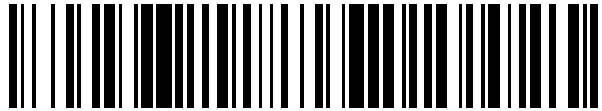


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 403 379**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.10.2009 E 09785200 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2013 EP 2334933**

54 Título: **Un rotor de turbina eólica**

30 Prioridad:

**08.10.2008 GB 0818466**

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

**17.05.2013**

73 Titular/es:

**BLADE DYNAMICS LIMITED (100.0%)  
Saunders Drive Isle Of Wight  
Cowes PO31 8HU, GB**

72 Inventor/es:

**HAYDEN, PAUL TREVOR y  
WHILEY, DAVID ANTHONY**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

**ES 2 403 379 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**

Un rotor de turbina eólica

5 La presente invención se refiere a un buje para una turbina eólica.

10 Las turbinas eólicas de eje horizontal a gran escala actuales tienen pesos de cabeza de torre (incluyendo el rotor, la barquilla y el tren de accionamiento) del orden de 120 a 200 toneladas métricas. Hay una tendencia creciente por turbinas de mayor diámetro, y el peso de la cabeza de torre está aumentando aproximadamente como el cubo del diámetro de la turbina. El propio rotor (compuesto del buje y las palas) supone aproximadamente el 30% del peso de la cabeza de torre. Aproximadamente el 60% de éste se atribuye a las palas, mientras que el 40% es atribuible al buje.

15 El documento US 4.029.434 desvela el montaje de la pala para un molino de viento. La raíz de la pala se extiende en el buje donde está soportado por un conjunto de rodamientos de articulación y un conjunto de rodamientos de articulación y de empuje combinados que permiten que la pala gire alrededor de su eje. El conjunto de rodamientos de articulación y de empuje combinados debe construirse alrededor de la raíz una vez que la raíz está en el lugar. Además, la raíz de la pala se apoya directamente contra los dos rodamientos y, por lo tanto, debe tener una sección transversal circular. El montaje es adecuado para un molino de viento de la década de 1970 (que habría tenido un diámetro de rotor de menos de 20 m), pero no es adecuado para la pala de una turbina eólica de hoy en día, cuya longitud de pala podría ser del orden de una magnitud mayor que la de la pala contemplada por el documento US 4.029.434.

25 El documento US 4.668.109 desvela un conjunto de rodamientos para una turbina eólica. El rodamiento es una unidad sellada que tiene un cilindro exterior que está atornillado al buje por una serie de pernos. Dentro del cilindro está un eje que está soportado en un par de rodamientos. Una pala de turbina eólica finaliza en una pestaña que está atornillada por una serie de pernos a una pestaña que es integral con el eje. El rodamiento tiene un anillo de presión expansivo que está dispuesto para aplicar igual fuerza de compresión a los rodamientos, de manera que la presión se mantenga a medida que se desgasta el rodamiento. El rodamiento está diseñado para adecuarse a una turbina eólica de pequeña escala. La manera en que se conecta el rodamiento lo hace inadecuado para una turbina eólica grande de hoy en día. En particular, el requisito para dos series de juntas atornilladas, cada una en un extremo del rodamiento, haría la junta demasiado pesada para aumentarse hasta el tamaño requerido para una turbina de hoy en día. Su uso en una pala de turbina eólica a gran escala moderna solo empeoraría los problemas mencionados a continuación con respecto a la pluralidad de pernos.

35 El documento US 6.951.433 muestra un diseño inusual de una turbina eólica. Cada pala está en dos partes. Una pala interior se fija al buje y una pala exterior se ajusta de manera radial hacia fuera de la pala interior. Un eje se extiende una distancia corta en cada pala exterior y sobresale en una pala interior respectiva en la que se soporta de manera giratoria por rodamientos. Las palas interiores no parecen ser capaces de girar alrededor de sus ejes principales. Como resultado de esto, la eficacia de la turbina disminuirá a medida que no puedan hacerse girar las palas interiores en la posición aerodinámica óptima. En la práctica, es probable que esto limite el tamaño de la pala que puede construirse de acuerdo con este diseño, de tal manera que es improbable que el diseño sea aplicable a una turbina eólica a gran escala de hoy en día.

45 El documento GB 2.210.420 desvela una disposición de rodamiento para el buje de una turbina eólica. El buje tiene una serie de ejes de mangueta, cada uno de los cuales está rodeado por un bastidor exterior que está soportado de manera giratoria en la mangueta por rodamientos. Cada pala está conectada a este bastidor exterior por una pluralidad de pernos y, como resultado de esto, este diseño sufrirá los problemas mencionados a continuación en relación con las figuras 1 a 3. Un diseño similar con un bastidor que se ajusta a lo largo de un eje de mangueta en el buje se muestra en el documento DE 1.270.411.

El documento US 5.213.470 desvela una turbina eólica más pequeña con palas que están fijadas de manera giratoria al rotor con una disposición de rodamiento no especificada.

55 El diseño actual de un rotor de turbina eólica convencional se muestra en las figuras 1 a 3. El rotor comprende un buje 1, que es una estructura grande, pesada y habitualmente de metal fundido. Tres palas 2 están fijadas al buje, una de las cuales se muestra en la figura 1. El buje tiene un eje 3 de rotor alrededor del que gira el rotor, y las palas están montadas de manera giratoria con el fin de que puedan hacerse girar alrededor de cada uno de los ejes 4 de paso accionados por un motor de paso (no mostrado). Para cada pala, el buje está provisto de un rodamiento 5 de paso anular que soporta la pala 2 con el fin de permitir que gire alrededor del eje de paso. El rodamiento de paso tiene habitualmente un anillo 6 de rodadura exterior y un anillo 7 de rodadura interior con un par de juegos 8 de bolas entre ambos.

65 Las grandes turbinas eólicas de la técnica actual usan dos tipos de diseño de pala general, aquellos con un larguero estructural unido en el interior de una carcasa aerodinámica y aquellos con la estructura de rigidez dentro de la carcasa aerodinámica. En ambos casos los principales elementos estructurales de cada pala finalizan en el extremo

del buje, en lo que se conoce como una estructura de raíz. Esta es la última pieza de la estructura de la pala (habitualmente de 3 a 8 m de longitud) en el extremo proximal de la pala. Esta estructura de raíz recoge todas las cargas de flexión fuera de la pala y en una forma cilíndrica lista para la transferencia al buje a través del rodamiento de paso.

5 El extremo de la raíz de la pala tiene una serie de puntos 9 de fijación de pernos (habitualmente de 60 a 80) alrededor de la circunferencia de la raíz. Estos toman la forma de agujeros 10 en los que se unen los insertos 11 de acero roscados. Una pluralidad de pernos 12 se insertan a través del anillo 7 de rodadura interior y en los insertos 11 para sostener la pala 2 en su lugar.

10 El diseño actual tiene una serie de deficiencias.

La masa del rotor es significativa tanto en términos de la carga sobre el tren de accionamiento como también de la masa de la cabeza de torre. Esto tiene un efecto significativo, en particular para grandes turbinas, en la interacción 15 dinámica entre el rotor y la torre. Para instalaciones en alta mar, una gran masa de cabeza de torre es uno de los problemas significativos con un despliegue de coste efectivo de la tecnología en este entorno.

Los insertos 11 son muy difíciles de producir con un alto grado de repetibilidad. Estos son uno de los puntos con una mayor carga en la estructura de la pala, sin embargo esto depende de una serie de uniones secundarias, donde se 20 usa un adhesivo de muy alto rendimiento para unir los pernos metálicos al componente de raíz de material compuesto.

