberse sumergido en una solución que contiene 57 g/l de NaCl y 10 ml de  $H_2O_2$  para 24 horas

La Figura 6 es un gráfico que muestra la resistencia a la fluencia y el alargamiento total de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309 y K311 en el templado T4 obtenido al mantener las láminas a temperatura ambiente durante 10 días después de enfriar con agua desde la temperatura de tratamiento en solución.

La Figura 7 es un gráfico que muestra la resistencia a la fluencia de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309 y K311 en el templado T4 (obtenido al mantener las láminas a temperatura ambiente durante 10 días después de enfriar con agua desde la temperatura del tratamiento térmico en solución) en ángulos de 0°, 45° y 90° a la dirección de laminación.

La Figura 8 es un gráfico que muestra el alargamiento total de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309 y K311 en el templado T4 (obtenido al mantener las láminas a temperatura ambiente durante 10 días después de enfriar con agua desde la temperatura del tratamiento térmico en solución) en ángulos de 0°, 45° y 90° a la dirección de laminación.

La Figura 9 es un gráfico que muestra los valores  $r$  de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309 y K311 en el templado T4 (obtenido al mantener las láminas a temperatura ambiente durante 10 días después de enfriar con agua desde la temperatura del tratamiento térmico en solución) en ángulos de 0°, 45° y 90° a la dirección de laminación.

La Figura 10 es un gráfico que muestra la resistencia a la fluencia y el alargamiento total de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309, K310, K311, K312, K313 y K314 (todo enfriado por aire desde la temperatura del tratamiento térmico en solución) en el templado T4. Los valores representan los valores medios de las tres direcciones de prueba (ángulos 0°, 45° y 90° a la dirección de laminación).

La Figura 11 es un gráfico que muestra los valores  $r$  de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309, K310, K311, K313 y K314 en el templado T4 en ángulos 0°, 45° y 90° a la dirección de laminación. El templado de T4 se logró manteniendo la lámina a temperatura ambiente durante siete días y a continuación calentando a 70 °C durante cuatro días después de enfriar al aire desde la temperatura de tratamiento térmico en solución.

La Figura 12 es un gráfico que muestra el ángulo de flexión de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309, K310, K311, K313 y K314 (todo enfriado por aire desde la temperatura del tratamiento térmico en solución) en ángulos de 0°, 45°, y 90° a la dirección de laminación.

La Figura 13 es un gráfico que muestra la resistencia a la fluencia y el alargamiento total de las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309, K310, K311, K312, K313 y K314 (todo enfriado por aire desde la temperatura del tratamiento térmico en solución) en el templado T6. Las mediciones se obtuvieron en la dirección de prueba transversal.

La Figura 14 es un gráfico que muestra la resistencia a la fluencia para las aleaciones K303, K304, K305, K306, K307, K308, K309, K310, K311, K313 y K314 (todo enfriado por aire desde la temperatura de tratamiento térmico en solución) en el templado T6 obtenido bajo tres condiciones separadas. Las mediciones se obtuvieron en la dirección de prueba transversal. La barra izquierda del histograma en cada conjunto representa el templado T6 obtenido calentando a 95 °C y remojando durante ocho horas, seguido de calentamiento a 145 °C y remojando durante 6 horas. La barra de histograma del medio en cada conjunto representa el templado T6 obtenido al mantener las láminas tratadas térmicamente en solución durante 1 día a temperatura ambiente y a continuación calentar la lámina a 120 °C y remojar durante 24 horas. La barra derecha del histograma en cada conjunto representa el templado T6 obtenido al mantener las láminas tratadas térmicamente en solución durante 1 día a temperatura ambiente, calentando la lámina a 120 °C y remojando la lámina durante 1 hora, y calentando la lámina a 180 °C y remojando durante 30 minutos para representar la pintura al horno.

La Figura 15A es una micrografía de luz polarizada que muestra la microestructura recristalizada de una aleación de aluminio que comprende un primer contenido de zirconio (Zr).

La Figura 15B es una micrografía de luz polarizada que muestra la microestructura no recristalizada de una aleación de aluminio que comprende un segundo contenido de Zr.

La Figura 15C es una micrografía de luz polarizada que muestra la microestructura no recristalizada de una aleación de aluminio que comprende un tercer contenido de Zr.

La Figura 16A es una micrografía de luz polarizada que muestra la microestructura recristalizada de una aleación de aluminio después del procesamiento.

La Figura 16B es una micrografía de luz polarizada que muestra la microestructura no recristalizada de una aleación de aluminio después del procesamiento.

La Figura 17A es una imagen SEM de una aleación de aluminio que se recristalizó después del procesamiento y muestra los dispersoides de  $Al_3Zr$ .

La Figura 17B es una imagen SEM de una aleación de aluminio que no se recristalizó después del procesamiento que muestra los dispersoides de  $Al_3Zr$ .

La Figura 18A es un gráfico que muestra las curvas de tensión-deformación de la aleación comparativa AA7075.

La Figura 18B es un gráfico que muestra las curvas de tensión-deformación del ejemplo de la Aleación V6 probada a diferentes temperaturas.

### 30 Descripción detallada

En este documento se describen nuevas aleaciones de aluminio de la serie 7xxx. Las aleaciones exhiben alta resistencia a diversos templados, particularmente en el templado T6. Sorprendentemente, las aleaciones como se describen en este documento que tienen un bajo contenido de cobre (Cu) (por ejemplo, menos del 0,5 % en peso) dieron como resultado una alta resistencia a la fluencia y valores de resistencia máxima a la tracción, y fueron comparables o incluso superaron las resistencias de las aleaciones que contienen mayores cantidades de Cu. Esto contrasta con las aleaciones 7xxx de alta resistencia utilizadas en aplicaciones aeroespaciales, donde se lograron ganancias de resistencia adicionales mediante la inclusión de Cu. Además, las aleaciones descritas en algunos casos en este documento permiten el uso de metal reciclado, lo que da como resultado ventajas de ahorro de costos. Inesperadamente, algunas aleaciones descritas en este documento exhiben una estructura de grano no recristalizada a pesar de una reducción de calibre del 75 % por laminación en frío. La estructura de grano no recristalizado contribuye a la resistencia de las aleaciones.

#### Definiciones y descripciones:

Los términos "invención", "la invención", "esta invención" y "la presente invención" utilizados en el presente documento pretenden referirse en términos generales a todos los objetos de esta solicitud de patente y las reivindicaciones a continuación. Debe entenderse que las declaraciones que contienen estos términos no limitan el objeto descrito en este documento o limitan el significado o el alcance de las reivindicaciones de patente a continuación.

En esta descripción, se hace referencia a aleaciones identificadas por números AA y otras designaciones relacionadas, como "serie" o "7xxx". Para una comprensión del sistema de designación de números usado más habitualmente para nombrar e identificar el aluminio y sus aleaciones, consulte "International la Aleación Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum la Aleaciones" o "Registration Record of Aluminum Association la Aleación Designations and Chemical Compositions Limits for Aluminum la Aleaciones in the Form of Castings and Ingot," ambos publicados por The Aluminum Association.

Como se usa en este documento, el significado de "un", "una" y "el/la" incluye referencias en singular y plural, a menos que el contexto indique claramente lo contrario.

En los siguientes ejemplos, las aleaciones de aluminio se describen en términos de su composición elemental en porcentaje en peso (% en peso). En cada aleación, el resto es aluminio, con un % en peso máximo del 0,15 % para la suma de todas las impurezas.

A menos que se especifique lo contrario, la temperatura ambiente se refiere a una temperatura entre 20 °C y 25 °C, incluidos 20 °C, 21 °C, 22 °C, 23 °C, 24 °C o 25 °C.

*Composición de aleación*

5 Las aleaciones descritas en este documento son nuevas aleaciones de aluminio de la serie 7xxx. La aleación de aluminio comprende el 8,9-9,2 % en peso de Zn, 0,2-2,1 % en peso de Cu, 2,2-2,4 % en peso de Mg, 0,18-0,23 % en peso de Fe, 0,09-0,12 % en peso de Si, 0,05-0,15 % en peso de Zr, 0,04-0,09 % en peso de Mn, 0,03-0,09 % en peso de Cr, 0,01-0,02 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al, en el que la  
 10 aleación de aluminio comprende además hasta el 0,20 % de uno o más de Mo, Nb, Be, B, Co, Sn, Sr, V, In, Hf, Ag, Sc y Ni o comprende además hasta el 0,10 % de un elemento de las tierras raras seleccionado del grupo que consiste en Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu. Las aleaciones exhiben valores de resistencia inesperadamente altos en calibres delgados (por ejemplo, 10 mm o menos), independientemente de si  
 15 los calibres tienen una estructura normal recristalizada o no recristalizada. Las propiedades de las aleaciones se logran debido a las composiciones y métodos de fabricación de las aleaciones. Una aleación puede tener la siguiente composición elemental como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1\*

Elemento	Porcentaje de peso (% en peso)
Zn	4,0-15
Cu	0,1-3,5
Mg	1,0-4,0
Fe	0,05-0,5
Si	0,05-0,30
Zr	0,05-0,25
Mn	0-0,25
Cr	0-0,20
Ti	0-0,15
Otros	0-0,05 (cada uno)
	0-0,15 (total)
Al	Resto

\* No según la invención.

20 Además, una aleación puede tener la siguiente composición elemental como se indica en la Tabla 2.

Tabla 2\*

Elemento	Porcentaje de peso (% en peso)
Zn	5,6-9,3
Cu	0,2-2,6
Mg	1,4-2,8
Fe	0,1-0,35
Si	0,05-0,2
Zr	0,05-0,15
Mn	0,01-0,05
Cr	0,01-0,05
Ti	0,001-0,05
Otros	0-0,05 (cada uno)
	0-0,15 (total)
Al	Resto

\* No según la invención.

25 Una aleación puede tener la siguiente composición elemental como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3\*

Elemento	Porcentaje de peso (% en peso)
Zn	5,8-9,2
Cu	0,3-2,5
Mg	1,6-2,6
Fe	0,1-0,25
Si	0,07-0,15
Zr	0,09-0,15
Mn	0,02-0,05
Cr	0,03-0,05
Ti	0,003-0,035

## ES 2 719 555 T3

Elemento	Porcentaje de peso (% en peso)
Otros	0-0,05 (cada uno)
	0-0,15 (total)
Al	Resto

\* No según la invención.

Las aleaciones descritas en este documento incluyen zinc (Zn) en una cantidad del 8,9 % al 9,2 % basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 8,9 %, 9,0 %, 9,1 % o 9,2 % de Zn. Todos se expresan en % en peso.

5

Las aleaciones descritas incluyen cobre (Cu) en una cantidad del 0,2 % al 2,1 % (por ejemplo, del 0,3 % al 2,1 %, o del 0,2 % al 0,6 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,2 %, 0,21 %, 0,22 %, 0,23 %, 0,24 %, 0,25 %, 0,26 %, 0,27 %, 0,28 %, 0,29 %, 0,3 %, 0,35 %, 0,4 %, 0,45 %, 0,5 %, 0,55 %, 0,6 %, 0,65 %, 0,7 %, 0,75 %, 0,8 %, 0,85 %, 0,9 %, 0,95 %, 1,0 %, 1,1 %, 1,2 %, 1,3 %, 1,4 %, 1,5 %, 1,6 %, 1,7 %, 1,8 %, 1,9 %, 2,0 % o 2,1 % de Cu. Todos se expresan en % en peso.

10

Las aleaciones descritas en este documento incluyen magnesio (Mg) en una cantidad del 2,2 % al 2,4 %. En algunos casos, la aleación puede incluir el 2,2 %, 2,3 % o 2,4 % de Mg. Todos se expresan en % en peso.

15

Opcionalmente, el contenido combinado de Zn, Cu y Mg puede variar desde un 13,5 % (por ejemplo, hasta un 13 %, hasta un 12,5 % o hasta un 12 %). Por ejemplo, el contenido combinado de Zn, Cu y Mg puede ser del 11,5 %, 12 %, 12,5 %, 13 % o 13,5 %. Todos se expresan en % en peso.

Las aleaciones descritas en este documento también incluyen hierro (Fe) en una cantidad del 0,18 % al 0,23 % basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,18 %, 0,19 %, 0,20 %, 0,21 %, 0,22 % o 0,23 % de Fe. Todos se expresan en % en peso.

20

Las aleaciones descritas en este documento incluyen silicio (Si) en una cantidad del 0,09 % al 0,12 % basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,09 %, 0,10 %, 0,11 % o 0,12 % de Si. Todos se expresan en % en peso.

25

Las aleaciones descritas en este documento incluyen circonio (Zr) en una cantidad del 0,05 % al 0,15 % (por ejemplo, de 0,09 % al 0,15 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,05 %, 0,06 %, 0,07 %, 0,08 %, 0,09 %, 0,10 %, 0,11 %, 0,12 %, 0,13 %, 0,14 % o 0,15 % de Zr. Todos se expresan en % en peso.

30

Las aleaciones descritas en el presente documento incluyen manganeso (Mn) en una cantidad del 0,04 % al 0,09 % en base al peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,04 %, 0,05 %, 0,06 %, 0,07 %, 0,08 % o 0,09 % de Mn. Todos se expresan en % en peso.

35

Las aleaciones descritas en este documento incluyen cromo (Cr) en una cantidad del 0,03 % al 0,09 % (por ejemplo, de 0,03 % al 0,05 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,03 %, 0,04 %, 0,05 %, 0,06 %, 0,07 %, 0,08 % o 0,09 % de Cr. Todos se expresan en % en peso.

40

Las aleaciones descritas en este documento incluyen titanio (Ti) en una cantidad del 0,01 % al 0,02 % basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,010 %, 0,011 %, 0,012 %, 0,013 %, 0,014 %, 0,015 %, 0,016 %, 0,017 %, 0,018 %, 0,019 %, 0,020 % de Ti. Todos se expresan en % en peso.

En algunos ejemplos, las aleaciones descritas en este documento pueden incluir uno o más elementos de las tierras raras (es decir, uno o más de Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er), Tm, Yb y Lu) en una cantidad del hasta el 0,10 % (por ejemplo, del 0,01 % al 0,10 %, del 0,01 % al 0,05 %, o del 0,03 % al 0,05 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 0,05 %, 0,06 %, 0,07 %, 0,08 %, 0,09 % o 0,10 % de los elementos de las tierras raras. Todos se expresan en % en peso.

45

En algunos ejemplos, las aleaciones descritas en este documento pueden incluir uno o más de Mo, Nb, Be, B, Co, Sn, Sr, V, In, Hf, Ag y Ni en una cantidad del hasta el 0,20 % (por ejemplo, del 0,01 % al 0,20 % o del 0,05 % al 0,15 %, basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir el 0,05 %, 0,06 %, 0,07 %, 0,08 %, 0,09 %, 0,10 %, 0,11 %, 0,12 %, 0,13 %, 0,14 %, 0,15 %, 0,16 %, 0,17 %, 0,18 %, 0,19 %, o 0,20 % de uno o más de Mo, Nb, Be, B, Co, Sn, Sr, V, In, Hf, Ag y Ni. Todos se expresan en % en peso.

50

Opcionalmente, las composiciones de aleación descritas en el presente documento pueden incluir además otros elementos menores, a veces denominados impurezas, en cantidades del 0,05 % o menos, del 0,04 % o menos, del 0,03 % o menos, del 0,02 % o menos, o del 0,01 % o menos. Estas impurezas pueden incluir, entre otras, Ga, Ca, Bi, Na, Pb o combinaciones de las mismas. Por consiguiente, el Ga, Ca, Bi, Na o Pb pueden estar presentes en aleaciones en cantidades del 0,05 % o menos, 0,04 % o menos, 0,03 % o menos, 0,02 % o menos, o 0,01 % o menos. La suma de todas las impurezas no supera el 0,15 % (por ejemplo, el 0,10 %). Todo expresado en % en

60

peso. El porcentaje restante de la aleación es aluminio.

