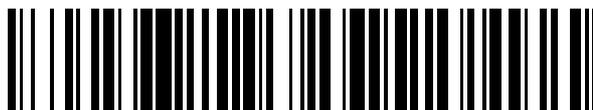


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 370 420**

51 Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

F16H 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **06786879 .4**

96 Fecha de presentación: **12.07.2006**

97 Número de publicación de la solicitud: **1902216**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.03.2008**

54 Título: **TURBINA EÓLICA CON REVESTIMIENTO DE SOPORTE DE CARGA.**

30 Prioridad:
12.07.2005 US 698720 P

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.12.2011

73 Titular/es:
**HAMILTON SUNDSTRAND CORPORATION
ONE HAMILTON ROAD
WINDSOR LOCKS, CT 06096, US**

72 Inventor/es:
BERTOLOTTI, Fabio, P.

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 370 420 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

Turbina eólica con revestimiento de soporte de carga.

5 CAMPO TÉCNICO

Esta invención se refiere a turbinas de viento o turbinas eólicas que generan energía eléctrica a partir de energía del viento, y en particular se refiere a turbinas de viento o turbinas eólicas que tienen un eje de rotor horizontal.

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Un objetivo común para los fabricantes de turbinas de viento o turbinas eólicas comerciales es diseñar y producir una turbina eólica o turbina de viento que proporcione un coste de energía (COE, "cost of energy") lo más bajo posible a lo largo de la vida útil de una turbina eólica o turbina de viento. El COE se determina mediante una comparación entre los costes anuales totales y la energía producida anualmente. Por consiguiente, el COE se minimiza disminuyendo el coste de la turbina mientras se incrementa simultáneamente la captura anual de energía.

En el momento actual, esencialmente todas las turbinas de viento o turbinas eólicas comerciales poseen un rotor de dos o tres álabes que gira alrededor de un eje horizontal. El rotor está formado por un buje central del rotor y los álabes, que definen un diámetro de raíz de álabe situado en la unión entre el buje central del rotor y cada álabe. Cada álabe está fijado de manera rígida al buje central del rotor con un cojinete de álabe, que impide que el álabe se mueva de manera relativa al buje central del rotor en todas las direcciones excepto de manera giratoria a lo largo de la dirección longitudinal de extensión del álabe. El grado de libertad giratorio se utiliza para hacer cabecear el álabe hacia el viento o para alejarlo del viento, regulando de este modo la potencia mecánica producida.

El cojinete de álabe también se proporciona con un sistema de cabeceo que incluye actuadores mecánicos y engranajes, un sistema de lubricación de cojinete, un anillo colector para transferir potencia a los actuadores mecánicos, y un sistema de suministro de energía de respaldo. El sistema de suministro de energía de respaldo permite el control de cabeceo durante los tiempos de parada de emergencia.

Generalmente se considera que un álabe es óptimo si posee una forma de álabe con una fuerza de álabe requerida y un coste de producción total mínimo, sujeto a restricciones de cuerda máxima, pero no de diámetro de raíz de álabe.

Debido al aumento de los costes del rotor y del sistema de cabeceo que se utiliza en álabes tradicionales, el diámetro de raíz de álabe se ha limitado a tamaños por debajo de los valores óptimos determinados teniendo en cuenta únicamente los requerimientos estructurales del álabe. Consecuentemente, los álabes son más pesados y más costosos que el álabe óptimo. En el caso de diámetros grandes de rotor, el diámetro de raíz de álabe limitado, no óptimo resulta en cargas de flexión periférica altas que limitan la longitud del álabe y, por lo tanto, la captura anual de energía.

En el documento de patente de EE.UU. Nº 6.285.090; en el documento WO 02/057624; en el documento de patente de EE.UU. Nº 6.872.049; en el documento WO 01/21956; y en el documento DE 29609794 se describen diseños de turbinas de viento o turbinas eólicas que utilizan un único cojinete de rotor. Cada uno de estos diseños utiliza un rotor de tres álabes con cojinetes de cabeceo de álabe, y por lo tanto heredan las deficiencias de un álabe no óptimo descrito anteriormente. Consecuentemente, las ventajas declaradas de la técnica anterior están limitadas a cambios relativamente pequeños en las estructuras de soporte y a la mejora del acceso de servicio al interior de un rotor.

En el documento EP 0 627 805 A2 se describe el diseño de una turbina eólica o turbina de viento que utiliza un rotor de dos álabes tal como se describe en el preámbulo de la reivindicación 1.