Además, los insertos son habitualmente metálicos y pueden provocar problemas, debido a las diferencias en el coeficiente de expansión térmica relativo a la estructura de la raíz de material compuesto, así como dificultades en la adherencia de la unión al inserto de acero. Además, se necesitan secciones más gruesas de material compuesto en 25 el extremo de la raíz de la pala para reducir los desajustes por flexión con los insertos metálicos. Esto conduce a que el extremo de la raíz de la pala sea pesado.

El rodamiento de paso también tiene que recoger los momentos de flexión completos del flap ( $M_{Flap}$  en la figura 3) y del canto (borde) de la pala. También tiene que recoger la carga ( $F_{Axial}$ ) axial provocada por la carga centrífuga y gravitacional, así como las cargas del flap ( $F_{Flap}$ ) y del canto ( $F_{Borde}$ ) radiales. Esto significa que los rodamientos son 30 de diámetro grande, caros y de componentes pesados con el fin de ser capaces de hacer frente a las fuerzas grandes y variadas. Una serie de rodamientos de paso han fallado en su uso con estas cargas.

El gran diámetro requerido para el rodamiento de paso por las razones expuestas anteriormente significa que el extremo de la raíz de la pala necesita hacerse más grueso (mayor diámetro) de lo que es deseable para el funcionamiento aerodinámico, disminuyendo de este modo la eficacia de la pala.

El conjunto de la pala sobre el buje requiere un apriete preciso de un gran número de pernos con el fin de lograr una adecuada resistencia a la fatiga en los pernos y evitar la distorsión del rodamiento de paso. Este es un proceso que consume tiempo que debe realizarse con gran cuidado si quieren evitarse los problemas.

La presente invención proporciona una interfaz entre el buje y las palas de turbina eólica que aborda al menos algunas de las deficiencias expuestas anteriormente.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un rotor de turbina eólica que tiene un diámetro de al menos 45 m que comprende un buje y una pluralidad de palas, comprendiendo el buje una pluralidad de lugares, teniendo cada uno un par de rodamientos anulares espaciados entre sí para recibir una pala de turbina eólica respectiva, teniendo cada pala un larguero que se extiende a lo largo de una parte sustancial de la longitud de la pala y que sobresale desde el extremo proximal de la pala, sobresaliendo el larguero en y recibiendo de manera giratoria dentro de los respectivos rodamientos espaciados entre sí y fijándose al buje.

En lugar de finalizar la pala y proporcionar un extremo de raíz circular voluminoso, la presente invención adopta el enfoque de extender el larguero en el buje y soportar el buje y el larguero de forma giratoria en un par de rodamientos espaciados entre sí.

Esto significa que en lugar de un gran rodamiento que soporta el momento de flexión completo de la pala perpendicular al plano de rotación, ahora hay dos rodamientos más pequeños que soportan el momento de flexión fuera de la pala dentro del plano de rotación de cada rodamiento. Esto no solo proporciona una situación de carga que es más adecuada para un rodamiento (en el plano de rotación del rodamiento en lugar de perpendicular al plano de rotación del rodamiento) sino que también permite que se reduzcan las cargas en cada rodamiento aumentando la separación de los rodamientos. Por lo tanto, se reduce la carga sobre cada rodamiento y es en una dirección que el rodamiento es más capaz de soportar, lo que conduce a una disposición de rodamiento menor y más fiable. En 60 la última instancia esto conduce a un coste reducido del rodamiento y a una mayor fiabilidad cuando se compara con la técnica anterior. También permite que se simplifiquen los medios por los que la pala se fija al buje reduciendo o eliminando la necesidad de un extremo de raíz grueso para alojar la serie de pernos.

Preferentemente, el espaciado entre los rodamientos es de al menos 1 m, y más preferentemente de al menos 1,5 m.

5 La pala todavía puede conectarse al buje usando el inserto de unión y la conexión de perno de la técnica anterior. En vista del soporte adicional proporcionado por los rodamientos mencionados anteriormente, el tamaño de la conexión del buje podría reducirse en cierta medida, lo que conduce a algunos beneficios. Sin embargo, preferentemente, cada larguero se fija de manera radial al buje en una localización hacia el interior del extremo distal del rodamiento distal.

10 Por el contrario, en el diseño convencional, la pala se apoya contra el extremo distal del rodamiento de tal manera que no haya superposición. Tan pronto como la pala comienza a superponerse con los rodamientos, las cargas de flexión sobre la pala comienzan a reducirse a medida que se recogen por los rodamientos. Esto facilita la fijación de la pala al buje puesto que cualquier fijación que se use tiene que soportar una carga menor.

15 Preferentemente, cada larguero se fija de manera radial al buje en una localización hacia el interior del extremo proximal del rodamiento proximal. Esto maximiza la ventaja mencionada anteriormente puesto que, más allá del extremo proximal del rodamiento proximal, los momentos de flexión en la pala se han reducido a cero. La fijación entre la pala y el buje solo se requiere entonces para soportar la fuerza axial ( $F_{Axial}$ ) sobre la pala provocada por la carga gravitacional y centrífuga. Por lo tanto, esta fijación puede simplificarse considerablemente cuando se  
20 compara con los múltiples pernos e insertos de acero de la técnica anterior.

Preferentemente, la pala está soportada por un pasador insertado de manera proximal a través de un agujero en la pala del rodamiento proximal, apoyándose el pasador contra una cara proximal del rodamiento proximal para soportar las cargas axiales.

25 El buje del rotor puede fabricarse de manera predominante a partir de material compuesto. Las únicas piezas metálicas pueden ser los rodamientos de paso y los rodamientos y soportes para la fijación del eje del rotor. La sección del buje entre los dos rodamientos reemplaza esencialmente lo que era la "estructura de raíz" del documento PCT/GB2008/002571. En esta sección la raíz tiene de manera predominante más material unidireccional  
30 en las caras que están recogiendo las mayores cargas de la pala (habitualmente las partes del flap) y de manera predominante más material multiaxial en las caras que están recogiendo las mayores cargas de corte (habitualmente las partes del canto). Esta variación en la estructura laminada puede reproducirse en esta sección del buje permitiendo un uso y una orientación óptimos de los diferentes tipos y disposiciones de fibras, y esto es ahora una vía preferida en este caso. Además, la necesidad de insertos metálicos puede evitarse moviendo de manera  
35 proximal la fijación de los rodamientos, eliminando de este modo la necesidad de hacer la pala más gruesa en el extremo de la raíz. Estas consideraciones por sí solas proporcionan una reducción de alrededor del 25% de la masa del buje y la raíz.

40 Preferentemente, el larguero y los rodamientos están configurados para permitir que cada pala se deslice dentro y fuera del buje a lo largo del eje de rotación respectivo de la pala. Esto proporciona una manera sencilla de montar las palas en el buje.

La presente invención se extiende también a un método o montaje de una turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto de la invención, comprendiendo el método montar el buje con el par de rodamientos anulares en cada lugar;  
45 insertar el larguero de cada pala en su respectivo par de rodamientos anulares; y fijar cada pala al buje.

El método es una mejora sobre la técnica anterior puesto que permite una fijación mucho más sencilla entre la pala y el buje, en particular si el larguero se fija de manera radial al buje hacia el interior del extremo proximal del rodamiento proximal, y de manera ideal usando el pasador.

50 El método también ofrece la posibilidad de fijar un buje a una torre de turbina eólica y montar posteriormente la turbina eólica de acuerdo con el método anterior. En la actualidad, el rotor completamente montado se levanta sobre la torre. Este es un proceso complejo que usa grúas muy caras para mover un componente pesado, físicamente grande y razonablemente delicado a su lugar. Si el buje puede ponerse en su lugar antes de que se fijen las palas,  
55 es una tarea mucho más sencilla levantar las palas individuales en cada lugar usando una grúa más básica, o un cabrestante en la parte superior de la torre.