*Métodos de fabricación*

- 5 Las aleaciones descritas en el presente documento se pueden moldear utilizando cualquier proceso de fundición realizado de acuerdo con los estándares habitualmente utilizados en la industria del aluminio como es conocido por un experto en la materia. Por ejemplo, las aleaciones se pueden moldear utilizando un proceso de fundición continua (CC) que puede incluir, entre otros, el uso de moldeadores de doble cinta, moldeadores de doble rodillo o moldeadores de bloque. En algunos ejemplos, el proceso de fundición se realiza mediante un proceso de CC para formar una palanquilla, losa, lámina-placa, tira o similar. En algunos ejemplos, el proceso de fundición se realiza mediante un proceso de fundición de enfriamiento directo (DC) para formar un lingote de fundición. En algunos ejemplos, la aleación fundida puede tratarse antes de la fundición. El tratamiento puede incluir desgasificación, flujo en línea y filtrado.
- 10
- 15 El lingote, la palanquilla, la losa o la tira de fundición se someten a etapas de procesamiento adicionales. Opcionalmente, las etapas de procesamiento se pueden utilizar para preparar láminas. Dichas etapas de procesamiento incluyen, entre otras, una etapa de homogeneización, una etapa de laminación en caliente, una etapa de laminación en frío, una etapa de tratamiento térmico en solución y, opcionalmente, una etapa de envejecimiento artificial. Las etapas de procesamiento se describen a continuación en relación con un lingote fundido. Sin embargo, las etapas de procesamiento también se pueden usar para una palanquilla, placa o tira, utilizando las modificaciones que conocen los expertos en la materia.
- 20

En la etapa de homogeneización, un lingote preparado a partir de una composición de aleación como se describe en este documento se calienta para alcanzar una temperatura máxima del metal de al menos 450 °C (por ejemplo, al menos 455 °C, al menos 460 °C, o al menos 465 °C). En algunos casos, el lingote se calienta a una temperatura que varía de 450 °C a 480 °C. La velocidad de calentamiento hasta la temperatura máxima del metal puede ser de 70 °C/hora o menos, de 60 °C/hora o menos, o de 50 °C/hora o menos. El lingote se deja remojar (es decir, se mantiene a la temperatura indicada) durante un período de tiempo. En algunos casos, se permite que el lingote se remoje durante hasta 15 horas (por ejemplo, de 30 minutos a 15 horas, inclusive). Por ejemplo, el lingote puede remojarse a la temperatura de al menos 450 °C durante 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, 6 horas, 7 horas, 8 horas, 9 horas, 10 horas., 11 horas, 12 horas, 13 horas, 14 horas, o 15 horas.

25

30

Opcionalmente, la etapa de homogeneización descrita en este documento puede ser un proceso de homogeneización en dos etapas. En estos casos, el proceso de homogeneización puede incluir las etapas de calentamiento y remojo descritos anteriormente, que pueden denominarse primera etapa, y puede incluir además una segunda etapa. En la segunda etapa del proceso de homogeneización, la temperatura del lingote aumenta a una temperatura más alta que la temperatura utilizada para la primera etapa del proceso de homogeneización. La temperatura del lingote se puede aumentar, por ejemplo, a una temperatura al menos cinco grados centígrados superior a la temperatura del lingote durante la primera etapa del proceso de homogeneización. Por ejemplo, la temperatura del lingote se puede aumentar a una temperatura de al menos 455 °C (por ejemplo, al menos 460 °C, al menos 465 °C, o al menos 470 °C). La velocidad de calentamiento para la temperatura de homogeneización de la segunda etapa puede ser de 5 °C/hora o menos, 3 °C/hora o menos, o 2,5 °C/hora o menos. El lingote se deja remojar durante un período de tiempo durante la segunda etapa. En algunos casos, el lingote se deja remojar durante hasta 10 horas (por ejemplo, de 30 minutos a 10 horas, inclusive). Por ejemplo, el lingote puede remojarse a la temperatura de al menos 455 °C durante 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, 6 horas, 7 horas, 8 horas, 9 horas o 10 horas. Después de la homogeneización, el lingote puede dejarse enfriar a temperatura ambiente en el aire.

35

40

45

Al final de la etapa de homogeneización, se realiza una etapa de laminación en caliente. La etapa de laminación en caliente puede incluir una operación de molino de inversión en caliente y/o una operación de molino en tándem en caliente. La etapa de laminación en caliente se puede realizar a una temperatura que varía de 250 °C a 550 °C (por ejemplo, de 300 °C a 500 °C o de 350 °C a 450 °C). En la etapa de laminación en caliente, el lingote se puede laminar en caliente a un calibre de 12 mm de espesor o menos (por ejemplo, calibre de 3 mm a 8 mm de espesor). Por ejemplo, el lingote se puede laminar en caliente en un calibre de 11 mm de espesor o menos, de 10 mm de espesor o menos, de 9 mm de espesor o menos, de 8 mm de espesor o menos, de 7 mm de espesor o menos, de 6 mm o menos, calibre de 5 mm de espesor o menos, calibre de 4 mm de espesor o menos, o un calibre de 3 mm de espesor o menos.

50

55

Después de la etapa de laminación en caliente, las bandas laminadas en caliente se laminan en frío hasta obtener una lámina que tiene un espesor de calibre final de 0,2 mm a 10 mm (por ejemplo, 2 mm). Por ejemplo, las bandas laminadas en caliente se pueden laminar en frío hasta alcanzar un espesor final de 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 0,6 mm, 0,7 mm, 0,8 mm, 0,9 mm, 1 mm, 1,1 mm, 1,2 mm, 1,3 mm, 1,4 mm, 1,5 mm, 1,6 mm, 1,7 mm, 1,8 mm, 1,9 mm, 2 mm, 2,1 mm, 2,2 mm, 2,3 mm, 2,4 mm, 2,5 mm, 2,6 mm, 2,7 mm, 2,8 mm, 2,9 mm, 3 mm, 3,1 mm, 3,2 mm, 3,3 mm, 3,4 mm, 3,5 mm, 3,6 mm, 3,7 mm, 3,8 mm, 3,9 mm, 4 mm, 4,1 mm, 4,2 mm, 4,3 mm, 4,4 mm, 4,5 mm, 4,6 mm, 4,7 mm, 4,8 mm, 4,9 mm, 5 mm, 5,1 mm, 5,2 mm, 5,3 mm, 5,4 mm, 5,5 mm, 5,6 mm, 5,7 mm, 5,8 mm, 5,9 mm, 6 mm, 6,1 mm, 6,2 mm, 6,3 mm, 6,4 mm, 6,5 mm, 6,6 mm, 6,7 mm, 6,8 mm, 6,9 mm, 7 mm, 7,1 mm, 7,2 mm,

60

65

7,3 mm, 7,4 mm, 7,5 mm, 7,6 mm, 7,7 mm, 7,8 mm, 7,9 mm, 8 mm, 8,1 mm, 8,2 mm, 8,3 mm, 8,4 mm, 8,5 mm, 8,6 mm, 8,7 mm, 8,8 mm, 8,9 mm, 9 mm, 9,1 mm, 9,2 mm, 9,3 mm, 9,4 mm, 9,5 mm, 9,6 mm, 9,7 mm, 9,8 mm, 9,9 mm, o 10 mm. La laminación en frío se puede realizar para obtener una lámina con un espesor de calibre final que representa una reducción general del calibre de un 20 %, 50 %, 75 % o 85 %.

5 La lámina laminada en frío puede someterse entonces a un tratamiento térmico en solución. La etapa de tratamiento térmico en solución puede incluir calentar la lámina de temperatura ambiente a una temperatura de 430 °C a 500 °C. Por ejemplo, la etapa de tratamiento térmico en solución puede incluir calentar la lámina de temperatura ambiente a una temperatura de 440 °C a 490 °C, de 450 °C a 480 °C, o de 460 °C a 475 °C.

10 En algunos ejemplos, la velocidad de calentamiento para la etapa de tratamiento térmico en solución puede ser de 250 °C/hora a 350 °C/hora (por ejemplo, 250 °C/hora, 255 °C/hora, 260 °C/hora, 265 °C/hora, 270 °C/hora, 275 °C/hora, 280 °C/hora, 285 °C/hora, 290 °C/hora, 295 °C/hora, 300 °C/hora, 305 °C/hora, 310 °C/hora, 315 °C/hora, 320 °C/hora, 325 °C/hora, 330 °C/hora, 335 °C/hora, 340 °C/hora, 345 °C/hora, o 350 °C/hora).

15 Las velocidades de calentamiento pueden ser significativamente más altas, especialmente para las láminas procesadas a través de una línea de tratamiento térmico continuo en solución. Las velocidades de calentamiento en las líneas de tratamiento térmico continuo pueden variar de 5 °C/segundo a 20 °C/segundo (por ejemplo, 5 °C/segundo, 6 °C/segundo, 7 °C/segundo, 8 °C/segundo, 9 °C/segundo, 10 °C/segundo, 11 °C/segundo, 12 °C/segundo, 13 °C/segundo, 14 °C/segundo, 15 °C/segundo, 16 °C/segundo, 17 °C/segundo, 18 °C/segundo, 19 °C/segundo o 20 °C/segundo).

20 La lámina se puede remojar a la temperatura durante un período de tiempo. En algunos ejemplos, la lámina se deja remojar durante hasta 6 horas (por ejemplo, de 10 minutos a 6 horas, inclusive). Por ejemplo, la lámina se puede remojar a una temperatura de 430 °C a 600 °C durante 10 minutos, 20 minutos, 30 minutos, 40 minutos, 50 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, o 6 horas. Por ejemplo, la lámina se puede remojar a una temperatura de 430 °C a 500 °C durante 10 minutos, 20 minutos, 30 minutos, 40 minutos, 50 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, o 6 horas.

30 En otros ejemplos, la velocidad de calentamiento para la etapa de tratamiento térmico en solución puede ser de 300 °C/min a 500 °C/min (por ejemplo, 300 °C/min, 325 °C/min, 350 °C/min, 375 °C/min, 400 °C/min, 425 °C/min, 450 °C/min, 475 °C/min, o 500 °C/min). En estos casos, la lámina se puede remojar a la temperatura durante un período de 5 segundos a 5 minutos, inclusive. Por ejemplo, la lámina se puede remojar a una temperatura de 430 °C a 500 °C durante 10 segundos, 20 segundos, 30 segundos, 40 segundos, 50 segundos, 1 minuto, 2 minutos, 3 minutos, 4 minutos o 5 minutos.

40 La lámina se puede enfriar a una temperatura de 25 °C a 120 °C en una etapa de enfriamiento o refrigeración. La etapa de enfriamiento se puede realizar usando una práctica de enfriamiento rápido o una práctica de enfriamiento lento. La velocidad de enfriamiento en la práctica de enfriamiento rápido puede variar de 2000 °C por segundo a 3000 °C por segundo (por ejemplo, 2500 °C por segundo). La velocidad de enfriamiento en la práctica de enfriamiento lento puede variar de 200 °C por segundo a 600 °C por segundo (por ejemplo, de 300 °C por segundo a 500 °C por segundo o de 350 °C por segundo a 450 °C por segundo). El enfriamiento se puede realizar utilizando un enfriamiento con líquido, un enfriamiento con gas o una combinación de estos. En algunos casos, la etapa de enfriamiento se realiza con agua. En algunos casos, la etapa de enfriamiento se realiza utilizando aire forzado.

45 Opcionalmente, las láminas se pueden enfriar a temperatura ambiente. Las láminas obtenidas después del enfriamiento se encuentran en el templado W. Dichas láminas de templado W pueden tener suficiente ductilidad a temperatura ambiente adecuada para formar piezas. Por lo tanto, las láminas enfriadas a temperatura ambiente pueden usarse para formar partes.

50 El tratamiento térmico en solución y las etapas de enfriamiento/refrigeración se realizan de tal manera que las fases eutécticas solubles, como la fase S ( $Al_2CuMg$ ) y la fase M [ $Mg(Zn, Al, Cu)_2$  o  $MgZn_2$ ], en las aleaciones se disuelvan, lo que maximiza los efectos de fortalecimiento de los solutos añadidos a las aleaciones. En estos casos, no se observan fases de  $MgZn_2$ ,  $Mg(Zn, Al, Cu)_2$  o  $Al_2CuMg$  sin disolver en las láminas tratadas térmicamente en solución.

55 Las fases presentes en las láminas tratadas térmicamente en solución incluyen las partículas constituyentes insolubles inevitables de las fases portadoras de Fe (por ejemplo,  $Al_7Cu_2Fe$ ) y las fases portadoras de Si (por ejemplo,  $Mg_2Si$ ).

60 Opcionalmente, las láminas tratadas térmicamente pueden envejecerse. El proceso de envejecimiento artificial desarrolla la alta resistencia y optimiza otras propiedades deseables en las aleaciones. Las propiedades mecánicas del producto final están controladas por diversas condiciones de envejecimiento dependiendo del uso deseado. En algunos casos, las láminas descritas en este documento se pueden entregar a los clientes con un templado T4, un templado T6, un templado T7 o un templado T8, por ejemplo.

65 En algunos ejemplos, el templado T6 se logra utilizando el siguiente proceso de envejecimiento. La lámina se puede calentar a una temperatura de 100 °C a 140 °C (por ejemplo, de 105 °C a 135 °C o de 110 °C a 130 °C). El proceso

de envejecimiento también puede incluir mantener la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C (por ejemplo, de 105 °C a 135 °C o de 110 °C a 130 °C) durante un período de tiempo. La etapa de mantener la lámina en el proceso de envejecimiento puede realizarse durante un período de 5 minutos a 72 horas (por ejemplo, de 30 minutos a 24 horas o de 1 hora a 10 horas). Opcionalmente, el proceso de envejecimiento puede incluir adicionalmente una etapa de calentamiento adicional de la lámina a una temperatura superior a 140 °C (por ejemplo, 145 °C, 150 °C o 155 °C). La lámina se puede mantener a una temperatura superior a 140 °C (por ejemplo, entre 140 °C y 180 °C) durante un período de 5 minutos a 72 horas (por ejemplo, de 30 minutos a 24 horas o de 1 hora a 10 horas). El proceso de envejecimiento además puede incluir enfriar la lámina a temperatura ambiente durante un período de 30 minutos a 48 horas.

Alternativamente, los blancos de la lámina de templado F laminados en frío se pueden calentar a una temperatura de tratamiento térmico en solución, seguido de la conformación en caliente en piezas utilizando matrices frías. Las matrices frías pueden proporcionar velocidades de enfriamiento rápidas necesarias para mantener los elementos de aleación en la solución para la respuesta de envejecimiento artificial posterior. Después del estampado en caliente y el enfriamiento de la matriz, las partes formadas pueden envejecerse artificialmente como se describe anteriormente.

Las láminas preparadas a partir de las aleaciones descritas en este documento muestran una resistencia excepcional. En algunos ejemplos, las láminas tienen una resistencia a la fluencia superior a 500 MPa cuando la lámina se encuentra en el templado T6. Por ejemplo, la lámina puede tener una resistencia a la fluencia de 510 MPa o más, 515 MPa o más, 520 MPa o más, 525 MPa o más, 530 MPa o más, o 535 MPa o más cuando se encuentra en el templado T6.

Las láminas preparadas a partir de las aleaciones descritas en este documento muestran altas relaciones de deformación plástica (denominadas valor r o valor de Lankford). En algunos ejemplos, las láminas descritas en este documento muestran valores r altos en un ángulo de 45° con respecto a la dirección de laminación. Por ejemplo, el valor r en un ángulo de 45° con respecto a la dirección de laminación puede ser al menos 0,75, al menos 1,0, al menos 1,25, al menos 1,5, al menos 1,75, al menos 2,0 o al menos 2,25. Los valores r altos demuestran el comportamiento anisotrópico de las láminas.

Las aleaciones descritas en el presente documento se pueden usar para fabricar productos en forma de placas, extrusiones, fundiciones y piezas forjadas u otros productos adecuados. Los productos pueden fabricarse utilizando técnicas conocidas por los expertos en la materia. Por ejemplo, las placas que incluyen las aleaciones como se describen en el presente documento pueden prepararse procesando un lingote fundido en una etapa de homogeneización seguida de una etapa de laminación en caliente. En la etapa de laminación en caliente, el lingote se puede laminar en caliente en un calibre de 200 mm de espesor o menos (por ejemplo, de 10 mm a 200 mm). Por ejemplo, el lingote se puede laminar en caliente en una placa con un espesor de calibre final de 10 mm a 175 mm, 15 mm a 150 mm, 20 mm a 125 mm, 25 mm a 100 mm, 30 mm a 75 mm o 35 mm a 50 mm.

