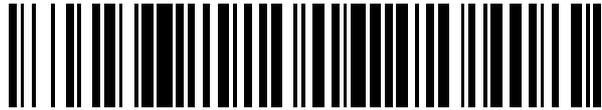


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 452 175**

51 Int. Cl.:

B64C 21/10 (2006.01)

F15D 1/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.08.2010 E 10748204 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2014 EP 2480453**

54 Título: **Dentículos (riblets) aerodinámicos diseñados estructuralmente**

30 Prioridad:

25.09.2009 US 566907

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

31.03.2014

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-2016, US**

72 Inventor/es:

**RAWLINGS, DIANE C.;
MCLEAN, JAMES D. y
MATHEWS, MARY J.**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 452 175 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

Dentículos (riblets) aerodinámicos diseñados estructuralmente

5 Las realizaciones de la invención versan, en general, acerca del campo de la adaptación de geometrías de superficies para mejoras aerodinámicas de aeronaves o superficies que tienen una superficie de contacto con el flujo y, más en particular, acerca de realizaciones y métodos de fabricación para el uso de materiales con un alargamiento significativo (tal como polímeros elastoméricos de gran alargamiento y polímeros y metales con memoria de forma), pero recuperable, para formar dentículos (riblets) aerodinámicos u otras microestructuras de superficie con proporción entre altura y anchura elevada que requieren una durabilidad elevada.

Antecedentes

15 La creciente eficiencia en el consumo de combustible en las aeronaves modernas se está llevando a cabo mediante una mejora en el rendimiento aerodinámico y una reducción del peso tanto para componentes estructurales como no estructurales. Recientes avances en el uso de microestructuras tales como dentículos (riblets) sobre superficies aerodinámicas han resultado significativamente promisorios en la reducción de resistencia aerodinámica para ayudar a reducir el uso de combustible. Los dentículos (riblets) tienen diversas formas pero las realizaciones ventajosas pueden ser estructuras similares a salientes que minimizan la resistencia aerodinámica sobre la superficie de una aeronave. Se pueden utilizar los dentículos (riblets) en áreas de una superficie de una aeronave expuesta a una capa límite turbulenta. Los salientes de los dentículos (riblets) tienden a inhibir movimientos turbulentos que implican velocidades laterales, reduciendo de esta manera la intensidad de los vórtices en la dirección de la corriente a pequeña escala en la parte inferior de la capa límite y reduciendo, de esta manera, la resistencia por rozamiento con el revestimiento metálico.

25 En ciertas aplicaciones sometidas a ensayo los dentículos (riblets) han sido piramidales o salientes con forma de V invertida separados sobre la superficie aerodinámica para extenderse a lo largo de la superficie en la dirección del flujo de fluido. Las estructuras de los dentículos (riblets) han empleado normalmente materiales poliméricos, polímeros termoplásticos o termoendurecibles no elastoméricos. Sin embargo, en servicio de uso tal como en una superficie aerodinámica de una aeronave, estos dentículos (riblets) poliméricos son dañados con relativa facilidad, reduciendo de esta manera el rendimiento del dentículo y degradando el aspecto de la superficie. Estas superficies eran arañadas fácilmente por herramientas, bordes de botas, utillaje de mantenimiento que hacía impacto o rozaba a lo largo de la superficie, lo que tenía como resultado la necesidad de sustitución o de eliminación de los dentículos (riblets). Esta falta de durabilidad ha sido el impedimento clave para el uso de dentículos (riblets) para una reducción de resistencia aerodinámica. Los dentículos (riblets) poliméricos no elastoméricos pueden romperse fácilmente o deformarse permanentemente centenas porcentuales con una presión inducida por una herramienta o uña. Los polímeros termoplásticos (fluoropolímeros tales como el terc-polímero de tetrafluoroetileno hexafluoropropileno fluoruro de vinilideno (THV), etileno propileno fluorado (FEP) o polietileno, por ejemplo) pueden experimentar grandes deformaciones (un alargamiento de centenas porcentuales) sin rotura pero esas deformaciones serán en gran medida irreversibles, destruyendo los beneficios tanto de aspecto como de reducción de la resistencia aerodinámica de la estructura de dentículo. Los polímeros amorfos termoendurecibles (epoxis estructurales, por ejemplo) deformados más allá de su límite elástico cavitan y se agrietan ante esfuerzos de deformación bajos (normalmente con un alargamiento < 10%). Los polímeros no elastoméricos se deforman fácilmente con una uña de forma transversal a los salientes/surcos de los dentículos (riblets), bien mediante deformación plástica o mediante cavitación y agrietamiento. Tales estructuras pueden ser no deseables en un uso normal de servicio en una aeronave u otro vehículo.

50 El documento U.S. 5.069.403 da a conocer un artículo conformable de reducción de resistencia aerodinámica que tiene una superficie modelada con capacidad de reducción de una resistencia aerodinámica por parte de un fluido que fluye sobre la misma.

El documento DE 101 44 259 da a conocer un cuerpo de contacto que tiene una estructuración superficial micrométrica y nanométrica media que incluye salientes y depresiones mutuamente paralelos.

55 El documento US 2004/0126541 da a conocer un artículo para reducir la resistencia aerodinámica provocado por un fluido que fluye sobre una superficie que comprende una capa de refuerzo que tiene una superficie modelada externa al descubierto que reduce la resistencia aerodinámica, y una capa de unión adhesiva para unir la capa de refuerzo a la superficie de un sustrato, estando libre el artículo de una capa de refuerzo.

60 El documento WO 2009/000703 da a conocer un método para reducir una fricción viscosa debida al movimiento relativo de un fluido y de un objeto, en el que el objeto incluye una pluralidad de proyecciones que se proyectan desde el plano base.

Por lo tanto, se mejoraría significativamente la practicidad de los dentículos (riblets) para su uso en aeronaves comerciales con una estructura de dentículo que proporciona una mayor durabilidad.

65

COMPENDIO

La invención proporciona un conjunto de dentículos (riblets) con una capa elastomérica de gran alargamiento que tiene puntas separadas con un corte transversal parabólico y una capa de recubrimiento depositada sobre la capa elastomérica, en el que el elastómero de gran alargamiento es recuperable elásticamente para un alargamiento de 300-7000%. El corte transversal parabólico de cada punta puede tener una ecuación de $y = px^2 + h$ con respecto a un eje y sustancialmente perpendicular a la capa superficial, en la que h es la altura del dentículo desde la capa superficial y se determina p en función en gran medida del material de fabricación de las puntas de los dentículos (riblets).

En ciertos casos, la capa superficial y las puntas de los dentículos (riblets) están formadas a partir de un elastómero de gran alargamiento, tal como epoxi, uretano, perfluoroéter o fluorosilicona y las realizaciones pueden incluir una capa de adhesivo depositada sobre la capa superficial opuesta a las puntas, una capa de recubrimiento sobre las puntas de los dentículos (riblets) tal como un revestimiento reflectante de los rayos UV o una capa polimérica de soporte depositada sobre la capa superficial opuesta a las puntas. En otro caso, las puntas de los dentículos (riblets) están formadas de materiales de módulo elevado seleccionados entre el conjunto de níquel, cromo, aleaciones metálicas, vidrio, cerámica, carburo de silicio o nitruro de silicio. Las puntas también pueden ser construidas de múltiples materiales incluyendo múltiples capas de módulo elevado y polímeros. Se pueden incluir una capa metálica o capa metálica discontinua y una capa polimérica de soporte intermedia entre la capa elastomérica y la capa de adhesivo como un aplique para una aplicación contra impactos de rayos u otra aplicación funcional.

Las realizaciones dadas a conocer son fabricadas mediante un método ejemplar seleccionando un material para una base de conjunto de dentículos (riblets) y una capa de recubrimiento y luego determinando un factor de forma parabólica, p, para materiales seleccionados según la reivindicación 3. Se determinan los requerimientos aerodinámicos para la altura, h, de los dentículos (riblets) y la separación y se calcula un perfil parabólico para dentículos (riblets) con la ecuación $y = px^2 + h$. Se forma una herramienta maestra que tiene protuberancias o depresiones/hendiduras con el perfil parabólico correspondiente a un conjunto deseado de dentículos (riblets) y se forma una herramienta complementaria a partir de la herramienta maestra. En un método alternativo adicional para un procesamiento de bobinas, la herramienta complementaria es una herramienta de bobinas.

Las características, funciones y ventajas que han sido presentadas pueden ser conseguidas independientemente en diversas realizaciones de la presente invención o pueden ser combinadas en otras realizaciones, detalles adicionales de las cuales pueden ser vistos con referencia a la siguiente descripción y a los dibujos.

La presente invención comprende los aspectos definidos en los siguientes cláusulas que forman parte de la presente descripción, pero no son reivindicaciones, según la decisión J 15/88 de la Cámara de recursos de la Oficina Europea de Patentes.

1. Un conjunto de dentículos (riblets) que comprende:

una capa superficial para adherirse a una superficie aerodinámica;
una pluralidad de puntas de dentículo que tienen un corte transversal parabólico que se extiende desde la capa superficial.

2. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 1 en el que el corte transversal parabólico de cada punta tiene una ecuación de $y = px^2 + h$ con respecto a un eje x sustancialmente perpendicular a la capa superficial, en la que h es la altura del dentículo desde la capa superficial y se determina p en función del material de fabricación de las puntas de los dentículos (riblets) y las cargas impartidas a la superficie por factores de mantenimiento y medioambientales.

3. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 2 que comprende, además, una capa de adhesivo depositada sobre la capa superficial opuesta a las puntas.

4. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 2 que comprende, además, una capa de recubrimiento en las puntas de los dentículos (riblets).

5. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 1 que comprende, además, una capa polimérica de soporte depositada sobre la capa superficial opuesta a las puntas.

6. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 5 que comprende, además, una capa de adhesivo depositada sobre la capa polimérica de soporte para formar un aplique de múltiples capas, adhiriendo dicha capa de adhesivo el aplique a una superficie del vehículo.

7. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 2 en el que las puntas de los dentículos (riblets) y la capa superficial comprenden un elastómero de gran alargamiento y comprenden, además, una capa de recubrimiento resistente a los rayos UV sobre el elastómero de gran alargamiento.

8. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 1 en el que las puntas de los dentículos (riblets) están formadas a partir de un material seleccionado entre el conjunto de níquel, cromo, aleaciones metálicas, vidrio, cerámica, carburo de silicio o nitruro de silicio.

9. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la cláusula 8 que comprende, además, una capa metálica y una capa polimérica de soporte intermedia entre la capa elastomérica y la capa de adhesivo.

10. El conjunto de denticulos (riblets) según se define en la cláusula 1 en el que la capa superficial y las puntas de los denticulos (riblets) están formadas a partir de un elastómero de gran alargamiento recuperable elásticamente para un alargamiento de 300-3000%.

11. El conjunto de denticulos (riblets) según se define en la cláusula 10 en el que el elastómero de gran alargamiento está seleccionado entre el conjunto de polímeros y copolímeros y polímeros con memoria de forma de epoxi, poliuretano, poliurea, poliolefina, etileno propileno, silicona, polibutadieno, policloropreno, polietileno clorado y fluorosiliconas, poliuretanos fluorados, perfluoropoliéteres, poliuretanos sililados y polímeros híbridos incluyendo silsesquioxano oligomérico poliédrico (POSS).

12. Un conjunto de denticulos (riblets) que comprende:

una capa elastomérica de gran alargamiento que tiene puntas separadas con un corte transversal parabólico; y
una capa de recubrimiento depositada sobre la capa elastomérica.

13. El conjunto de denticulos (riblets) según se define en la cláusula 12 en el que el elastómero de gran alargamiento es recuperable elásticamente para un alargamiento de 300 – 3000%.

14. El conjunto de denticulos (riblets) según se define en la cláusula 13 en el que la capa elastomérica de gran alargamiento está seleccionada entre el conjunto de uretano, epoxi y fluorosilicona.

14. El conjunto de denticulos (riblets) según se define en la cláusula 12 en el que la capa de recubrimiento comprende un revestimiento absorbente o reflectante de los rayos UV.

15. El conjunto de denticulos (riblets) según se define en la cláusula 14 en el que la capa de recubrimiento se selecciona entre el conjunto de capa de recubrimiento orgánico que incluye películas delgadas de parileno, PTFE, poliamida (nailon), poliimida y polietileno, capa de recubrimiento inorgánico que incluye revestimientos similares a diamante amorfo (DLC), metales tales como aluminio, cromo, oro, platino, rodio o níquel, y óxidos tales como dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de indio y estaño, óxido de estaño, óxido de titanio, óxido de cinc, y nitruro tales como nitruro de boro y nitruro de silicio, capa de recubrimiento híbrido que incluye sol-geles orgánicos-inorgánicos o POSS colgante o capas monomoleculares organometálicas, o capas nanomoleculares tales como una capa nanomolecular de metal-polímero o de cerámica-metal o de cerámica-polímero.

