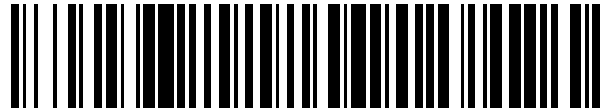


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 491**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.03.2010 E 10708851 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.07.2013 EP 2409029**

54 Título: **Pala de turbina eólica con elemento amortiguador**

30 Prioridad:

18.03.2009 US 406202

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

02.10.2013

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 44
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

WESTERGAARD, CARSTEN HEIN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 424 491 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

Pala de turbina eólica con elemento amortiguador

Campo técnico

5 La presente invención se refiere al amortiguamiento de las vibraciones de una pala de turbina eólica. Más específicamente, la presente invención se refiere a un elemento para amortiguar las vibraciones de borde de una pala de turbina eólica, a una pala de turbina eólica que incluye dicho elemento, y a un procedimiento para amortiguar las vibraciones de borde con dicho elemento.

Antecedentes

10 Existen dos tipos principales de vibraciones naturales (es decir, oscilaciones resonantes) asociadas con la pala de una turbina eólica. Las vibraciones de batimiento se producen en un plano perpendicular a los bordes de ataque y de salida de la pala. Las vibraciones de borde se producen en un plano que atraviesa los bordes de ataque y de salida. Ambos tipos de vibraciones someten a la pala a cargas significativas que pueden intensificar los daños por fatiga y llevar al fallo. Por lo tanto, es importante evitar la excitación de estas vibraciones.

15 Esto es particularmente cierto cuando una pala inicia una condición operativa denominada pérdida aerodinámica. Durante la pérdida aerodinámica, el flujo de aire sobre la superficie superior de la pala se vuelve cada vez más turbulento. Si la turbulencia u otros factores excitan las vibraciones naturales de la pala, las fuerzas aerodinámicas tienden a amplificar estos movimientos. Esto se produce debido a un principio denominado amortiguamiento aerodinámico negativo.

20 Existe un alto riesgo de daños en la situación anteriormente descrita, especialmente en las turbinas reguladas por pérdida aerodinámica en las que se utiliza intencionadamente la pérdida aerodinámica para controlar la potencia producida. Específicamente, las fuerzas aerodinámicas que excitan las vibraciones naturales durante el funcionamiento son función del cuadrado de la velocidad de la punta de la pala. Estas fuerzas son significativas durante la pérdida aerodinámica debido a que dicha condición se produce a unas velocidades del viento relativamente elevadas.

25 Las turbinas reguladas por cambio de ángulo de paso no experimentan la situación anteriormente descrita tanto como las turbinas reguladas por pérdida aerodinámica. Esto se debe a que las palas de una turbina regulada por cambio de ángulo de paso pueden inclinarse para cambiar la aerodinámica cuando se detecta un amortiguamiento aerodinámico negativo. No obstante, aún puede producirse la situación durante un breve periodo de tiempo. Las palas de una turbina regulada por cambio de ángulo de paso también pueden experimentar la amplificación de las vibraciones naturales cuando están "paradas" durante una tormenta con vientos extremadamente elevados. Sin embargo, en tal situación, las fuerzas aerodinámicas que excitan las vibraciones naturales de la pala son función del cuadrado de la velocidad del viento.

30 Existen dos principios principales que contrarrestan el amortiguamiento aerodinámico negativo: 1) otro principio aerodinámico conocido como amortiguamiento dinámico, y 2) amortiguamiento estructural. Aunque el amortiguamiento dinámico juega un papel importante para reducir las vibraciones de batimiento, sólo resulta ligeramente efectivo para reducir las vibraciones de borde. Por lo tanto, el factor principal a la hora de evitar las vibraciones de borde es el amortiguamiento estructural de una pala.

35 Se han desarrollado varias maneras de aumentar el amortiguamiento de una pala estructural. Por ejemplo, el documento WO 95/21327 da a conocer una pala que tiene un elemento reductor de la oscilación orientado en la dirección de las oscilaciones no deseadas. Aunque la solicitud de patente describe en primer lugar el elemento reductor de la oscilación utilizando términos genéricos y lo representa utilizando símbolos convencionales, la mayor parte de las realizaciones dadas a conocer son amortiguadores de líquido sintonizados. Estos amortiguadores están diseñados específicamente (es decir, "sintonizados") para que tengan una frecuencia natural que corresponda sustancialmente a la frecuencia natural dominante de la pala. Como tales, su efectividad a la hora de amortiguar las vibraciones depende de la frecuencia. Normalmente, también requieren mantenimiento y su acceso e instalación pueden resultar difíciles.

40 También son conocidos los amortiguadores pasivos. Un ejemplo de amortiguador pasivo se da a conocer en el documento WO 99/43955. Sin embargo, debido a que los amortiguadores pasivos son normalmente difíciles de diseñar e implementar, el número de soluciones adecuadas desarrolladas ha sido limitado. Aún hay mucho espacio para mejoras en esta área.

Resumen

La siguiente divulgación proporciona una pala para una turbina eólica. La pala generalmente comprende un cuerpo

de carcasa, un larguero interior que soporta al menos una porción del cuerpo de carcasa, y un elemento amortiguador acoplado a al menos uno del cuerpo de carcasa o del larguero interior (el elemento amortiguador podría estar acoplado al cuerpo de carcasa y/o al larguero interior). El cuerpo de carcasa está definido por una primera y una segunda carcasa que se extienden entre un borde de ataque y un borde de salida. El elemento amortiguador está configurado para moverse con respecto al cuerpo de carcasa para disipar las vibraciones de la pala. Adicionalmente, el elemento amortiguador tiene un mayor grado de libertad en una dirección de batimiento entre la primera y la segunda carcasa que en una dirección de borde entre los bordes de ataque y de salida.

Se dan a conocer a modo de ejemplos diferentes realizaciones del elemento amortiguador. El término "medio amortiguador" se refiere a alguna de estas realizaciones, o a todas ellas, junto con los equivalentes de dichas realizaciones. El elemento amortiguador puede comprender, por ejemplo, una primera porción acoplada con el cuerpo de carcasa y/o el larguero interior, una segunda porción acoplada con el cuerpo de carcasa y/o el larguero interior, y un material de unión que acopla la primera porción a la segunda porción. El material de unión tiene una menor rigidez que la primera y la segunda porciones pero una mayor capacidad de amortiguamiento que la primera y la segunda porciones.

Puede haber un único elemento amortiguador en la pala o una pluralidad de elementos amortiguadores acoplados a la pala. Adicionalmente, el elemento amortiguador puede estar formado al menos parcialmente con la pala o sujeto a la misma de manera separada. Como tal, la anterior divulgación proporciona un elemento amortiguador autónomo, adicionalmente a una pala de turbina eólica que incorpore tal elemento. El elemento amortiguador autónomo puede comprender una caja configurada para su acoplamiento al larguero interior y para su movimiento con respecto al cuerpo de carcasa para disipar las vibraciones de la pala. La caja, como todos los elementos amortiguadores anteriormente descritos, tiene un mayor grado de libertad en una dirección de batimiento entre la primera y la segunda carcasa que en una dirección de borde entre los bordes de ataque y de salida.

