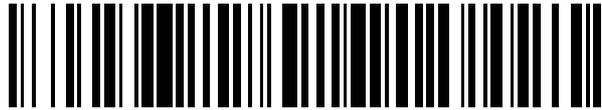


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 793 021**

51 Int. Cl.:

**C22C 21/08** (2006.01)

**C22C 21/14** (2006.01)

**C22C 21/16** (2006.01)

**C22F 1/047** (2006.01)

**C22F 1/057** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2015 PCT/US2015/057720**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2016 WO16069695**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2015 E 15790789 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2020 EP 3212818**

54 Título: **Productos de aleación de aluminio y método de preparación**

30 Prioridad:

**28.10.2014 US 201462069569 P**

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

**12.11.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BULL, MICHAEL y  
KAMAT, RAJEEV G.**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

ES 2 793 021 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

Productos de aleación de aluminio y método de preparación

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a productos de aleación de aluminio que tienen muy buena formabilidad en el revenido T4 y tenacidad y ductilidad particularmente altas en los prevenidos de alta resistencia (por ejemplo, los revenidos son T6, T8 y T9). La ductilidad y tenacidad son tales que la aleación puede remacharse en estos prevenidos de alta resistencia y posee excelentes propiedades de ductilidad y tenacidad en su servicio previsto. La presente invención también se refiere a un método para producir los productos de aleación de aluminio. En particular, estos productos tienen aplicación en la industria de automoción.

15 **Antecedentes**

Las carrocerías para muchos vehículos se fabrican a partir de varias láminas de carrocería. Hasta la fecha en la industria de automoción, estas láminas han sido principalmente de acero. Sin embargo, más recientemente, ha habido una tendencia en la industria de automoción a reemplazar las láminas de acero más pesadas por láminas de aluminio más livianas.

Para ser aceptables para láminas de carrocería de automóvil, sin embargo, las aleaciones de aluminio no solo deben poseer las características requeridas de resistencia y resistencia a la corrosión, por ejemplo, sino también deben exhibir buena ductilidad y tenacidad. Estas características son importantes ya que las láminas de carrocería de automóvil deben unirse o combinarse con otras láminas, paneles, marcos, y similares. Los métodos para unir o combinar láminas incluyen soldadura por puntos de resistencia, remachado autoperforante, pegamento adhesivo, doblado, y similares.

El remachado autoperforante es un proceso en el que un remache autoperforante perfora completamente la lámina superior, pero solo perfora parcialmente la lámina inferior. El extremo de la cola del remache no atraviesa la lámina inferior y, como resultado, proporciona una junta estanca al agua o al gas entre las láminas superior e inferior. Además, el extremo posterior del remache se ensancha y se enclava en la lámina inferior formando un botón de bajo perfil. Para garantizar la máxima resistencia de la junta e integridad y durabilidad en servicio, el material de lámina de aluminio deformado debe estar esencialmente libre de todos los defectos. Estos defectos pueden incluir huecos o grietas internos, grietas externas o grietas significativas en la superficie. Como hay muchas combinaciones de grosores de lámina y tipos de remaches, cada uno de los cuales debe "ajustarse" a la situación de producción, no es práctico utilizar el remachado por sí mismo como una evaluación de la ductilidad y tenacidad del material. Un sustituto próximo de la deformación que experimenta el material durante el remachado es someter el material, a la fuerza de servicio prevista, a una operación de flexión. Por tanto, sometiendo el material a esta operación de flexión, el material puede clasificarse según su capacidad para remacharse, o para ser suficientemente dúctil o resistente en el servicio previsto. La conformación completa se realiza con el rendimiento real de remachado y bloqueo. Hasta ahora, los datos de flexión han correlacionado suficientemente bien con el rendimiento real del servicio; por tanto, el ensayo de flexión es el criterio de lanzamiento oficial de al menos un fabricante de equipos originales (OEM). Otros ensayos, tales como el ensayo de cizalladura, también son medios para evaluar la tenacidad.

Con los estándares más altos de OEM, el remachado autoperforante requiere láminas de metal con suficiente ductilidad y dureza que cumplan con las proporciones requeridas de radio de curvatura/grosor de lámina ( $r/t$ ). Tener una ductilidad suficiente es crucial porque asegura que las láminas de metal puedan remacharse con una resistencia particular y puedan cumplir los requisitos generales de tenacidad durante un evento de choque. El material necesita retener suficiente ductilidad de manera que se deforme con un grado razonable de plasticidad, en lugar de por un evento de fractura rápida. Este es un requisito particularmente difícil de cumplir. Por ejemplo, en general, se sabe en el campo que para doblar aleaciones de aluminio con resistencias similares, la relación  $r/t$  está habitualmente entre 2-4. Hasta ahora, todo el material con una relación  $r/t$  mayor que 1 ha exhibido un comportamiento de remachado muy pobre. Se han realizado algunas juntas remachadas aceptables con material que exhibe una relación  $r/t$  de menos de 0,6 (por ejemplo, entre 0,4 y 0,6). Sin embargo, para las juntas remachadas más difíciles, el material debe exhibir una relación  $r/t$  de menos de 0,4. En una relación  $r/t$  de 0,4, las deformaciones de la superficie externa de la fibra superan el 40 %, que es un requisito de deformación severo, previamente inalcanzable a estas altas resistencias de servicio por encima de 260 MPa de límite de elasticidad (YS), y típicamente en el intervalo de 280-300 MPa de YS. Dado que la resistencia de servicio real está típicamente en el intervalo de 280-300 MPa de YS, esta combinación de resistencia y ductilidad es particularmente difícil de obtener.

Por tanto, existe la necesidad de una lámina de carrocería de automóvil que pueda remacharse y cumplir con los requisitos de ductilidad y tenacidad durante un evento de choque.

El documento WO 2007/076980 A1 se refiere a una lámina de aleación de aluminio para aplicaciones de automoción que comprende en % en peso: Si: 0,50- <0,70 Cu: 0,40 - 1,20 Fe: 0,20 - 0,4 Mn: >0,1 - 0,60 Mg: 0,60 - 1,40 Zn: <0,5 Ti: <0,2 Cr: <0,15, otros elementos hasta 0,05 cada uno y hasta 0,15 en total, y el resto de aluminio. La lámina de

aleación de aluminio tiene un bajo límite elástico y un alto alargamiento según se suministra para una mejor formabilidad, una disminución mínima en el límite elástico durante la primera etapa de un proceso de endurecimiento con pintura, alto límite elástico y alta resistencia a la corrosión filiforme después de completar el proceso de horneado de pintura.

5 El documento JP 2003 268472 A se refiere a una lámina de aleación de Al-Mg-Si para formar con capacidad de flexión del doblez mejorada para su uso en automóviles o similar. La lámina de aleación de aluminio incluye 0,3-1,0 % de Mg, 0,3-1,2 % de Si, uno o más elementos de Mn, Cr, Zr, V, Fe, Ti, y Zn, en pequeña cantidad, 1,0 % o menos de Cu, y el resto Al, y tiene un alargamiento de muesca de 10 % o más.

10 El documento WO 00/03052 A1 se refiere a un proceso de tratamiento térmico de un artículo laminar hecho de una aleación de aluminio de la serie 6000 para lograr una buena "respuesta de horneado de pintura" que no se ve sustancialmente afectada por envejecimiento natural. El proceso comprende calentar el artículo laminar de aleación a una temperatura de disolución seguido de enfriamiento del artículo laminar de aleación. Los artículos laminares de aleación adecuados para uso en fabricación de partes de piel de automóviles se pueden producir de este modo.

15 El documento WO 96/03531 A1 se refiere a una aleación de aluminio que contiene magnesio, silicio y opcionalmente cobre en cantidades en porcentaje en peso que se encuentran aproximadamente dentro de uno de los siguientes intervalos: (1)  $0,4 \leq \text{Mg} < 0,8$ ,  $0,2 \leq \text{Si} < 0,5$ ,  $0,3 \leq \text{Cu} \leq 3,5$ ; (2)  $0,8 \leq \text{Mg} \leq 1,4$ ,  $0,2 \leq \text{Si} < 0,5$ ,  $\text{Cu} \leq 2,5$ ; y (3)  $0,4 \leq \text{Mg} \leq 1,0$ ,  $0,5 \leq \text{Si} \leq 1,4$ ,  $\text{Cu} \leq 2,0$ . La aleación también puede contener al menos un elemento adicional seleccionado de Fe en una cantidad de 0,4 por ciento en peso o menos, Mn en una cantidad de 0,4 por ciento en peso o menos, Zn en una cantidad de 0,3 por ciento en peso o menos, y una pequeña cantidad de al menos otro elemento, tal como Cr, Ti, Zr y V. La aleación puede fabricarse en un material laminar adecuado en una máquina de colada de correa colando la aleación mientras extrae calor de la aleación a una velocidad que evite la distorsión de corteza de la lámina y la segregación excesiva superficial, al menos hasta que dicha aleación se congela. La aleación puede someterse a un tratamiento térmico en solución, a redisolver las partículas precipitadas y a un proceso de enfriamiento a una velocidad que produzca un revenido T4 y un revenido T8X potencial adecuado para paneles de automóvil.

30 El documento CN 102732760 A1 se refiere a una lámina de aleación de aluminio para una carrocería de vehículo caracterizada por que la composición comprende los siguientes componentes en porcentaje en masa: 0,5-0,8 % en peso de Si, 0,6-1,2 % en peso de Mg, 0,6-1,1 % en peso de Cu, 0,15-0,3 % en peso de Mn, el resto es Al e impurezas traza, en donde las impurezas traza están compuestas de Fe (<0,3 % en peso), Zn (<0,2 % en peso), Ti (<0,1 % en peso) y Cr (<0,2 % en peso) y en donde la relación de masa de Mg a Si está entre 1 y 2. La aleación de aluminio se somete a un tratamiento térmico a una temperatura de tratamiento térmico de 100 °C - 150 °C y un tiempo de tratamiento térmico de 10 minutos a 2 horas.

40 El documento US 6.423.164 B1 se refiere a un método para producir un producto laminar de aleación de aluminio que incluye moldear una plancha o lingote, homogeneizar la plancha fundida y laminar en caliente la plancha homogeneizada para proporcionar un producto de calibre intermedio. La temperatura y otros parámetros operativos del proceso de laminado en caliente se controlan de modo que la temperatura del lingote al comienzo del laminado en caliente se mantenga a una temperatura entre 925 °F (496 °C) y 1025 °F (552 °C), y la temperatura del producto de calibre intermedio que sale de la etapa de laminado en caliente esté entre 500 °F (260 °C) y 600 °F (316 °C). El producto de calibre intermedio se somete a una reducción en frío de 45 % a 70 %, recocido, y laminado en frío hasta el calibre final. La combinación de controlar el laminado en caliente para proporcionar la temperatura de entrada de la línea caliente deseada y la temperatura de salida deseada del producto de calibre intermedio y el recocido antes del laminado en frío al calibre final minimiza o elimina la aparición de defectos de líneas estriadas en el producto de lámina de aluminio cuando el producto se somete a un esfuerzo adicional en una operación de formación. Se produce un producto laminar de aleación de aluminio mejorado que tiene un acabado superficial adecuado para su uso en componentes de automoción mientras se mantiene una alta resistencia.

## Sumario

55 Las realizaciones cubiertas de la invención están definidas por 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 adicionalmente en la sección Descripción detallada a continuación. Este sumario no pretende identificar características clave o esenciales del tema reivindicado, ni está destinado a usarse de forma aislada para determinar el alcance del tema reivindicado. El tema debe entenderse por referencia a las partes apropiadas de toda la memoria descriptiva, todos y cada uno de los dibujos y cada reivindicación.

60 La presente invención resuelve los problemas de la técnica anterior y proporciona láminas de aluminio para automóvil que tienen muy buena formabilidad en el revenido T4 y tenacidad y ductilidad particularmente altas en los revenidos de alta resistencia, tales como revenidos T6, T8, y T9. La ductilidad y tenacidad es tal que la aleación puede remacharse en estos revenidos de alta resistencia y posee excelentes propiedades de ductilidad y tenacidad para su servicio previsto. La capacidad de remachar con éxito el material en estos revenidos de alta resistencia, que generalmente es también la condición de revenido de servicio, es por sí sola una prueba severa de tenacidad y

ductilidad del material, ya que la operación de remache somete al material a una tensión muy alta y un proceso de deformación por tensión. Además, la presente invención proporciona un proceso para preparar las láminas de aluminio para automóvil. Como ejemplo no limitante, el proceso de la presente invención tiene una aplicación particular en la industria de automoción.

5 En diferentes realizaciones, las aleaciones de la presente invención pueden usarse para fabricar productos en forma de extrusiones, placas, láminas, y forjados.

10 Otros objetos y ventajas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de las realizaciones de la invención.

**Breve descripción de las figuras**

15 La Figura 1 es una representación esquemática de las velocidades de calentamiento empleadas en asociación con el Ejemplo 1.

La Figura 2 es un gráfico que representa la densidad numérica, porcentaje de área y tamaño promedio de dispersoides producidos por diferentes prácticas de homogeneización.

20 La Figura 3 es un gráfico que representa el tamaño medio y la fracción de área dividida por el radio ( $f/r$ ) de los dispersoides producidos por diferentes prácticas de homogeneización.

25 La Figura 4 es un gráfico que muestra la frecuencia y el área de los dispersoides producidos por la homogeneización a 570 °C durante 8 horas (barra de histograma izquierda en cada conjunto), a 570 °C durante 4 horas (barra de histograma central en cada conjunto), y mediante una práctica de dos pasos de 560 °C durante 6 horas y luego a 540 °C durante 2 horas (barra de histograma derecho en cada conjunto).

30 La Figura 5 es un gráfico que muestra la frecuencia y el área de los dispersoides producidos por la homogeneización a 550 °C durante 8 horas (barra de histograma izquierda en cada conjunto), a 550 °C durante 4 horas (barra de histograma central en cada conjunto), y mediante una práctica de dos pasos de 560 °C durante 6 horas y luego a 540 °C durante 2 horas (barra de histograma derecho en cada conjunto).

35 La Figura 6 es un gráfico que muestra la frecuencia y el área de los dispersoides producidos por la homogeneización a 530 °C durante 8 horas (barra de histograma izquierda en cada conjunto), a 530 °C durante 4 horas (barra de histograma central en cada conjunto), y mediante una práctica de dos pasos de 560 °C durante 6 horas y luego a 540 °C durante 2 horas (barra de histograma derecho en cada conjunto).

La Figura 7A es un mapa composicional de los lingotes moldeados.

40 La Figura 7B es un mapa de composición de los lingotes después de una etapa de homogeneización a 530 °C durante 4 horas.

La Figura 7C es un mapa de composición de los lingotes después de una etapa de homogeneización a 530 °C durante 8 horas.

45 La Figura 8 es una representación esquemática del límite elástico (MPa) y la relación  $r/t$  de las aleaciones x615 y x616 en revenido T82 a varias temperaturas de tratamiento térmico de solución (SHT). x615 tiene un intervalo de temperatura SHT más amplio que x616 para obtener valores de  $r/t$  por debajo de 0,4. También se muestran los valores mínimos de límite elástico T82 y la relación  $r/t$  máxima.

50 La Figura 9 es una representación esquemática de una gráfica de efectos principales para el gráfico  $r/t$  medio donde la relación  $r/t$  es el eje vertical y la cantidad es el eje horizontal (más Mg - menor  $r/t$ ; menos Si - menor  $r/t$ ). Este gráfico de efectos es el resultado de un ensayo industrial de 32 lingotes por el cual el Cu, los contenidos de Mg y Si junto con los parámetros de 2 líneas se examinaron sistemáticamente mediante un ensayo DOE (Diseño de Experimento). Los detalles de esta prueba se resumen en los Ejemplos y con las figuras que se acompañan.

La Figura 10 es una representación esquemática de las condiciones de prueba descritas en el Ejemplo 4.

60 La Figura 11 es una representación esquemática de los resultados de la prueba de resistencia al corte final para aleaciones x615 (barra de histograma izquierda en cada conjunto) y x616 (barra de histograma derecha en cada conjunto) en T4, revenidos T81 y T82.

65 La Figura 12A es una curva de desplazamiento de carga axial para muestras de aplastamiento preparadas a partir de aleación x615 en T4, revenidos T81, y T2 y aleación 5754 en revenido O. La Figura 12B es un gráfico que muestra la energía absorbida por unidad de desplazamiento para muestras de aplastamiento preparadas a partir de aleación x615 en T4, revenidos T81, y T2 y aleación 5754 en revenido O. La Figura 12C es un gráfico

que muestra el aumento de la energía absorbida por unidad de desplazamiento para muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación x615 en T4, revenidos T81, y T2 y aleación 5754 en revenido O. La Figura 12D es una imagen de las muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación x615 y la aleación 5754.

5 La Figura 13A es una imagen de muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación x615 en el revenido T81 y el revenido T82. La Figura 13B contiene imágenes de muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación 6111 en el revenido T81 y el revenido T82 (etiquetado como "revenido T6x").

10 La Figura 14 contiene gráficos que muestran el alargamiento uniforme (gráfico superior izquierdo), alargamiento total (gráfico inferior izquierdo), límite elástico (gráfico superior derecho) y máxima resistencia a la tracción (gráfico inferior derecho) para el material x615 después de recalentar la solución de material tratado con calor x615 a 65 °C, 100 °C o 130 °C.

15 La Figura 15A es una curva de desplazamiento de carga axial para muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación x615 después de recalentar la solución de material tratado con calor x615 a 65 °C, 100 °C o 130 °C. La Figura 15B es un gráfico que muestra la energía absorbida por unidad de desplazamiento para muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación x615 después de recalentar la solución de material tratado con calor x615 a 65 °C, 100 °C o 130 °C. La Figura 15C es un gráfico que muestra el aumento de la energía absorbida por unidad de desplazamiento para las muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación x615 después de recalentar la solución de material tratado con calor x615 a 65 °C, 100 °C o 130 °C. La Figura 15D es una imagen de las muestras de aplastamiento preparadas a partir de la aleación x615 después de recalentar la solución de material tratado con calor x615 a 65 °C, 100 °C o 130 °C.

#### 25 Descripción detallada

La presente invención proporciona nuevas láminas de aluminio para automóviles que se pueden remachar mientras se cumplen los requisitos de ductilidad y tenacidad durante un evento de choque. Además, la presente invención proporciona un proceso para preparar las láminas de aluminio para automóvil.

30 Las nuevas láminas de aluminio para automóviles de la presente invención se preparan mediante un proceso novedoso para garantizar que: 1) el contenido de aleación de aluminio minimiza las fases solubles de la solución según los requisitos de resistencia y tenacidad, 2) la aleación contiene suficientes dispersoides para reducir la localización de deformación y distribuir uniformemente la deformación, y 3) las fases insolubles se ajustan al nivel apropiado para ser coherentes con el logro del tamaño de grano y la morfología objetivo en aplicaciones industriales automotrices.

#### Definiciones y descripciones:

40 Como se usa en este documento, los términos "invención" "la invención", "esta invención" y "la presente invención" pretenden referirse ampliamente a todo el tema de esta solicitud de patente y las reivindicaciones a continuación. Debe entenderse que las declaraciones que contienen estos términos no limitan el tema descrito en este documento ni limitan el significado o el alcance de las reivindicaciones de patente a continuación.