A continuación se describirán ejemplos de un rotor para una pala de turbina eólica con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

60 La figura 1 es una sección transversal esquemática de un rotor de la técnica anterior;  
La figura 2 es una sección transversal a través de la parte marcada como II en la figura 1;  
La figura 3 es una perspectiva esquemática de un rotor que muestra las diversas cargas en el rotor;  
La figura 4 es una sección transversal a través de un rotor de un primer ejemplo en un plano perpendicular al  
65 eje de rotación del rotor;  
Las figuras 4A-4C son secciones transversales de la pala a través de las líneas A-A, B-B y C-C

respectivamente;

La figura 5 es una vista en perspectiva del buje y la pala antes de la inserción de una pala en el buje;

La figura 6 es una vista similar a la figura 5 que muestra la pala insertada en el buje;

La figura 7 es una vista similar a la figura 4 que muestra diversos tipos de rodamiento;

5 La figura 8 es una vista similar a la figura 4 que muestra una primera conexión de pasador;

La figura 9 es una vista similar a la figura 4 que muestra una segunda conexión de pasador;

La figura 10 es una vista similar a la figura 4 que muestra una tercera conexión de pasador; y

La figura 11 es una vista similar a la figura 4 que muestra un segundo ejemplo de un rotor y una pala.

10 A lo largo de la presente memoria descriptiva, el término distal se refiere a una parte hacia el borde más externo de manera radial del rotor (es decir, hacia las puntas de la pala), mientras que el término proximal se refiere a la parte más interna de manera radial del rotor (es decir, hacia el centro del buje).

15 Las diversas fuerzas que actúan sobre la pala se muestran en la figura 3 que se describe en la introducción y por lo tanto no se repetirá en el presente documento.

20 El rotor comprende un buje 20 al que se fijan tres palas 21 (solo una de las cuales se muestra en la figura 4). En todos los casos, la extensión radial del buje es preferentemente menos del 15% del radio total desde el centro del buje hasta la punta de la pala distal. La pala que se muestra se fija en un primer puerto 22 y debe entenderse fácilmente que las dos palas restantes se fijan de idéntica manera en los puertos 23, 24 restantes.

25 El rotor puede hacerse girar alrededor del eje 25 principal. Cada una de las palas puede hacerse girar alrededor de un eje 26 de paso por un motor de paso respectivo (no mostrado) con el fin de optimizar el ángulo de la pala para las condiciones de viento imperantes.

30 Cada pala comprende una carcasa 27 exterior que se extiende hasta la punta de la pala con el fin de formar el perfil exterior de la pala. Un larguero 28, como se muestra mejor en la figura 5, se extiende sustancialmente hasta la punta de la pala y sobresale desde el extremo proximal de la carcasa 27. En todos los ejemplos, la parte saliente del larguero está preferentemente de manera radial hacia el interior de la parte aerodinámica de la carcasa 27.

35 La estructura en sección transversal del larguero puede ser de cualquier tipo conocido en la técnica. Sin embargo, preferentemente, el larguero se monta a partir de una pluralidad de vigas (en este caso cuatro) dispuestas de lado a lado como se muestra en las figuras 4A-4C. En este caso, cada una de las vigas es una viga de caja que comprende un par de bandas 29 de corte de material multiaxial con un cordón 30 de larguero de material uniaxial en los extremos superior e inferior. El material de núcleo puede insertarse entre las bandas 29 adyacentes en ciertas localizaciones si esto es necesario para evitar el pandeo.

40 Cada puerto dentro del buje está provisto de un par de rodamientos, en concreto un rodamiento 31 exterior y un rodamiento 32 interior. El rodamiento 31 exterior tiene un anillo 33 de rodadura interior y un anillo 34 de rodadura exterior, mientras que el rodamiento 32 interior tiene un anillo 35 de rodadura interior y un anillo 36 de rodadura exterior. Una serie de diferentes configuraciones de rodamiento se muestran en la figura 7. El rodamiento puede ser un rodamiento esférico mostrado en la figura 7A que solo tiene contacto deslizante entre los dos anillos de rodadura. Puede haber un único anillo 51 de rodadura de bolas (figura 7B) o un único anillo 52 de rodadura de rodillos en el que los rodillos son cilíndricos y están orientados aproximadamente 45° con respecto al eje 26 (figura 7C). Como alternativa, puede haber un par de anillos 53 de rodadura de bolas (figura 7D) o tres anillos 54 de rodadura de rodillos con sus ejes dispuestos en paralelo al eje 26 (figura 7E). También pueden usarse otras configuraciones de rodamiento conocidas.

45 El rodamiento 31 exterior está provisto de un par de resaltes 37 de rodamiento que se dimensionan con el fin de apoyarse con la superficie interior del anillo 33 de rodadura interior y también con las superficies más exteriores de manera radial del larguero 28 para soportar firmemente el larguero 28 dentro del anillo 33 de rodadura interior.

50 El larguero 28 tiene un área 38 en sección transversal reducida en su extremo distal, y el diámetro del rodamiento interior es, en consecuencia, más pequeño como se hace evidente por la figura 4. También, en este punto, el cordón 30 de larguero ha finalizado y el extremo superior de los bordes de las bandas 29 de corte se ajusta estrechamente con la pared interior del anillo 35 de rodadura interior como se muestra en la figura 4A. De una manera similar a la del rodamiento 31 exterior, el rodamiento 32 interior tiene también un par de resaltes 39 de rodamiento que proporcionan un ajuste apretado con el larguero 28, pero son considerablemente más pequeños que las bandas 37 de rodamiento del rodamiento exterior. El larguero 28 sobresale de manera proximal del rodamiento 32 interior y está provisto de una abertura 40 que recibe un pasador 50 de retención. El pasador es un ajuste por fricción, pero podría sujetarse de otras maneras. Con el fin de permitir que se retire la pala, el pasador puede ser un perno de expansión radial. El pasador 50 de retención tiene un diámetro de 50 a 60 mm, y es lo suficientemente largo para sobresalir al menos detrás del par de resaltes 39 de rodamiento y preferentemente también detrás del anillo 35 de rodadura interior.

65 Un montaje alternativo del pasador 50 de retención se muestra con mayor detalle en la figura 8.

En este ejemplo, un collar 51 de rodamiento se sujeta al anillo de rodadura interior por una pluralidad de pasadores 52 para sobresalir de manera proximal del anillo de rodadura interior. Como se muestra en la sección A-A y B-B el pasador 50 pasa a través de todo el ancho del larguero 28 a través de unos agujeros en las bandas 29 de corte, y se soporta en cada extremo en el collar de rodamiento. De esta manera, la carga se transfiere desde el larguero, a través del pasador 50, a continuación al anillo 35 de rodadura interior por una combinación del apoyo con el collar 51 de rodamiento, y la carga se transmite por los pasadores 52. La carga se soporta entonces en el buje a través de cualquiera de los rodillos/bolas de rodamiento si se presenta en el anillo 36 de rodadura exterior. Debe señalarse que siempre ha sido necesario soportar la pala en los rodamientos, por ejemplo, como se muestra en la figura 2. Sin embargo, los requisitos de carga en cada rodamiento pueden reducirse considerablemente proporcionando dos rodamientos separados y reduciendo las cargas totales soportadas por los rodamientos.