Finalmente, también se proporciona una turbina eólica que incorpora la pala y el elemento amortiguador, junto con un procedimiento para disipar las vibraciones de borde de la pala de dicha turbina eólica. Así, el procedimiento implica operar la turbina eólica de tal modo que la pala experimente vibraciones de borde. En respuesta, el elemento amortiguador se mueve con respecto al cuerpo de carcasa principalmente en la dirección de batimiento para amortiguar las vibraciones de borde. En este contexto, el término "principalmente" se refiere al grado de libertad del elemento amortiguador; el movimiento relativo es mayor en la dirección de batimiento que en la dirección de los bordes.

Estos y otros aspectos resultarán más aparentes a partir de la siguiente descripción detallada y las reivindicaciones, así como los dibujos adjuntos. Obsérvese que al describir el mismo tipo de elementos, los adjetivos numéricos tales como "primer/a" y "segundo/a", se utilizan meramente por claridad. Están asignados arbitrariamente y pueden intercambiarse. Como tal, el uso de estos adjetivos en las reivindicaciones puede o no corresponder con el uso de los mismos adjetivos en la descripción detallada (p. ej., un "primer elemento" en las reivindicaciones podría referirse a cualquier "elemento", y no necesariamente a los etiquetados como "primero" en la siguiente descripción detallada).

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 es una vista en perspectiva de una realización de una turbina eólica;

La Fig. 2 es una vista en perspectiva de una pala de la turbina eólica de la Fig. 1;

La Fig. 3 es una vista en sección tomada por la línea 3-3 de la Fig. 2;

La Fig. 4 es una vista en sección similar a la Fig. 3, que muestra un ejemplo de un elemento amortiguador que no está de acuerdo con la invención;

La Fig. 5 es una vista en planta superior de una pala que tiene varios de los elementos amortiguadores de la Fig. 4;

La Fig. 6 es una vista en sección similar a la Fig. 3 que muestra otro ejemplo de un elemento amortiguador que no está de acuerdo con la invención;

Las Figs. 7A y 7B son vistas en planta superior de palas con diferentes disposiciones de los elementos amortiguadores de la Fig. 6;

La Fig. 8 es una vista en sección similar a la Fig. 3 que muestra otro ejemplo más de un elemento amortiguador que no está de acuerdo con la invención;

La Fig. 9 es una vista en sección similar a la Fig. 3, que muestra un elemento amortiguador de acuerdo con la invención;

La Fig. 10 es una vista en perspectiva de una realización autónoma del elemento amortiguador de la Fig. 9;

La Fig. 11 es una vista en sección similar a la Fig. 3 que muestra un ejemplo adicional de un elemento amortiguador que no está de acuerdo con la invención; y

La Fig. 12 es una vista en perspectiva de una realización del elemento amortiguador de la Fig. 11.

5 Descripción detallada

La Fig. 1 muestra una realización de una turbina eólica 10. La turbina eólica 10 generalmente comprende una torre 12, una góndola 14 soportada por la torre 12, y un rotor 15 sujeto a la góndola 14. El rotor 15 incluye un buje 16 montado rotativamente en la góndola 14 y un conjunto de palas 18 acopladas al buje 16. Más específicamente, cada una de las palas 18 incluye una raíz 20 acoplada al buje 16 y una punta 22 separada del buje 16. Las palas 18 convierten la energía cinética del viento en energía mecánica utilizada para girar el eje de un generador (no representado), tal como es convencional. Sin embargo, tal como se describirá a continuación en mayor detalle, una o más de las palas 18 están especialmente diseñadas para reducir ciertas vibraciones que crean cargas y aumentan el potencial de daños o de fallos.

Las Figs. 2 y 3 ilustran esquemáticamente una de las palas 18 en detalle adicional. La pala 18 incluye un cuerpo de carcasa 30 definido por una primera y una segunda carcasa 32, 34 que se extienden entre un borde de ataque 36 y un borde de salida 38, y que forman una sección transversal de perfil de ala. Un larguero interior 40 se extiende desde la raíz 20 hasta la punta 22 entre la primera y la segunda carcasa 32, 34 para soportar al menos una porción del cuerpo de carcasa 30. La pala 18 puede construirse utilizando cualquier material y técnica adecuados para turbinas eólicas. Por ejemplo, la primera y la segunda carcasa 32, 34 pueden construirse colocando materiales en un molde y curando una resina. La resina puede pre-impregnarse en los materiales (p. ej., fibras de vidrio pre-impregnadas) y/o introducirse por separado (p. ej., utilizando un proceso de infusión), dependiendo de la técnica utilizada.

Ciertas condiciones pueden hacer que la pala 18 experimente vibraciones en el plano de su rotación. Durante estas vibraciones, la punta 22 se mueve adelante y atrás en la dirección 46 de borde entre los bordes de ataque y de salida 36, 38. La pala 18 también puede experimentar vibraciones en una dirección 48 de batimiento, cuando la punta 22 se mueve perpendicular al plano de rotación.

Los intentos de amortiguar las vibraciones de borde se han centrado en la aplicación de fuerzas en la dirección opuesta al movimiento de la punta 22 (es decir, la dirección 46 de borde). Sin embargo, los solicitantes han descubierto que la geometría de la pala 18 permite amortiguar las vibraciones de borde aplicando fuerzas de manera diferente. Más específicamente, cuando la punta 22 se mueve en la dirección 46 de borde hacia el borde de ataque 36, la primera y la segunda carcasa 32, 34 tienden a flexionarse hacia dentro y hacia fuera debido a la forma del perfil de ala y a la conexión entre la raíz 20 y el buje 16. Las flechas 50, 52 de la Fig. 3 representan el movimiento de flexión experimentado durante las vibraciones de borde.

Con este fin, la pala 18 incluye adicionalmente un elemento amortiguador 60 configurado para moverse con respecto a la pala 18, principalmente en la dirección 48 de batimiento, para disipar las vibraciones de borde. En la Fig. 3 se muestra de manera esquemática el elemento amortiguador 60, utilizando símbolos convencionales para los amortiguadores. Está orientado dentro del cuerpo de carcasa 30 de tal modo que tenga un mayor grado de libertad en la dirección 48 de batimiento que en la dirección 46 de borde. Aunque los expertos en la técnica apreciarán que existen diferentes maneras de construir el elemento amortiguador 60, a continuación se describen varios ejemplos para ilustrar estos principios.

De hecho, la orientación del elemento amortiguador 60 puede llevarse a cabo tal como se muestra en la Fig. 3, teniendo el elemento amortiguador 60 una primera porción 62 acoplada a la primera carcasa 32 y una segunda porción 64 acoplada a la segunda carcasa 34. La primera y la segunda porciones 62, 64 están configuradas para moverse la una con respecto a la otra durante la flexión anteriormente mencionada del cuerpo de carcasa 30. Mediante el contacto de fricción entre la primera y la segunda porciones 62, 64 pueden crearse fuerzas para contrarrestar este movimiento (y, por lo tanto, las vibraciones de borde). Alternativa o adicionalmente, el elemento amortiguador 60 puede incluir además un material 66 de unión (Fig. 4) que acople la primera porción 62 con la segunda porción 64.

