

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 092**

51 Int. Cl.:

B64C 3/48 (2006.01)

B64C 3/50 (2006.01)

B64C 3/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2014 E 14196306 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.02.2019 EP 2915741**

54 Título: **Borde de ataque aerodinámico transformable**

30 Prioridad:

04.03.2014 US 201414196461

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

08.07.2019

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**GRIP, ROBERT E.;
BROWN, JOHN J.;
HARRISON, NEAL A.;
RAWDON, BLAINE K. y
VASSBERG, JOHN C.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 719 092 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

Borde de ataque aerodinámico transformable

Campo

5 La presente divulgación se relaciona en general con perfiles aerodinámicos y, más particularmente, con un sistema y método para transformar un borde de ataque de perfil aerodinámico entre diferentes formas.

Antecedentes

10 Las aeronaves típicamente incluyen una diversidad de dispositivos para mejorar el rendimiento aerodinámico de la aeronave durante diferentes fases de vuelo. Por ejemplo, una aeronave puede incluir dispositivos de borde de ataque montados en los bordes de ataque del ala y los cuales pueden desplegarse durante el despegue, aproximación y/o en la fase de aterrizaje de un vuelo, y pueden retraerse durante la fase de crucero de un vuelo. Al desplegar los dispositivos de borde de ataque, el flujo de aire se puede mantener sobre las alas en ángulos de ataque elevados los cuales pueden permitir una disminución en la velocidad de una aeronave durante el despegue o un aumento en el ángulo de descenso durante la aproximación y/o una reducción en la velocidad de aterrizaje.

15 Desafortunadamente, los dispositivos de borde de ataque de las aeronaves convencionales tienen características geométricas que interrumpen el flujo de aire sobre las alas, incluso cuando se retraen, tal como durante la fase de crucero de un vuelo. Por ejemplo, los dispositivos de borde de ataque convencionales pueden incluir un peldaño entre el borde posterior del dispositivo de borde de ataque y la parte de ala principal cuando el dispositivo de borde de ataque se retrae. Cuando se despliega el dispositivo de borde de ataque, puede existir una brecha entre el dispositivo de borde de ataque y la parte de ala principal. Los peldaños y brechas asociados con los dispositivos de borde de ataque convencionales pueden provocar que el flujo laminar pase a un flujo no laminar sobre el perfil aerodinámico. La transición al flujo no laminar puede reducir el rendimiento aerodinámico de la aeronave. Además, los peldaños y brechas asociados con los dispositivos de borde de ataque convencionales pueden generar ruido que puede aumentar el ruido de la aeronave durante el despegue y el aterrizaje. Además, los peldaños y brechas asociados con los dispositivos de borde de ataque convencionales pueden causar vibración y aleteo los cuales, con el tiempo, puede tener un efecto indeseable en los mecanismos de accionamiento para dispositivos de borde de ataque.

20 Como puede observarse, existe una necesidad en la técnica de un borde de ataque de un perfil aerodinámico que pueda reducir o impedir la existencia de características geométricas que provocan la transición del flujo laminar al flujo no laminar.

30 Los siguientes documentos proporcionan ejemplos de la técnica anterior los cuales proponen la transformación del borde de ataque de un perfil aerodinámico entre diferentes formas: US4349169, DE102012110805, US3716209, US6076776. El documento EP2727825 es un documento no publicado previamente relacionado con un tema similar.

Resumen

35 Las necesidades mencionadas anteriormente asociadas con perfiles aerodinámicos se abordan específicamente mediante la presente divulgación la cual proporciona un perfil aerodinámico que tiene un borde de ataque y un mecanismo de control de forma de acuerdo con la reivindicación 1. El borde de ataque incluye un revestimiento flexible del borde de ataque que tiene un primer extremo, un segundo extremo, y una longitud del arco definida entre ellos. El mecanismo de control de forma está unido al revestimiento flexible del borde de ataque en una pluralidad de ubicaciones de soporte. El mecanismo de control de forma cambia el revestimiento flexible del borde de ataque a partir de una primera forma que tiene un primer perfil de curvatura a una segunda forma que tiene un segundo perfil de curvatura diferente al primer perfil de curvatura sin un cambio en la longitud del arco.

40 Además, se divulga un método para transformar un borde de ataque de un perfil aerodinámico. El método, de acuerdo con la reivindicación 7, incluye el control de un mecanismo de control el cual está unido a un revestimiento flexible del borde de ataque del perfil aerodinámico en una pluralidad de ubicaciones de soporte de un revestimiento del borde de ataque. El método incluye adicionalmente la transición del revestimiento flexible del borde de ataque de una primera forma que tiene un primer perfil de curvatura a una segunda forma que tiene un segundo perfil de curvatura que es diferente del primer perfil de curvatura. El cambio de la primera forma a la segunda forma puede resultar en un cambio en la curvatura del perfil aerodinámico. Para algunas partes de la longitud del arco, la curvatura local puede ser mayor cuando el revestimiento del borde de ataque está en la primera forma que la curvatura local cuando el revestimiento del borde de ataque está en la segunda forma. Para otras partes de la longitud del arco, la curvatura local puede ser menor cuando el revestimiento del borde de ataque está en la primera forma que la curvatura local cuando el revestimiento del borde de ataque está en la segunda forma. El método incluye también mantener una misma longitud del arco del revestimiento del borde de ataque durante la transición del revestimiento flexible del borde de ataque a partir de la primera forma a la segunda forma.

55 Las características, funciones y ventajas que se han discutido se pueden lograr independientemente en diversas realizaciones de la presente divulgación o se pueden combinar en aún otras realizaciones, cuyos detalles de los cuales se pueden ver con referencia a la siguiente descripción y dibujos a continuación.

Breve descripción de los dibujos

Estas y otras características de la presente divulgación se harán más evidentes con referencia a los dibujos, en donde números similares se refieren a partes similares en todas partes y en donde:

- 5 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un perfil aerodinámico que tiene un revestimiento flexible del borde de ataque y un mecanismo de control de forma para transformar o cambiar el revestimiento flexible del borde de ataque de una primera forma a una segunda forma;
- la Figura 2 es una vista en planta de un ejemplo de una aeronave que puede incluir una realización de un borde de ataque como se divulga en este documento;
- 10 la Figura 3 es una vista en sección de un ala tomada a lo largo de la línea 3 de la Figura 2 e ilustra una realización de un borde de ataque que realiza la transición de una primera forma que tiene un primer perfil de curvatura a una segunda forma que tiene un segundo perfil de curvatura sin un cambio en la longitud del arco del revestimiento flexible del borde de ataque;
- 15 la Figura 4 es una vista en sección de un borde de ataque tomada a lo largo de la línea 4 de la Figura 3 y que muestra una realización de un mecanismo de control de forma unido al revestimiento flexible del borde de ataque en una pluralidad de ubicaciones de soporte y que muestra en línea continua el revestimiento flexible del borde de ataque en una primera forma (por ejemplo, un perfil de crucero);
- la Figura 5 es una vista en sección del borde de ataque en una posición desplegada de un cuarto con respecto a la primera forma del borde de ataque que se muestra en la Figura 4;
- 20 la Figura 6 es una vista en sección del borde de ataque en una posición desplegada de la mitad con respecto a la primera forma del borde de ataque;
- la Figura 7 es una vista en sección del borde de ataque en una posición desplegada de tres cuartos con respecto a la primera forma del borde de ataque;
- la Figura 8 es una vista en sección del borde de ataque en una forma completamente desplegada en la segunda forma;
- 25 la Figura 9 es una vista esquemática del cambio en la curvatura en diferentes ubicaciones a lo largo de la longitud del arco del revestimiento flexible del borde de ataque cuando se transforma de la primera forma a la segunda forma;
- la Figura 10 es un gráfico que representa la curvatura en función de la longitud del arco de un ejemplo no limitativo de un revestimiento flexible del borde de ataque que tiene una primera forma de esfuerzo cero transformada en la segunda forma;
- 30 la Figura 11 es un gráfico que representa el momento de flexión en función de la longitud del arco del ejemplo del revestimiento flexible del borde de ataque cuando se transforma a partir de una primera forma de esfuerzo cero a la segunda forma;
- la Figura 12 es un gráfico que representa la rigidez a la flexión deseada en función de la longitud del arco para un revestimiento flexible del borde de ataque sujeta al perfil del momento de flexión que se muestra en la Figura 11;
- 35 la Figura 13 es un gráfico que representa el grosor del revestimiento deseado en función de la longitud del arco para un revestimiento del borde de ataque isotrópica (por ejemplo, metálico) que tiene el perfil de rigidez a la flexión que se muestra en la Figura 12;
- la Figura 14 es una tabla que muestra un ejemplo de una secuencia de apilamiento de capas de un laminado compuesto que tiene una capa más externa que contiene fibras orientadas en un ángulo de capas (es decir, un ángulo de fibra) superior a 60 grados con respecto a la dirección de la envergadura del revestimiento del borde de ataque;
- 40 la Figura 15 es una tabla que muestra un ejemplo adicional de una secuencia de apilamiento de capas de un laminado compuesto que tiene una capa más externa que contiene fibras orientadas en un ángulo de capas igual a o menor que 60 grados con respecto a la dirección de la envergadura del borde de ataque;
- 45 la Figura 16 muestra una matriz de rigidez para caracterizar la rigidez de un laminado compuesto e ilustrar los diferentes valores para la rigidez a la extensión (A), la rigidez a la flexión (B) y la rigidez de acoplamiento (D) para cada uno de dos laminados compuestos diferentes;
- la Figura 17 es un gráfico que muestra la variación en la rigidez a la flexión en la dirección de la longitud del arco en función del ángulo de la fibra de la capa más externa de un laminado compuesto;
- 50 la Figura 18 es un gráfico de la rigidez a la flexión deseada representada como una función de la longitud del arco para un revestimiento del borde de ataque laminado compuesto sujeta al perfil del momento de flexión que se muestra en la Figura 11;

- la Figura 19 es un gráfico que representa la rigidez real a la flexión de un revestimiento del borde de ataque compuesto que duplica sustancialmente el perfil de rigidez a la flexión deseado que se muestra en la Figura 18;
- 5 la Figura 20 es un gráfico que representa el ángulo de la fibra de una capa compuesta en el revestimiento del borde de ataque compuesto que tiene una rigidez a la flexión que es sustancialmente similar al perfil de rigidez a la flexión real que se muestra en la Figura 19;
- la Figura 21 es una traza de una fibra de una capa compuesta más externa de un revestimiento del borde de ataque compuesto que proporciona un perfil de rigidez a la flexión deseado del revestimiento del borde de ataque;
- la Figura 22 es un diagrama esquemático de las trazas de la orientación angular de una pluralidad de fibras incluidas en la capa más externa de un revestimiento compuesto del borde de ataque;
- 10 la Figura 23 es una vista en sección de una realización de un mecanismo de control de forma que soporta el borde de ataque en una primera forma e incluye enlaces de carga de aire adicionales y/o enlaces de nariz para estabilizar el revestimiento flexible del borde de ataque contra cargas aerodinámicas;
- la Figura 24 es una vista en sección del mecanismo de control de forma de la Figura 23 que muestra el borde de ataque en una segunda forma;
- 15 la Figura 25 es una vista en sección de una realización de un mecanismo de control de forma que soporta el borde de ataque en una primera forma e ilustra un mecanismo de bloqueo para bloquear el revestimiento flexible del borde de ataque en una cualquiera de una diversidad de posiciones de despliegue;
- la Figura 26 es una vista en sección del mecanismo de control de forma de la Figura 25 que muestra el borde de ataque en una segunda forma;
- 20 la Figura 27 es una vista en planta de un ala de aeronave que tiene una pluralidad de mecanismos de control de forma situados a intervalos separados a lo largo de una dirección de la envergadura;
- la Figura 28 es una vista en planta de una parte de un borde de ataque del ala de la aeronave tomada a lo largo de la línea 28 de la Figura 27 e ilustrando refuerzos en dirección de la envergadura que pueden incluirse en un lado interior del revestimiento flexible del borde de ataque;
- 25 la Figura 29 es una vista en sección del ala de la aeronave tomada a lo largo de la línea 29 de la Figura 28 e ilustra una realización de un borde de ataque que tiene refuerzos en dirección de la envergadura montados en el lado interior del revestimiento flexible del borde de ataque;
- la Figura 30 es un diagrama de flujo que tiene una o más operaciones que pueden incluirse en un método para transformar un borde de ataque de un perfil aerodinámico.
- 30 Descripción detallada
- Con referencia ahora a los dibujos en donde las representaciones tienen el propósito de ilustrar diversas realizaciones, en la Figura 1 se muestra un diagrama de bloques de un borde 200 de ataque de un perfil 150 aerodinámico. El borde 200 de ataque puede incluir un revestimiento 214 flexible del borde de ataque que tiene un primer extremo 216, un segundo extremo 218 y una longitud del arco definida entre el primer extremo 216 y el segundo extremo 218. Además,
- 35 el borde 200 de ataque puede incluir un mecanismo 400 de control de forma unido al revestimiento 214 flexible del borde de ataque en una pluralidad de ubicaciones 224 de soporte. El mecanismo 400 de control de forma (Figura 4) puede configurarse para transformar o hacer transición el revestimiento 214 flexible del borde de ataque a partir de una primera forma 228 que tiene un primer perfil 230 de curvatura (Figura 3) hasta una segunda forma 232 que tiene un segundo perfil 234 de curvatura que puede ser diferente al primer perfil 230 de curvatura. El cambio de la primera
- 40 forma 228 a la segunda forma 232 puede ocurrir sin un cambio en la longitud del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. El mecanismo 400 de control también puede configurarse para transformar el borde 200 de ataque en una cualquiera de una diversidad de terceras formas intermedias entre la primera forma 228 y la segunda forma 232. En una realización, el mecanismo 400 de control de forma puede montarse en una posición 152 principal del perfil aerodinámico ubicada adyacente al borde 200 de ataque, y puede incluir uno o más brazos o enlaces que se
- 45 pueden unir a las ubicaciones 224 de soporte discretas del revestimiento 214 flexible del borde de ataque.
- En algunos ejemplos, el primer extremo 216 y/o el segundo extremo 218 del revestimiento 214 flexible del borde de ataque pueden estar acoplados de manera fija a la parte 152 principal del perfil aerodinámico. En otros ejemplos, el primer extremo 216 y/o el segundo extremo 218 del revestimiento 214 del borde de ataque puede ser integral con los extremos delanteros (no se muestran) de un miembro de revestimiento (no se muestra) de la parte 152 principal del
- 50 perfil aerodinámico en el primer lado 160 y/o el segundo lado 162 de la parte 152 principal del perfil aerodinámico. El primer extremo 216 y el segundo extremo 218 del revestimiento 214 flexible del borde de ataque pueden describirse como la ubicación donde el revestimiento 214 flexible del borde de ataque realiza la transición a la parte 152 principal del perfil aerodinámico y puede no ser necesariamente las ubicaciones donde el revestimiento 214 flexible del borde de ataque termina físicamente. Independientemente de la configuración del revestimiento 214 del borde de ataque y

de la manera en la cual el primer extremo 216 y el segundo extremo 218 realiza la transición a la parte 152 principal del perfil aerodinámico, la superficie 220 exterior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede ser continua con las superficies 172 exteriores (Figura 4) de la parte 152 principal del perfil aerodinámico en el primer lado 160 y/o el segundo lado 162 de la parte 152 principal del perfil aerodinámico. El revestimiento 214 del borde de ataque puede proporcionar una superficie 220 exterior suave, sin interrupciones, que es continua con las superficies 172 exteriores de la parte 152 principal del perfil aerodinámico en el primer lado 160 (por ejemplo, un lado superior) y/o en el segundo lado 162 (por ejemplo, un lado inferior) de la parte 152 principal del perfil aerodinámico.

El revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede hacer transición entre la primera forma 228 y la segunda forma 232 de una manera que impide peldaños, brechas, rupturas o discontinuidades en la superficie del borde 200 de ataque y la parte 152 principal del perfil aerodinámico a cada lado del borde 200 de ataque. Dichos peldaños, brechas, rupturas o discontinuidades pueden causar un flujo de aire indeseable sobre el borde 200 de ataque y la parte 152 principal del perfil aerodinámico a la transición del flujo laminar al flujo no laminar y que puede reducir el rendimiento aerodinámico de un perfil aerodinámico y/o aumentar el ruido generado por el perfil aerodinámico. El borde 200 de ataque flexible puede permanecer continuo e impedir peldaños, brechas y/o rupturas, a la vez que el revestimiento 214 flexible del borde de ataque se transforma dentro de una longitud del arco fija para variar la forma del borde 200 de ataque durante la transición del borde 200 de ataque entre la primera forma 228 y la segunda forma 232, o cualquier forma entre ellas. El flujo laminar se puede proporcionar en ambos lados del perfil 150 aerodinámico (por ejemplo, en el lado superior y en el lado inferior) debido a la evasión de peldaños, brechas y/o discontinuidades.

Las diversas realizaciones pueden mejorar la aerodinámica del perfil 150 aerodinámico y/o el borde 200 de ataque en diferentes regímenes de vuelo y con diferentes formas del perfil 150 aerodinámico. Por ejemplo, las realizaciones divulgadas en el presente documento pueden mejorar la aerodinámica de un perfil 150 aerodinámico un régimen de vuelo de alta velocidad / un régimen de vuelo de bajo coeficiente de sustentación, y en un régimen de vuelo de baja velocidad / alto coeficiente de sustentación. El borde 200 de ataque puede hacer la transición entre un perfil de crucero (por ejemplo, una primera forma 230) que tiene un radio del borde de ataque relativamente pequeño que puede ser ventajoso para un vuelo de crucero de alta velocidad, y un perfil caído (por ejemplo, una segunda forma 232) que tiene un radio del borde de ataque relativamente grande que puede ser ventajoso para vuelos de baja velocidad, como durante el despegue, la aproximación y/o el aterrizaje.

Al impedir peldaños, brechas, discontinuidades, bordes y/o cambios bruscos o abruptos en la curvatura, pendiente y/o perfil de ambas superficies de un perfil aerodinámico, los ejemplos de transformación del borde de ataque que se describen aquí pueden generar una cantidad de ruido en relación con los dispositivos de borde de ataque convencionales. Además, las realizaciones divulgadas en este documento pueden reducir o impedir la vibración y el aleteo asociados con el flujo de aire sobre peldaños, brechas o bordes de dispositivos de borde de ataque convencionales. Además, las realizaciones divulgadas en el presente documento pueden eliminar la necesidad de soportes de borde de ataque exteriores asociados con dispositivos de borde de ataque convencionales. La evasión y/o eliminación de peldaños, brechas, bordes y soportes exteriores en los ejemplos divulgados actualmente puede resultar en una mejora en el rendimiento a baja velocidad de la aeronave al reducir la magnitud de la presión negativa en el lado superior del borde de ataque y, por lo tanto, retrasa la separación del flujo y la pérdida de un perfil aerodinámico en ángulos de ataque elevados.