45 En esta descripción, se hace referencia a aleaciones identificadas por números AA y otras designaciones relacionadas, tales como "serie" o "6xxx". Para comprender el sistema de designación de números más comúnmente utilizado para nombrar e identificar aluminio y sus aleaciones, consulte "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminum and Wrought Aluminum Alloys" o "Registration Record of Aluminum Association Alloy Designations and Chemical Compositions Limits for Aluminum Alloys in the Form of Castings and Ingot", ambos publicados por The Aluminum Association.

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

55 En las siguientes realizaciones, 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 de 0,1 % para todas las impurezas.

#### Láminas de aluminio

60 Las láminas de aluminio descritas en este documento pueden prepararse a partir de aleaciones tratables térmicamente. En este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

Componente	Intervalo (% en peso)
Cu	0,40-0,80

(continuación)

Componente	Intervalo (% en peso)
Fe	0-0,40
Mg	0,40-0,90
Mn	0-0,40
Si	0,40-0,70
Ti	0-0,20
Zn	0-0,10
Cr	0-0,20
Pb	0-0,01
Be	0-0,001
Ca	0-0,008
Cd	0-0,04
Li	0-0,003
Na	0-0,003
Zr	0-0,2
Sc	0-0,2
V	0-0,2
Impurezas de elementos traza	0-0,10
Aluminio	Resto

- 5 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye cobre (Cu) en una cantidad de 0,40 % a 0,65 % (por ejemplo, de 0,45 % a 0,65 %, de 0,50 % a 0,60 %, de 0,51 % a 0,59 %, o de 0,50 % a 0,54 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,40 %, 0,41 %, 0,42 %, 0,43 %, 0,44 %, 0,45 %, 0,46 %, 0,47 %, 0,48 %, 0,49 %, 0,50 %, 0,51 %, 0,52 %, 0,53 %, 0,54 %, 0,55 %, 0,56 %, 0,57 %, 0,58 %, 0,59 %, 0,60 %, 0,61 %, 0,62 %, 0,63 %, 0,64 %, o 0,65 % de Cu. Todo expresado en % en peso.
- 10 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye hierro (Fe) en una cantidad de 0 % a 0,4 % (por ejemplo, de 0,1 % a 0,35 %, de 0,1 % a 0,3 %, de 0,22 % a 0,26 %, de 0,17 % a 0,23 %, o de 0,18 % a 0,22 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 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 %, 0,20 %, 0,21 %, 0,22 %, 0,23 %, 0,24 %, 0,25 %, 0,26 %, 0,27 %, 0,28 %, 0,29 %, 0,30 %, 0,31 %, 0,32 %, 0,33 %, 0,34 %, 0,35 %, 0,36 %, 0,37 %, 0,38 %, 0,39 %, o 0,40 % de Fe. Todo expresado en % en peso.
- 15
- 20 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye magnesio (Mg) en una cantidad de 0,66 % a 0,74 % basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,66 %, 0,67 %, 0,68 %, 0,69 %, 0,70 %, 0,71 %, 0,72 %, 0,73 % o 0,74 % de Mg. Todo expresado en % en peso.
- 25 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye manganeso (Mn) en una cantidad de 0 % a 0,4 % (por ejemplo, de 0,01 % a 0,4 %, de 0,1 % a 0,35 %, de 0,15 % a 0,35 %, de 0,18 % a 0,22 %, de 0,10 % a 0,15 %, de 0,28 % a 0,32 %, o de 0,23 % a 0,27 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 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 %, 0,20 %, 0,21 %, 0,22 %, 0,23 %, 0,24 %, 0,25 %, 0,26 %, 0,27 %, 0,28 %, 0,29 %, 0,30 %, 0,31 %, 0,32 %, 0,33 %, 0,34 %, 0,35 %, 0,36 %, 0,37 %, 0,38 %, 0,39 %, o 0,40 % de Mn. Todo expresado en % en peso.
- 30
- 35 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye silicio (Si) en una cantidad de 0,40 % a 0,70 % (por ejemplo, de 0,45 % a 0,65 %, de 0,57 % a 0,63 %, de 0,55 % a 0,6 %, o de 0,52 % a 0,58 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,40 %, 0,41 %, 0,42 %, 0,43 %, 0,44 %, 0,45 %, 0,46 %, 0,47 %, 0,48 %, 0,49 %, 0,50 %, 0,51 %, 0,52 %, 0,53 %, 0,54 %, 0,55 %, 0,56 %, 0,57 %, 0,58 %, 0,59 %, 0,60 %, 0,61 %, 0,62 %, 0,63 %, 0,64 %, 0,65 %, 0,66 %, 0,67 %, 0,68 %, 0,69 % o 0,70 % de Si. Todo expresado en % en peso.
- 40 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye titanio (Ti) en una cantidad de 0 % a 0,2 % (por ejemplo, de 0,05 % a 0,15 %, de 0,05 % a 0,12 %, o de 0 % a 0,08 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 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 Ti. En algunas realizaciones, Ti no está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.
- 45 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye zinc (Zn) en una cantidad de 0 % a 0,1 % (por ejemplo, de 0,01 % a 0,1 % o de 0 % a 0,05 %) basado en el peso total de la

aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 0,05 %, 0,06 %, 0,07 %, 0,08 %, 0,09 %, o 0,10 % de Zn. En algunas realizaciones, Zn no está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.

5 En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye cromo (Cr) en una cantidad de 0 % a 0,2 % (por ejemplo, de 0,02 % a 0,18 %, de 0,02 % a 0,14 %, de 0,06 % a 0,1 %, de 0,03 % a 0,08 %, o de 0,10 % a 0,14 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 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 Cr. En algunas realizaciones, Cr no está presente en  
10 la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye plomo (Pb) en una cantidad de 0 % a 0,01 % (por ejemplo, de 0 % a 0,007 % o de 0 % a 0,005 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,001 %, 0,002 %, 0,003 %, 0,004 %, 0,005 %, 0,006 %, 0,007 %, 0,008 %, 0,009 %, o 0,010 % de Pb. En algunas realizaciones, Pb no está presente en la aleación (es decir, 0 %).  
15 Todo expresado en % en peso.

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye berilio (Be) en una cantidad de 0 % a 0,001 % (por ejemplo, de 0 % a 0,0005 %, de 0 % a 0,0003 %, o de 0 % a 0,0001 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,0001 %, 0,0002 %, 0,0003 %, 0,0004 %, 0,0005 %, 0,0006 %, 0,0007 %, 0,0008 %, 0,0009 %, o 0,0010 % de Be. En algunas realizaciones, Be no  
20 está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye calcio (Ca) en una cantidad de 0 % a 0,008 % (por ejemplo, de 0 % a 0,004 %, de 0 % a 0,001 %, o de 0 % a 0,0008 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,0001 %, 0,0002 %, 0,0003 %, 0,0004 %, 0,0005 %, 0,0006 %, 0,0007 %, 0,0008 %, 0,0009 %, 0,001 %, 0,002 %, 0,003 %, 0,004 %, 0,005 %, 0,006 %, 0,007 %, o 0,008 % de Ca. En algunas realizaciones, Ca no está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado  
25 en % en peso.

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye cadmio (Cd) en una cantidad de 0 % a 0,04 % (por ejemplo, de 0 % a 0,01 %, de 0 % a 0,008 %, o de 0 % a 0,004 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,001 %, 0,002 %, 0,003 %, 0,004 %, 0,005 %, 0,006 %, 0,007 %, 0,008 %, 0,009 %, 0,010 %, 0,011 %, 0,012 %, 0,013 %, 0,014 %, 0,015 %, 0,016 %, 0,017 %, 0,018 %, 0,019 %, 0,020 %, 0,021 %, 0,022 %, 0,023 %, 0,024 %, 0,025 %, 0,026 %, 0,027 %, 0,028 %, 0,029 %, 0,030 %, 0,031 %, 0,032 %, 0,033 %, 0,034 %, 0,035 %, 0,036 %, 0,037 %, 0,038 %, 0,039 % o 0,040 %  
30 de Cd. En algunas realizaciones, Cd no está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye litio (Li) en una cantidad de 0 % a 0,003 % (por ejemplo, de 0 % a 0,001 %, de 0 % a 0,0008 %, o de 0 % a 0,0003 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,0001 %, 0,0002 %, 0,0003 %, 0,0004 %, 0,0005 %, 0,0006 %, 0,0007 %, 0,0008 %, 0,0009 %, 0,0010 %, 0,0011 %, 0,0012 %, 0,0013 %, 0,0014 %, 0,0015 %, 0,0016 %, 0,0017 %, 0,0018 %, 0,0019 %, 0,0020 %, 0,0021 %, 0,0022 %, 0,0023 %, 0,0024 %, 0,0025 %, 0,0026 %, 0,0027 %, 0,0028 %, 0,0029 %, o 0,0030 % de Li. En algunas realizaciones, Li no está  
35 presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye sodio (Na) en una cantidad de 0 % a 0,003 % (por ejemplo, de 0 % a 0,001 %, de 0 % a 0,0008 %, o de 0 % a 0,0003 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,0001 %, 0,0002 %, 0,0003 %, 0,0004 %, 0,0005 %, 0,0006 %, 0,0007 %, 0,0008 %, 0,0009 %, 0,0010 %, 0,0011 %, 0,0012 %, 0,0013 %, 0,0014 %, 0,0015 %, 0,0016 %, 0,0017 %, 0,0018 %, 0,0019 %, 0,0020 %, 0,0021 %, 0,0022 %, 0,0023 %, 0,0024 %, 0,0025 %, 0,0026 %, 0,0027 %, 0,0028 %, 0,0029 %, o 0,0030 % de Na. En algunas realizaciones, Na no  
40 está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye circonio (Zr) en una cantidad de 0 % a 0,2 % (por ejemplo, de 0,01 % a 0,2 % o de 0,05 % a 0,1 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 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 Zr. En algunas realizaciones, Zr no está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.  
45

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye escandio (Sc) en una cantidad de 0 % a 0,2 % (por ejemplo, de 0,01 % a 0,2 % o de 0,05 % a 0,1 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 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 Sc. En algunas realizaciones, Sc no está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.  
50  
55  
60  
65

## ES 2 793 021 T3

En algunas realizaciones, la aleación tratable térmicamente como se describe en este documento incluye vanadio (V) en una cantidad de 0 % a 0,2 % (por ejemplo, de 0,01 % a 0,2 % o de 0,05 % a 0,1 %) basado en el peso total de la aleación. Por ejemplo, la aleación puede incluir 0,01 %, 0,02 %, 0,03 %, 0,04 %, 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 V. En algunas realizaciones, V no está presente en la aleación (es decir, 0 %). Todo expresado en % en peso.

5

En diversas realizaciones, los subintervalos de los intervalos mostrados en la composición anterior se usan para hacer las aleaciones de la presente invención. En este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

10

Componente	Intervalo (% en peso)
Cu	0,45-0,75
Fe	0,1-0,35
Mg	0,45-0,85
Mn	0,1-0,35
Si	0,45-0,65
Ti	0,05-0,15
Zn	0-0,1
Cr	0,02-0,18
Pb	0-0,007
Be	0-0,0005
Ca	0-0,004
Cd	0-0,01
Li	0-0,001
Na	0-0,001
Zr	0-0,2
Sc	0-0,2
V	0-0,2
Impurezas de elementos traza	0-0,1
Aluminio	Resto

Además, en este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

15

Componente	Intervalo (% en peso)
Cu	0,45-0,65
Fe	0,1-0,3
Mg	0,5-0,8
Mn	0,15-0,35
Si	0,45-0,65
Ti	0,05-0,12
Zn	0-0,1
Cr	0,02-0,14
Pb	0-0,007
Be	0-0,0003
Ca	0-0,001
Cd	0-0,008
Li	0-0,0008
Na	0-0,0008
Zr	0-0,2
Sc	0-0,2
V	0-0,2
Impurezas de elementos traza	0-0,1
Aluminio	Resto

En una realización, la lámina de aluminio para automóvil es una aleación tratable térmicamente, denominada "x615" en esta solicitud, de la siguiente composición:

20

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,51-0,59	0,55
Fe	0,22-0,26	0,24
Mg	0,66-0,74	0,70
Mn	0,18-0,22	0,20
Si	0,57-0,63	0,60
Ti	0-0,08	
Zn	0-0,1	
Cr	0,06-0,1	0,08
Pb	0-0,005	
Be	0-0,0001	
Ca	0-0,0008	
Cd	0-0,004	
Li	0-0,0003	
Na	0-0,0003	
Zr	0-0,2	
Sc	0-0,2	
V	0-0,2	
Impurezas de elementos traza	0-0,1	
Aluminio	Resto	Resto

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si	0-0,70	0,478
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)	0-1,50	1,1046
Exceso Si	0-0,10	0,0734
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)	0-1,50	1,281
Exceso Si	-0,20-0	-0,103

Los cálculos de exceso de silicio que se muestra en la tabla anterior y en las tablas posteriores se realizaron según el método de la Patente de Estados Unidos n.º 4.614.552, col. 4, líneas 49-52. El exceso de Si en la tercera fila es para el Mg<sub>2</sub>Si en la segunda fila de superior. El exceso de Si en la quinta fila es para el MgSi en la cuarta fila superior.

Para las aleaciones tratables térmicamente 6xxx, los elementos solutos que contribuyen a la resistencia al endurecimiento por envejecimiento incluyen Cu, Mg y Si. La tabla anterior se refiere a la capacidad del Mg y el Si para combinarse para formar "Mg<sub>2</sub>Si".

Los límites reales de tolerancia de la composición química interna y las condiciones de procesamiento CASH son capaces de producir material x615 con propiedades mecánicas y propiedades de flexibilidad dentro de los límites de especificación deseados. La evaluación verifica que tenemos una ventana de proceso robusta en la línea CASH. Las variaciones en la composición química tienen el mayor impacto en las propiedades mecánicas y el rendimiento de la capacidad de flexión. Cu, Si y Mg aumentan el límite elástico T4 (YS), resistencia a la tracción final T4 (UTS) y T82 YS. Cu influye en los valores de resistencia T4, pero el impacto sobre la capacidad de flexión es pequeño. El aumento de Mg parece dar una mejor capacidad de flexión. La variable única más fuerte es Si: un Si más bajo proporciona una mejor capacidad de flexión y una menor diferencia entre los límites elásticos T81 y T4, es decir, ΔYS (T81 - T4) (véase Figura 9 y ejemplo).

En una realización adicional, la lámina de aluminio para automóvil es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,51-0,59	0,55
Fe	0,22-0,26	0,24
Mg	0,66-0,74	0,70
Mn	0,18-0,22	0,20
Si	0,55-0,6	0,60
Ti	0-0,08	
Zn	0-0,1	
Cr	0,06-0,1	0,08
Pb	0-0,005	

(continuación)

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Be	0-0,0001	
Ca	0-0,0008	
Cd	0-0,004	
Li	0-0,0003	
Na	0-0,0003	
Zr	0-0,2	
Sc	0-0,2	
V	0-0,2	
Impurezas de elementos traza	0-0,1	
Aluminio	Resto	Resto

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si	0-0,70	0,478
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)	0-1,50	1,1046
Exceso Si	0-0,10	0,0734
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)	0-1,50	1,281
Exceso Si	-0,20-0	-0,103

En este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

5

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,50-0,54	0,52
Fe	0,22-0,26	0,24
Mg	0,71-0,79	0,75
Mn	0,18-0,22	0,20
Si	0,52-0,58	0,55
Ti	0-0,08	
Zn	0-0,05	
Cr	0,03-0,08	0,04
Pb	0-0,005	
Be	0-0,0001	
Ca	0-0,0008	
Cd	0-0,004	
Li	0-0,0003	
Na	0-0,0003	
Zr	0-0,2	
Sc	0-0,2	
V	0-0,2	
Impurezas de elementos traza	0-0,1	
Aluminio	Resto	Resto

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si	0-0,70	0,428
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)	0-1,50	1,1835
Exceso Si	-0,01-0	-0,0055
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)	0-1,50	1,3725
Exceso Si	-0,30-0	-0,1945

Además, en este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

10

ES 2 793 021 T3

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,50-0,54	0,52
Fe	0,22-0,26	0,24
Mg	0,71-0,79	0,75
Mn	0,18-0,22	0,20
Si	0,52-0,58	0,55
Ti	0-0,08	
Zn	0-0,05	
Cr	0,10-0,14	0,12
Pb	0-0,005	
Be	0-0,0001	
Ca	0-0,0008	
Cd	0-0,004	
Li	0-0,0003	
Na	0-0,0003	
Zr	0-0,2	
Sc	0-0,2	
V	0-0,2	
Impurezas de elementos traza	0-0,1	
Aluminio	Resto	Resto

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si	0-0,70	0,428
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)	0-1,50	1,1835
Exceso Si	-0,01-0	-0,0055
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)	0-1,50	1,3725
Exceso Si	-0,30-0	-0,1945

Además, en este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

5

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,50-0,54	0,52
Fe	0,22-0,26	0,24
Mg	0,71-0,79	0,75
Mn	0,28-0,32	0,30
Si	0,52-0,58	0,55
Ti	0-0,08	
Zn	0-0,05	
Cr	0,03-0,08	0,04
Pb	0-0,005	
Be	0-0,0001	
Ca	0-0,0008	
Cd	0-0,004	
Li	0-0,0003	
Na	0-0,0003	
Zr	0-0,2	
Sc	0-0,2	
V	0-0,2	
Impurezas de elementos traza	0-0,1	

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Aluminio	Resto	Resto

ES 2 793 021 T3

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si	0-0,70	0,403
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)	0-1,50	1,1835
Exceso Si	-0,05-0	-0,0305
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)	0-1,50	1,3725
Exceso Si	-0,30-0	-0,2195

5 En este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,50-0,54	0,52
Fe	0,22-0,26	0,24
Mg	0,71-0,79	0,75
Mn	0,28-0,32	0,30
Si	0,52-0,58	0,55
Ti	0-0,08	
Zn	0-0,05	
Cr	0,10-0,14	0,12
Pb	0-0,005	
Be	0-0,0001	
Ca	0-0,0008	
Cd	0-0,004	
Li	0-0,0003	
Na	0-0,0003	
Zr	0-0,2	
Sc	0-0,2	
V	0-0,2	
Impurezas de elementos traza	0-0,1	
Aluminio	Resto	Resto

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si	0-0,70	0,403
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)	0-1,50	1,1835
Exceso Si	-0,05-0	-0,0305
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)	0-1,50	1,3725
Exceso Si	-0,30-0	-0,2195

10 En este documento se describe una lámina de aluminio para automóvil, que es una aleación tratable térmicamente de la siguiente composición:

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,68-0,72	0,70
Fe	0,18-0,22	0,20
Mg	0,66-0,74	0,70
Mn	0,23-0,27	0,25
Si	0,57-0,63	0,60
Ti	0-0,08	
Zn	0-0,05	
Cr	0,06-0,10	0,08
Pb	0-0,005	
Be	0-0,0001	
Ca	0-0,0008	
Cd	0-0,004	
Li	0-0,0003	
Na	0-0,0003	
Zr	0-0,2	
Sc	0-0,2	
V	0-0,2	
Impurezas de elementos traza	0-0,1	
Aluminio	Resto	Resto

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si	0-0,70	0,4775
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)	0-1,50	1,1046
Exceso Si	0-0,10	0,0729
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)	0-1,50	1,281
Exceso Si	-0,30-0	-0,1035

#### Resistencia de servicio:

- 5 La lámina de aluminio de la presente invención puede tener una resistencia de servicio (resistencia en el vehículo) de al menos 250 MPa. En algunas realizaciones, la resistencia de servicio es al menos 260 MPa, al menos 270 MPa, al menos 280 MPa, o al menos 290 MPa. Preferentemente, la resistencia de servicio es 290 MPa. La lámina de aluminio de la presente invención abarca cualquier resistencia de servicio que tenga suficiente ductilidad o tenacidad para cumplir con una capacidad de flexión  $r/t$  de 0,8 o menos. Preferentemente, la capacidad de flexión de  $r/t$  es 0,4 o menos.

