

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 707 549**

51 Int. Cl.:

**B64C 27/54** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.04.2007 PCT/US2007/010438**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.12.2007 WO07145718**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.04.2007 E 07815105 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.10.2018 EP 2021243**

54 Título: **Diseño de estructura elástica para diferentes contornos de superficie**

30 Prioridad:

**27.04.2006 US 795956 P**

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

**04.04.2019**

73 Titular/es:

**FLEXSYS, INC. (100.0%)  
2205 Commonwealth Blvd., Suite D  
Ann Arbor, MI 48105, US**

72 Inventor/es:

**HETRICK, JOEL, A.;  
ERVIN, GREGORY, F. y  
KOTA, SRIDHAR (NMN)**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 707 549 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**

Diseño de estructura elástica para diferentes contornos de superficie

**Derechos del gobierno**

5 Este invento se realizó con el apoyo del Gobierno por FlexSys, Inc. como subcontratista de órdenes de compra (Orden de Compra n.º. 03-0352) bajo el Contrato W911 W6-04-C-0001 otorgado a Rolling Hills Research Corporation por el Army/NASA Rotorcraft Division, AMES Research Center, Aeroflightdynamics Directorate, Moffett Field, CA. El gobierno puede tener ciertos derechos en la invención.

**Antecedentes de la invención**

**Campo de la invención**

10 Esta invención se refiere en general a sistemas elásticos, y más particularmente, a una disposición de superficie de sustentación elástica que tiene una configuración aerodinámica variable.

**Descripción de los retos de diseño**

15 El diseño de una superficie de control adaptativa para un giroavión plantea desafíos significativos. El desafío principal es diseñar una estructura eficiente que pueda distribuir la energía de actuación local a la superficie de la superficie de sustentación para producir un cambio de forma específico. Este sistema debe proporcionar el control de forma adecuado sobre la superficie adaptativa a la vez que cumple con las restricciones de energía, peso, empaque y capacidad de supervivencia. Debido al desafío de los sistemas de giroavión, uno debe abordar los siguientes criterios de diseño:

- 20 Deformación de forma
- Ubicación del larguero en D
- Formas requeridas para la eliminación de pérdida
- Ubicación de la banda de desgaste (cuerda % superior - inferior)
- Topología/geometría de la estructura elástica para efectuar el cambio de forma

Energía necesaria para lograr la deflexión:

- 25 Carga de presión
- Deflexión requerida (10°, 5°)
- Tiempo de respuesta (5 Hz a 7 Hz)
- Rigidez de la estructura elástica requerida (restricciones aeroelásticas y dinámicas)

Problemas de empaquetado:

- 30 Densidad de energía del accionador disponible (rotativo ultrasónico, electromagnético, gusano de pulgada, etc.)
- Ubicación del larguero D
- Geometría del sistema del accionador: debe moverse con la aleta (maximizar el espacio disponible)

Funcionalidad:

- 35 Integridad estructural de la aleta LE
- Respuesta dinámica/aeroelástica y carga de fatiga

40 El proceso de diseño de una aleta de borde delantero de estructura elástica es un proceso altamente interdisciplinario que implica la aerodinámica, la mecánica estructural, y la cinemática. Todos estos componentes están interrelacionados, de modo que el diseño final de la estructura elástica depende en gran medida de los tres (figura 1). Esencialmente, el análisis aerodinámico impulsa las formas aerodinámicas ideales y predice las distribuciones de presión experimentadas por estas formas. La cinemática se refiere a las formas que se pueden lograr dadas las limitaciones de diseño, tales como restringir el alargamiento del perímetro de la superficie y minimizar las transiciones de curvatura que se relacionan con el esfuerzo estructural. Tenga en cuenta que la estructura puede optimizarse alrededor de una forma objetivo intermedia (llamada posición de tensión media) que reduce las fuerzas y las tensiones en toda la envolvente de cambio de forma. Esto otorga mayor importancia al diseño de la forma objetivo, ya que la forma de la deformación medial debe energía transformarse con precisión en las formas extremas del objetivo.

50 El documento GB 2042996 A se refiere a un cuerpo generador de sustentación, tal como una superficie de sustentación de un avión. La superficie de sustentación comprende partes de revestimiento flexibles y miembros de soporte conectados de manera articulada a las partes de revestimiento, junto con un mecanismo de ajuste.

### Sumario de la invención

Los anteriores y otros objetos se consiguen mediante esta invención, que proporciona una disposición de transformación de bordes de una superficie de sustentación alargada que tiene superficies de control superior e inferior. De acuerdo con la invención, la disposición de deformación de bordes alargada de la superficie de sustentación está provista de una cubierta deformable dispuesta para cubrir el borde de la superficie de sustentación alargada, teniendo dicha cubierta deformable una porción superior dispuesta para ser acoplada mediante un acoplamiento fijo y una porción inferior dispuestas para ser acopladas a través de un acoplamiento fijo o deslizante a las superficies de control superior e inferior asociadas respectivamente de la superficie de sustentación alargada, la cubierta deformable está formada por un material elástica deformable configurado para deformarse en un grado sustancial que se extiende en sección transversal desde una unión de la porción superior que está configurada para ser acoplada a través de un acoplamiento fijo a la superficie de control superior y a una unión de la porción inferior que está configurada para ser acoplada a través de un acoplamiento fija o deslizante a la superficie de control inferior; una primera estructura de red elástica deformable en un grado sustancial acoplada en un extremo superior al interior de la porción superior de la cubierta elástica deformable configurada para deformarse en un grado sustancial y en un extremo inferior al interior de la porción inferior de la cubierta elástica deformable configurada para deformarse en un grado sustancial; y un enlace de accionamiento que tiene un primer y segundo extremos de enlace de accionamiento, estando acoplado el primer extremo de enlace de accionamiento al interior de una porción seleccionable de las porciones superior e inferior de la cubierta deformable adyacente al acoplamiento del extremo asociado respectivo de la primera estructura de banda elástica configurada para deformarse en un grado sustancial, y el segundo extremo de enlace de accionamiento está dispuesto para recibir una fuerza de transformación, deformándose dicha cubierta deformable en respuesta a la fuerza de transformación. En una realización de este aspecto del aparato de la invención, las porciones superior e inferior respectivas de la superficie interior de la cubierta deformable están dispuestas para tener un vértice de la cubierta deformable entre ellas.

En una realización ventajosa, un accionador lineal está provisto con un eje longitudinal y un primer elemento acoplador dispuesto angularmente en relación con el eje longitudinal. Un elemento rotativo que tiene un eje de rotación y un segundo elemento acoplador está acoplado con la primera estructura de banda elástica. El primer elemento de acoplamiento del accionador lineal está provisto de una ranura dispuesta en relación con el eje longitudinal. Además, el segundo elemento acoplador del elemento rotativo está provisto de un pasador de acoplamiento para acoplarse con la ranura del primer elemento acoplador. Una disposición de cojinete acopla el pasador de acoplamiento rotativamente al elemento rotatorio.

Preferiblemente, la unión está acoplada de forma fija a la superficie superior de control, y la segunda unión se acopla de manera deslizante a la superficie de control inferior. En esta realización ilustrativa específica de la invención, un elemento de accionamiento rotativo está acoplado al segundo extremo del enlace de accionamiento para suministrar la fuerza de transformación. Un elemento de accionamiento longitudinal se acopla con el elemento de accionamiento rotativo para impulsar el elemento de accionamiento rotativo para entregar la fuerza de transformación.

En una realización adicional más, la cubierta deformable tiene un grosor que se varía para acomodar estructuras internas y también para lograr una característica de elasticidad predeterminada.

En una realización, la cubierta deformable está construida a partir de un material laminado composite, en el que el material laminado composite puede ser un composite GFRP de fibra de vidrio.

En una realización adicional, se proporciona una segunda estructura laminar formada de un material elástico. La segunda estructura de banda tiene extremos primero y segundo, en donde los extremos primero y segundo están acoplados cada uno a las porciones superior e inferior respectivas de la superficie interior de la cubierta deformable.

La invención se puede realizar en una aleta de borde delantero de estructura elástica con la comba variable para la mitigación de la pérdida dinámica. Esta aleta modifica la superficie de sustentación de la pala del rotor de alto rendimiento para proporcionar un movimiento de la aleta de  $0^\circ$  a  $10^\circ$  para una aleta de cuerda del 8,5 %. La aleta se puede accionar a velocidades de hasta (y exceder) de 7 Hz para proporcionar una posición de aleta por revoluciones. En la posición de  $10^\circ$ , la forma de la aleta permite que la superficie de sustentación genere una elevación adicional en ángulos de ataque más altos en comparación con la superficie de sustentación de línea de base (sin aleta). La aleta de borde delantero elástica proporciona un aumento de hasta el 35 por ciento en la elevación de la pala en retroceso sin pérdida y sin histéresis negativa en la elevación, el momento de lanzamiento y la resistencia. Esta tecnología tiene la capacidad de aumentar la combinación de velocidad máxima, carga útil máxima y capacidad de altitud de todos los giroaviones.

La adición de la aleta hace necesario que el larguero en D se mueva hacia atrás 8,5 % para hacer espacio para la estructura elástica y el hardware del accionador. La energía pico total consumida por la aleta (bajo carga aerodinámica y tasa de actuación de 6 Hz) se estima en 885 vatios para un tramo de 7 pies (2,1 m). El peso total de esta aleta de 7 pies (2,1 m) se estima en 13,8 lb (6,26 kg) excluyendo el accionador electromagnético lineal. El peso total, incluido el accionador electromagnético lineal, se estima en 33,8 lb (15,33 kg) con la mayoría de la masa del sistema ubicada en la base del rotor, lejos de las altas cargas centrifugas.

**Breve descripción del dibujo**

La comprensión de la invención se facilita leyendo la siguiente descripción detallada, junto con el dibujo adjunto, en el que:

- 5 La figura 1 es una representación en sección transversal de una pala de rotor que tiene un borde delantero deformable construido de acuerdo con los principios de la invención;
- La figura 2 es una representación en sección transversal de la disposición de deformación de la pala del rotor de la figura 1 sin la cubierta deformable que se encuentra por encima;
- 10 La figura 3 es una representación isométrica de una porción de la disposición de deformación de la pala del rotor de la figura 1 sin la cubierta deformable que se encuentra sobre la superficie que es útil para ilustrar la manera en que el movimiento longitudinal se convierte en desplazamiento rotacional;
- La figura 4 es una representación isométrica de una porción de la disposición de deformación de la pala del rotor de la figura 1 sin la cubierta deformable que se encuentra sobre la superficie que es útil para ilustrar la manera en que el movimiento longitudinal se convierte en desplazamiento rotacional;
- 15 La figura 5 es una representación en sección transversal de la disposición de deformación de la pala de rotor de la figura 1 que muestra la porción deformable de la pala de rotor en una orientación sustancialmente neutra;
- La figura 6 es una representación en sección transversal de la disposición de deformación de la pala del rotor de la figura 1 que muestra la porción deformable de la pala del rotor en una orientación ligeramente hacia arriba;
- La figura 7 es una representación en sección transversal de la disposición de deformación de la pala de rotor de la figura 1 que muestra la porción deformable de la pala de rotor en una orientación ligeramente hacia abajo;
- 20 La figura 8 es una representación en perspectiva de la disposición de deformación de la pala de rotor de la figura 1 en estado desmontado;
- La figura 9 es un diagrama que ilustra la carga tridimensional que varía con el tiempo que experimenta la aleta del borde delantero;
- La figura 10 es una representación de un modelo CAD de la aleta de borde delantero y del larguero en D;
- 25 La figura 11 es una representación esquemática simplificada del sistema de cuña y leva;
- La figura 12 ilustra la disposición del accionador y la escala de longitud representativa con respecto al tramo de la pala del rotor;
- La figura 13 es una representación esquemática de un accionador de aleta modificado;
- 30 La figura 14 es un modelo CAD de un sistema mejorado de la cuña y leva de aleta de borde delantero y el larguero en D
- La figura 15 es una representación de una costilla de titanio EDM de alambre de muestra.
- Las figuras 16(a) y 16(b) muestran el modelo prototipo en las posiciones 0° y 10°, respectivamente;
- La figura 17 es un diagrama de bloques del procedimiento de optimización del diseño de la presente invención;
- 35 Las figuras 18(a), 18(b) y 18(c) son representaciones esquemáticas simplificadas de una disposición de estructura en capas que está provista de estructuras en forma de banda y está formada por un núcleo de grosor variable (figura 18(b)) o un laminado composite (figura 18(c));
- La figura 19 es una representación esquemática simplificada de la disposición de la estructura en capas sin las estructuras en forma de banda;
- 40 La figura 20 es una representación esquemática simplificada de la disposición de estructura en capas con una estructura de núcleo "a medida", formada de manera ilustrativa de un material celular.
- La figura 21 es una representación esquemática simplificada de una disposición que tiene una aleta dividida con un núcleo que une los elementos superior e inferior;
- La figura 22 es una representación esquemática simplificada de una disposición fija-fija en la que el movimiento hacia adentro de la superficie inferior produce un cambio en la forma de la aleta;
- 45 La figura 23 es una representación esquemática simplificada de una superficie de sustentación estándar que tiene un perímetro de superficie de espesor variable para permitir la "adaptación" de la rigidez del perímetro para

lograr una mejor coincidencia para un contorno deseado;

La figura 24 es una representación esquemática simplificada de una superficie de sustentación adelgazada que tiene un perímetro de superficie de espesor variable para permitir la "adaptación" de la rigidez del perímetro para lograr una mejor coincidencia para un contorno deseado;

5 La figura 25 es una representación esquemática simplificada de una superficie de sustentación estándar que tiene accionadores que incitan a un engrosamiento de la superficie de sustentación;

La figura 26 es una representación esquemática simplificada de la superficie de sustentación estándar de la figura 25, que muestra la superficie de sustentación en condición engrosada; y

10 La figura 27 es una representación esquemática simplificada de una superficie de sustentación de espesor variable que se acciona mediante un mecanismo elástico.

### **Descripción detallada**

15 La figura 1 es una representación en sección transversal de la pala 10 del rotor que tiene un borde 20 delantero deformable. Como se muestra en esta figura, la pala 10 del rotor está provista adicionalmente de un larguero 12 en D en D de soporte central y un borde 14 trasero. El borde delantero deformable tiene una cubierta que cubre la porción superior que tiene una porción 22 superior, una porción 23 inferior, las porciones superior e inferior están unidas en una porción 25 delantera central.

La figura 2 es una representación en sección transversal de la disposición 20 de deformación de la pala 10 del rotor, la disposición de deformación se amplía para mostrar detalles estructurales. La cubierta deformable suprayacente se ha eliminado en esta figura.