De las cargas mostradas en la figura 3, la carga  $F_{Axial}$  axial se soporta por el rodamiento de pasador contra el extremo proximal del rodamiento interior. Solo la carga  $M_{Torque}$  de rodamiento radial se soporta por los rodamientos, e incluso entonces, esta se divide entre los rodamientos interiores y exteriores. Como los rodamientos están espaciados entre sí, son capaces de recoger los momentos ( $M_{Flap}$ ) y ( $M_{Borde}$ ) de flexión en la propia pala. Estos momentos de flexión y las cargas  $F_{Borde}$  y  $F_{Flap}$  de corte se transmiten a los rodamientos solo como cargas radiales y, por lo tanto, pueden soportarse por los resaltes de rodamiento y los anillos de rodadura interiores. Esto contrasta muy favorablemente con las cargas fuera de plano significativas aplicadas al rodamiento de paso grande en un buje convencional.

Una segunda configuración de conexión de pasador se muestra en la figura 9. Esta es similar a la de la figura 8, excepto que un segundo collar 53 de rodamiento está fijado al extremo proximal del otro rodamiento 31 a través de una pluralidad de pasadores 54 como se muestra en la sección C-C y D-D. La conexión de pasador en el rodamiento 31 exterior es similar a la conexión para el rodamiento 32 interior. En este caso, el pasador 55 también pasa a través de los resaltes 37 de rodamiento. Al soportar la carga sobre dos pasadores 50, 55, se reduce la carga axial transmitida a cada rodamiento.

Una tercera configuración de conexión de pasador se muestra en la figura 10. En este caso, un solo pasador 56 de retención se proporciona a mitad de camino entre los dos rodamientos 31, 32. Un par de enlaces 57 de rodamiento de extensión axial se extienden a lo largo del larguero 28 entre los dos rodamientos 31, 32 con el fin de transmitir las cargas axiales a los anillos 33, 35 de rodadura interiores de los dos rodamientos. Dentro de cada rodamiento, el enlace 57 se apoya contra el resalte 37, 39 de rodamiento transmitiendo la carga a los anillos de rodadura interiores. El resalte de rodamiento y el enlace de rodamiento pueden ser integrales uno con otro como se muestra, o pueden ser componentes separados.

La figura 11 muestra un segundo ejemplo de una configuración de rotor y pala. Este ejemplo se asemeja más estrechamente a la disposición de la técnica anterior mostrada en la figura 1, y se han usado los mismos números de referencia para designar los mismos componentes. En este caso, el rodamiento 5 distal corresponde al rodamiento 5 de paso anular de la técnica anterior. Sin embargo, en lugar de finalizar en este punto, un larguero 70 que sobresale desde el extremo distal de la pala 2 se extiende en el buje y en un rodamiento 71 interior soportado sobre un saliente 72 anular dentro del buje. La pala 2 puede conectarse al buje 1 simplemente a través del rodamiento 5 distal de una manera convencional. Como alternativa, puede conectarse adicionalmente en el rodamiento 71 distal, por ejemplo, usando un pasador como se ha descrito anteriormente. De hecho, puede usarse cualquiera de las juntas de pasador desveladas anteriormente.

Incluso si no hay ningún soporte adicional para la pala 2 más allá del proporcionado por el rodamiento 5 de paso convencional, las cargas en este rodamiento todavía se reducen debido al soporte adicional proporcionado a la pala por el rodamiento 71 interior. Si el larguero 4 tiene algunas fijaciones adicionales, esto reduce aún más la carga sobre el rodamiento exterior.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un rotor de turbina eólica que tiene un diámetro de al menos 45 m que comprende un buje (20) y una pluralidad de palas (21), comprendiendo el buje una pluralidad de lugares, teniendo cada uno un par de rodamientos (31, 32) anulares espaciados entre sí para recibir una pala de turbina eólica respectiva, teniendo cada pala un larguero (28) que se extiende a lo largo de una parte sustancial de la longitud de la pala y que sobresale desde el extremo proximal de la pala, sobresaliendo el larguero en y recibándose de manera giratoria dentro de los rodamientos espaciados entre sí respectivos y fijándose al buje.
- 10 2. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 1 donde el buje está fabricado de manera predominante a partir de materiales plásticos reforzados con fibra.
- 15 3. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, donde el espaciamiento entre los rodamientos es de al menos 1 m.
- 20 4. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 3, donde el espaciamiento entre los rodamientos es de al menos 1,5 m.
5. Un rotor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, fijándose cada larguero al buje en una localización de manera radial hacia el interior del extremo distal del rodamiento distal.
- 25 6. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 5, donde cada larguero está fijado al buje en una localización de manera radial hacia el interior del extremo proximal del rodamiento proximal.
7. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 6, donde la pala está soportada por un pasador insertado de manera proximal a través de un agujero en la pala del rodamiento proximal, apoyándose el pasador contra una cara proximal del rodamiento proximal para soportar las cargas axiales.
- 30 8. Un rotor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde cada rodamiento comprende un anillo de rodadura interior y un anillo de rodadura exterior complementario dentro del buje, ajustándose cada larguero en el anillo de rodadura interior de sus dos rodamientos respectivos con el fin de girar junto con el anillo de rodadura interior.
- 35 9. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 8, donde cada larguero tiene una sección transversal no circular que se ajusta en las aberturas complementarias en los anillos de rodadura interiores de los dos rodamientos respectivos con el fin de soportar el larguero.
- 40 10. Un rotor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el larguero y los rodamientos están configurados para permitir que cada pala se deslice dentro y fuera del buje a lo largo del eje de rotación respectivo de la pala.
- 45 11. Un método de montaje de un rotor de turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el método montar el buje con el par de rodamientos anulares en cada lugar; insertar el larguero de cada pala en su par respectivo de rodamientos anulares; y fijar cada pala al buje.
- 50 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, donde la inserción del larguero de cada pala en su lugar respectivo comprende insertar el larguero en la dirección del eje de rotación de la pala.
13. Un método de montaje de una turbina eólica que comprende fijar un buje a una torre de turbina eólica y montar posteriormente la turbina eólica de acuerdo con el método de la reivindicación 11 o 12.