La Figura 2 muestra un ejemplo de una aeronave 100 que puede incluir uno o más bordes 200 de ataque como se describe en este documento. La aeronave 100 puede incluir un fuselaje 102 que tiene un par de alas 106 unidas al fuselaje 102 en una raíz de ala y que se extienden hacia afuera hacia una punta de ala. Una o más unidades 104 de propulsión pueden montarse en las alas 106. La aeronave 100 puede incluir un empenaje 108 que incluye un estabilizador 114 horizontal y un elevador 116, y un estabilizador 110 vertical y un timón 112 para el control direccional de la aeronave 100. La aeronave 100 puede incluir uno o más de los bordes 200 de ataque en las alas 106 divulgados. En algunos ejemplos, uno o más de los bordes 200 de ataque divulgados puede implementarse en perfiles aerodinámicos distintos a los de las alas 106 de una aeronave 100.

Aunque el borde 200 de ataque divulgado se describe en el contexto de una aeronave 100 de fuselaje y ala como se muestra en la Figura 2, el borde 200 de ataque puede implementarse en cualquier configuración de aeronave, sin limitación, que incluye una configuración de ala combinada, una configuración híbrida de cuerpo de ala, y otras configuraciones de aeronaves. Uno o más de los ejemplos divulgados también pueden implementarse en el borde de ataque de una góndola (no se muestra) de una entrada del motor, permitiendo que partes del borde de ataque de la góndola se transformen en una forma caída como un medio para retrasar o impedir la separación de flujo en ángulos de ataque elevados. El borde 200 de ataque también puede implementarse en vehículos que no sean aeronaves. Por ejemplo, el borde 200 de ataque puede implementarse en misiles, cohetes, aeronave de rotor, y en palas y hélices de rotor. A este respecto, el borde 200 de ataque divulgado puede implementarse en cualquier aplicación vehicular, sin limitación, que incluye cualquier vehículo marítimo, terrestre, aéreo y/o espacial. El borde 200 de ataque divulgado también puede implementarse en cualquier aplicación no vehicular, tal como en las palas de una turbina eólica o en estructuras de edificios, tal como en un saliente orientado al sur en un edificio que puede transformarse para proporcionar sombra contra el sol.

La Figura 3 muestra una sección transversal de un perfil 150 aerodinámico tal como un ala 106 de una aeronave 100. En la realización que se muestra, el ala 106 puede incluir un larguero 154 delantero y un larguero 156 posterior que

- 5 puede definir una caja de ala del ala 106. El perfil 150 aerodinámico puede incluir un primer lado 160 que define una superficie 164 superior del ala y un segundo lado 162 que define una superficie 166 inferior del ala. En la Figura 3, el borde 200 de ataque se muestra como una línea continua en una primera forma 228 que tiene un primer perfil 230 de curvatura el cual puede describirse como un perfil de crucero de alta velocidad. El revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede hacer transición a una segunda forma 232 que se muestra como una línea discontinua y que tiene un segundo perfil 234 de curvatura el cual puede describirse como un perfil de baja velocidad y sustentación elevada. El revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede hacer transición de la primera forma 228 a la segunda forma 232, y cualquier forma intermedia, sin un cambio en la longitud del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque.
- 10 En la Figura 3, el perfil 150 aerodinámico que se muestra tiene una línea de curvatura y un perfil de grosor que puede cambiar a medida que el revestimiento 214 del borde de ataque realiza la transición entre la primera forma 228 y la segunda forma 232. Como se conoce en la técnica, la línea de curvatura de un perfil aerodinámico se extiende a lo largo del centro vertical del perfil aerodinámico y es equidistante de la superficie superior y la superficie inferior del perfil aerodinámico a partir del borde de ataque hasta el borde posterior. En algunos ejemplos, la curvatura puede aumentar (es decir, puede curvarse más bruscamente) a medida que el revestimiento 214 flexible del borde de ataque realiza la transición de la primera forma 228 a la segunda forma 232. Por ejemplo, en la Figura 3, el perfil 150 aerodinámico puede cambiar de una primera curvatura 168 de curvatura superficial cuando el borde 200 de ataque está en la primera forma 228, a una segunda curvatura 170 de curvatura aumentada (es decir, un radio más pequeño) en el borde de ataque cuando el borde 200 de ataque está en la segunda forma 232. Además, el grosor del perfil puede cambiar a medida que el revestimiento 214 del borde de ataque realiza la transición de la primera forma 228 a la segunda forma 232. Por ejemplo, el borde 200 de ataque puede cambiar de un perfil relativamente estrecho del revestimiento 214 del borde de ataque en la primera forma 228 a un perfil relativamente contundente del revestimiento 214 del borde de ataque en la segunda forma 232. Aunque se describe en el contexto de un borde 200 de ataque que se transforma a partir de una primera forma 228 de radio relativamente pequeño para un régimen de vuelo de alta velocidad, a una segunda forma 232 de radio relativamente grande para un régimen de vuelo de baja velocidad, el borde 200 de ataque puede configurarse para hacer la transición entre una diversidad de formas o geometrías diferentes, sin limitación, y para cualquier régimen de vuelo, y no se limita a la transición entre una primera forma 228 de radio pequeño y la segunda forma 232 de radio grande para un régimen de vuelo de alta velocidad respectivo y un régimen de vuelo de baja velocidad.
- 20 La Figura 4 muestra una realización de un mecanismo 400 de control de forma unido al revestimiento 214 flexible del borde de ataque el cual se muestra como una línea continua en una primera forma 228 (por ejemplo, un perfil de crucero). La segunda forma 232 del revestimiento 214 flexible del borde de ataque se muestra como una línea discontinua. El primer extremo 216 y el segundo extremo 218 del revestimiento 214 flexible del borde de ataque pueden unirse a o integrarse con la parte 152 principal del perfil aerodinámico situada detrás del revestimiento 214 flexible del borde de ataque como se indicó anteriormente. El primer extremo 216 y/o el segundo extremo 218 del revestimiento 214 flexible del borde de ataque pueden ser tangentes a la superficie 164 superior del perfil aerodinámico respectivo y la superficie 166 inferior del perfil aerodinámico, y pueden impedir las discontinuidades mencionadas anteriormente en el perfil de la superficie cuando el revestimiento 214 flexible del borde de ataque realiza la transición entre la primera forma 228 y la segunda forma 232. El primer extremo 216 y el segundo extremo 218 del revestimiento 214 flexible del borde de ataque pueden permanecer tangentes a la superficie 164 superior del perfil aerodinámico respectiva y la superficie 166 inferior del perfil aerodinámico en cualquier forma entre la primera forma 228 y la segunda forma 232 durante la transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque.
- 30 En la realización que se muestra, el mecanismo 400 de control de forma puede montarse en la parte 152 principal del perfil aerodinámico (Figura 4). Por ejemplo, el mecanismo 400 de control de forma puede montarse en el larguero 154 delantero de un perfil aerodinámico. El mecanismo 400 de control de forma puede incluir uno o más brazos y/o enlaces que se extienden al revestimiento 214 flexible del borde de ataque. Los brazos pueden extenderse a partir de la parte 152 principal del perfil aerodinámico a una o más ubicaciones 224 de soporte en el lado 222 interior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. El revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede incluir una o más pestañas de montaje que se extienden hacia adentro a partir del lado 222 interior. Los extremos de los brazos pueden estar unidos de manera pivotante a las pestañas. Las pestañas en el lado 222 interior del revestimiento pueden formarse integralmente con el revestimiento 214 flexible del borde de ataque, o las pestañas pueden montarse en el revestimiento 214 flexible del borde de ataque tal como mediante sujeción mecánica, unión adhesiva o formando integralmente las pestañas en el lado 222 interior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque.
- 45 En la Figura 4, la realización que se muestra incluye un brazo 402 primario o principal que se extiende a partir de la parte 152 principal del perfil aerodinámico a una ubicación 224 de soporte en una parte 202 inferior delantera del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. Un extremo del brazo 402 principal puede estar acoplado de manera pivotante a un soporte que se extiende hacia afuera a partir de la parte 152 principal del perfil aerodinámico. Un extremo opuesto del brazo 402 principal puede estar acoplado de manera pivotante a una ubicación 224 de soporte (por ejemplo, el punto C) del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. El brazo 402 principal puede configurarse para controlar el desplazamiento de un punto 204 inferior delantero en la parte 202 inferior delantera del revestimiento 214 flexible del borde de ataque durante la transición del borde 200 de ataque entre la primera forma 228 y la segunda forma 232. El mecanismo 400 de control de forma puede incluir además un brazo 404 de rotación que se extiende a partir de la parte 152 principal del perfil aerodinámico hasta la ubicación 224 de soporte donde se acopla el brazo 402

principal. El brazo 404 de rotación puede pivotar sobre un punto de pivote para controlar la pendiente del punto 204 inferior delantero (por ejemplo, el punto C) durante la transición del borde 200 de ataque entre la primera forma 228 y la segunda forma 232.

5 El mecanismo 400 de control de forma puede incluir además uno o más enlaces que pueden extenderse a partir del brazo 402 principal al lado 222 interior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. Por ejemplo, en la realización que se muestra, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir un enlace 410 superior acoplado de manera pivotante al brazo 402 principal y que se extiende a una parte 206 superior delantera del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. El enlace 410 superior puede configurarse para controlar el desplazamiento de un punto 208 superior delantero (por ejemplo, el punto B) en la parte 206 superior delantera. Un enlace 412 inferior puede estar acoplado de
10 manera pivotante al brazo 402 principal y puede extenderse a una parte 210 inferior media del revestimiento 214 flexible del borde de ataque en una ubicación entre la parte 202 inferior delantera y la parte 152 principal de perfil aerodinámico. El enlace 412 inferior se puede configurar para controlar el desplazamiento de un punto 212 inferior medio (por ejemplo, el punto D) en la parte 210 inferior media. En la realización que se muestra, el enlace 412 inferior se puede acoplar a una ubicación aproximada en el centro del recorrido del brazo 402 principal aproximadamente en
15 la misma ubicación o ligeramente detrás de la ubicación donde el enlace 410 superior está acoplado de manera pivotante al brazo 402 principal. En algunos ejemplos, el enlace 412 puede conectarse al brazo 402 principal en una ubicación hacia adelante de donde el enlace 410 se conecta al brazo 402 principal.

20 El mecanismo 400 de control de forma puede incluir adicionalmente un accionador 414 principal que se extiende a partir de la parte 152 principal del perfil aerodinámico y se acopla de manera pivotante a al menos uno de los brazos, tal como al brazo 402 principal. El accionador 414 principal puede configurarse para accionar el revestimiento 214 flexible del borde de ataque entre la primera forma 228 y la segunda forma 232 haciendo girar el brazo 402 principal alrededor de un punto de pivote. Un extremo del accionador 414 principal puede montarse de manera pivotante en un soporte unido a la parte 152 principal del perfil aerodinámico. Un extremo opuesto del accionador 414 principal puede estar acoplado de manera pivotante al brazo 402 principal, tal como en una ubicación posterior de la ubicación donde
25 el enlace 412 inferior está acoplado de manera pivotante al brazo 402 principal. El accionador 414 principal puede proporcionarse en una cualquiera de una diversidad de configuraciones diferentes que incluyen, entre otras, un accionador hidráulico, un accionador electromecánico, un accionador de aleación con memoria de forma, o uno cualquiera de una diversidad de otras configuraciones de accionador.

30 Debe observarse que la realización del mecanismo 400 de control de forma que se ilustra en las figuras es un ejemplo de una cualquiera de una diversidad de configuraciones diferentes de un mecanismo 400 de control de forma que puede implementarse para transformar el borde 200 de ataque entre cualquier número de formas. A este respecto, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir cualquier número de brazos, enlaces y/o accionadores, sin limitación. Independientemente de la configuración, el mecanismo 400 de control de forma puede configurarse para controlar el desplazamiento y/o la pendiente del revestimiento 214 flexible del borde de ataque en una o más de la ubicación 224
35 de soporte del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. En la presente divulgación, una ubicación 224 de soporte se puede describir como una ubicación donde el revestimiento 214 flexible del borde de ataque tiene sustancialmente la misma curvatura cuando el revestimiento 214 flexible del borde de ataque está en la primera forma 228 como en la segunda forma 232. En algunos ejemplos, el mecanismo 400 de control de forma puede configurarse de tal manera que al menos uno de los brazos y/o enlaces esté unido al revestimiento 214 flexible del borde de ataque de una manera que permita solo el desplazamiento, solo la rotación, o una combinación de desplazamiento y rotación en esa ubicación del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. La rotación del revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede estar restringida en algunas ubicaciones y no puede estar restringida en otras ubicaciones.

40 Por ejemplo, la Figura 4 ilustra cinco puntos, A, B, C, D y E, en el revestimiento 214 del borde de ataque. Los puntos A y E pueden describirse como ubicaciones 236 restringidas en el primer extremo 216 respectivo y el segundo extremo 218 del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. Los puntos B, C y D pueden controlarse de manera móvil mediante el mecanismo 400 de control de forma. Los puntos B, C y/o D pueden describirse cada uno como una ubicación de curvatura 226 constante (por ejemplo, cero cambio en la curvatura) del revestimiento 214 flexible del borde de ataque durante la transición del borde 200 de ataque entre la primera forma 228 y la segunda forma 232. El punto B está ubicado en la superficie 164 superior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. El mecanismo
45 400 de control de forma puede incluir un enlace 410 superior que se extiende a partir del brazo 402 principal hasta la ubicación 224 de soporte del punto B, para forzar el desplazamiento 306 del punto B. El punto C está ubicado en una superficie 166 inferior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque cuando el borde 200 de ataque está en la primera forma 228 (por ejemplo, el perfil de alta velocidad). El brazo 402 principal y el brazo 404 de rotación del mecanismo 400 de control de forma pueden estar acoplados de manera pivotante a la ubicación 224 de soporte en el punto C para forzar el desplazamiento 306 y la pendiente 308 cambia en el punto C durante la transición del revestimiento 214 del borde de ataque a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232.
50 55

60 El punto D está ubicado detrás del punto C y también puede describirse como una ubicación de curvatura 226 constante. Como se indicó anteriormente, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir un enlace 412 inferior que se extiende a partir del brazo 402 principal hasta la ubicación 224 de soporte del punto D. El enlace 412 inferior se puede usar para apoyar el revestimiento 214 del borde de ataque en el punto D para proporcionar rigidez contra las cargas aerodinámicas. En algunos ejemplos, el punto D puede ser una ubicación de cambio de curvatura cero o curvatura 226 constante en el revestimiento 214 del borde de ataque. El punto D también se puede describir como

una ubicación de un reflejo 300 en la curvatura del revestimiento 214 del borde de ataque. El reflejo de curvatura se puede describir en una ubicación donde el revestimiento 214 del borde de ataque cambia entre una forma cóncava 302 a una forma convexa 304. Un reflejo 300 en la superficie 166 inferior puede proporcionar beneficios de rendimiento aerodinámico para un perfil 150 aerodinámico en la configuración de crucero. Por ejemplo, un reflejo 300 en la superficie 166 inferior de un borde 200 de ataque puede promover un momento de cabeceo de nariz hacia arriba el cual puede ser beneficioso con respecto a la estabilidad aerodinámica (por ejemplo, el cabeceo) de una aeronave. En la presente divulgación, tanto el desplazamiento 306 del punto C como la rotación de la pendiente 308 del punto C se pueden forzar debido a la incapacidad del revestimiento 214 del borde de ataque en el punto C para doblarse naturalmente en la forma deseada cuando solo se fuerza el desplazamiento 306 del punto C. En los puntos B y D, solo se puede forzar el desplazamiento 306 sin necesidad de forzar la pendiente 308 en los puntos B y D debido a la tendencia natural del revestimiento 214 del borde de ataque a doblarse naturalmente en la forma deseada en los puntos B y D durante el desplazamiento 306 de los puntos B y D. En algunos ejemplos, el punto D puede no requerir el control del desplazamiento o la pendiente debido a la tendencia natural del revestimiento 214 del borde de ataque de asumir la forma deseada en el punto D, aunque el punto D puede requerir soporte contra las cargas aerodinámicas.

Los puntos B, C y/o D representan ubicaciones donde las partes respectivas del revestimiento 214 flexible del borde de ataque en las ubicaciones 224 de soporte respectivas tienen la misma curvatura en la primera forma 228 como en la segunda forma 232. Como se indicó anteriormente, el mecanismo 400 de control de forma se puede unir al revestimiento 214 flexible del borde de ataque en las ubicaciones 224 de soporte, donde el revestimiento 214 flexible del borde de ataque tiene sustancialmente la misma curvatura en la primera forma 228 como en la segunda forma 232. Aunque el mecanismo 400 de control de forma se puede unir al revestimiento 214 flexible del borde de ataque en cualquiera de una diversidad de ubicaciones diferentes, la unión del mecanismo 400 de control de forma a las ubicaciones 224 de soporte que tienen una curvatura sustancialmente constante puede permitir aumentar localmente la capacidad de carga y, por lo tanto, la rigidez a la flexión del revestimiento 214 del borde de ataque en las ubicaciones 224 de soporte. A este respecto, una primera parte del revestimiento 214 flexible del borde de ataque en una primera ubicación 224 de soporte (por ejemplo, en el punto B, C y/o D) puede tener una mayor rigidez a la flexión en relación con la rigidez a la flexión de una segunda parte del revestimiento 214 flexible del borde de ataque en una ubicación 224 que no es de soporte. En algunos ejemplos, el revestimiento 214 del borde de ataque puede engrosarse localmente en las ubicaciones 224 de soporte debido a una menor necesidad de flexibilidad en dichas ubicaciones. Por el contrario, las ubicaciones intermedias a lo largo de la longitud del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque pueden sufrir un cambio mayor en la curvatura cuando el borde 200 de ataque realiza la transición de la primera forma 228 a la segunda forma 232 y, por lo tanto, dichas ubicaciones intermedias pueden requerir mayor flexibilidad.

Las Figuras 5 a 8 ilustran la progresión en el cambio de forma del revestimiento 214 flexible del borde de ataque durante la transición de la primera forma 228 a la segunda forma 232. La Figura 5 muestra el revestimiento 214 flexible del borde de ataque en una posición de un cuarto desplegado con respecto a la primera forma 228. La unión del brazo 402 principal y el brazo 404 de rotación a la ubicación 224 de soporte en el punto C fuerza el cambio en el desplazamiento 306 y la pendiente 308 del revestimiento 214 del borde de ataque en el punto C. La unión del enlace 410 superior al punto B fuerza solo un cambio en el desplazamiento 306 en el punto B sin forzado de la pendiente en el punto B. Del mismo modo, la unión del enlace 412 inferior al punto D fuerza solo un cambio en el desplazamiento 306 en el punto D sin forzado de la pendiente en el punto D. Se puede incluir cualquier número de enlaces adicionales con el mecanismo 400 de control de forma para controlar el desplazamiento y/o la pendiente de cualquier número de ubicaciones diferentes en el borde 214 flexible del borde de ataque. Por ejemplo, las Figuras 5 a 8 ilustran un enlace 408 de refuerzo del revestimiento que se extiende a partir del brazo 402 principal hasta la parte superior del revestimiento 214 del borde de ataque que puede cargarse en tensión para contrarrestar la presión aerodinámica negativa que puede tender a levantar el revestimiento 214 flexible del borde de ataque a lo largo de la parte superior cuando el borde 200 de ataque está en la primera forma 228 (por ejemplo, en el perfil de crucero).