20 Como se muestra en la figura 2, larguero 12 en D ha fijado al mismo un soporte 30 que tiene un pivote 32 al que está unido un elemento 40 rotatorio que es rotativo alrededor del pivote 32 en las flechas de dirección 41 y 42. El elemento 40 rotatorio tiene forma integral con una porción 44 de brazo a la que está unido a una porción 45 de acoplamiento. El elemento 40 rotatorio es rotativo en respuesta al movimiento longitudinal de una barra 60 de leva. La barra de leva está soportada por un soporte 50 del sistema de levas que tiene una porción 52 de soporte de la barra de leva. En esta figura, la barra 60 de leva se puede mover longitudinalmente hacia dentro y hacia fuera del plano del dibujo.

30 La figura 3 es una representación isométrica de una disposición de deformación de la porción 20 de la pala 10 del rotor de la figura 1. Los elementos de la estructura que se han descrito anteriormente se designan de manera similar. En esta figura, la cubierta deformable suprayacente no se muestra por razones de claridad. Además, el elemento 40 rotatorio no se muestra, pero se muestran las levas 47a y 47b que están unidas al elemento rotativo a través de los cojinetes 48a y 48b de aguja que facilitan la rotación de las levas. Las levas 47a y 47b se muestran enganchadas en una ranura 62 de la barra 60 de leva. Las levas, como se describirá más adelante, se fijan longitudinalmente en relación longitudinal con el eje 11 longitudinal de la pala 10 del rotor y, por lo tanto, cuando la barra 60 de leva se desplaza en la dirección de la flecha 61, las levas se desplazan transversalmente en la dirección de la flecha 49.

40 La figura 4 es una representación isométrica de una parte de la disposición de deformación de la pala 10 del rotor de la figura 1 con la cubierta deformable que se ha retirado. Los elementos de la estructura que se han descrito anteriormente se designan de manera similar. Esta figura muestra que a medida que la barra 60 de leva se impulsa en la dirección de la flecha 61, el elemento 40 rotatorio gira alrededor del pivote 32 en la dirección de la flecha 42. De este modo, la porción 44 de brazo y la porción 45 de acoplamiento se mueven hacia abajo. A la inversa, cuando la barra 60 de leva se impulsa en una dirección opuesta a la indicada por la flecha 61, el elemento 40 rotatorio gira en una dirección opuesta a la indicada por la flecha 42, y la porción 45 de acoplamiento se impulsa correspondientemente hacia arriba.

45 La figura 5 es una representación en sección transversal de la disposición de deformación de la pala 10 del rotor de la figura 1. Los elementos de la estructura que se han descrito anteriormente se designan de manera similar. En esta figura, la cubierta deformable se instala para formar el borde delantero de la pala 10 del rotor. La cubierta deformable consiste en una porción 22 superior y una porción 23 inferior que se unen en una porción 25 frontal. La porción 22 superior es un acoplamiento fijo a larguero 12 en D en la unión 77 de acoplamiento. Sin embargo, la porción 23 inferior está acoplada de manera deslizante a larguero 12 en D en la unión 78 deslizante. -También se muestran en esta figura las estructuras 71 y 72 de malla (mostradas en sección transversal) que están acopladas en los extremos superiores respectivos a la porción 22 superior de la cubierta deformable, y en los extremos inferiores de la misma a la porción 23 inferior en una unión 75 de un enlace 74 de accionamiento. Se muestra que el enlace 74 de accionamiento está acoplado a la porción 45 de acoplamiento del elemento 40 rotatorio. Cuando la barra 60 de leva se impulsa longitudinalmente a lo largo de la porción 52 de soporte de la barra de leva, el elemento 40 rotatorio se gira, como se describió anteriormente en este documento, con lo cual la porción 45 de acoplamiento del elemento rotativo impulsa el enlace 74 de accionamiento hacia arriba y hacia abajo.

La figura 6 es una representación en sección transversal de la disposición de deformación de la pala 10 del rotor de la figura 1 que muestra la porción deformable de la pala 10 del rotor en una orientación ligeramente hacia arriba. En esta representación, la barra 60 de leva se ha introducido en el plano de la figura (es decir, opuesta a la dirección indicada por la flecha 61 de la figura 3), por lo que la porción 44 de brazo y la porción 45 de acoplamiento se impulsan hacia arriba. Esto da como resultado que la porción 25 frontal de la cubierta elástica suprayacente se levante en la dirección de la flecha 65.

La figura 7 es una representación en sección transversal de la disposición de deformación de la pala 10 del rotor de la figura 1 que muestra la porción deformable de la pala 10 del rotor en una orientación ligeramente hacia abajo. Los elementos de la estructura que se han discutido previamente se designan de manera similar. En la orientación de los elementos indicados por esta figura, la barra 60 de leva se ha empujado fuera del plano de la figura (es decir, en la dirección indicada por la flecha 61 de la figura 3), por lo que la porción 44 de brazo y la porción 45 de acoplamiento se empujan hacia abajo. Esto hace que la porción 25 frontal de la cubierta elástica suprayacente descienda en la dirección de la flecha 66. Con referencia a las figuras 6 y 7, se ve que la disposición 20 de deformación es deformable en relación con el movimiento de la barra 60 de leva para lograr un borde delantero de estructura elástica para la pala de rotor de un helicóptero (no mostrado). Más específicamente, y como se señala aquí, la disposición 20 de deformación modifica los aspectos de la lámina de aire de línea de base de la superficie de sustentación de la pala del rotor de alto rendimiento para proporcionar un movimiento de la aleta de  $0^\circ$  a  $10^\circ$  para una aleta de cuerda del 8,5 %. La aleta se puede accionar a velocidades superiores a 7 Hz para proporcionar una posición de la aleta una vez durante cada revolución. En la posición de  $10^\circ$ , la forma de la aleta permite que la superficie de sustentación genere una elevación adicional en ángulos de ataque más altos en comparación con la superficie de sustentación de línea de base (sin aleta). En la práctica de la invención, la aleta de borde anterior elástica proporciona un aumento de hasta el 35 % en la elevación de la pala en retroceso sin pérdida y sin histéresis negativa en la elevación, el momento de inclinación y la resistencia. Esta tecnología tiene la capacidad de aumentar la combinación de velocidad máxima, carga útil máxima y capacidad de altitud de todos los giroaviones.

La figura 8 es una representación en perspectiva de un segmento de modelo de la disposición de deformación de la pala 10 del rotor de la figura 1, en estado desmontado. Los elementos de la estructura que se han discutido previamente se designan de manera similar, y la cubierta elástica de cubierta no se muestra en esta figura. Como puede verse fácilmente en esta figura, el elemento 40 rotatorio es, en esta realización ilustrativa específica de la invención, alargado longitudinalmente y continuo. De manera similar, la porción 44 de brazo y la porción 45 de acoplamiento son coextensivas con esta en esta realización. También en esta figura, se muestra que las levas 47a y 47b dependen del lado inferior del elemento 40 rotatorio y están acopladas a la misma a través de los cojinetes 48a y 48b de aguja asociados respectivamente. Las levas 47a y 47b están dispuestas para acoplarse con las ranuras 62 de la barra 60 de leva, que se desmonta del larguero 12 en D en esta figura, de manera que puede ilustrarse la estructura de la barra 60 de leva dentro de la porción 52 de soporte de la barra de leva del soporte 50 del sistema de leva.

La figura 9 es un diagrama que ilustra la carga tridimensional, variable en el tiempo, que experimenta la aleta 70 de borde delantero. Como se muestra en esta figura, el sistema de aleta de borde delantero consiste en un sistema de actuación adecuado (no se muestra), una transmisión de accionador opcional (no se muestra) (para convertir el movimiento de vaivén apropiado para el mecanismo de la aleta) a través de la barra 72 de empuje del accionador, y una aleta 74 de estructura elástica que debe sufrir el cambio de forma requerido mientras resiste las cargas de presión y las fuerzas de aceleración y acomoda la flexión en el larguero 76 en D. La flexión de larguero 76 en D está representada en el dibujo por el esquema 77. Este requisito para cambiar de forma se produce a una velocidad moderada (7 Hz) y, por lo tanto, las cargas y las condiciones de contorno cambiarán al menos en esta tasa (es posible que haya armónicos más altos). Tenga en cuenta que la dinámica del mecanismo también deberá tenerse en cuenta cuando se produzca la activación a estas velocidades.

La fuerza centrífuga en esta realización ilustrativa específica de la invención se dirige, como se indica por la flecha 78.

#### **Selección de materiales - consideraciones de resistencia y fatiga**

Los materiales de alto rendimiento para estructuras compatibles incluyen principalmente materiales con un alto módulo y alta capacidad de deformación que se traduce directamente en materiales con límites de resistencia altos, y la particularmente resistencia a la fatiga. Las aleaciones de titanio de alta resistencia y los polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP) representan materiales de alto rendimiento preferidos, especialmente en realizaciones de la invención en las que el peso es un factor. Dado el requisito operativo de 4500 horas de la pala de un helicóptero de giroavión comercial, si la aleta funciona continuamente a 7 Hz, la aleta estará sujeta a más de 110 millones de ciclos durante su vida útil. Aplicar un factor de seguridad de fatiga de 2 requeriría que la estructura sobreviviera aproximadamente 220 millones de ciclos. Una aleación de titanio fácilmente disponible, Ti-6Al-4V, tiene una resistencia elástica de 880 MPa y una resistencia del ciclo de fatiga de  $10^7$  de 510 MPa.

Además, otras aleaciones de titanio que pueden aumentar la resistencia estática y la fatiga incluyen un Ti-1 OV-2Fe-3Al que se posee de resistencia estática y a la fatiga superiores. Esta aleación tiene una resistencia elástica de 174 ksi (1200 MPa) y una resistencia a la fatiga del ciclo  $1E6$  de 145 ksi (1000 MPa) que extrapola a una resistencia a la

fatiga de 75 ksi (517 MPa) a 220 millones de ciclos.

**Diseño de tensión medial libre de fijos**

**Conclusiones de diseño libre de fijos de optimización de topología**

5 En una operación sinusoidal 7 Hz, el diseño inferior traducir topología conjunta optimizado requiere un máximo de 0,127 HP/FL (310 vatios/m) de energía máxima por unidad de longitud. Si 6,7 pies (2 m) de la pala del rotor tiene una estructura adaptativa, el borde delantero requiere un máximo de 0,85 HP o 621 vatios de energía máxima para impulsar la aleta (la energía cíclica promedio sería mucho menor). Esta energía máxima requerida está solo un 5 % por debajo de la capacidad de salida de energía nominal máxima del motor electromagnético lineal Aerotech BLUMUC-79, que alcanza un máximo de 0,87 hp o 650 vatios para un accionador de 6,22 pulgadas (158 mm) de longitud. Tenga en cuenta que el análisis de energía es conservativo (sin fuerzas de fricción), de modo que la energía total promedio es cero si se integra en un ciclo completo. Las fuerzas de fricción causarán pérdidas de energía durante el funcionamiento de la aleta, por lo que puede requerirse un estator ligeramente más grande (más largo y más potente) para proporcionar energía adicional al accionador.

**Análisis estructural**

15 **Carga de aceleración lateral**

La carga de 1000 G se estimó originalmente a partir de un radio de pala de 20 pies (6 m) girando a una velocidad de rotación de 7 Hz. Para desarrollar un valor de aceleración más preciso, en la Tabla 1 se muestran el diámetro del rotor y las velocidades de la punta para un rango de helicópteros militares, que ilustran tres modelos diferentes de helicópteros que abarcan un rango de rendimiento de elevación y velocidad.

20 **Tabla 1 Listado de diversas especificaciones de helicópteros**

Helicóptero	Radio de la pala	Velocidad de la punta de la liberación	Tasa de rotación	Aceleración lateral de la punta de la pala
Blackhawk UH-60A	26,75 ft – (8,1 m)	725 pies/seg (221 m/s)	4,31 Hz	612 G
Cobra AH-IS	22,0 ft – (6,7 m)	746 pies/seg (227 m/s)	5,41 Hz	789 G
Super Stallion CH-53E	39,5 ft – (12,0 m)	732 pies/seg (223 m/s)	2,95 Hz	422 G

25 En base a los datos para un rango de transporte de alta velocidad, helicópteros de combate (de apoyo en tierra) y de carga pesada, los inventores en este documento han determinado que la aceleración máxima de la punta debe reducirse ligeramente a 800 G para representar un helicóptero de carga de disco más alto y más maniobrable como el Cobra.

**Simulación tridimensional**

30 Se volvió a examinar la simulación tridimensional detallada (continua) de la estructura del borde delantero para evaluar las tensiones/deformaciones en una costilla elástica individual debido a la carga de presión y la carga centrífuga. En la figura 9 del modelo se muestra un gráfico de tensión equivalente en la posición de la aleta de 0° y 10°, con carga de presión máxima y aceleración lateral de 800 G.

**Selección de actuadores**

35 Un procedimiento para el accionamiento de la aleta de borde delantero es proporcionar movimiento longitudinal a lo largo de la envergadura de la pala de rotor usando una barra de empuje (o una barra en tensión constante). Este procedimiento permite que un accionador se ubique hacia el interior lejos de las ubicaciones de alta fuerza centrífuga. Al investigar varias estrategias de actuación, se debe considerar el movimiento del accionador (lineal, rotativo u otro) junto con el empaque del sistema para desarrollar un procedimiento apropiado para acoplar el movimiento del accionador junto con la estructura elástica. Idealmente, la ubicación del accionador ayuda a aprovechar (o aumentar la rigidez de) el sistema de borde delantero tanto como sea posible. Esto puede ser necesario para mantener una alta rigidez e integridad estructural (con respecto a cualquier fenómeno aeroelástico no deseado, como una divergencia crítica o un cambio de forma debido a las cargas de presión aerodinámica). Las características del accionador se pueden introducir en los algoritmos de diseño de mecanismos compatibles para optimizar el rendimiento del sistema.

45 Se ha compilado la información y los datos de (a) actuadores rotativos, (b) actuadores lineales, (c) con o sin una transmisión de reducción de velocidad, (d) de concepto de accionamiento integrado, y (e) esquemas de accionamiento alternativos. La elección definitiva del accionador depende de muchos factores, entre ellos:

confiabilidad/durabilidad, fuerza/desplazamiento requerido para impulsar el LE elástica, necesidad de un sistema de transmisión, empaque, peso (incluida la electrónica del variador) y capacidad de energía. Pueden existir diferentes soluciones debido a la consideración específica (criterio) y las compensaciones.