Por ejemplo, la Fig. 4 ilustra un elemento amortiguador que no está de acuerdo con la invención, en el que la primera porción 62 es un primer elemento cilíndrico 70 y la segunda porción 64 es un elemento cilíndrico 72. El primer y el segundo elementos 70, 72 pueden formarse cuando se moldean las respectivas primera y segunda carcasa 32, 34. Alternativamente, el primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72 pueden formarse por separado y sujetarse a la respectiva primera y segunda carcasa 32, 34 antes de adherirlos o montarlos de otra manera para definir el cuerpo de carcasa 30. Uno del primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72 está

configurado para recibir al menos parcialmente el otro de manera telescópica. En la Fig. 4, el segundo elemento cilíndrico 72 es hueco y está configurado para recibir el primer elemento telescópico, que puede ser o no ser hueco.

5 El primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72 pueden construirse con fibras compuestas, plásticos duros, metales, u otros materiales relativamente rígidos. El material 66 de unión, que está situado circunferencialmente entre el primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72, tiene una rigidez menor que la del primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72 pero una mayor capacidad de amortiguamiento (energía disipada por ciclo de tensión) que el primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72. Ejemplos de tal material incluyen, sin limitación: caucho (incluyendo caucho espumado y caucho reforzado con fibras), resinas epoxi (incluyendo aquellas mezcladas con nanofibras o Kevlar®), y diversos termoplásticos. El material 66 de unión puede aplicarse simplemente sobre el primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72 (p. ej., recubriéndolos), o formarse como un componente cilíndrico separado pegado o sujeto de otra manera al primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72.

15 El número y localización de elementos amortiguadores 60 dentro del cuerpo de carcasa 30 puede variar. La Fig. 5 ilustra varios de los elementos amortiguadores 60 de acuerdo con la realización de la Fig. 4, situados cerca de la raíz 20 de la pala 18. Los elementos amortiguadores 60 pueden posicionarse estratégicamente en localizaciones en las que no sólo sean efectivos para amortiguar las vibraciones de borde, sino también proporcionando soporte adicional al cuerpo de carcasa 30 allí donde sea necesario. Los elementos amortiguadores 60 también pueden posicionarse en localizaciones en las que sean más fáciles de construir o instalar.

20 La Fig. 6 ilustra un elemento amortiguador que no está de acuerdo con la invención, en el que la primera porción 62 (Fig. 3) del elemento amortiguador 60 es una primera placa 78 y la segunda porción 64 es una segunda placa 80. La primera y la segunda placas 78, 80 son análogas al primer y el segundo elementos cilíndricos 70, 72 y pueden formarse utilizando técnicas similares. Sin embargo, debido a que la primera y la segunda placas 78, 80 son sustancialmente planas, pueden extenderse a todo lo largo de la pala 18. La Fig. 7A muestra una vibración en la que varios de estos elementos amortiguadores 60 se alargan y se extienden en una dirección desde la raíz 20 hacia la punta 22. La Fig. 7B muestra una variación en la que estos elementos amortiguadores 60 se extienden a lo largo de tramos más cortos de la pala 18, en una dirección desde la raíz 20 hacia la punta 22. Esta última variación puede ayudar a reducir las cargas en la pala 18, creadas inintencionadamente por esfuerzo cortante entre la primera y la segunda placas 78, 80 cuando la pala vibra en la dirección de batimiento. Aunque no se muestra, alternativamente la primera y la segunda placas 78, 80 pueden estar orientadas para extenderse en la dirección 46 de borde (Fig. 2) entre el larguero interior 40 y el borde 38 de ataque.

El material 66 de unión está situado entre la primera y la segunda placas 78, 80 y tiene la misma función que en la realización previa. Así, el material 66 de unión puede aplicarse simplemente a la primera y la segunda placas 78, 80 (p. ej. recubriéndolas), o formarse como una lámina separada pegada o sujeta de otra manera a la primera y la segunda placas 78, 80.

35 Con referencia a la Fig. 8, se muestra un ejemplo adicional de un elemento amortiguador 60 que no está de acuerdo con la realización. El elemento amortiguador 60 tiene la forma de un larguero adicional o soporte 84 que se extiende desde la primera carcasa 32 hasta la segunda carcasa 34, entre el larguero interior 40 y el borde 38 de ataque. Ventajosamente, el elemento amortiguador 60 incluye un material 86 con una capacidad de amortiguamiento relativamente elevada, tal como un caucho reforzado con fibras. El material 86 puede estar rodeado en uno o más lados por una carcasa 88 construida a partir de fibra de vidrio u otro material que proporcione algún soporte estructural. Este tipo de elemento amortiguador 60 puede proporcionarse como un componente separado que se acople a la primera y la segunda carcacas 32, 34 mediante adhesivo o similar durante el proceso de fabricación de la pala 18.

45 Los ejemplos anteriormente analizados implican acoplar el elemento amortiguador 60 al cuerpo de carcasa 30. Sin embargo, también es posible acoplar el elemento amortiguador 60 al larguero interior 40 y aún así conseguir un mayor grado de libertad en la dirección 48 de batimiento (Fig. 2) que en la dirección 46 de borde. La Fig. 9 ilustra el elemento amortiguador 100 de acuerdo con la invención, que comprende una primera y una segunda superficies 102, 104 que se extienden en una dirección contraria al larguero interior 40 y hacia el borde 38 de ataque. La primera y la segunda superficies 102, 104 están separadas en el larguero interior 40 pero unidas en una localización alejada del mismo. Tal disposición define una carcasa o caja interior dentro del cuerpo de carcasa 30. El propio larguero interior 40, o una tercera superficie 106 del elemento amortiguador 100 que se extiende entre la primera y la segunda superficies 102, 104, forma parte de la caja con la primera y la segunda superficies 102, 104. La tercera superficie 106 puede resultar deseable si el elemento amortiguador 100 es un componente autónomo sujeto al larguero interior 40, tal como se describirá en mayor detalle a continuación.

55 Al definir una caja o "carcasa dentro de una carcasa", la primera y la segunda superficies 102, 104 pueden simular algunos de los movimientos de la primera y la segunda carcacas 32, 34 cuando la pala 18 experimenta las

vibraciones de borde. En particular, la primera y la segunda superficies 102, 104 pueden estar diseñadas para flexionarse la una hacia la otra, y para alejarse la una de la otra, como la primera y la segunda carcasas 32, 34 (véase el análisis de la anterior Fig. 3). Esto permite acoplar los componentes del elemento amortiguador 100 que disipan estos movimientos (y, por lo tanto, las vibraciones de borde) a la primera y la segunda superficies 102, 104 en vez de a la primera y la segunda carcasas 32, 34. En la Fig. 9 se muestran esquemáticamente estos componentes utilizando los mismos símbolos mostrados en la Fig. 3. Por consiguiente, cuando sea apropiado se utilizarán los mismos números de referencia.