Las propiedades mecánicas de la lámina de aluminio están controladas por diversas condiciones de envejecimiento según el uso deseado. En algunas realizaciones, las láminas descritas en este documento se pueden suministrar a los clientes en un revenido T4, un revenido T6, un revenido T8, un revenido T9, un revenido T81, o un revenido T82, por ejemplo. Las láminas T4, que se refieren a láminas que son solución tratada térmicamente y envejecidas naturalmente, pueden suministrarse a los clientes. Estas láminas T4 pueden someterse opcionalmente a tratamientos de envejecimiento adicionales para cumplir con los requisitos de resistencia una vez que los clientes las reciben. Por ejemplo, las láminas pueden suministrarse en otros revenidos, tales como revenidos T6, T8 T81 T82, y T9, sometiendo la lámina T4 al tratamiento térmico en solución apropiado y/o tratamiento de envejecimiento como conocen los expertos en la materia.

En algunas realizaciones, las láminas se pueden colar previamente a 2 % y calentar a 185 °C durante 20 minutos

para lograr un revenido T81. Tales láminas de revenido T81 pueden mostrar, por ejemplo, un límite elástico de 250 MPa.

#### Control de microestructura de dispersoide:

5 Las aleaciones descritas en este documento tienen dispersoides que se forman durante el tratamiento de  
homogeneización. El tamaño promedio de los dispersoides puede ser de aproximadamente  $0,008 \mu\text{m}^2$  a  
aproximadamente  $2 \mu\text{m}^2$ . Por ejemplo, el tamaño promedio de los dispersoides puede ser de aproximadamente  
10  $0,008 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,009 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,01 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,011 \mu\text{m}^2$ ,  
 $0,012 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,013 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,014 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,015 \mu\text{m}^2$ ,  
aproximadamente  $0,016 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,017 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,018 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  
aproximadamente  $0,019 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,02 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,05 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,10 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  
aproximadamente  $0,20 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,30 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,40 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,50 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  
15  $0,60 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,70 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,80 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $0,90 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $1 \mu\text{m}^2$ ,  
aproximadamente  $1,1 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $1,2 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $1,3 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $1,4 \mu\text{m}^2$ ,  
aproximadamente  $1,5 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $1,6 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $1,7 \mu\text{m}^2$ , aproximadamente  $1,8 \mu\text{m}^2$ ,  
aproximadamente  $1,9 \mu\text{m}^2$ , o aproximadamente  $2 \mu\text{m}^2$ .

20 Como se describió anteriormente, las aleaciones descritas en este documento están diseñadas para contener un  
número suficiente de dispersoides para reducir la localización de deformación y distribuir uniformemente la  
deformación. El número de partículas dispersoides por  $200 \mu\text{m}^2$  es preferentemente mayor de aproximadamente 500  
partículas, medido por microscopía electrónica de barrido (SEM). Por ejemplo, el número de partículas por  $200 \mu\text{m}^2$   
puede ser mayor de aproximadamente 600 partículas, mayor de aproximadamente 700 partículas, mayor de  
aproximadamente 800 partículas, mayor de aproximadamente 900 partículas, mayor de aproximadamente 1000  
25 partículas, mayor de aproximadamente 1100 partículas, mayor de aproximadamente 1200 partículas, mayor de  
aproximadamente 1300 partículas, mayor de aproximadamente 1400 partículas, mayor de aproximadamente 1500  
partículas, mayor de aproximadamente 1600 partículas, mayor de aproximadamente 1700 partículas, mayor de  
aproximadamente 1800 partículas, mayor de aproximadamente 1900 partículas, mayor de aproximadamente 2000  
partículas, mayor de aproximadamente 2100 partículas, mayor de aproximadamente 2200 partículas, mayor que  
30 aproximadamente 2300 partículas, o mayor que aproximadamente 2400 partículas.

El porcentaje de área de los dispersoides puede variar de aproximadamente 0,002 % a 0,01 % de la aleación. Por  
ejemplo, el porcentaje de área de los dispersoides en las aleaciones puede ser aproximadamente 0,002 %,  
aproximadamente 0,003 %, aproximadamente 0,004 %, aproximadamente 0,005 %, aproximadamente 0,006 %,  
35 aproximadamente 0,007 %, aproximadamente 0,008 %, aproximadamente 0,009 %, o aproximadamente 0,010 %.

La fracción de área de los dispersoides puede variar de aproximadamente 0,05 a aproximadamente 0,15. Por  
ejemplo, la fracción de área de los dispersoides puede ser de aproximadamente 0,06 a aproximadamente 0,14, de  
aproximadamente 0,07 a aproximadamente 0,13, o de 0,08 a aproximadamente 0,12.

40 Como se describe adicionalmente en el Ejemplo 1, las condiciones de homogeneización impactan el tamaño  
promedio, densidad numérica, porcentaje de área y fracción de área de los dispersoides.

#### Proceso:

45 Las aleaciones descritas en este documento se cuelean en lingotes usando un proceso por enfriamiento directo (DC).  
El proceso de colada DC se realiza según los estándares comúnmente utilizados en la industria del aluminio, como  
conoce un experto en la materia. El lingote colado se somete a otros pasos de procesamiento. En las realizaciones,  
los pasos de procesamiento incluyen, pero sin limitación, un paso de homogeneización, un paso de laminado en  
50 caliente, un paso de laminado en frío, un paso de solución de tratamiento térmico, y opcionalmente un tratamiento de  
envejecimiento.

La práctica de homogeneización se selecciona para tener primero una velocidad de calentamiento que promueva la  
formación de un contenido dispersoide fino. Los dispersoides, Cr y/o Mn, precipitan (ppt) durante la parte de  
55 calentamiento del ciclo de homogeneización. Las temperaturas máximas y tiempos del ciclo de homogeneización se  
seleccionan para proporcionar una homogeneización muy completa de las fases solubles. En algunas realizaciones  
de 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 aproximadamente  $500 \text{ }^\circ\text{C}$   
(por ejemplo, al menos  $530 \text{ }^\circ\text{C}$ , al menos  $540 \text{ }^\circ\text{C}$ , al menos  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ , al menos  $560 \text{ }^\circ\text{C}$ , o al menos  $570 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Por  
60 ejemplo, el lingote se puede calentar a una temperatura de aproximadamente  $505 \text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $580 \text{ }^\circ\text{C}$ , de  
aproximadamente  $510 \text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $575 \text{ }^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $515 \text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $570 \text{ }^\circ\text{C}$ , de  
aproximadamente  $520 \text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $565 \text{ }^\circ\text{C}$ , de aproximadamente  $525 \text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $560 \text{ }^\circ\text{C}$ , de  
aproximadamente  $530 \text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $555 \text{ }^\circ\text{C}$ , o de aproximadamente  $535 \text{ }^\circ\text{C}$  a aproximadamente  $560 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
La velocidad de calentamiento hasta la temperatura máxima del metal puede ser de  $100 \text{ }^\circ\text{C/hora}$  o menos,  $75$   
65  $^\circ\text{C/hora}$  o menos, o  $50 \text{ }^\circ\text{C/hora}$  o menos. Opcionalmente, se puede utilizar una combinación de velocidades de  
calentamiento. Por ejemplo, el lingote se puede calentar a una primera temperatura de aproximadamente  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  a

aproximadamente 300 °C (por ejemplo, aproximadamente 210 °C, 220 °C, 230 °C, 240 °C, 250 °C, 260 °C, 270 °C, 280 °C, 290 °C, o 300 °C) a una velocidad de aproximadamente 100 °C/hora o menos (por ejemplo, 90 °C/hora o menos, 80 °C/hora o menos, o 70 °C/hora o menos). La velocidad de calentamiento se puede disminuir hasta alcanzar una segunda temperatura más alta que la primera temperatura. La segunda temperatura puede ser, por ejemplo, al menos aproximadamente 475 °C (por ejemplo, al menos 480 °C, al menos 490 °C, o al menos 500 °C). La velocidad de calentamiento desde la primera temperatura hasta la segunda temperatura puede ser de aproximadamente 80 °C/hora o menos (por ejemplo, 75 °C/hora o menos, 70 °C/hora o menos, 65 °C/hora o menos, 60 °C/hora o menos, 55 °C/hora o menos, o 50 °C/hora o menos). La temperatura se puede aumentar hasta la temperatura máxima del metal, como se describió anteriormente, calentando a una velocidad de aproximadamente 60 °C/hora o menos (por ejemplo, 55 °C/hora o menos, 50 °C/hora o menos, 45 °C/hora o menos, o 40 °C/hora o menos). El lingote se deja después en remojo (es decir, se mantiene a la temperatura indicada) durante un período de tiempo. En algunas realizaciones, el lingote se deja en remojo hasta 15 horas (por ejemplo, de 30 minutos a 15 horas, inclusive). Por ejemplo, el lingote se puede remojar a una temperatura de al menos 500 °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.

En algunas realizaciones, El paso de homogeneización descrito en este documento puede ser un proceso de homogeneización de dos etapas. En estas realizaciones, el proceso de homogeneización puede incluir los pasos de calentamiento y remojo descritos anteriormente, que puede denominarse la primera etapa, y puede incluir además una segunda etapa. En la segunda etapa del proceso de homogeneización, la temperatura del lingote se cambia a una temperatura más alta o más baja que la temperatura utilizada para la primera etapa del proceso de homogeneización. Por ejemplo, la temperatura del lingote puede disminuirse a una temperatura inferior a la temperatura utilizada para la primera etapa del proceso de homogeneización. En estas realizaciones de la segunda etapa del proceso de homogeneización, la temperatura del lingote se puede disminuir a una temperatura de al menos 5 °C inferior que la temperatura utilizada para el proceso de homogeneización de la primera etapa (por ejemplo, al menos 10 °C inferior, al menos 15 °C inferior, o al menos 20 °C inferior). El lingote se deja en remojo después durante un período de tiempo durante la segunda etapa. En algunas realizaciones, el lingote se deja en remojo hasta 5 horas (por ejemplo, de 30 minutos a 5 horas, inclusive). Por ejemplo, el lingote se puede remojar a una temperatura de al menos 455 °C durante 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 3 horas, 4 horas, o 5 horas. Después de la homogeneización, el lingote se puede dejar enfriar a temperatura ambiente en el aire.

Al final del paso de homogeneización, se realiza un paso de laminado en caliente. Las condiciones de laminado en caliente se seleccionan para retener el contenido de dispersoide producido previamente y para terminar el laminado en caliente con una cantidad mínima de precipitado de las fases de endurecimiento soluble fuera de la solución, y por debajo de la temperatura de recristalización. El paso de laminado en caliente puede incluir una operación de molienda de inversión en caliente y/o una operación de molienda en tándem en caliente. La etapa de laminado en caliente se puede realizar a una temperatura que varía de aproximadamente 250 °C a 530 °C (por ejemplo, de aproximadamente 300 °C a aproximadamente 520 °C, de aproximadamente 325 °C a aproximadamente 500 °C o de aproximadamente 350 °C a aproximadamente 450 °C). En el paso de laminado en caliente, el lingote se puede laminar en caliente a un grosor de 10 mm o menos (por ejemplo, de un grosor de 2 mm a 8 mm). Por ejemplo, el lingote puede laminarse en caliente a un grosor de 9 mm o menos, grosor de 8 mm o menos, grosor de 7 mm o menos, grosor de 6 mm o menos, grosor de 5 mm o menos, grosor de 4 mm o menos, grosor de 3 mm o menos, grosor de 2 mm o menos, o grosor de 1 mm o menos.

Siguiendo el paso de laminado en caliente, las bandas calientes laminadas pueden laminarse en frío a una lámina que tiene un grosor final de 1 mm a 4 mm. Por ejemplo, las bandas calientes laminadas pueden laminarse en frío a una lámina que tiene un grosor final de 4 mm, 3 mm, 2 mm o 1 mm. El laminado en frío se puede realizar para dar como resultado una lámina que tiene un grosor final que representa una reducción general de grosor de 20 %, 50 %, 75 %, o más de 75 % utilizando técnicas conocidas por un experto en la materia.

La lámina laminada en frío se somete a una etapa de tratamiento térmico de solución. La etapa de tratamiento térmico de solución puede incluir calentar la lámina desde la temperatura ambiente hasta una temperatura de 475 °C a 575 °C (por ejemplo, de 480 °C a 570 °C, de 485 °C a 565 °C, de 490 °C a 560 °C, de 495 °C a 555 °C, de 500 °C a 550 °C, de 505 °C a 545 °C, de 510 °C a 540 °C, o de 515 °C a 535 °C). La lámina puede remojar a la temperatura durante un período de tiempo. En algunas realizaciones, la lámina se deja en remojo hasta 60 segundos (por ejemplo, de 0 segundos a 60 segundos, inclusive). Por ejemplo, la lámina se puede remojar a una temperatura de aproximadamente 500 °C a aproximadamente 550 °C durante 5 segundos, 10 segundos, 15 segundos, 20 segundos, 25 segundos, 30 segundos, 35 segundos, 40 segundos, 45 segundos, 50 segundos, 55 segundos, o 60 segundos. El grado de integridad del tratamiento térmico de la solución es crítico. El tratamiento térmico de la solución debe ser suficiente para que los elementos solubles se disuelvan y alcancen las resistencias objetivo durante la práctica del envejecimiento artificial, pero no en exceso, ya que esto disparará sobre los objetivos de resistencia, con la rápida disminución en tenacidad.

La composición debe ajustarse cuidadosamente a las condiciones de tratamiento térmico de solución y a la práctica del envejecimiento artificial. En algunas realizaciones, la temperatura máxima del metal y la duración del remojo (segundos por encima de 510 °C) se seleccionan para producir una resistencia T82 (30 minutos a 225 °C) que no

exceda de 300 MPa YS. El material puede estar ligeramente tratado térmicamente en solución, lo que significa que la mayoría, pero no todas las fases solubles están en solución sólida, con una temperatura máxima del metal que varía de aproximadamente 500-550 °C.

- 5 La lámina se puede enfriar a una temperatura de aproximadamente 25 °C a aproximadamente 50 °C en una etapa de templado. En la etapa de templado, las láminas se templen rápidamente con un líquido (por ejemplo, agua) y/o gas. Las velocidades de templado pueden ser de 100 °C/seg a 450 °C/seg, medido en el intervalo de temperatura de 450 °C a 250 °C. Se prefieren las velocidades de templado más altas posibles. La velocidad de templado de la temperatura de tratamiento térmico de la solución puede ser superior a 300 °C/seg, para la mayoría de calibres, sobre el intervalo de temperatura de 480 °C a 250 °C.

- 15 La ruta de templado se selecciona para producir el requisito metalúrgico de no precipitar en los límites de grano durante el templado, pero sin la necesidad de un estiramiento significativo para corregir la forma. Estos blancos laminares se forman antes del envejecimiento artificial y, por tanto, deben ser planas con excelentes propiedades de formación. Esto no se lograría si se requieren grandes deformaciones para corregir la forma producida por el templado rápido. El material también tiene propiedades de temperatura ambiente razonablemente estables sin un rápido endurecimiento natural por envejecimiento. En algunas realizaciones, el contenido de Cu está en el valor más bajo posible para minimizar cualquier potencial de corrosión y ser adecuado para sistemas de pintura de automoción, pero lo suficientemente alto como para lograr las propiedades de resistencia y tenacidad objetivo. En algunas realizaciones, Cu es 0,4 % a un nivel mínimo.

Las láminas descritas en este documento también se pueden producir a partir de las aleaciones utilizando un método de colada continuo, como conocen los expertos en la materia.

- 25 Las aleaciones y métodos descritos en este documento pueden usarse en aplicaciones de automoción y/o de transporte, incluido vehículo de motor, aplicaciones de aviones, y ferrocarriles. En algunas realizaciones, las aleaciones y los métodos se pueden utilizar para preparar productos de partes de carrocería de vehículos de motor.

- 30 Los siguientes ejemplos servirán para ilustrar más la presente invención sin, al mismo tiempo, sin embargo, constituir cualquier limitación de la misma. Por el contrario, debe entenderse claramente que se puede recurrir a diversas realizaciones, modificaciones y equivalentes de los mismos que, después de leer la descripción en este documento, pueden sugerirse a los expertos en la materia sin apartarse del espíritu de la invención. Durante los estudios descritos en los siguientes ejemplos, se siguieron procedimientos convencionales, a menos que se indique lo contrario. Algunos procedimientos se describen a continuación con fines ilustrativos.

- 35 Ejemplo 1

*Determinar el impacto de la práctica de homogeneización en la distribución de dispersoides de estructura según se homogeneiza.*

- 40 Temperaturas máximas de metal (PMT) de 530 °C, 550 °C y 570 °C se examinaron a tiempos de remojo de 4 horas, 8 horas y 12 horas para lingotes de aleación x615. Las tasas de calentamiento se muestran en la Figura 1. También se analizó una homogeneización de dos pasos, lo que implicaba calentar los lingotes a 560 °C durante seis horas y luego disminuir la temperatura a 540 °C y permitir que los lingotes se remojen a esta temperatura durante dos horas.

- 45 Para el remojo de 8 horas, la densidad numérica de dispersoides disminuyó con el aumento de la temperatura. Véase la Figura 2. Específicamente, una temperatura de temperatura máxima de metal de 530 °C (PMT) dio la mayor densidad numérica de dispersoides. Véase la Figura 2. Sin quedar unidos a la teoría, dicho efecto puede deberse al engrosamiento. No se descubrió Mg<sub>2</sub>Si durante la investigación de exploración de microscopía electrónica de transmisión (STEM).

- 50 PMT de 530 y 550 °C dieron una densidad numérica de dispersoides similar a la práctica de dos pasos (etiquetada como "560/540" en la Figura 3). Véase la Figura 3. El tamaño promedio más pequeño se logró con PMT de 530 °C y remojo de 4 horas, mientras que la fracción de área más alta se logró con PMT de 530 °C y 8 horas de remojo (dispersoides ligeramente agrandados, así como una mayor densidad numérica). Véase la Figura 3.

- 60 El proceso de dos pasos fue más efectivo que cualquiera de las condiciones de PMT de 570 °C. Véase la Figura 4. El proceso de dos pasos fue similar a las condiciones de PMT de 550 °C. Véase la Figura 5. PMT de 530 °C (en ambos tiempos de remojo) mostró condiciones favorables durante el proceso de dos pasos. Véase la Figura 6. Los mapas de composición mostraron que 530 °C es una temperatura eficaz para eliminar la microsegregación, y la metalografía no reveló ningún Mg<sub>2</sub>Si no disuelto. Véanse las Figuras 7A, 7B, y 7C. Para los lingotes según se cuelean, hubo una superposición significativa entre Si y Mg, que indica Mg<sub>2</sub>Si precipitado. Véase la Figura 7A. Después de la homogeneización a 530 °C durante cuatro horas, algo de Si estaba presente (ver Figura 7B, imagen inferior izquierda); sin embargo, Mg no estaba presente donde Mg<sub>2</sub>Si se esperaría (véase Figura 7B, imagen superior media). Después de homogeneización a 530 °C durante ocho horas, algo de Si estuvo presente en las áreas intermetálicas, al igual que Cu (véase Figura 7C, imagen inferior izquierda e imagen central inferior).