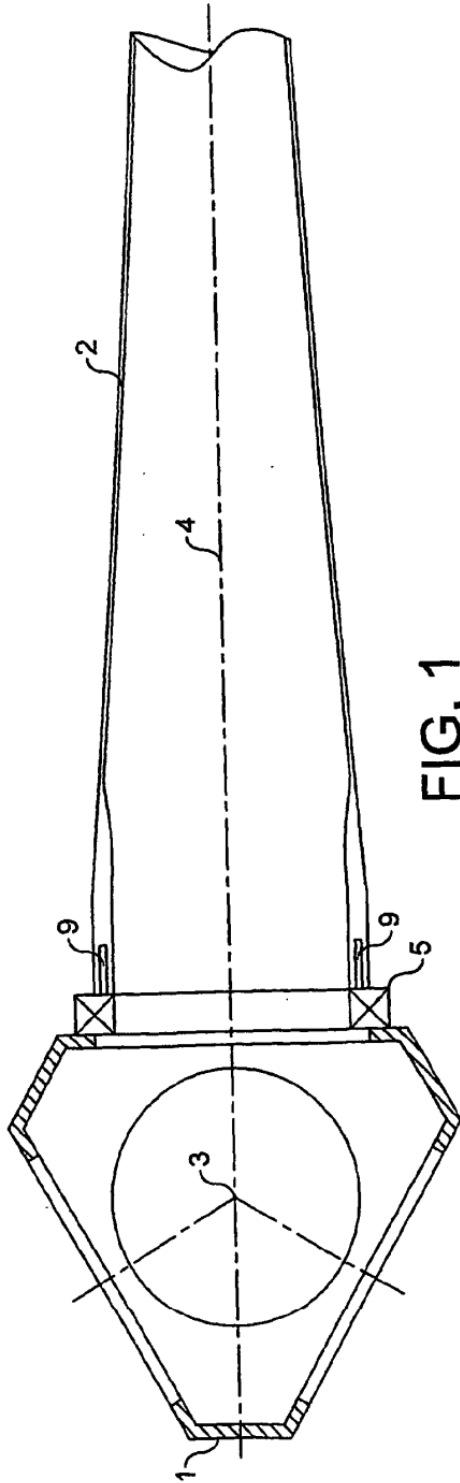


FIG. 1

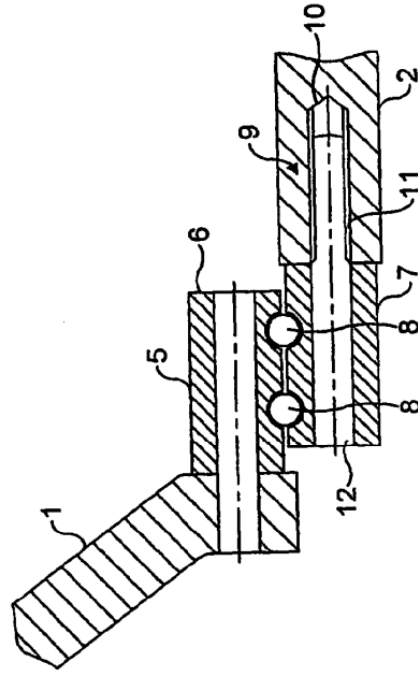


FIG. 2



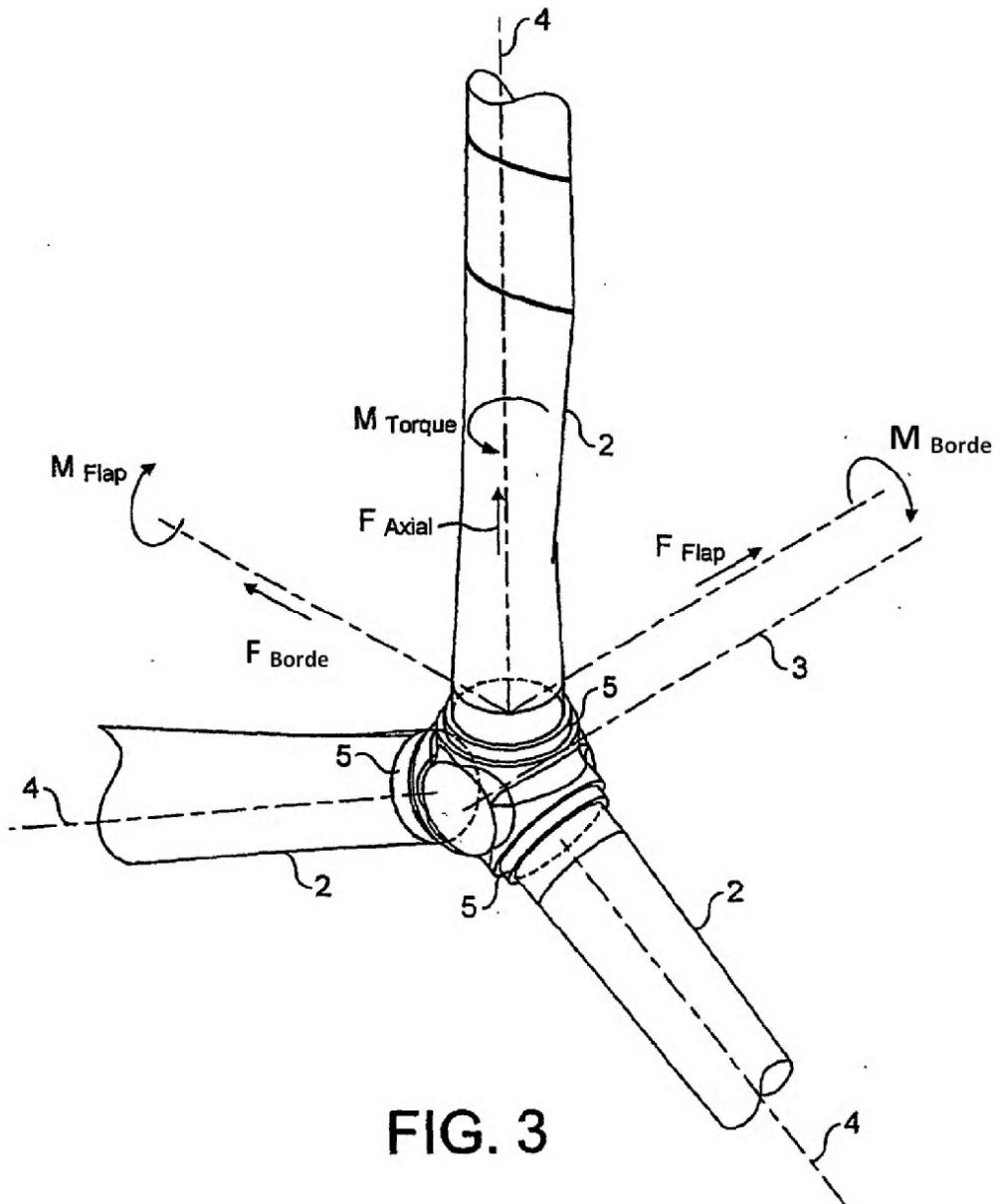