Las aleaciones y los métodos descritos en el presente documento se pueden usar en aplicaciones automotrices y/o de transporte, incluidas las aplicaciones de vehículos motorizados, aeronaves y ferrocarriles, o cualquier otra aplicación deseada. En algunos ejemplos, las aleaciones y los métodos se pueden usar para preparar productos de partes de carrocería de vehículos motorizados, como parachoques, vigas laterales, vigas de techo, vigas transversales, refuerzos de columnas (por ejemplo, pilares A, columnas B y pilares C), paneles interiores, paneles exteriores, paneles laterales, cubiertas interiores, cubiertas exteriores, o paneles de la tapa del maletero. Las aleaciones de aluminio y los métodos descritos en este documento también se pueden usar en aplicaciones de aviones o vehículos ferroviarios, para preparar, por ejemplo, paneles externos e internos.

Las aleaciones y los métodos descritos en el presente documento también se pueden utilizar en aplicaciones electrónicas. Por ejemplo, las aleaciones y los métodos descritos en este documento también se pueden usar para preparar carcasas para dispositivos electrónicos, incluidos teléfonos móviles y tabletas. En algunos ejemplos, las aleaciones se pueden usar para preparar carcasas para la carcasa exterior de los teléfonos móviles (por ejemplo, teléfonos inteligentes) y el chasis inferior de la tableta.

En algunos casos, las aleaciones y los métodos descritos en este documento se pueden usar en aplicaciones industriales. Por ejemplo, las aleaciones y los métodos descritos en este documento se pueden usar para preparar productos para el mercado de distribución general.

Los siguientes ejemplos servirán para ilustrar adicionalmente la presente invención sin que, al mismo tiempo, constituyan alguna limitación de la misma.

#### **Ejemplo 1**

Se prepararon doce aleaciones para pruebas de resistencia y alargamiento (ver Tabla 4). Las aleaciones V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11 y V12 se prepararon de acuerdo con los métodos descritos en este documento. Las composiciones elementales de las aleaciones probadas se muestran en la Tabla 4, con el resto que es aluminio. Las composiciones elementales se proporcionan en porcentajes en peso. Las aleaciones V1, V2, V3, V4, V5, V7,

## ES 2 719 555 T3

V8, V9, V10, V11 y V12 no son según la invención. La aleación V3 es una aleación existente AA7075 y se utiliza con fines comparativos.

5 Las aleaciones V1, V2, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11 y V12 son aleaciones prototipo preparadas de acuerdo con los métodos descritos en este documento.

Tabla 4

Aleación	Zn	Cu	Mg	Fe	Si	Zr	Mn	Cr	Ti
V1 *	8,03	2,07	1,68	0,13	0,07	0,10	0,04	0,03	0,003
V2 *	8,20	2,31	1,79	0,30	0,20	0,12	0,03	0,03	0,028
V3 *	5,43	1,47	2,48	0,19	0,09	0,003	0,02	0,17	0,005
V4 *	5,94	1,68	2,57	0,19	0,09	0,12	0,03	0,04	0,02
V5 *	6,77	2,18	2,45	0,10	0,09	0,12	0,03	0,04	0,004
V6	8,98	0,30	2,31	0,20	0,10	0,10	0,05	0,04	0,02
V7 *	5,74	0,31	1,49	0,20	0,11	0,10	0,03	0,03	0,01
V8 *	8,05	1,85	1,80	0,19	0,11	0,10	0,04	0,04	0,01
V9 *	8,20	1,81	2,16	0,20	0,11	0,11	0,04	0,04	0,01
V10 *	8,29	2,16	1,77	0,18	0,10	0,11	0,04	0,05	0,01
V11 *	8,07	2,34	1,96	0,19	0,07	0,10	0,04	0,03	0,014
V12 *	9,18	2,42	1,93	0,19	0,08	0,13	0,02	0,03	0,031

Todo expresado en % en peso; \* No según la invención.

10 Los lingotes que tienen la composición de aleación mostrada anteriormente en la Tabla 4 se homogeneizaron de acuerdo con los procedimientos descritos en el presente documento utilizando las condiciones enumeradas en la Tabla 5. Específicamente, los lingotes se calentaron a 460 °C o 465 °C durante 8 horas y a continuación se remojaron durante un período de tiempo, como se indica en la Tabla 5. El primer calentamiento y remojo se denominan "Etapa 1" en la Tabla 5. Opcionalmente, los lingotes se calentaron y remojaron adicionalmente durante un período de tiempo en una segunda etapa de homogeneización, a la que se hace referencia como "Etapa 2" en la Tabla 5.

Tabla 5

Aleación	Condiciones de homogeneización				
	Temperatura de homogeneización de la etapa 1 (°C)	Tiempo de remojo de la etapa 1 (horas)	Temperatura de homogeneización de la etapa 2 (°C)	Velocidad de calentamiento de la etapa 2 (°C/hora)	Tiempo de remojo de la etapa 2 (horas)
V1 *	462	12	N/D	N/D	N/D
V2 *	462	12	N/D	N/D	N/D
V3 *	465	4	477	3	2
V4 *	465	4	477	3	2
V5 *	465	4	477	3	4
V6	465	6	N/D	N/D	N/D
V7 *	460	6	N/D	N/D	N/D
V8 *	460	6	N/D	N/D	N/D
V9 *	460	6	N/D	N/D	N/D
V10 *	460	6	N/D	N/D	N/D
V11 *	462	12	467	2,5	4
V12 *	462	12	N/D	N/D	N/D

\* No según la invención.

20 Los lingotes se laminaron en caliente desde un espesor inicial de 65 mm hasta un espesor final de 8 mm, utilizando 14 pases de laminación en caliente. Las temperaturas de reposo para la etapa de laminación en caliente oscilaron de 400 °C a 425 °C y las temperaturas de salida oscilaron de 315 °C a 370 °C. Las bandas calientes se colocaron inmediatamente en un horno para simular el enfriamiento de la bobina. Las bandas calientes se laminaron en frío hasta un espesor final de 2 mm (reducción general del calibre en un 75 %). Las láminas laminadas en frío se calentaron entonces a 465 °C a una velocidad de 283 °C por hora y se dejaron remojar durante 1 hora. Las láminas se enfriaron entonces a temperatura ambiente (25 °C) en una etapa de enfriamiento con agua fría o agua caliente y a continuación se envejecieron.

30 Específicamente, las aleaciones V4, V6, V7, V8, V9 y V10 se enfriaron con agua a 20 °C (referido en este ejemplo como "enfriar con agua fría" o "enfriamiento con agua fría"). Para el enfriamiento con agua fría, la lámina se enfrió a una velocidad de 2000 °C por segundo a 3000 °C por segundo. Las aleaciones se envejecieron entonces según una de las condiciones A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A11, A12, A13 o A14 que se describen a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6

Práctica del envejecimiento	Condiciones de envejecimiento					
	Primera temperatura de calentamiento (°C)	Primer tiempo de remojo (horas)	Segunda temperatura de calentamiento (°C)	Velocidad de calentamiento (°C/hora)	Segundo tiempo de remojo (horas)	Tiempo total de envejecimiento (horas)
A1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0
A2	120	0	N/D	N/D	N/D	5
A3	120	6	N/D	N/D	N/D	11
A4	120	6	155	11,7	0	14
A5	120	6	155	11,7	10	24
A6	120	6	155	11,7	18	32
A7	120	6	155	11,7	26	40
A11	120	6	166	15,4	0	14
A12	120	6	166	15,4	10	24
A13	120	6	166	15,4	18	32
A14	120	6	166	15,4	26	40

5 Los valores de dureza de las láminas preparadas a partir de las aleaciones V4, V6, V7, V8, V9 y V10 después del enfriamiento con agua fría y el envejecimiento según una condición descrita en la Tabla 6 se midieron utilizando el ensayo de dureza de Rockwell. Los datos se proporcionan a continuación en la Tabla 7.

Tabla 7

Aleación	Dureza (Rockwell B)										
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A11	A12	A13	A14
V4 *	71	79	87	88	89	89	88	88	88	88	88
V6	78	85	86	91	87	84	82	89	81	78	73
V7 *	48	58	71	75	76	73	70	75	70	65	61
V8 *	74	80	87	88	88	84	82	89	81	78	75
V9 *	74	83	89	89	91	88	85	91	85	82	80
V10 *	73	82	89	90	88	85	82	90	81	78	75

\* No según la invención.

10 Además, las aleaciones V4, V6, V7, V8, V9 y V10 se enfriaron con agua caliente. Para el enfriamiento con agua caliente, la lámina se enfrió a una velocidad de 350 °C por segundo usando agua a 95 °C. Las aleaciones se envejecieron después de acuerdo con una de las condiciones D1, D2, D3, D4, D5, D6 o D7 descritas a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8

Práctica del envejecimiento	Condiciones de envejecimiento					
	Primera temperatura de calentamiento (°C)	Primer tiempo de remojo (horas)	Segunda temperatura de calentamiento (°C)	Velocidad de calentamiento (°C/hora)	Segundo tiempo de remojo (horas)	Tiempo total de envejecimiento (horas)
D1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0
D2	120	0	N/D	N/D	N/D	5
D3	120	6	N/D	N/D	N/D	11
D4	120	6	155	11,7	0	14
D5	120	6	155	11,7	10	24
D6	120	6	155	11,7	18	32
D7	120	6	155	11,7	26	40

15 Los valores de dureza de las láminas preparadas a partir de las aleaciones V4, V6, V7, V8, V9 y V10 después del enfriamiento y el envejecimiento en agua caliente según una condición descrita en la Tabla 8 se midieron utilizando el ensayo de dureza de Rockwell. Los datos se proporcionan a continuación en la Tabla 9.

20

Tabla 9

Aleación	Dureza (Rockwell B)						
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
V4 *	72	80	87	88	89	89	88
V6	79	85	91	91	87	83	87
V7 *	49	53	71	75	76	73	71
V8 *	71	81	87	88	88	86	82
V9 *	75	80	89	87	90	89	88
V10 *	73	82	88	90	89	86	83

\* No según la invención.

Los efectos del enfriamiento con agua fría y el enfriamiento con agua caliente se compararon utilizando los datos de las Tablas 7 y 9 anteriores. Específicamente, se compararon las láminas preparadas a partir de la misma aleación y de acuerdo con las mismas condiciones de envejecimiento que oscilaron según la práctica de enfriamiento. La lámina preparada a partir de la aleación V6, enfriada con agua caliente y envejecida según la práctica D3 tenía un valor de dureza Rockwell B 5 puntos superior a la lámina correspondiente que se enfrío utilizando agua fría (es decir, la lámina preparada a partir de la aleación V6 y envejecida según la práctica A3). De manera similar, la lámina preparada a partir de la aleación V6, enfriada con agua caliente y envejecida según la práctica D7 tenía un valor de dureza Rockwell B 5,1 puntos superior a la lámina correspondiente que se enfrío con agua fría (es decir, la lámina preparada a partir de la aleación V6 y envejecida según la práctica A7). Además, la lámina preparada a partir de la aleación V7, enfriada con agua caliente y envejecida según la práctica D2 tenía un valor de dureza Rockwell B 5,5 puntos más bajo que la lámina correspondiente que se enfrío con agua fría (es decir, la lámina preparada a partir de la aleación V7 y envejecida según la práctica A2).

### Ejemplo 2

Las láminas preparadas utilizando el enfriamiento con agua caliente en el Ejemplo 1 se envejecieron según las condiciones descritas a continuación en la Tabla 10 (es decir, B1, B3, B4, B5, B6, B8, B10, B12, B14 y B16). Específicamente, las láminas preparadas a partir de las aleaciones V1, V2, V3, V5, V11 y V12 se envejecieron según cada una de las condiciones enumeradas para las prácticas de envejecimiento B1, B3, B4, B5 y B6. Las láminas preparadas a partir de las aleaciones V4, V6, V7, V8, V9 y V10 se envejecieron de acuerdo con cada una de las condiciones enumeradas para las prácticas de envejecimiento B8, B10, B12, B14 y B16. Como se describe en la Tabla 10, las láminas se calentaron desde temperatura ambiente (25 °C) hasta 120 °C a una velocidad de 16 °C/hora. Las láminas se mantuvieron entonces a 120 °C durante 6 horas. Las láminas envejecidas según las prácticas de envejecimiento B4, B5, B6, B12, B14 y B16 se calentaron adicionalmente de 120 °C a 155 °C a una velocidad de 11,7 °C/hora. Las láminas se mantuvieron a 155 °C durante el período de tiempo indicado como "Segundo tiempo de remojo" en la Tabla 10. Las láminas se enfriaron a temperatura ambiente (25 °C). El tiempo transcurrido desde el inicio de la práctica de envejecimiento hasta el final de la práctica de envejecimiento se indica en la Tabla 10 como tiempo total de envejecimiento.

Tabla 10

Práctica del envejecimiento	Condiciones de envejecimiento					
	Primera temperatura de calentamiento (°C)	Primer tiempo de remojo (horas)	Segunda temperatura de calentamiento (°C)	Velocidad de calentamiento (°C/hora)	Segundo tiempo de remojo (horas)	Tiempo total de envejecimiento (horas)
B1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0
B3	120	6	N/D	N/D	N/D	11
B4	120	6	155	11,7	0	14
B5	120	6	155	11,7	8	22
B6	120	6	155	11,7	12	26
B8	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0
B10	120	6	N/D	N/D	N/D	11
B12	120	6	155	11,7	0	14
B14	120	6	155	11,7	10	24
B16	120	6	155	11,7	14	28

Se obtuvieron los datos de la resistencia a la fluencia (YS), la resistencia máxima a la tracción (UTS), el porcentaje de alargamiento uniforme (UE), el porcentaje de alargamiento total (TE) y el porcentaje de deformación por fractura crítica (CFS) para las láminas preparadas a partir de las aleaciones V1, V2, V3, V5, V11 y V12 envejecidas de acuerdo con cada una de las prácticas de envejecimiento B1, B3, B4, B5 y B6, y para las láminas preparadas a partir de las aleaciones V4, V6, V7, V8, V9 y V10 envejecidas según cada una de las prácticas de envejecimiento B8, B10, B12, B14 y B16. La prueba de tracción se realizó a temperatura ambiente utilizando una máquina de prueba

ES 2 719 555 T3

INSTRON (Instron; Norwood, MA) de acuerdo con los métodos de prueba ASTM B557 y ASTM E8-11. También se obtuvieron los datos del exponente de endurecimiento por deformación (valor n) y el valor de Lankford (valor r). Las propiedades se midieron en la dirección longitudinal (L). Los datos se enumeran en la Tabla 11. Los datos de resistencia a la fluencia o y los datos de resistencia máxima a la tracción también se representan en la Figura 1 y la Figura 2, respectivamente.