Ejemplo 2

En este ejemplo, aleación x615 se contrasta con aleación x616. La aleación x615 es una composición como se describió anteriormente. La aleación x616 es una aleación tratable térmicamente que tiene la siguiente composición:

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Cu	0,50-0,60	0,55
Fe	0,17-0,23	0,20
Mg	0,56-0,64	0,60
Mn	0,10-0,15	0,12
Si	0,80-0,90	0,85
Ti	0-0,08	0,2
Zn	0-0,05	0
Cr	0-0,2	0
Pb	0-0,005	0
Be	0-0,0001	0
Ca	0-0,0008	0
Cd	0-0,004	0
Li	0-0,0003	0
Na	0-0,0003	0
Zr	0-0,2	0
Sc	0-0,2	0
V	0-0,2	0
Impurezas de elementos traza	0-0,1	
Aluminio	Resto	Resto

Componente	Intervalo (% en peso)	Nominal (% en peso)
Libre Si		0,76
Mg <sub>2</sub> Si (1,73)		0,947
Exceso Si		0,413
Mg <sub>x</sub> Si (1,2)		1,1
Exceso Si		0,26

El material laminado en frío se realizó usando los pasos descritos en este documento. Este material fue tratado térmicamente en solución utilizando equipo de laboratorio en un experimento controlado, por lo que el PMT fue variado y todas las muestras se templaron rápidamente. Los resultados de estos experimentos se muestran en la Figura 8. Aleación x615 exhibe una mejor combinación de resistencia y flexibilidad y es capaz de producir estas propiedades beneficiosas en una gama más amplia de PMT. Debido a las diferencias de velocidad de calentamiento entre la planta y el material SHT de laboratorio, propiedades de material equivalentes ocurren en diferentes PMT, pero el comportamiento combinado de resistencia y r/t es similar.

Ejemplo 3

Para definir más claramente la influencia de Si, contenido de Mg y Cu en las propiedades de la aleación, se realizó un Diseño de Experimento (DOE) utilizando lingotes comerciales, produciendo un producto de lámina final de 3 mm

para pruebas y evaluación. Además dos parámetros de línea, a saber, velocidad de la línea y configuración de la velocidad del ventilador, se examinaron simultáneamente. Estos parámetros de línea influyen en la temperatura máxima del metal (PMT) que experimenta el material durante el tratamiento térmico de solución continua (SHT). Específicamente, DOE general exploró Si en el intervalo de 0,57-0,63, Mg de 0,66 - 0,74, y Cu de 0,51-0,59. Las velocidades de línea y los ventiladores combinados produjeron PMT que oscila entre 524 °C y 542 °C. Dentro de DOE, todas las composiciones y parámetros de línea fueron capaces de alcanzar el objetivo de resistencia T82 de más de 260 MPa, con un intervalo de resistencia de 270-308 MPa en producción. La mayoría de las combinaciones de composición y velocidad de línea produjeron un  $r/t$  menor que 0,4, muchos son menos de 0,35, pero se identificaron 5 bobinas con una relación  $r/t$  superior a 0,4. Es particularmente notable que todas las bobinas con valores de  $r/t > 0,4$  estaban en el límite máximo de Si explorado en este DOE, aunque un contenido de Mg ligeramente mayor puede mejorar algo esta influencia negativa como se detalla en la Figura 9. La conclusión es que se deben evitar las aleaciones de Si de alto exceso y tener una influencia particularmente fuerte en la ductilidad medida por  $r/t$ .

#### 15 Ejemplo 4

##### *Resistencia a cizalladura máxima de x615 y x616*

Las pruebas se realizaron según la designación ASTM B831 - 11: Prueba de corte de productos de aleación delgada de aluminio. Los calibres cubiertos en este estándar son de 6,35 mm de calibre o menos. Los calibres más altos deben mecanizarse hasta 6,35 mm. No hay un calibre mínimo, pero los calibres bajos se doblarán dependiendo de la resistencia. La aleación x615 se probó con un calibre de 3,534 mm en revenido T4, T81 y T82. La aleación x616 se probó con un calibre de 3,571 mm en revenido T4, T81 y T82.

#### 25 Preparación de Muestras

Las muestras fueron mecanizadas por electrodescarga por EDM Technologies, Woodstock, GA. La alineación de 1-4 en la Figura 10, así como el acabado de corte es importante, por tanto, la elección de EDM como método de corte. Los agarres Clevace también se mecanizaron para promover la alineación y la facilidad de montaje de la muestra sin daños. Todas las muestras se analizaron con la dirección de laminado tangencial a la longitud de la muestra.

##### Metodología de ensayo - Procedimiento de ensayo

Este ensayo mide la resistencia de cizalladura final:

35

$$S = \frac{P_{\max}}{A}, \text{ en donde}$$

40  $P_{\max}$  es la fuerza máxima,  $A$  es el área de la zona de cizalladura, 6,4 mm x grosor de muestra en la Figura 10. La tasa de esfuerzo de cizalladura no puede exceder 689 MPa.min<sup>-1</sup>, El método ASTM especifica el informe de la máxima resistencia de cizalladura.

##### Cálculo de energía para fallo

45

La extensión a la carga máxima parece buena al principio, sin embargo, la rotación y la carga inicial del x615 más débil da como resultado una meseta más larga durante las primeras etapas de la prueba. Calcular la energía requerida para causar el fallo permite ignorar este fenómeno de carga inicial al calcular el área bajo la curva de esfuerzo de cizalladura-deformación. La integración numérica se realizó mediante el método trapezoidal. Para el cálculo de la energía hasta el fallo, primero se requieren suficientes puntos de datos de esfuerzo de cizalladura frente a tensión de cizalladura. Con suficientes puntos de datos, se puede proceder a realizar una integración numérica usando un esquema de Newton-Cotes apropiado, por ejemplo, la regla trapezoidal (véase Numerical Methods for Engineers: With Software and Programming Applications, cuarta edición, Steven C. Chapra y Raymond P. Canale, McGraw-Hill 2002). El resultado final es la energía total gastada en julios durante el ensayo.

55

##### Conclusiones

En la primera observación, x615 y x616 mostraron un comportamiento similar durante la carga de cizalladura, aunque en condición T81, x616 tenía una resistencia a cizalladura final mucho más alta. La meseta de carga inicial de x615 y x616 podría atribuirse simplemente debido a la mayor resistencia de x616. La energía para fallo evitó esto, sin embargo, y destacó una diferencia entre x615 y x616. Véase la Figura 11. La aleación x615 tiene un intervalo de temperatura SHT más amplio que x616 para obtener valores de  $r/t$  por debajo de 0,4. Véase la Figura 8.

60

#### 65 Ejemplo 5

65

*Capacidad de choque de x615*

5 Se realizaron pruebas para evaluar el comportamiento de aplastamiento, incluyendo la capacidad de supervivencia de aplastamiento, absorción de energía, y comportamiento de doblado, de x615 en los revenidos T4, T81 y T82. La absorción de energía de la aleación x615 se comparó con la absorción de energía de las aleaciones 5754 y la aleación 6111.

10 Se realizó una prueba preliminar de aplastamiento de tubos a una profundidad de aplastamiento de 125 mm utilizando un dispositivo preparado a partir de una lámina de aleación x615, incluyendo las juntas formadas por un remache autoperforante. Se usó un accesorio de aleación 5754 para fines de comparación. Véase la Figura 12D. La curva de carga-desplazamiento axial correspondiente se muestra en la Figura 12A. La energía absorbida por unidad de desplazamiento para las muestras se muestra en la Figura 12B. Las fijaciones de x615 en los revenidos T4, T81 y T82 mostraron un aumento en la energía absorbida por unidad de desplazamiento, mientras que la muestra 5754 no mostró aumento en la energía absorbida por unidad de desplazamiento. Véase la Figura 12C.

15 En una segunda fase de ensayo de aplastamiento, x615 se comparó con 6111. Se realizó una prueba de aplastamiento a una profundidad de aplastamiento de 220 mm utilizando una fijación de aleación x615 en los revenidos T81 y T82 y una fijación de aleación 6111 en los revenidos T81 y T82, incluyendo las juntas formadas por un remache autoperforante. Las fijaciones de x615 se doblaron con éxito al aplastarse sin rasgarse, con capacidad superior de remache y excelente absorción de energía. Véase la Figura 13A. Las fijaciones de 6111 se rasgaron durante el doblado. La capacidad del remache fue inferior en el revenido T82, mientras que los botones de remache se separan durante el aplastamiento. Véase la Figura 13B, foto de la derecha.

25 En una tercera fase de ensayo de aplastamiento, se determinó el efecto del recalentamiento. Después del tratamiento térmico de solución, el material x615 se recalentó a 65 °C, 100 °C o 130 °C. La lámina x615 se pintó al horno a 180 °C durante 20 minutos y alargamiento uniforme, alargamiento total, límite elástico y resistencia a la tracción final se determinaron para el material x615. Véase la Figura 14. Como se muestra en la figura 14, este paso de recalentamiento produce un proceso adicional de endurecimiento por envejecimiento que aumenta tanto el límite elástico (YS) como la resistencia a la tracción final (UTS) con una disminución tanto en el alargamiento uniforme como total, pero, no obstante, proporciona un rendimiento mejorado según se determina mediante la energía por desplazamiento, y con integridad completa de la estructura como se muestra en la Figura 15D. El accesorio se formó y luego se envejeció al revenido T81. La curva de desplazamiento-carga axial se muestra en la Figura 15A. La energía absorbida por unidad de desplazamiento para las muestras se muestra en la Figura 15B. Como se muestra en la Figura 15C, las fijaciones de x615 donde la lámina de x615 se recalentó a 100 °C o 130 °C mostraron un aumento en la energía absorbida por unidad de desplazamiento, mientras que la lámina de x615 recalentada a 65 °C no mostró aumento en la energía absorbida por unidad de desplazamiento. Las imágenes de aplastamiento se muestran en la Figura 15D.

40 Según los ensayos de aplastamiento descritos anteriormente, la resistencia al choque de x615 en T4, así como el material envejecido artificialmente posterior a la formación, fue superior al de la aleación 5754 y la aleación 6111. Por tanto, la aleación x615 proporciona opciones considerables para que los ingenieros de diseño ajusten sus estructuras basándose en las variantes de resistencia disponibles.

## REIVINDICACIONES

1. Una lámina de aleación de aluminio, que comprende 0,40-0,65 % en peso de Cu, 0-0,40 % en peso de Fe, 0,66-0,74 % en peso de Mg, 0-0,40 % en peso de Mn, 0,40-0,7 % en peso de Si, 0-0,2 % en peso de Cr, 0 - 0,1 % en peso de Zn, 0-0,20 % en peso de Ti, 0-0,2 % en peso de Zr, 0-0,2 % en peso de Sc y 0-0,2 % en peso de V, con máximo de 0,10 % en peso de impurezas de elementos traza, resto de Al.
2. La lámina de aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende 0,45-0,65 % en peso de Cu, 0,1-0,35 % en peso de Fe, 0,66-0,74 % en peso de Mg, 0,1-0,35 % en peso de Mn, 0,45-0,65 % en peso de Si, 0,02-0,18 % en peso de Cr, 0 - 0,1 % en peso de Zn, 0,05-0,15 % en peso de Ti, 0-0,2 % en peso de Zr, 0-0,2 % en peso de Sc y 0-0,2 % en peso de V, con máximo de 0,10 % en peso de impurezas de elementos traza, resto de Al.
3. La lámina de aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende 0,45-0,65 % en peso de Cu, 0,1-0,3 % en peso de Fe, 0,66-0,74 % en peso de Mg, 0,15-0,35 % en peso de Mn, 0,45-0,65 % en peso de Si, 0,02-0,14 % en peso de Cr, 0,0 - 0,1 % en peso de Zn, 0,05-0,12 % en peso de Ti, 0-0,2 % en peso de Zr, 0-0,2 % en peso de Sc y 0-0,2 % en peso de V, con máximo de 0,10 % en peso de impurezas de elementos traza, resto de Al.
4. La lámina de aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende 0,51-0,59 % en peso de Cu, 0,22-0,26 % en peso de Fe, 0,66-0,74 % en peso de Mg, 0,18-0,22 % en peso de Mn, 0,57-0,63 % en peso de Si, 0,06-0,1 % en peso de Cr, 0,0-0,1 % en peso de Zn, 0-0,08 % en peso de Ti, 0-0,2 % en peso de Zr, 0-0,2 % en peso de Sc y 0-0,2 % en peso de V, con máximo de 0,10 % en peso de impurezas de elementos traza, resto de Al.
5. La lámina de aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende 0,51-0,59 % en peso de Cu, 0,22-0,26 % en peso de Fe, 0,66-0,74 % en peso de Mg, 0,18-0,22 % en peso de Mn, 0,55-0,6 % en peso de Si, 0,06-0,1 % en peso de Cr, 0,0-0,1 % en peso de Zn, 0-0,08 % en peso de Ti, 0-0,2 % en peso de Zr, 0-0,2 % en peso de Sc y 0-0,2 % en peso de V, con máximo de 0,10 % en peso de impurezas de elementos traza, resto de Al.
6. La lámina de aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que tiene un límite elástico de al menos 250 MPa o que tiene un límite elástico de al menos 260 MPa o que tiene un límite elástico de al menos 290 MPa.
7. La lámina de aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, que tiene suficiente ductilidad o tenacidad para satisfacer una capacidad de flexión r/t de 0,8 o menos o que tiene suficiente ductilidad o tenacidad para satisfacer una capacidad de flexión r/t de 0,4 o menos.
8. La lámina de aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que tiene suficiente ductilidad o tenacidad para satisfacer una capacidad de flexión r/t de 0,8 o menos y que tiene un límite elástico de al menos 260 MPa o que tiene suficiente ductilidad o tenacidad para satisfacer una capacidad de flexión r/t de 0,8 o menos y que tiene un límite elástico de al menos 290 MPa.
9. La lámina de aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1-5, que tiene suficiente ductilidad o tenacidad para satisfacer una capacidad de flexión r/t de 0,4 o menos y que tiene un límite elástico de al menos 260 MPa o que tiene suficiente ductilidad o tenacidad para satisfacer una capacidad de flexión r/t de 0,4 o menos y que tiene un límite elástico de al menos 290 MPa.
10. Una parte de carrocería de automóvil que comprende la lámina de aleación de aluminio de cualquiera de las reivindicaciones 1-9.
11. Un método para producir una lámina de aleación de aluminio de la reivindicación 1, que comprende:
- colar por enfriamiento directo una aleación de aluminio para formar un lingote, en donde la aleación de aluminio comprende 0,40-0,65 % en peso de Cu, 0-0,40 % en peso de Fe, 0,66-0,74 % en peso de Mg, 0-0,40 % en peso de Mn, 0,40-0,7 % en peso de Si, 0-0,2 % en peso de Cr, 0 - 0,1 % en peso de Zn, 0-0,20 % en peso de Ti, 0-0,2 % en peso de Zr, 0-0,2 % en peso de Sc y 0-0,2 % en peso de V, con máximo de 0,10 % en peso de impurezas de elementos traza,
  - resto de Al;
  - homogeneizar el lingote;
  - laminar en caliente el lingote para producir una banda caliente;
  - laminar en frío la banda caliente a una lámina que tiene un grosor final; y
  - someter la lámina a un tratamiento térmico en solución a una temperatura de 450 °C a 575 °C.
12. El método de la reivindicación 11, que comprende además someter la lámina a un proceso de envejecimiento artificial.