5 La densidad de energía (energía por peso, energía por unidad de volumen, energía por intervalo) es un factor importante para la selección de actuadores. Pero se deben considerar otros factores para determinar si un accionador es factible para la aplicación. Todos los actuadores estudiados están sujetos a las restricciones de dimensión requeridas por el pequeño espacio disponible en el borde delantero. De acuerdo con los datos de densidad de energía, el motor rotativo ultrasónico y el accionador lineal de gusano de pulgada se pueden descartar porque, con el tamaño requerido, no pueden generar suficiente energía para activar el sistema de borde delantero. 10 Además, la vida útil de los motores rotativos ultrasónicos suele ser inferior a 2000 horas y es demasiado corta para las aplicaciones de las palas del rotor deformables. Además, la temperatura de operación de los actuadores lineales de gusano de pulgada es muy limitada (debido a problemas de expansión térmica y tolerancia) y no pudo cubrir los posibles rangos de temperatura de los helicópteros.

15 Los actuadores lineales electromagnéticos, actuadores de bobina de voz y actuadores piezoeléctricos todos generan movimiento de salida lineal; sin embargo, las fuerzas de salida y los desplazamientos de salida de estos actuadores son dramáticamente diferentes. Los actuadores piezoeléctricos son compactos y generan fuerzas muy grandes, pero el desplazamiento de salida es del orden de micrones. Se necesitan mecanismos de amplificación eficientes para ampliar el movimiento de salida y la fuerza comercial para el desplazamiento (las pérdidas de energía se crearán debido al mecanismo de amplificación). Los actuadores de bobina de voz pueden generar un desplazamiento 20 significativamente mayor que los actuadores piezoeléctricos; sin embargo, la fuerza de salida es mucho menor. Los actuadores electromagnéticos lineales pueden generar fuerzas de salida moderadas y grandes desplazamientos de salida. Sin embargo, el tamaño de los actuadores electromagnéticos lineales puede ser prohibitivo para su uso en la aplicación de aletas de borde delantero (se pueden fabricar motores ligeramente más pequeños). Los motores rotativos de CC son lo suficientemente compactos y potentes para satisfacer las necesidades de la aplicación. Los 25 motores pequeños de CC sin escobillas y sus accesorios están disponibles comercialmente, y se ha comprobado que funcionan de forma continua durante hasta 20.000 horas. Debido al movimiento rotativo continuo, generan menos vibración y son fáciles de controlar.

**Accionador lineal para sistema de transmisión rotacional.**

30 El espacio disponible dentro del borde delantero es muy estrecho, de manera que el empaquetado cuidadoso del sistema y la selección de componentes serán necesarios para desarrollar una transmisión suficientemente compacta que permite una alta eficiencia de energía y la capacidad para manejar los aproximadamente 700 vatios de energía (al 7 Hz). Además, el cambio de forma realizado por la aleta reduce aún más el espacio disponible para los componentes de actuación.

35 La figura 10 es una representación de un modelo CAD de aleta de borde delantero y larguero en D. El sistema de transmisión debe transformar el movimiento de actuación lineal en movimiento rotativo para impulsar la posición de la aleta. El procedimiento preferido es desarrollar un sistema de leva y cuña para realizar la deformación de lineal a rotacional. Las restricciones de espacio reducido y los requisitos de alta energía dictan una selección cuidadosa de componentes para desarrollar un sistema duradero.

40 Los rodamientos se seleccionan para mantener una capacidad de carga compacta y alta (estática y dinámica). Los esfuerzos de flexión, corte y contacto para el sistema de levas y rodillos se estiman utilizando la resistencia de los materiales y los procedimientos de cálculo de esfuerzos de Hertz. Todos los componentes altamente cargados están fabricados con acero endurecido y rectificado con precisión para cumplir con los requisitos de resistencia estática y cíclica.

45 El sistema de leva y cuña se adapta para proporcionar la ventaja mecánica correcta dadas las características del sistema de accionamiento para optimizar las condiciones de funcionamiento de fuerza/velocidad del sistema de accionamiento lineal. Actualmente, el sistema de cuña está diseñado con una pendiente de 4°, lo que requiere un requisito de fuerza máxima de 943 N (212 lb) del sistema de actuación para una aleta de tramo de 2 metros (cálculo de fuerza estática a 10° de deflexión y carga de presión máxima). El recorrido de actuación lineal para mover la aleta de 0° a 10° es de 3,0 pulgadas (0,08 m) (± 1,5 pulgadas (± 0,04 m)) que requiere una velocidad de actuación 50 máxima de 1,68 m/s (66,0 mis) - asumiendo un perfil de desplazamiento sinusoidal. Esta velocidad máxima de 1,68 m/s se encuentra dentro de la capacidad de velocidad terminal del sistema de motor lineal, que es de aproximadamente 17,8 mis (700 mis).

55 La figura 11 es una representación esquemática simplificada del sistema 80 de cuña y leva que está diseñado de manera que solo se carga uno de los rodillos 82 de leva doble para una carga de momento de la aleta particular (positiva o negativa). El sistema de levas también está diseñado para proporcionar un movimiento suave y de baja fricción de la barra de tensión (sistema de accionamiento lineal) y el movimiento de rotación de la aleta, evitando las superficies deslizantes y proporcionando un movimiento de rodadura puro, a través de los cojinetes 84 de deslizamiento lineales para el movimiento de la aleta. Como se muestra, en esta ilustración se muestra que el movimiento de la aleta rotativa se desliza de manera giratoria por un ángulo 86 de cuña que tiene un valor  $\theta$ . El

movimiento lineal se dirige, en esta realización, como se indica con la flecha 88, y el movimiento de la aleta rotativa se indica con las flechas 89.

En la actualidad el sistema de rodamientos de eje se ha dimensionado para manejar la aleta de carga máxima momento de 16 in-lb (1,8 Nm) por pulgada (por 0,03 m) tramo de aleta (1260 in-lb (142 Nm) para un el tramo de la aleta de 79 pulgadas (2 m) y el sistema de cuña están diseñados para proporcionar el total de 0,38 radianes de movimiento de rotación (21,77°) en la base del brazo (no se muestra) que impulsa la estructura elástica.

La figura 12 es una representación esquemática simplificada de una pala 100 de rotor, que ilustra la disposición del accionador 104 y la escala de longitud representativa con respecto al tramo de pala de rotor. En esta figura, se muestra que la pala del rotor 100 tiene un accionador 104 acoplado a través de un muelle 106 de balanceo y una barra 108 de tensión a un sistema 110 de leva que convierte el movimiento lineal en movimiento rotativo, que se aplica a la aleta 109 elástica. El accionador está configurado en esta realización para producir movimiento de acuerdo con la flecha 111. Se muestra que la fuerza centrífuga está en la dirección de la flecha 112, hacia la punta 114 de la pala del rotor. El cubo de la pala del rotor se designa como 116.

Dados los modelos de elementos finitos y CAD, se pueden extraer los valores de masa clave y rigidez para el sistema de aletas. La tabla a continuación describe los valores clave para las características presentes en el modelo de aleta.

**Tabla 2 Volumen, masa y momento de valores de inercia para el modelo de aleta de borde delantero de CAD de la generación actual.**

COMPONENTE	MATERIAL	VOLUMEN	MASA (IB <sub>M</sub> )	MOMENTO DE INERCIA (IB <sub>M</sub> -IN <sup>2</sup> )
<b>COMPONENTES ROTATIVOS</b>				
Borde delantero elástico	Titanio + GFRP	18,8331 pulg <sup>3</sup> (3,1 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> )	2,5984	0,0233
Biela	Titanio	23,794 pulg <sup>3</sup> (3,9 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> )	3,8072	0,7691
Rodamientos radiales	Acero	0,136 pulg <sup>3</sup> (2,2 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> )	0,0386	
Rodamientos de empuje	Acero	0,47 pulg <sup>3</sup> (7,7 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> )	0,1316	
<b>COMPONENTES DE MOVIMIENTO LINEALES</b>				
Cuña lineal	Acero	11,6780 pulg <sup>3</sup> (1,9 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> )	1,1496	NA
Rodamientos de agujas lineales	Acero	0,42 pulg <sup>3</sup> (6,9 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> )	0,1241	NA
Barra de tensión	CFRP	31,667 pulg <sup>3</sup> (5,1 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> )	2,0584	NA
Estator del accionador	Acero		TBD	NA
<b>COMPONENTES FIJOS</b>				
Montaje de brazo de manivela	Titanio	3,5535 (5,8 x 10 <sup>-5</sup> m <sup>3</sup> )	0,5686	NA
Camino de rodadura lineal	Titanio	11,6780 (1,9 x 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> )	1,8685	NA

**20 Resultados del sistema 2**

La figura 13 es una representación esquemática simplificada de un accionador 130 de aleta modificado. Los elementos de la estructura que se han discutido previamente se designan de manera similar en esta figura. El accionador 104 se acopla a través de un muelle 132 de sintonización a la barra 133 de tensión. En comparación con

la realización de la figura 12, la realización de la figura 13 tiene una polea 134 de redirección que está acoplada a una segunda barra 136 de tensión. La barra 136 de tensión tiene, en esta realización, un peso 138 de equilibrio fijado a la misma distal de la polea 134 de redirección.

5 La modificación representada en la figura 13 genera una constante de desplazamiento de la fuerza centrífuga sin necesidad de un muelle de equilibrado pesado y rígido. Dado que la zona sin aleta en el último 10 % del tramo de la pala del rotor y debido a la alta carga G aquí, se puede usar una masa relativamente pequeña para generar una fuerza de equilibrio para compensar la fuerza centrífuga, que se invierte en parte por la polea 134 de redirección, que en algunas realizaciones está configurada como un piñón y cremallera (no mostrado) o como un sistema de polea. El muelle de sintonización lineal de la presente realización tiene mucha más libertad para ser "sintonizado por rigidez" para minimizar la impedancia del sistema a la frecuencia operativa deseada. De esta manera, se reduce la amplitud de la fuerza del accionador. Además, dado que el muelle lineal de sintonización es más suave que un muelle de balanceo, la fuerza de compensación del accionador se puede reducir significativamente. El análisis del espacio de empaquetado dentro del borde anterior revela que hay espacio para colocar la segunda barra 136 de tensión delgada, que puede configurarse en algunas realizaciones para que tenga un diámetro de sección transversal de  $\sim 1/8"$  ( $\sim 0,8$  m), y aun así tener la resistencia y rigidez adecuadas para soportar la masa 138 de equilibrio ubicada en la punta 114 del rotor. Por supuesto, la masa 138 de equilibrio agrega peso y complejidad adicionales al sistema, pero es probable que este peso adicional sea significativamente menor que la masa agregada de unos 12 resortes de equilibrio de tensión helicoidal de servicio pesado.

20 Como se muestra en la figura 13, el accionador lineal está situado cerca del cubo 116 de la pala de rotor, aislando de este modo el accionador de una alta carga centrífuga. El accionador lineal transmitirá energía a la aleta del borde delantero utilizando una barra de tensión donde se obtiene la máxima rigidez de la transmisión utilizando una barra de fibra de carbono en tensión/compresión en lugar de torsión o flexión (mayor eficiencia estructural). Un muelle de compensación compensará la carga centrífuga que actúa sobre la barra de tensión.

25 El movimiento del accionador lineal se transferirá a un movimiento rotativo para conducir el enlace rotativo principal usando un sistema de tipo leva diseñado para ser muy compacto, ligero y rígido en la dirección de rotación. A lo largo del tramo de la aleta, habrá estaciones de levas a intervalos. El espaciado debe determinarse en función del espacio de los componentes, la ventaja mecánica del sistema de levas (carrera de la barra de tensión Vs. rotación del eslabón de la transmisión) y la rigidez y el arrastre (amortiguación) permitidos del sistema de levas.

30 Es un aspecto importante del enfoque de barra de tensión de la presente invención que la barra de accionamiento está siempre en tensión. Como tal, por lo tanto, la fuerza de accionamiento no constituye más que una reducción de la tensión en dicha realización. Este enfoque del diseño del sistema evita el pandeo de la barra de actuación, como sería el caso con la compresión.

35 Para el sistema de aletas modificado, la energía del accionador de pico instantánea se reduce a 885 vatios en comparación con el diseño anterior que tenía una energía de accionamiento máxima de 2250 vatios. Se debe tener en cuenta que la desviación de la fuerza del accionador es negativa (- 120,25 lb (-54,5 kg)) que ilustra la necesidad de aplicar una fuerza negativa (hacia adentro) del accionador para que la aleta se asiente en un desplazamiento de + 5° (posición neutral). Debido a la característica de fricción de los rodamientos y debido a la proximidad de la frecuencia forzada a la primera frecuencia natural, la fuerza tiende a aumentar y cambiar entre las amplitudes sinusoidales. La característica de fricción linealizada tiene el efecto de cambiar ligeramente la frecuencia natural del sistema a medida que cambia el vector de velocidad.

### **Selección de actuadores**

45 Teniendo en cuenta la fuerza del accionador y los requisitos de energía, un motor electromagnético lineal de Anorad (Rockwell Automation) LC-50-300 y un accionador lineal AeroTech LMX-382 satisfarán los requisitos de fuerza. El motor LC-50-300 tiene una energía pico teórica de 4420 vatios y el motor LMX-282 tiene una energía pico teórica de 2263 vatios. Estos actuadores son más grandes que el AeroTech BLMU-79 originalmente especificado que tiene una energía de salida máxima de 660 vatios, pero su fuerza limitada para esta aplicación (la fuerza máxima es de 29,2 lb (13,2 kg)). En este caso particular, el requisito de fuerza de 150 lb (68 kg) de fuerza máxima determina el tamaño del accionador. Se podría utilizar un accionador mucho más pequeño si la característica de seguridad, que proporciona una posición de aleta de 0° cuando el accionador está deshabilitado, no es necesaria (dicta la fuerza de estado estable de -120,25 lb (-54,5 kg) para empujar la aleta a la posición de 5°). El motor lineal Anorad muestra un diseño más compacto y liviano que puede satisfacer los requisitos de fuerza (mayor densidad de energía que un accionador AeroTech comparable). Las dimensiones y peso de este accionador son: 2,12» x 3,15» x 15» (0,05 m x 0,08 m x 0,38 m) y pesaría 15,5 lb (7 kg) (9,8 lbm (4,4 kg) se incluye en el análisis dinámico como la masa del estator). El montaje interno del accionador requeriría una protuberancia local en la superficie de sustentación para acomodar el volumen agregado hacia delante del larguero en D. Para un estudio adicional, se podría usar un análisis del sistema electromecánico del accionador lineal para detallar las tensiones y corrientes de operación requeridas.