5

Tabla 11

Aleación	Variante de envejecimiento	YS (MPa)	UTS (MPa)	UE (%)	TE (%)	CFS (%)	Valor n	Valor r
V1 *	B1	304,8	463,9	20,2	21,3	12,6	0,26	0,60
	B3	473,2	539,9	15,4	19,6	13,1	0,14	0,58
	B4	517,8	544,9	8,8	13,8	12,5	-	-
	B5	509,4	526,3	7,6	12,8	16,5	-	-
	B6	489,5	513,8	8,2	13,7	18,4	-	-
V2 *	B1	332,8	497,1	20,3	21,7	12,4	0,24	0,49
	B3	489,9	569,4	14,0	17,5	10,1	0,14	0,50
	B4	523,9	575,4	11,3	14,6	9,6	0,11	-
	B5	533,9	555,9	7,9	12,7	10,7	-	-
	B6	504,3	532,7	7,8	12,0	11,7	-	-
V3 *	B1	263,4	450,1	19,8	20,7	15,7	0,25	0,59
	B3	414,0	508,3	15,6	18,7	13,7	0,16	0,57
	B4	437,4	508,7	13,1	16,0	13,4	0,14	0,58
	B5	456,9	512,5	10,6	14,1	14,6	-	-
	B6	456,8	511,0	10,2	14,1	14,4	-	-
V4 *	B8	292,4	453,7	17,5	23,7	15,7	0,25	0,62
	B10	465,4	542,0	14,9	17,5	13,5	0,15	0,55
	B12	480,8	542,0	13,5	16,6	13,8	0,13	0,59
	B14	517,1	551,4	7,7	11,4	13,9	-	-
	B16	519,4	552,5	8,3	12,4	16,0	-	-
V5 *	B1	324,4	478,4	19,6	21,3	13,6	0,25	0,52
	B3	478,3	549,7	14,3	16,6	11,0	0,14	0,55
	B4	504,4	552,0	11,1	14,5	11,6	0,11	-
	B5	541,0	566,2	7,7	11,6	12,1	-	-
	B6	534,5	563,2	7,4	10,7	13,4	-	-
V6	B8	396,2	574,3	16,9	16,8	8,8	0,23	0,35
	B10	591,6	645,5	11,2	13,6	6,6	0,11	0,48
	B12	595,1	624,5	9,7	13,1	7,6	-	-
	B14	528,2	549,0	6,3	11,9	14,0	-	-
	B16	511,7	534,2	6,5	12,0	14,3	-	-
V7 *	B8	230,8	364,7	15,1	15,3	10,9	0,23	0,45
	B10	361,5	438,7	13,2	14,7	10,2	0,15	0,48
	B12	397,5	451,6	11,3	13,8	10,8	0,12	0,50
	B14	409,4	442,5	8,4	12,0	14,8	-	-
	B16	402,1	436,2	8,5	12,5	18,9	-	-
V8 *	B8	309,2	464,7	18,3	21,5	12,7	0,25	0,59
	B10	471,8	542,3	15,2	17,8	11,1	0,14	0,66
	B12	500,8	546,2	11,0	14,7	10,3	0,11	-
	B14	516,7	533,9	6,7	11,5	14,3	-	-
	B16	495,9	520,6	7,4	12,5	16,9	-	-
V9 *	B8	334,4	488,5	17,4	18,9	10,8	0,22	0,52
	B10	501,0	570,3	14,0	16,0	9,8	0,14	0,53
	B12	513,8	566,6	12,0	15,4	10,1	0,12	0,47
	B14	548,7	563,1	5,8	9,2	12,6	-	-
	B16	531,3	550,7	6,8	10,8	13,2	-	-
V10 *	B8	328,9	484,4	17,7	19,1	10,5	0,24	0,61
	B10	494,1	564,6	13,8	16,7	10,3	0,14	0,54
	B12	529,6	571,3	10,2	13,7	9,8	0,14	-
	B14	529,1	547,5	7,3	10,9	12,0	-	-
	B16	514,4	538,2	7,5	11,8	13,7	-	-
V11 *	B1	318,3	477,9	20,8	22,3	13,7	0,25	0,48
	B3	483,0	558,3	14,9	18,2	12,3	0,14	0,52
	B4	510,6	561,7	11,3	14,6	10,8	0,11	-
	B5	542,4	557,0	6,9	13,0	14,4	-	-

Aleación	Variante de envejecimiento	YS (MPa)	UTS (MPa)	UE (%)	TE (%)	CFS (%)	Valor n	Valor r
V12 *	B6	519,9	542,3	7,5	12,1	15,5	-	-
	B1	400,5	578,7	20,1	21,7	11,1	0,23	0,42
	B3	543,3	644,7	14,1	17,8	8,9	0,14	0,42
	B4	584,2	643,6	11,4	15,0	8,5	0,11	0,54
	B5	598,5	618,9	7,6	11,5	9,2	-	-
	B6	562,3	591,2	7,5	11,8	10,7	-	-

\* No según la invención.

Como se muestra en la Tabla 11, se obtuvieron aumentos significativos en la resistencia para las láminas preparadas a partir de las aleaciones V1, V2, V4, V5, V6, V7, V8, V9, V10, V11 y V12 en comparación con la lámina preparada a partir de la aleación V3 (es decir, la aleación AA7075 utilizada con fines comparativos).

5 Las resistencias a la fluencia más altas obtenidas para las láminas preparadas a partir de las aleaciones V1-V12 de acuerdo con una de las prácticas de envejecimiento descritas anteriormente (es decir, las resistencias a la fluencia máximas envejecidas) se enumeran en la Tabla 12 bajo el encabezado "Resistencia a la fluencia máxima envejecida". El cambio en la resistencia a la fluencia en comparación con la resistencia de la lámina preparada a partir de la aleación comparativa AA7075 (es decir, V3) también se muestra en la Tabla 12. El porcentaje correspondiente de alargamiento total (Alargamiento total), porcentaje de alargamiento uniforme (Alargamiento uniforme), y los valores porcentuales de la deformación por fractura crítica (CFS) se reproducen en la Tabla 12.

Tabla 12

	Resistencia a la fluencia máxima envejecida (MPa)	Cambio en la resistencia a la fluencia sobre la lámina comparativa (MPa)	Alargamiento total (%)	Alargamiento uniforme (%)	Tensión de fractura crítica (%)
V1 *	518	Incrementado en 61	13,8	8,8	12,5
V2 *	534	Incrementado en 77	12,7	7,9	10,7
V3 *	457	N/D	14,1	10,6	14,6
V4 *	517	Incrementado en 60	11,4	7,7	13,9
V5 *	541	Incrementado en 84	11,6	7,7	12,1
V6	592	Incrementado en 135	13,6	11,2	6,6
V7 *	409	Disminuido en 48	12,0	8,4	14,8
V8 *	517	Incrementado en 60	11,5	6,7	14,3
V9 *	549	Incrementado en 92	9,2	5,8	12,6
V10 *	530	Incrementado en 73	13,7	10,2	9,8
V11 *	542	Incrementado en 85	13,0	6,9	14,4
V12 *	599	Incrementado en 142	11,5	7,6	9,2

\* No según la invención.

### Ejemplo 3

15 Las láminas preparadas a partir de las aleaciones V1 a V12 se envejecieron calentando a una temperatura de 125 °C durante 24 horas. Las resistencias a la fluencia resultantes se midieron y los resultados se muestran en la Tabla 13 a continuación. Para fines comparativos, las resistencias a la fluencia máximas envejecidas también se enumeran en la Tabla 13.

Tabla 13

	Resistencia a la fluencia máxima envejecida (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa) después del envejecimiento durante 24 horas a 125 °C
V1 *	518	520
V2 *	534	537
V3 *	457	434
V4 *	517	503
V5 *	541	513
V6	592	624
V7 *	409	420
V8 *	517	523
V9 *	549	540
V10 *	530	541
V11 *	542	535
V12 *	599	579

\* No según la invención.

Los datos de resistencia obtenidos después del envejecimiento durante 24 horas a 125 °C ("los datos de 125 °C") muestran una variabilidad considerable en comparación con los datos de resistencia máxima envejecida. Por ejemplo, la muestra V6 mostró un aumento significativo en la resistencia a la fluencia para los datos de 125 °C en comparación con los datos de resistencia máxima envejecida. La muestra V5, sin embargo, mostró una disminución significativa en la resistencia a la fluencia para los datos de 125 °C en comparación con los datos de resistencia máxima envejecida. Otras muestras también oscilaron al producir resistencias más altas o más bajas para los datos de 125 °C en comparación con los datos de resistencia máxima envejecida. Estas variaciones surgen de las diferentes cinéticas de envejecimiento de las aleaciones individuales. Sin estar limitados por la teoría, los valores relativos más bajos obtenidos después del envejecimiento a 125 °C durante 24 horas pueden haber surgido de un efecto de infraenvejecimiento.

#### Ejemplo 4

Las propiedades de tracción de las aleaciones V6 y V12 también se midieron en la dirección transversal (T) de acuerdo con los métodos de prueba ASTM B557 y ASTM E8-11. La Tabla 14 a continuación muestra la resistencia a la fluencia, la resistencia máxima a la tracción, el porcentaje de alargamiento uniforme, el porcentaje de alargamiento por tracción y la deformación por fractura crítica para láminas preparadas a partir de las aleaciones V6 y V12 en la dirección T. Con fines comparativos, los valores de los datos de la Tabla 11 se reproducen para las láminas preparadas a partir de las aleaciones V6 y V12 en la dirección longitudinal (L).

Tabla 14

Aleación	Dirección	Variante de envejecimiento	YS (MPa)	UTS (MPa)	UE (%)	TE (%)	CFS	valor n	valor r
V6	T	B8	376,3	514,7	20,3	22,5	12,5	0,22	0,93
		B10	551,3	587,9	10,8	14,7	9,6	-	-
		B12	554,2	572,4	7,8	12,8	9,9	-	-
V12 *	T	B1	385,9	533,1	21,0	23,6	13,2	0,23	0,87
		B4	566,8	605,2	10,0	14,1	9,8	-	-
		B5	572,9	587,7	6,5	11,1	10,4	-	-
V6	L	B8	396,2	574,3	16,9	16,8	8,8	0,23	0,35
		B10	591,6	645,5	11,2	13,6	6,6	0,11	0,48
		B12	595,1	624,5	9,7	13,1	7,6	-	-
V12 *	L	B1	400,5	578,7	20,1	21,7	11,1	0,23	0,42
		B4	584,2	643,6	11,4	15,0	8,5	0,11	0,54
		B5	598,5	618,9	7,6	11,5	9,2	-	-

\* No según la invención.

#### Ejemplo 5

La soldadura por puntos de resistencia se realizó en láminas preparadas a partir de la aleación 7075, la aleación V6 y la aleación V12 utilizando los mismos parámetros. Véase Figura 3. Específicamente, un par de electrodos de soldadura opuestos se pusieron en contacto con lados opuestos de las capas de una lámina metálica en puntos diametralmente comunes. A continuación se envió una corriente eléctrica a través de las capas de una lámina metálica que dio lugar a la formación de un baño de soldadura fundida. El flujo de corriente se detuvo y el baño de soldadura fundida se solidificó en una pepita de soldadura. Las pepitas formadas a partir de la soldadura en cada una de las láminas tenían diámetros e indentaciones similares. Como se muestra en la Figura 3, las aleaciones V6 y V12 tenían una región de grano mucho menos columnar en la soldadura que la aleación 7075. Por lo tanto, las aleaciones V6 y V12 eran más resistentes a las grietas que la aleación 7075, porque la mayoría de las grietas se forman a lo largo de los límites de grano de la región de grano columnar.

#### Ejemplo 6

Se realizaron pruebas de corrosión para la aleación 7075 (dos muestras), la aleación V6 y la aleación V12. Las láminas se sumergieron en una solución que contiene 57 g/l de NaCl y 10 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> durante 24 horas. Como se muestra en la Figura 4, las aleaciones presentan diferentes tipos y grados de ataque de corrosión. Después del período de inmersión de 24 horas, la muestra V6 mostró la mayor resistencia a la corrosión intergranular (IGC). En lugar de IGC, se observó una morfología de picadura en la aleación V6. Véase Figura 4.

La muestra V12 mostró cierto grado de IGC, pero la gravedad fue mucho menor que en las muestras de aleación 7075. Véase Figura 4. En las muestras 7075, se observó un considerable ataque y penetración intergranular en el metal a granel, lo que demuestra que estas muestras proporcionan la menor cantidad de resistencia a IGC entre las muestras reivindicadas.

Las profundidades de las picaduras de las muestras se midieron utilizando un microscopio óptico. Las muestras V6 mostraron consistentemente la profundidad más baja de las picaduras promedio en todos los intervalos de inmersión

seleccionados, incluso a las 6 horas, 24 horas y 48 horas. La profundidad promedio de las picaduras fue inferior a 20 micrómetros y la profundidad máxima de las picaduras fue inferior a 40 micrómetros. Véase Figura 5.

5 En comparación con las muestras V6, las muestras V12 mostraron una ligera susceptibilidad a la IGC. Sin embargo, la gravedad fue mucho menor que en las aleaciones 7075, que mostraron valores promedio de profundidad de las picaduras superiores a 40 micrómetros y una profundidad máxima de las picaduras de 75 micrómetros a 135 micrómetros. Véase Figura 5.

10 Como se señaló anteriormente, V6 es una variante baja en cobre, mientras que V12 contiene una mayor cantidad de cobre. Sorprendentemente, tanto la variante baja en cobre como la variante más alta en cobre mostraron una profundidad de ataque de corrosión menor que la aleación basal 7075.

### Ejemplo 7

15 Se prepararon ocho aleaciones para pruebas de resistencia y alargamiento (ver Tabla 15). Las aleaciones K303 K304, K305, K306, K307, K308, K309 y K311 (no según la invención) se prepararon de acuerdo con los métodos descritos en el presente documento. Las composiciones elementales de las aleaciones probadas se muestran en la Tabla 15, con el resto que es aluminio. Las composiciones elementales se proporcionan en porcentajes en peso. Cada una de las aleaciones se preparó de acuerdo con los métodos descritos en el presente documento.

Tabla 15

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr
K303 *	0,10	0,14	0,14	0,01	1,56	0,00	5,45	0,02	0,16
K304 *	0,09	0,14	0,15	0,01	1,31	0,00	6,14	0,02	0,15
K305 *	0,08	0,16	0,14	0,01	1,13	0,00	6,74	0,02	0,13
K306 *	0,09	0,14	0,14	0,01	2,08	0,00	6,30	0,03	0,14
K307 *	0,09	0,16	0,13	0,02	1,69	0,01	6,44	0,03	0,12
K308 *	0,09	0,14	0,15	0,01	1,48	0,00	7,82	0,03	0,14
K309 *	0,08	0,15	0,14	0,01	1,43	0,00	8,54	0,02	0,14
K310 *	0,11	0,16	0,13	0,00	1,35	0,00	10,00	0,025	0,14
K311 *	0,08	0,14	1,73	0,00	2,42	0,00	5,72	0,02	0,08
K312 *	0,11	0,14	1,16	0,00	1,72	0,00	7,09	0,03	0,11
K313 *	0,08	0,12	1,75	0,01	1,77	0,00	6,87	0,03	0,10
K314 *	0,12	0,12	1,87	0,00	1,54	0,00	7,51	0,03	0,08

Todo expresado en % en peso, \* no según la invención

25 Los lingotes que tenían la composición de aleación mostrada anteriormente en la Tabla 15 se homogeneizaron calentando a 460 °C a una velocidad de calentamiento de 30 °C/hora. Los lingotes se dejaron remojar durante seis horas. A continuación, los lingotes se laminaron en caliente hasta un espesor final de 10 mm, utilizando 10-11 pasadas de laminación en caliente. Las temperaturas de salida para la etapa de laminación en caliente oscilaron entre 370 °C y 380 °C. Las bandas calientes se colocaron inmediatamente en un horno para simular el enfriamiento de la bobina. Las bandas calientes se laminaron en frío hasta un espesor final de 1,0 mm. Las láminas laminadas en frío se calentaron entonces a 460 °C y se dejaron remojar durante 60 segundos en un baño de sal. Las láminas se enfriaron con agua o aire forzado y a continuación se envejecieron en las condiciones que se describen a continuación.

35 Para alcanzar el templeado T4, las láminas laminadas en frío se mantuvieron durante 10 días a temperatura ambiente después del enfriamiento en agua ("Condición T4-1") o se mantuvieron a temperatura ambiente durante siete días, y a continuación se calentaron a 70 °C durante cuatro días ("Condición T4-2"). Las últimas condiciones simulan un proceso de envejecimiento de 90 días a temperatura ambiente.

40 Para alcanzar el templeado T6, el material del templeado T4 se calentó adicionalmente a 95 °C y se dejó en remojo durante ocho horas, y a continuación se calentó a 145 °C y se remojó durante 6 horas ("Condición T6-1"). Alternativamente, se alcanzó el templeado T6 manteniendo las láminas laminadas en frío durante 1 día a temperatura ambiente y a continuación calentando la lámina a 120 °C y remojando la lámina durante 24 horas ("Condición T6-2"). Como tercera opción, se alcanzó el templeado T6 manteniendo las láminas laminadas en frío durante 1 día a temperatura ambiente, calentando la lámina a 120 °C y remojando la lámina durante 1 hora, y calentando adicionalmente la lámina a 180 °C y remojando durante 30 minutos para simular las condiciones de pintura al horno para aplicaciones automotrices ("Condición T6-3").