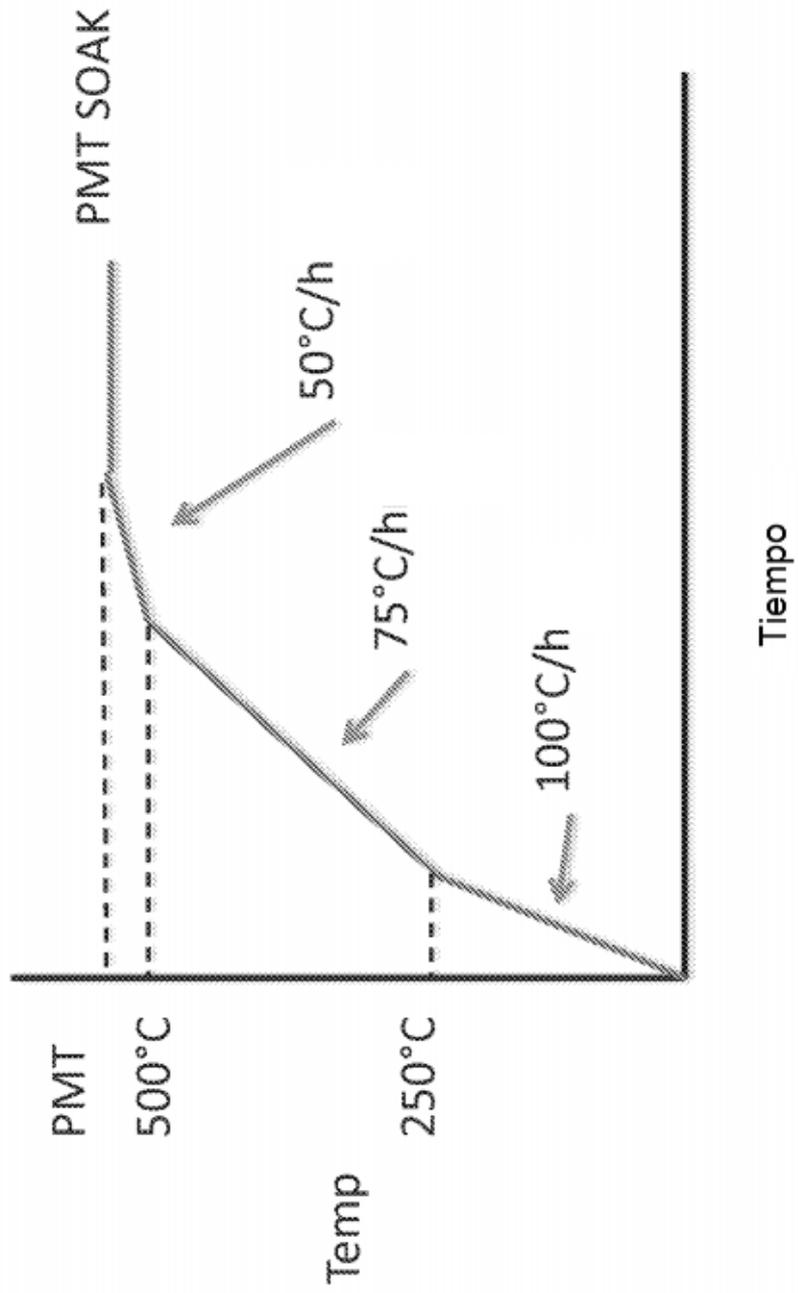


Figura 1

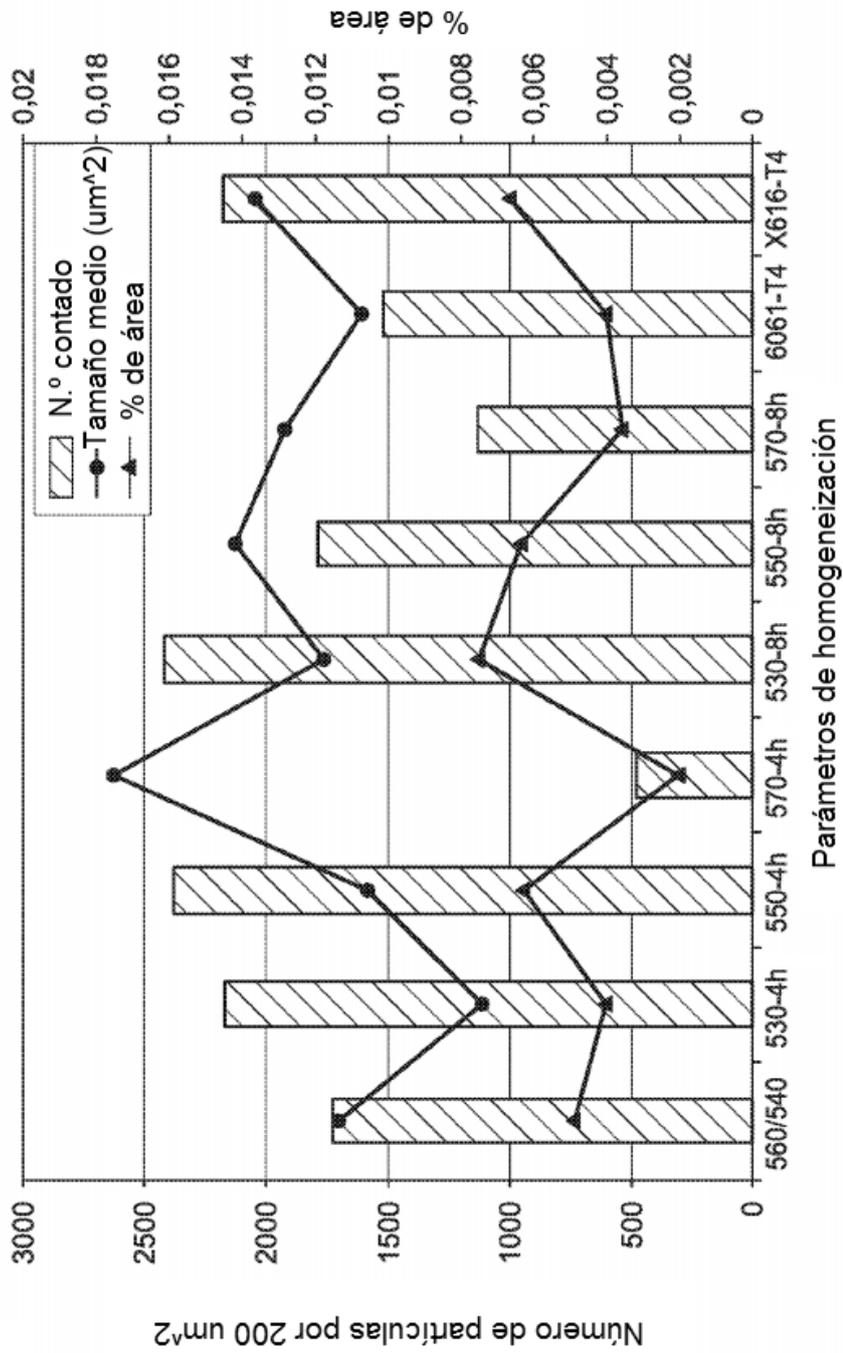
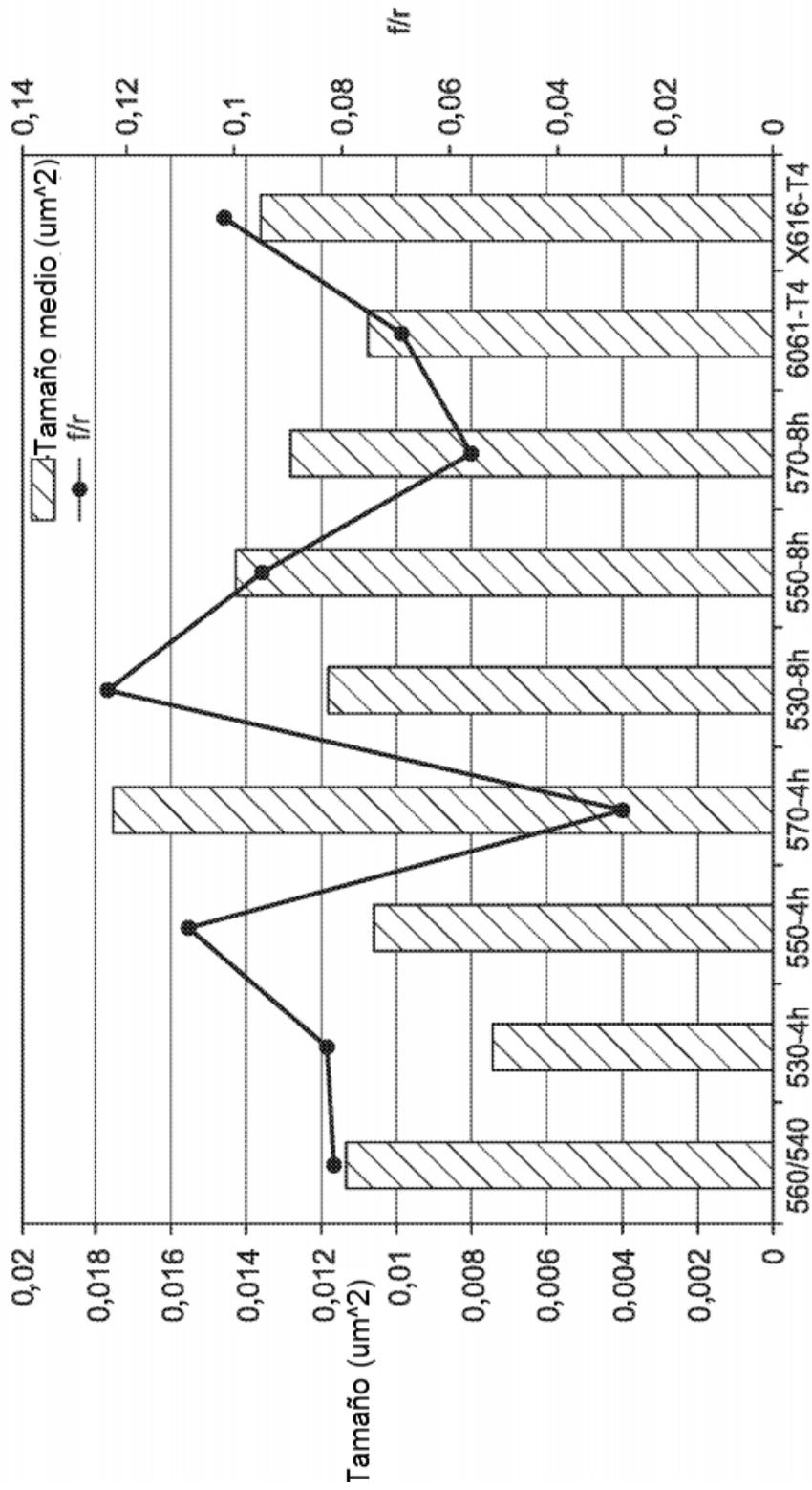