El elemento amortiguador 100 aún está orientado de tal modo que tenga un mayor grado de libertad en la dirección 48 de batimiento (Fig. 2) que en la dirección 46 de borde. Nuevamente, los expertos en la técnica apreciarán que existen diferentes maneras de construir el elemento amortiguador 100 con esta orientación. De hecho, el elemento amortiguador 100 puede construirse de manera similar a cualquiera de las realizaciones anteriormente mencionadas.

La Fig. 9 muestra el elemento amortiguador 100 de acuerdo con la invención, en el que la primera porción 62 del elemento amortiguador 100 está acoplada a la primera superficie 102 y la segunda porción 64 está acoplada a la segunda superficie 104. La primera y la segunda porciones 62, 64 aún están configuradas para moverse la una con respecto a la otra, como en la Fig. 3, pero esta vez como resultado de la flexión de la primera y la segunda superficies 102, 104 en vez del cuerpo de carcasa 30. En ambas Figs. 3 y 9, sin embargo, el movimiento de flexión está causado por las mismas fuerzas que actúan sobre la pala 18. Y una vez más, pueden crearse fuerzas para contrarrestar el movimiento mediante contacto de fricción entre la primera y la segunda porciones 62, 64, un material de unión que acople la primera porción 62 a la segunda porción 64, u otras técnicas. La primera y la segunda porciones 62, 64 pueden ser elementos cilíndricos como en la realización de la Fig. 4, elementos de tipo placa como en la realización de la Fig. 6, o tener alguna otra forma. Adicionalmente, podrá apreciarse que el número, tamaño y disposición del elemento amortiguador 100 aún puede variar.

Colocar componentes del elemento amortiguador 100 dentro de la caja definida por la primera y la segunda superficies 102, 104 ofrece varias ventajas. Por ejemplo, tanto la primera como la segunda superficies 102, 104 pueden fabricarse convexas (tal como se muestra). Esta geometría puede hacer que la primera y la segunda superficies 102, 104 se flexionen más que la primera y la segunda carcasas 32, 34 durante las vibraciones de borde, ofreciendo así al elemento amortiguador 100 una mayor oportunidad para disipar las vibraciones. La flexión también puede ser más simétrica, facilitando por lo tanto el diseño y la disposición de los componentes del elemento amortiguador 100 (p. ej., la primera y la segunda porciones 62, 64).

Adicionalmente, asociar el elemento amortiguador 100 con el larguero interior 40 permite optimizar el diseño y la fabricación de la primera y la segunda carcasas 32, 34 sin tener en cuenta la sujeción del elemento amortiguador 100. Las cargas creadas por el elemento amortiguador 100 se transfieren al larguero interior 40 en vez de al cuerpo de carcasa 30. Acoplar el elemento amortiguador 100 a lo largo del larguero interior 40 también puede ayudar a aumentar la rigidez general de la pala 18. Como resultado, son posibles diseños de pala más delgados.

Al hacer que el elemento amortiguador 100 sea un componente autónomo, tal como se muestra en la Fig. 10, pueden conseguirse ventajas adicionales. Tal realización puede incluir la tercera superficie 106 para facilitar el acoplamiento del elemento amortiguador 100 al larguero interior 40. Por ejemplo, durante el proceso de fabricación de la pala 18, puede acoplarse el elemento amortiguador 100 al larguero interior 40 mediante el pegado de la tercera superficie 106 al mismo. Esto puede hacerse antes de posicionar el larguero interior 40 con respecto a la primera carcasa 32 o a la segunda carcasa 34, o justo antes de cerrar el molde (no representado) que monta la primera y la segunda carcasa 32, 34 entre sí, en lados opuestos del larguero interior 40. La longitud del elemento amortiguador 100 puede variar de tal modo que pueda haber un elemento amortiguador 100 largo o una pluralidad de elementos amortiguadores 100 acoplados al larguero interior 40.

La Fig. 11 ilustra un ejemplo que no está de acuerdo con la invención, en el que un elemento amortiguador 120 está acoplado tanto al larguero interior 40 como al cuerpo de carcasa 30, pero aún así tiene un mayor grado de libertad en la dirección 48 de batimiento (Fig. 2) que en la dirección 46 de borde. El elemento amortiguador 120 incluye un soporte 122 acoplado a la segunda carcasa 34 y que se extiende hacia la primera carcasa 32, aunque el soporte 122 puede estar alternativa o adicionalmente acoplado a la primera carcasa 32. Una caja 124 está acoplada al larguero interior 40 por una primera unión 126 y al soporte 122 por una segunda unión 128 (la primera y la segunda uniones 126, 128 se muestran esquemáticamente). La caja 124 tiene un grosor entre el larguero interior 40 y el soporte 122 que converge en la primera y la segunda uniones 126, 128. Así, la parte más gruesa de la caja 124 está situada entre la primera y la segunda uniones 126, 128 (y, por lo tanto, entre el larguero interior 40 y el soporte 122).

De manera similar a la realización previa, tal disposición permite a las superficies de la caja 124 simular algunos de los movimientos de la primera y la segunda carcasas 32, 34 cuando la pala 18 experimenta vibraciones de

borde. Más específicamente, una superficie exterior 132 de la caja 124 que está encarada con la primera carcasa 32, y una superficie exterior 134 que está encarada con la segunda carcasa 34, pueden flexionarse la una hacia la otra, y alejarse la una de la otra, como la primera y la segunda carcasas 32, 34 (véase el análisis de la anterior Fig. 3). Así que, nuevamente, los componentes del elemento amortiguador 120 que disipan estos movimientos no necesitan estar acoplados directamente a la primera y la segunda carcasas 32, 34. Los componentes se muestran esquemáticamente en la Fig. 11 utilizando los mismos símbolos mostrados en la Fig. 3 y, cuando sea apropiado, los mismos números de referencia. Esta disposición limita ventajosamente las cargas creadas sobre las estructuras colindantes (p. ej., el cuerpo de carcasa 30).

El elemento amortiguador 120 puede estar construido de manera similar a cualquiera de las realizaciones anteriores. Por lo tanto, el elemento amortiguador 120 puede incluir la primera y la segunda porciones 62, 64 acopladas a las superficies exteriores 132, 134, respectivamente, siendo la primera y la segunda porciones 62, 64 elementos cilíndricos, elementos de tipo placa, o elementos que tengan otra forma. Al igual que en otras realizaciones, son posibles otras disposiciones que resulten en la orientación del elemento amortiguador 120 anteriormente descrita.