### **Diseño de CAD de sistema de aleta de borde delantero a escala completa**

#### **Modelo CAD y Prototipo Rápido**

5 Dadas las restricciones de espacio reducido, los requisitos de alta energía y las limitaciones asociadas con la selección de cojinetes, árboles, etc., el larguero del borde delantero se movió hacia atrás unas 0,097 pulgadas (0,002 m) adicionales presionando el larguero en D de vuelta al 9,0 %. Los rodamientos se seleccionaron para soportar las cargas de cuña y leva mientras operan (rodando) para los ciclos 220E6. Los esfuerzos de flexión, corte y contacto para el sistema de levas y rodillos se estiman utilizando la resistencia de los materiales y los procedimientos de cálculo de esfuerzos de Hertz. Actualmente, la tensión de contacto máxima es de 301,511 psi (~ 2 GPa) para las levas en la posición de la aleta de 10° con la presión máxima de carga. Hay algunos aceros especiales carburados y endurecidos que pueden cumplir con estos valores de tensión de contacto muy altos.

La figura 14 es un modelo CAD de un sistema mejorado de cuña y leva de aleta de borde delantero y larguero en D.

10 La figura 15 es una representación de un nervio de titanio EDM de alambre de muestra 160 representado en relación con una regla de medición (no designada específicamente). Como se muestra, la costilla de titanio 160 tiene una longitud de sección transversal de aproximadamente 3" (0,07 m).

Las figuras 16(a) y 16(b) muestran un modelo 170 prototipo de la presente invención en posiciones de 0° y 10°, respectivamente.

15 La figura 17 es un diagrama de bloques del procedimiento de optimización del diseño de la presente invención. Como se muestra en esta figura, el contenido de un bloque 471 de función se utiliza para comenzar el proceso de diseño. Esto incluye la determinación de las especificaciones de diseño, que incluyen la determinación de:

- Conjunto deseado de formas;
- Espacio disponible para encajar el mecanismo y los actuadores;
- 20 • Ubicación preferida del (de los) accionador(es);
- Cargas externas (cargas aerodinámicas externas);
- Elección de materiales (si los hay);
- Límites inferior y superior en las dimensiones de las vigas (según la elección del procedimiento de fabricación); y
- Tipo de accionador preferido (incluida la fuerza máxima y el desplazamiento)

25 En el bloque de función 473, se realizan las siguientes determinaciones:

- Crear una red de elementos de viga que se ajusten al espacio disponible con ciertas dimensiones nominales de sección transversal;
- Diseñar una sección transversal de la viga variable; y
- 30 • Definir las condiciones de los límites, es decir, identificar los nodos que deben permanecer fijos en el suelo, los nodos donde el accionador ejerce la fuerza de entrada y los nodos en el límite que representa la superficie exterior de la forma que se va a modificar.

La figura muestra los bloques 471 y 473 de función para dirigir el proceso al bloque 475 de función. En el bloque 475 de función, se realiza la función del objetivo del procedimiento de optimización, específicamente:

- Minimizar el error de forma (entre la forma obtenida y la forma deseada);
- 35 • Minimizar la fuerza del accionador requerida para causar el cambio de forma deseado contra la carga resistiva externa; y
- Minimizar el peso total del sistema sujeto a varias restricciones, como la tensión máxima permitida, la carga de pandeo, la fatiga, las dimensiones mínimas y máximas de los elementos de la viga, etc.

40 El proceso de optimización del diseño fluye entonces desde el bloque 475 de función para el bloque 477 de función, en el que, cuando el proceso de optimización converge, secciones transversales de ciertas vigas se aproximan a cero dejando en un subconjunto de elementos de viga necesarios para cumplir con las especificaciones de diseño. Esto establece la topología, tamaño y geometría árida del mecanismo elástica.

45 Las figuras 18(a), 18(b) y 18(c) son representaciones esquemáticas simplificadas de una disposición de estructura en capas 200 que está provista de estructuras 202 en forma de banda que, en esta realización ilustrativa específica de la invención, se unen al revestimiento 210 elástico, que se describirá con mayor detalle en relación con las figuras 18(b) y 18(c), a continuación. Con referencia a la figura 18(a), se muestra que la disposición 200 de estructura en capas está provista de una barra 204 de accionamiento que aplica una fuerza lineal contra el larguero 206 del ala trasera mediante el funcionamiento de un accionador 208. El movimiento de la barra 204 de accionamiento se transmite a un revestimiento 210 elástico, el movimiento del revestimiento elástico se acomoda mediante una junta 50 214 deslizante que en algunas realizaciones de la invención puede configurarse como un panel de elastómero (no mostrado).

La figura 18(b) es una representación del revestimiento 210 elástico que se forma, en esta realización ilustrativa específica de la invención, de un núcleo 210(a) de espesor variable. Alternativamente, la figura 18(c) muestra que el revestimiento 210 elástico es un laminado 210(b) composite de múltiples capas en el que las capas están

escalonadas para facilitar el control sobre el espesor. Como se muestra, las capas de laminado composite están unidas entre sí con un adhesivo 211 para laminación. Las capas compuestas se configuran desde el punto de vista de la orientación de la capa, el tejido de la fibra, la selección del adhesivo, etc. para lograr la rigidez y resistencia deseadas de la estructura.

- 5 La figura 19 es una representación esquemática simplificada de la disposición 230 de estructura en capas, sin las estructuras en forma de banda descritas en la figura 18(a). Los elementos de la estructura que se han discutido previamente se designan de manera similar en esta figura.

- 10 La figura 20 es una representación esquemática simplificada de la disposición 250 de estructura en capas con una estructura 252 de núcleo "a medida", formada de manera ilustrativa de un material celular. La estructura 252 de núcleo está, en esta realización ilustrativa específica de la invención, configurada para tener una característica de alta rigidez en la dirección sustancialmente vertical indicada por la flecha 256, y una característica de baja rigidez en la dirección sustancialmente horizontal indicada por las flechas 258.

- 15 La figura 21 es una representación esquemática simplificada de una disposición 270 fija-fija en la que el movimiento hacia el interior de la superficie 272 inferior efectúa un cambio en la forma de la aleta. En esta realización, dos accionadores 276 y 278 están acoplados por uno asociado respectivamente de cables 277 y 279 de accionamiento antagonistas, a los asociados respectivamente de los largueros 281 y 282 de punta del borde posterior. En algunas realizaciones, los cables 277 y 279 de accionamiento pueden reemplazar con barras (no mostradas). Los largueros 281 y 282 de punta están configurados para deslizarse unas contra otras en la junta 285 deslizante.

- 20 La figura 22 es una representación esquemática simplificada de una superficie 300 de sustentación estándar que tiene un perímetro 302 de superficie de espesor variable para permitir la "adaptación" de la rigidez del perímetro para lograr un mejor ajuste para un contorno deseado. Cuando el accionador 305 es operado hacia el movimiento hacia adentro como lo indica la dirección de la flecha 307, el contorno del perímetro 302 de superficie de espesor variable se introduce en la configuración representada en fantasma y se designa como 309. En esta realización, no hay una junta deslizante ni una superficie de elastómero en la superficie superior o inferior, por lo que se denomina configuración "fija-fija".

- 25 La figura 23 es una representación esquemática simplificada de una superficie de sustentación estándar 320 que tiene un perímetro 322 de superficie de espesor variable que permite la "adaptación" de la rigidez del perímetro para lograr una mejor coincidencia para un contorno deseado. Es decir, el grosor variable del ala permite que la rigidez del perímetro se "adapte" para facilitar el diseño de una característica de contorno ventajosa. El adelgazamiento de la superficie de sustentación se efectúa haciendo que los accionadores 326 y 328 empujen hacia adentro en la dirección de las flechas.

- 30 La figura 24 es una representación esquemática simplificada de la superficie 320 de sustentación que se ha "adelgazado" mediante el funcionamiento de los actuadores, como se ha explicado anteriormente en relación con la figura 23.

- 35 La figura 25 es una representación esquemática simplificada de una superficie 320 de sustentación estándar en el que los accionadores 326 y 328 exigen un engrosamiento de la superficie de sustentación, en la dirección de las flechas.

La figura 26 es una representación esquemática simplificada de la superficie de sustentación estándar de la figura 25, que muestra la superficie de sustentación en estado engrosado.

- 40 La figura 27 es una representación esquemática simplificada de una superficie 350 de sustentación de espesor variable que se acciona, en esta realización ilustrativa específica de la invención, por mecanismos 352 y 354 elásticos. Al operar los actuadores 356 y 358, la superficie de sustentación está engrosado, como se representa por el contorno 360, o se adelgaza, como se representa por el contorno 362.

- 45 Aunque la invención se ha descrito en términos de realizaciones y aplicaciones específicas, las personas expertas en la técnica pueden, a la luz de esta enseñanza, generar formas de realización adicionales sin exceder el alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas. Por consiguiente, debe entenderse que el dibujo y la descripción en esta divulgación se ofrecen para facilitar la comprensión de la invención, y no deben interpretarse como limitantes del alcance de la misma, que se define en dichas reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Una disposición de transformación de bordes para un perfil (12) aerodinámico alargado que tiene superficies de control superior e inferior, comprendiendo la disposición de transformación de bordes del perfil aerodinámico alargado:
- 5 una cubierta (20) deformable dispuesta para cubrir el borde de la superficie (12) aerodinámico alargada, teniendo dicha cubierta (20) deformable una porción (22) superior dispuesta para ser acoplada a través de un acoplamiento fijo y una porción (23) inferior dispuesta para ser acoplados a través de un acoplamiento fijo o deslizante a las superficies de control superior e inferior asociadas respectivamente del perfil (12) aerodinámico alargado, estando la cubierta (20) deformable formada por un material elástico deformable configurado para deformarse en un grado sustancial que se extiende en forma transversal. seccionalmente desde una unión (77) de la porción (22) superior que está configurada para acoplarse mediante un acoplamiento fijo a la superficie de control superior y a una unión (78) de la porción (23) inferior que está configurada para ser acoplada a través de un acoplamiento fijo o deslizante a la superficie de control inferior;
- 10 una primera estructura (72) de banda elástica deformable en un grado sustancial acoplada en un extremo superior al interior de la porción (22) superior de la cubierta (20) elástica deformable configurada para deformarse en un grado sustancial y en un extremo inferior a la interior de la porción (23) inferior de la cubierta (20) elástica deformable configurada para deformarse en un grado sustancial; y
- 15 un enlace (74) de accionamiento que tiene un primer y segundo extremos de enlace de accionamiento, estando acoplado el primer extremo de enlace de accionamiento al interior de una parte seleccionable de las partes superior e inferior de la cubierta deformable adyacente al acoplamiento del extremo asociado respectivo de la primera una estructura de red elástica configurada para deformarse en un grado sustancial, y el segundo extremo de enlace de accionamiento está dispuesto para recibir una fuerza de transformación, deformándose dicha cubierta deformable en respuesta a la fuerza de transformación.
- 20
- 25 2. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 1, en la que las porciones superior e inferior respectivas de la superficie (22; 23) interior de la cubierta (20) deformable están dispuestas para tener un vértice (25) de dicha cubierta (20) deformable entre ellas.
3. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 1, en la que se proporciona, además:
- 30 un accionador (60) lineal que tiene un eje longitudinal y un primer elemento de acoplamiento que está dispuesto en un ángulo con respecto al eje longitudinal; y
- un elemento (40) rotativo que tiene un eje (32) de rotación y un segundo elemento (44) acoplador para acoplarse con dicha primera estructura (72) de banda elástica.
- 35 4. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 3, en la que: el primer elemento acoplador de dicho actuador lineal comprende una ranura dispuesta en relación con el eje longitudinal; y
- el segundo elemento (44) de acoplamiento de dicho elemento (40) rotativo comprende un pasador (32) de acoplamiento para acoplarse con la ranura del primer elemento de acoplamiento.
5. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 4, en la que se proporciona además una disposición de cojinete para acoplar el pasador (32) de acoplamiento rotativamente a dicho elemento (40) rotativo.
- 40 6. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 1, en la que la unión (77) está acoplada de manera fija a la superficie de control superior, y la segunda unión (78) está acoplada de manera deslizante a la superficie de control inferior.
7. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 6, en la que se proporciona además un elemento de accionamiento rotativo acoplado al segundo extremo de dicho enlace de accionamiento para suministrar la fuerza de transformación.
- 45 8. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 7, en la que se proporciona además un elemento (60) de accionamiento longitudinal acoplado con dicho elemento de accionamiento rotativo para impulsar dicho elemento de accionamiento rotativo para suministrar la fuerza de transformación.
9. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 1, en la que la cubierta (20) deformable tiene un espesor variable.
- 50 10. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 1, en la que la cubierta (20) deformable está construida de un material laminado composite.
11. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 10, en la que el material laminado composite es un GFRP composite de fibra de vidrio.

12. La disposición de transformación de bordes de la reivindicación 1, en la que se proporciona, además:

una segunda estructura (71) de banda formada de un material elástico y que tiene unos extremos primero y segundo, estando acoplados cada uno de los extremos primero y segundo a las porciones superior e inferior respectivas de la superficie (22; 23) interior de la cubierta (20) deformable.