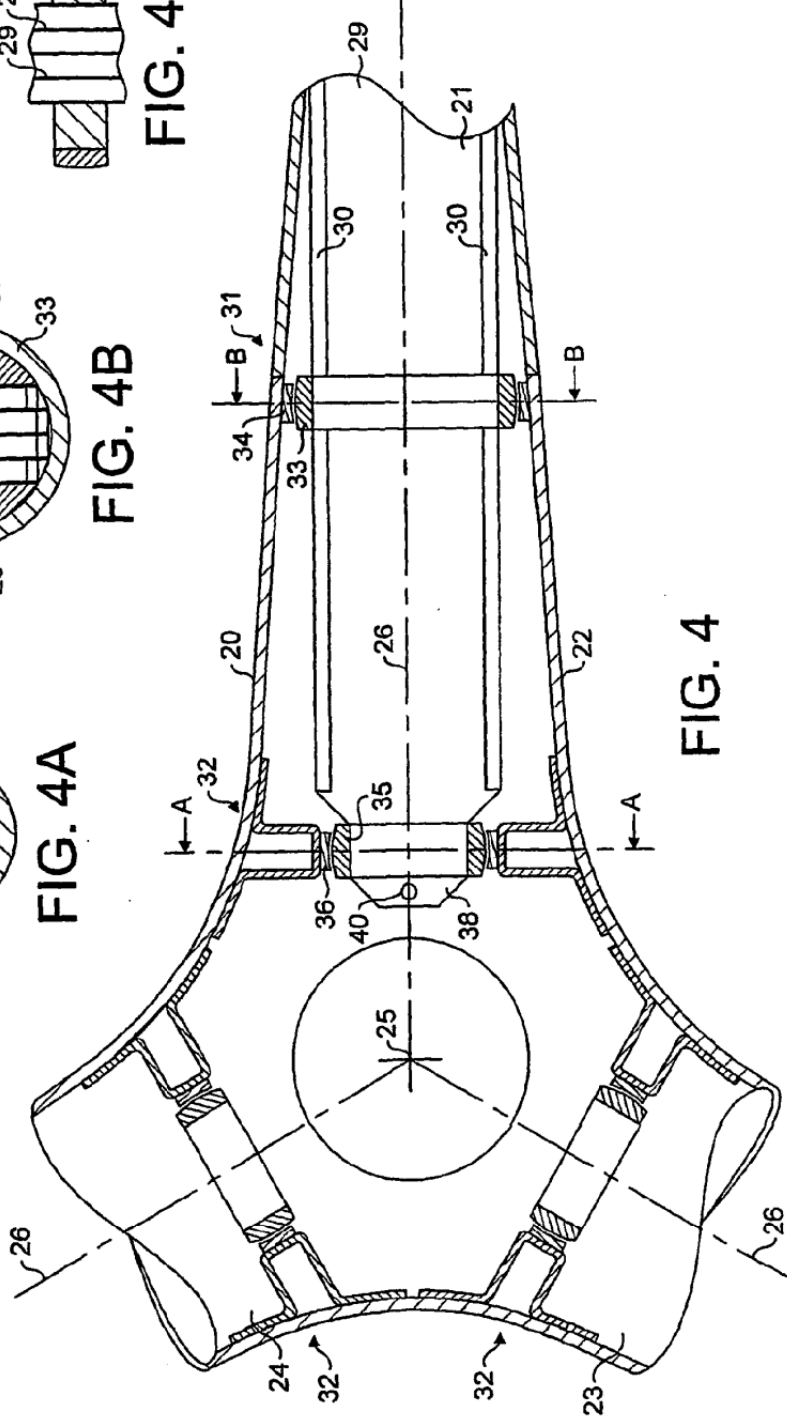
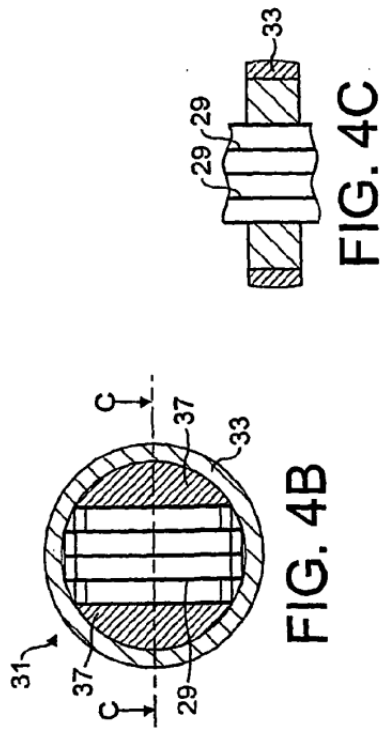
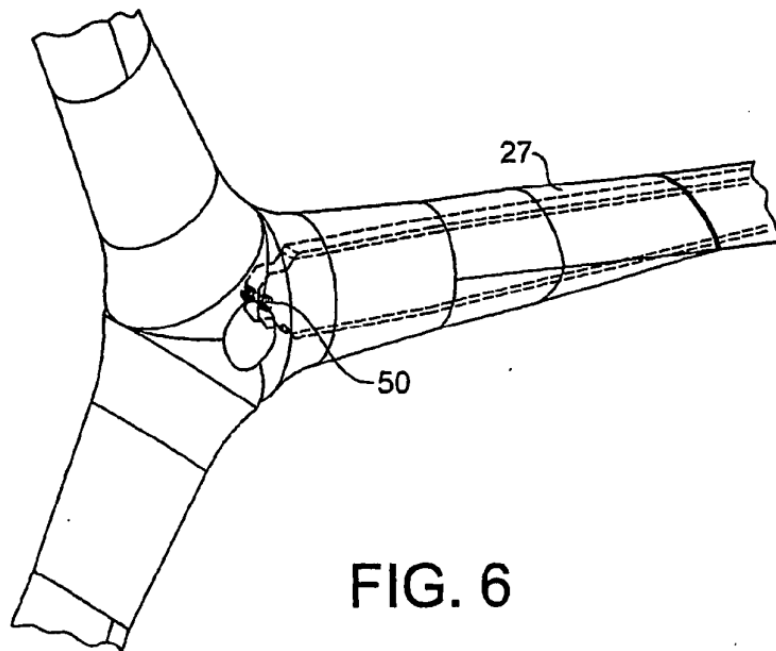
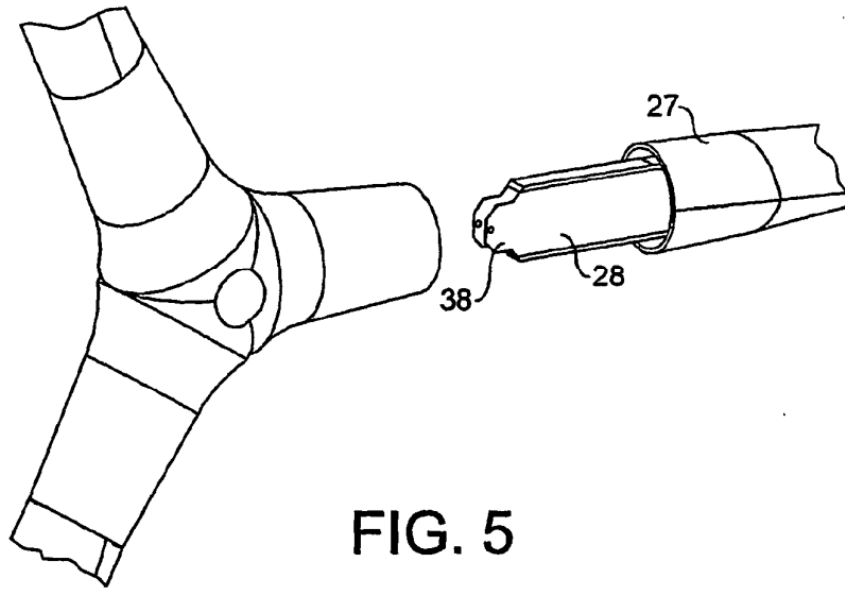