La Figura 6 muestra el borde 200 de ataque en una posición desplegada de la mitad con respecto a la primera forma 228 e ilustra el ángulo de pendiente 308 cambiante en el punto C y el desplazamiento 306 del punto C. La Figura 7 muestra el borde 200 de ataque en la posición desplegada de tres cuartos en relación con la primera forma 228 y el cambio adicional en el ángulo de la pendiente 308 en el punto C. La Figura 8 muestra el borde 200 de ataque en una posición completamente desplegada la cual se puede describir como la segunda forma 232. El enlace 412 inferior que se extiende a partir del brazo 402 principal a la ubicación 224 de soporte en el punto D puede configurarse para contrarrestar la presión aerodinámica positiva contra la superficie 166 inferior del borde 200 de ataque. A este respecto, uno o más de los enlaces que se extienden a partir del brazo 402 principal pueden ser enlaces configurados para ser cargados tanto en compresión como en tensión. Otros enlaces del mecanismo 400 de control de forma pueden configurarse para cargarse solo en tensión, y pueden no configurarse para cargarse en compresión, lo cual puede permitir una reducción en el tamaño estructural y/o la masa estructural de dichos enlaces de tensión debido a una disminución en la capacidad de compresión de dichos enlaces.

La Figura 9 es una vista esquemática de una realización de un revestimiento 214 flexible del borde de ataque en la primera forma 228 y la transición a la segunda forma 232 para ilustrar el cambio en la curvatura en diferentes ubicaciones a lo largo de la longitud del arco durante la transición. En el ejemplo que se muestra, el revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede tener un esfuerzo de flexión cero en la primera forma 228, ignorando cualquier esfuerzo de flexión en el revestimiento 214 del borde de ataque de las cargas aerodinámicas. En la Figura 9, el

revestimiento 214 del borde de ataque realiza la transición en la segunda forma 232, lo que resulta en un esfuerzo de flexión en todas las ubicaciones donde la curvatura del revestimiento 214 del borde de ataque en la segunda forma 232 es diferente de la curvatura del revestimiento 214 del borde de ataque en la primera forma 228. Los puntos B, C y D pueden sufrir un desplazamiento 306 forzado. El punto C puede sufrir un cambio forzado en la pendiente 308 durante la transición. La magnitud del esfuerzo de flexión puede ser proporcional a la magnitud del cambio en la curvatura del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. En la presente divulgación, el término "curvatura delta" se puede usar para referirse al cambio en la curvatura resultante de la aplicación de los desplazamientos 306 del revestimiento 214 del borde de ataque durante la transición de la primera forma 228 a la segunda forma 232. El término "curvatura delta positiva" se puede describir como la curvatura delta que da como resultado un esfuerzo de tensión en la superficie interior del revestimiento flexible 214 del borde de ataque y el esfuerzo de compresión en la superficie 220 exterior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. El término "curvatura delta negativa" se puede describir como la curvatura delta que da como resultado el esfuerzo de compresión en la superficie interior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque, y el esfuerzo de tensión en la superficie 220 exterior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque.

En la Figura 9, la curvatura delta es negativa a lo largo de la sección del revestimiento 214 del borde de ataque a partir del punto A hasta el punto B. El punto B es una ubicación 224 de soporte y puede tener una curvatura delta de cero, lo que significa que el punto B es una ubicación de cambio cero en la curvatura del revestimiento 214 del borde de ataque cuando se realiza la transición a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232. En el punto B, la curvatura delta cambia de negativa a positiva. A partir del punto B hasta el punto C, la curvatura delta puede ser positiva como resultado del radio relativamente pequeño del borde 200 de ataque en la primera forma 228 que cambia a un radio relativamente grande en la segunda forma 232. El punto C puede ser otra ubicación 224 de soporte y puede tener una curvatura delta de cero. En el punto C, la curvatura delta cambia de positiva a negativa. A partir del punto C hasta el punto D, la curvatura delta puede ser negativa. El punto D puede ser otra ubicación 224 de soporte y puede tener una curvatura delta de cero. En el punto D, la curvatura delta cambia de negativa a positiva. A partir del punto D hasta el punto E, la curvatura delta puede ser positiva.

Como se indicó anteriormente, el mecanismo 400 de control de forma se puede unir al revestimiento 214 flexible del borde de ataque en las ubicaciones 224 de soporte debido a la curvatura sustancialmente constante del revestimiento 214 del borde de ataque en las ubicaciones 224 de soporte. A este respecto, las ubicaciones 224 de soporte pueden ser menos flexibles que otras ubicaciones del revestimiento 214 flexible del borde de ataque y, por lo tanto, pueden acomodar un aumento local de la masa estructural y/o la rigidez del revestimiento 214 del borde de ataque para reaccionar las cargas impuestas por los brazos y enlaces en el revestimiento 214 del borde de ataque sin causar facetas del revestimiento 214 del borde de ataque debido al brazo y/o los enlaces que impiden la flexión del revestimiento 214 del borde de ataque. Al soportar el revestimiento 214 del borde de ataque en lugares de curvatura 226 constante, cualquier aumento local en la rigidez de la flexión del revestimiento 214 del borde de ataque en las ubicaciones de soporte puede ser intrascendente porque no hay cambio en la curvatura en dichas ubicaciones. Si el revestimiento 214 del borde de ataque se soporta en una ubicación donde hubo un cambio sustancial en la curvatura, el soporte puede impedir un cambio en la curvatura del revestimiento del borde de ataque, lo que puede dar lugar a una faceta local o un punto plano (o un punto más plano) en el revestimiento del borde de ataque. Dicha faceta del revestimiento del borde de ataque puede tener un efecto indeseable de la aerodinámica del perfil aerodinámico.

La Figura 10 es un gráfico que representa el cambio en la curvatura (es decir, curvatura delta) en función de la ubicación a lo largo de la longitud del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque (Figura 9) transformada a partir de una primera forma 228 de esfuerzo cero (Figura 9) a la segunda forma 232 (Figura 9). El lado izquierdo del gráfico de la Figura 10 corresponde al primer extremo 216 del revestimiento 214 del borde de ataque. El lado derecho del gráfico corresponde al segundo extremo 218 del revestimiento 214 del borde de ataque. Los puntos B y C en el gráfico ilustran las ubicaciones de cambio cero en la curvatura del revestimiento 214 del borde de ataque y puede corresponder a las ubicaciones 224 de soporte. El punto D no se muestra en el gráfico.

La Figura 11 es un gráfico que representa el momento de flexión en función de la ubicación a lo largo de la longitud del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque (Figura 9) cuando se transforma a partir de la primera forma 228 de esfuerzo cero (Figura 9) a la segunda forma 232 (Figura 9). El momento de flexión en diferentes ubicaciones a lo largo de la longitud del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede determinarse con base en la relación lineal entre el momento de flexión y la curvatura. El momento de flexión es el resultado del desplazamiento forzado y/o la rotación (es decir, el cambio de pendiente) del soporte del revestimiento 214 del borde de ataque en las ubicaciones 224 de soporte en los puntos B y C.

La Figura 12 es un gráfico que representa la rigidez a la flexión deseada en relación con la ubicación a lo largo del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque (Figura 9) sometida al perfil del momento de flexión que se muestra en la Figura 11. La rigidez a la flexión deseada del revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede calcularse en cualquier ubicación a lo largo de la longitud del arco del revestimiento con base en el momento de flexión y la curvatura del revestimiento en esa ubicación. Los puntos B y C en el gráfico ilustran las ubicaciones del revestimiento 214 del borde de ataque que tienen una rigidez relativamente alta la cual da puntos tales como ubicaciones 224 de soporte (Figura 9), como se indicó anteriormente.

La Figura 13 es un gráfico que representa el grosor deseado del revestimiento 238 (Figura 4) en función de la ubicación a lo largo de la longitud del arco del revestimiento 214 de un borde de ataque isotrópico (Figura 9) que tiene el perfil de rigidez a la flexión deseado que se muestra en la Figura 12. Para un revestimiento 214 del borde de ataque isotrópico, la rigidez a la flexión es una función del módulo de elasticidad (E) del revestimiento y el momento de inercia (I) de la placa. El momento de inercia (I) es una función del grosor del revestimiento. Para un material isotrópico que tiene un módulo de elasticidad (E) uniforme, el grosor 238 del revestimiento de la sección transversal del revestimiento 214 flexible del borde de ataque se puede variar a lo largo de la longitud del arco para proporcionar el perfil de rigidez a la flexión deseado, de modo que el perfil de curvatura deseado pueda formarse en el borde del revestimiento 214 flexible del borde de ataque.

En algunos ejemplos, el revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede estar formado por un material isotrópico el cual tiene el mismo módulo de elasticidad en todas las direcciones dentro del material. En algunas realizaciones, el material isotrópico puede ser un material metálico tal como aluminio, titanio u otros materiales metálicos o combinaciones de los mismos. Sin embargo, el material isotrópico puede ser un material no metálico tal como un material cerámico o un material polimérico. En algunos ejemplos, el revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede formarse como un artículo homogéneo compuesto por el mismo material a lo largo de la longitud del arco. En otros ejemplos, el revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede formarse como un artículo no homogéneo que tiene diferentes materiales en diferentes ubicaciones a lo largo de la longitud del arco. A este respecto, ciertas partes a lo largo de la longitud del arco del revestimiento 214 del borde de ataque pueden estar formadas por un primer material y otras partes de la longitud del arco pueden estar formadas por un segundo material que puede ser diferente al primer material. Por ejemplo, durante la transformación del borde 200 de ataque entre la primera forma 228 y la segunda forma 232, las secciones de la longitud del arco que experimentan cambios relativamente pequeños en la curvatura, tal como la sección entre los puntos A y B (Figura 9), pueden estar formadas por un material que tiene un módulo de elasticidad relativamente alto (por ejemplo, titanio) el cual puede proporcionar una mayor resistencia a las deflexiones en la superficie 164 superior debido a las cargas aerodinámicas, como se mencionó anteriormente. Las secciones de la longitud del arco que experimentan cambios relativamente grandes en la curvatura, tal como entre los puntos B y E (Figura 9), pueden estar formadas por un material de módulo relativamente bajo (por ejemplo, aluminio).

Aunque el revestimiento 214 del borde de ataque se describe en la presente divulgación como proporcionado (por ejemplo, fabricado) en un estado de esfuerzo cero en la primera forma 228 (por ejemplo, un perfil de crucero) de manera que el revestimiento 214 del borde de ataque desarrolla un esfuerzo de flexión cuando se transforma en la segunda forma 232, en otra realización, el revestimiento 214 del borde de ataque puede proporcionarse en un estado de esfuerzo cero en la segunda forma 232 (por ejemplo, un perfil caído) de modo que el revestimiento 214 del borde de ataque desarrolle un esfuerzo de flexión cuando se transforme en la primera forma 228. En aún otras realizaciones, el revestimiento 214 del borde de ataque puede proporcionarse en un estado de esfuerzo cero en una forma intermedia (no se muestra), y el revestimiento 214 del borde de ataque puede desarrollar un esfuerzo de flexión cuando se transforma en la primera forma 228 y la segunda forma 232.

En cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, el revestimiento 214 del borde de ataque puede prefabricarse con una forma ligeramente curvada en partes del revestimiento 214 del borde de ataque para compensar la curvatura que se produce en dichas partes debido a los esfuerzos de flexión generados durante la transformación del revestimiento 214 del borde de ataque. De esta manera, la forma final (por ejemplo, la forma transformada) del revestimiento 214 del borde de ataque puede tener el perfil aerodinámico deseado. En algunos ejemplos, el revestimiento 214 del borde de ataque puede estar provisto de una forma ligeramente arqueada (no se muestra) a lo largo de las partes del revestimiento 214 del borde de ataque que tienden a desviarse bajo la carga aerodinámica. Por ejemplo, la parte superior del revestimiento 214 del borde de ataque entre los puntos A y B se puede prefabricar con una ligera muesca o un arco cuando se ve en sección transversal. La forma ligeramente arqueada o con muesca puede formarse localmente en el revestimiento 214 del borde de ataque a una profundidad tal que las desviaciones inducidas aerodinámicamente pueden tirar hacia arriba en el revestimiento 214 del borde de ataque y hacer que el revestimiento 214 del borde de ataque asuma un perfil aerodinámico nominal o deseado para vuelo de crucero.

En algunos ejemplos, el revestimiento 214 flexible del borde de ataque puede ser un revestimiento compuesto formado de material 310 compuesto (Figura 14) u otro material anisotrópico que tenga un módulo de elasticidad no uniforme en diferentes direcciones. En contraste con un revestimiento 214 del borde de ataque isotrópico (por ejemplo, metálico) en donde la rigidez a la flexión se puede adaptar variando la geometría (por ejemplo, el grosor de la sección transversal del revestimiento) a lo largo de la longitud del arco del revestimiento, la rigidez a la flexión de un revestimiento 214 del borde de ataque compuesto (por ejemplo, anisotrópico) puede variarse adaptando las propiedades del material 310 compuesto que forma el revestimiento compuesto. A este respecto, el grosor 238 de revestimiento del revestimiento 214 del borde de ataque compuesto se puede mantener sustancialmente constante a lo largo de la longitud del arco del revestimiento, y la rigidez a la flexión se puede variar variando las propiedades mecánicas del material 310 compuesto.

Un revestimiento 214 compuesto se puede formar como un laminado 312 compuesto (Figura 14) formado por una pila de capas 314 compuestas (Figura 14) de material de matriz de polímero reforzado con fibra. Cada capa 314 compuesta en el laminado 312 compuesto puede incluir fibras de refuerzo que sirven como el principal componente de carga del laminado 312 compuesto. En algunos ejemplos, el material 310 compuesto puede formarse como una cinta

unidireccional que contiene fibras de refuerzo que se mantienen en posición por un componente de la matriz (por ejemplo, material de la matriz). El componente de la matriz puede redistribuir o transferir cargas entre fibras adyacentes. Las fibras pueden estar orientadas en general paralelas entre sí en cada capa 314 compuesta del laminado 312 compuesto. El laminado 312 compuesto puede configurarse de modo que las fibras de refuerzo en una

5 capa estén orientadas en la misma dirección o en una dirección diferente a la de las fibras de refuerzo en una o más de las otras capas 314 compuestas en el laminado 312 compuesto. Las orientaciones relativas de las fibras en las diferentes capas 314 compuestas (es decir, la secuencia 316 de apilamiento de capas) pueden seleccionarse para proporcionar las características de resistencia y rigidez deseadas para el laminado 312 compuesto.

Las fibras de refuerzo pueden estar formadas por metal, vidrio, cerámica, carbono o grafito, Kevlar™, o cualquier otro tipo de material de fibra, y pueden incorporarse dentro de un material de matriz de polímero termoplástico o termoestable tal como una matriz epoxi. Cada capa en el laminado 312 compuesto (Figura 14) puede estar formada por el mismo sistema de material. Sin embargo, el laminado 312 compuesto también puede formarse como un laminado híbrido que contiene capas 314 compuestas formadas de diferentes materiales para lograr un objetivo de diseño deseado. Por ejemplo, un laminado compuesto híbrido puede incluir principalmente capas 314 compuestas formadas por una cinta de fibra de carbono unidireccional para fines de carga. El laminado compuesto híbrido también puede incluir una o más capas exteriores formadas de tela de fibra de vidrio tejida para proporcionar resistencia al impacto al laminado compuesto. En un laminado 312 compuesto que tiene múltiples capas 314 compuestas con ángulos de fibra orientados de acuerdo con una secuencia 316 de apilamiento de capas deseada (Figura 14), la rigidez a la flexión en una dirección del laminado 312 compuesto puede ser diferente a la rigidez a la flexión en otra dirección del laminado 312 compuesto. Para un revestimiento 214 flexible del borde de ataque formado como un laminado 312 compuesto, la rigidez a la flexión del revestimiento 214 del borde de ataque de laminado 312 compuesto se puede adaptar a lo largo de la dirección de la longitud del arco variando la orientación de fibras de las fibras de una manera predeterminada a lo largo de la dirección de la longitud del arco, como se describe a continuación.

La Figura 14 es una tabla que muestra un ejemplo de una secuencia 316 de apilamiento de capas de un laminado 312 compuesto de 12 capas que tiene una capa más externa que contiene fibras orientadas en un ángulo 318 de capas (es decir, un ángulo de fibra) de más de 60 grados en relación en la dirección de la envergadura del revestimiento 214 del borde de ataque. En el ejemplo que se muestra, la capa más externa tiene un ángulo 318 de capa de aproximadamente 80 grados con respecto a la dirección de la envergadura. En la realización que se muestra, las capas internas están orientadas a 30 grados o 60 grados menos que el ángulo 318 de capa de la capa más externa. La secuencia 316 de apilamiento de capas que se ilustra en la Figura 14 puede representarse mediante la notación [80/-80/-50/50/20/-20]_s en donde el subíndice s indica que la secuencia 316 de apilamiento es simétrica respecto al plano medio del laminado. Cualquiera de una diversidad de otras secuencias de apilamiento de capas (por ejemplo, [70/-70/-40/40/10/-10]_s, [65/-65/-35/35/5/-5]_s, etc.) puede proporcionarse con base en la relación señalada anteriormente con respecto a la diferencia de 30 grados o 60 grados en el ángulo 318 de capa de las capas internas en relación con el ángulo 318 de capa de la capa más externa. Sin embargo, la secuencia 316 de apilamiento de capas de un laminado 312 compuesto para un revestimiento 214 del borde de ataque puede proporcionarse utilizando cualquier diferencia en el ángulo 318 de capa de las capas internas con respecto al ángulo 318 de capa de la capa más externa. Además, se puede proporcionar una secuencia 316 de apilamiento de capas en una configuración no simétrica y/o no equilibrada como alternativa a los ejemplos de secuencias de apilamiento descritos en este documento.

La Figura 15 es una tabla que muestra un ejemplo adicional de una secuencia 316 de apilamiento de capas de un laminado 312 compuesto de 12 capas que tiene una capa más externa que contiene fibras orientadas en un ángulo 318 de capas igual a o inferior a 60 grados con respecto a la dirección de la envergadura del revestimiento 214 del borde de ataque. Las capas internas están orientadas en la mitad del ángulo 318 de capa de la capa más externa, o en un ángulo de capa de 0 grados (es decir, paralela a la dirección 320 de la envergadura - Figura 2). La secuencia 316 de apilamiento de capas que se ilustra en la Figura 15 puede representarse mediante la notación [50/-50/-25/25/0/0]_s. Se puede proporcionar cualquiera de una diversidad de otras secuencias de apilamiento de capa con base en la relación señalada anteriormente entre el ángulo 318 de capa de las capas internas en relación con el ángulo 318 de capa de la capa más externa (por ejemplo, [60/-60/-30/30/0/0]_s, [30/-30/-15/15/0/0]_s, [4/-4/-2/2/0/0]_s, etc.). Como se indicó anteriormente, la secuencia 316 de apilamiento de capas puede proporcionarse utilizando cualquier relación entre el ángulo 318 de capa de las capas internas y el ángulo 318 de capa de la capa más externa.