Fig. 1

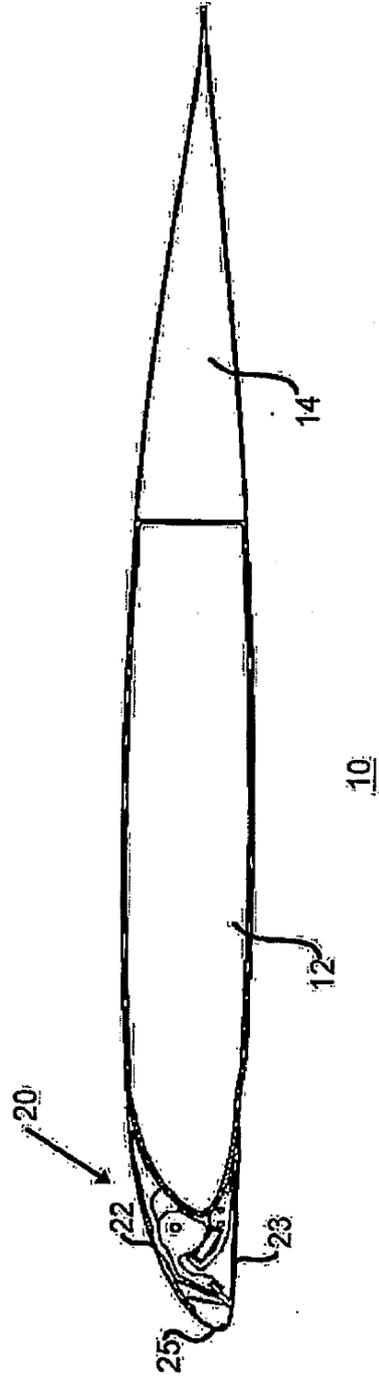
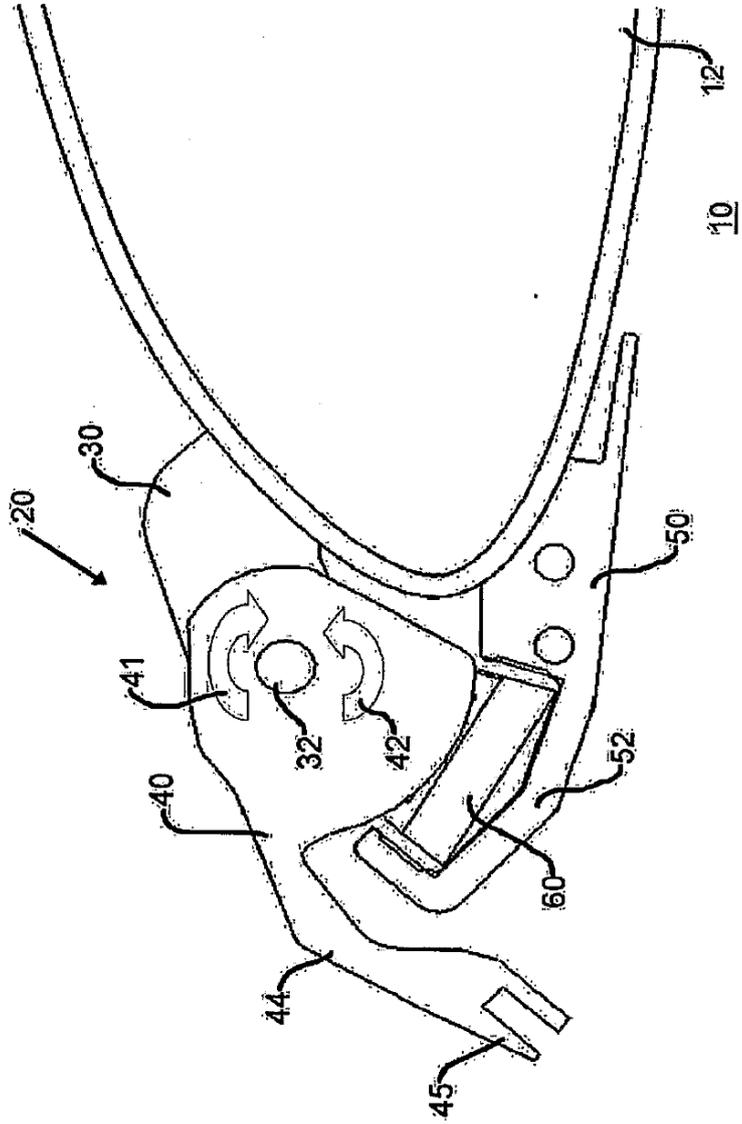