18. Una estructura de aeronave que comprende:

un conjunto de denticulos (riblets) que tiene

una pluralidad de puntas con un corte transversal parabólico y una capa superficial formada a partir de material seleccionado entre el conjunto de compuestos elastoméricos de gran alargamiento que incluyen polímeros y copolímeros y polímeros con memoria de forma de epoxi, poliuretano, poliurea, poliolefina, etileno propileno, silicona, polibutadieno, policloropreno, polietileno clorado y fluorosiliconas, poliuretanos fluorados, perfluoropoliéteres, poliuretanos sililados y polímeros híbridos que incluyen silsesquioxano oligomérico poliédrico (POSS), materiales de módulo elevado tales como níquel, cromo, otras aleaciones metálicas, vidrio, cerámica, carburo de silicio o nitruro de silicio, aleaciones metálicas amorfas tales como Vitreloy 105 (Zr: 52,5 Ti: 5 Cu: 17,9 Ni: 14,6 Al: 10) o Vitreloy 106a (Zr: 58,5 Cu: 15,6 Ni: 12,8 Al: 10,3 Nb: 2,8), aleaciones con memoria de forma (SMA), tales como cobre-cinc-aluminio-níquel, cobre-aluminio-níquel, níquel-titanio (NiTi), aleaciones pseudoelásticas de titanio beta, estando cada una de dichas puntas de corte transversal parabólico carenada en la capa superficial;

una capa superficial polimérica seleccionada entre el conjunto de poliuretanos, siliconas, epoxi, polisulfuro, etilenpropilendieno, fluorosilicona y fluoroelastómeros;

una capa de recubrimiento superpuesta a las puntas y la capa superficial seleccionada entre el conjunto de una capa de recubrimiento orgánico que incluye películas delgadas de parileno, PTFE, poliamida (nailon), poliimida y polietileno, una capa de recubrimiento inorgánico que incluye revestimientos similares a diamante amorfo (DLC), metales tales como aluminio, cromo, oro, platino, rodio o níquel, y óxidos tales como dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de indio y estaño, óxido de estaño, óxido de titanio, óxido de cinc, y nitruros tales como nitruro de boro y nitruro de silicio, una capa de recubrimiento híbrido que incluye sol-geles orgánicos-inorgánicos o POSS colgante o capas monomoleculares organometálicas, o capas nanomoleculares tales como una capa nanomolecular de metal-polímero o de cerámica-metal o de cerámica-polímero;

una capa de adhesivo depositada sobre la capa polimérica de soporte para formar un aplique de múltiples capas, adhiriendo dicha capa de adhesivo el aplique a una superficie de la aeronave.

19. Un método para fabricar un conjunto de denticulos (riblets) que comprende:

formar una herramienta maestra que tenga protuberancias parabólicas con una ecuación de $y = px^2 + h$ correspondiente a un conjunto deseado de denticulos (riblets):
 formar una herramienta complementaria a partir de la herramienta maestra;
 depositar las puntas de los denticulos (riblets) y una capa superficial en la herramienta
 complementaria;
 depositar una capa de adhesivo para formar un aplique;
 retirar el aplique elastomérico de gran alargamiento de la herramienta complementaria; y
 adherir el aplique elastomérico de gran alargamiento a una superficie aerodinámica.

20. El método de la cláusula 19 en el que, además, la etapa de determinar el factor parabólico de perfil incluye seleccionar el factor de perfil coherente con una capa de recubrimiento sobre el material seleccionado de denticulo.

21. El método de la cláusula 19 que comprende, además, la deposición de una capa polimérica de soporte intermedia entre la capa de adhesivo y las puntas elastoméricas.

22. El método de la cláusula 19 en el que, además, las puntas de los denticulos (riblets) y la capa superficial depositadas son un elastómero de gran alargamiento y comprende, además, depositar una capa de recubrimiento resistente a los rayos UV sobre la capa elastomérica de gran alargamiento.

23. El método de la cláusula 19 en el que la herramienta complementaria es una herramienta de bobinas y las puntas de los denticulos (riblets) y la capa superficial depositadas son de un compuesto elastomérico de gran alargamiento y comprende, además, depositar electrónicamente un revestimiento resistente a los rayos UV sobre la herramienta de bobinas antes de depositar el compuesto elastomérico de gran alargamiento.

24. Un método de reducción de resistencia aerodinámica sobre una superficie aerodinámica que comprende:

formar un conjunto de una pluralidad de puntas de denticulos (riblets) con un corte transversal parabólico que se extiende desde una capa superficial; y
 adherir el conjunto de denticulos (riblets) a una superficie aerodinámica.

25. Un método para aumentar la durabilidad de denticulos (riblets) sobre una superficie aerodinámica que comprende:

formar un conjunto de una pluralidad de puntas de denticulos (riblets) que tienen un corte transversal parabólico que se extiende desde una capa superficial; y
 adherir el conjunto de denticulos (riblets) a una superficie aerodinámica.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La FIGURA 1 es una vista isométrica de una porción de una superficie aerodinámica tal como un ala o revestimiento metálico del fuselaje que muestra denticulos (riblets) ejemplares que se extienden en la dirección del flujo;

la FIGURA 2A es una vista detallada en corte transversal de una punta de denticulo de la realización ejemplar con un perfil parabólico;

la FIGURA 2B es una realización ejemplar con una estructura parabólica que varía en la dirección de la corriente;

la FIGURA 3 es un gráfico comparativo del diseño de puntas de denticulos (riblets) de la realización mostrada en la FIGURA 2 con diseños anteriores de sección triangular;

la FIGURA 4 es un gráfico comparativo detallado del diseño de puntas de denticulos (riblets) de la realización mostrada en la FIGURA 2 con diseños anteriores de sección triangular a escala exagerada en el eje y para demostrar el solapamiento relativo de área;

la FIGURA 5 es un gráfico que compara la deflexión de las puntas para la realización divulgada en el presente documento con diversas anchuras de base;

la FIGURA 6 es un gráfico que compara la tensión de Von Mises en la punta y en la base de la realización divulgada en el presente documento con diversas anchuras de base;

la FIGURA 7A es una malla en sección que demuestra una deflexión exagerada de la punta de un corte transversal triangular para una punta ejemplar de denticulo;

la FIGURA 7B es una malla en sección que demuestra una deflexión exagerada de una punta de denticulo de corte transversal parabólico de la presente realización;

la FIGURA 8A es un gráfico de tensión en corte de tensiones de Von Mises en una punta de denticulo de la presente realización;

la FIGURA 8B es un gráfico de tensión en corte de tensiones de Von Mises en una punta de denticulo que tiene un corte transversal triangular como un ejemplo comparativo para la presente realización como se muestra en las FIGURAS 8A y 8B;

la FIGURA 8C es un gráfico de tensiones de una punta ejemplar de denticulo de corte transversal parabólico formada a partir de un elastómero de gran alargamiento y doblada hasta hacer contacto con la capa superficial;

la FIGURA 8D es un gráfico de tensión en corte de un denticulo de carenado redondo con una distribución de esfuerzos principales máximos;

la FIGURA 8E es un gráfico de tensión en corte de un denticulo de carenado redondo con un esfuerzo principal máximo;

la FIGURA 8F es un gráfico de tensión en corte de un denticulo de carenado elíptico con un esfuerzo principal máximo para la comparación con la FIGURA 8E;

la FIGURA 9A es una vista lateral en corte mirando en la dirección de flujo de una primera realización que puede emplear denticulos (riblets) aerodinámicos diseñados estructuralmente;

la FIGURA 9B es una vista lateral en corte de una modificación de la realización de la FIGURA 2A con una capa adicional de soporte;

la FIGURA 9C es una vista lateral en corte de una modificación de la realización de la FIGURA 2A con una capa de recubrimiento sobre el material de la base del denticulo;

la FIGURA 9D es una vista lateral en corte de una realización alternativa con puntas rígidas de denticulo;

la FIGURA 10A es una vista en planta de una porción de una superficie aerodinámica que emplea denticulos (riblets) de la realización como se muestra en la FIGURA 9B;

la FIGURA 10B es una vista en corte comparable con la FIGURA 9B para referencia con las características de la FIGURA 10A;

la FIGURA 11 es un diagrama de flujo de un método de conformación para las puntas de los denticulos (riblets) de la presente realización;

la FIGURA 12A es un diagrama de flujo que describe el uso de las realizaciones de denticulos (riblets) con puntas rígidas divulgadas en el presente documento en el contexto de un método de fabricación y de mantenimiento de aeronaves; y

la FIGURA 12B es un diagrama de bloques que representa una aeronave que emplea los denticulos (riblets) con puntas rígidas con realizaciones según se divulga en el presente documento.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Las realizaciones divulgadas en el presente documento proporcionan denticulos (riblets) diseñados estructuralmente para una máxima durabilidad al proporcionar una tensión igualada a lo largo de la superficie del denticulo. Las realizaciones divulgadas en el presente documento proporcionan una sección parabólica y son particularmente aplicables para materiales de módulo elevado y materiales elastoméricos de gran alargamiento para denticulos (riblets) que pueden recibir impactos de equipos de apoyo terrestre o riesgos medioambientales tales como granizo para evitar una deformación/daños permanentes. Estas realizaciones también permiten un diseño estructural optimizado de los denticulos (riblets) que proporciona la capacidad de que sean más delgados y más eficaces aerodinámicamente. Los materiales que tienen una región elástica pequeña que normalmente sería deformada plásticamente de una forma no recuperable pueden ser empleados más fácilmente con la sección parabólica definida en el presente documento. Se muestra una realización ejemplar de denticulos (riblets) elastoméricos que tienen una estructura, como se describirá con más detalle a continuación, como una porción de una superficie aerodinámica para una aeronave, como se muestra en la FIGURA 1. La aeronave 110 emplea una estructura con una superficie 111, mostrada ampliada, que tiene múltiples denticulos (riblets) sustancialmente paralelos 112 dispuestos en paralelo a la dirección de flujo como se representa por medio de la flecha 114. Para la realización ejemplar mostrada, la dimensión 116 de altura perpendicular a la superficie 111 es de aproximadamente 0,051 mm mientras que la separación 118 entre los denticulos (riblets) es de aproximadamente 0,076 mm como se muestra, por ejemplo, en la FIGURA 9A. La separación o distribución de los denticulos (riblets) en un conjunto puede variar dependiendo de las propiedades fluidodinámicas, o puede ser predeterminada por las mismas, del aire, agua u otro fluido para el que se emplea la aplicación de los denticulos (riblets). Normalmente, la superficie aerodinámica es curvada, sin limitación, y puede ser una porción de un ala, una góndola de un motor, una superficie de control, un fuselaje u otra superficie adecuada. Por lo tanto, se puede requerir una flexibilidad y una conformabilidad de los denticulos (riblets) y de cualquier estructura que soporte y fije los denticulos (riblets) a la superficie. Aunque se describen en el presente documento con respecto a una superficie aerodinámica de una aeronave, las realizaciones divulgadas en el presente documento son igualmente aplicables para una reducción de la resistencia aerodinámica sobre superficies de otros vehículos aeroespaciales tales como, sin limitación, misiles o cohetes y de otros vehículos tales como coches, camiones, autobuses y trenes que se mueven en un fluido gaseoso, comúnmente el aire, o en embarcaciones, submarinos, embarcaciones con aletas portantes hidrodinámicas, conductos de flujo de fluido u otras superficies expuestas al flujo de fluido líquido. Además, se pueden utilizar estos denticulos (riblets) en componentes giratorios tales como palas de rotor de helicópteros o de molinos de viento que requieren una durabilidad elevada y un rendimiento aerodinámico mejorado.

Las realizaciones divulgadas en el presente documento reconocen y proporcionan la capacidad para que los denticulos (riblets) puedan resistir diversos impactos y/u otras fuerzas que puedan reducir la durabilidad de los denticulos (riblets). Además, algunas de las distintas realizaciones ventajosas proporcionan una estructura de múltiples capas que puede tener una capa de soporte y una pluralidad de puntas de denticulos (riblets) ubicadas en la capa de soporte, o que se extienden desde la misma. Las puntas que forman los denticulos (riblets) están fabricadas a partir de materiales elastoméricos de gran alargamiento. Las propias puntas de los denticulos (riblets) pueden tener una construcción de múltiples capas. Las realizaciones mostradas también son aplicables para

dentículos (riblets) con puntas rígidas o dentículos (riblets) con memoria de forma para una mayor capacidad estructural o una capacidad a temperatura elevada.

En la FIGURA 2A se muestra la conformación ejemplar del perfil del dentículo para una tensión igualada en toda la altura del dentículo para maximizar el beneficio del material escogido de dentículo. Las puntas individuales 202 de los dentículos (riblets) para las realizaciones divulgadas en el presente documento pueden incorporar un corte transversal con forma parabólica que tiene una ecuación de $y = px^2 + h$ con respecto al eje y 2034, en la que h es la altura 116 del dentículo y el grosor del dentículo $t = 2x$ en un alzado de y. La determinación del parámetro, p, de la forma real puede depender del material seleccionado para los dentículos (riblets), la rigidez deseada de los dentículos (riblets) y el rendimiento aerodinámico requerido, como se describirá con más detalle a continuación. Un parámetro preferente de forma $p = -h/x_b$, en la que x_b es la mitad de la anchura de la base de la parábola, proporciona una punta estrecha con una superficie muy inclinada cerca de la punta para un rendimiento aerodinámico. Para la realización ejemplar $h = 50$ micrómetros y $x_b = 5$ micrómetros y, por lo tanto, el parámetro de forma $p = -2$ proporciona una amplia aplicabilidad a numerosos materiales, incluyendo materiales rígidos tales como níquel y elastómeros tales como poliuretanos de gran alargamiento con un único diseño y herramienta maestra. Hay definido un carenado 205 de base en la superficie de contacto entre dentículos (riblets) 202 y la capa superficial 204 para la distribución de la carga para evitar un fallo o rotura plástico de la capa superficial con una deflexión máxima de los dentículos (riblets). Para la realización ejemplar, se escogió 1 micrómetro como el radio del carenado para maximizar el grado de la forma parabólica dado que distribuye la tensión/esfuerzo uniformemente; y debido a que es suficiente para eliminar la discontinuidad con la superficie plana evitando que se convierta en la causa del fallo de los dentículos (riblets) bajo cargas combinadas. La transición entre el carenado y la parábola debe ser uniforme y se efectúa al hacer que la forma del carenado sea tangencial a la parábola (y también a la superficie plana). En diversas realizaciones, el carenado puede ser circular, elíptico, parabólico u otra forma uniformemente variable tangente al dentículo y la superficie plana.