La Figura 16 muestra una matriz 330 de rigidez que se puede usar para caracterizar las propiedades de rigidez de un laminado compuesto. La matriz 330 de rigidez se puede describir como una matriz de rigidez ABD e incluye los coeficientes A, B y D, cuyos valores calculados son una función de la secuencia 316 de apilamiento de capas (Figura 14), el ángulo 318 de capa, el grosor 336 de capa y las propiedades del material (es decir, el material 338 de la capa) de un laminado 312 compuesto. Los coeficientes A de la matriz de rigidez ABD representan la rigidez extensional (es decir, la rigidez de estiramiento) del laminado y se pueden describir como la resistencia de un laminado a extensión en el plano y cizallamiento bajo carga en el plano. Los coeficientes D representan la rigidez a la flexión del laminado y pueden describirse como la resistencia de un laminado compuesto a la flexión fuera del plano bajo una carga fuera del plano. En un ejemplo, el coeficiente D_{22} se puede usar para aproximar la rigidez a la flexión fuera del plano del laminado compuesto a lo largo de la dirección de la longitud del arco de un revestimiento del borde de ataque. Sin embargo, en la presente divulgación, uno o más de los coeficientes D se pueden usar para aproximar la rigidez de flexión fuera del plano del laminado compuesto a lo largo de la dirección de la longitud del arco de un revestimiento

214 del borde de ataque. Los coeficientes B representan la rigidez de acoplamiento del laminado y se pueden describir como el acoplamiento de la respuesta en el plano del laminado con la respuesta de flexión del laminado.

5 En la Figura 17, debajo del listado de la matriz 330 de rigidez ABD básica, hay dos conjuntos de valores numéricos que se han calculado para los términos A, B y D para dos laminados compuestos. Los dos laminados representan extremos opuestos de una secuencia de apilamiento de capas para un laminado compuesto que sigue las relaciones señaladas anteriormente entre el ángulo 318 de capa de las capas internas y el ángulo 318 de capa de la capa más externa, como se describe anteriormente con respecto a las Figuras 14 a 15. El primer laminado compuesto (es decir, el laminado 332 de 0 grados) tiene un ángulo de capa de 0 grados para la capa más externa y una secuencia de apilamiento de capas de [0/0/0/0/0]s, y da como resultado un término D_{22} de aproximadamente 3.1. El segundo laminado compuesto (es decir, el laminado 334 de 90 grados) tiene un ángulo de capa de 90 grados para la capa más externa y una secuencia de apilamiento de capas de [90/-90/-60/60/30/-30]s, y da como resultado un término D_{22} de aproximadamente 530.7.

15 La Figura 17 es un gráfico que muestra la variación en la rigidez a la flexión D_{22} en función del ángulo de la fibra de la capa más externa de un laminado compuesto. La dirección -y en el gráfico corresponde a la dirección de la longitud del arco (es decir, la dirección 322 de la cuerda - Figura 3) del revestimiento 214 del borde de ataque. La rigidez de flexión D_{22} para el ángulo de capa de 0 grados en el gráfico corresponde a las fibras en la capa más externa orientadas perpendicularmente en la dirección de la longitud del arco de acuerdo con la secuencia de apilamiento de la capa antes mencionada para el laminado 332 de 0 grados. La rigidez a la flexión D_{22} para el ángulo de la capa de 90 grados en el gráfico corresponde a las fibras en la capa más externa orientadas paralela en la dirección de la longitud del arco de acuerdo con la secuencia de apilamiento de capas para el laminado 334 de 90 grados anteriormente mencionada. Como se muestra en la Figura 17, un ángulo de capa de 0 grados proporciona una rigidez a la flexión relativamente baja en la dirección de la longitud del arco. La rigidez a la flexión del laminado compuesto aumenta a medida que el ángulo de la capa de la capa más externa se aproxima a 90 grados.

25 La Figura 18 es un gráfico de la rigidez 324 a la flexión deseada representada como una función de la longitud del arco para un revestimiento 214 del borde de ataque del material laminado compuesto sujeto a un perfil de momento de flexión (por ejemplo, ver Figura 11). En la presente divulgación, la rigidez a la flexión del revestimiento 214 del borde de ataque del material laminado compuesto puede adaptarse con base en el ángulo de capa de la capa más externa y las capas internas para proporcionar la rigidez 324 a la flexión deseada en cada ubicación a lo largo de la longitud del arco. Aunque las Figuras 16 y 17 ilustran el valor absoluto de la rigidez a la flexión D_{22} , no es necesario que el término D_{22} sea equivalente a la rigidez 324 a la flexión deseada en cada ubicación a lo largo de la longitud del arco para lograr las características de flexión deseadas en el revestimiento 214 del borde de ataque. En algunos ejemplos, la rigidez a la flexión del revestimiento 214 del borde de ataque puede ser un valor escalado del término D_{22} .

35 La Figura 19 es un gráfico que muestra la rigidez 326 a la flexión real del revestimiento 214 del borde de ataque como un valor escalado de la rigidez 324 a la flexión deseada (EI) que se muestra en el gráfico de la Figura 18. Por ejemplo, en la Figura 18, el primer extremo 216 del revestimiento 214 del borde de ataque tiene un valor de rigidez a la flexión D_{22} de aproximadamente 1000. En la Figura 19, el primer extremo 216 tiene un valor escalado de aproximadamente 500. A este respecto, el laminado compuesto puede configurarse para tener una rigidez 326 a la flexión real que puede ser diferente de la rigidez a la flexión que se muestra en la Figura 19, siempre que el factor de escala sea el mismo en todas las ubicaciones a lo largo de la longitud del arco. Sin embargo, en algunos ejemplos, puede ser deseable limitar la escala del valor de D_{22} en la medida en que el revestimiento 214 del borde de ataque mantenga la capacidad de resistir las deflexiones fuera del plano causadas por la carga aerodinámica. Además, también puede ser deseable escalar el valor D_{22} en una cantidad que impida un revestimiento 214 del borde de ataque demasiado rígido y, por lo tanto, excesivamente pesado, que se pueda agregar al peso de una aeronave 100 de manera no deseada.

45 La Figura 20 es un gráfico que muestra la variación en el ángulo 318 de capa (es decir, el ángulo de la fibra) de la capa más externa de un laminado 312 compuesto. La variación en el ángulo de capa que se muestra en la Figura 20 puede dar como resultado que el laminado 312 compuesto tenga el perfil de rigidez 326 a la flexión real que se muestra en la Figura 19. Al variar el ángulo 318 de capa de la capa más externa de acuerdo con la Figura 20 y la variación correspondiente de los ángulos 318 de capa de las capas internas con base de una secuencia de apilamiento de capas predeterminada (por ejemplo, la relación entre los ángulos de capa de las capas internas y las capas más externas), los valores relativos de D_{22} (u otro(s) coeficiente(s) D) se pueden lograr en cada punto a lo largo de la longitud del arco de manera que el revestimiento 214 del borde de ataque tenga la rigidez 324 a la flexión deseada en todos los lugares a lo largo de la longitud del arco. Por ejemplo, la Figura 20 ilustra un ángulo de capa de 90° en los puntos B y C los cuales corresponden a ubicaciones de rigidez a la flexión relativamente altas en el revestimiento 214 del borde de ataque para las ubicaciones de soporte en los puntos B y C en la Figura 19.

55 La Figura 21 muestra una traza 328 de una de las fibras de una capa más externa. La variación de la traza o del ángulo de la capa en la fibra puede dar como resultado un laminado 312 compuesto que tiene el perfil de rigidez a la flexión deseado real del revestimiento 214 del borde de ataque de la Figura 19. Durante la colocación del laminado 312 compuesto, el ángulo 318 de capa de un material compuesto la capa 314 se puede dirigir en la dirección-x y la dirección-y (es decir, en la dirección 320 de la envergadura y en la dirección 322 de la cuerda), de tal manera que se proporcione el ángulo 318 de capa deseada en cada ubicación a lo largo de la longitud del arco. Para las partes de la longitud del arco donde se desea una rigidez a la flexión relativamente baja a lo largo de la dirección de la cuerda,

como en la parte entre los puntos B y C (ver la Figura 21), el ángulo 318 de capa de la capa más externa puede orientarse cerca de 0 grados con respecto a la dirección de la envergadura del revestimiento 214 del borde de ataque como se indicó anteriormente. Las capas internas también pueden orientarse cerca de 0 grados de acuerdo con la relación señalada anteriormente entre el ángulo 318 de capa de las capas internas en relación con el ángulo 318 de capa de la capa más externa. Sin embargo, debido a las dificultades para colocar las fibras en un ángulo de 0 grados como resultado del agrupamiento y/o superposición de las fibras, las fibras pueden colocarse en un ángulo 318 de capa ligeramente más bajo de 10 grados o menos a lo largo de dichas partes del revestimiento 214 del borde de ataque. En algunos ejemplos, una máquina automática de colocación de cintas puede colocar una cinta unidireccional con el ángulo 318 de capa variable a partir de un primer extremo 216 de la longitud del arco hasta un segundo extremo 218 (es decir, un extremo opuesto) de la longitud del arco. En otros ejemplos, el ángulo de la capa puede variarse durante la colocación manual de capas compuestas.

La Figura 22 muestra las trazas de una pluralidad de fibras de la capa más externa del revestimiento 214 del borde de ataque compuesto y muestra las ubicaciones de los puntos A, B, C y D. También se pueden generar diagramas similares que trazan los ángulos 318 de capa para las fibras de las capas internas de acuerdo con un esquema de apilamiento de capas predeterminado (por ejemplo, las Figuras 14 o 15). Los puntos A y D en la Figura 22 corresponden al primer extremo 216 y al segundo extremo 218 de la longitud del arco. El ángulo 318 de capa (es decir, el ángulo de la fibra) en el primer extremo 216 puede ser sustancialmente paralelo a la dirección de la cuerda lo cual da como resultado una rigidez a la flexión relativamente alta en dichas ubicaciones. Los puntos B y C son ubicaciones 224 de soporte donde el mecanismo 400 de control de forma (Figura 4) se une al revestimiento 214 del borde de ataque. Los puntos B y C tienen una curvatura sustancialmente constante (es decir, cambio cero en la curvatura), ya que el borde 200 de ataque se transforma entre la primera forma 228 y la segunda forma 232, como se indicó anteriormente. El ángulo 318 de capa de las fibras es tal que la rigidez a la flexión del revestimiento es relativamente alta en los puntos A, B y C. Para las secciones del revestimiento 214 del borde de ataque ubicadas entre las ubicaciones 224 de soporte, el ángulo 318 de capa de las fibras es tal que la rigidez a la flexión del revestimiento es relativamente baja, lo cual proporciona una mayor flexibilidad al revestimiento 214 del borde de ataque. Como se indicó anteriormente, el ángulo 318 de capa de las fibras en alguna parte de la longitud del arco puede orientarse en un ángulo ligeramente mayor que 0 grados (por ejemplo, 10 grados) para simplificar el proceso de colocación al impedir la acumulación o superposición de las fibras, como se indicó anteriormente.

Las Figuras 23 a 24 muestran una realización del borde 200 de ataque en la primera forma 228 y la segunda forma 232 con el mecanismo 400 de control de forma que tiene brazos y/o enlaces adicionales para soportar el revestimiento 214 del borde de ataque. En algunos ejemplos, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir un enlace 408 de refuerzo del revestimiento que se extiende hacia arriba a partir del brazo 402 principal y se une al lado 222 interior del revestimiento 214 del borde de ataque a lo largo de la superficie 164 superior. El enlace 408 de refuerzo del revestimiento puede estabilizar el revestimiento 214 flexible del borde de ataque contra la presión aerodinámica negativa que actúa sobre la superficie 164 superior y la cual puede tender a deflectar el revestimiento 214 del borde de ataque hacia arriba. Pueden incluirse y posicionarse otros enlaces 410 superiores en cualquier ubicación para estabilizar el revestimiento 214 del borde de ataque contra las deflexiones inducidas aerodinámicamente. En algunos ejemplos, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir un brazo 406 de nariz opcional que se extiende a partir de la parte 152 principal del perfil aerodinámico hacia la nariz 158 del revestimiento 214 del borde de ataque para reaccionar contra la presión aerodinámica positiva que soporta la parte más delantera del revestimiento 214 del borde de ataque. Uno o más enlaces 416 de nariz pueden extenderse hacia arriba a partir del brazo 402 principal hasta el revestimiento 214 del borde de ataque para reaccionar con una presión aerodinámica negativa en la sección del revestimiento 214 del borde de ataque sobre la parte más delantera de la nariz 158. Como se indicó anteriormente, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir además uno o más enlaces 412 inferiores que pueden extenderse hacia abajo a partir del brazo 402 principal hasta el revestimiento 214 del borde de ataque a lo largo de la superficie 166 inferior.

Las Figuras 25 - 26 muestran una realización de un mecanismo 400 de control de forma que tiene un mecanismo 418 de bloqueo para bloquear el revestimiento 214 flexible del borde de ataque en cualquiera de una diversidad de posiciones de despliegue. El mecanismo 418 de bloqueo puede montarse de manera pivotante en el brazo 402 principal y puede extenderse hacia arriba hacia el revestimiento 214 del borde de ataque. El extremo superior del mecanismo 418 de bloqueo se puede acoplar a cualquier ubicación en el revestimiento 214 del borde de ataque tal como un lugar donde otro enlace está acoplado al revestimiento 214 del borde de ataque. En algunas realizaciones, el mecanismo 418 de bloqueo puede configurarse como un accionador ajustable en longitud. Por ejemplo, el mecanismo 418 de bloqueo puede incluir un pistón linealmente deslizable dentro de un cilindro para variar la longitud del mecanismo 418 de bloqueo. El mecanismo 418 de bloqueo se puede bloquear en cualquier longitud y puede ayudar al accionador 414 principal del mecanismo 400 de control de forma en impidiendo el movimiento de los brazos y/o enlaces para mantener así el borde 200 de ataque en la primera forma 228, la segunda forma 232, o en cualquier forma entre ellos. Cuando el mecanismo 418 de bloqueo está bloqueado, la combinación del mecanismo 418 de bloqueo con el brazo 402 principal y los otros enlaces puede formar una armadura para aumentar el soporte estructural del borde 200 de ataque.

La Figura 27 muestra un ala 106 de aeronave con una pluralidad de mecanismos 400 de control de forma ubicados a intervalos espaciados a lo largo de una dirección de la envergadura del ala 106. Los mecanismos 400 de control de forma pueden proporcionarse en cualquier espacio a lo largo del borde 200 de ataque de un perfil 150 aerodinámico.

En algunas realizaciones, un perfil 150 aerodinámico tal como un ala 106 de aeronave puede estar provisto de un único borde 200 de ataque continuo que se extiende a lo largo de una parte sustancial de un ala. En otras realizaciones, pueden proporcionarse múltiples segmentos del borde 200 de ataque y pueden moverse independientemente para variar la curvatura del ala a lo largo de una dirección de la envergadura para facilitar la reducción de la resistencia y/o para el alivio de la carga del ala 106. Sin embargo, como se indicó anteriormente, el borde 200 de ataque descrito en este documento puede implementarse en cualquier perfil 150 aerodinámico de cualquier aplicación vehicular o no vehicular, sin limitación, y no está limitado a la implementación en un ala 106 de aeronave.

La Figura 28 muestra una parte de un ala 106 de aeronave que ilustra refuerzos 420 en sentido de la envergadura que pueden incluirse opcionalmente con el borde 200 de ataque para aumentar la rigidez a la flexión del revestimiento 214 del borde de ataque a lo largo de una dirección de la envergadura. En una realización, uno o más refuerzos 420 en sentido de la envergadura que pueden extenderse entre secciones no soportadas del borde de ataque, tal como entre pares de mecanismos 400 de control de forma. Los refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden resistir la deflexión del revestimiento 214 del borde de ataque en la dirección de la envergadura bajo cargas de aire en las superficies 164, 166 superior e inferior (Figura 29) del borde 200 de ataque.

La Figura 29 muestra una sección de un ala 106 de aeronave e ilustra una realización de un borde 200 de ataque que tiene refuerzos 420 en sentido de la envergadura montados en el lado 222 interior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque. En algunos ejemplos, los refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden estar separados en una dirección de la cuerda del revestimiento 214 del borde de ataque. Los refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden formarse por separado y pueden unirse o montarse en el lado 222 interior del revestimiento 214 del borde de ataque, por ejemplo mediante un cierre mecánico, una unión adhesiva o utilizando otros medios. En algunas formas de realización, los refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden formarse integralmente con el revestimiento 214 del borde de ataque. Por ejemplo, uno o más refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden ser maquinados integralmente en el lado 222 interior de un revestimiento 214 del borde de ataque metálico. En otras realizaciones, los refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden estar formados de material compuesto (por ejemplo, grafito/epoxi) y pueden estar co-unidos o co-curados con un revestimiento 214 del borde de ataque de laminado compuesto.

Los refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden proporcionarse en cualquiera de una diversidad de diferentes tamaños, formas y geometrías que incluyen, pero no se limitan a, una sección de cuchilla, una sección en I, una sección de sombrero, o en otras formas. Los refuerzos 420 en sentido de la envergadura pueden configurarse de tal manera que la rigidez a la flexión local del revestimiento 214 del borde de ataque a lo largo de la dirección de la longitud del arco no se vea afectada sustancialmente por la manera en la cual los refuerzos 420 en sentido de la envergadura se acoplan al revestimiento 214 del borde de ataque. A este respecto, los refuerzos 420 en sentido de la envergadura se pueden unir al revestimiento 214 del borde de ataque de una manera que impide las facetas o los puntos planos en el revestimiento 214 del borde de ataque durante la transformación a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232.

La Figura 30 muestra un diagrama de flujo que incluye una o más operaciones que pueden implementarse en un método 500 para transformar un borde 200 de ataque de un perfil 150 aerodinámico. La etapa 502 del método 500 puede incluir el control de un mecanismo 400 de control de forma unido a un revestimiento 214 flexible del borde de ataque del perfil 150 aerodinámico. Por ejemplo, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir uno o más brazos y/o enlaces que se pueden unir al revestimiento 214 del borde de ataque en una pluralidad de ubicaciones 224 de soporte en el lado 222 interior del revestimiento 214 del borde de ataque. Como se indicó anteriormente, el mecanismo 400 de control de forma puede incluir un brazo 402 principal y un brazo 404 de rotación que puede extenderse a partir de la parte 152 principal del perfil aerodinámico a una o más ubicaciones 224 de soporte en el lado 222 interior del revestimiento 214 del borde de ataque. Uno o más enlaces pueden extenderse a partir del brazo 402 principal al revestimiento 214 del borde de ataque en las ubicaciones 224 de soporte y/o en otras ubicaciones entre las ubicaciones 224 de soporte. Uno o más accionadores 414 principales pueden estar acoplados operativamente a uno o más de los brazos para mover los brazos de manera pivotante.