50 Las láminas se analizaron para determinar las propiedades de tracción según la norma ISO 6892, el comportamiento de flexión según la norma VDA 238-100 y las propiedades de endurecimiento por envejecimiento. Específicamente, se analizaron las láminas enfriadas con agua en el templeado T4 usando la condición T4-1 para determinar su resistencia a la fluencia (YS), resistencia máxima a la tracción (UTS), alargamiento uniforme, alargamiento total y relación de deformación plástica (denominada valor r o valor de Lankford) en ángulos de 0°, 45° y 90° a la dirección

de laminación. Los datos se proporcionan a continuación en la Tabla 16 y también se muestran en las Figuras 6-9. Las variantes sin cobre mostraron un comportamiento muy anisotrópico, como se demostró a través de los valores altos de r45.

5

Tabla 16

		YS (MPa)	UTS (MPa)	Alargamiento uniforme (%)	Elongación total A80 (%)	Relación de deformación plástica r -
K303 *	0°	292	389	13,2	14,8	0,23
	45°	263	345	23,1	24,7	2,12
	90°	290	380	18,4	20,9	0,61
K304 *	0°	313	422	16,9	16,9	0,26
	45°	281	377	20,0	27,0	1,79
	90°	313	413	17,9	18,9	0,59
K305 *	0°	331	444	14,9	15,3	0,25
	45°	297	386	21,1	27,4	1,98
	90°	328	429	17,8	22,1	0,64
K306 *	0°	328	436	14,7	15,8	0,27
	45°	301	405	22,0	24,7	1,82
	90°	328	429	17,9	19,0	0,57
K307 *	0°	327	440	13,7	14,6	0,27
	45°	285	377	25,3	26,5	1,93
	90°	319	421	17,2	18,3	0,66
K308 *	0°	329	436	13,9	14,5	0,24
	45°	297	385	21,8	26,4	2,03
	90°	326	418	16,3	21,2	0,62
K309 *	0°	374	488	15,7	16,1	0,27
	45°	331	427	20,0	27,0	2,06
	90°	371	469	16,1	20,2	0,62
K311 *	0°	297	445	19,5	21,5	0,43
	45°	293	436	22,0	25,4	0,98
	90°	303	455	20,6	22,1	0,62

\* No según la invención.

10 Las láminas envejecidas bajo la condición T4-2 para alcanzar el templado T4 se analizaron para determinar la resistencia a la fluencia (YS), el alargamiento total y la relación de deformación plástica (valor r) en los ángulos 0°, 45° y 90° a la dirección de laminación. Los datos se muestran en las Figuras 10 y 11. Al igual que las láminas envejecidas bajo la condición T4-1, las variantes sin cobre mostraron un comportamiento muy anisotrópico como se demuestra a través de los valores altos de r45. También se midió la capacidad de flexión, como se muestra en la Figura 12.

15 Las láminas envejecidas en las tres condiciones de T6 separadas descritas anteriormente también se probaron para determinar su resistencia a la fluencia y el alargamiento total. Los resultados se muestran en las Figuras 13 y 14.

20 Los resultados mostraron que las variantes sin cobre exhibieron un comportamiento muy anisotrópico, como lo demuestran los altos valores de r45. El nivel de resistencia de T6 para las aleaciones libres de cobre fue de 390 a 430 MPa y el nivel de resistencia de T6 para aleaciones que contienen cobre osciló entre 450 y 460 MPa. La inclusión de cobre provocó un aumento en la resistencia del templado T6, pero una menor conformabilidad.

### Ejemplo 8

25 Se prepararon ocho aleaciones (no según la invención) de acuerdo con los métodos descritos en este documento (ver Tabla 17). Las composiciones elementales de las aleaciones probadas se muestran en la Tabla 17, con el resto que es aluminio. Las composiciones elementales se proporcionan en porcentajes en peso.

Tabla 17

Aleación	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Zr	Zn + Mg + Cu
K388 *	0,10	0,15	0,15	0,05	1,50	5,35	0,02	0,10	7,00
K389 *	0,10	0,15	0,15	0,05	1,00	4,10	0,02	0,10	5,25
K390 *	0,10	0,15	0,15	0,05	1,25	4,40	0,02	0,10	5,80
K391 *	0,10	0,15	0,15	0,05	2,00	4,05	0,02	0,10	6,20
K392 *	0,10	0,15	0,15	0,05	1,75	4,70	0,02	0,10	6,60
K393 *	0,10	0,15	0,15	0,05	1,20	5,60	0,02	0,10	6,95
K394 *	0,10	0,15	0,30	0,05	3,05	4,45	0,02	0,10	7,80
K395 *	0,10	0,15	0,55	0,05	3,05	4,45	0,02	0,10	8,05

Todo expresado en % en peso, \* no según la invención

### Ejemplo 9

Se moldearon tres variantes de la Aleación V6 y se sometieron a condiciones de procesamiento idénticas para su comparación. La composición elemental de la Aleación V6 se muestra en la Tabla 4, con el resto que es aluminio. Las composiciones elementales se proporcionan en porcentajes en peso. Las composiciones químicas de las variantes de la Aleación V6 que se investigaron más a fondo se presentan en la Tabla 19. Todas las aleaciones se sometieron al mismo tratamiento de disolución.

Tabla 19

Aleación	Zn	con	Mg	Fe	Si	Zr	Mn	Cr	Ti
V6	8,98	0,30	2,31	0,20	0,10	<b>0,10</b>	0,05	0,04	0,02
V6-6	8,98	0,30	2,31	0,20	0,10	<b>0,05</b>	0,05	0,04	0,02
V6-7	8,98	0,30	2,31	0,20	0,10	<b>0,15</b>	0,05	0,04	0,02

Todo expresado en % en peso.

Al variar la cantidad de Zr en la aleación se altera la microestructura. Las Figuras 15A, 15B y 15C muestran el efecto de la cantidad de Zr en la microestructura de la aleación. La Aleación V6-6 (Fig. 15A, 0,05 % en peso de Zr) recrystalizó, y las aleaciones V6 (Fig. 15B, 0,10 % en peso de Zr) y V6-7 (Fig. 15C, 0,15 % en peso de Zr) no recrystalizaron. En algunos casos, cantidades de Zr superiores al 0,10 % en peso son suficientes para inhibir la recrystalización.

### Ejemplo 10

La composición elemental de las Aleaciones V4 y V6 se muestra en la Tabla 4, con el resto que es aluminio. Las composiciones elementales se proporcionan en porcentajes en peso. Las dos aleaciones fueron moldeadas y procesadas de manera similar en el laboratorio. Sin embargo, la microestructura final de las dos aleaciones es significativamente diferente después de la solución, como se muestra en la Figura 16A y 16B. La Figura 17A muestra la imagen SEM de la aleación V4 que está completamente recrystalizada mientras que la Figura 17B es la imagen SEM de la aleación V6 que está completamente sin recrystalizar después de la solución.

El efecto del Zr sobre la cinética de recrystalización se puede atribuir a los dispersoides de  $Al_3Zr$  que se forman durante la homogeneización. Los dispersoides de  $Al_3Zr$  pueden inhibir la recrystalización fijando los límites de grano. Sin embargo, para ser efectivos, estos dispersoides de  $Al_3Zr$  deben ser coherentes con la matriz, pequeños en tamaño, altos en número y distribuidos uniformemente en toda la microestructura. Los dispersoides de  $Al_3Zr$  en la aleación recrystalizada V4 (por ejemplo, los mostrados en la Fig. 17A) son más grandes (alrededor de 20 nm de diámetro) y más dispersos. Los dispersoides de  $Al_3Zr$  en la aleación V6 no recrystalizada (por ejemplo, los que se muestran en la Fig. 17B) son más pequeños (alrededor de 8 nm de diámetro) y tienen mayor densidad numérica. El tamaño más grande y la baja densidad numérica de los dispersoides en la aleación V4 pueden no fijar suficientemente los límites de grano, lo que permite una alta tasa de recrystalización. Por el contrario, los dispersoides finos y bien dispersos en la aleación V6 pueden provocar una fijación extensa de los límites del grano, inhibiendo así la recrystalización. Las Figuras 16A y 16B ejemplifican la cinética de recrystalización de las aleaciones presentadas en las micrografías en las Figuras 17A y 17B. La Fig. 16A muestra la recrystalización que se produjo después del procesamiento y la Fig. 16B muestra la recrystalización inhibida debida, al menos en parte, a los dispersoides de  $Al_3Zr$ . En algunos casos, los dispersoides de  $Al_3Zr$  pueden tener un diámetro de 5 nm a 50 nm (por ejemplo, de 5 nm a 20 nm, de 8 nm a 20 nm o de 5 nm a 10 nm). En algunos casos, los dispersoides de  $Al_3Zr$  pueden tener un diámetro de menos de 20 nm (por ejemplo, menos de 15 nm, menos de 10 nm o menos de 8 nm). En algunos casos, los dispersoides de  $Al_3Zr$  pueden proporcionar una microestructura no recrystalizada única que puede dar lugar a una mayor resistencia. Por ejemplo, en láminas que comprenden dispersoides de  $Al_3Zr$ , la lámina puede tener una resistencia a la fluencia superior a 500 MPa, superior a 525 MPa, superior a 550 MPa, superior a 575 MPa o superior a 600 MPa.

El tamaño, número y distribución de los dispersoides de  $Al_3Zr$  pueden afectar significativamente el comportamiento de recrystalización en aleaciones 7xxx. En algunos casos, el tamaño, número y/o distribución de los dispersoides de  $Al_3Zr$  se puede controlar a través de la composición y el procesamiento de la aleación. En algunos casos, los dispersoides de  $Al_3Zr$  distribuidos uniformemente de tamaño inferior a 10 nm pueden detener completamente la recrystalización de una aleación 7xxx laminada en frío durante el tratamiento de solución convencional (por ejemplo, 430-500 °C durante 10 segundos-6 horas). La composición y el procesamiento de las aleaciones de Al de la serie 7xxx se pueden emplear para controlar la microestructura de las aleaciones. El control de la microestructura puede permitir la capacidad de adaptar la resistencia y la ductilidad en aleaciones 7xxx.

**Ejemplo 11**

Ocho variantes de aleación V6 se fundieron y se sometieron a condiciones de procesamiento idénticas para comparación de la resistencia. La composición elemental de las ocho variantes, incluida la Aleación V6, se muestra en la Tabla 20, con el resto que es aluminio. Las composiciones elementales se proporcionan en porcentajes en peso.

Tabla 20

Aleación	Zn	Cu	Mg	Fe	Si	Zr	Mn	Cr	Ti
V6	8,98	0,30	2,31	0,20	0,10	0,10	0,05	0,04	0,02
V6-1	8,95	0,57	2,38	0,18	0,11	0,09	0,039	0,04	0,01
V6-2	8,95	0,88	2,34	0,22	0,12	0,09	0,044	0,04	0,01
V6-3	9,16	1,18	2,29	0,23	0,1	0,11	0,042	0,04	0,01
V6-4	8,91	1,55	2,3	0,18	0,1	0,01	0,042	0,03	0,01
V6-5	9,01	2,05	2,26	0,2	0,09	0,09	0,041	0,03	0,01
V6-6 *	8,94	0,27	2,29	0,19	0,09	0,04	0,04	0,04	0,01
V6-7	9,1	0,27	2,36	0,19	0,12	0,15	0,044	0,04	0,01
V6-8 *	9,05	0,26	2,34	0,18	0,12	0,03	0,09	0,09	0,01

Todo expresado en % en peso; \* No según la invención.

Los lingotes que tienen la composición de aleación mostrada anteriormente en la Tabla 20 se homogeneizaron de acuerdo con los procedimientos descritos en el presente documento utilizando las condiciones enumeradas en la Tabla 5. Específicamente, los lingotes se calentaron a 460 °C o 465 °C durante 8 horas y a continuación se remojaron durante un período de tiempo, como se indica en la Tabla 5. El primer calentamiento y remojo se denominan "Etapa 1" en la Tabla 5. Opcionalmente, los lingotes se calentaron y remojaron adicionalmente durante un período de tiempo en una segunda etapa de homogeneización, a la que se hace referencia como "Etapa 2" en la Tabla 5.

Los lingotes se laminaron en caliente desde un espesor inicial de 65 mm hasta un espesor final de 8 mm, utilizando 14 pases de laminación en caliente. Las temperaturas de reposo para la etapa de laminación en caliente oscilaron de 400 °C a 425 °C y las temperaturas de salida oscilaron de 315 °C a 370 °C. Las bandas calientes se colocaron inmediatamente en un horno para simular el enfriamiento de la bobina. Las bandas calientes se laminaron en frío hasta un espesor final de 2 mm (reducción general del calibre en un 75 %). Las láminas laminadas en frío se calentaron entonces a 465 °C a una velocidad de 283 °C por hora y se dejaron remojar durante 1 hora. Las láminas se enfriaron entonces a temperatura ambiente (25 °C) en una etapa de enfriamiento con agua fría o agua caliente y a continuación se envejecieron.

Específicamente, las aleaciones se enfriaron con agua a 55 °C (referido en este ejemplo como "enfriamiento con agua caliente"). Para el enfriamiento con agua caliente, la lámina se enfrió a una velocidad de 150 °C por segundo a 350 °C por segundo. Las láminas preparadas a partir de las aleaciones V6-1 a V6-8 se envejecieron calentando a una temperatura de 125 °C durante 24 horas (referido en este ejemplo como el templado "T6"). Las resistencias a la fluencia resultantes medidas en direcciones longitudinales se muestran en la Tabla 21 a continuación. Para fines comparativos, la resistencia a la fluencia de la aleación V6 (mostrada en la Tabla 13) también se incluye en la Tabla 21. Las aleaciones de templado T6 se envejecieron aún más calentando a una temperatura de 180 °C durante 0,5 horas (referido en este ejemplo como condición de "pintura al horno" o "PB").

Tabla 21

Aleación	Resistencia a la fluencia (MPa) después del envejecimiento durante 24 horas a 125 °C (T6)	Resistencia a la fluencia (MPa) después de T6 + PB	Cambio en la resistencia a la fluencia después de PB (MPa)
V6	624	547	-77
V6-1	570	541	-29
V6-2	560	566	6
V6-3	623	597	-26
V6-4	578	576	-2
V6-5	571	581	10
V6-6 *	546	520	-26
V6-7	630	544	-86
V6-8 *	593	543	-50

\* No según la invención.

Como puede verse en la Tabla 21, la aleación V6 mostró una alta resistencia a la fluencia (es decir, 624 MPa) en el templado T6. Sin embargo, el tratamiento de PB adicional causó una caída significativa en la resistencia a la fluencia, es decir, de 77 MPa a 547 MPa. Las ocho variantes discutidas en el presente documento se diseñaron para aliviar la reducción de la resistencia después de la PB, mientras se mantiene la resistencia a la fluencia en el

templado T6 superior a 600 MPa. Es evidente a partir de los resultados presentados en la Tabla 21 que la variante de aleación V6-3 cumple con este criterio, que mostró una YS de 623 MPa en el templado T6 y de 597 MPa después del tratamiento de PB adicional. La aleación V6-3 tuvo solo una caída de 26 MPa en la resistencia a la fluencia después del tratamiento con PB adicional en comparación con la caída de 77 MPa y 86 MPa respectivamente para V6 y V6-7, las otras dos aleaciones que tenían una resistencia T6 superior a 600 MPa.

Como ejemplo adicional, la aleación V12 es una aleación (composición que se muestra en la Tabla 4) que tiene una caída muy baja en la resistencia a la fluencia después de la pintura al horno del templado T6. La resistencia a la fluencia cae de 613 MPa en el templado T6 a 605 MPa después de la pintura al horno, una caída de solamente 8 MPa. Dicha aleación tiene una microestructura totalmente no cristalizada que contribuye a la alta resistencia. Esta aleación se puede utilizar en aplicaciones que requieren buena tenacidad a la fractura y rendimiento por fatiga.

### Ejemplo 12

Las aleaciones analizadas en el presente documento pueden sufrir un proceso de conformación en caliente o estampación en caliente para formar las piezas deseadas. En el proceso de conformación en caliente, la lámina de aleación se calienta normalmente a una temperatura que está por encima de la temperatura de solución de la aleación específica. La temperatura de solución puede estar en un intervalo de 400 °C a 600 °C. Después de la disolución, la lámina de aleación se transfiere a una prensa donde se conforma en la forma deseada y simultáneamente se enfría por la matriz. Por lo tanto, para poder conformar formas complejas, es importante que la aleación tenga una buena ductilidad o conformabilidad a temperaturas elevadas. En algunos casos, las aleaciones 7xxx muestran una disminución de la ductilidad cuando se calientan por encima de ciertas temperaturas, por ejemplo, la Aleación 7075 como se muestra en la Figura 18A. En otros casos, la Aleación V6 no muestra disminución de la ductilidad a altas temperaturas como se muestra en la Figura 18B, lo que hace que la aleación sea más adecuada para aplicaciones de conformado en caliente.