Se puede obtener una reducción adicional en un esfuerzo localizado mediante oscilación de la altura a lo largo de la línea 206 del saliente de las puntas 202 de los dentículos (riblets), como se muestra en la FIGURA 2B. Para la realización mostrada, se emplea una oscilación de la altura de $\pm 10\%$ de la altura de los dentículos (riblets).

La FIGURA 3 muestra el perfil parabólico del corte transversal de un dentículo 202 de la presente realización descrito anteriormente en comparación con formas ejemplares de dentículo de la técnica anterior. Cortes transversales triangulares máximo y mínimo (50° y 20°), según divulga Bechert (patente US nº 5.971.326) expedida el 26/10/1999 a Bechert para un perfil mínimo 302 y un perfil máximo 304. También se muestran para la comparación el carenado 306 de radio máximo de Bechert para el triángulo mínimo y el carenado de radio máximo para el triángulo máximo 308. También se muestra un radio ejemplar 310 de carenado para la presente realización. El perfil mínimo de Bechert, aunque es deseable desde un punto de vista aerodinámico, no proporciona suficiente resistencia estructural para una durabilidad elevada requerida de las superficies de los dentículos (riblets). El perfil máximo de Bechert proporciona una mayor resistencia estructural en la base, pero no en la punta y proporciona una reducción significativamente menor de la resistencia aerodinámica. El diseño triangular más estrecho proporciona una buena reducción de la resistencia aerodinámica antes de su implementación en servicio, pero la punta es muy distorsionable como consecuencia de concentraciones de tensión y de esfuerzo cerca de la punta debidas específicamente a la geometría triangular y a la separación de los dentículos (riblets). El diseño parabólico de la presente realización es más estrecho y mantiene superficies más inclinadas cerca de la parte superior del saliente de los dentículos (riblets) para un mayor rendimiento aerodinámico en comparación con cualquiera de los dentículos (riblets) triangulares de $20^\circ - 50^\circ$ mientras que mejora significativamente la capacidad estructural al mantener una distribución igualada de tensión sobre el área en corte transversal. En la FIGURA 4A se muestra con detalle la punta 202 del dentículo con un eje x expandido en aras de la claridad para demostrar la ventaja de la forma (inclinaciones mayores cerca del saliente) del diseño parabólico con respecto a los perfiles triangulares de Bechert. Como se muestra en la FIGURA 4B, las inclinaciones para los dentículos (riblets) triangulares de 50° y 20° de Bechert (302, 304), y un dentículo triangular intermedio 402 de 30° son 2,1, 5,7, 3,7, respectivamente, mientras que se puede considerar que la inclinación ejemplar de la inclinación parabólica del dentículo se encuentra entre 10 y $13,4$ al considerar las inclinaciones de un triángulo 404 que está incluido en el perfil parabólico y un triángulo 406 en el que está incluido el perfil parabólico.

Las FIGURAS 5 y 6 ilustran las grandes diferencias en el comportamiento estructural entre el dentículo triangular con un ángulo de 30° comprendido entre los lados y una serie de diseños de dentículo parabólico. Se escogió un dentículo triangular de 30 grados con una base de 0,025 mm, punto 502 de los datos, para la comparación, dado que había datos de laboratorio o de vuelo que mostraban problemas de durabilidad para esta geometría tanto con una composición de níquel como de polímero. En ambos gráficos se aplica una carga de 6894,76 Pa a la punta de los dentículos (riblets) parabólicos y triangulares. Los puntos de datos para un diseño parabólico 502, 504, 506, 508, 510 y 512 en la FIGURA 5 demuestran que un diseño parabólico con una base de 0,015 mm tiene una deflexión equivalente de la punta con respecto a un dentículo triangular de 30° con una base de 0,025 mm, punto 502 de los datos, que ilustra las reducciones potenciales de peso y los beneficios aerodinámicos del diseño parabólico que se derivan de las paredes muy inclinadas cerca de la punta.

De forma similar, como se muestra en la FIGURA 6, la comparación de la tensión de Von Mises bajo una carga de 6894,76 Pa aplicada a las puntas para los denticulos (riblets) triangulares de 30° y diversos denticulos (riblets) parabólicos ilustra la gran reducción de tensión obtenida específicamente con un denticulo parabólico. La figura también demuestra que existen tensiones muy dispares en la base 602 de la punta y en el extremo 604 de la punta del denticulo de sección triangular de 30°; aproximadamente 110316,12 Pa en la base de la punta y 896318,45 Pa en la punta afilada del triángulo mientras que las anchuras variables de base desde 0,025 mm hasta 0,010 mm de la sección parabólica tienen una tensión sustancialmente constante de aproximadamente 199947,96 Pa en los extremos 606, 608 y 610 de las puntas entre anchuras de base de 0,025 mm y 0,015 mm, mientras que la tensión es inferior a 241316,51 Pa en las bases 614, 616 y 618 de las puntas para esas anchuras de base y solo aumenta marginalmente para anchuras de base bajando hasta 0,010 mm. Las líneas discontinuas muestran la tensión en la punta y en la base del denticulo parabólico con una anchura de base en la que la punta del denticulo se ha desviado una cantidad equivalente al denticulo triangular.

Esta disparidad en los niveles de tensión en el corte transversal de los denticulos (riblets) tiene un efecto drástico sobre el perfil de deflexión a través de la estructura del denticulo, como se muestra en las FIGURAS 7A y 7B para un denticulo triangular 702 y un denticulo parabólico 704, respectivamente, con un factor de escala de aumento de 0,05 para exagerar la deflexión en aras de la claridad. Las deflexiones que pueden superar los límites elásticos cerca del extremo de la punta en una punta de denticulo de perfil triangular están distribuidas por la sección en una punta de denticulo parabólico, evitando de ese modo deformaciones plásticas no recuperables. Se utiliza una punta de denticulo para el análisis mostrado en las FIGURAS 7A y 7B.

En la FIGURA 8A se muestra una visualización gráfica de las tensiones de Von Mises en la punta ejemplar 704 de denticulo parabólico de níquel que tiene una anchura 802 de base de 0,015 mm y una altura de 0,051 mm. También se utiliza una punta de denticulo de níquel para el análisis mostrado en la FIGURA 8A. En aras de la simplificación el modelo ejemplar no tiene un carenado en la base y, por lo tanto, hay presente una concentración de tensión justo por encima de la base debido a esta discontinuidad. Se emplea un carenado como se divulga en diversas realizaciones en el presente documento para distribuir la carga en esta área, eliminando de ese modo el fallo estructural en esta ubicación. El perfil parabólico de la punta 704 del denticulo permite que las tensiones sean distribuidas uniformemente a lo largo de la altura de todo el denticulo en vez de concentrarse cerca de la punta. Se debe hacer notar que las tensiones elevadas representadas en el dibujo en la punta parabólica de la FIGURA 8A son debidas a la falta de fidelidad geométrica en el modelo. En cambio, la imagen del denticulo triangular 702 de 30° en la FIGURA 8B muestra una deformación y una tensión muy localizadas que pueden tener como resultado una deformación o un agrietamiento irreparable en el área del extremo de la punta. Como se describirá a continuación, las estructuras de punta de los denticulos (riblets) pueden emplear una capa de recubrimiento sobre un núcleo rígido o elastomérico. La igualación de tensiones a lo largo de la superficie sobre toda la longitud del denticulo proporcionada por el perfil parabólico, como se demuestra en la FIGURA 8A, puede evitar un agrietamiento localizado de la capa de recubrimiento al proporcionar una tensión igualada en la capa superficial. De forma alternativa, para un diseño más frangible, tal como el triángulo de 30° con un agrietamiento previsto de la capa de recubrimiento, unos niveles igualados de tensión pueden proporcionar un agrietamiento sistemático separado a lo largo de la superficie de la punta.

La conformación parabólica proporciona un beneficio significativo debido a que distribuye uniformemente la tensión y el esfuerzo a lo largo de todo el denticulo. Cuanto mayor sea el alargamiento recuperable en el material, mejor, debido a que las puntas de los denticulos (riblets) son muy estrechas, especialmente en el caso de la forma triangular en la que las puntas pueden ser de 0,1 micrómetros. Se puede extender un araño de uña para un elastómero que tiene un grosor de 0,1 micrómetros en la punta de un denticulo triangular a más de un denticulo, y quizás a múltiples denticulos (riblets), que están separados aproximadamente 90 micrómetros, lo que es mayor que un 900% si solo participa la punta. El denticulo parabólico doblado plano con respecto a la superficie plana tiene un esfuerzo máximo a lo largo del borde exterior de únicamente un 37%, como se muestra en la FIGURA 8C. La FIGURA 8D muestra la distribución de esfuerzo principal máximo para la forma ejemplar del denticulo. Las FIGURAS 8E y 8F muestran una comparación de un carenado con forma de elipse y de un carenado redondo, respectivamente, con un esfuerzo principal máximo.

En la FIGURA 9A se muestra una realización para denticulos (riblets) ejemplares que emplean denticulos (riblets) elastoméricos de gran alargamiento con punta rígida o aleaciones con memoria de forma como una construcción de múltiples capas. Las puntas individuales 202 de los denticulos (riblets), que tienen una sección parabólica como se ha descrito anteriormente, sobresalen de la capa superficial 204. Los denticulos (riblets) sobresalientes y la capa superficial continua están formados mediante moldeo o deposición de materiales de módulo elevado tales como níquel, cromo, otras aleaciones metálicas, vidrio, cerámica, carburo de silicio o nitruro de silicio, aleaciones metálicas amorfas tales como Vitreloy 105 (Zr: 52,5 Ti: 5 Cu: 17,9 Ni: 14,6 Al: 10) o Vitreloy 106a (Zr: 58,5 Cu: 15,6 Ni: 12,8 Al: 10,3 Nb: 2,8), aleaciones con memoria de forma (SMA), tales como cobre-cinc-aluminio-níquel, cobre-aluminio-níquel, níquel-titanio (NiTi), aleaciones pseudoelásticas de titanio beta y otras aleaciones metálicas adecuadas, que proporcionan un comportamiento superelástico que surge de la transformación reversible de fase martensítica inducida por la tensión, elastómero con memoria de forma tal como, por ejemplo sin limitación, poliuretano modificado por oligosilsesquioxano poliédrico (POSS) o elastómeros más típicos que incluyen poliuretanos,

siliconas, epoxi, polisulfuro, etilenpropilendieno, fluorosilicona y fluoroelastómeros, con un revestimiento metálico rígido tal como níquel o materiales rígidos alternativos tales como cromo, otras aleaciones metálicas, vidrio, cerámica, carburo de silicio o nitruro de silicio, o como realización ejemplar, un elastómero de gran alargamiento tal como uretano similar a PRC PR 1664D. En diversas realizaciones se puede seleccionar el elastómero de gran
 5 alargamiento entre el conjunto de polímeros y copolímeros (típicamente copolímeros de bloques) y polímeros con memoria de forma de epoxi, poliuretano, poliurea, poliolefina, etileno propileno, silicona, polibutadieno, policloropreno, polietileno clorado y fluorosiliconas, poliuretanos fluorados, perfluoropoliéteres, poliuretanos sillados y otros polímeros híbridos que incluyen silsesquioxano oligomérico poliédrico (POSS). El polímero elastomérico puede estar cargado o no. Para la realización mostrada en la FIGURA 9A se deposita una capa de adhesivo 206 en
 10 una parte inferior 204a de la capa superficial 204. Este adhesivo podría ser uno de muchas posibilidades incluyendo, sin limitación, adhesivos acrílicos sensibles a la presión, adhesivos de poliuretano sensibles a la presión, polisulfuro, epoxi, termoplásticos, adhesivos termorreactivos, adhesivos de silicona o adhesivos de fluorosilicona.

En realizaciones alternativas, una capa polimérica 208 de soporte se acopla a la capa superficial 204 intermedia
 15 entre la capa superficial 204 y la capa adhesiva 206, como se muestra en la FIGURA 9B. La capa polimérica 208 de soporte puede ser una película polimérica o de otro material adecuado. En ciertas realizaciones se emplea polieteretercetona (PEEK). El polímero de soporte, el adhesivo y/u otros elementos en la segunda capa proporcionan una rigidez o resiliencia adicional y se puede preparar la capacidad de adherencia a la superficie como un aplique prefabricado sobre el que se deposita o se forma el elastómero de gran alargamiento de la capa
 20 superficial y de las puntas.

La FIGURA 9C es una realización alternativa adicional en la que el elastómero de gran alargamiento está revestido con una capa superficial 209 de recubrimiento. Para la realización ejemplar mostrada, la capa 209 de recubrimiento es un revestimiento transparente pero reflectante o absorbente de los rayos ultravioletas (UV) tal como óxido de cinc u óxido de indio y estaño. La capa superficial elastomérica 204 puede ser adherida entonces a una superficie
 25 utilizando una capa de adhesivo 206 o directamente como se describe con respecto a la FIGURA 2D. La capa de recubrimiento también puede proporcionar una funcionalidad alternativa tal como conductividad/resistividad eléctrica para disipar o conducir cargas p-estáticas (<500 ohmios/cuadrado), memoria de forma o coloración u otros efectos decorativos. En diversas realizaciones alternativas, para conseguir la funcionalidad deseada, se selecciona la capa de recubrimiento entre restos o híbridos orgánicos e inorgánicos. Se pueden seleccionar capas ejemplares de recubrimiento para diversas realizaciones entre restos o híbridos orgánicos e inorgánicos. La capa de recubrimiento orgánico está seleccionado entre el conjunto de películas delgadas de parileno, PTFE, poliamida (nailon), poliimida y polietileno. La capa de recubrimiento inorgánico pueden ser películas delgadas o películas de múltiples capas
 30 incluyendo revestimientos similares a diamante amorfo (DLC), metales tales como aluminio, cromo, oro, platino, rodio o níquel, y óxidos tales como dióxido de silicio, óxido de aluminio, óxido de indio y estaño, óxido de estaño, óxido de titanio, óxido de cinc, y nitruros tales como nitruro de boro y nitruro de silicio. La capa de recubrimiento híbrido pueden ser sol-geles orgánicos-inorgánicos o POSS colgante o capas monomoleculares organometálicas, o capas nanomoleculares tales como una capa nanomolecular de metal-polímero producido por Modumetal 1443 N. Northlake Way, Seattle, Washington 98103, EE. UU., o de cerámica-metal o de cerámica-polímero.