La etapa 504 del método 500 puede incluir la transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque de una primera forma 228 que tiene un primer perfil 230 de curvatura a una segunda forma 232 que tiene un segundo perfil 234 de curvatura que puede ser diferente del primer perfil 230 de curvatura. Por ejemplo, las Figuras 4 a 8 ilustran la progresión de la transformación del borde 200 de ataque a partir de una primera forma 228 (Figura 4) hasta una segunda forma 232 (Figura 8). El método 500 puede incluir cambiar una curvatura del perfil 150 aerodinámico de una primera curvatura 168 adecuada para el vuelo de crucero, tal como cuando el borde 200 de ataque está en la primera forma 228, a una segunda curvatura 170 adecuada para un vuelo de baja velocidad, tal como cuando el borde 200 de ataque está en la segunda forma 232. El método puede incluir adicionalmente la etapa de reducir la curvatura del perfil 150 aerodinámico haciendo una transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque a partir de la segunda forma 232 a una tercera forma (no se muestra). Por ejemplo, el mecanismo 400 de control de forma puede configurarse para transformar el borde 200 de ataque de la segunda forma 232 que tiene un perfil caído, a una tercera forma (no se muestra) que es intermedia a la forma del borde de ataque en la primera forma 228 y la segunda forma 232.

En algunas realizaciones, el método puede incluir la formación de un reflejo 300 de curvatura en el revestimiento 214 flexible del borde de ataque a partir del cóncavo 302 al 304 convexo cuando se hace la transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque hacia la primera forma 228 y/o la segunda forma 232. Como se indicó anteriormente,

un reflejo 300 en curvatura en el revestimiento 214 flexible del borde de ataque se puede describir como la ubicación de un cambio en la curvatura a partir del cóncavo 302 al 304 convexo a lo largo de una dirección de la longitud del arco. Las Figuras 4 a 8 ilustran la progresión de formación del reflejo 300 en el punto D del revestimiento 214 del borde de ataque durante la transición del borde 200 de ataque a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232. En algunas realizaciones, el borde 200 de ataque puede configurarse de tal manera que al menos una de las ubicaciones 224 de soporte sea una ubicación de curvatura constante del revestimiento 214 del borde de ataque. En algunos ejemplos, el borde 200 de ataque puede configurarse de tal manera que se forme un reflejo 300 en la superficie 166 inferior en la configuración de crucero, como se indicó anteriormente. El revestimiento 214 del borde de ataque puede configurarse de tal manera que el reflejo 300 se forme naturalmente en el revestimiento 214 del borde de ataque sin necesidad de controlar la pendiente y/o el desplazamiento del reflejo 300. Sin embargo, un brazo del mecanismo 400 de control de forma puede estar unido al punto D para soportar el revestimiento 214 del borde de ataque contra cargas aerodinámicas.

La etapa 506 del método puede incluir mantener la misma longitud del arco del revestimiento 214 flexible del borde de ataque durante la transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232. Como se muestra en las figuras, el revestimiento 214 flexible del borde de ataque incluye un primer extremo 216 y un segundo extremo 218 los cuales representan ubicaciones en donde el revestimiento 214 del borde de ataque hace transición a la parte 152 principal del perfil aerodinámico. El método puede incluir el mantenimiento tangencial de la superficie 220 exterior del revestimiento 214 flexible del borde de ataque a la superficie 172 exterior de la parte 152 principal del perfil aerodinámico en ambos lados del perfil 150 aerodinámico durante la transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque de la primera forma 228 a la segunda forma 232. Además, el método puede incluir forzar el desplazamiento y/o el cambio de pendiente del revestimiento 214 flexible del borde de ataque para al menos una de las ubicaciones 224 de soporte durante la transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232. Por ejemplo, las Figuras 4 a 8 ilustran una ubicación 224 de soporte en el punto C para la cual el desplazamiento y la pendiente pueden ser forzados por el mecanismo 400 de control de forma.

El método 500 puede incluir mantener la misma curvatura en el revestimiento 214 flexible del borde de ataque para al menos una de las ubicaciones 224 de soporte durante la transición del revestimiento 214 flexible del borde de ataque a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232. Por ejemplo, las Figuras 4 a 8 ilustran los puntos B, C y D, los cuales son ubicaciones de curvatura constante durante la transición del borde 200 de ataque a partir de la primera forma 228 a la segunda forma 232. El control del desplazamiento y/o la pendiente del revestimiento 214 del borde de ataque se pueden facilitar controlando el mecanismo 400 de control de forma. En algunas realizaciones, el método puede incluir acoplar un mecanismo 418 de bloqueo para ayudar a impedir el movimiento del mecanismo 400 de control de forma. El mecanismo 418 de bloqueo puede impedir el movimiento de uno o más brazos y/o enlaces los cuales pueden ayudar al accionador 414 principal del mecanismo 400 de control de forma a mantener el borde 200 de ataque en una cualquiera de una diversidad de formas diferentes, que incluyen la primera forma 228 y la segunda forma 232.

Las modificaciones y mejoras adicionales de la presente divulgación pueden ser evidentes para los expertos en la técnica. Por lo tanto, la combinación particular de partes descritas e ilustradas en este documento pretende representar solo ciertas realizaciones de la presente divulgación y no pretende servir como limitaciones de realizaciones alternativas o dispositivos dentro del alcance de la divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Un perfil (150) aerodinámico, que comprende:

un borde (200) de ataque que incluye un revestimiento (214) flexible del borde de ataque que tiene un primer extremo (216), un segundo extremo (218) y una longitud del arco definida entre ellos,

5 una parte (152) principal del perfil aerodinámico adyacente al borde (200) de ataque, el primer y segundo extremos (216, 218) del borde (200) de ataque acoplados de manera fija a la parte (152) principal del perfil aerodinámico;

una superficie (220) exterior del revestimiento (214) flexible del borde de ataque continua a partir de un primer lado (160) de la parte (152) principal del perfil aerodinámico hasta un segundo lado (162) de la parte (152) principal del perfil aerodinámico; y

10 un mecanismo (400) de control de forma unido al revestimiento (214) flexible del borde de ataque en una pluralidad de ubicaciones (224) de soporte y configurado para hacer la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque a partir de una primera forma (228) que tiene un primer perfil (230) de curvatura a una segunda forma (232) que tiene un segundo perfil (234) de curvatura diferente al primer perfil (230) de curvatura sin un cambio en la longitud del arco en donde:

15 el mecanismo (400) de control de forma está configurado para controlar un desplazamiento (306) y/o una pendiente (308) de las partes respectivas del revestimiento (214) flexible del borde de ataque en las respectivas partes de la pluralidad de ubicaciones (224) de soporte; e

incluye brazos (402, 404, 406) que se extienden a partir de una parte (152) principal del perfil aerodinámico a una o más de las ubicaciones (224) de soporte y en donde:

20 los brazos incluyen:

un brazo (402) principal que se extiende a partir de la parte (152) principal del perfil aerodinámico a una ubicación (224) de soporte en una parte (202) inferior delantera del revestimiento (214) flexible del borde de ataque y configurada para controlar un desplazamiento (306) de un punto (204) inferior delantero en la parte (202) inferior delantera;

25 un brazo (404) de rotación que se extiende a partir de la parte (152) principal del perfil aerodinámico hasta la ubicación (224) de soporte donde el brazo (402) principal está acoplado a la parte (202) inferior delantera y configurado para controlar una pendiente (308) del punto (204) inferior delantero;

el mecanismo (400) de control de forma, incluidos los enlaces (410, 412, 416) que se extienden a partir de uno o más brazos a una o más ubicaciones en un lado (222) interior del revestimiento (214) flexible del borde de ataque, los enlaces (412) incluyen:

30 un enlace (410) superior acoplado de manera pivotante al brazo (402) principal y que se extiende a una parte (206) superior delantera del revestimiento (214) flexible del borde de ataque y configurado para controlar un desplazamiento (306) de un punto (208) superior delantero en la parte (206) superior delantera; y

35 un enlace (412) inferior acoplado de manera pivotante al brazo (402) principal y que se extiende a una parte (210) inferior media del revestimiento (214) flexible del borde de ataque en una ubicación entre la parte (202) inferior delantera y la parte (152) principal del perfil aerodinámico y configurada para controlar un desplazamiento (306) de un punto (212) inferior medio en la parte (210) inferior media; y

el mecanismo (400) de control de forma que incluye un accionador que se extiende a partir de la parte (152) principal del perfil aerodinámico y está acoplado de manera pivotante a al menos uno de los brazos (402, 404, 406) para hacer la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque entre la primera forma (228) y la segunda forma (232).

40 2. El perfil (150) aerodinámico de la reivindicación 1,

en donde la superficie (220) exterior del revestimiento (214) flexible del borde de ataque es tangente a una superficie (172) exterior de la parte (152) principal del perfil aerodinámico en ambos lados (160, 162) del perfil (150) aerodinámico cuando el revestimiento (214) flexible del borde de ataque está en la primera forma (228) y en la segunda forma (232).

3. El perfil (150) aerodinámico de la reivindicación 1, en donde:

45 el revestimiento (214) flexible del borde de ataque tiene una rigidez a la flexión variable a lo largo de la longitud del arco;

el revestimiento (214) flexible del borde de ataque está formado por un material isotrópico; y

el material isotrópico tiene un grosor que varía a lo largo de la longitud del arco de manera que la rigidez a la flexión del revestimiento (214) flexible del borde de ataque varíe a lo largo de la longitud del arco de manera tal que se forme

un perfil de curvatura deseado en el revestimiento (214) flexible del borde de ataque cuando se somete a un perfil de momento de flexión.

4. El perfil (150) aerodinámico de la reivindicación 1, en donde:

el revestimiento (214) flexible del borde de ataque está formado de material compuesto;

5 el material compuesto es un laminado compuesto formado por capas compuestas de material de matriz polimérica reforzada con fibra;

cada una de las capas compuestas tiene una orientación de fibra; y

10 la orientación de la fibra de al menos una de las capas compuestas varía a lo largo de la longitud del arco de manera que la rigidez a la flexión del revestimiento (214) flexible del borde de ataque varía a lo largo de la longitud del arco, de modo que se forme un perfil de curvatura deseado en el revestimiento (214) flexible del borde de ataque cuando se somete a un perfil de momento de flexión.

5. El perfil (150) aerodinámico de la reivindicación 1, en donde:

las partes respectivas del revestimiento (214) flexible del borde de ataque en una respectiva de la diversidad de ubicaciones (224) de soporte tienen la misma curvatura en la primera forma (228) y en la segunda forma (232).

15 6. El perfil (150) aerodinámico de la reivindicación 1, en donde:

una primera parte (202) del revestimiento (214) flexible del borde de ataque en una primera de la pluralidad de ubicaciones (224) de soporte tiene una mayor rigidez a la flexión con respecto a una rigidez a la flexión de una segunda parte (202) del revestimiento (214) flexible del borde de ataque en una segunda de la pluralidad de ubicaciones (224) de soporte.

20 7. Un método (500) para transformar un borde (200) de ataque de un perfil (150) aerodinámico, comprendiendo el perfil (150) aerodinámico:

un borde (200) de ataque que incluye un revestimiento (214) flexible del borde de ataque que tiene un primer extremo (216), un segundo extremo (218) y una longitud del arco definida entre ellos;

25 una parte (152) principal del perfil aerodinámico adyacente al borde (200) de ataque, el primer y segundo extremos (216, 218) del borde (200) de ataque acoplados de manera fija a la parte (152) principal del perfil aerodinámico;

una superficie (220) exterior del revestimiento (214) flexible del borde de ataque continua a partir de un primer lado (160) de la parte (152) principal del perfil aerodinámico hasta un segundo lado (162) de la parte (152) principal del perfil aerodinámico; y

30 un mecanismo (400) de control de forma unido al revestimiento (214) flexible del borde de ataque en una pluralidad de ubicaciones (224) de soporte y configurado para hacer la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque a partir de una primera forma (228) que tiene un primer perfil (230) de curvatura a una segunda forma (232) que tiene un segundo perfil (234) de curvatura diferente al primer perfil (230) de curvatura sin un cambio en la longitud del arco en donde:

35 el mecanismo (400) de control de forma está configurado para controlar un desplazamiento (306) y/o una pendiente (308) de las partes respectivas del revestimiento (214) flexible del borde de ataque en las respectivas partes de la pluralidad de ubicaciones (224) de soporte; e incluye brazos (402, 404, 406) que se extienden a partir de una parte (152) principal del perfil aerodinámico a una o más de las ubicaciones (224) de soporte y en donde:

los brazos incluyen:

40 un brazo (402) principal que se extiende a partir de la parte (152) principal del perfil aerodinámico a una ubicación (224) de soporte en una parte (202) inferior delantera del revestimiento (214) flexible del borde de ataque y configurada para controlar un desplazamiento (306) de un punto (204) inferior delantero en la parte (202) inferior delantera;

un brazo (404) de rotación que se extiende a partir de la parte (152) principal del perfil aerodinámico hasta la ubicación (224) de soporte donde el brazo (402) principal está acoplado a la parte (202) inferior delantera y configurado para controlar una pendiente (308) del punto (204) inferior delantero;

45 el mecanismo (400) de control de forma que incluye los enlaces (410, 412, 416) que se extienden a partir de uno o más brazos a una o más ubicaciones en un lado (222) interior del revestimiento (214) flexible del borde de ataque, los enlaces (412) incluyen:

50 un enlace (410) superior acoplado de manera pivotante al brazo (402) principal y que se extiende a una parte (206) superior delantera del revestimiento (214) flexible del borde de ataque y configurado para controlar un desplazamiento (306) de un punto (208) superior delantero en la parte (206) superior delantera; y

- un enlace (412) inferior acoplado de manera pivotante al brazo (402) principal y que se extiende a una parte (210) inferior media del revestimiento (214) flexible del borde de ataque en una ubicación entre la parte (202) inferior delantera y la parte (152) principal del perfil aerodinámico y configurada para controlar un desplazamiento (306) de un punto (212) medio inferior en la parte (210) inferior media; y
- 5 el mecanismo (400) de control de forma incluye un accionador que se extiende a partir de la parte (152) principal del perfil aerodinámico y está acoplado de manera pivotante a al menos uno de los brazos (402, 404, 406) para hacer la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque entre la primera forma (228) y la segunda forma (232), comprendiendo el método:
- 10 controlar el mecanismo (400) de control de forma unido, en la pluralidad de ubicaciones (224) de soporte, al revestimiento (214) flexible del borde de ataque del perfil (150) aerodinámico;
- hacer la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque de una primera forma (228) que tiene un primer perfil (230) de curvatura a una segunda forma (232) que tiene un segundo perfil (234) de curvatura diferente del primer perfil (230) de curvatura; y
- 15 mantener una misma longitud del arco del revestimiento (214) flexible del borde de ataque durante la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque a partir de la primera forma (228) a la segunda forma (232).
8. El método (500) de la reivindicación 7, que comprende además:
- forzar un desplazamiento (306) y/o un cambio de pendiente (308) del revestimiento (214) flexible del borde de ataque para al menos una de las ubicaciones (224) de soporte durante la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque de la primera forma (228) a la segunda forma (232).
- 20 9. El método (500) de la reivindicación 7, que comprende además:
- mantener una misma curvatura en el revestimiento (214) flexible del borde de ataque para al menos una de las ubicaciones (224) de soporte durante la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque de la primera forma (228) a la segunda forma (232); y
- 25 formar un reflejo (300) de curvatura en el revestimiento (214) flexible del borde de ataque de cóncavo (302) a convexo (304) al realizar la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque a la primera forma (228) y/o la segunda forma (232);
- y
- 30 mantener una tangencia de una superficie (220) exterior del revestimiento (214) flexible del borde de ataque a una superficie (172) exterior de la parte (152) principal del perfil aerodinámico en ambos lados del perfil (150) aerodinámico durante la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque a partir de la primera forma (228) a la segunda forma (232).
10. El método (500) de la reivindicación 7, que comprende además:
- cambiar una curvatura del perfil (150) aerodinámico a partir de una primera curvatura (168) adecuada para el vuelo de crucero a una segunda curvatura (170) adecuada para vuelo de baja velocidad; y
- 35 reducir una curvatura del perfil (150) aerodinámico mediante la transición del revestimiento (214) flexible del borde de ataque de la segunda forma (232) a una tercera forma.
11. El método (500) de la reivindicación 7, en donde el método (500) comprende además:
- 40 controlar uno o más brazos (402, 404, 406) y/o enlaces (410, 412, 416) para controlar un desplazamiento (306) y/o un cambio de pendiente (308) del revestimiento (214) flexible del borde de ataque para al menos una de las ubicaciones (224) de soporte; y
- acoplar un mecanismo (418) de bloqueo para impedir el movimiento de los brazos (402, 404, 406) y/o enlaces (410, 412, 416).