La Fig. 12 ilustra un ejemplo de la caja 124 en el que la primera porción 62 está acoplada a la primera y la segunda uniones 126, 128 (Fig. 11) e incluye la superficie exterior 132, y la segunda porción 64 está acoplada a la primera y la segunda uniones 126, 128 e incluye la superficie exterior 134. Con este fin, la primera y la segunda porciones 62, 64 representan mitades de tipo concha o "medias carcasas" de la caja 124. Pueden estar construidas a partir de fibras de vidrio u otro material relativamente rígido. El elemento amortiguador 120 de esta realización también incluye una tercera porción 136 que acopla la primera porción 62 a la segunda porción 64 entre la primera y la segunda uniones 126, 128. La tercera porción 136 puede ser una lámina o una placa formada a partir del material de unión anteriormente mencionado, teniendo el material de unión una rigidez menor que la primera y la segunda porciones 62, 64, pero una mayor capacidad de amortiguamiento que la primera y la segunda porciones 62, 64. Alternativamente, la tercera porción 136 puede ser uno o más alambres o cables (no representados), tensados para mantener la forma de tipo concha de la caja 124.

En la Fig. 12 se muestra la caja 124 con una longitud. De manera similar al elemento amortiguador 100 autónomo de la Fig. 10, los expertos en la técnica apreciarán que esta longitud puede variar. En la pala 18 puede haber una caja 124 relativamente larga, o puede haber una pluralidad de elementos amortiguadores 120 separados a lo largo de la pala 18, comprendiendo cada uno de los mismos una caja 124 de longitud relativamente corta. Adicionalmente, la tercera porción 136 de tipo placa que se extiende entre la primera y la segunda uniones 126, 128 puede ser coextensiva con la primera y la segunda porciones 62, 64, o tener una longitud diferente. La Fig. 12 muestra múltiples terceras porciones 136, separadas dentro de la caja 124. Los espacios entre las mismas pueden rellenarse con un material que tenga excelentes propiedades de amortiguamiento (es decir, una capacidad de amortiguamiento relativamente elevada).

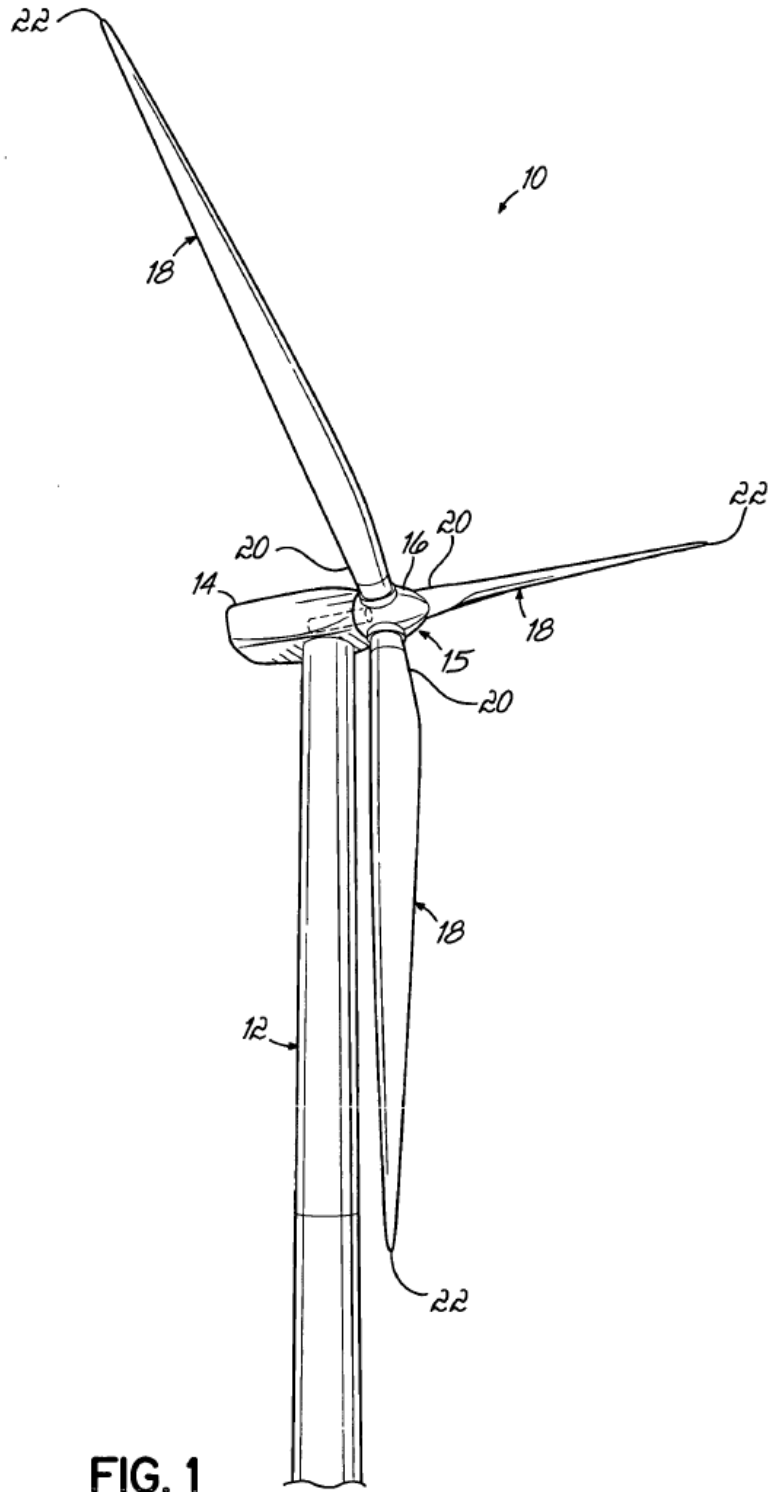
Las realizaciones anteriormente descritas son meros ejemplos de la invención definida por las reivindicaciones que aparecen a continuación. Los expertos en la técnica apreciarán ejemplos, modificaciones, y ventajas adicionales basadas en la descripción.