Además de su uso en el sector automotriz, las aleaciones de la presente invención también pueden usarse en los sectores aeroespacial y de electrónica de consumo. Para la industria aeroespacial, las aleaciones se pueden utilizar en aplicaciones estructurales y no estructurales. Para las partes estructurales de la carrocería, las partes estructurales de la carrocería pueden ser, por ejemplo, alas, fuselajes, alerones, timones, elevadores, carenados o soportes. Para partes no estructurales de la carrocería, las partes de carrocería de la carrocería pueden ser, por ejemplo, carriles de asientos, bastidores de asientos, paneles o bisagras. La microestructura no recristalizada permite mejorar la tenacidad a la fractura y el rendimiento por fatiga. Para la electrónica de consumo, las aleaciones de la presente invención se pueden usar para fundas de teléfonos móviles, ordenadores portátiles, tabletas, televisores, etc.

### Ejemplo 13

En otro ejemplo, los lingotes que tienen la composición de aleación V6-3 y V6-7 mostrada anteriormente en la Tabla 20 se homogeneizaron de acuerdo con los procedimientos descritos en el presente documento utilizando las condiciones enumeradas en la Tabla 5. Específicamente, los lingotes se calentaron a 460 °C o a 465 °C durante 8 horas y a continuación se remojaron durante un período de tiempo, como se indica en la Tabla 5. El primer calentamiento y remojo se denomina "Etapa 1" en la Tabla 5. Opcionalmente, los lingotes se calentaron y remojaron aún más durante un período de tiempo en una segunda etapa de homogeneización, que se denomina "Etapa 2" en la Tabla 5.

Los lingotes se laminaron en caliente desde un espesor inicial de 65 mm hasta un espesor final de 8 mm, utilizando 14 pases de laminación en caliente. Las temperaturas de reposo para la etapa de laminación en caliente oscilaron de 400 °C a 425 °C y las temperaturas de salida oscilaron de 315 °C a 370 °C. Las bandas calientes se colocaron inmediatamente en un horno para simular el enfriamiento de la bobina. Las bandas calientes se laminaron en frío hasta un espesor final de 2 mm (reducción general del calibre en un 75 %). Las láminas laminadas en frío se calentaron entonces a 465 °C a una velocidad de 283 °C por hora y se dejaron remojar durante 1 hora. Las láminas se enfriaron entonces a temperatura ambiente (25 °C) en una etapa de enfriamiento con agua fría o agua caliente y a continuación se envejecieron.

Específicamente, las aleaciones se enfriaron utilizando agua a aproximadamente 55 °C (referido en este ejemplo como "enfriamiento con agua caliente"). Para el enfriamiento con agua caliente, la lámina se enfrió a una velocidad de 150 °C por segundo a 350 °C por segundo. En contraste con el Ejemplo 11, las láminas preparadas a partir de las aleaciones V6-3 y V6-7 en el Ejemplo 13 no se envejecieron calentando para formar un templado T6, sino que se formaron en caliente y a continuación se pintaron al horno directamente sin sufrir un templado T6. Las aleaciones V6-3 y V6-7 del Ejemplo 12 se envejecieron adicionalmente calentando a una temperatura de 180 °C durante 0,5 horas (referido en este ejemplo como la condición de "pintura al horno" o "PB"). La resistencia a la fluencia resultante después del tratamiento con PB también se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22

<b>Aleación</b>	<b>Resistencia a la fluencia (MPa) después de PB</b>
V6-3	580
V6-7	560

5 Como puede verse en las Tablas 21 y 22, la aleación V6-3 procesada de acuerdo con el Ejemplo 13 muestra una  
 resistencia a la fluencia de 580 MPa después del envejecimiento por calentamiento a una temperatura de 180 °C  
 durante 0,5 horas (referido en este ejemplo como condición de "pintura al horno" o "PB") directamente después de la  
 formación en caliente sin someterse a un tratamiento con T6 en comparación con la aleación V6-3 procesada de  
 acuerdo con el Ejemplo 11, que muestra una resistencia a la fluencia de 597 MPa después del envejecimiento de la  
 aleación al templado T6 y el tratamiento de PB adicional. La aleación V6-7 procesada de acuerdo con el Ejemplo 13  
 10 muestra una resistencia a la fluencia de 560 MPa después del envejecimiento por pintura al horno directamente  
 después de la formación en caliente sin someterse a un tratamiento con T6 en comparación con la aleación V6-7  
 procesada de acuerdo con el Ejemplo 11, que muestra una resistencia a la fluencia de 544 MPa después del  
 envejecimiento de la aleación al templado T6 y tratamiento PB adicional. Como se puede ver en la Tabla 22, las  
 aleaciones V6-3 y V6-7 mostraban una alta resistencia a la fluencia mediante la realización de un tratamiento de  
 pintura al horno directamente después de la formación en caliente sin sufrir T6.  
 15

## REIVINDICACIONES

1. Una aleación de aluminio que comprende el 8,9-9,2 % en peso de Zn, 0,2-2,1 % en peso de Cu, 2,2-2,4 % en peso de Mg, 0,18-0,23 % en peso de Fe, 0,09-0,12 % en peso de Si, 0,05-0,15 % en peso de Zr, 0,04-0,09 % en peso de Mn, 0,03-0,09 % en peso de Cr, 0,01-0,02 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al, en el que la aleación de aluminio comprende además hasta el 0,20 % de uno o más de Mo, Nb, Be, B, Co, Sn, Sr, V, In, Hf, Ag, Sc y Ni o además comprende hasta un 0,10 % de un elemento de las tierras raras seleccionado del grupo que consiste en Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb y Lu.
2. La aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende el 9 % en peso de Zn, 0,3 % en peso de Cu, 2,3 % en peso de Mg, 0,2 % en peso de Fe, 0,1 % en peso de Si, 0,1 % en peso de Zr, 0,05 % en peso de Mn, 0,04 % en peso de Cr, 0,02 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al o que comprende el 9,2 % en peso de Zn, 1,2 % en peso de Cu, 2,3 % en peso de Mg, 0,23 % en peso de Fe, 0,1 % en peso de Si, 0,11 % en peso de Zr, 0,04 % en peso de Mn, 0,04 % en peso de Cr, 0,01 % en peso de Ti, y hasta el 0,15 % en peso de impurezas, con el resto como Al.
3. Una parte de la carrocería de un automóvil que comprende la aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2.
4. La parte de la carrocería del automóvil de la reivindicación 3, en la que la parte de la carrocería del automóvil es una parte de la carrocería de un vehículo motorizado y, en particular, la parte de la carrocería de un vehículo motorizado es un parachoques, una viga lateral, una viga del techo, una viga transversal, un refuerzo de columna, un interior panel, un panel exterior, un panel lateral, una cubierta interior, una cubierta exterior o un panel de la tapa del maletero.
5. Una carcasa de dispositivo electrónico que comprende la aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2.
6. Una parte de una carrocería aeroespacial que comprende la aleación de aluminio de la reivindicación 1.
7. La parte de la carrocería aeroespacial de la reivindicación 6, en la que la parte de la carrocería aeroespacial es una parte estructural o no estructural y en particular donde la parte de la carrocería aeroespacial estructural es un ala, un fuselaje, un alerón, un timón, un elevador, un carenado o un soporte o en la que la parte de la carrocería aeroespacial no estructural es un carril de asiento, un bastidor de asiento, un panel o una bisagra.
8. Un producto que comprende la aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que el producto es una lámina, una placa, una extrusión, una fundición o una forja.
9. El producto de la reivindicación 8, en el que el producto tiene una profundidad máxima de las picaduras inferior a 40 micrómetros o en el que el producto tiene una profundidad media de las picaduras inferior a 20 micrómetros.
10. El producto de la reivindicación 8, en el que la aleación de aluminio comprende más del 0,3 % en peso de Cu, en particular en el que la aleación de aluminio comprende más del 0,8 % en peso de Cu.
11. Un método para producir un producto de metal, que comprende:
- fundir la aleación de aluminio de la reivindicación 1 para formar un lingote o una losa;  
homogeneizar el lingote o la losa;  
laminar en caliente el lingote o la losa para producir una banda caliente; y  
laminar en frío la banda caliente para obtener un producto metálico que comprende un calibre final.
12. El método de la reivindicación 11, en el que el producto metálico es una lámina.
13. El método de la reivindicación 12, que comprende además someter la lámina a un tratamiento térmico en solución a una temperatura de 430 °C a 600 °C o que comprende además someter la lámina a un tratamiento térmico en solución a una temperatura de 430 °C a 500 °C.
14. El método de la reivindicación 13, que comprende además enfriar la lámina a una temperatura de 25 °C a 120 °C.
15. El método de la reivindicación 14, en el que la etapa de enfriamiento de la lámina se realiza a una velocidad de enfriamiento de 200 °C por segundo a 600 °C por segundo o

en la que la etapa de enfriamiento de la lámina se realiza a una velocidad de enfriamiento de 2000 °C por segundo a 3000 °C por segundo.

5 16. El método de la reivindicación 14, que comprende además someter la lámina a un proceso de envejecimiento.

17. El método de la reivindicación 16, en el que el proceso de envejecimiento comprende:

10 calentar la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C;  
mantener la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C durante un período de tiempo; y  
enfriar la lámina a temperatura ambiente o

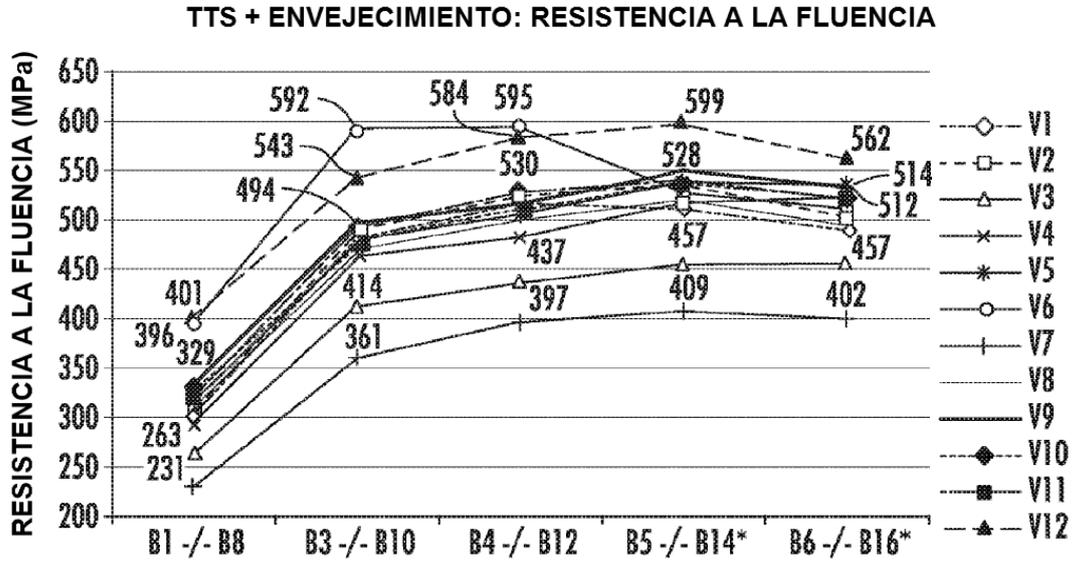
en el que el proceso de envejecimiento comprende:

15 calentar la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C;  
mantener la lámina a una temperatura de 100 °C a 140 °C durante un primer período de tiempo;  
calentar la lámina a una temperatura superior a 140 °C;  
mantener la lámina a una temperatura superior a 140 °C durante un segundo período de tiempo; y  
enfriar la lámina a temperatura ambiente.

20 18. El método de la reivindicación 12, que comprende además someter la lámina a un tratamiento térmico de pintura al horno.

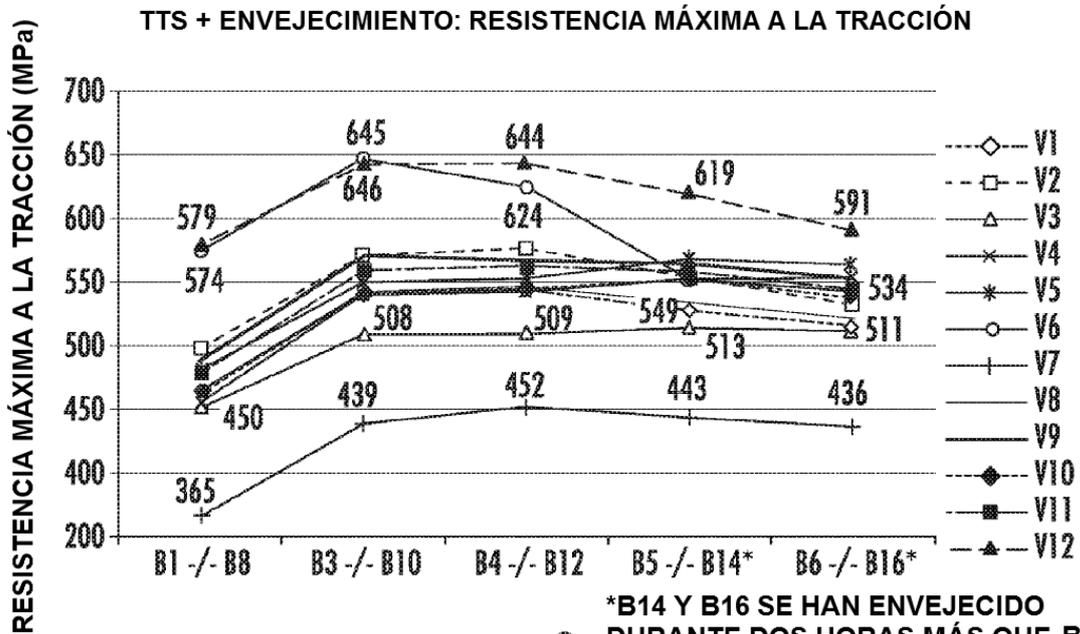
19. Una lámina de aluminio fabricada de acuerdo con el método de la reivindicación 11.

25 20. La lámina de la reivindicación 19, en la que la lámina se encuentra en el templado T6 o en el templado T7 o en la que la lámina comprende dispersoides de  $\text{Al}_3\text{Zr}$  que tienen un diámetro de 5 nm a 50 nm o en la que la lámina comprende dispersoides de  $\text{Al}_3\text{Zr}$  que tienen un diámetro de 8 nm a 20 nm o en el que la lámina comprende dispersoides de  $\text{Al}_3\text{Zr}$  que tienen un diámetro inferior a 10 nm.