Se prevé que la capa 209 de recubrimiento de protección puede no tener propiedades de alargamiento similares a las de las puntas elastoméricas 202 de gran alargamiento y se prevé una deflexión superficial del elastómero de gran alargamiento, y tras la eliminación de la carga y la recuperación del elastómero hasta casi la forma original se mantendrá sustancialmente una protección contra rayos UV por parte de la capa de recubrimiento, que permanece
 45 adherida a las puntas elastoméricas y a la capa superficie aunque esté agrietada. La capa 209 de recubrimiento puede proporcionar una resistencia a los efectos electromagnéticos tales como una carga estática que una estructura de material compuesto por sí sola puede no proporcionar, sustituyendo o complementando de ese modo apliques de papel metálico de LSA y materiales similares. La capa 209 de recubrimiento también puede ser una película de múltiples capas o de interferencia que puede proporcionar una protección contra los rayos UV, efectos de color y efectos decorativos mejorados. La capa de recubrimiento también puede ser un conjunto de escala nanométrica de partículas o varillas u otra estructura que se encuentra en la superficie, o cerca de la misma, de la parábola. Tales nanoestructuras pueden estar formadas de óxido de cinc o de óxido de titanio, por ejemplo.

En la forma mostrada en las FIGURAS 9A, 9B o 9C, la realización puede ser fabricada como un aplique 207 de múltiples capas como se muestra en la FIGURA 9B, incluyendo las puntas 202, la capa superficial 204, la capa polimérica 208 de soporte y la capa de adhesivo 206, que, entonces, puede ser adherido a la superficie aerodinámica utilizando la capa de adhesivo 206. Las realizaciones alternativas también pueden emplear una malla metálica/rejilla inductiva, rejilla capacitiva o papel metálico, tal como de aluminio. La estructura de múltiples capas de papel metálico, de polímero y de adhesivo puede ser comparable a un aplique contra impactos de rayos (LSA) actual
 60 empleado para superficies estructurales de aeronaves de material compuesto, tal como el dado a conocer en la solicitud de patente US con nº de serie 11/611023, de Rawlings, presentada el 14/12/2006 titulada LIGHTNING STRIKE PROTECTION METHOD AND APPARATUS. La capa metálica en realizaciones alternativas puede ser discontinua y puede proporcionar una estructura de un recubrimiento de gran área derivador de rayos (WALDO), solicitud 11/229911, de Rawlings et al., presentada el 19/09/2005, titulada WIDE AREA LIGHTNING DIVERTER
 65 OVERLAY o circuitos electrónicos integrados en la estructura de múltiples capas como se da a conocer en la

solicitud complementaria con nº de serie 112/612576, de Rawlings, presentada el 19/12/2006 titulada LARGE AREA CIRCUITRY USING APPLIQUES, cuyas divulgaciones están incorporadas en el presente documento por referencia.

5 En realizaciones alternativas, la capa superficial 204 puede ser adherida directamente a la superficie 111 de la aeronave, o depositada sobre la misma. En tales realizaciones alternativas, la capa polimérica 208 de soporte puede emplear un termoplástico (o resina termoendurecible tal como un epoxi) en una configuración similar a la dada a conocer en la FIGURA 9B sin una capa de adhesivo que permita una unión directa a la superficie 111 de la aeronave con la aplicación de calor, radiación o mediante inductancia magnética.

10 Para la realización mostrada en la FIGURA 9D, se muestran denticulos (riblets) con puntas rígidas fabricados a partir de metales de módulo elevado tales como níquel (utilizado para la realización descrita en el presente documento) o materiales rígidos alternativos tales como cromo, otras aleaciones metálicas, vidrio, cerámica, carburo de silicio o nitruro de silicio. Con superficies curvadas complejas o múltiples, puede ser deseable que las puntas individuales 202' de los denticulos (riblets) estén separadas entre sí de forma perpendicular a la dirección del flujo para una mayor flexibilidad lateral. Para la realización mostrada, las puntas individuales 202' sobresalen desde una capa elastomérica 204'. Las puntas 202' tienen un perfil parabólico como se describe con respecto a la FIGURA 2. Una base 210 se expande desde cada punta. En ciertas realizaciones la capa elastomérica 204' rodea la base 210 para proporcionar una mayor continuidad estructural. En realizaciones alternativas una cara inferior 211 de la base se adhiere directamente a la superficie expuesta 204a de la capa elastomérica 204'.

20 Una estructura de múltiples capas que incorpora una pantalla y/o una capa de papel metálico 212 tal como aluminio, una capa polimérica 214 tal como PEEK y una capa de adhesivo 216 soporta la capa elastomérica 204'. La capa polimérica 214 y la capa de adhesivo 216 pueden ser suministradas como una porción del aplique preformado o depositadas directamente sobre la capa elastomérica 204'. La capa metálica 212 proporciona un material conductor para una protección contra impactos de rayos en un uso ejemplar de la realización en una aeronave. La estructura de múltiples capas a base de capa metálica, polímero y adhesivo puede ser comparable a un aplique contra impactos de rayos (LSA) actual empleado para superficies estructurales de aeronave de material compuesto.

30 La capa elastomérica 204' que soporta las puntas 202' de los denticulos (riblets) puede proporcionar una deformación y recuperación elástica lateral para las puntas cuando se aplican las fuerzas laterales aumentando, además, de ese modo la durabilidad de las puntas rígidas del denticulo. Además, la flexibilidad de la capa elastomérica puede permitir una mayor capacidad para ajustarse a formas de contorno complejo.

35 Las FIGURAS 10A y 10B muestran vistas en planta y lateral de la realización como se da a conocer en la FIGURA 9B como un ejemplo de conjuntos de denticulos (riblets) resultante de las realizaciones divulgadas. Los denticulos (riblets) 112 formados por las puntas 202 se expanden longitudinalmente a lo largo de la capa superficial 204 en la dirección 114 de flujo. La capa superficial delgada 204 permite la flexibilidad al adherirse a la curvatura que tiene tangentes sustancialmente perpendiculares a los denticulos (riblets) 112, como se representa por medio de la flecha 115. Las propiedades del elastómero de gran alargamiento utilizado en las realizaciones descritas permite una flexibilidad en la deformación de los apliques para coincidir con los contornos superficiales de la aeronave o de otra superficie sobre la que se aplican los conjuntos de denticulos (riblets).

45 Como se muestra en la FIGURA 11, para las realizaciones que se describen, se realiza una selección de un material deseado para una durabilidad elevada de los denticulos (riblets) tal como elastómeros de gran alargamiento, denticulos (riblets) rígidos o aleaciones con memoria de forma, etapa 1102. Se realiza una determinación de la altura, h, y de la separación, d, para el rendimiento aerodinámico del conjunto de denticulos (riblets), etapa 1104, y se realiza la determinación del factor de perfil, p, para el perfil parabólico para el material seleccionado, etapa 1106. Entonces, se calcula el perfil parabólico de los denticulos (riblets), etapa 1108, y se realiza una determinación del rendimiento resultante aerodinámico y estructural, etapa 1110. Se puede lograr la iteración del material, del factor de perfil, de la altura y de la separación para optimizar el conjunto resultante de denticulos (riblets). Además, para puntas de denticulos (riblets) elastoméricos de gran alargamiento o de otros materiales en los que es deseable una capa de recubrimiento, la determinación del factor de perfil parabólico puede incluir la selección del factor de perfil coherente con una capa de recubrimiento sobre el material seleccionado de los denticulos (riblets). Un material resistente a los rayos UV tal como óxido de cinc u óxido de indio y estaño sería ejemplar para los denticulos (riblets) elastoméricos de gran alargamiento.

60 Entonces, se forma una herramienta maestra que tiene protuberancias parabólicas correspondientes a la forma del conjunto deseado de denticulos (riblets) y superficies intermedias sustancialmente planas para la separación, etapa 1112. Se forma una herramienta complementaria a partir de la herramienta maestra, etapa 1114, lo que puede lograrse mediante la impresión sobre la herramienta maestra para proporcionar surcos correspondientes a una forma del denticulo con una separación entre los surcos que proporciona la superficie intermedia sustancialmente plana. Aunque se muestran como un único conjunto de la herramienta maestra y de la herramienta complementaria para el método mostrado, las realizaciones alternativas pueden emplear múltiples conjuntos de herramientas maestras y complementarias para un procedimiento de bobinas o procedimientos alternativos. Se depositan las puntas de los denticulos (riblets) y una capa superficial sobre la herramienta complementaria, etapa 1116. En

diversas realizaciones del método, las puntas y la capa superficial pueden ser de materiales elastoméricos de gran alargamiento o puntas de aleación rígidas o con memoria de forma embebidas en una capa superficial elastomérica. Los materiales elastoméricos de gran alargamiento pueden ser seleccionados entre el conjunto de uretano, epoxi y fluorosilicona como se describe para las realizaciones del presente documento. Los materiales elastoméricos pueden ser moldeados sobre la herramienta complementaria o para aplicaciones de herramienta de bobinas, pulverizados o formados por inmersión sobre la herramienta. Se puede llevar a cabo la formación de las puntas de aleación rígidas o con memoria de forma mediante tales métodos como la deposición electrónica de una capa metálica de recubrimiento sobre la herramienta complementaria y de electroformación de las puntas sobre la capa de recubrimiento.

Entonces, se crea un aplique para las puntas de los dentículos (riblets) y la capa superficial, etapa 1118. En diversas realizaciones, el aplique puede ser una capa adhesiva depositada sobre la capa superficial opuesta a las puntas de los dentículos (riblets). Se puede añadir un revestimiento de adhesivo en aras de la conveniencia en la manipulación del aplique y luego puede ser retirado antes de su aplicación a una superficie. Las realizaciones alternativas incluyen una capa polimérica de soporte intermedia entre la capa superficial y la capa de adhesivo y, opcionalmente, un papel metálico o una capa de malla para la creación de un aplique de protección contra rayos. Entonces, se retira el aplique de la herramienta complementaria, etapa 1120, y se adhiere a una superficie aerodinámica, etapa 1122. En ciertas realizaciones alternativas, la herramienta complementaria puede actuar como una máscara de protección que es retenido hasta que se adhiere el aplique a la superficie. En otras realizaciones, se puede añadir una capa de enmascaramiento para una protección de manipulación de los dentículos (riblets) y luego se retira después de que se adhiere el aplique a la superficie.

Para realizaciones que emplean un compuesto elastomérico de gran alargamiento para las puntas de los dentículos (riblets) y la capa superficial, se puede depositar la capa de recubrimiento resistente a rayos UV descrita anteriormente sobre la capa elastomérica de gran alargamiento después de la retirada de la herramienta complementaria, o cuando la herramienta complementaria es una herramienta de bobinas, el revestimiento resistente a los rayos UV puede ser depositado eléctricamente sobre la herramienta de bobinas antes de depositar la capa elastomérica de gran alargamiento.

Con referencia más en particular a las FIGURAS 12A y 12B, se pueden describir realizaciones de los dentículos (riblets) elastoméricos de gran alargamiento dados a conocer en el presente documento y los métodos para su fabricación en el contexto de un método 1200 de fabricación y de mantenimiento de aeronaves, como se muestra en la FIGURA 12A, y de una aeronave 1202, como se muestra en la FIGURA 12B. Durante la preproducción, el método ejemplar 1200 puede incluir la especificación y el diseño 1204 de la aeronave y el acopio 1206 de material. Durante la producción, tienen lugar la fabricación 1208 de componentes y de subconjuntos y una integración 1210 de sistemas de la aeronave. Los apliques de dentículos (riblets) y sus procedimientos de fabricación según se describen en el presente documento pueden lograrse como una porción de la etapa 1208 de producción, de fabricación de componentes y de subconjuntos y/o como una porción de la integración 1210 de sistemas. Más adelante, la aeronave puede pasar por la homologación y la entrega 1212 para ser puesta en servicio 1214. Mientras se encuentre en servicio con un cliente, la aeronave 1202 tiene programados un mantenimiento y un servicio rutinarios 1216 (que también pueden incluir modificaciones, reconfiguraciones, modernizaciones, etcétera). Según se describen los apliques de dentículos (riblets) en el presente documento también pueden ser fabricados y aplicados como una porción del mantenimiento y servicio rutinarios 1216.

Se pueden realizar o llevar a cabo cada uno de los procedimientos del método 1200 por medio de un integrador de sistemas, un tercero y/o una empresa explotadora (por ejemplo, un cliente). Para los fines de la presente descripción, un integrador de sistemas puede incluir, sin limitación, cualquier número de fabricantes de aeronaves y subcontratistas de sistemas principales; un tercero puede incluir, sin limitación, cualquier número de vendedores, subcontratistas y proveedores; y una empresa explotadora puede ser una aerolínea, una empresa de arrendamiento, entidad militar, organización de mantenimiento, etcétera.