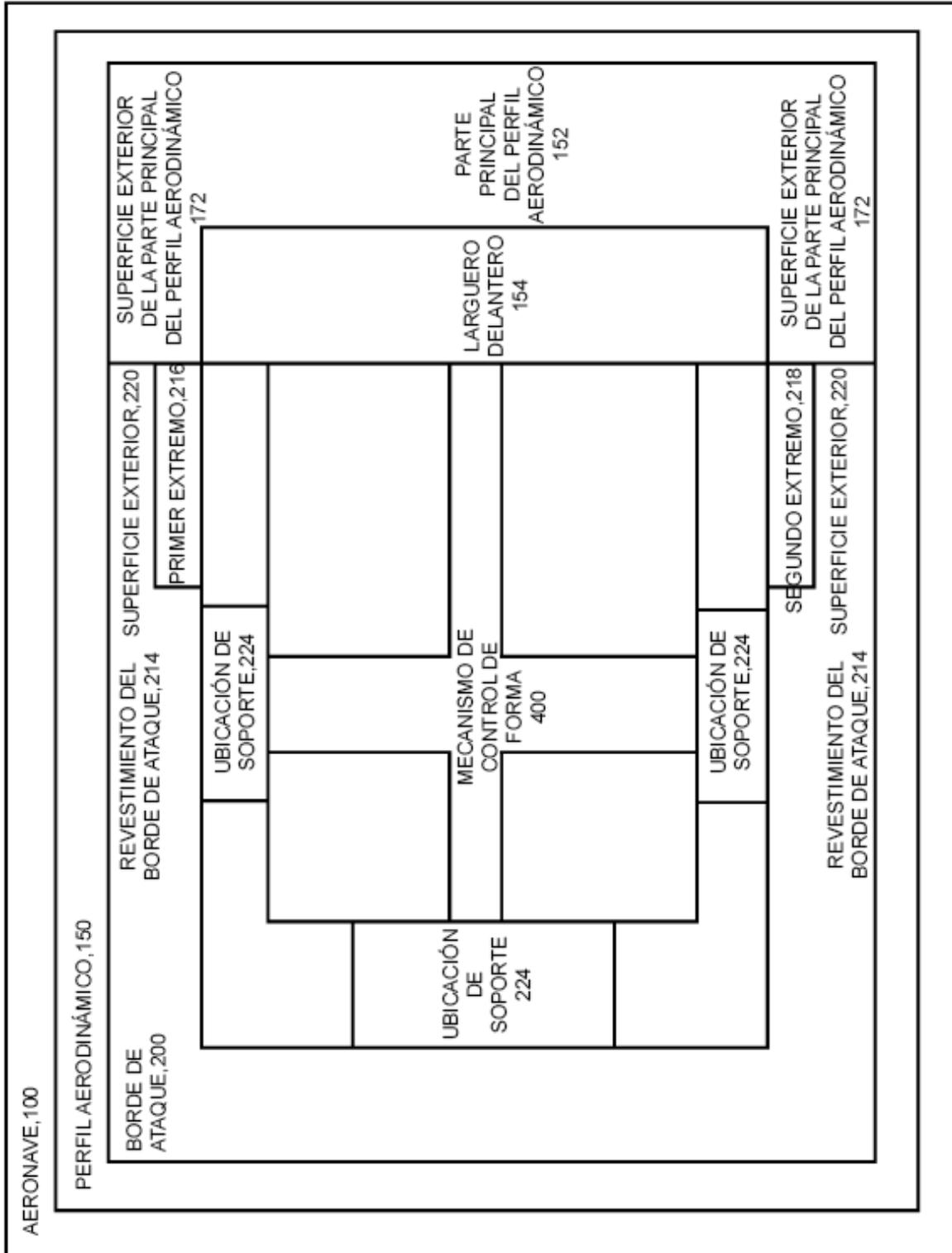


FIG. 1

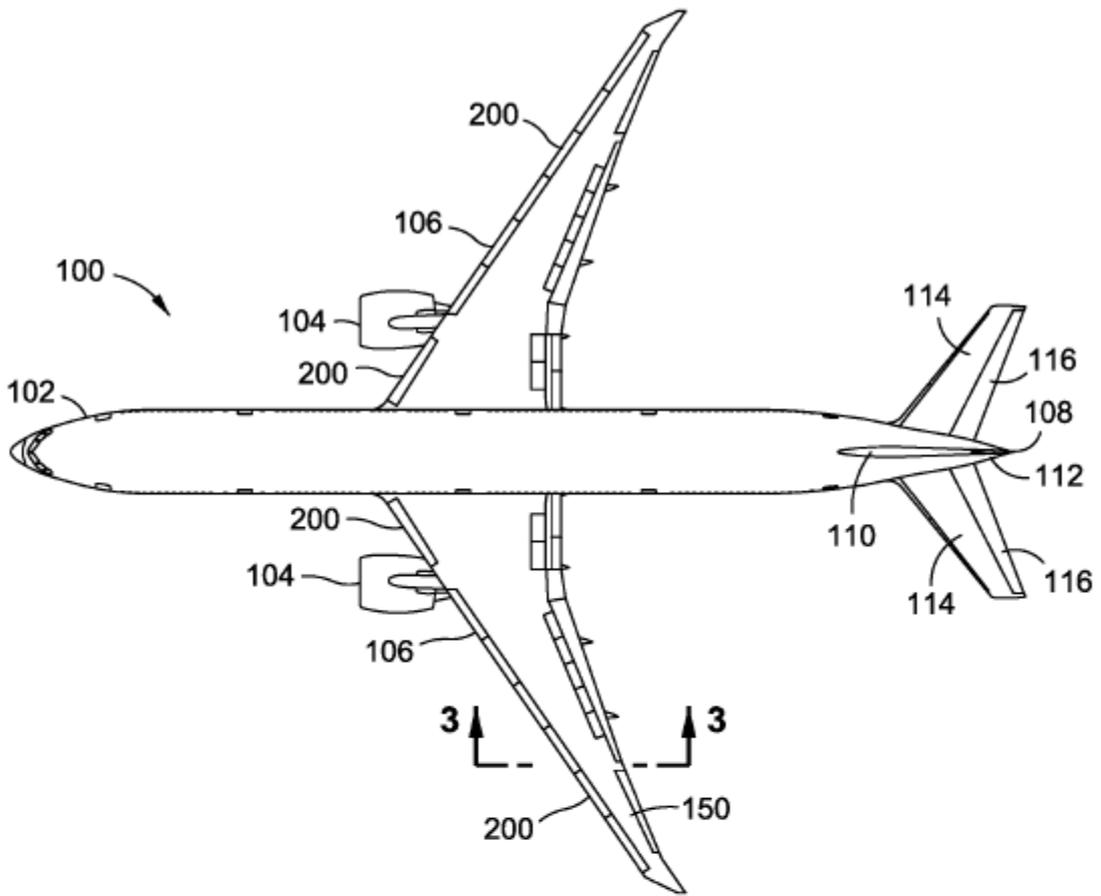


FIG. 2

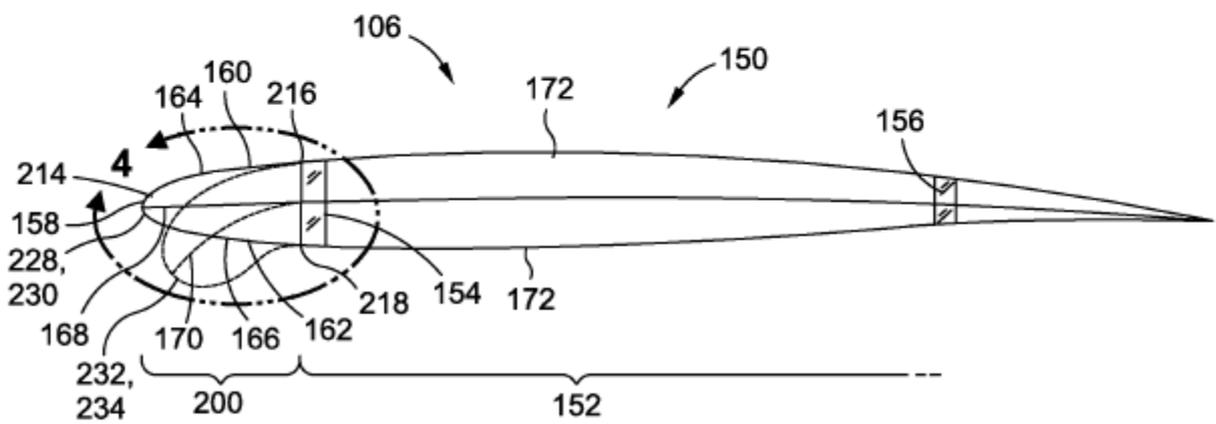


FIG. 3

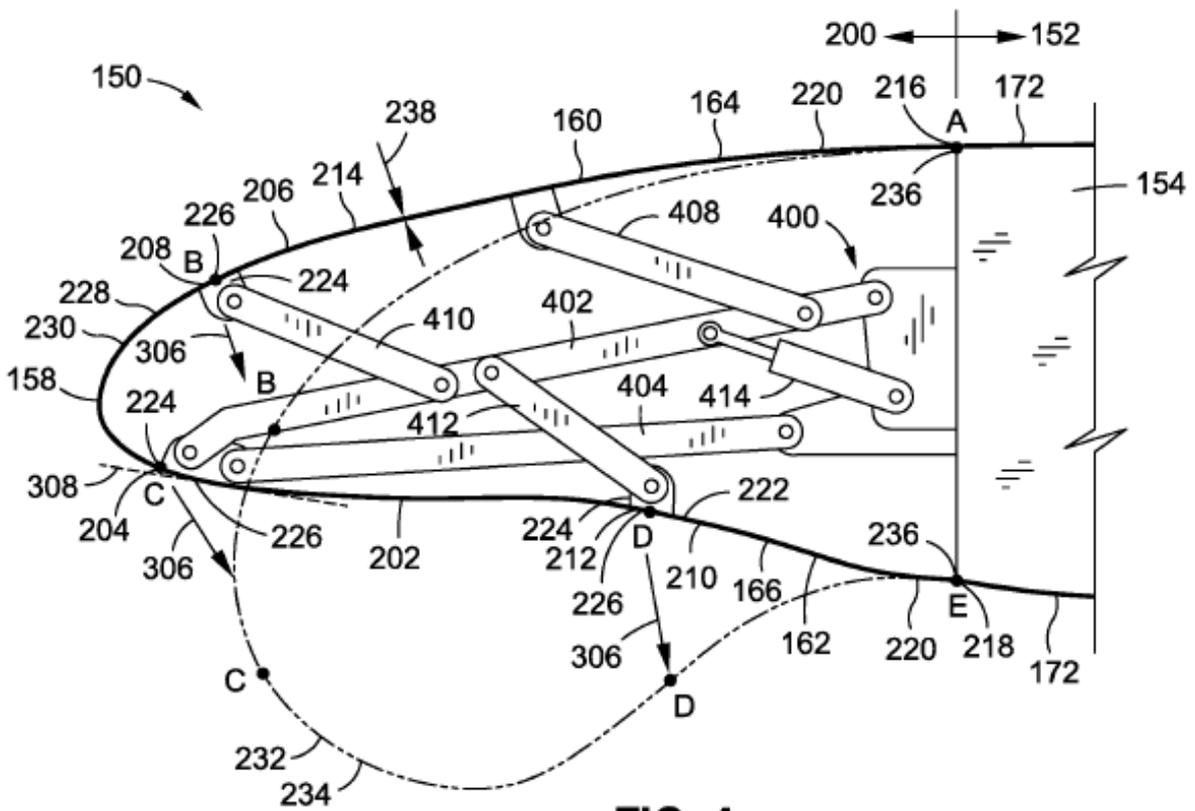


FIG. 4

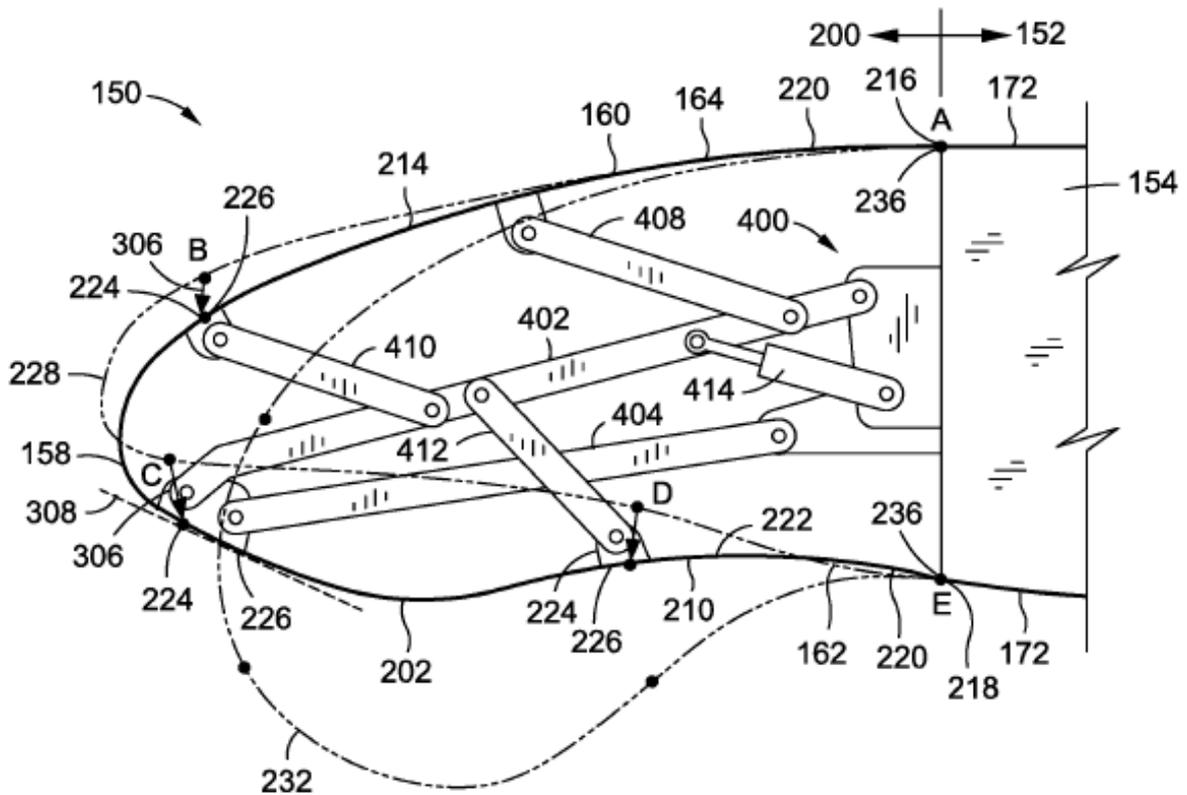
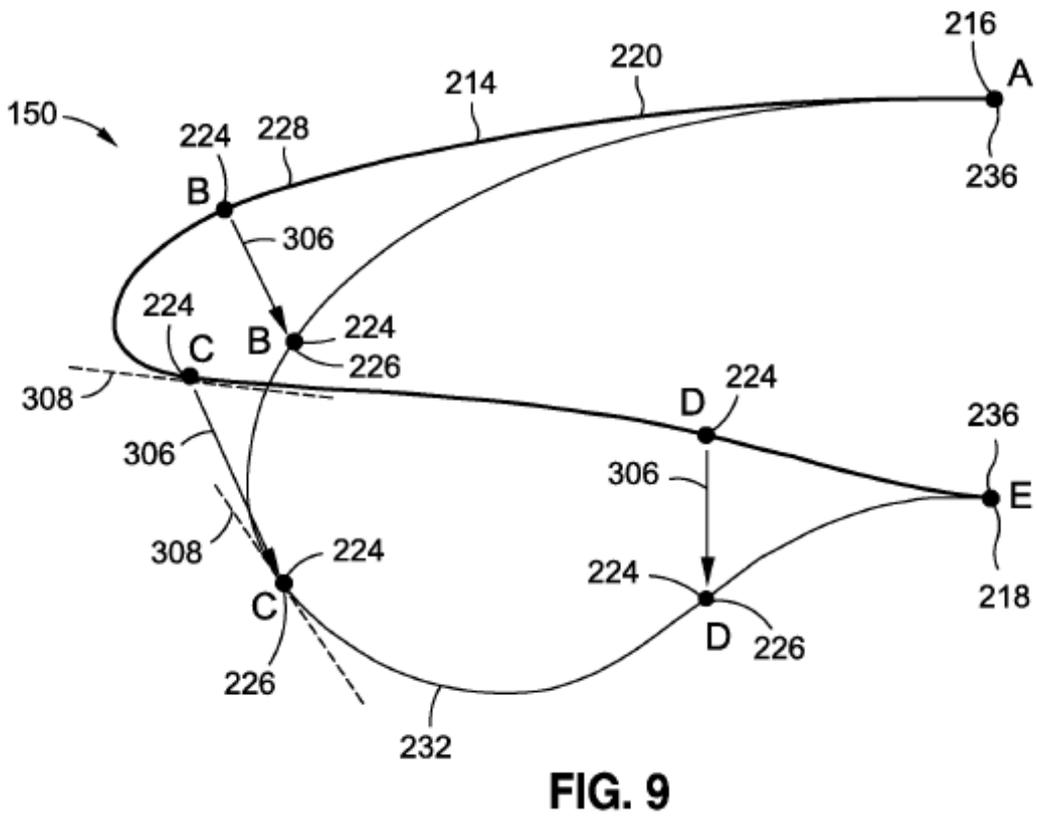
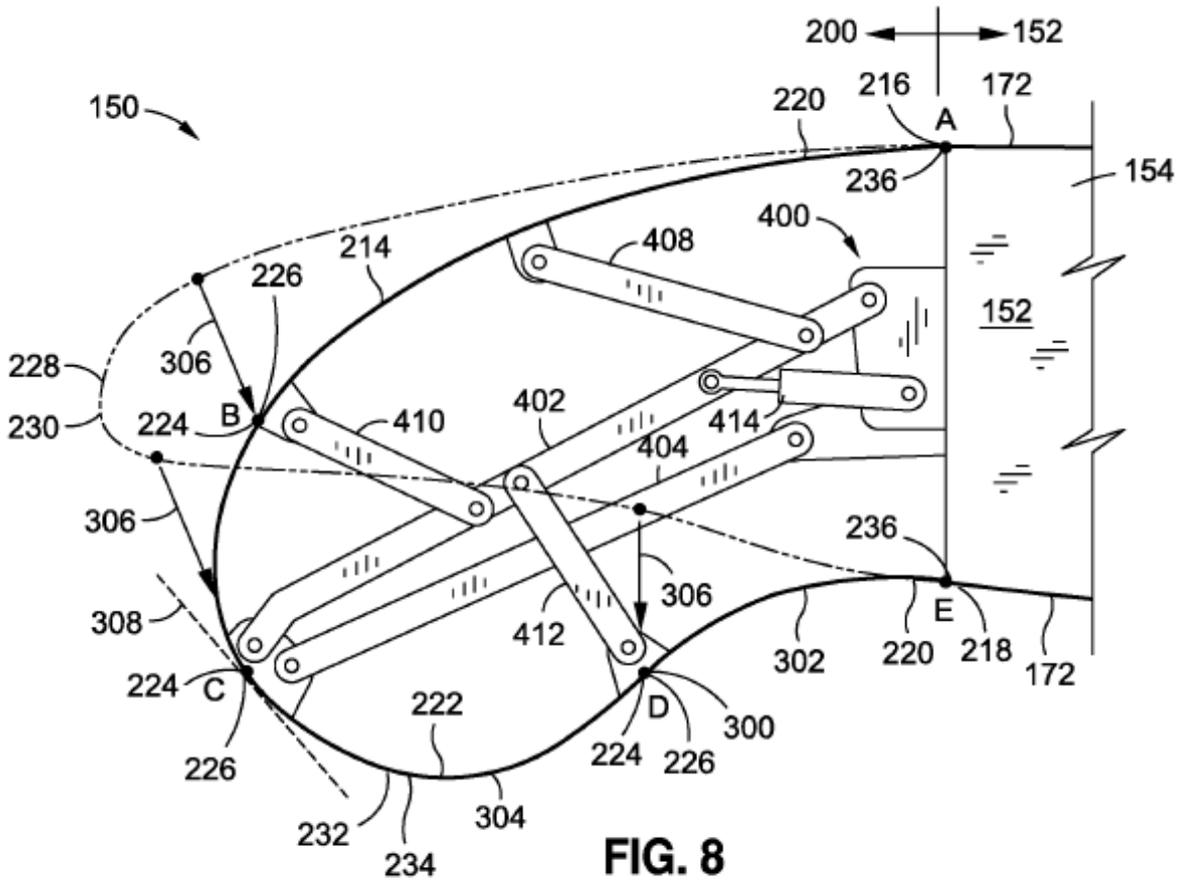