FIG. 3





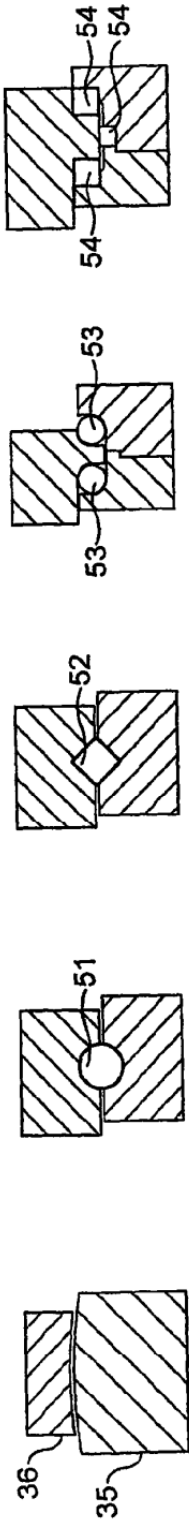


FIG. 7E

FIG. 7D

FIG. 7C

FIG. 7B

FIG. 7A

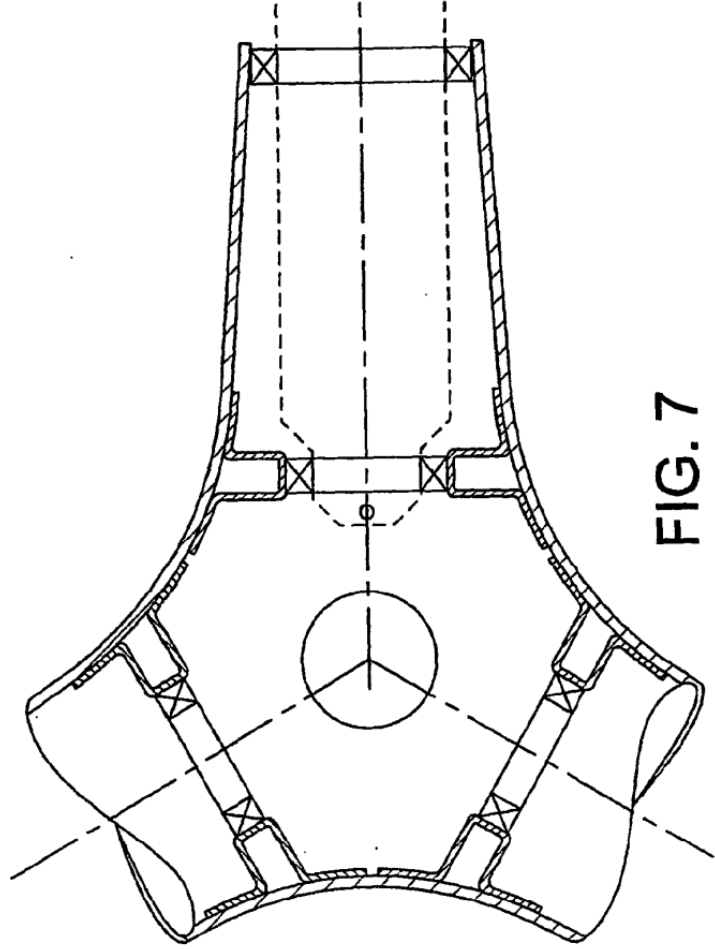


FIG. 7

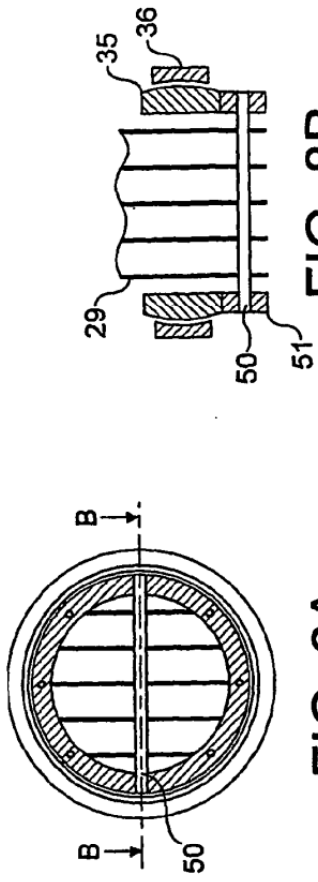


FIG. 8B

FIG. 8A

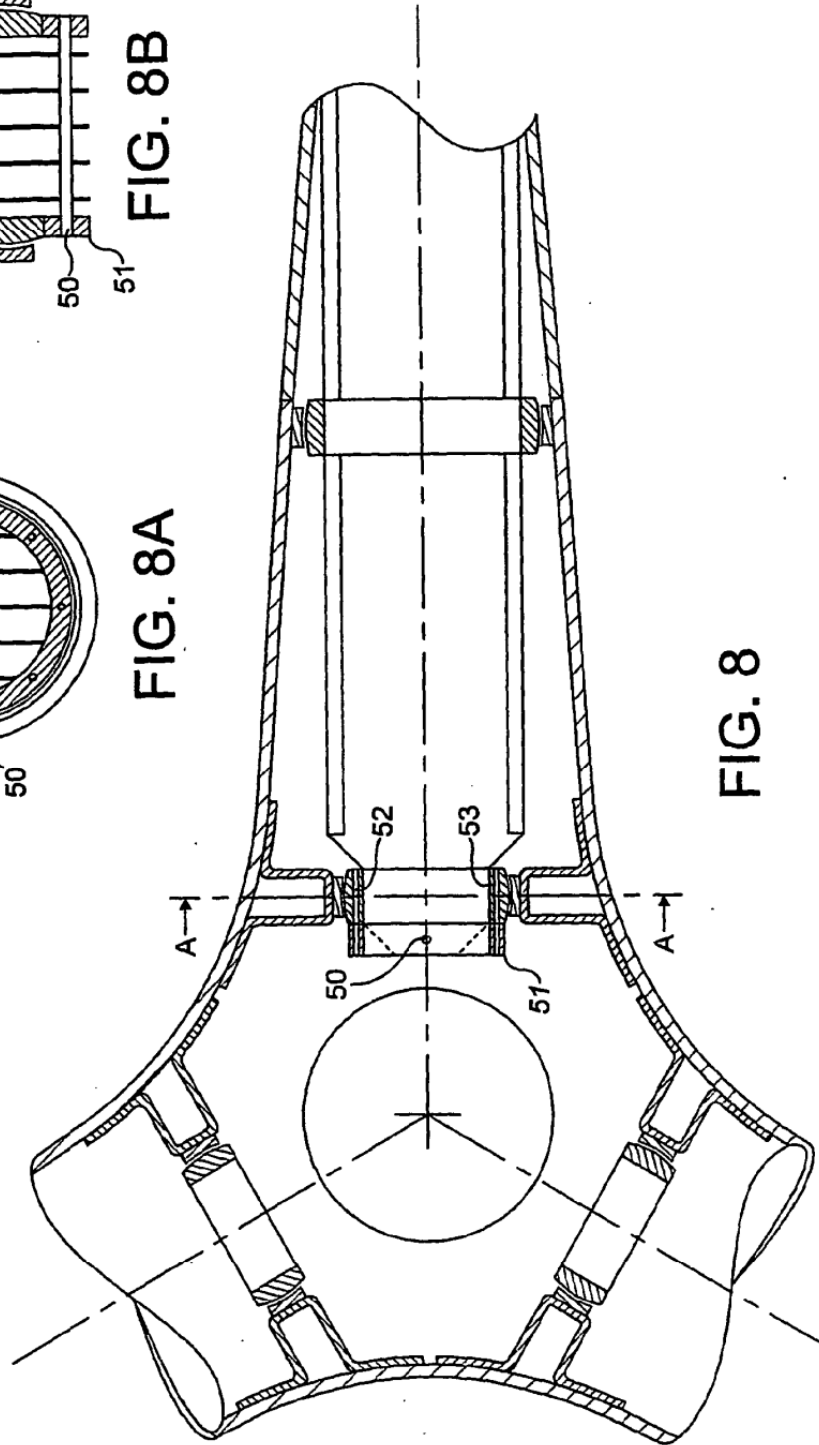


FIG. 8

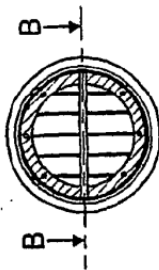


FIG. 9A

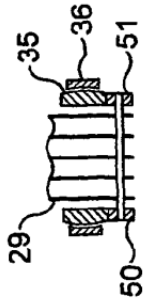


FIG. 9B

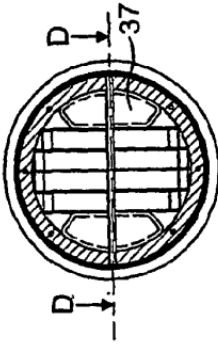


FIG. 9C