FIG. 2



Parámetros de homogeneización

FIG. 3

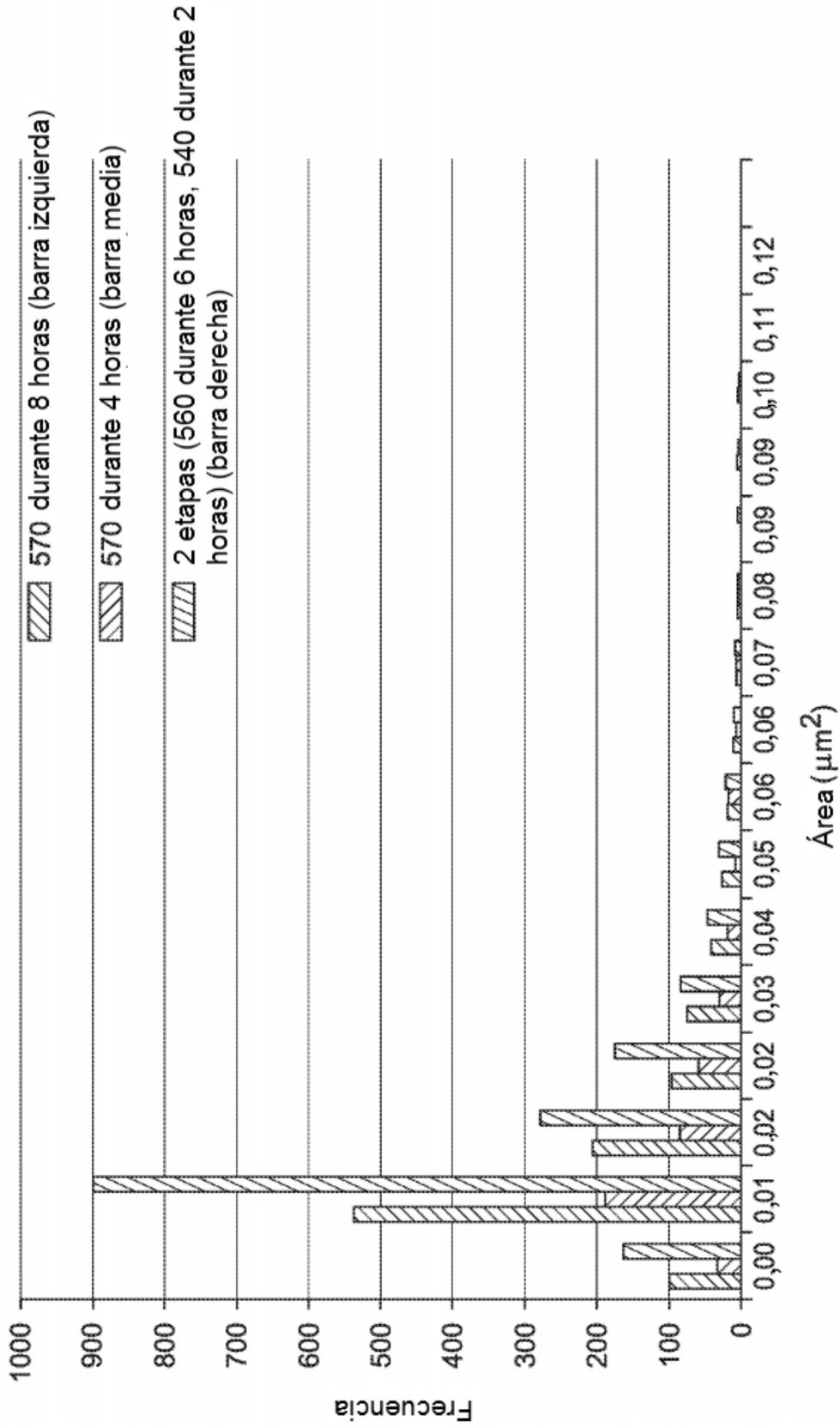


FIG. 4

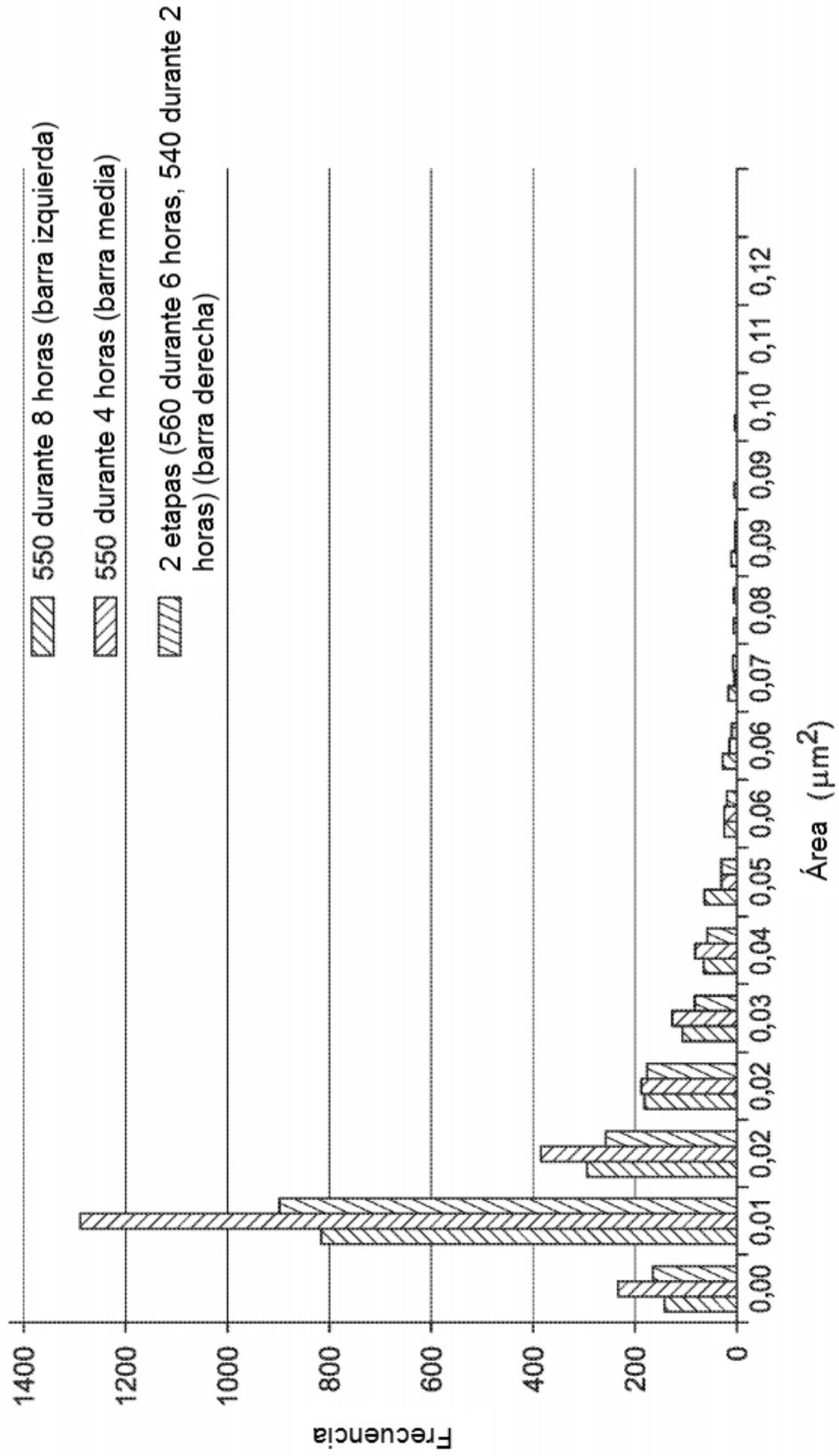


FIG. 5

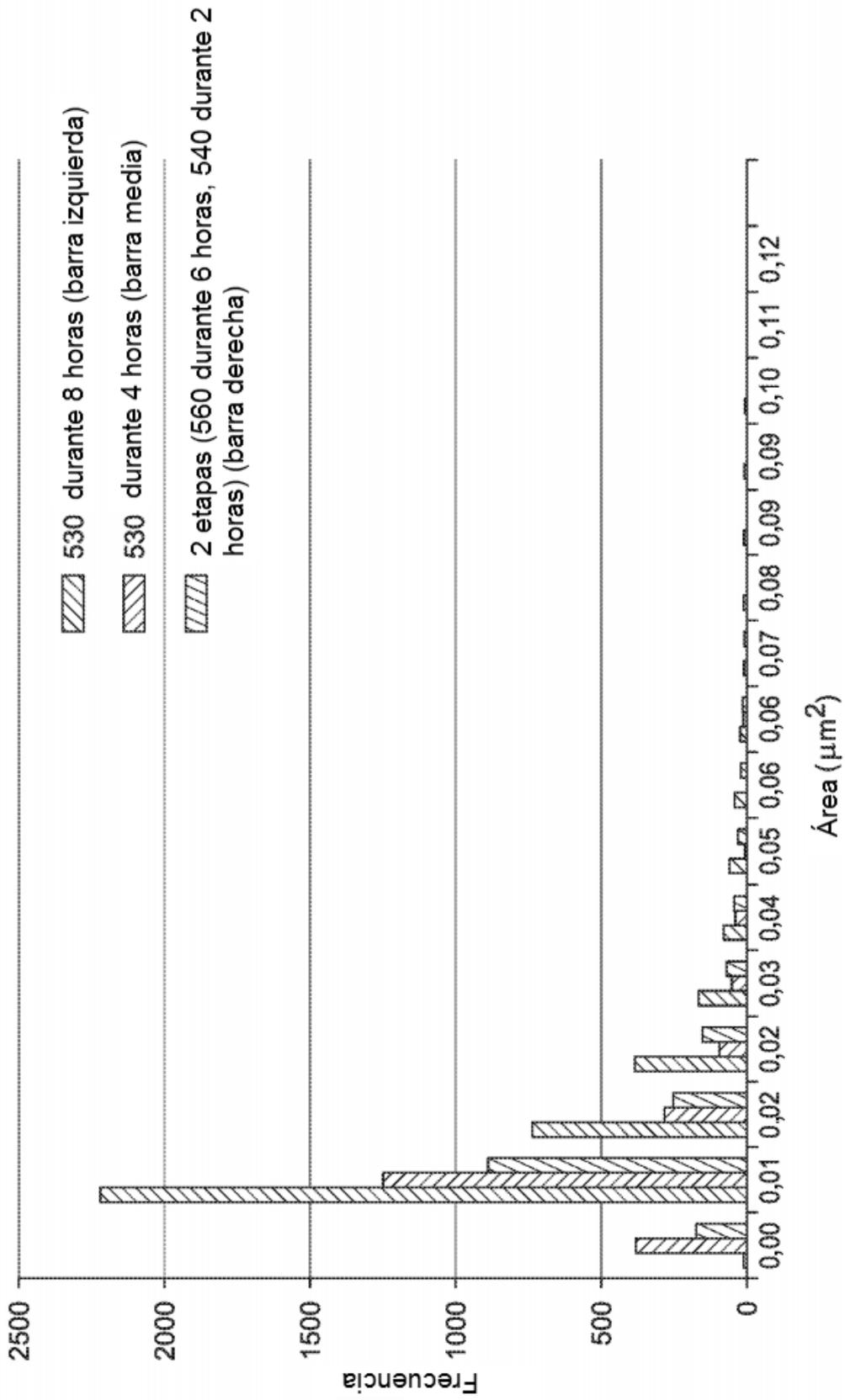


FIG. 6

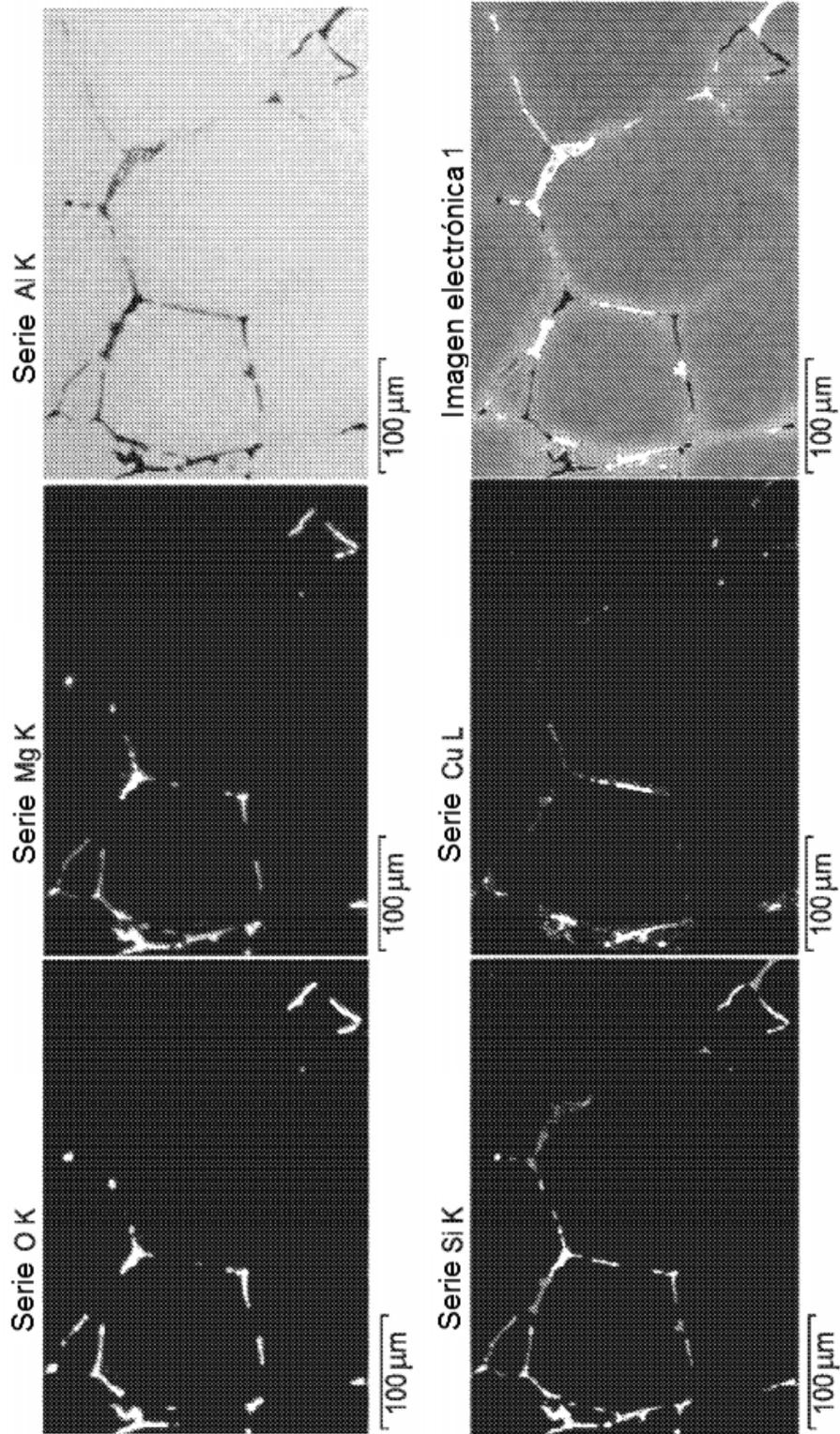


FIG. 7A

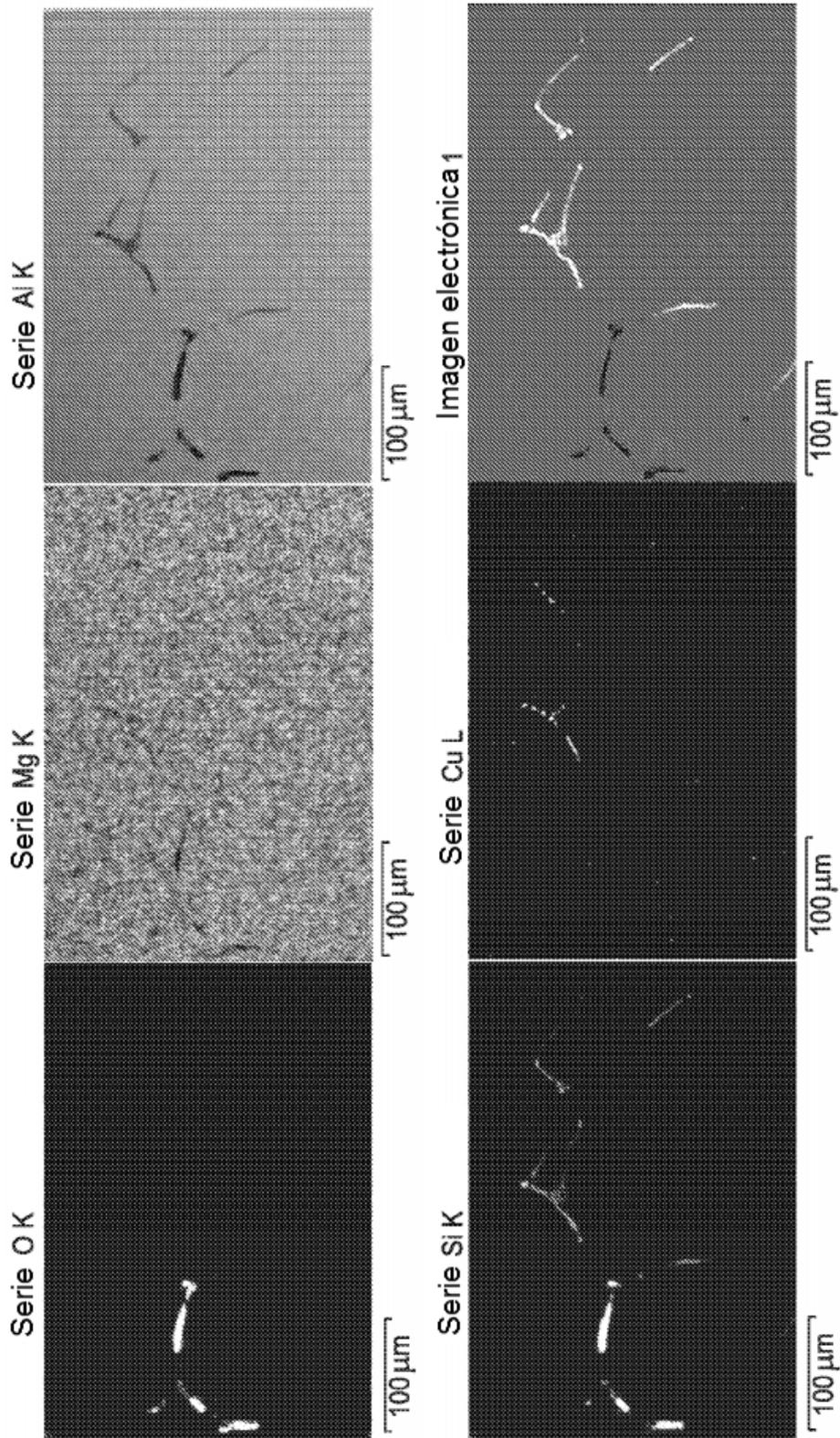


FIG. 7B

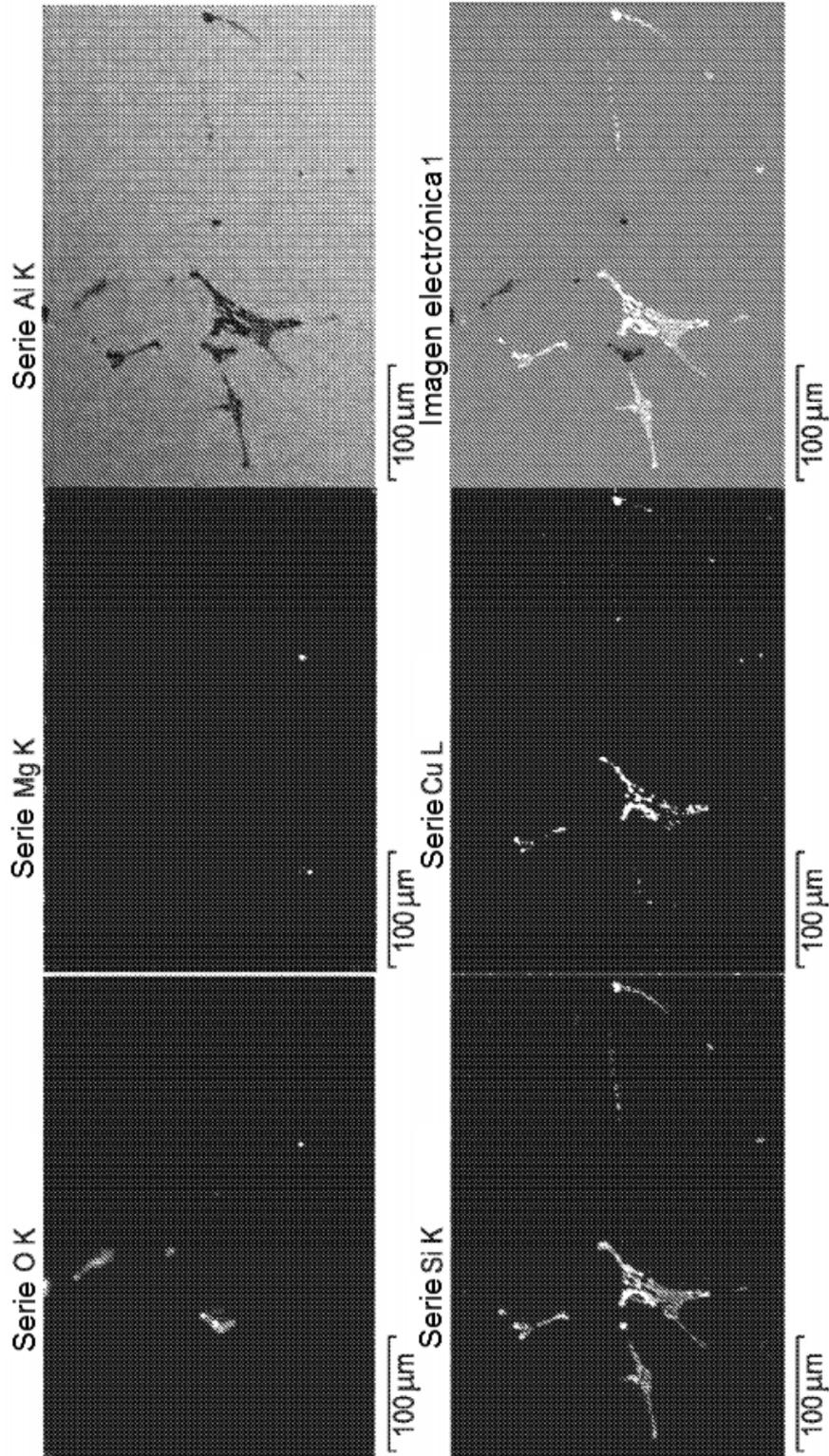


FIG. 7C

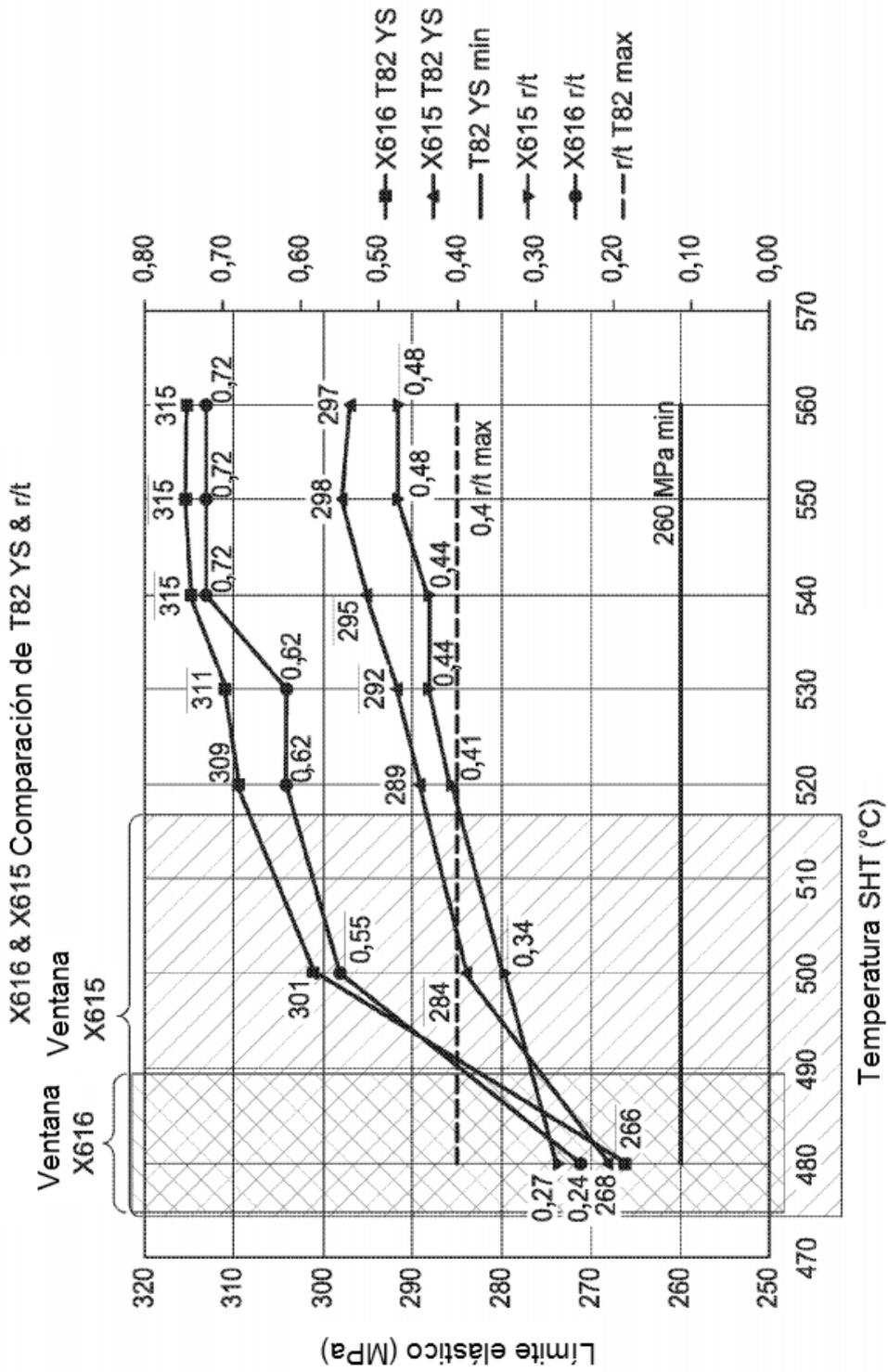


FIG. 8

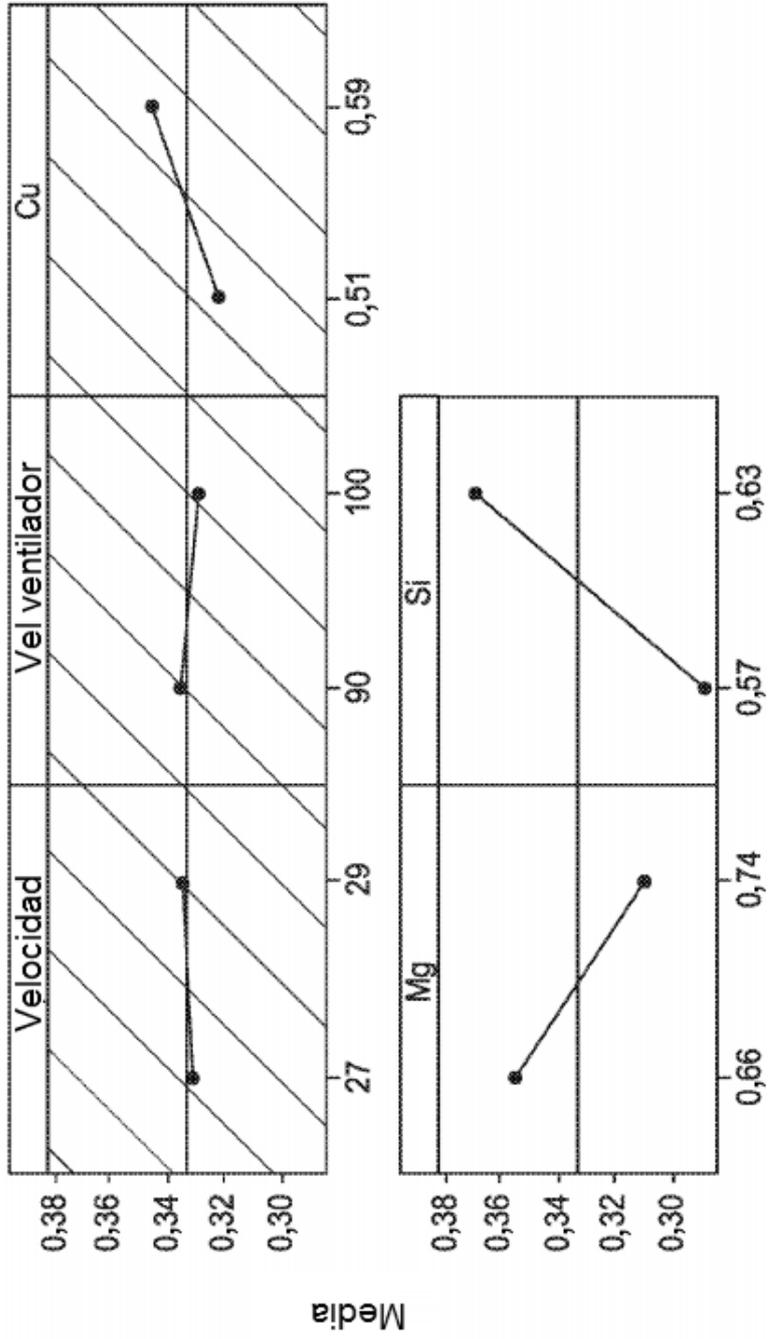


FIG. 9