**FIG. 1**

\*B14 Y B16 SE HAN ENVEJECIDO DURANTE DOS HORAS MÁS QUE B5 Y B6



**FIG. 2**

\*B14 Y B16 SE HAN ENVEJECIDO DURANTE DOS HORAS MÁS QUE B5 Y B6

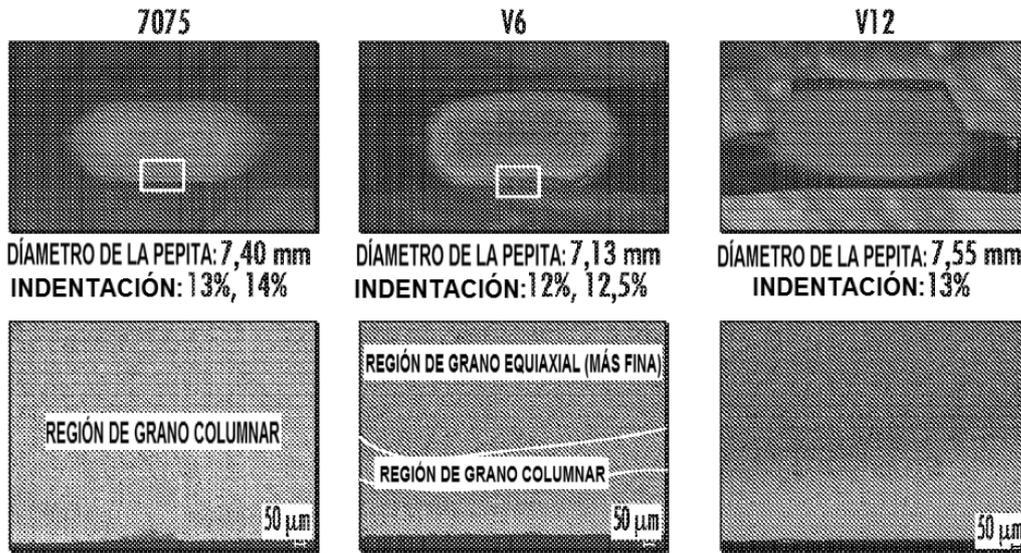


FIG. 3

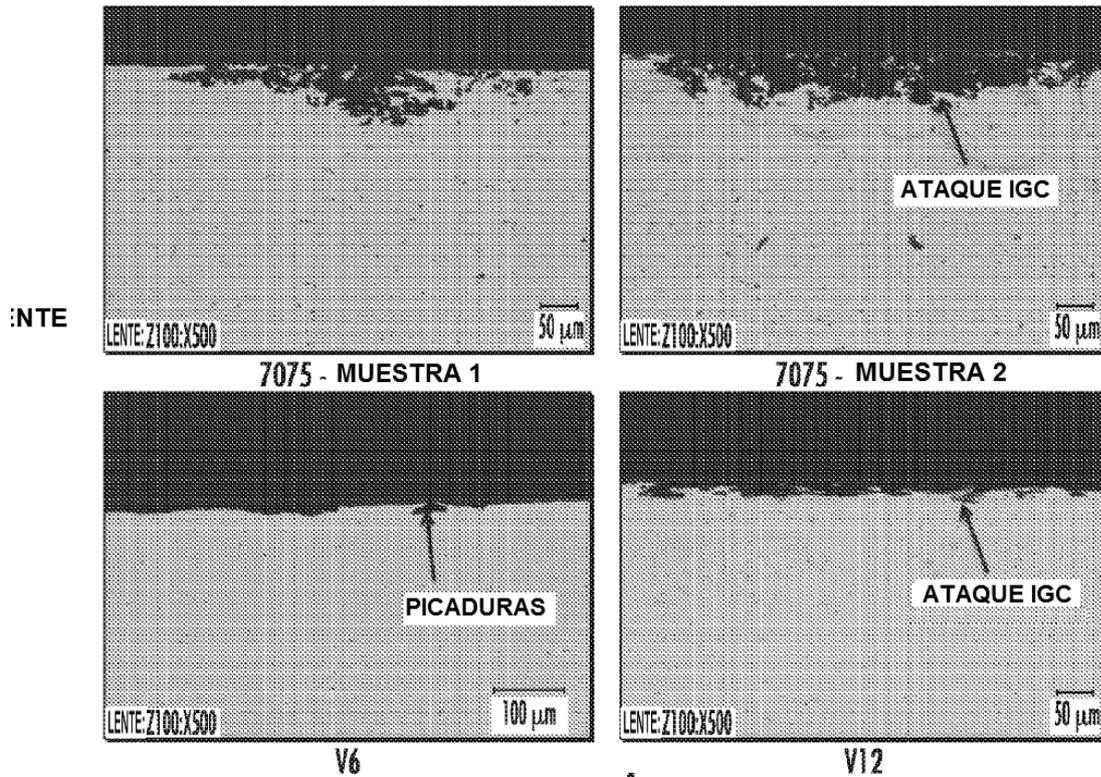


FIG. 4

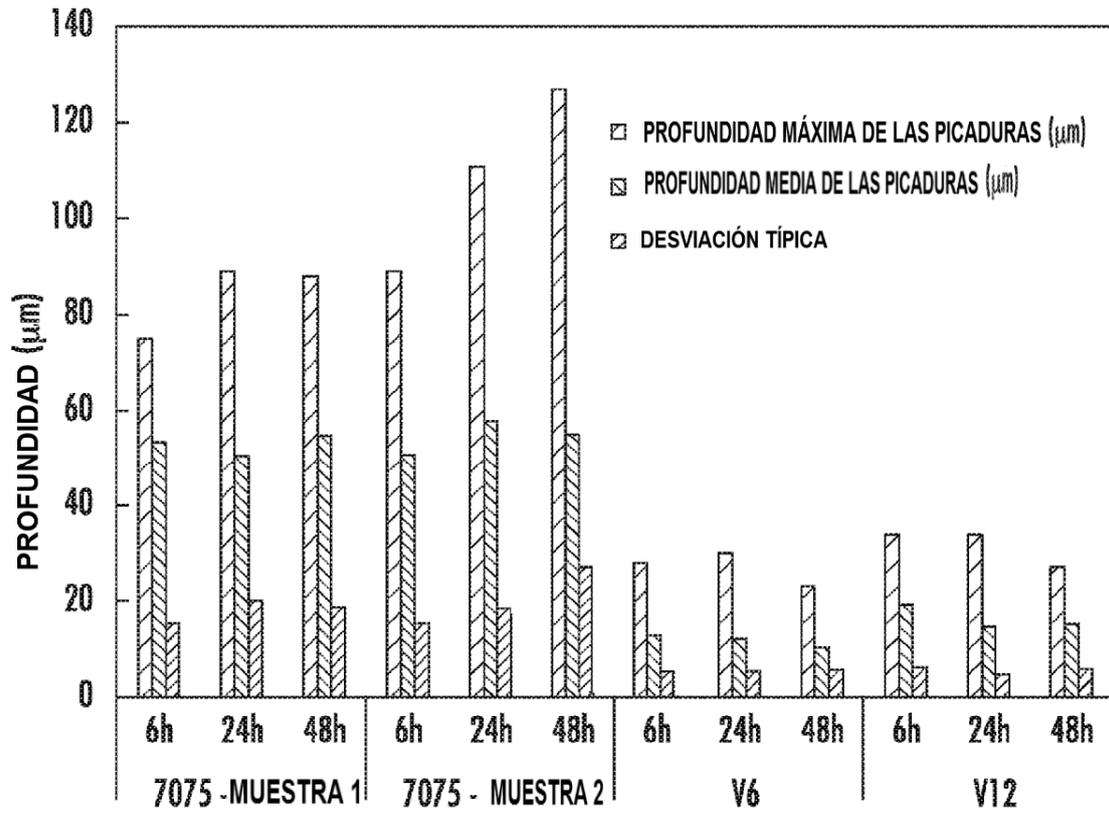


FIG. 5

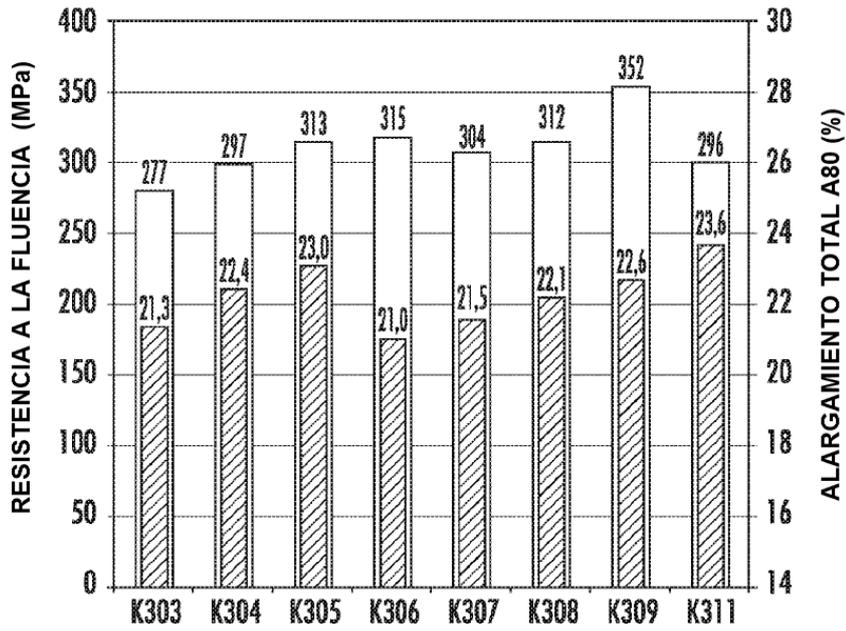


FIG. 6

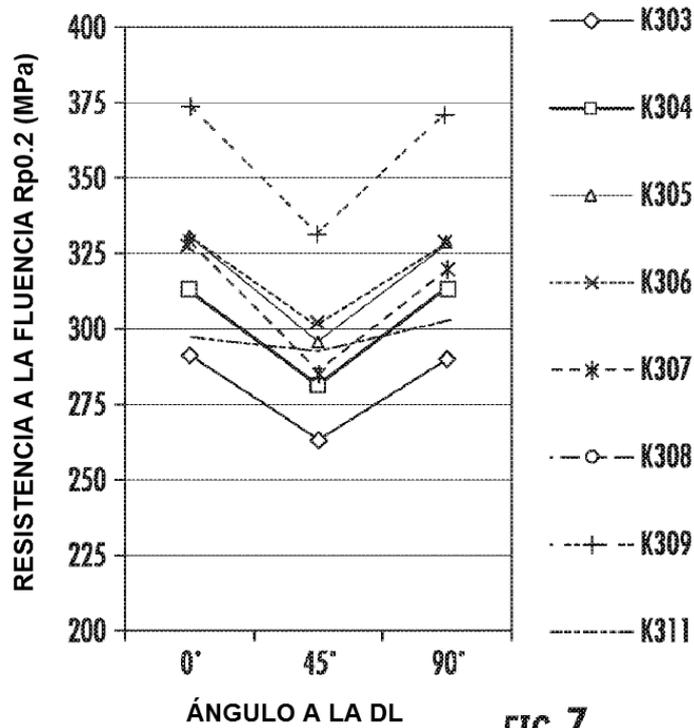
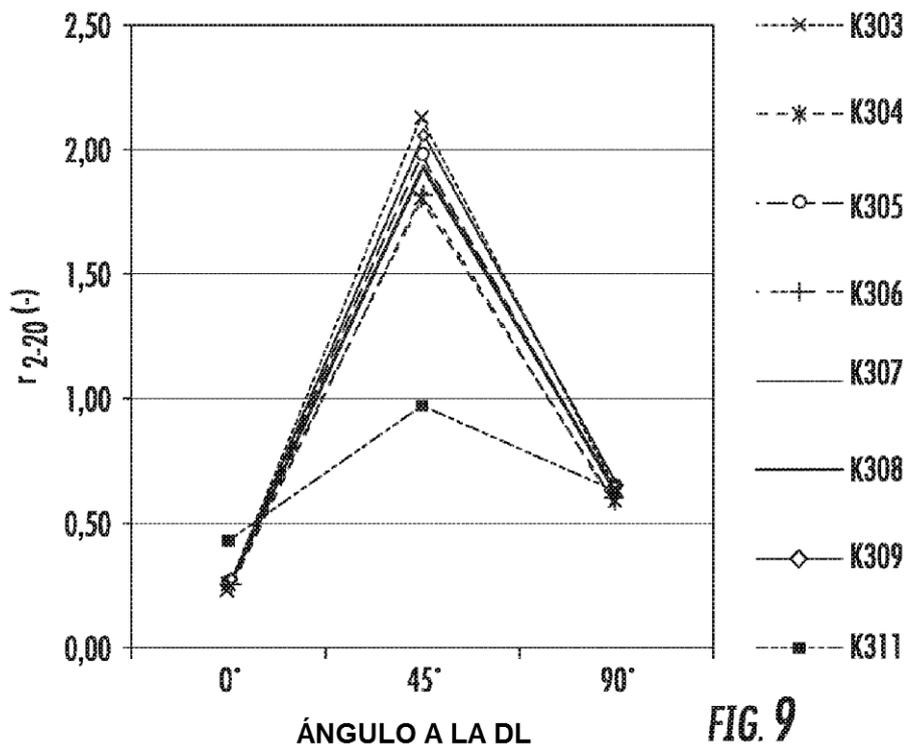
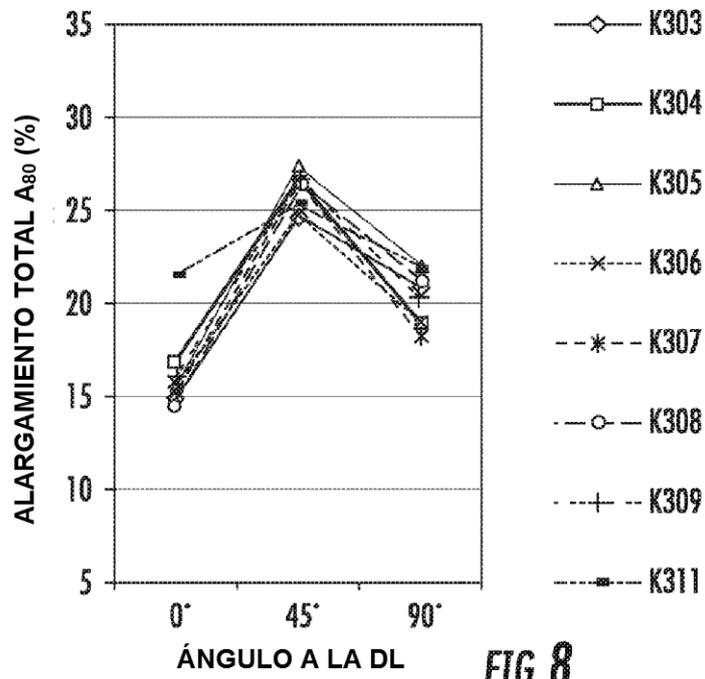