Fig. 2



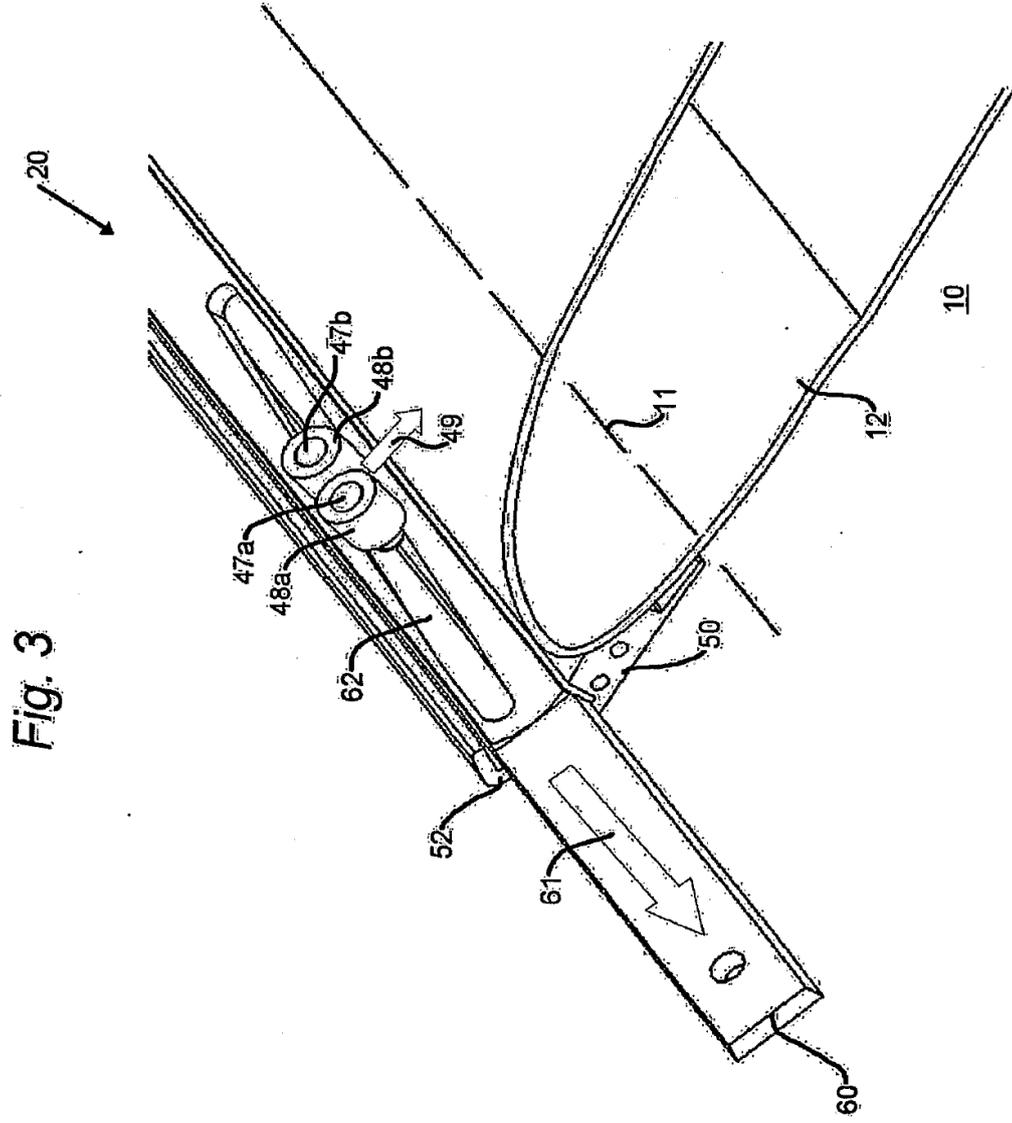


Fig. 3

Fig. 4

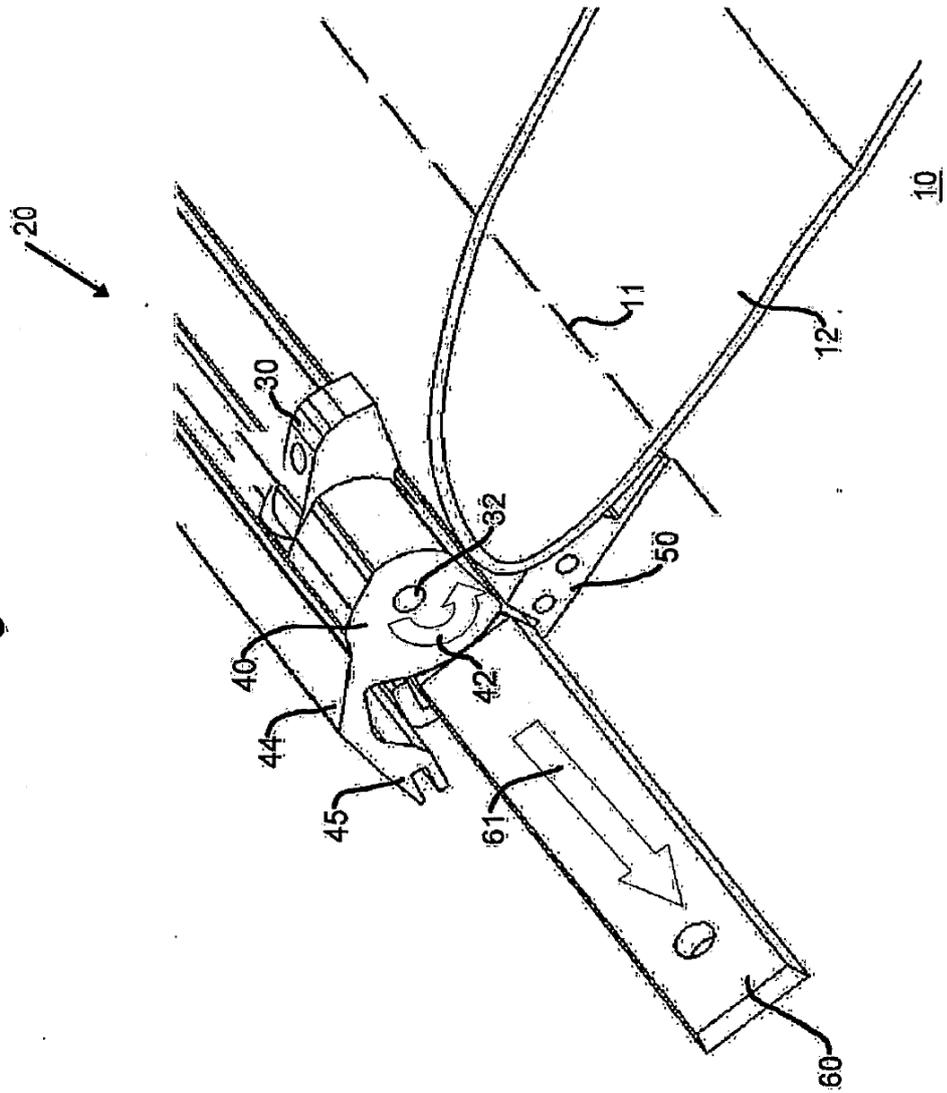


Fig. 5

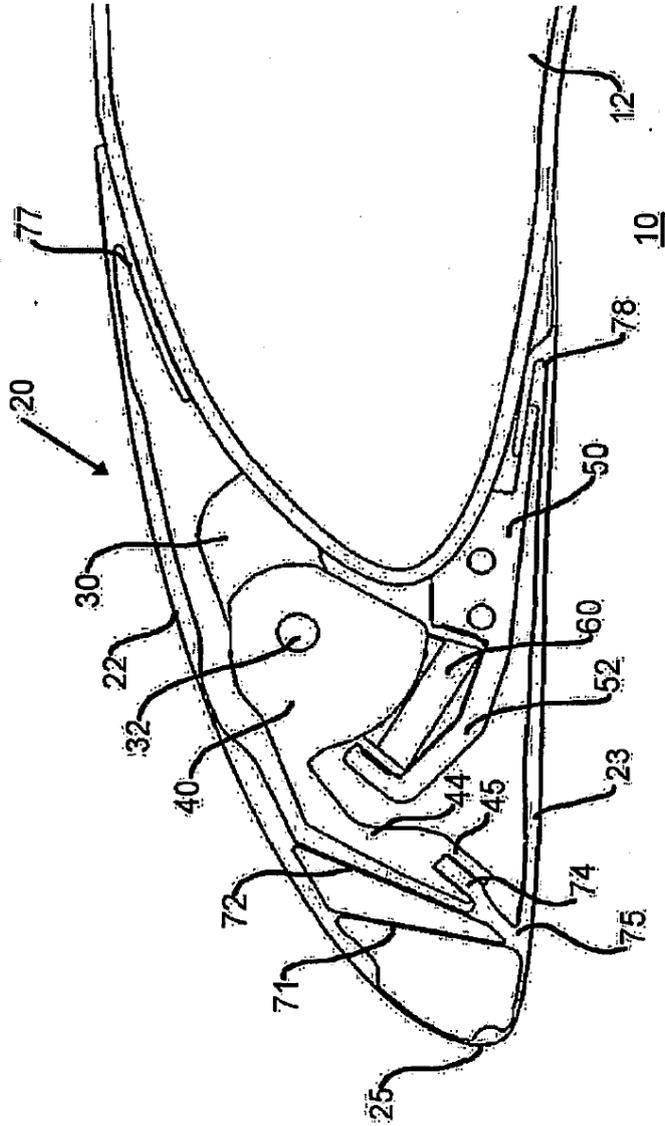


Fig. 6

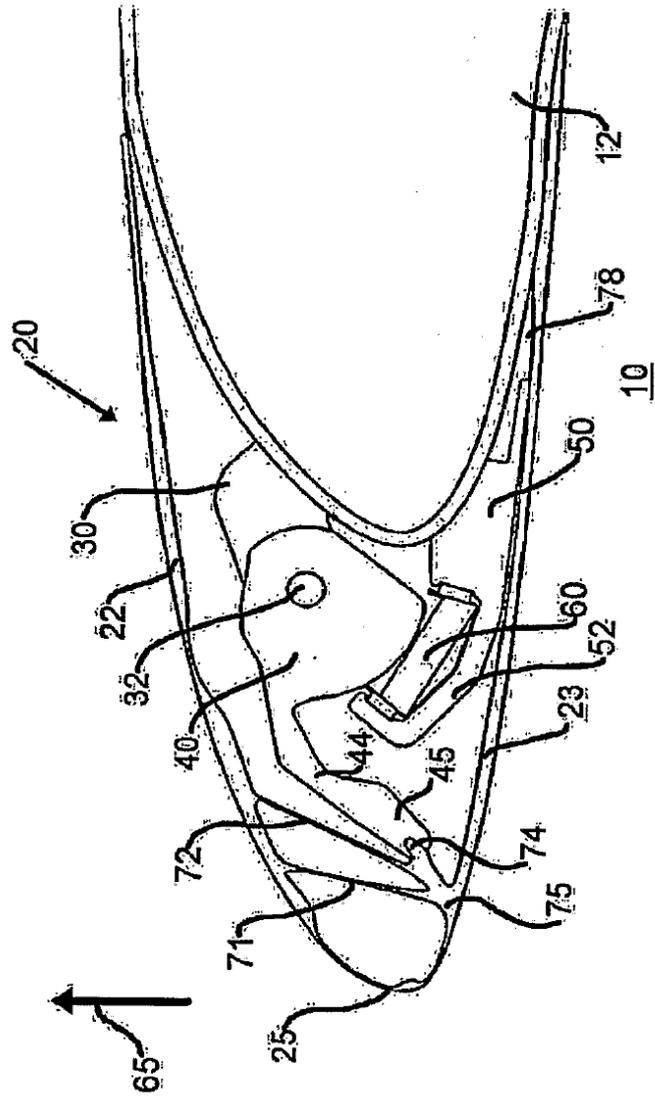






Fig. 9

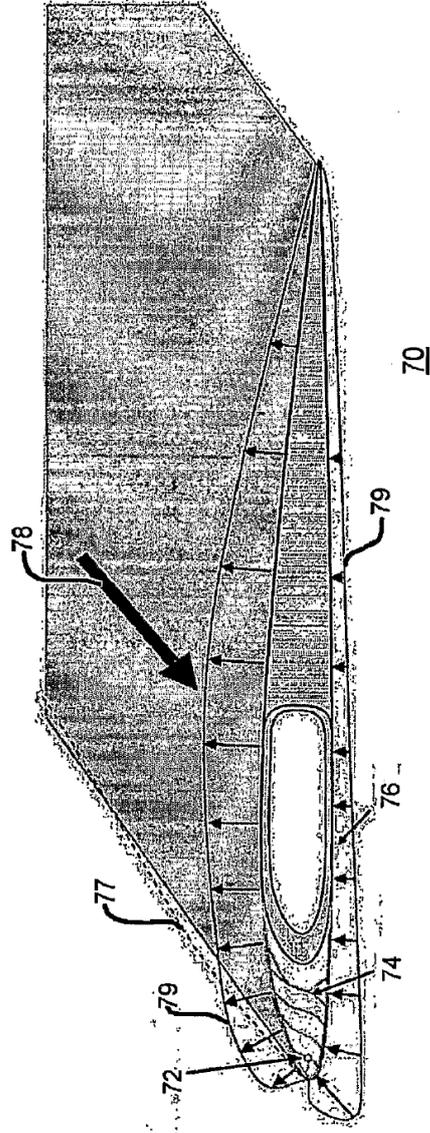


Fig. 10

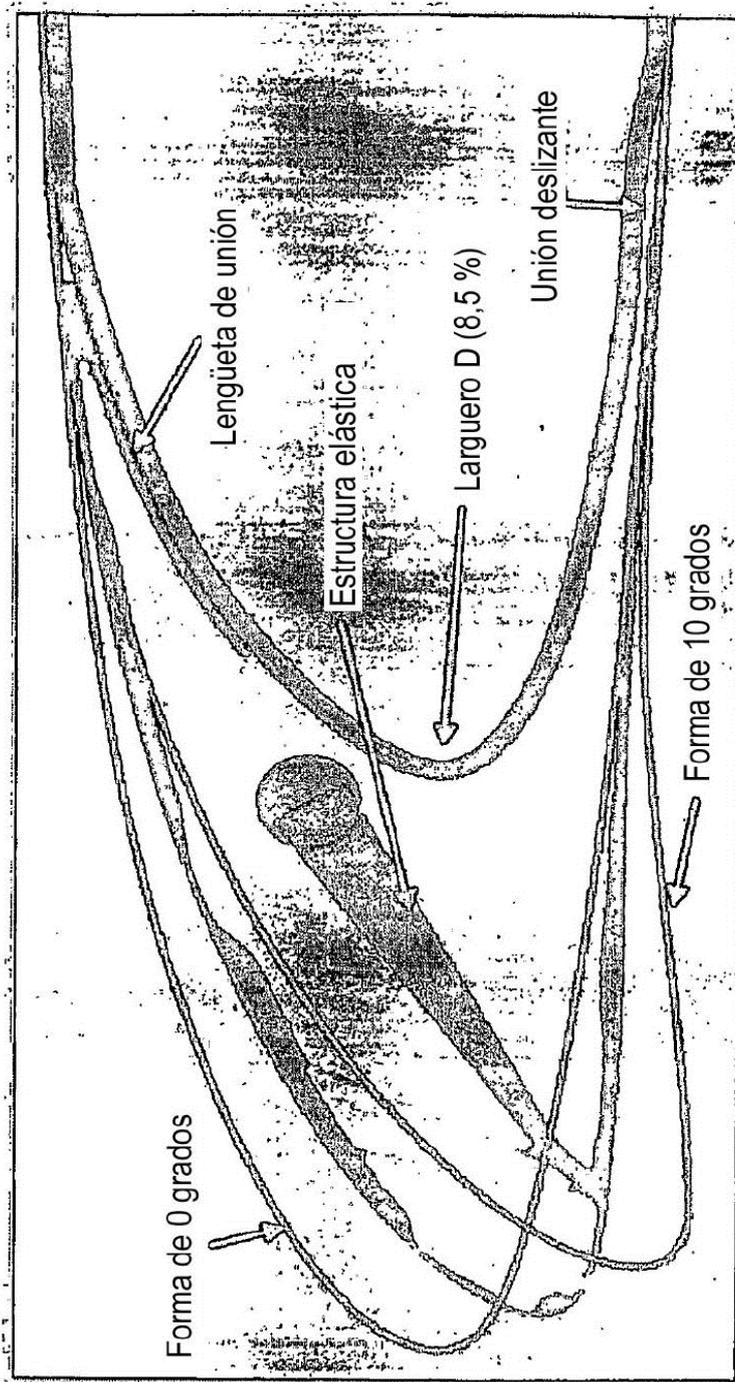


Fig. 11

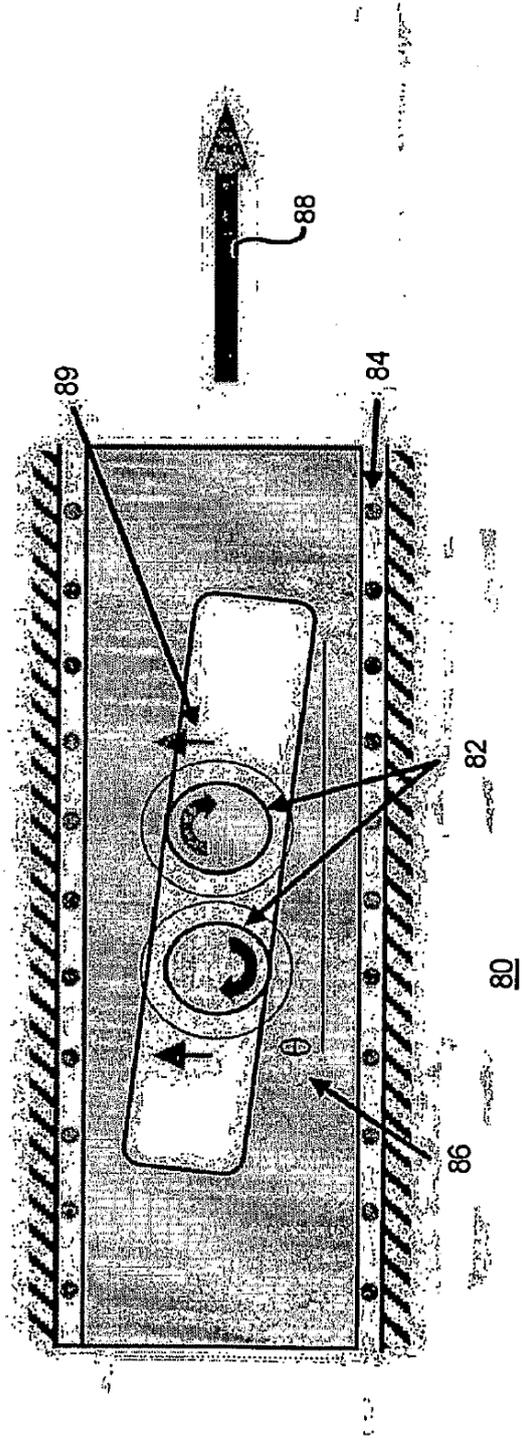


Fig. 12

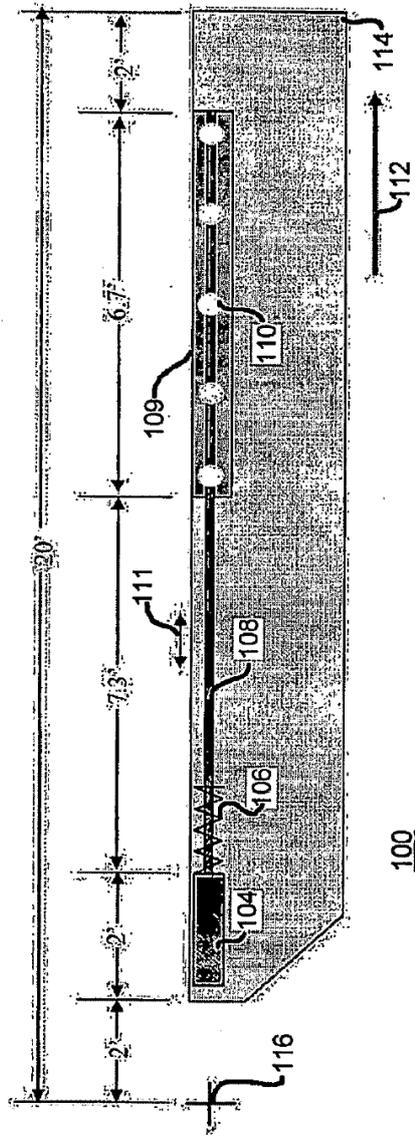