Como se muestra en la FIGURA 12B, la aeronave 1202 producida mediante el método ejemplar 1200 puede incluir un fuselaje 1218 que tiene una superficie 111 como se describe con respecto a la FIGURA 1 y una pluralidad de sistemas 1220 y un interior 1222. Los ejemplos de sistemas 1220 de alto nivel incluyen uno o más sistemas 1224 de propulsión, un sistema 1226 eléctrico y de aviónica, un sistema hidráulico 1228 y un sistema ambiental 1230. Se puede incluir cualquier número de otros sistemas. Los dentículos (riblets) elastoméricos de gran alargamiento soportados por las realizaciones divulgadas en el presente documento pueden ser una porción del fuselaje 1218, principalmente el acabado del revestimiento metálico y de superficies exteriores. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, los principios divulgados en las realizaciones del presente documento pueden ser aplicados a otras industrias, tales como la industria de la automoción y la industria marina/naval.

El aparato y los métodos implementados en el presente documento pueden ser empleados durante una cualquiera o más de las etapas del método 1200 de producción y de mantenimiento. Por ejemplo, se pueden fabricar o construir componentes o subconjuntos correspondientes a un procedimiento 1208 de producción de una forma similar a los componentes o subconjuntos producidos mientras la aeronave 1202 se encuentra en servicio. Además, se pueden

5 utilizar una o más realizaciones del aparato, realizaciones del método, o una combinación de las mismas durante las etapas 1208 y 1210 de producción, por ejemplo, al acelerar sustancialmente el montaje de una aeronave 1202, o al reducir el coste de la misma. De forma similar, se pueden utilizar una o más de las realizaciones del aparato, de las realizaciones del método, o una combinación de las mismas mientras la aeronave 1202 se encuentra en servicio, por ejemplo y sin limitación, en mantenimiento y en servicio 1216.

10 Habiendo descrito ahora diversas realizaciones en detalle como requieren las normas de patentes, los expertos en la técnica reconocerán las modificaciones y sustituciones a las realizaciones específicas divulgadas en el presente documento. Tales modificaciones se encuentran dentro del alcance y del propósito de la presente invención como se define en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de dentículos (riblets) que comprende:

5 una capa elastomérica de gran alargamiento que tiene puntas separadas (112) con un corte transversal parabólico; y
 una capa (209) de recubrimiento depositada sobre la capa elastomérica, en el que el elastómero de gran alargamiento es elásticamente recuperable para un alargamiento de 300 – 3000%.

10 2. El conjunto de dentículos (riblets) según se define en la reivindicación 1, en el que la capa elastomérica de gran alargamiento se selecciona entre el conjunto de uretano, epoxi y fluorosilicona.

3. Un método de reducción de la resistencia aerodinámica sobre una superficie aerodinámica que comprende:

15 formar un conjunto de una pluralidad de puntas (112) de dentículos (riblets) con un corte transversal parabólico que se extiende desde una capa superficial formada a partir de una capa elastomérica de gran alargamiento, en el que la capa elastomérica de gran alargamiento es recuperable elásticamente para un alargamiento de 300-3000%; y
20 adherir el conjunto de dentículos (riblets) (112) a una superficie aerodinámica.