FIG. 5



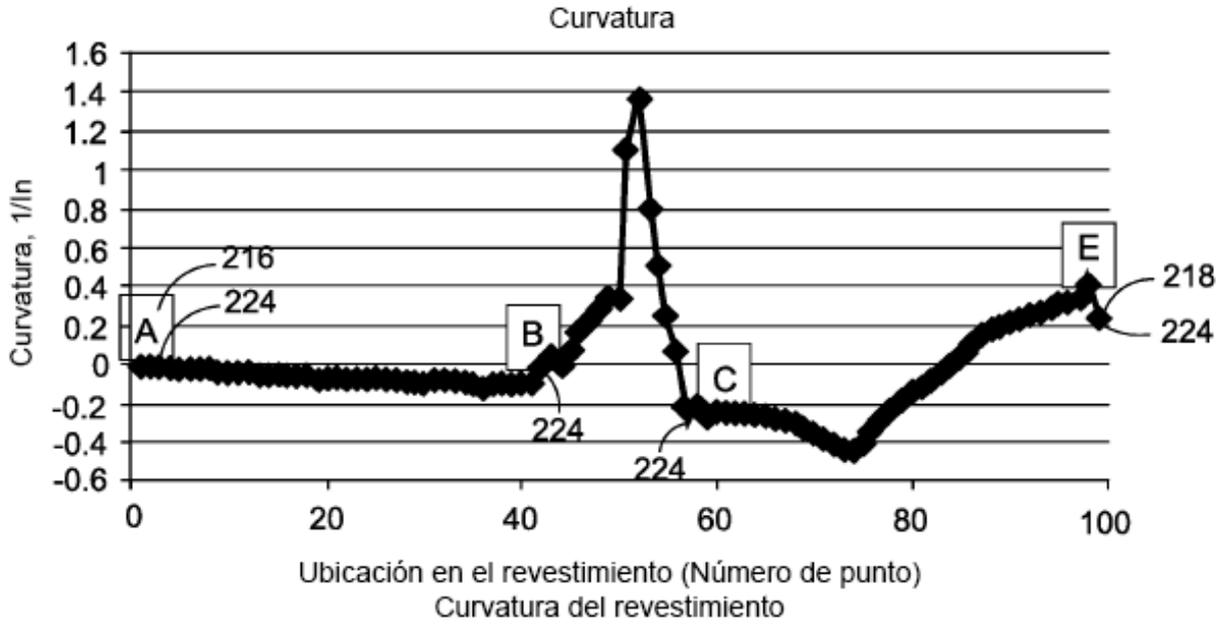


FIG. 10

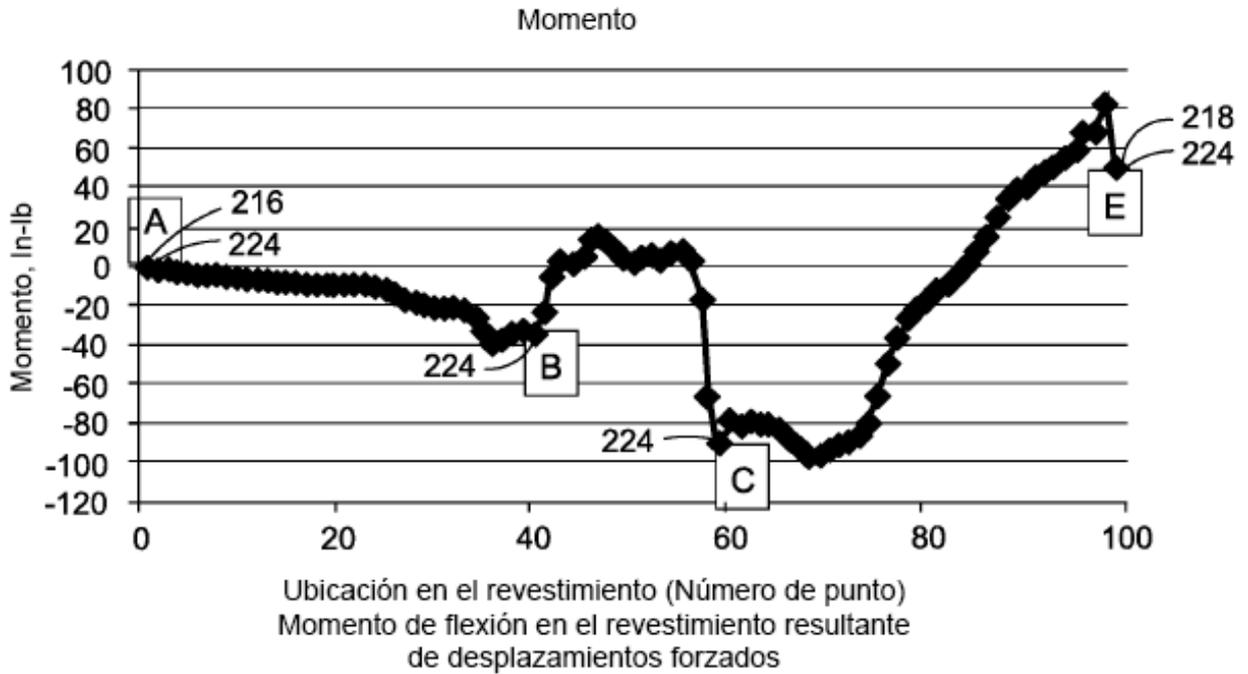


FIG. 11

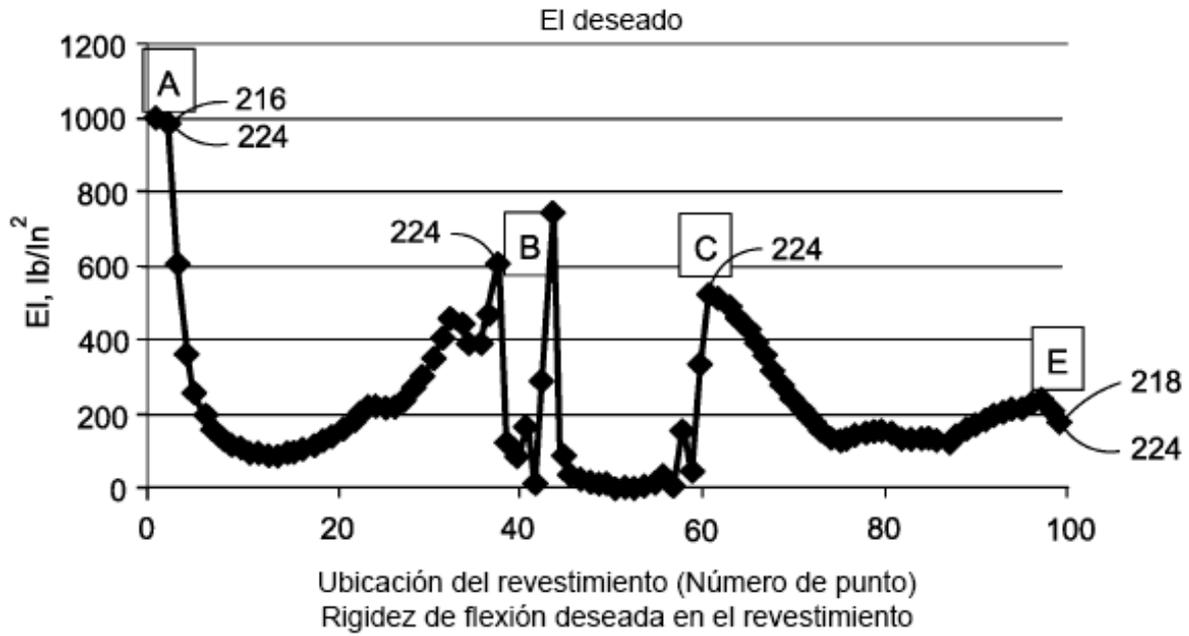


FIG. 12

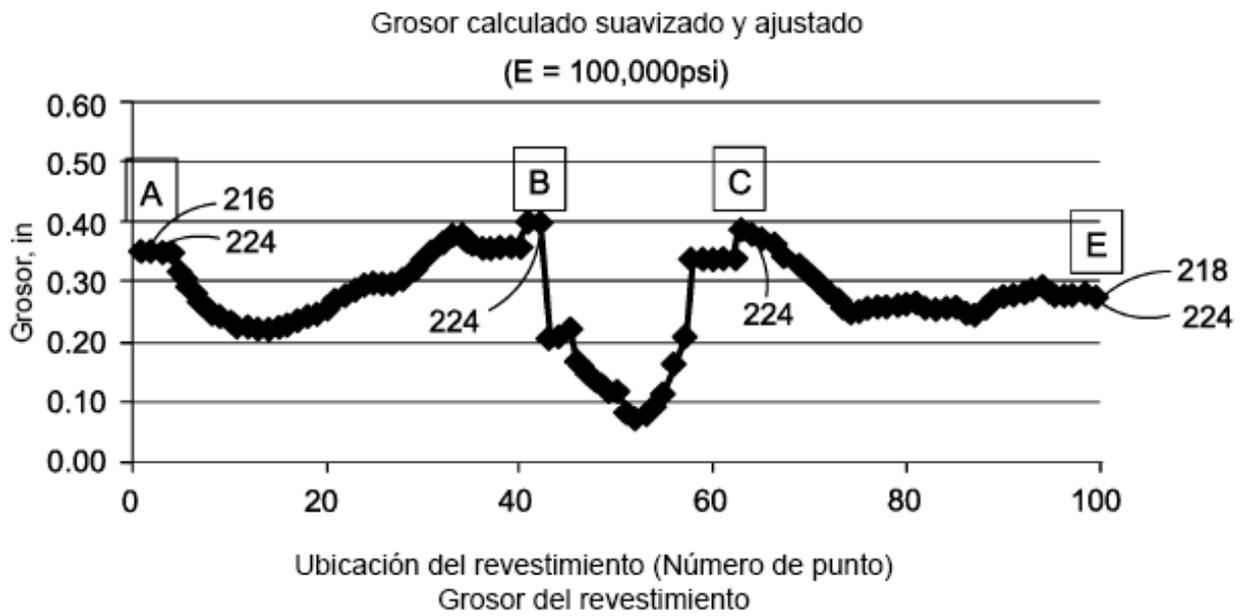


FIG. 13

316

318

336

310

338

312

314

NÚMERO DE CAPA	ÁNGULO DE CAPA	GROSOR DE CAPA	MATERIAL DE CAPA	
1	80	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa más exterior
2	-80	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
3	-50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
4	50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
5	20	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
6	-20	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
7	-20	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
8	20	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
9	50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
10	-50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
11	-80	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
12	80	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa más interior

FIG. 14

316

318

336

310

338

312

314

NÚMERO DE CAPA	ÁNGULO DE CAPA	GROSOR DE CAPA	MATERIAL DE CAPA	
1	50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa más exterior
2	-50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
3	-25	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
4	25	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
5	0	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
6	0	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
7	0	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
8	0	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
9	25	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
10	-25	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
11	-50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa interior
12	50	0.006	Cinta con matriz 100 ksi	Capa más interior