Fig. 13

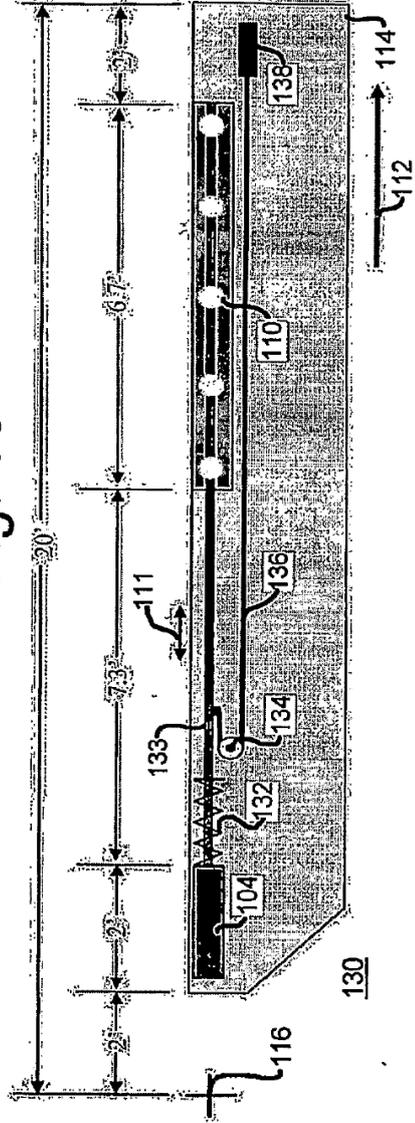


Fig. 14

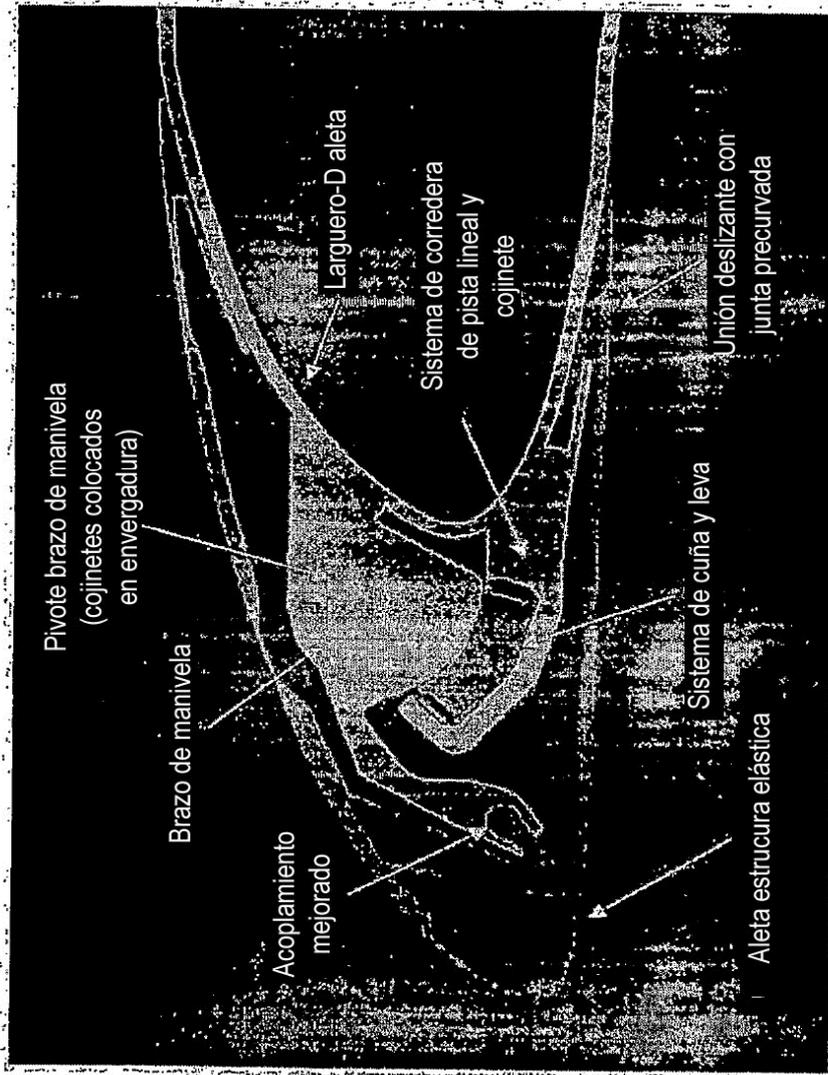


Fig. 15  
160

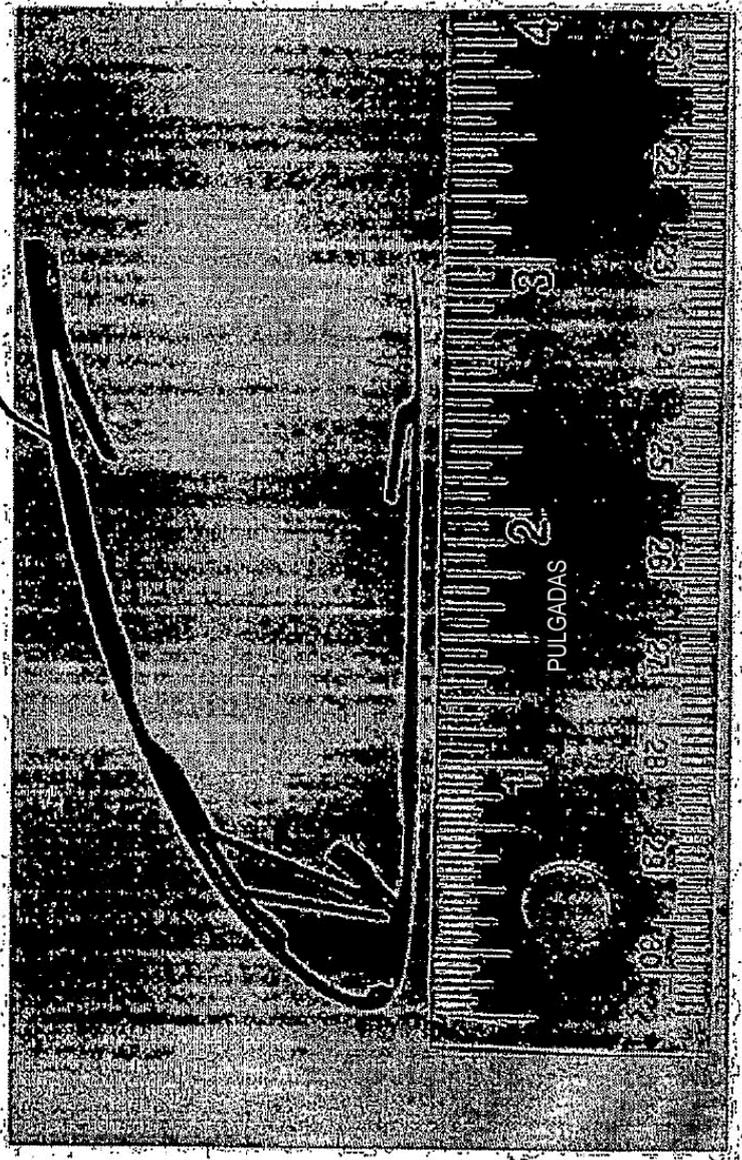
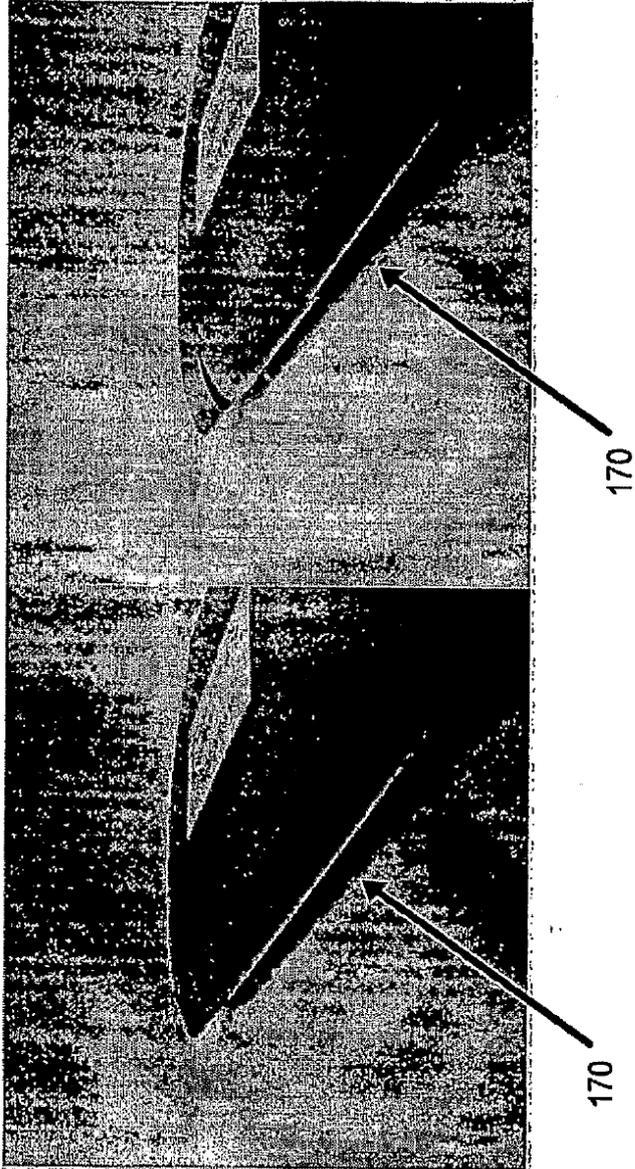


Fig. 16(a) Fig. 16(b)



**Fig. 17**

Procedimiento de optimización del diseño

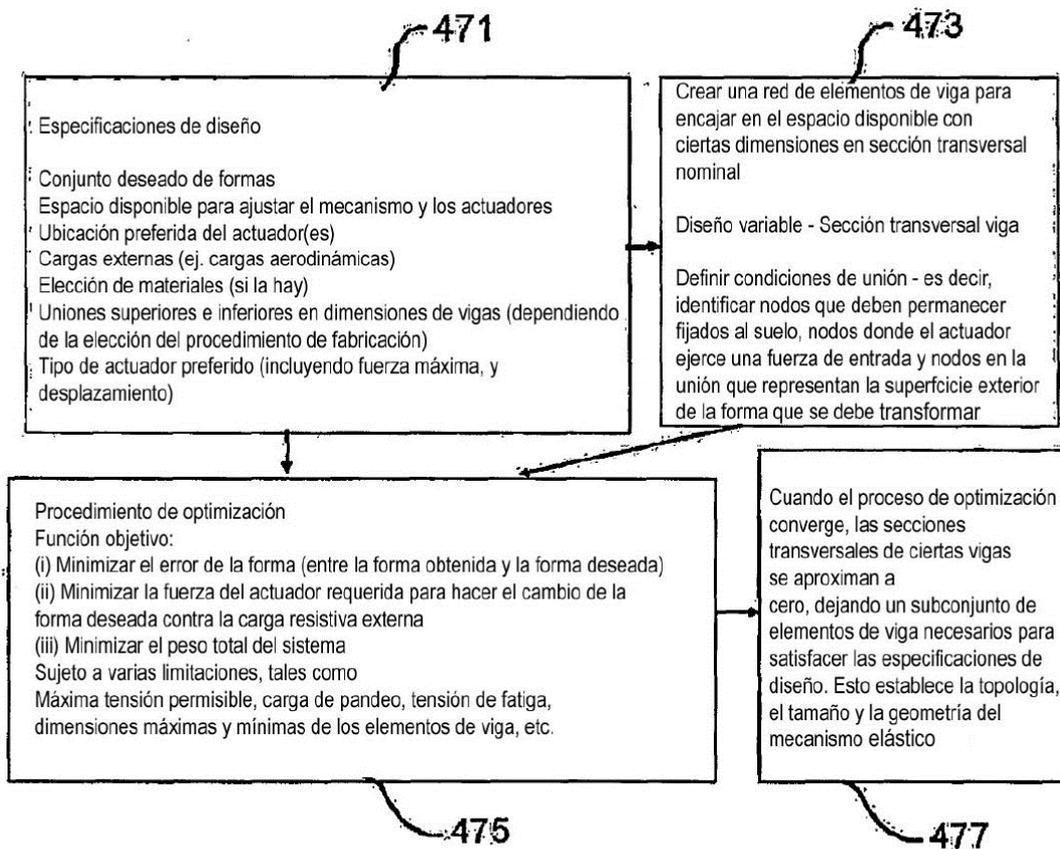


Fig. 18(a)

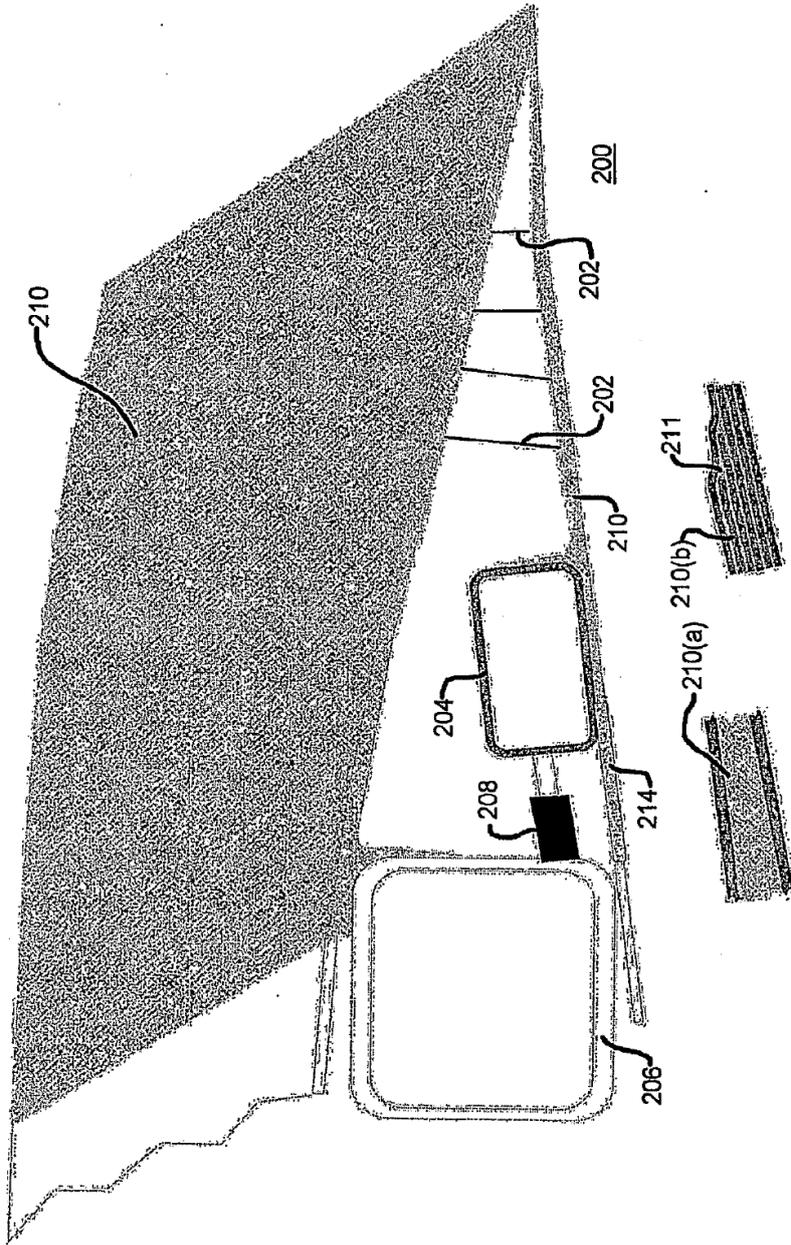


Fig. 18(b) Fig. 18(c)