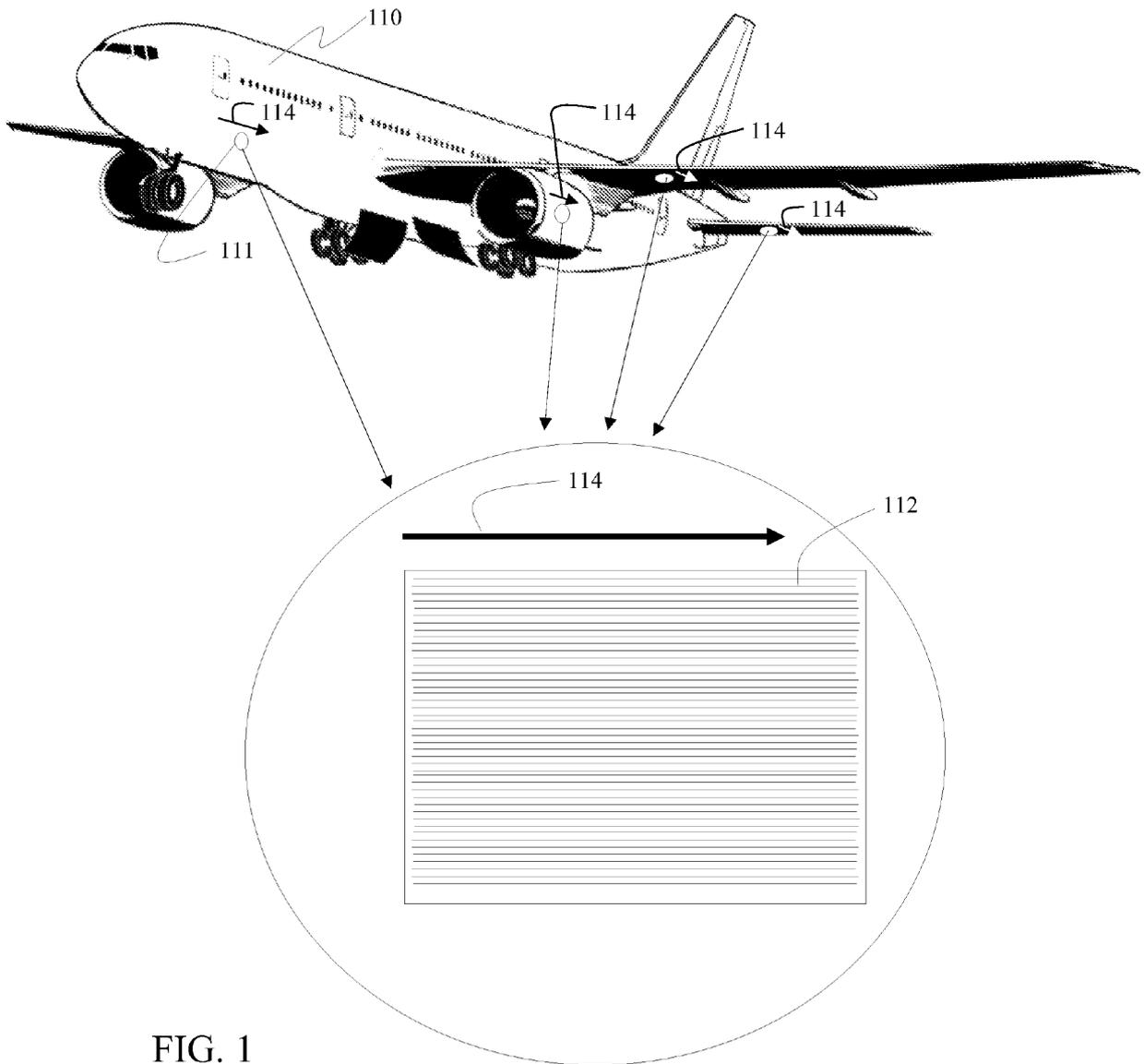


FIG. 1

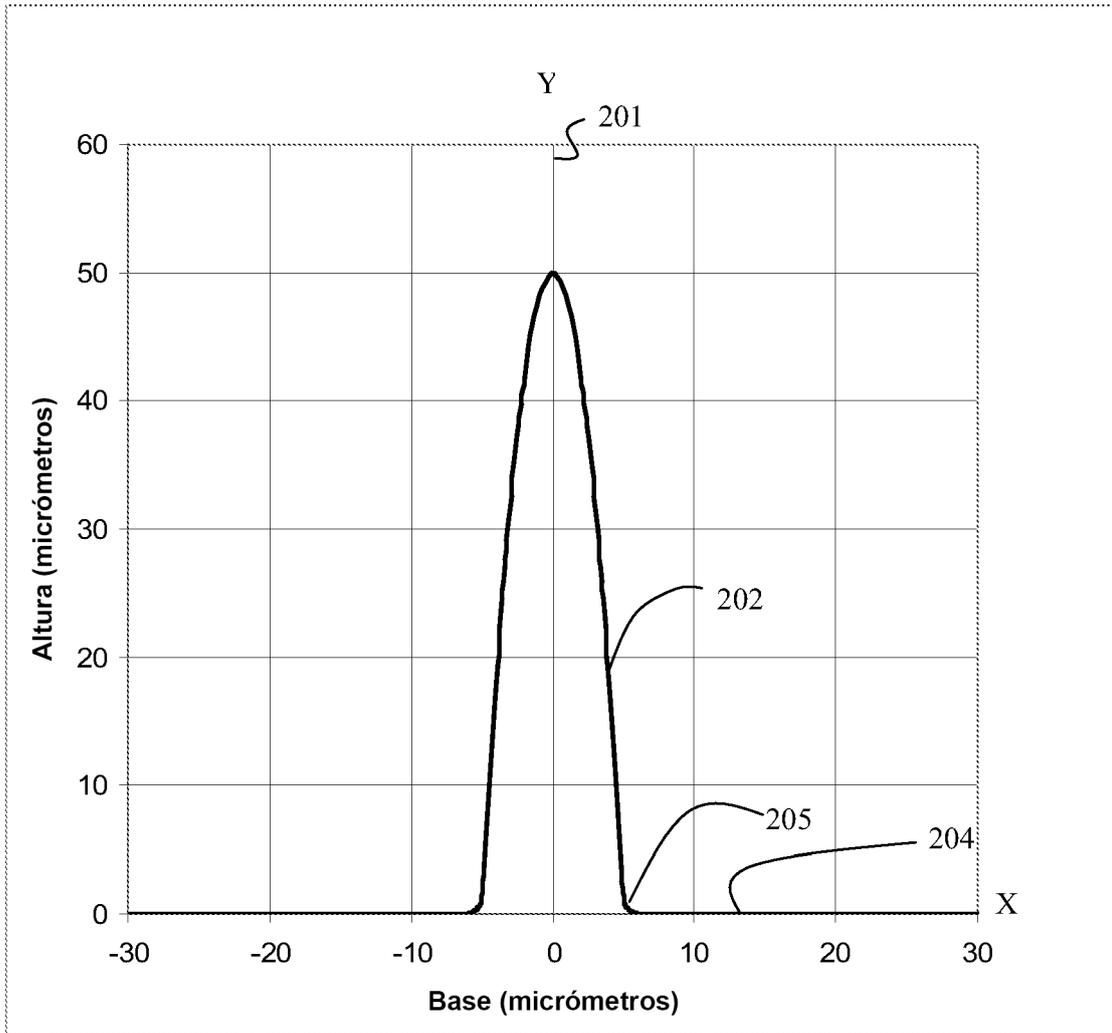


FIG. 2A

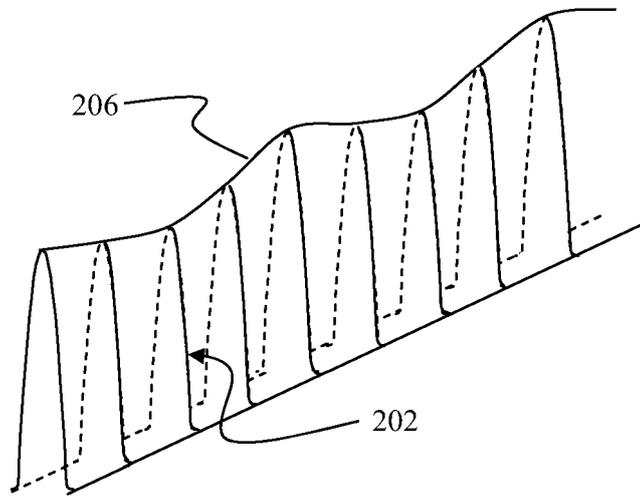


FIG. 2B

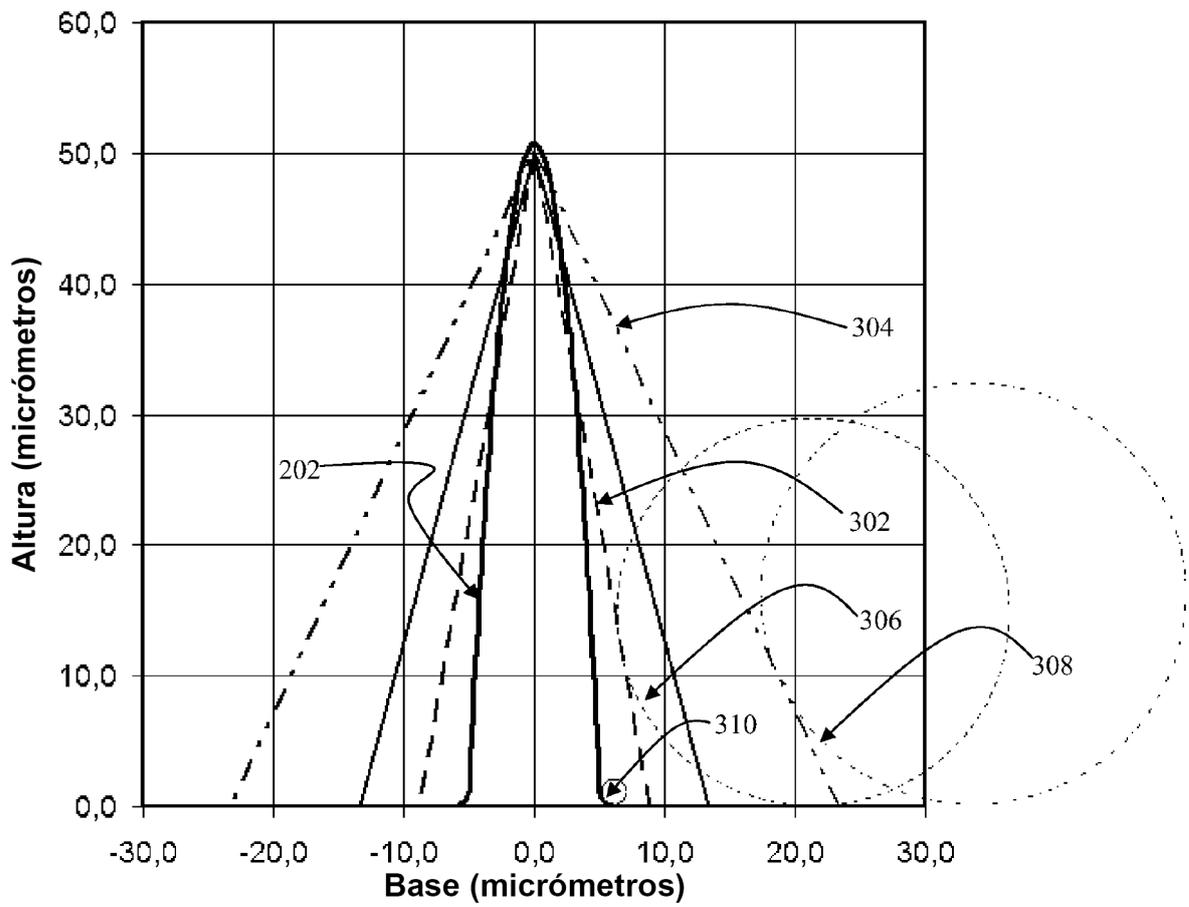


FIG. 3

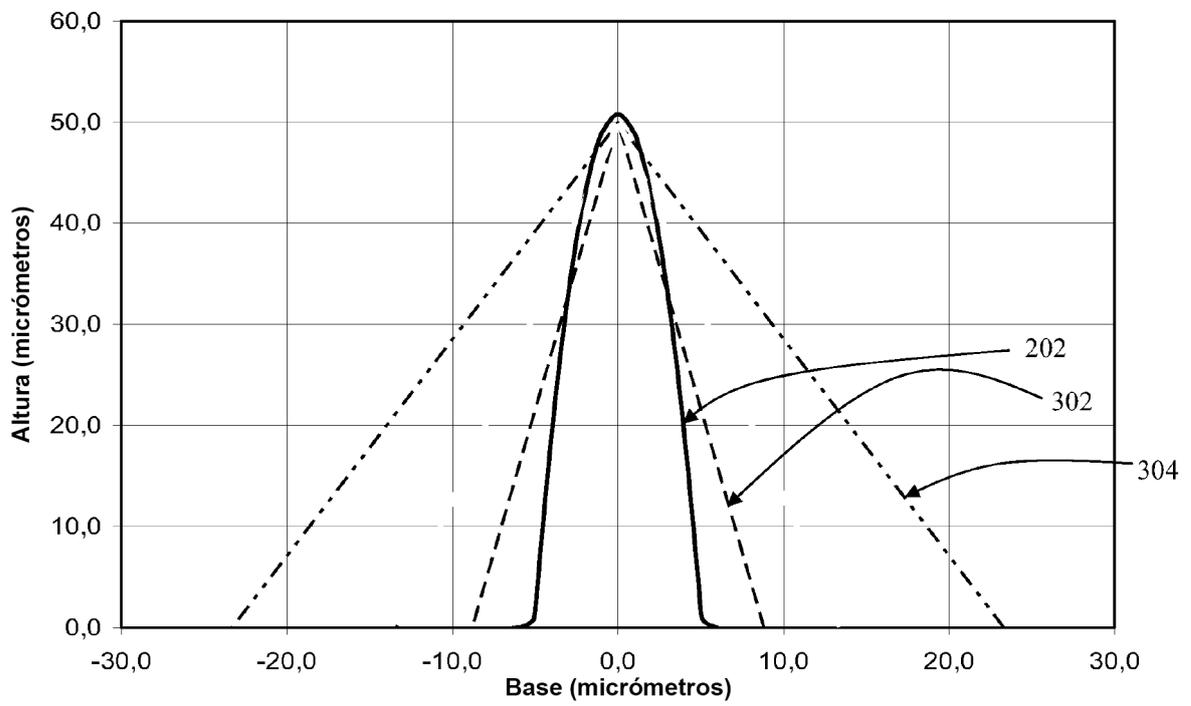


FIG. 4A

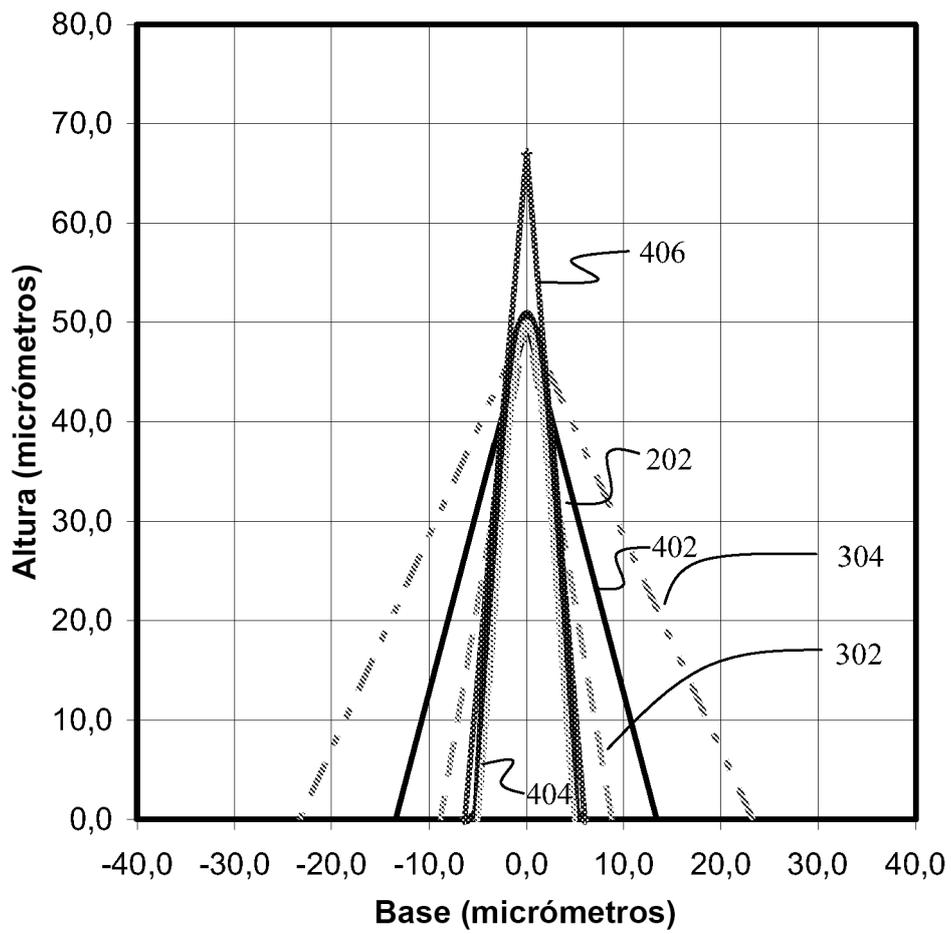


FIG. 4B

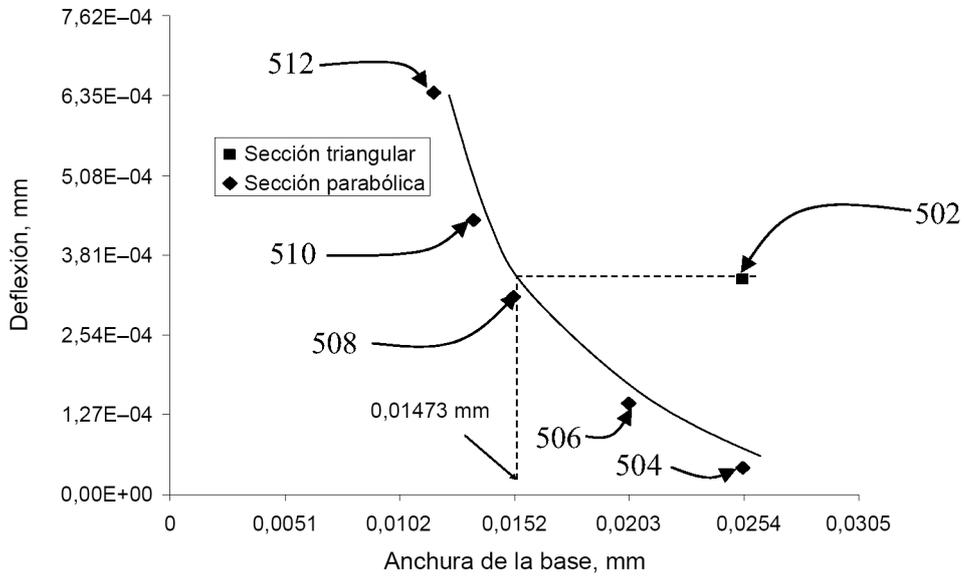


FIG. 5

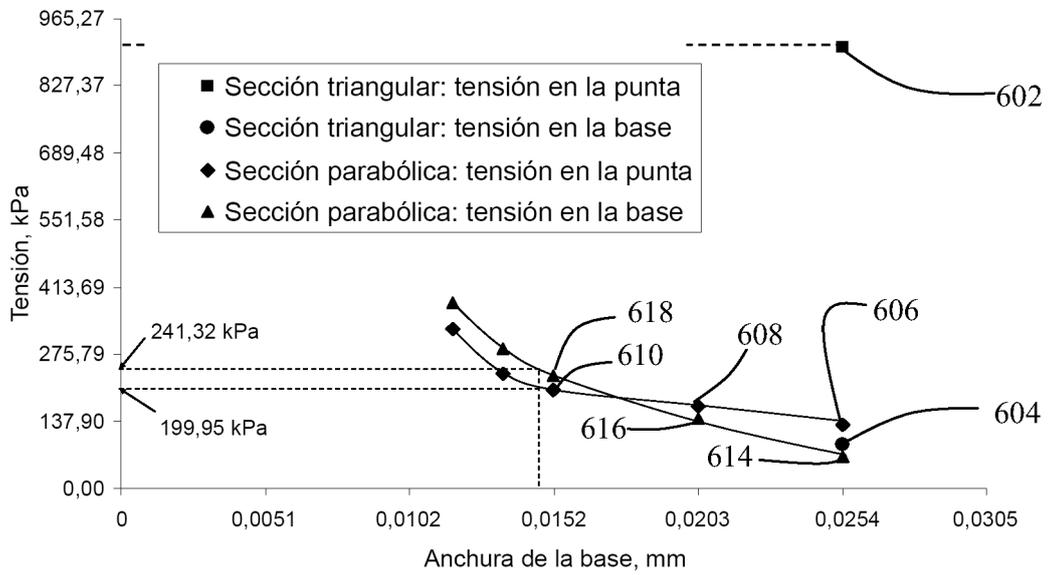


FIG. 6