FIG. 9D

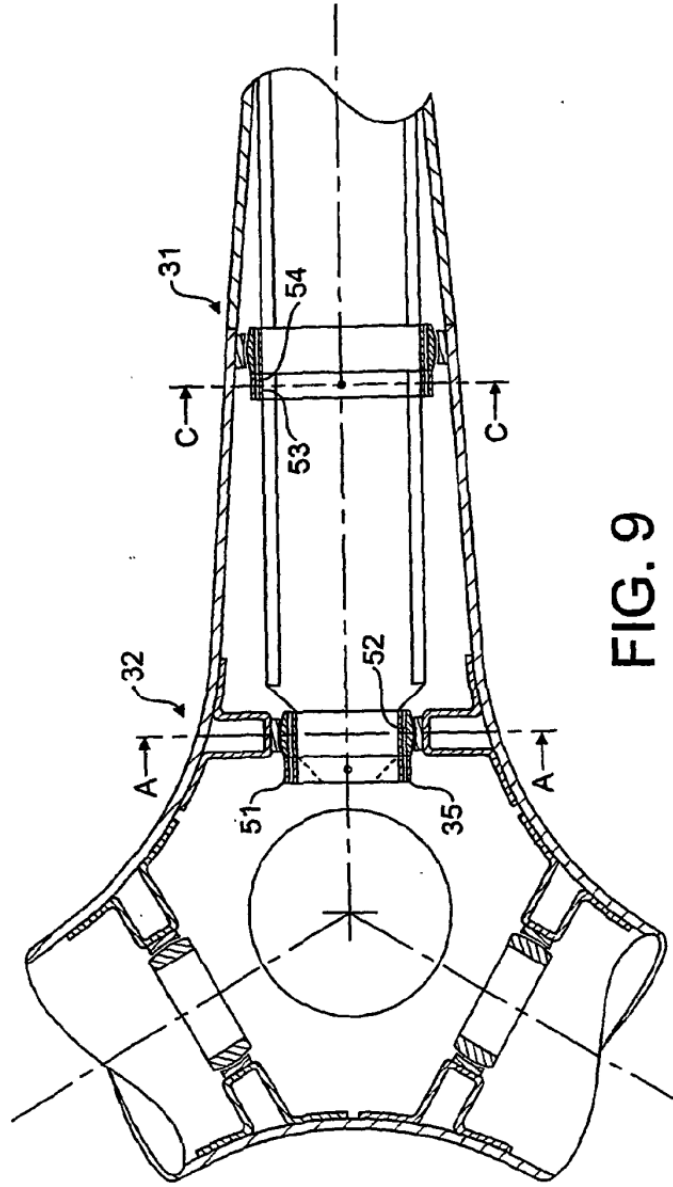
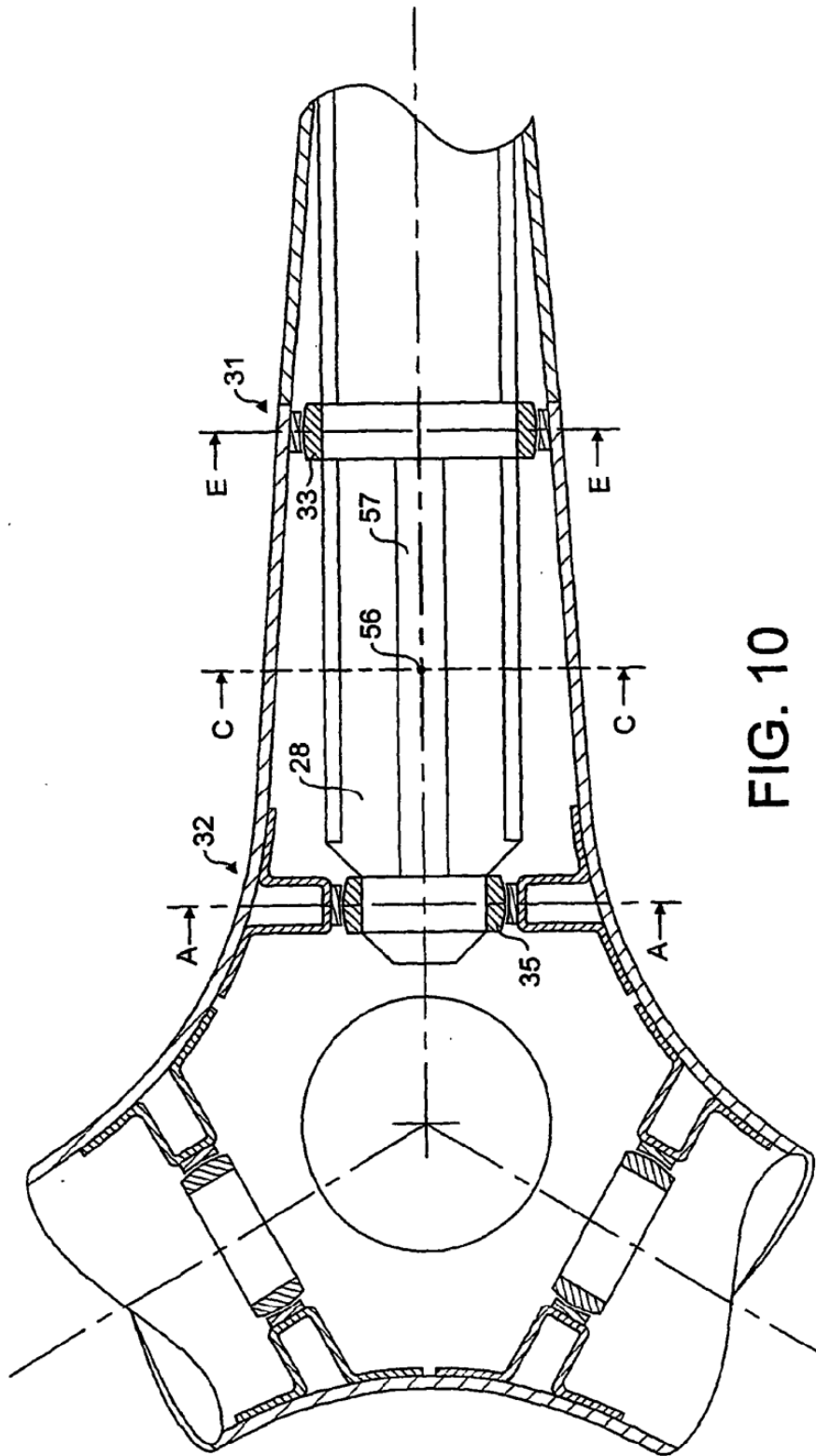


FIG. 9



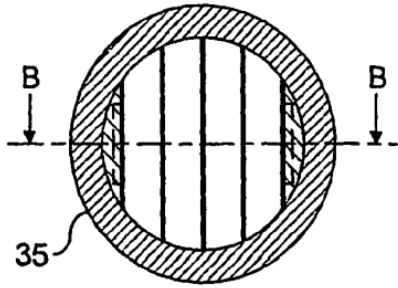


FIG. 10A

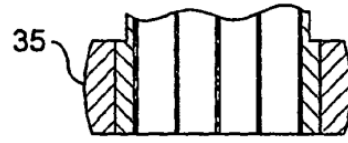


FIG. 10B

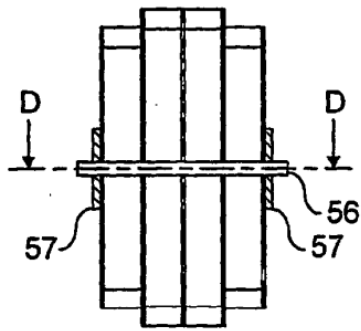


FIG. 10C

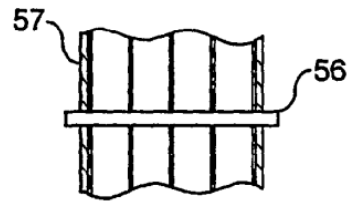


FIG. 10D

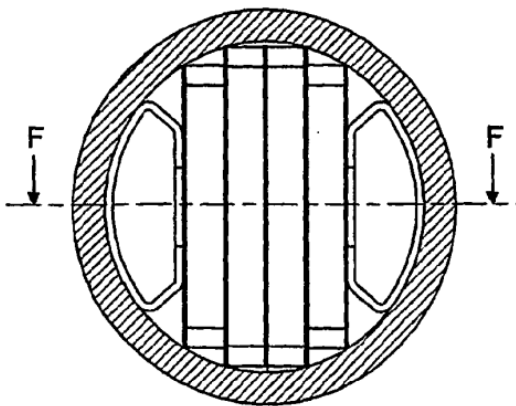


FIG. 10E

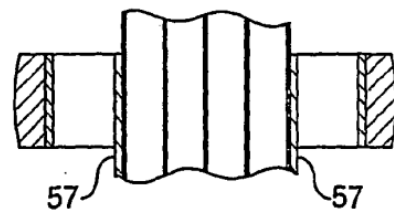


FIG. 10F