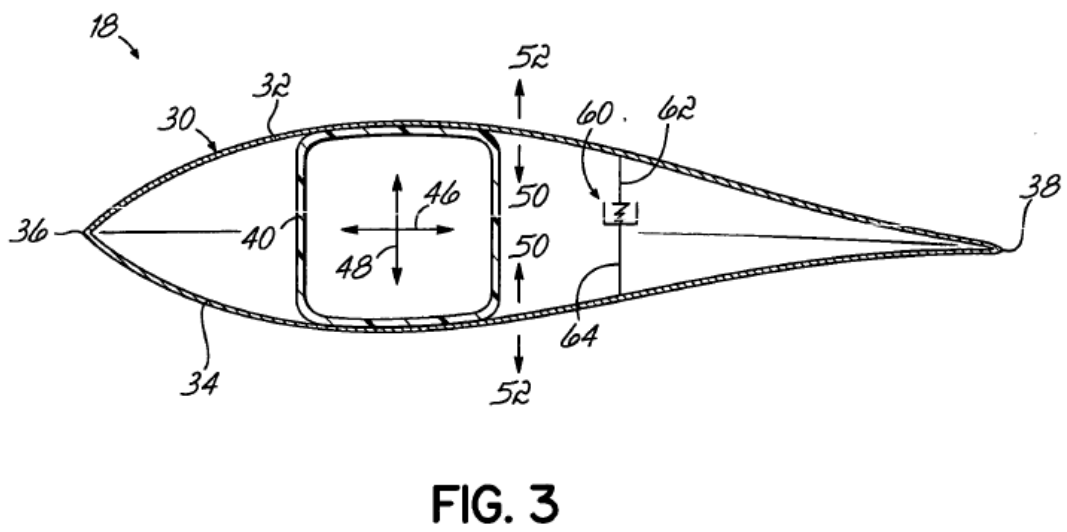
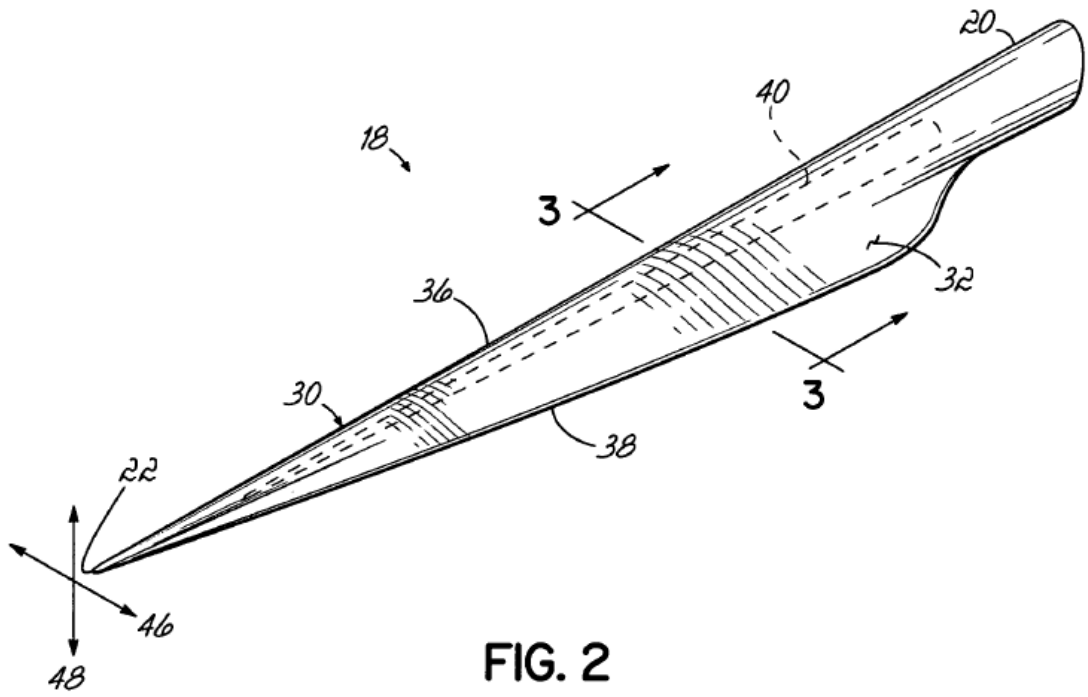
REIVINDICACIONES

1. Una pala (18) para una turbina eólica (10), que comprende:
 - un cuerpo de carcasa (30) definido por una primera y una segunda carcasa (32, 34) que se extienden entre un borde de ataque (36) y un borde de salida (38);
 - 5 un larguero interior (40) que soporta al menos una porción del cuerpo de carcasa (30); y
 - un elemento amortiguador (100) acoplado a al menos uno del cuerpo de carcasa (30) o del larguero interior (40), estando configurado el elemento amortiguador (100) para moverse con respecto al cuerpo de carcasa (30) para disipar las vibraciones de la pala (18), y teniendo el elemento amortiguador (100) un mayor grado de libertad en una dirección de batimiento entre la primera y la segunda carcasa (32, 34) que en una
 - 10 dirección de borde entre los bordes de ataque y de salida (36, 38),
 - caracterizado porque el elemento amortiguador (100) está acoplado al larguero interior (40) y comprende una primera y una segunda superficies (102, 104) que se extienden en una dirección alejada del larguero interior (40) y hacia el borde de salida (38), estando separadas las primera y segunda superficies (102, 104) en el larguero interior (40) pero unidas en una localización alejada del larguero interior (40) para definir una caja.
- 15 2. Una pala (18) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el elemento amortiguador (100) comprende adicionalmente una tercera superficie (106) que se extiende entre la primera y la segunda superficies (102, 104) para definir un lado de la caja, estando acoplada la tercera superficie (106) al larguero interior (40).
3. Una pala (18) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en la que la primera y la segunda superficies (102, 104) de la caja son convexas.
- 20 4. Una pala (18) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en la que al menos parte de la caja está rellena con un material (66) de unión acoplado tanto a la primera como a la segunda superficies (102, 104), teniendo el material (66) de unión una rigidez menor que la primera y la segunda superficies (102, 104) pero una capacidad de amortiguamiento mayor que la primera y la segunda superficies (102, 104).
- 25 5. Una pala (18) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el elemento amortiguador (100) comprende: un soporte (122) acoplado a la primera carcasa (32) y que se extiende hacia la segunda carcasa (34), en la que la caja está acoplada al larguero interior (40) en una primera unión (126), y al soporte (122) en una segunda unión (128), teniendo la caja un grosor entre el larguero interior (40) y el soporte (122) que converge en la primera y la segunda uniones (126, 128).
6. Una pala (18) de acuerdo con la reivindicación 5, en la que la caja comprende:
 - 30 una primera porción (62) acoplada a la primera y la segunda uniones (126, 128) y que incluye una superficie exterior (132) encarada con la primera carcasa (32);
 - una segunda porción (64) acoplada a la primera y la segunda uniones (126, 128) y que incluye una superficie exterior (134) encarada con la segunda carcasa (34); y
 - 35 una tercera porción (136) que acopla la primera porción (62) a la segunda porción (64) entre la primera y la segunda uniones (126, 128), estando formada la tercera porción (136) por un material que tiene una rigidez menor que la primera y la segunda porciones (62, 64) pero una capacidad de amortiguamiento mayor que la primera y la segunda porciones (62, 64).
7. Una pala (18) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende adicionalmente:
 - 40 una pluralidad de dichos elementos amortiguadores (100), acoplado cada uno a al menos uno del cuerpo de carcasa (30) o el larguero interior (40).
8. Una turbina eólica (10), que comprende:
 - una torre (12);
 - una góndola (14) soportada por la torre (12); y
 - 45 un rotor (15) que incluye un buje (16), acoplado rotativamente a la góndola (14), y una pala (18) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes acoplada al buje (16).
9. Un procedimiento para disipar las vibraciones de borde en la pala (18) de la turbina eólica (10) de la

reivindicación 8, que comprende:

operar la turbina eólica (10) de tal modo que la pala (18) experimente vibraciones de borde, en el que el elemento amortiguador (100) se mueve con respecto a dicho cuerpo de carcasa (30) o larguero interior (40) en la dirección de batimiento para amortiguar las vibraciones de borde.