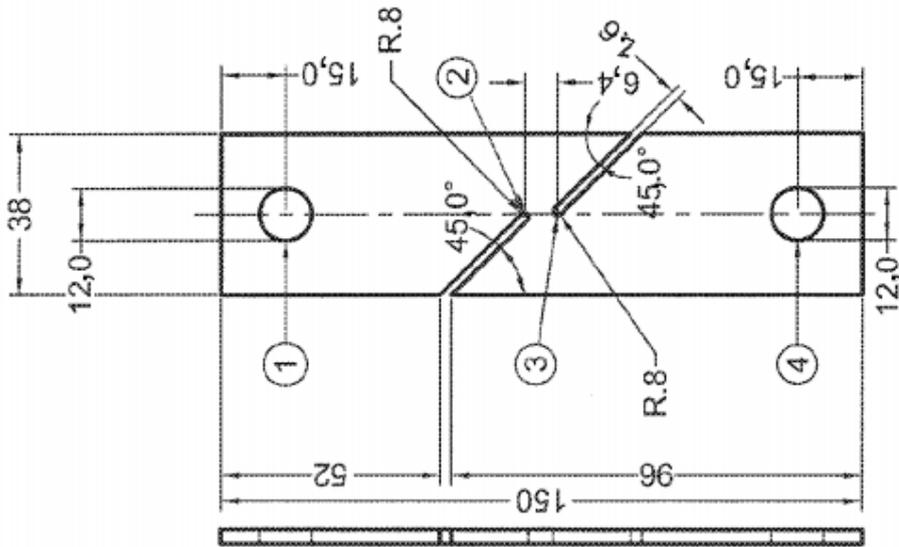


FIG. 10

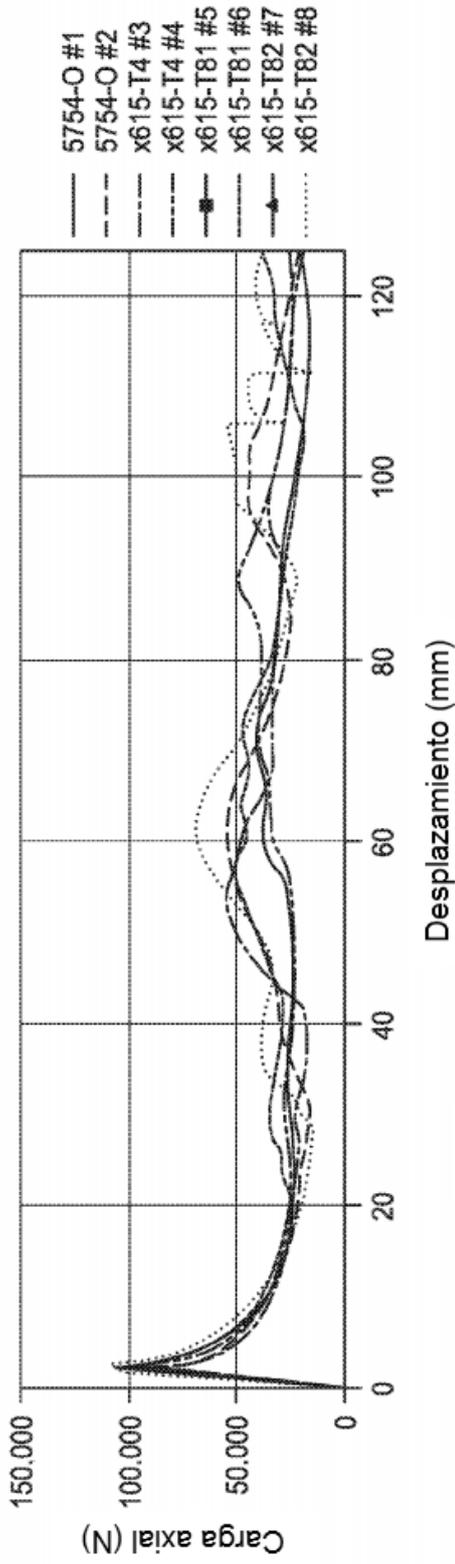


FIG. 12A

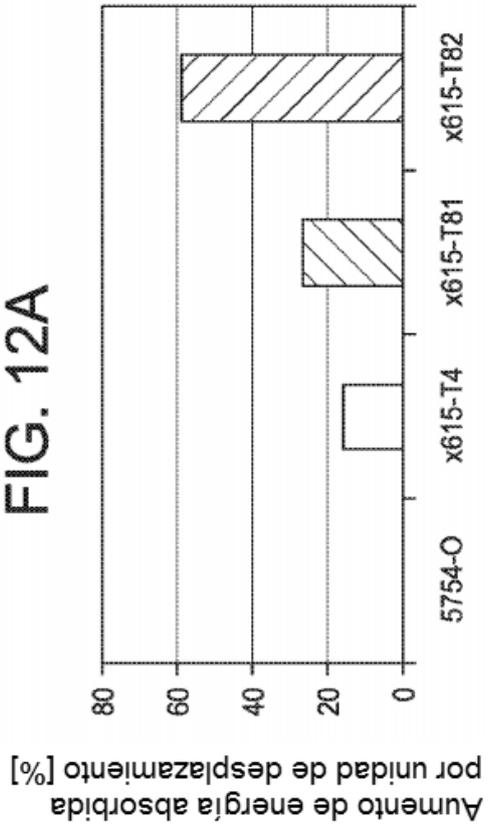


FIG. 12B

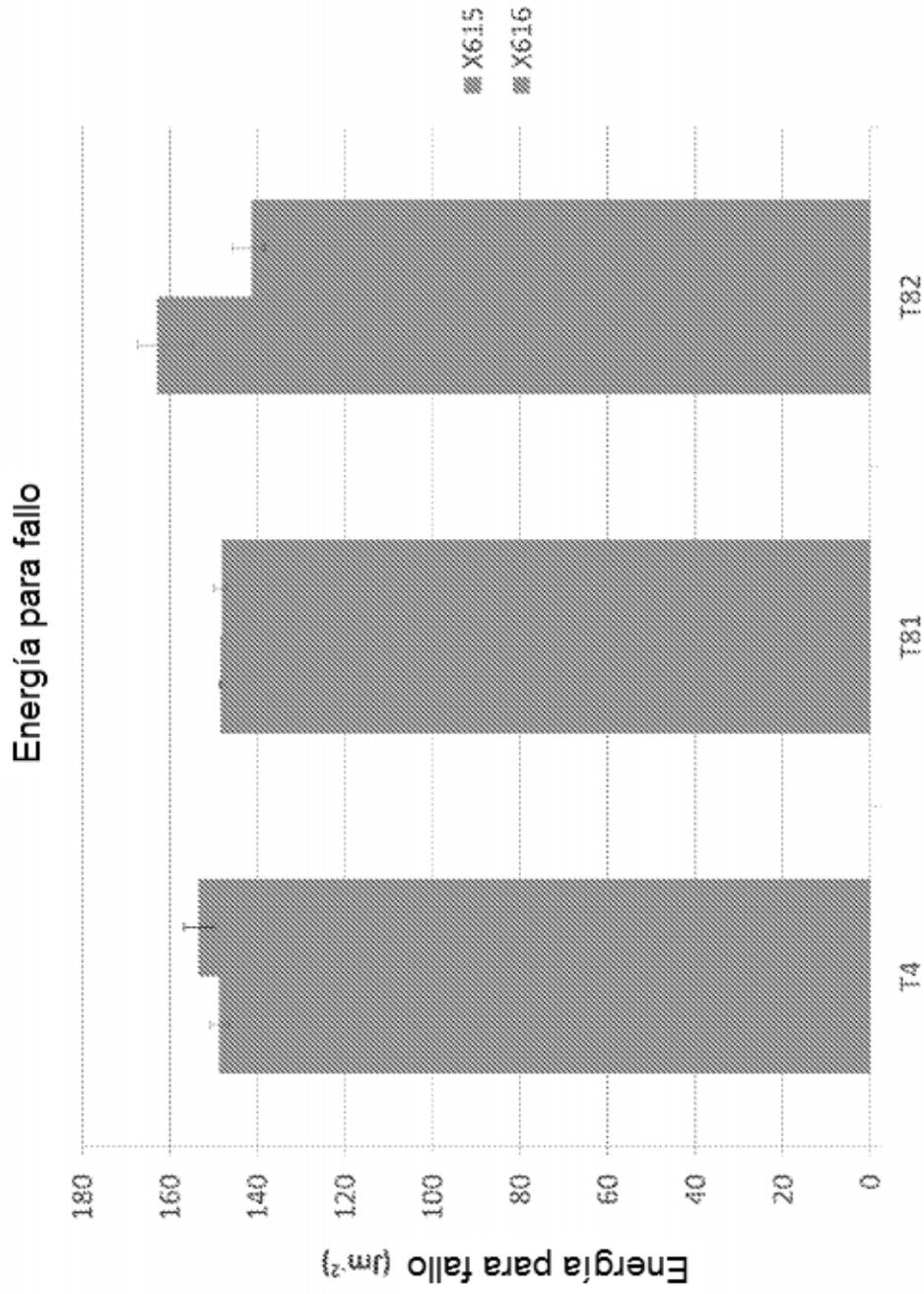


Figura 11

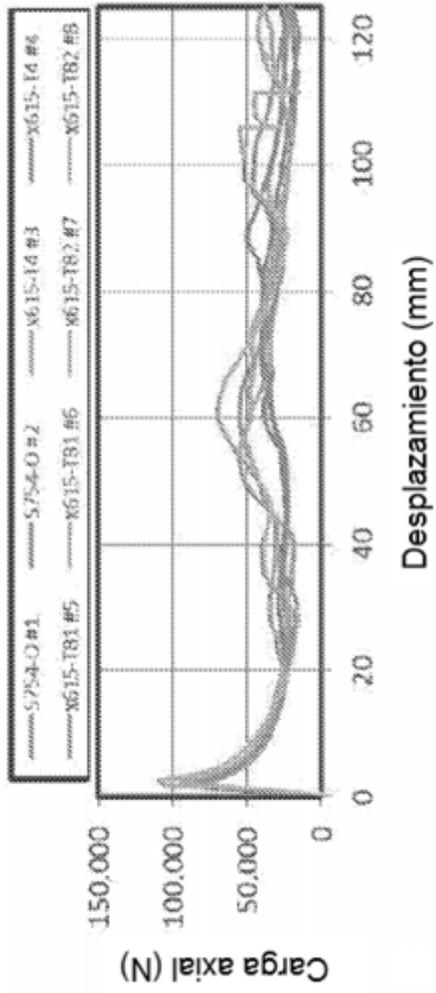


Figura 12A

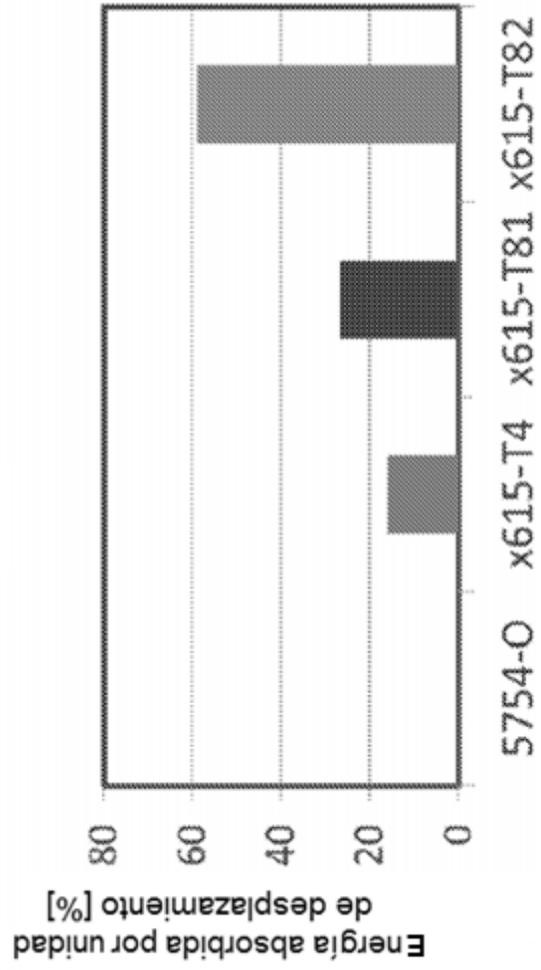


Figura 12B

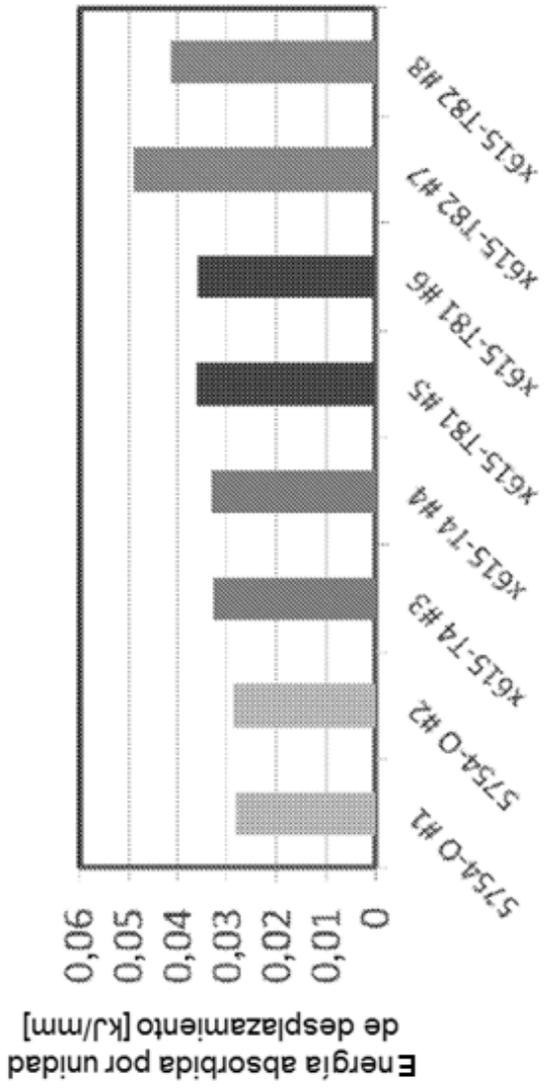


Figura 12C

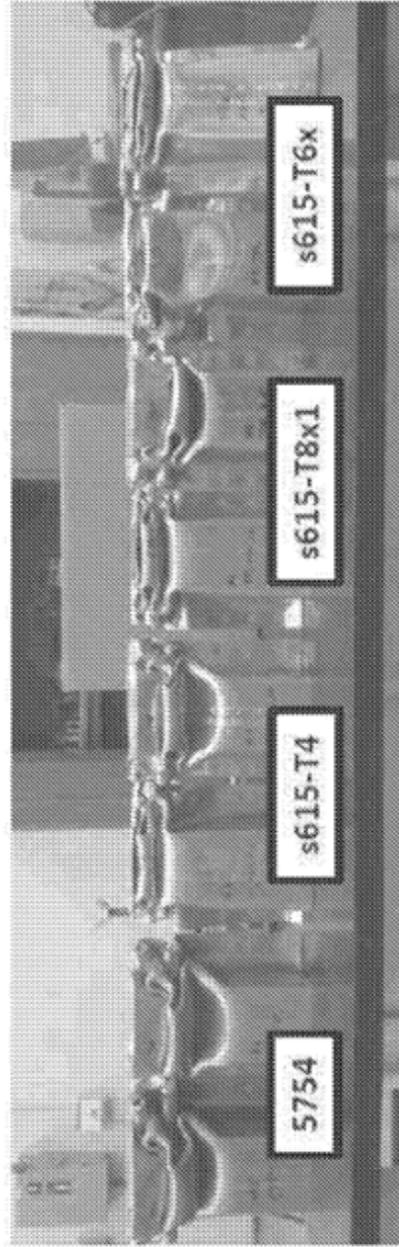
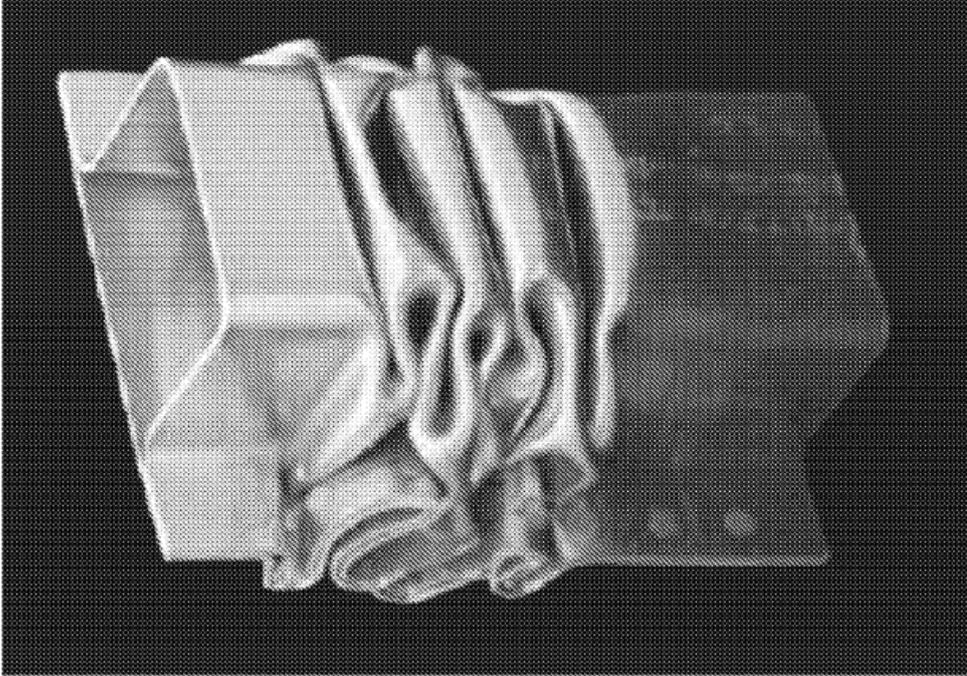
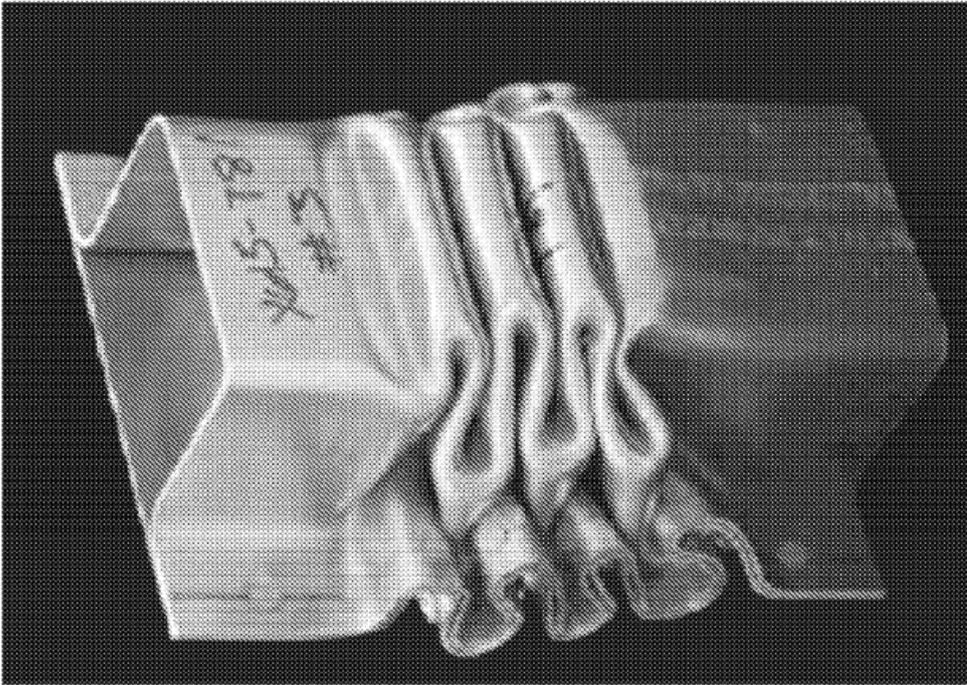