Fig. 19

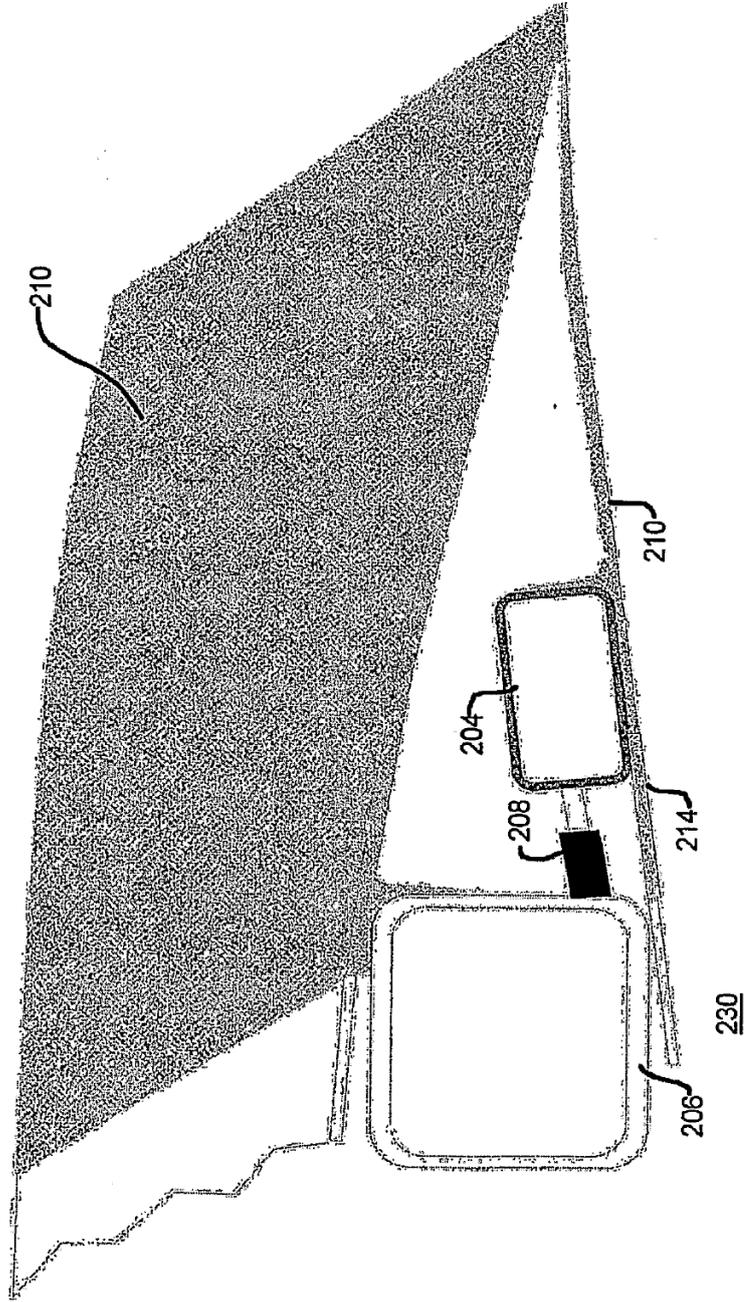


Fig. 20

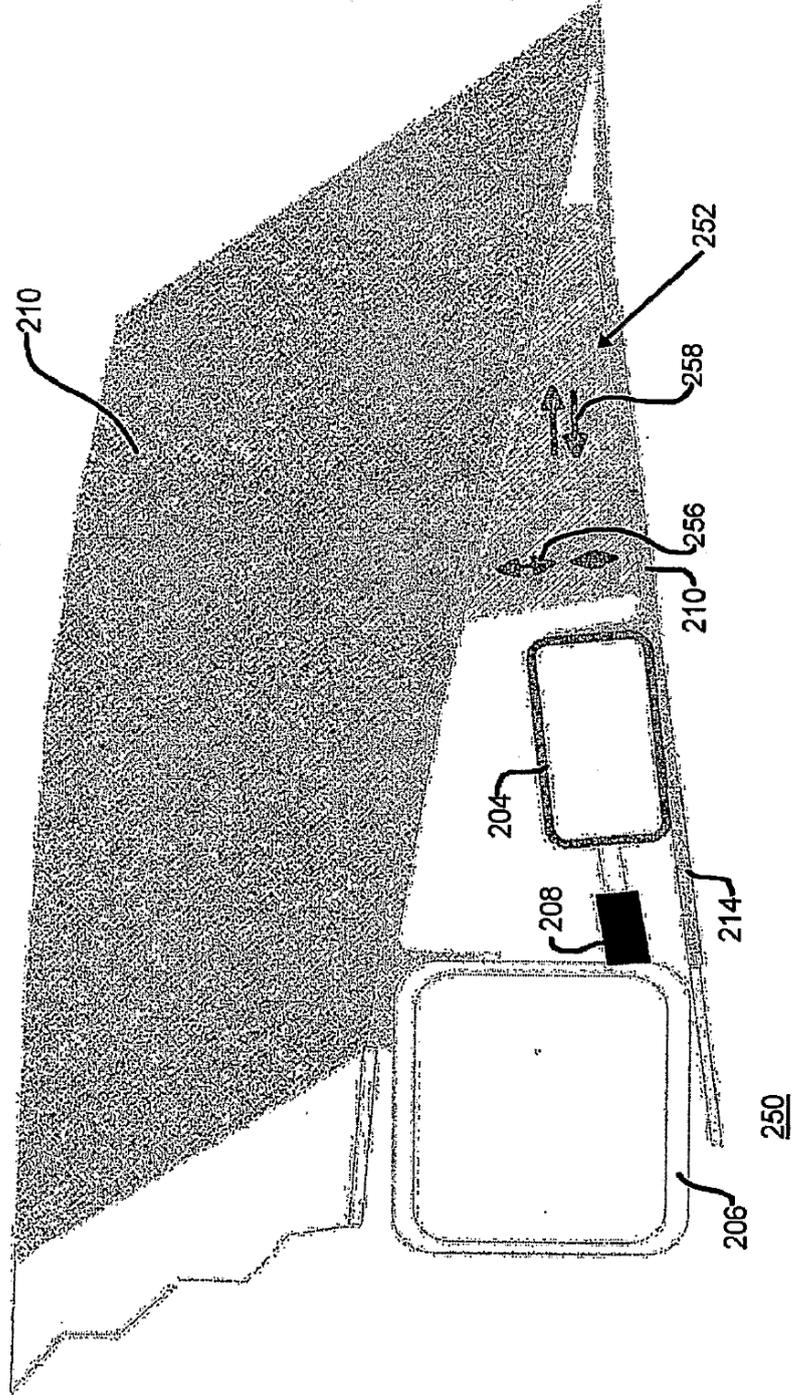


Fig. 21

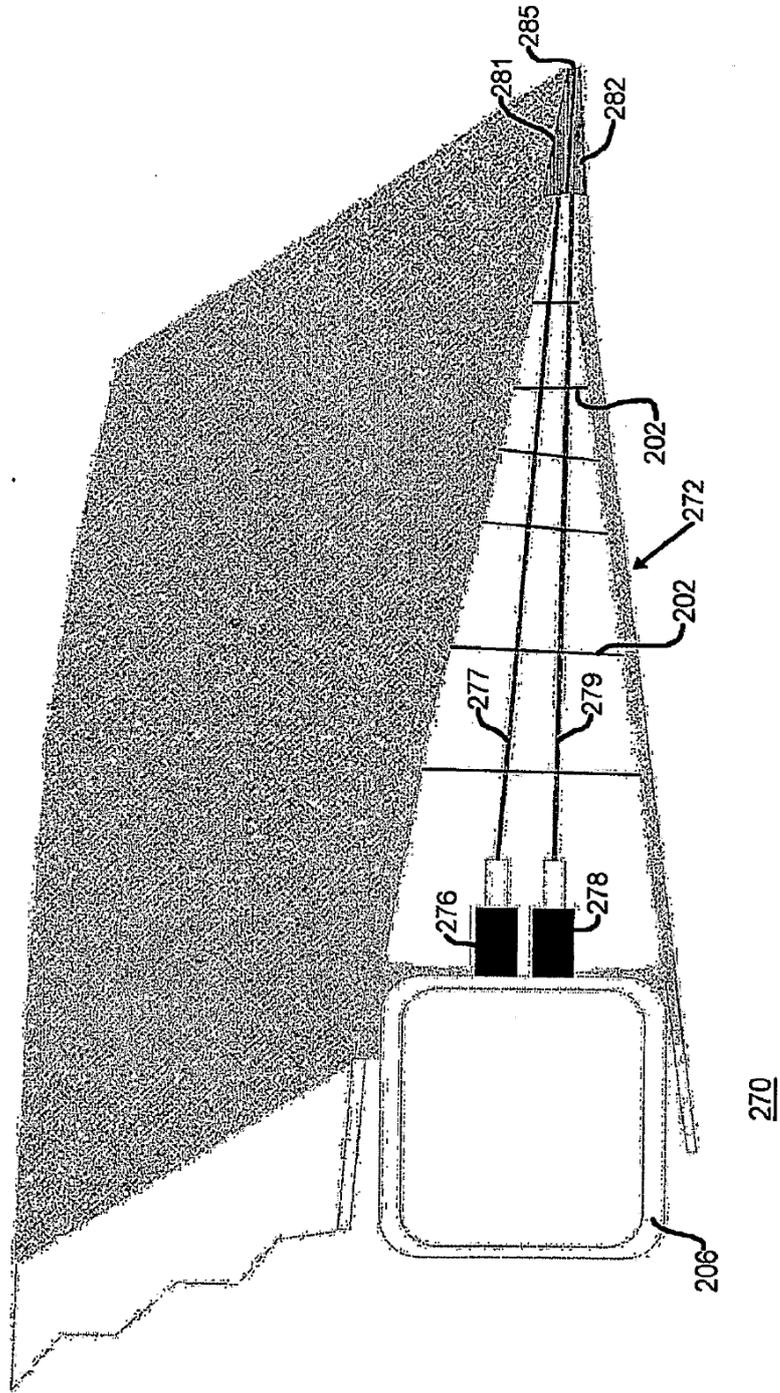


Fig. 22

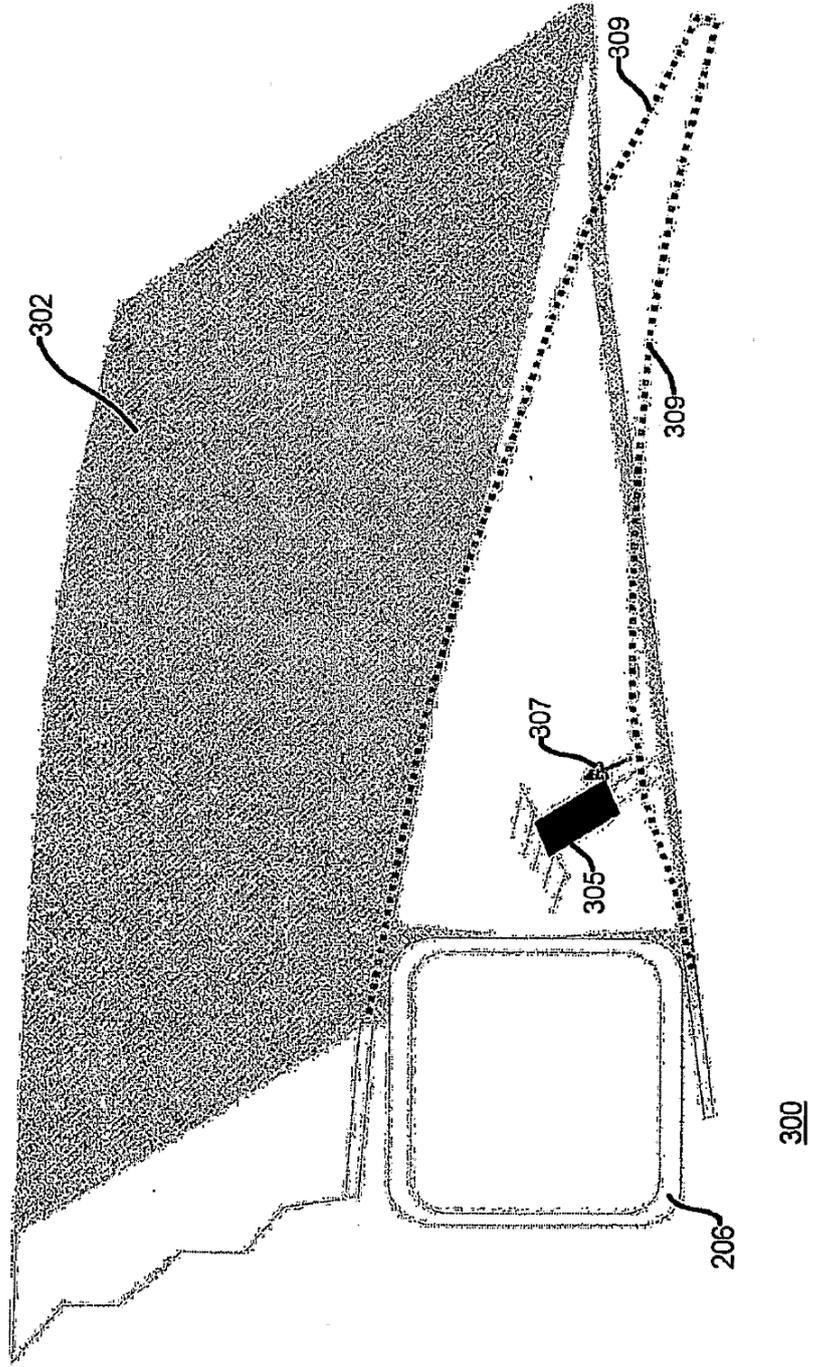


Fig. 23

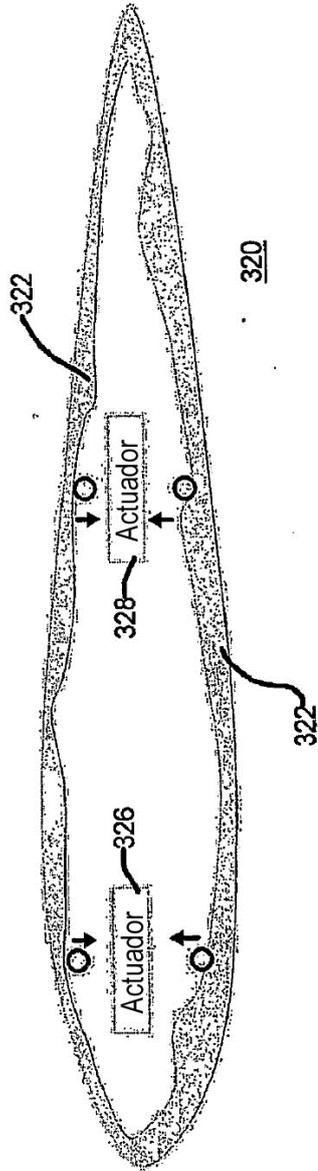


Fig. 24

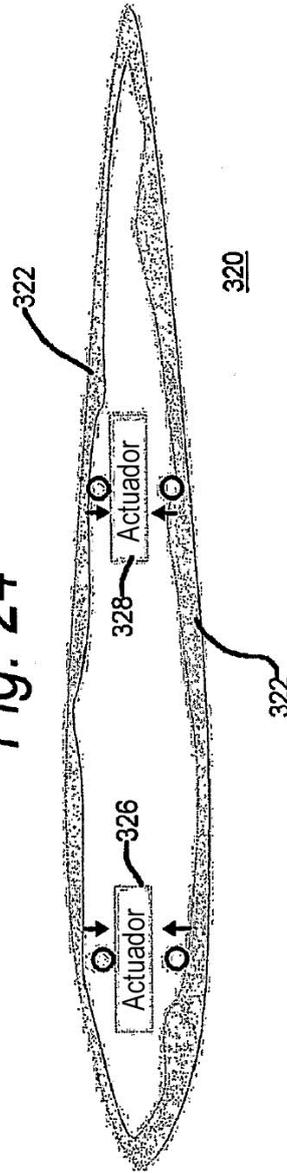


Fig. 25

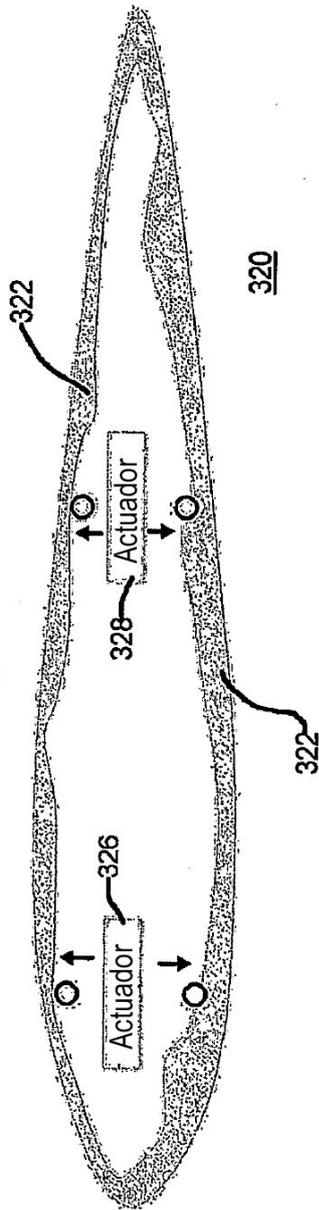


Fig. 26

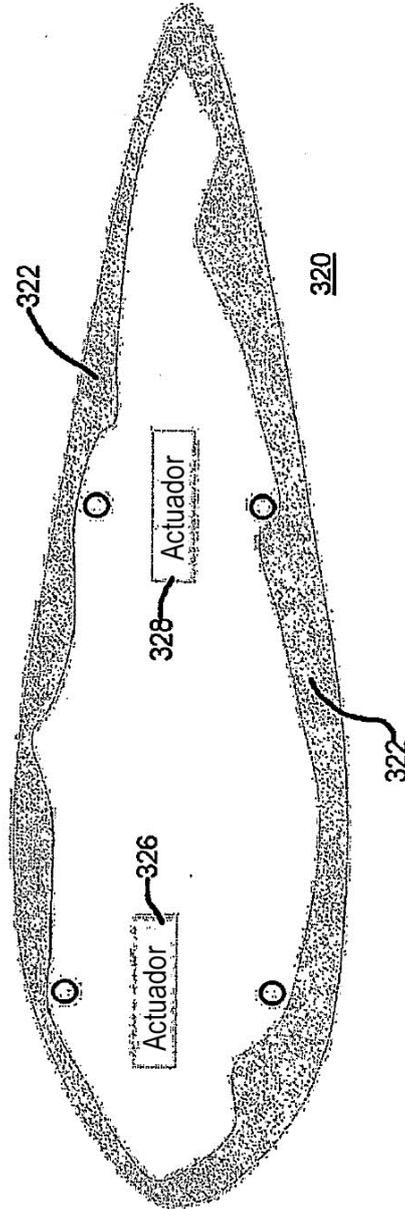


Fig. 27