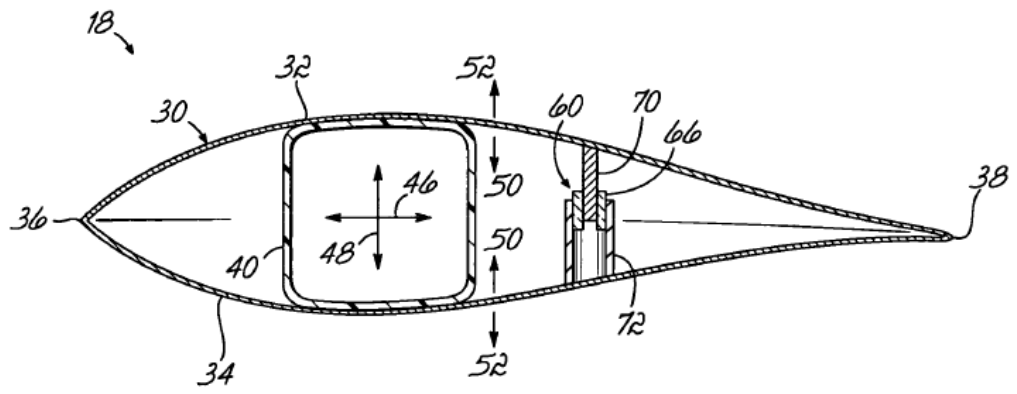


FIG. 4

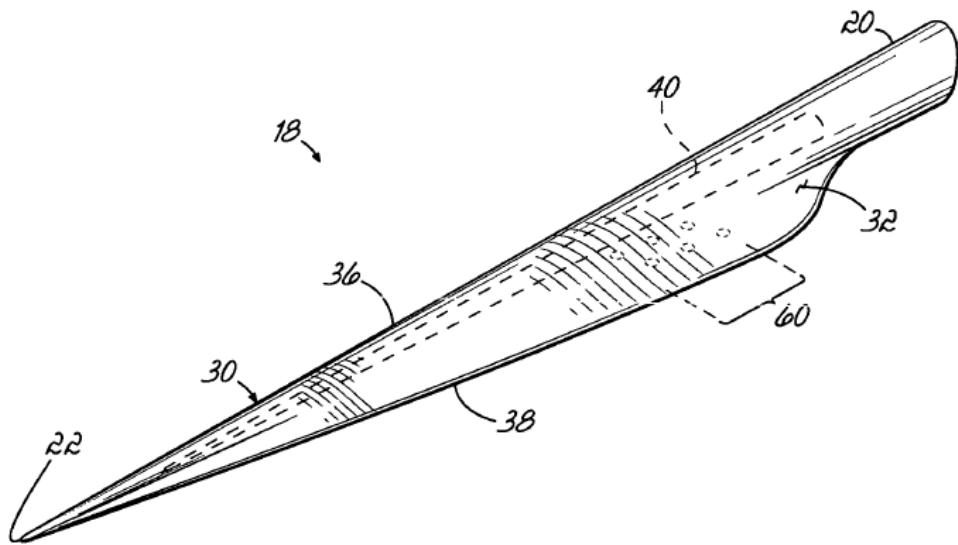


FIG. 5

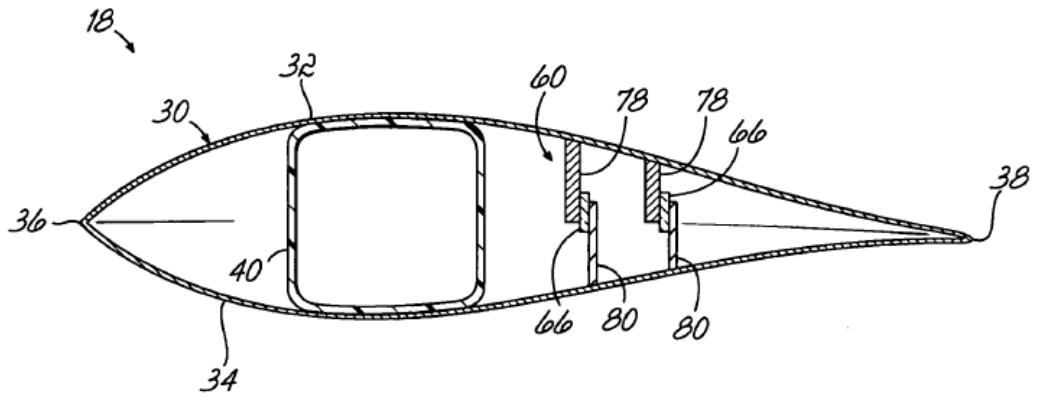


FIG. 6

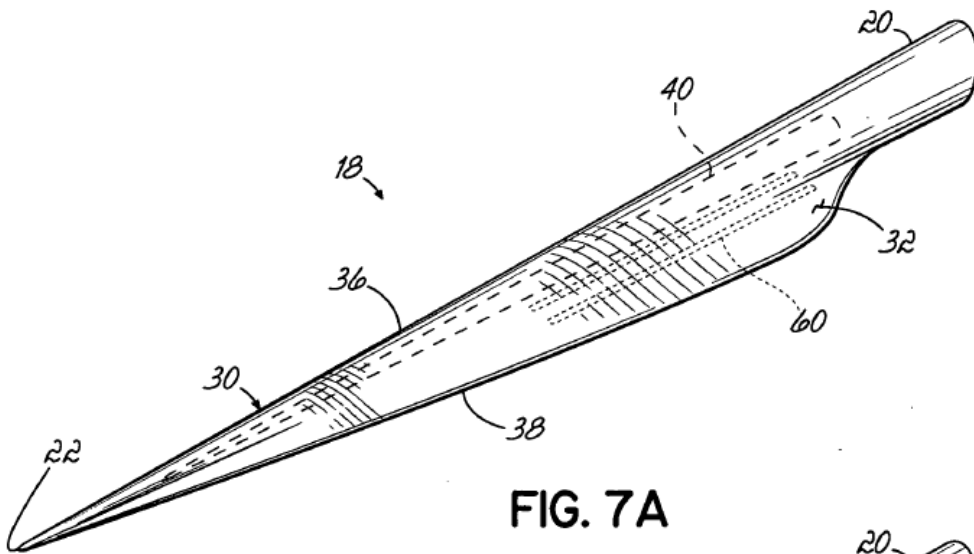


FIG. 7A

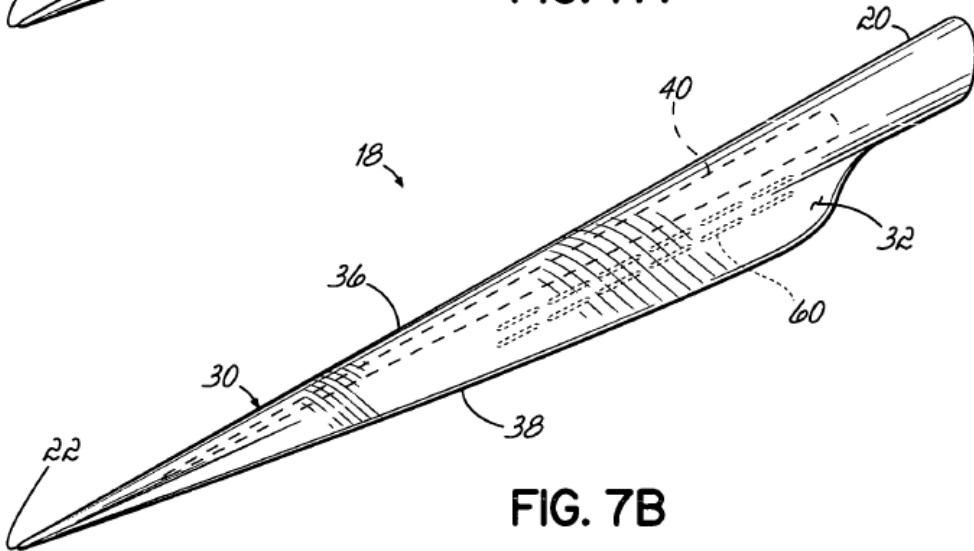


FIG. 7B