FIG. 15

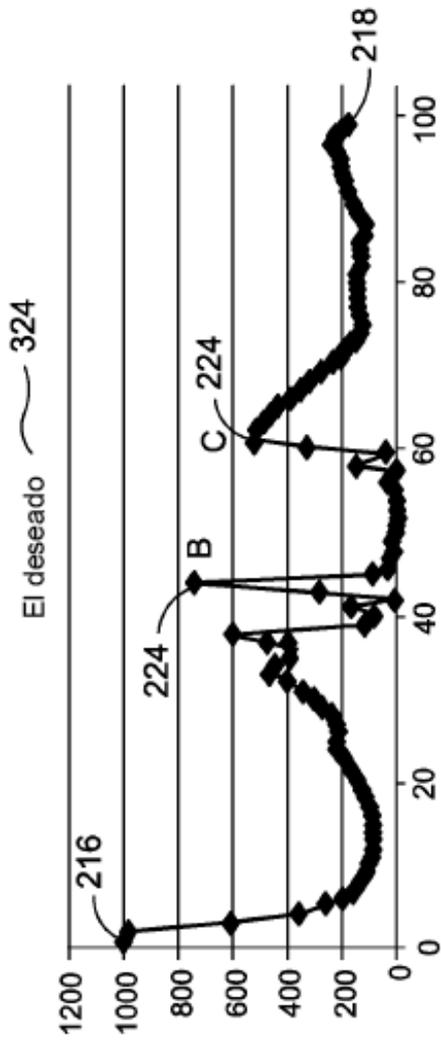


FIG. 18

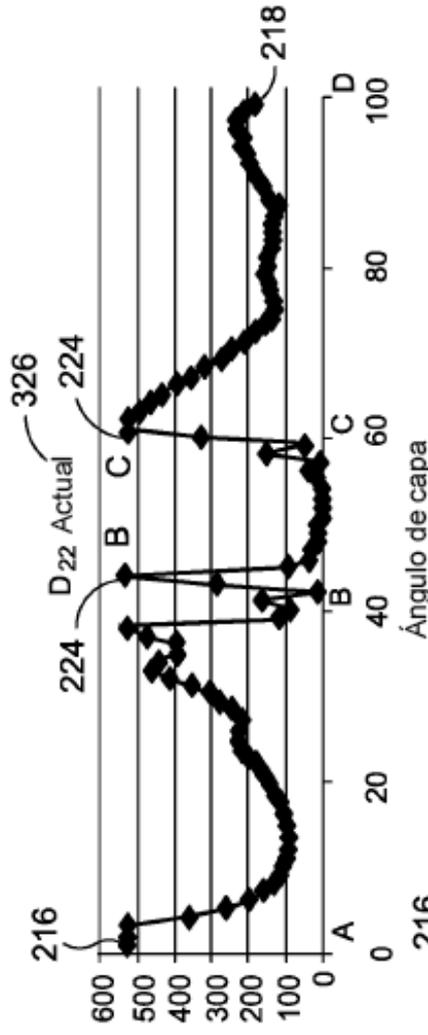


FIG. 19

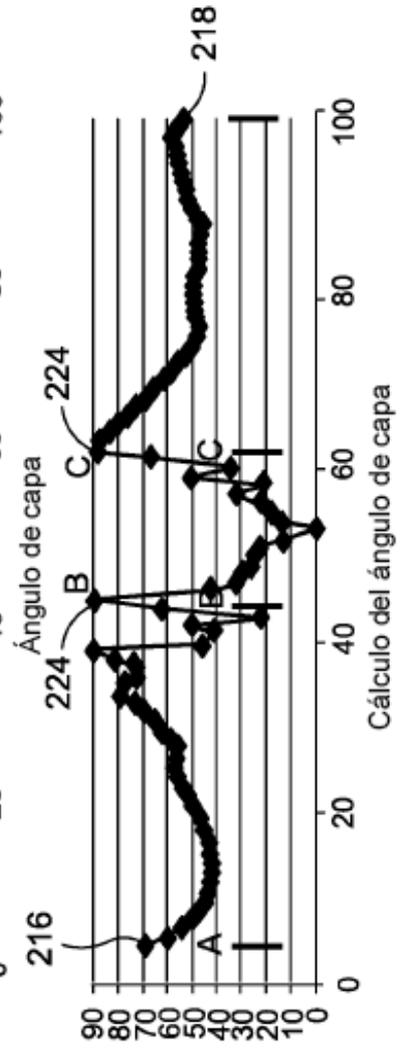


FIG. 20

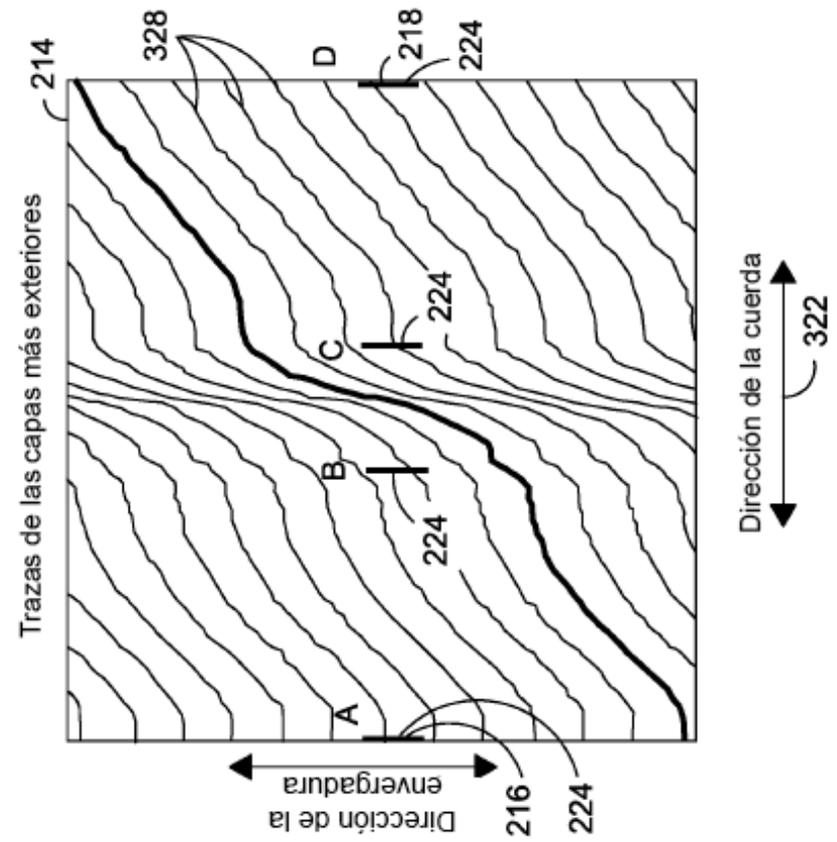


FIG. 21

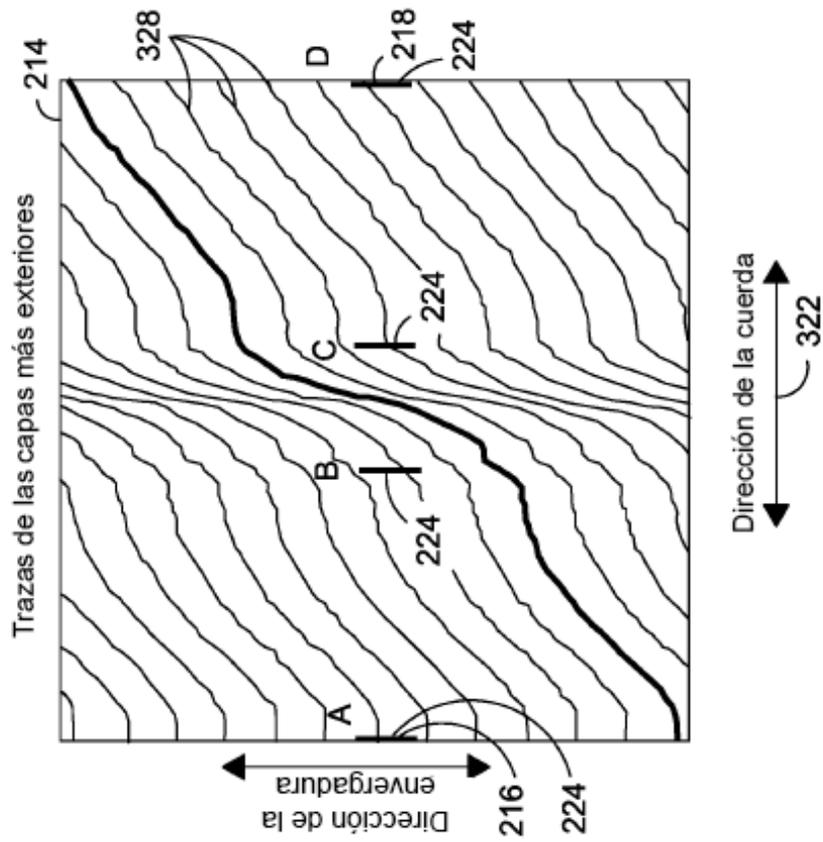
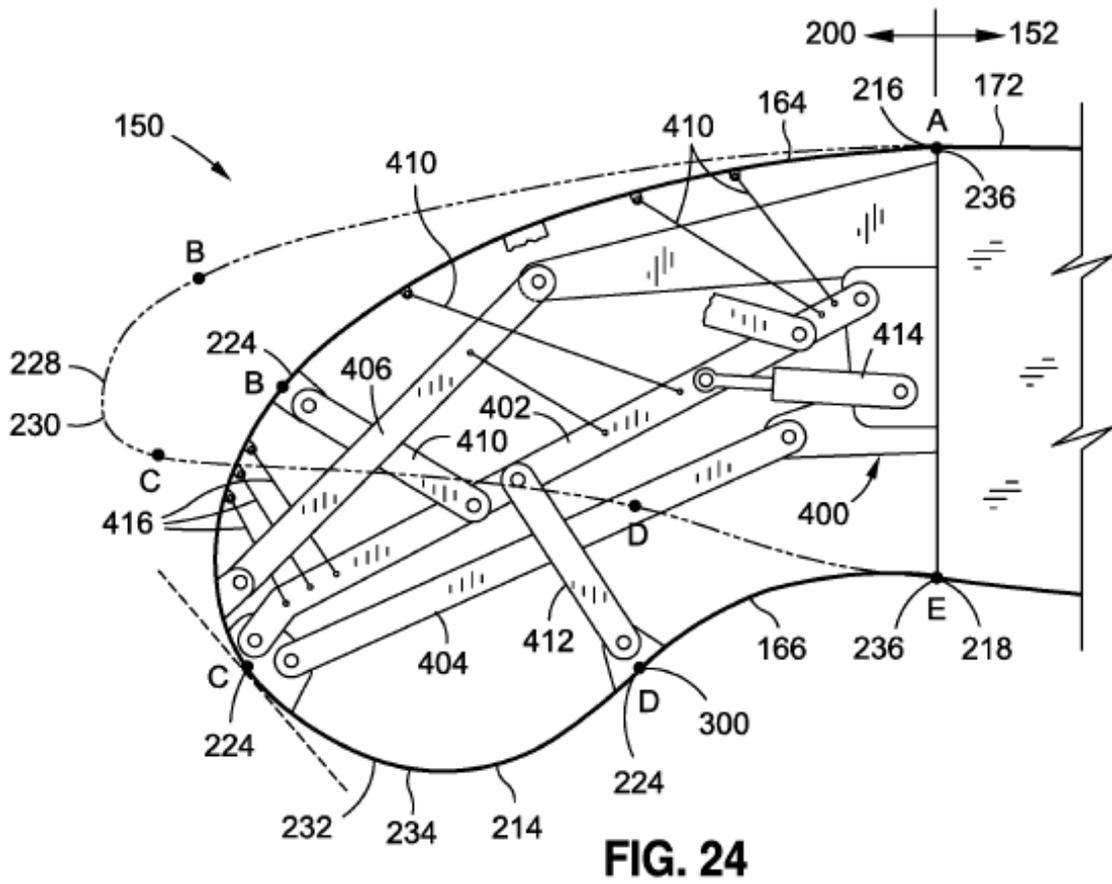
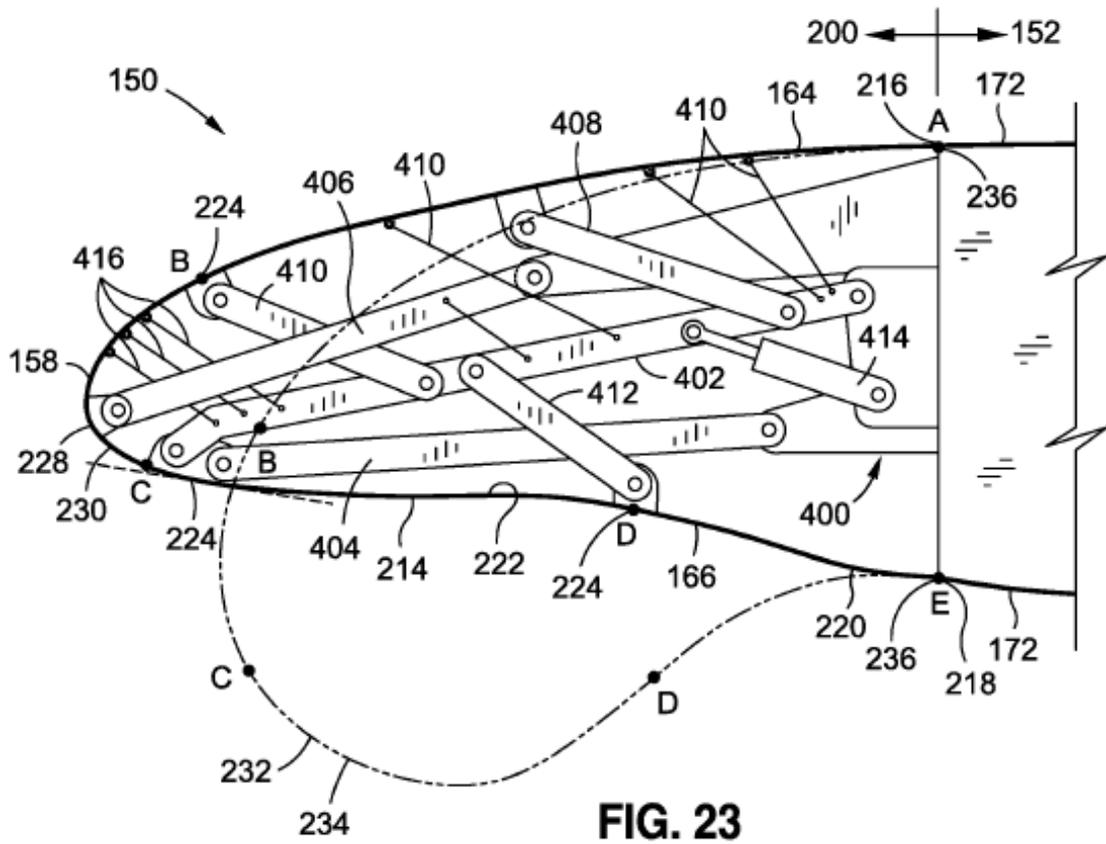


FIG. 22



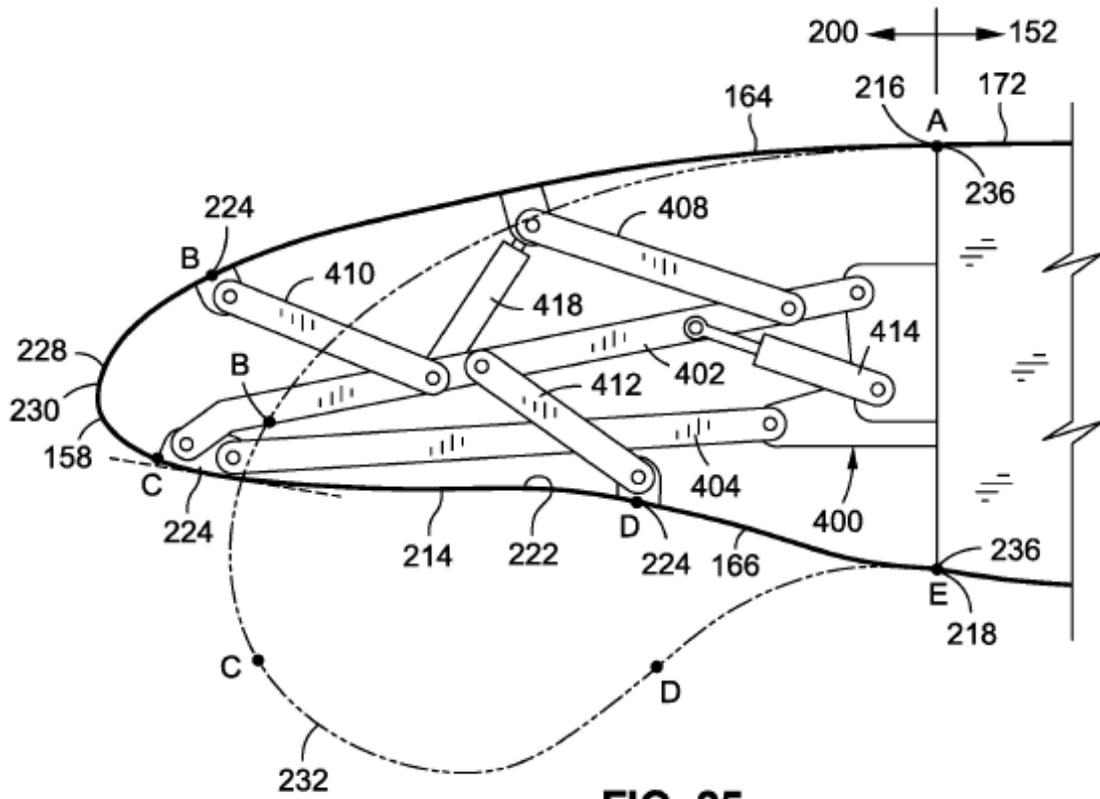


FIG. 25

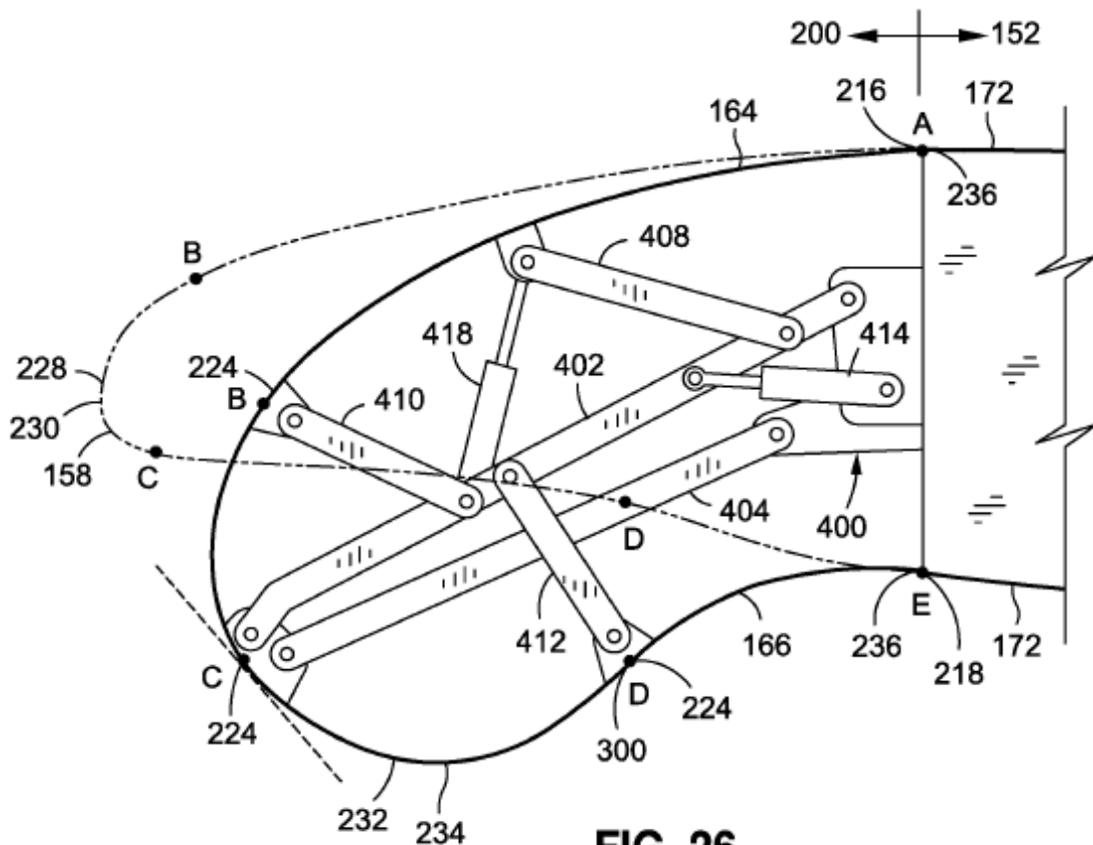


FIG. 26

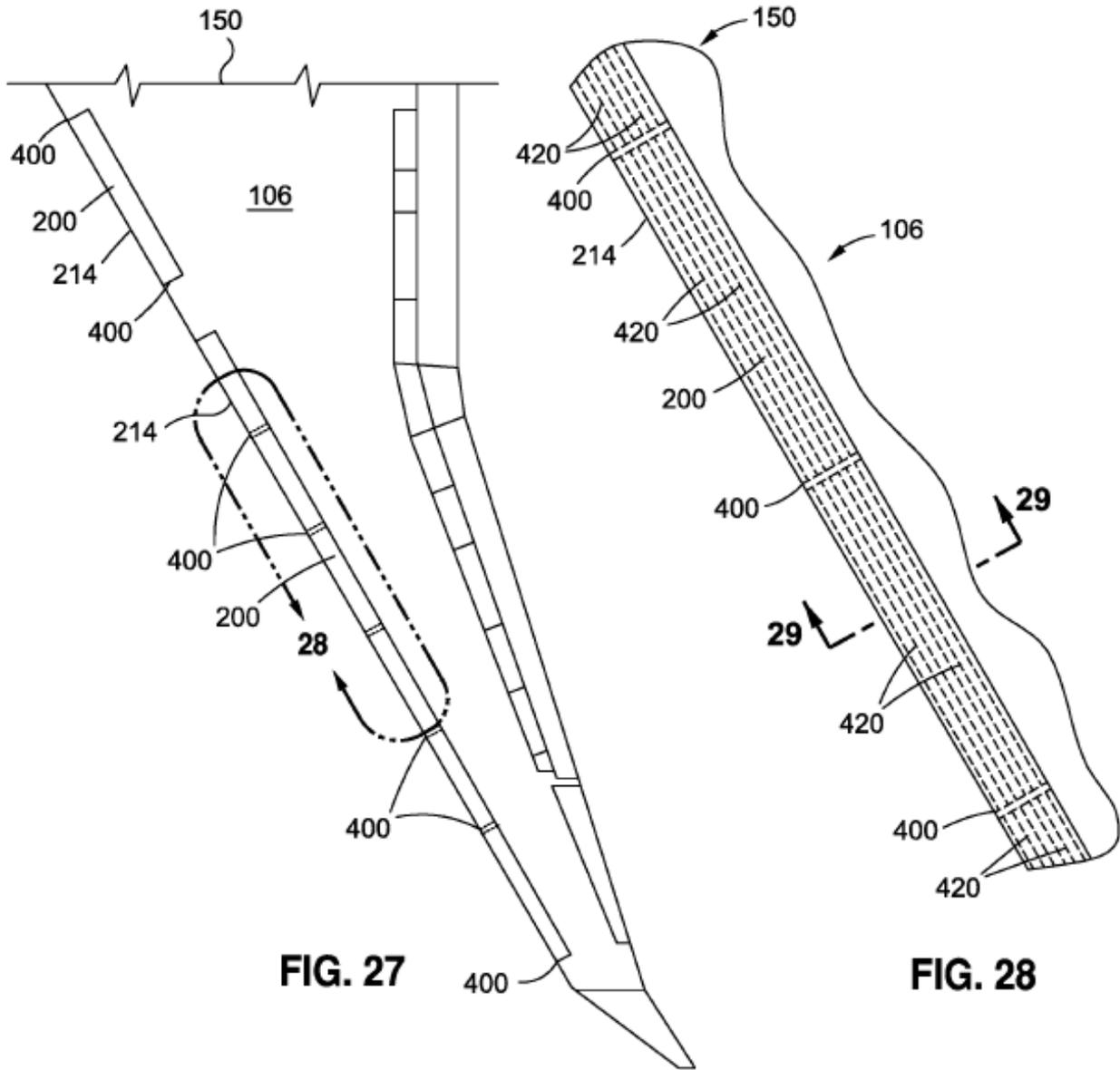


FIG. 27

FIG. 28

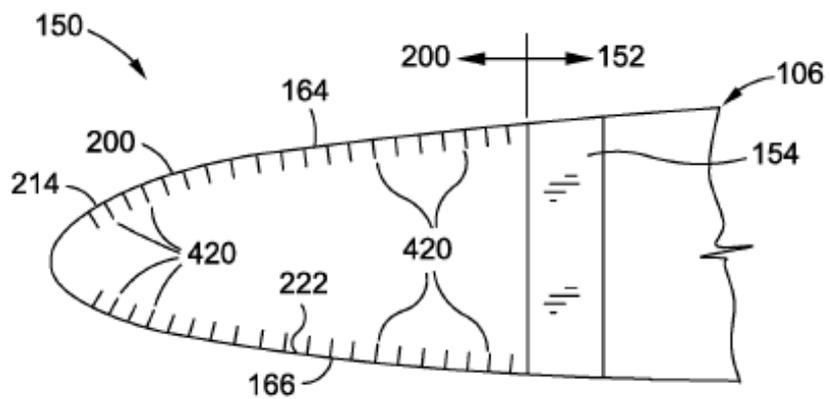


FIG. 29

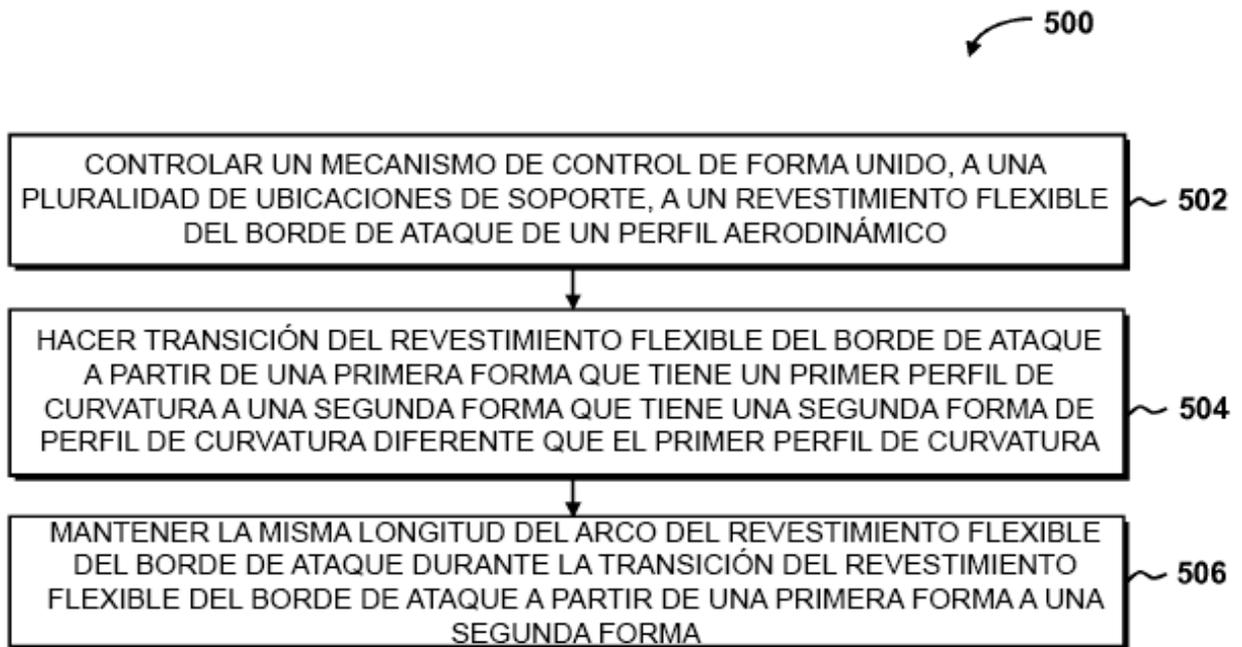


FIG. 30