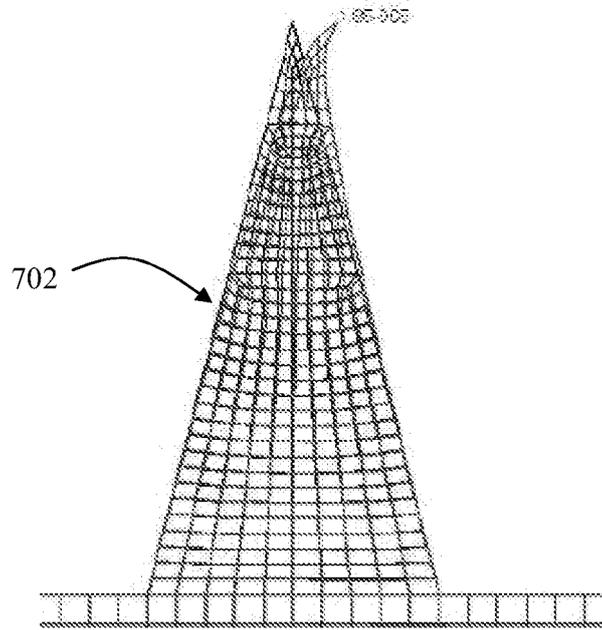


FIG. 7A

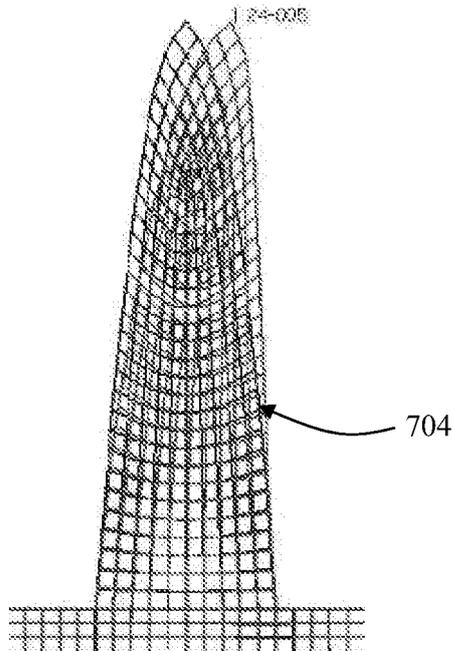


FIG. 7B

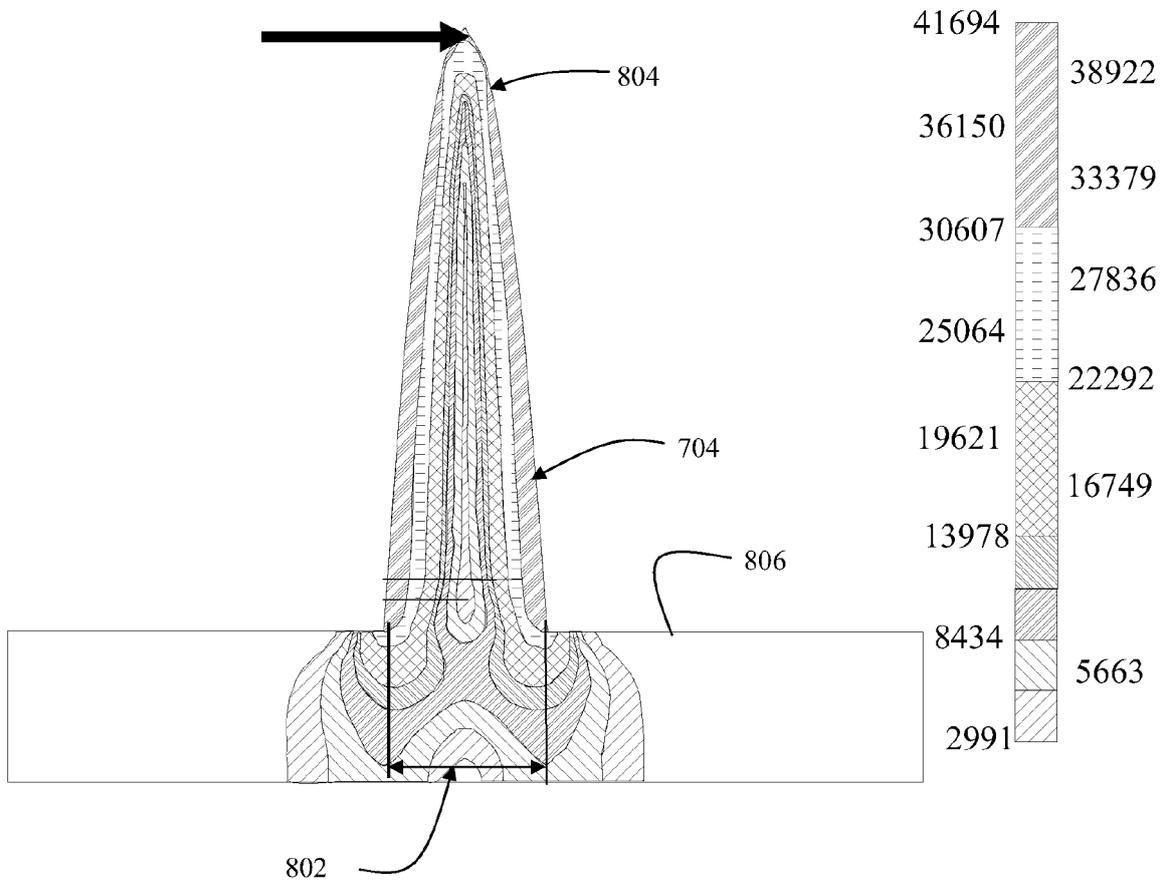


FIG. 8A

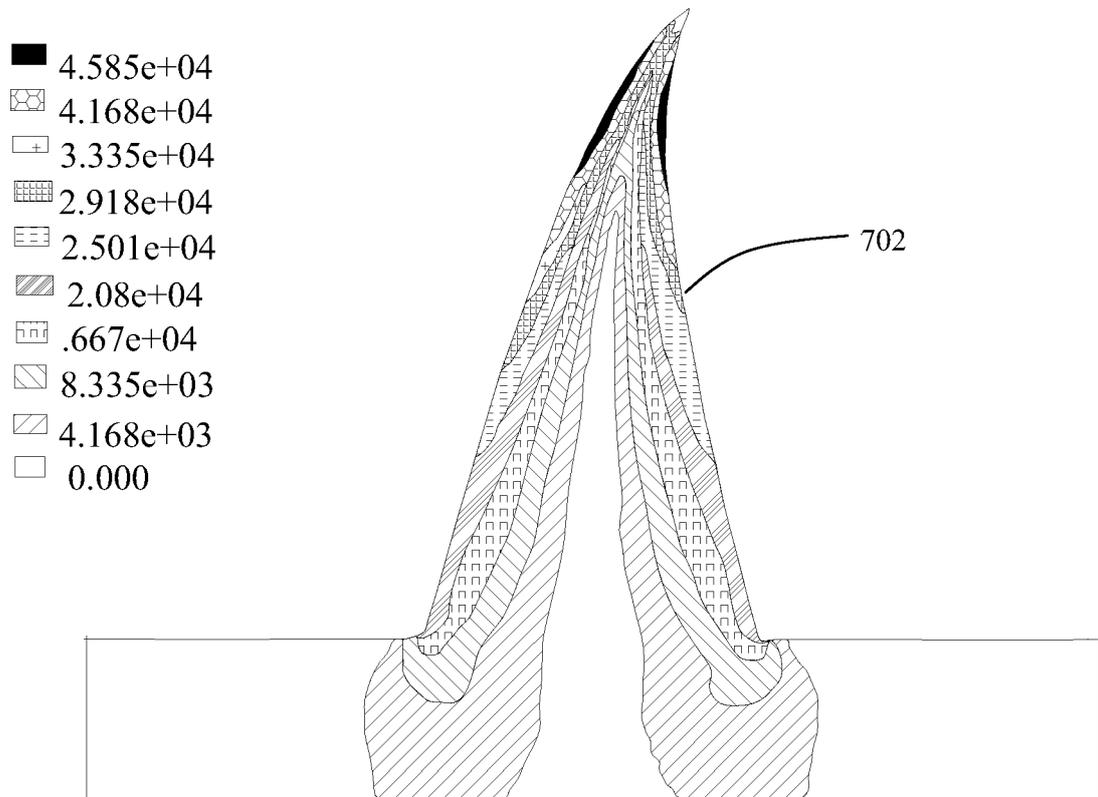


FIG. 8B

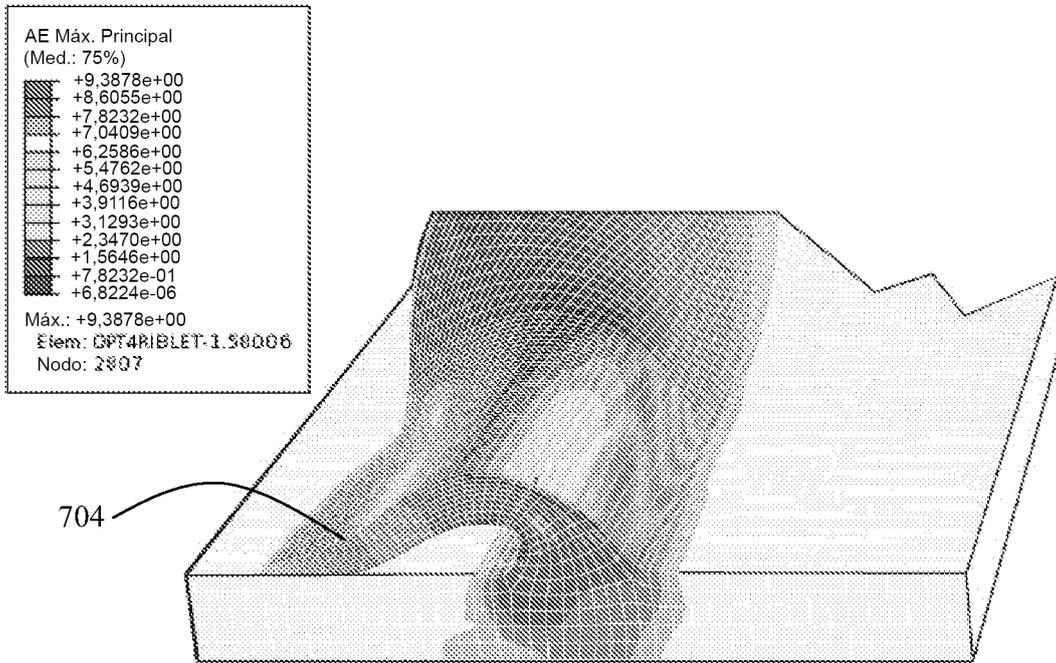


FIG. 8C

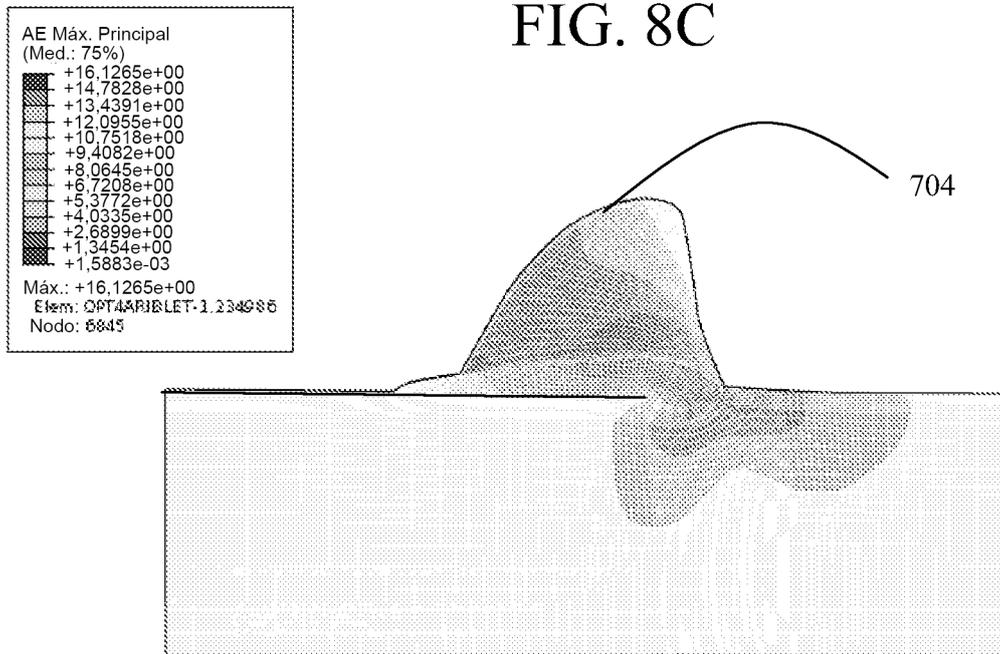


FIG. 8D

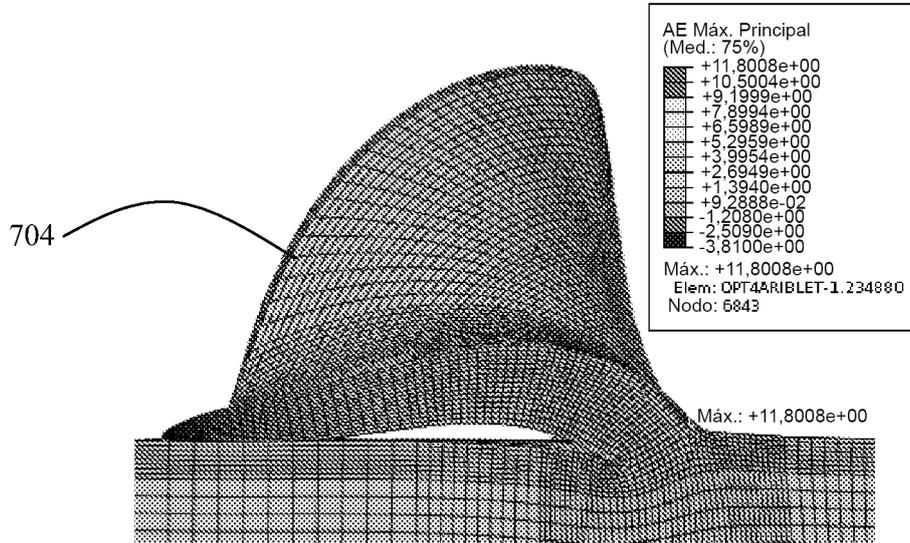


FIG. 8E

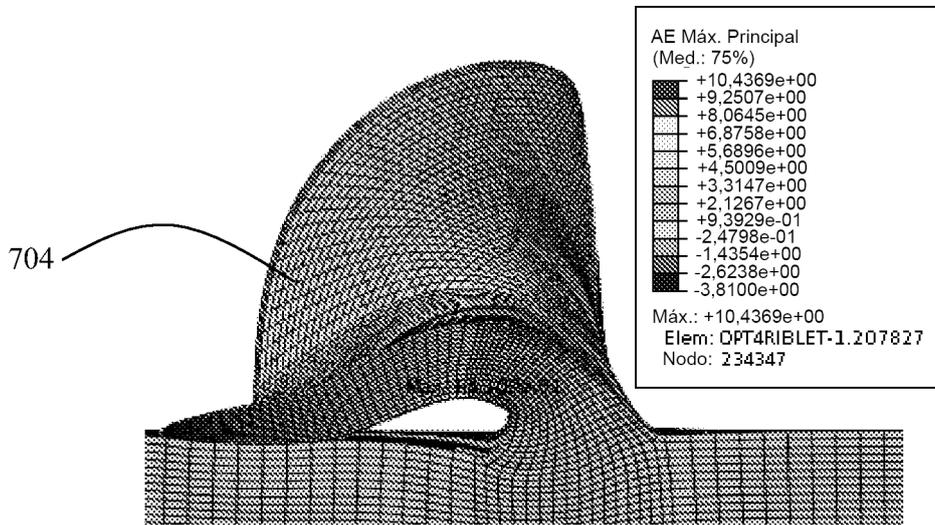


FIG. 8F

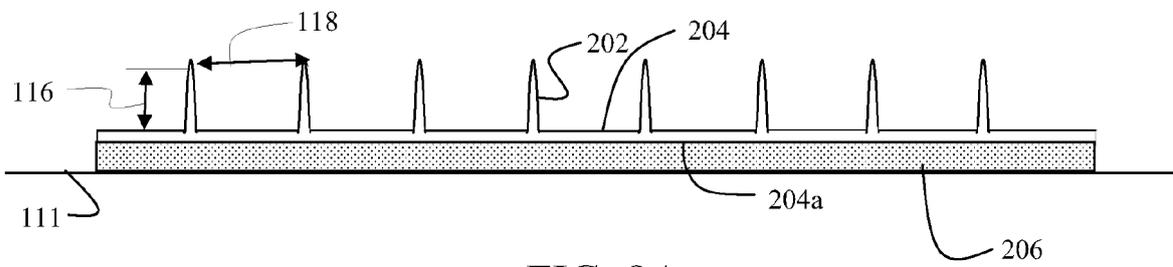