Figura 12D



X615-T82



X615-T81

FIG. 13A

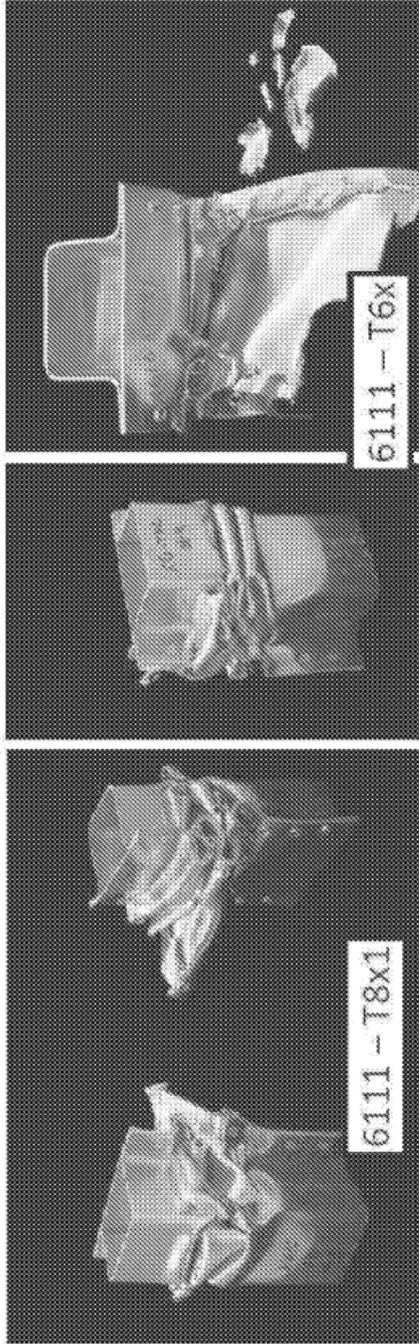


Figura 13B

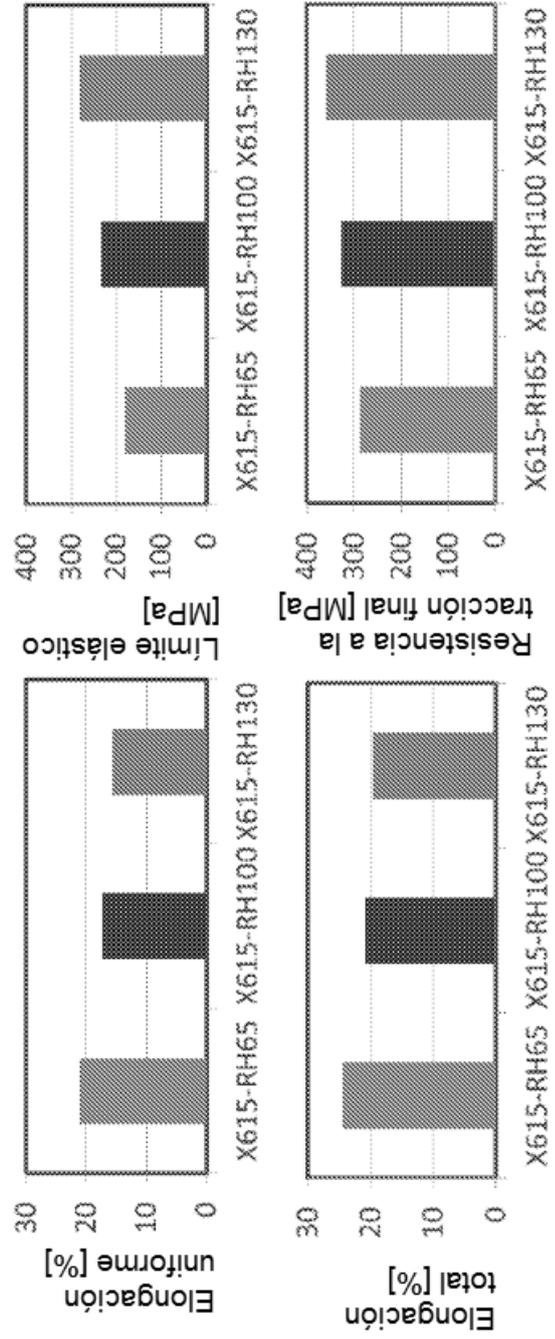


Figura 14

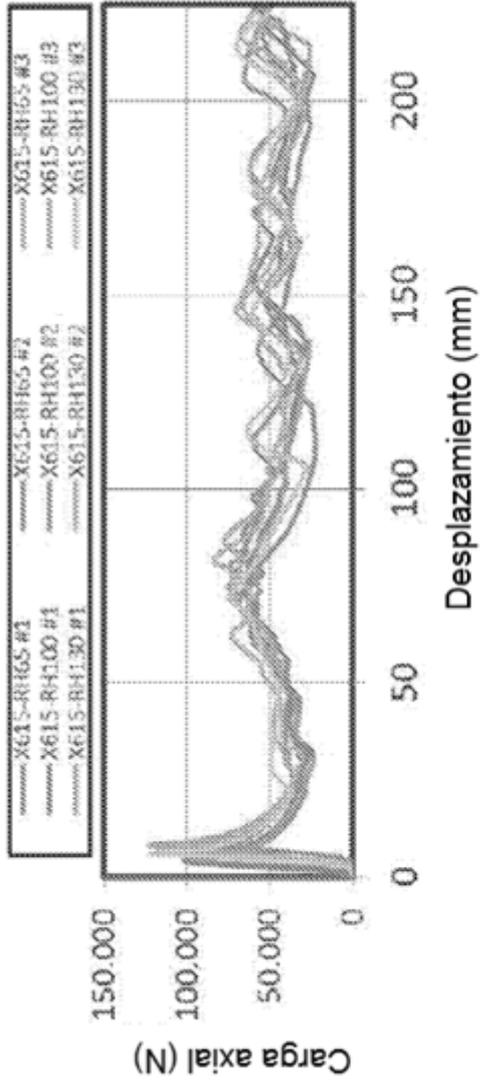


Figura 15A

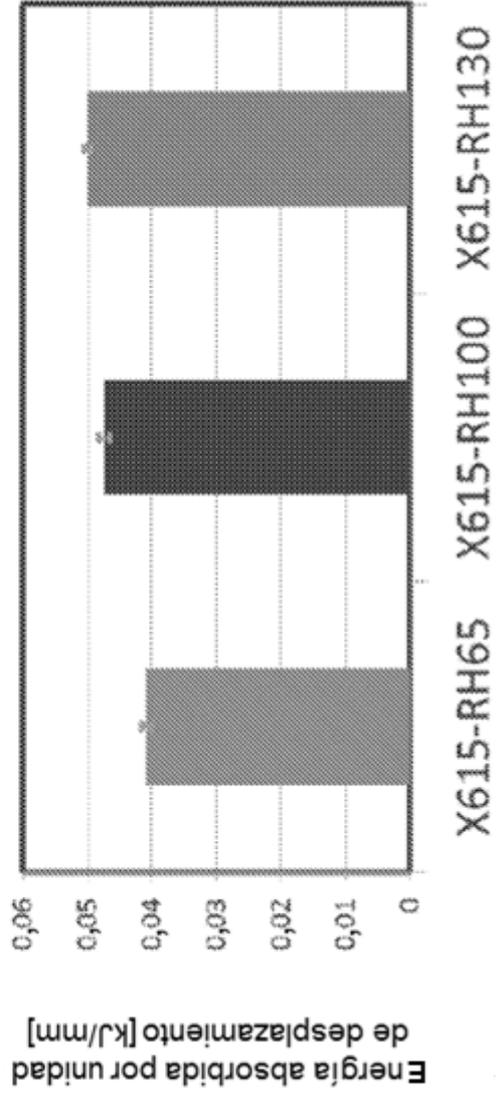


Figura 15B

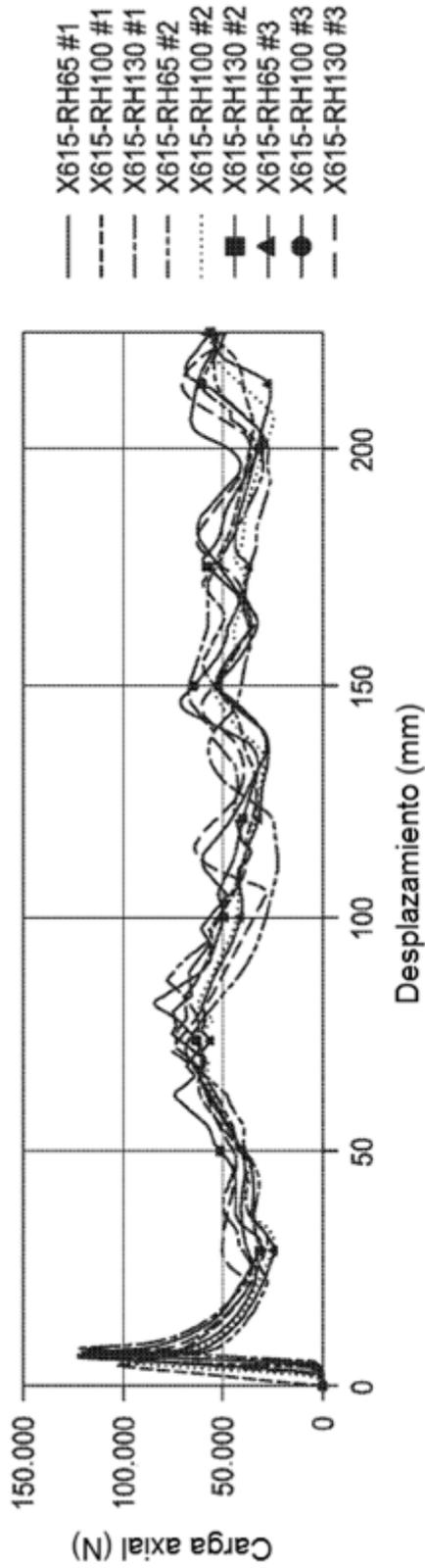


FIG. 15A

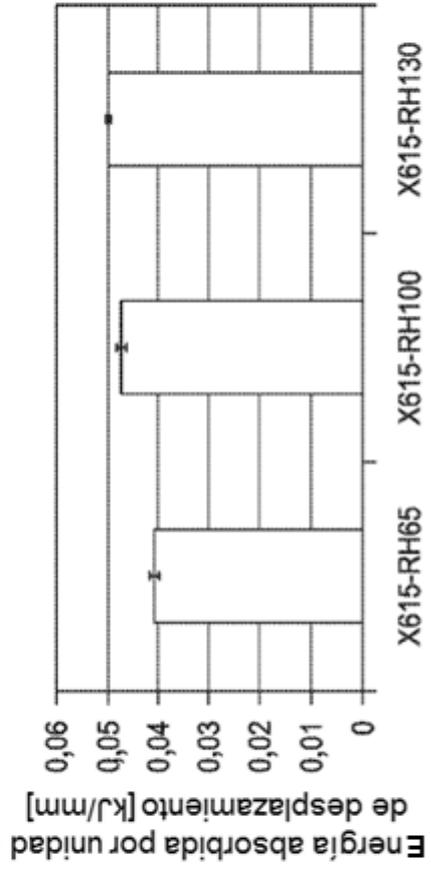


FIG. 15B

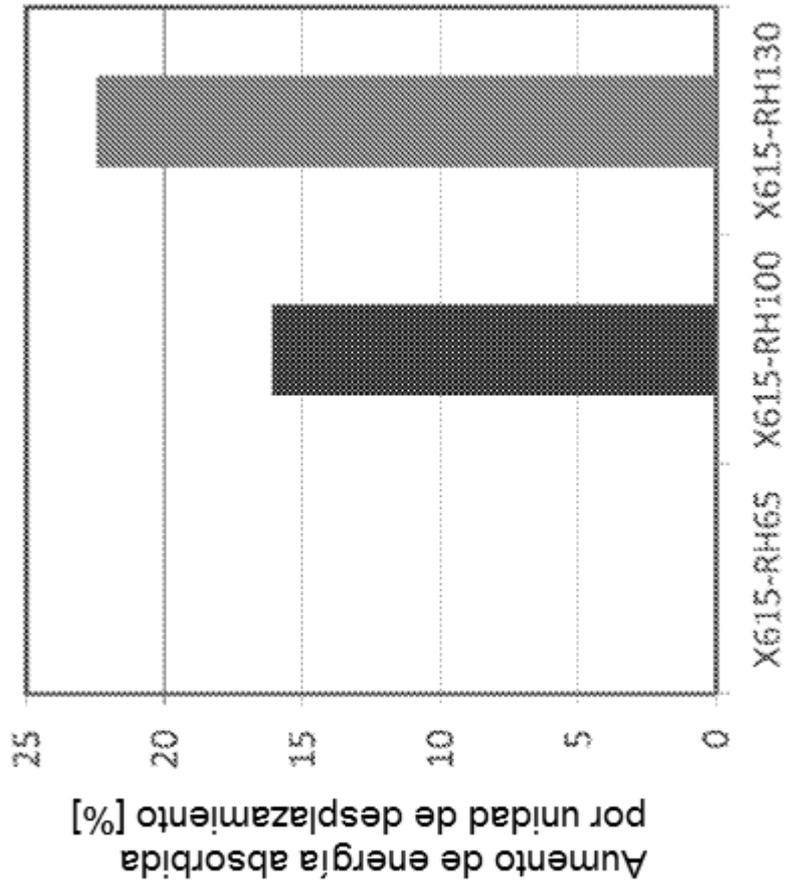


Figura 15C

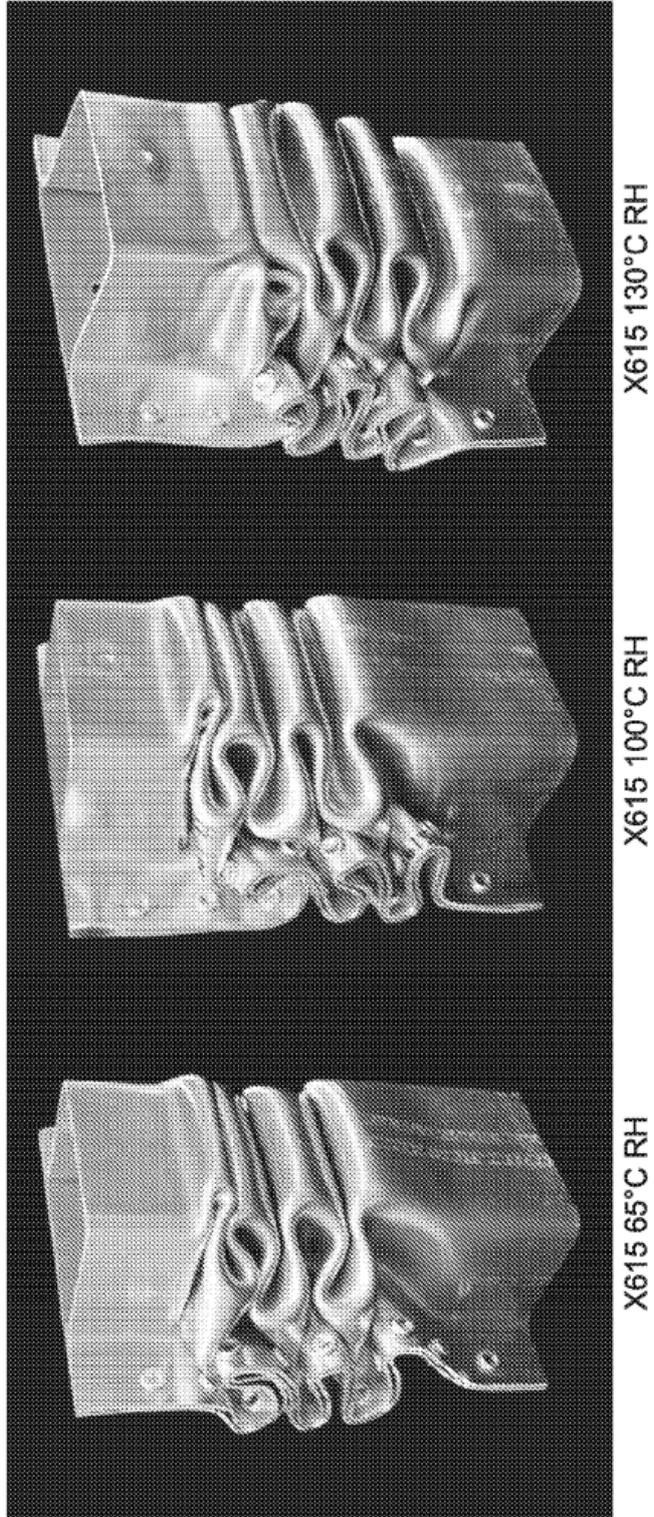


FIG. 15D

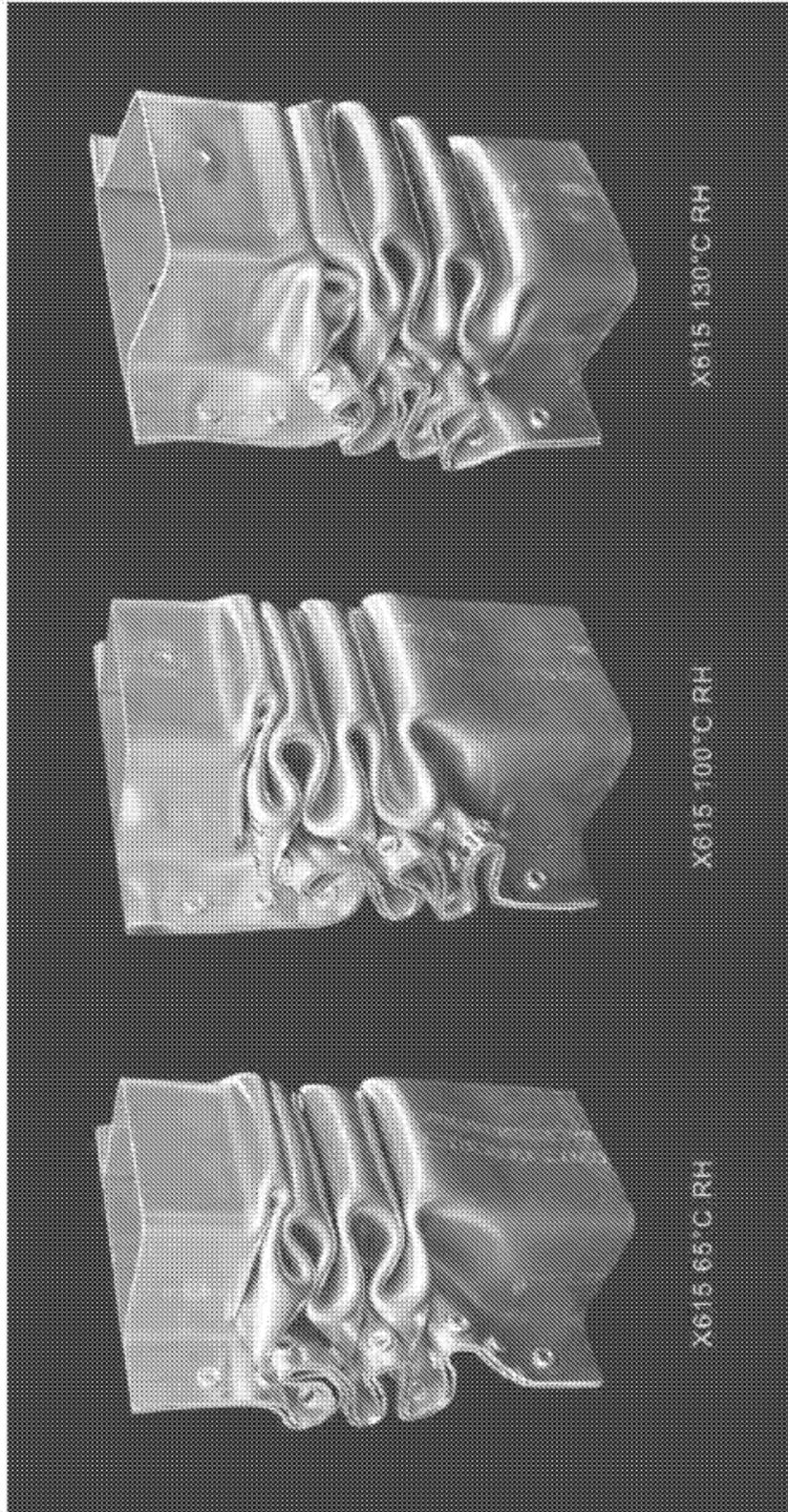


Figura 15D