FIG. 7



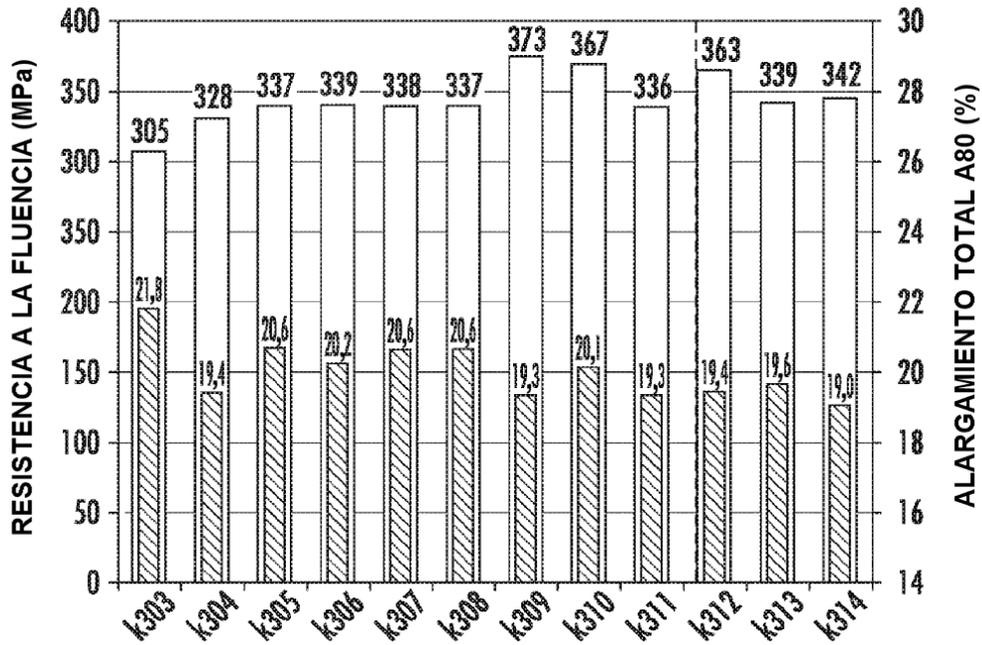


FIG. 10

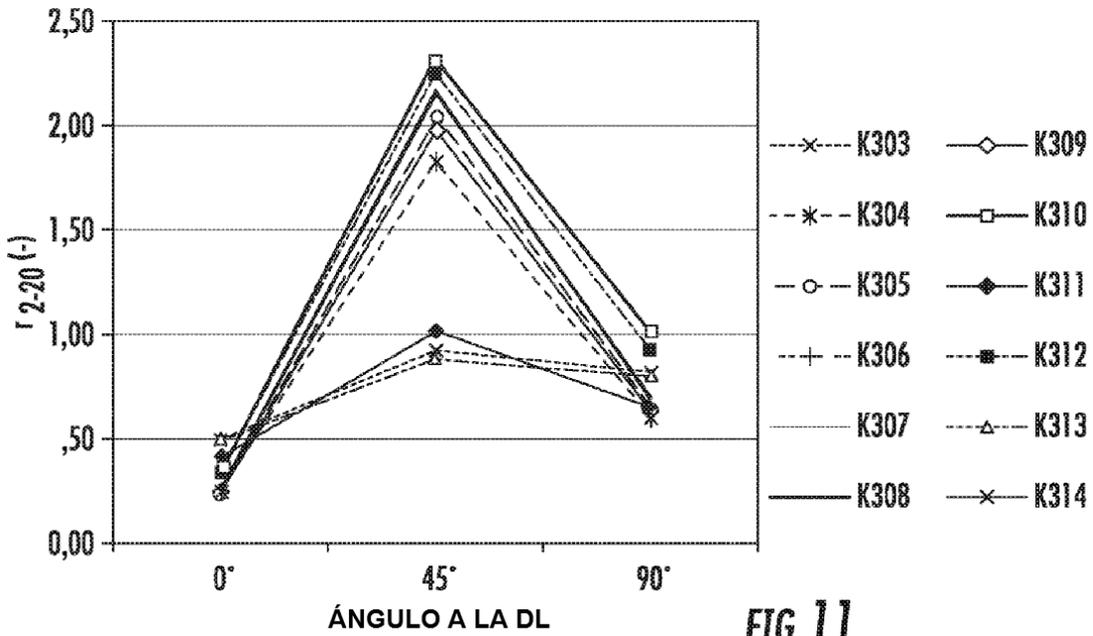


FIG. 11

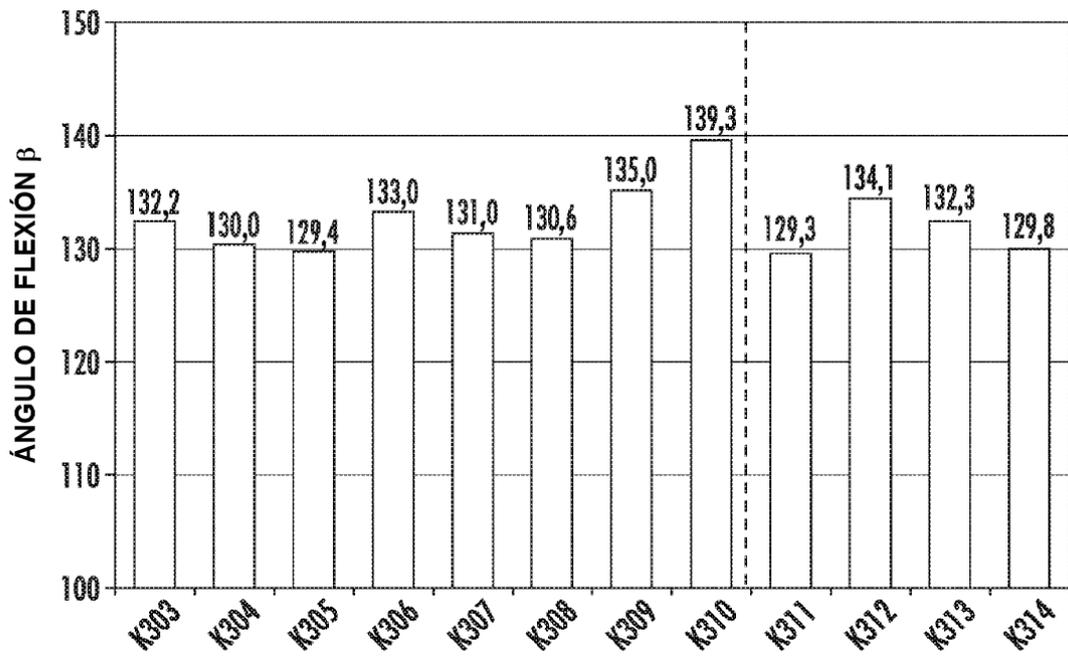


FIG. 12

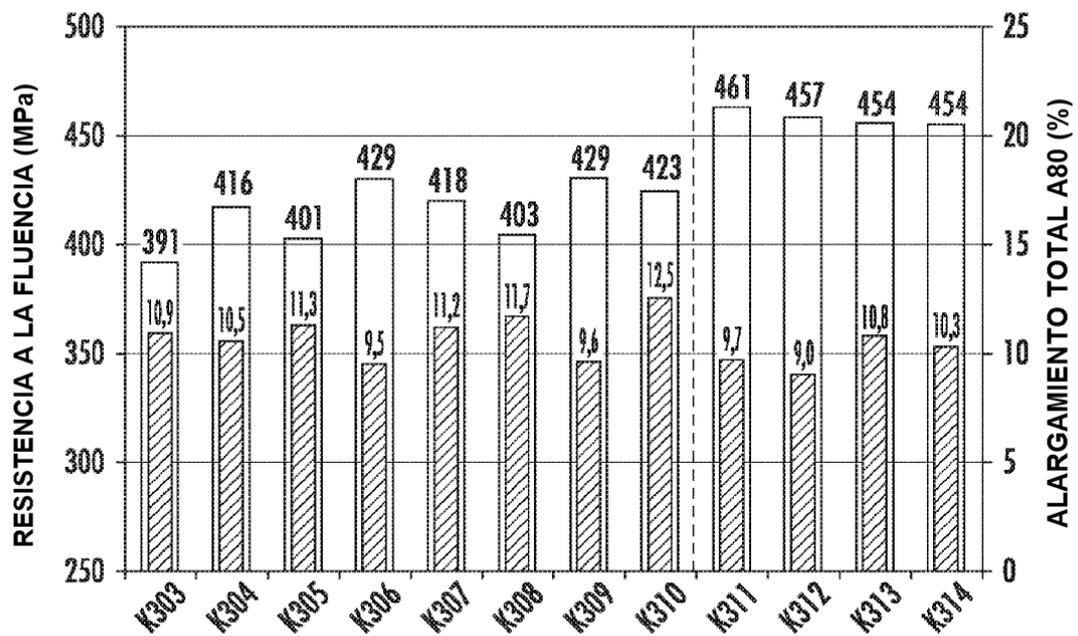


FIG. 13

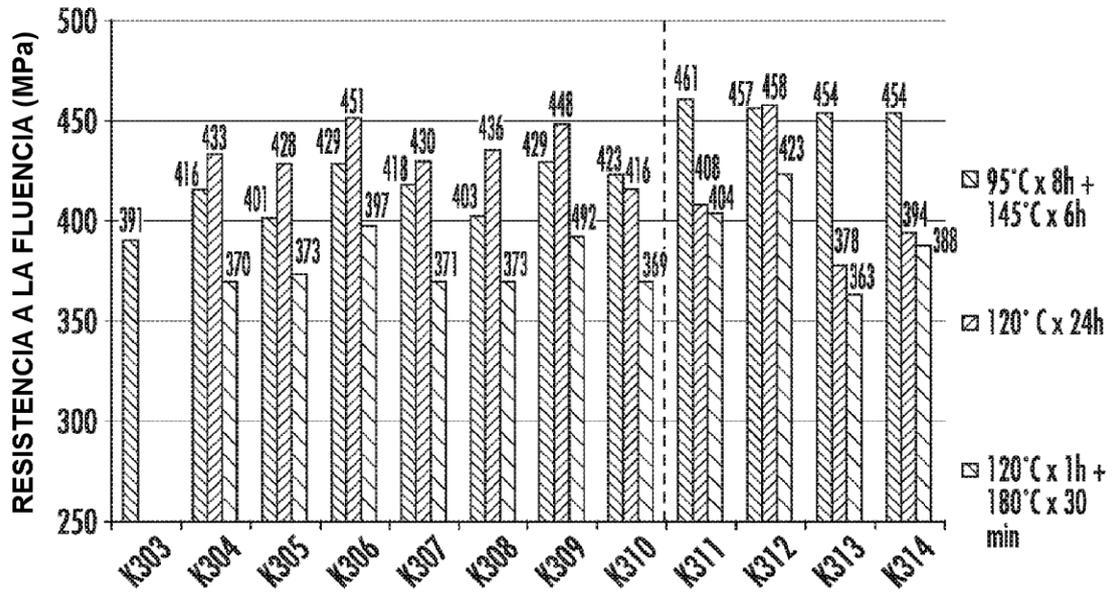


FIG. 14

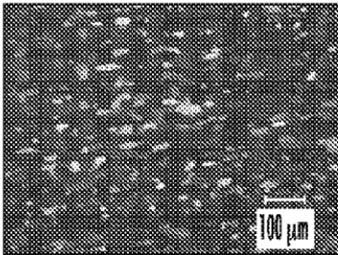


FIG. 15A

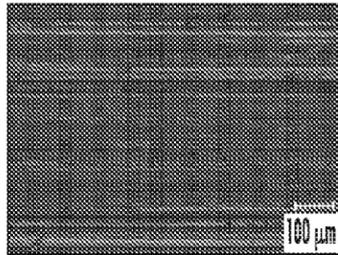


FIG. 15B

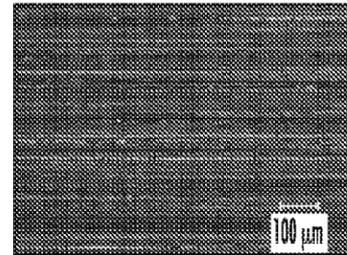


FIG. 15C

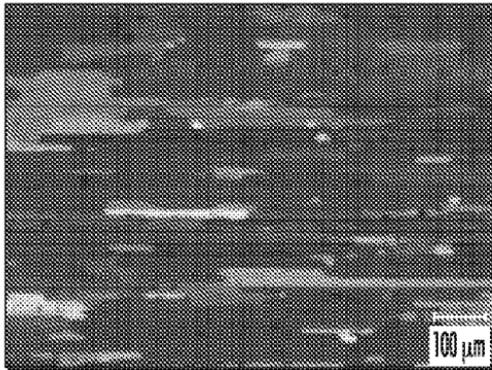


FIG. 16A

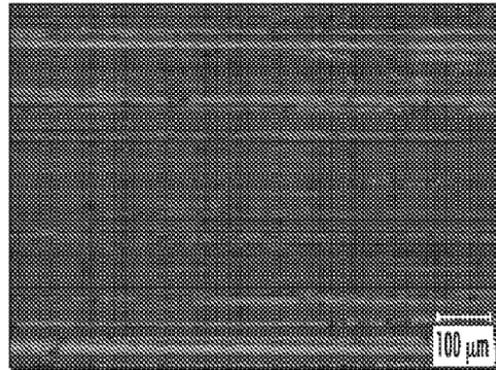


FIG. 16B

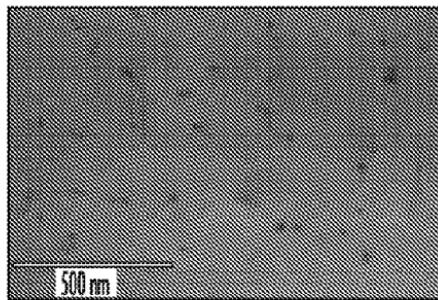


FIG. 17A

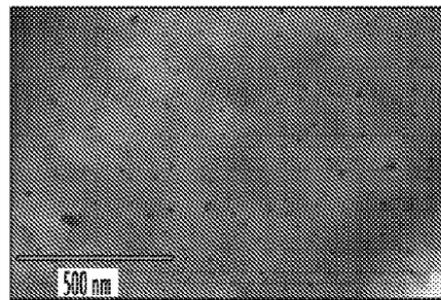


FIG. 17B

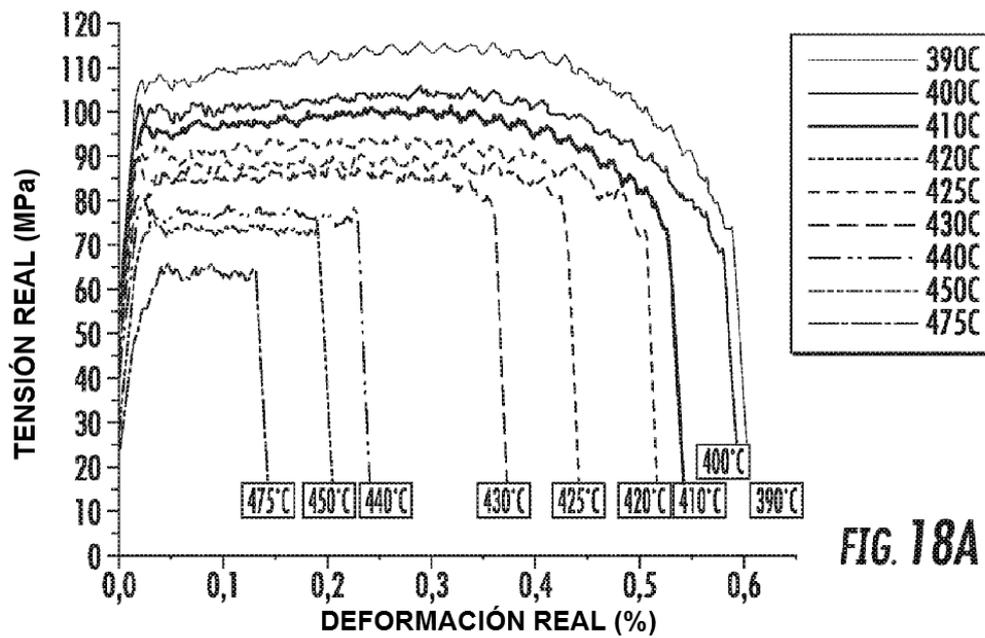
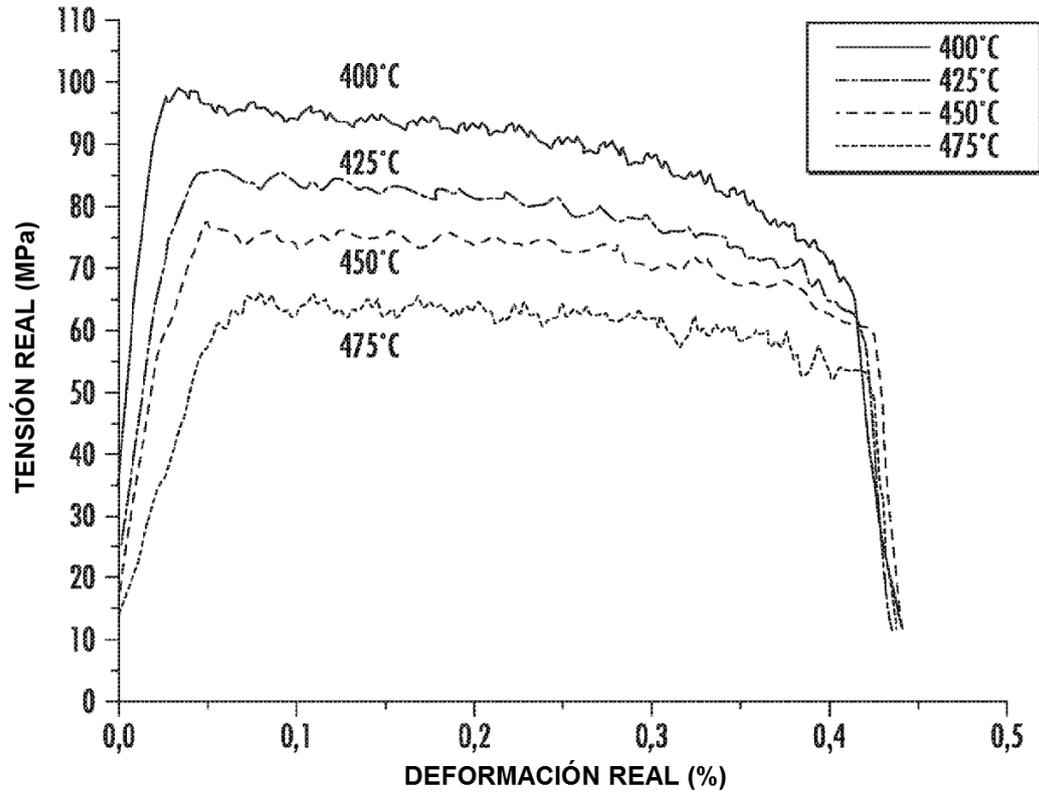


FIG. 18A



**FIG. 18B**