FIG. 9A

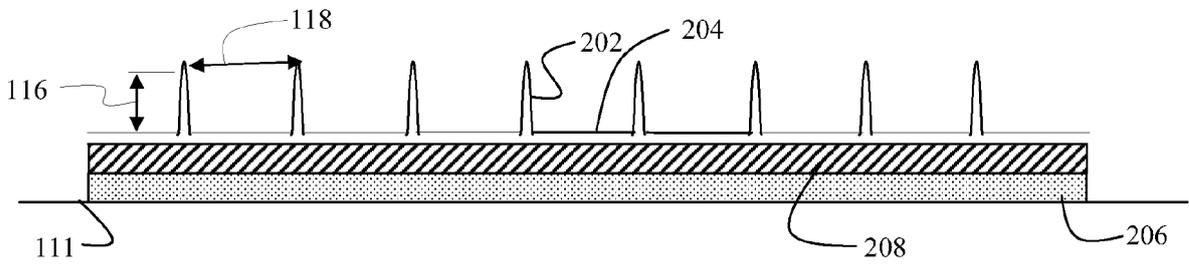


FIG. 9B

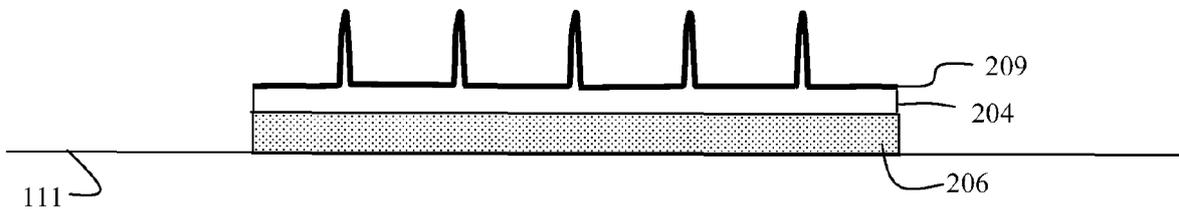


FIG. 9C

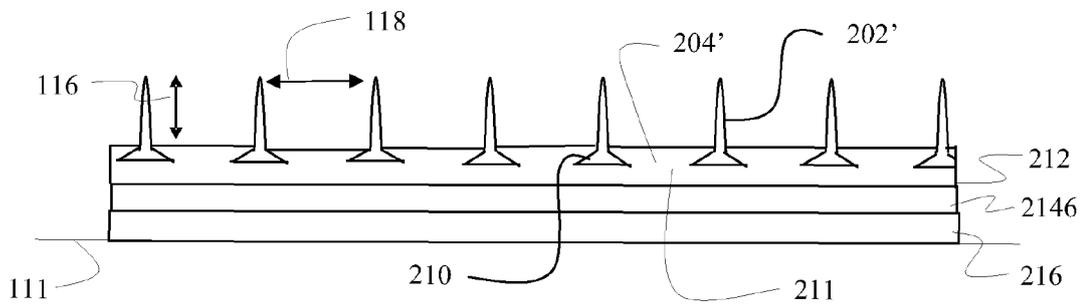


FIG. 9D

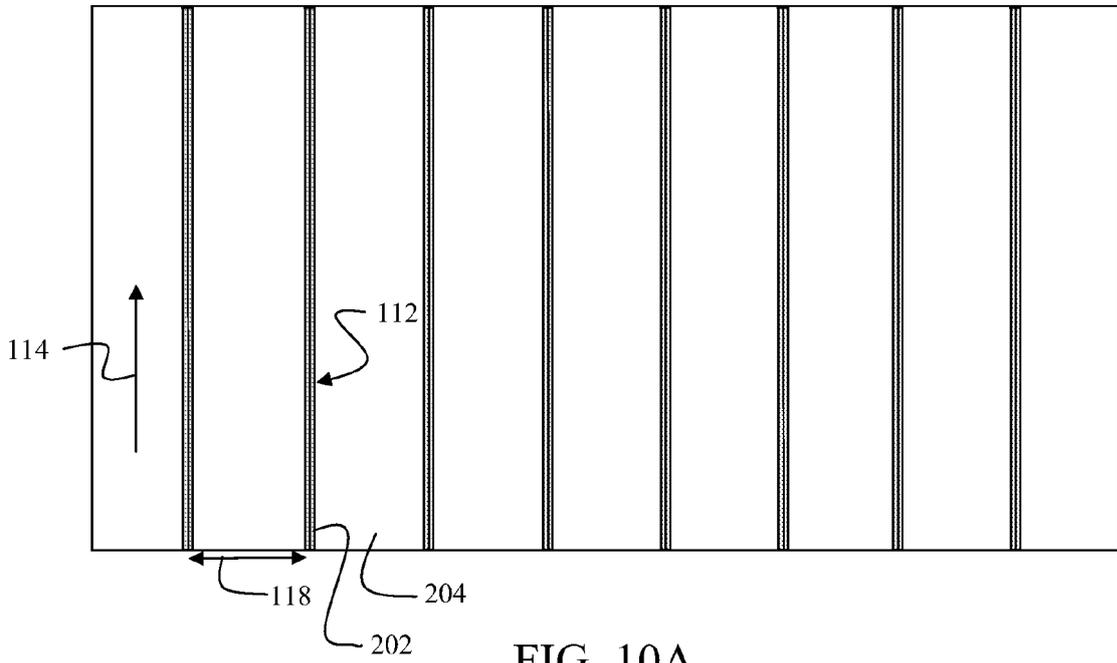


FIG. 10A

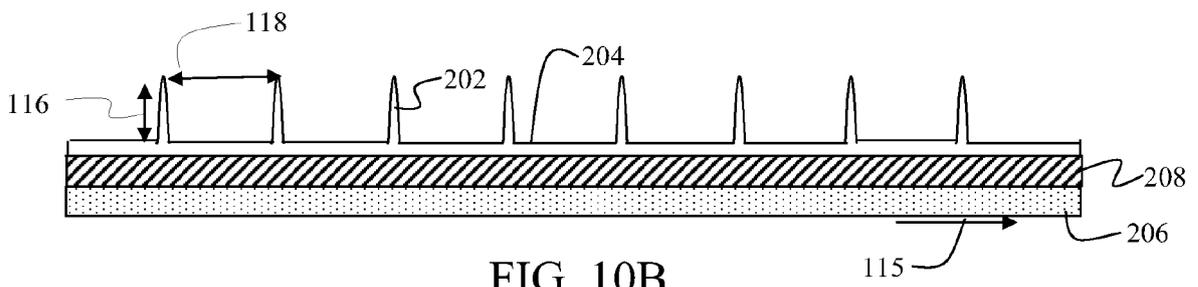


FIG. 10B

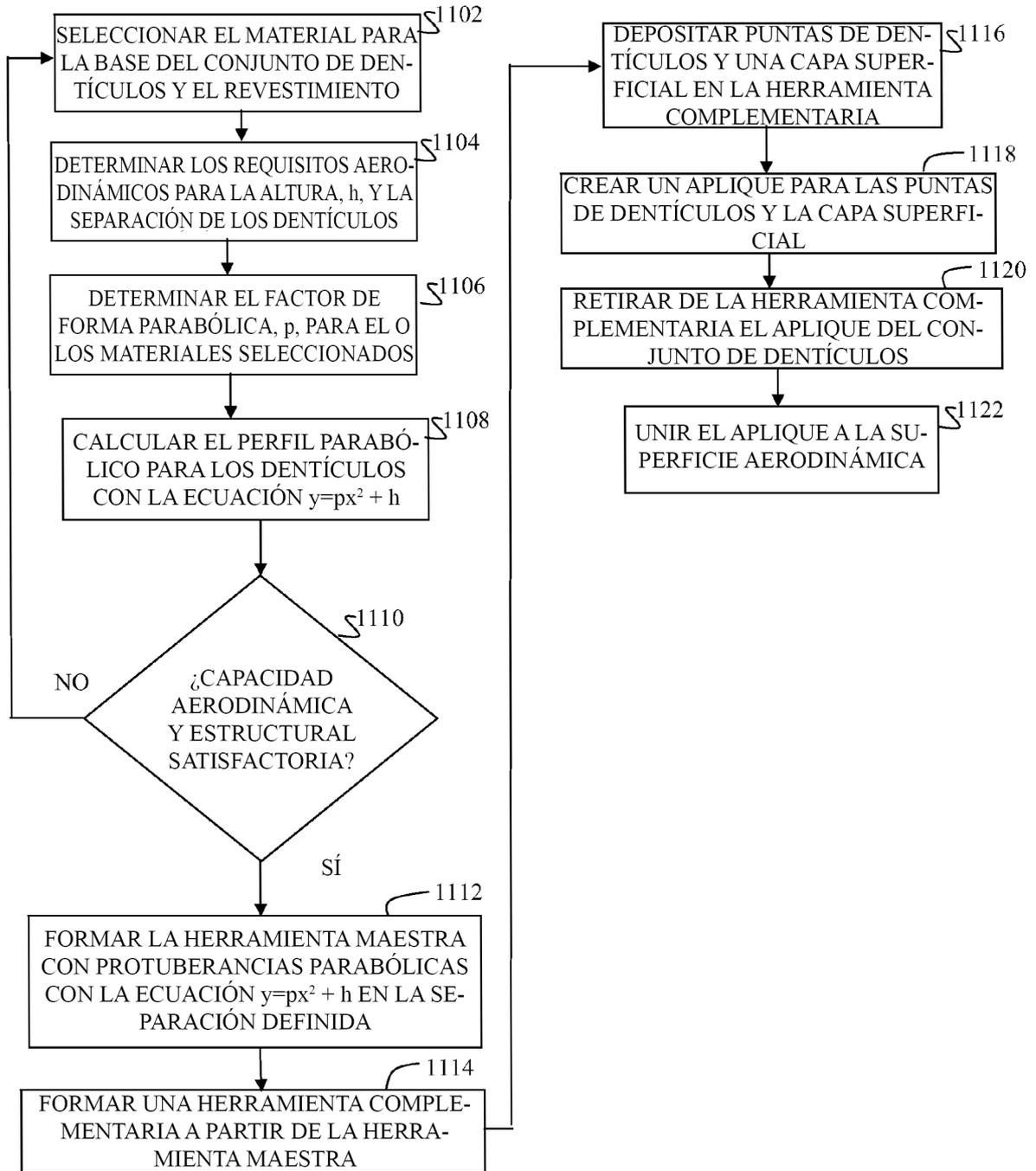


FIG. 11

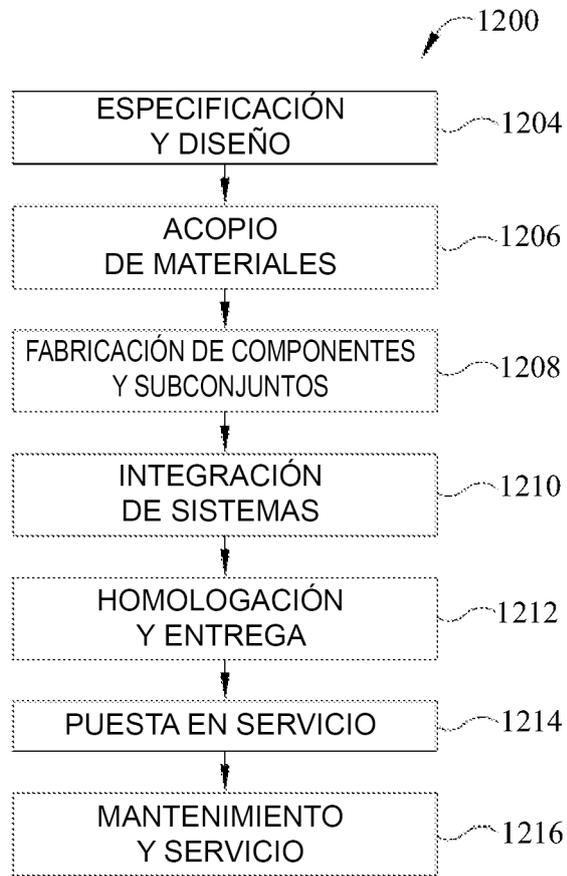


FIG. 12A

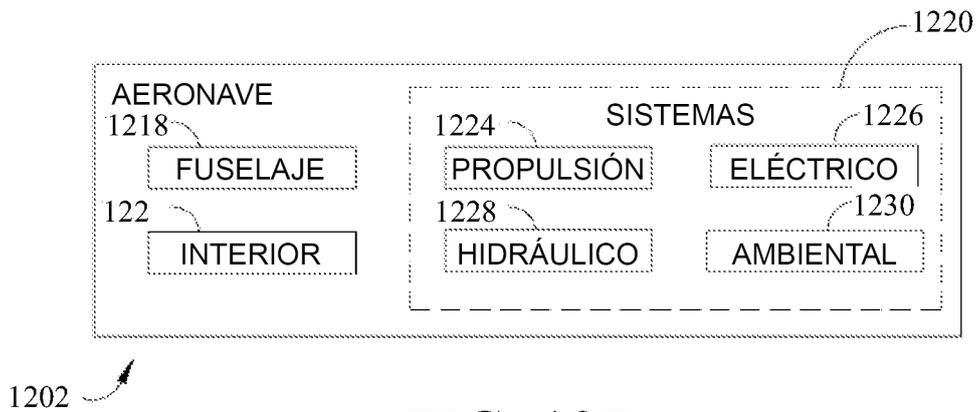


FIG. 12B