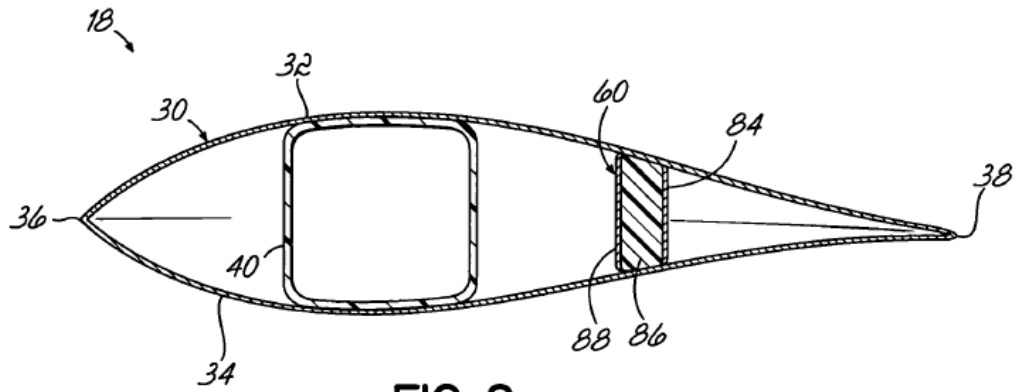


FIG. 8

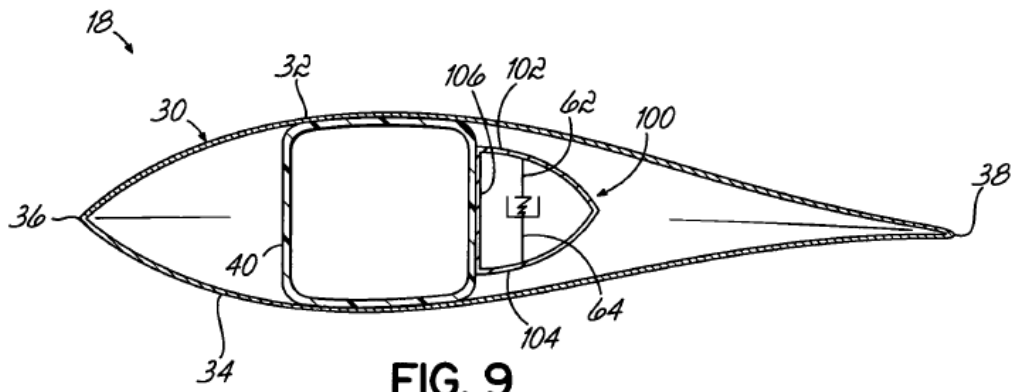


FIG. 9

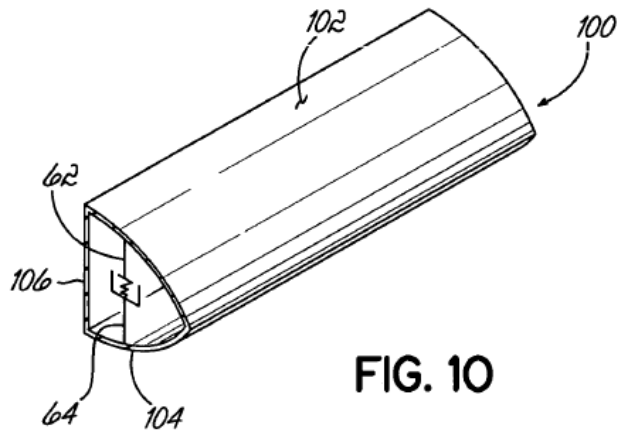


FIG. 10

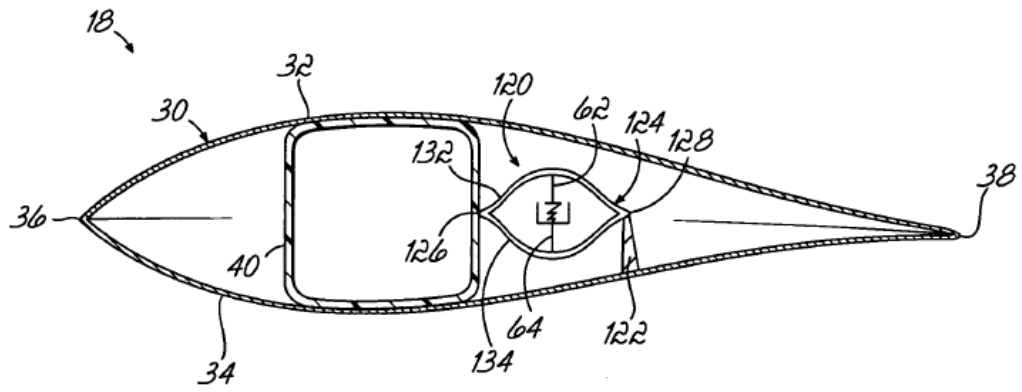


FIG. 11

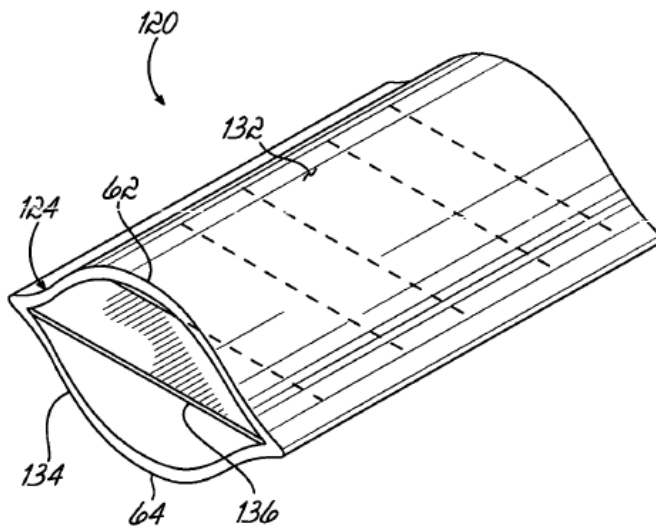


FIG. 12