Una turbina eólica o turbina de viento Gamma, fabricada por West Energy Systems, Taranto, Italia, se diferencia de otros diseños al introducir variaciones en el ángulo de guiñada de la góndola para controlar la potencia mecánica producida por el rotor. En este diseño, los álabes se fijan directamente al buje central del rotor, lo que evita la necesidad de utilizar cojinetes de álabe. El buje central del rotor es soportado por dos charnelas de abatimiento, que están a su vez fijadas a un árbol convencional que tiene un diámetro pequeño y una estructura de placa de asiento. La separación entre las dos charnelas de abatimiento es necesariamente pequeña debido al pequeño diámetro del árbol. En esta configuración, la pequeña separación entre las charnelas de abatimiento sustituye al diámetro de cojinete de álabe como factor que limita la dimensión del buje, y, por esta razón, el diámetro de raíz de álabe. Esto también resulta en un mayor peso y coste de los álabes comparados con el álabe óptimo.

El resultado neto de todos los diseños actuales es un aumento en el capital total de los costes de la turbina, que aumenta mucho más rápidamente que la captura anual de energía debido a las limitaciones en el diámetro del rotor. Consecuentemente, bajar el COE es una tarea difícil, y en ocasiones imposible.

65

Por consiguiente, existe una necesidad de un diseño de turbina eólica o turbina de viento que disminuya simultáneamente el coste de capital inicial de la turbina eólica o turbina de viento aumentando simultáneamente la captura anual de energía con respecto a los diseños actuales. En consecuencia, un objetivo ejemplar para la presente invención es crear una turbina eólica o turbina de viento que utilice álabes óptimos para maximizar la captura de energía para un coste de álabe dado.

Otro objetivo ejemplar es crear un rotor de turbina eólica o turbina de viento y una configuración de grupo de engranajes conductores en la que las cargas aerodinámicas y gravitatorias sean conducidas a través de un revestimiento externo para reducir la cantidad de material empleado, lo cual a su vez reduciría el coste de la turbina.

Otro objetivo ejemplar es crear una turbina eólica o turbina de viento que utilice un grupo de engranajes conductores con menor número de elementos que las configuraciones tradicionales, lo que también reduciría el coste de la turbina.

Finalmente, otro objetivo ejemplar se orienta a la selección de un generador de accionamiento directo. Cuando se selecciona éste, un objetivo es crear un grupo de engranajes conductores con capacidad funcional múltiple. La capacidad funcional múltiple puede incluir por ejemplo, (a) conducción de cargas, (b) contra-hierro para un generador, y (c) enclaustramiento externo para protección frente al tiempo meteorológico y para disipación del calor del generador.

SUMARIO DE LA INVENCION

Una turbina eólica o turbina de viento incluye una configuración de "accionamiento exógeno" en la que las cargas aerodinámicas y gravitatorias son transmitidas, en la totalidad de su longitud, a través de estructuras que poseen un revestimiento de soporte de carga. Estas cargas son transmitidas a través de estas estructuras que comienzan en la superficie del álabe y terminan en una cimentación de la turbina eólica o turbina de viento. Adicionalmente, las estructuras que conducen la carga desde esencialmente una región interna del álabe (aproximadamente el primer 20% de la extensión longitudinal) y que terminan en la cimentación son grandes y generalmente tienen un diámetro, un espaciado y/o unas características dimensionales comunes. Esta configuración de "accionamiento exógeno" minimiza el uso del material, los desplazamientos estructurales, y el coste total.

En una configuración ejemplar, la turbina eólica o turbina de viento está compuesta por tres sistemas estructurales principales: una torre o columna; una góndola, que está fijada de manera giratoria a la torre o columna para girar alrededor de un eje de columna (eje de guiñada); y un rotor. La potencia aerodinámica generada por el rotor se controla cambiando un ángulo de guiñada en la góndola. El rotor se conecta con la góndola a través de charnelas de abatimiento para evitar que las grandes fuerzas giroscópicas producidas durante la guiñada dañen las estructuras asociadas. El movimiento de abatimiento permite balancear las fuerzas giroscópicas mediante la aceleración del álabe y las fuerzas aerodinámicas amortiguadoras.

En este ejemplo, la góndola sujeta un árbol hueco que tiene un diámetro relativamente grande. El árbol hueco está fijado de manera giratoria a una estructura de popa de góndola a través de al menos un cojinete para poder girar alrededor de un eje esencialmente horizontal. Las charnelas de abatimiento conectan el árbol hueco a un buje del rotor para permitir la acción de abatimiento del buje del rotor con respecto al árbol hueco. Debido a que el árbol hueco es una estructura de caparazón delgado, las charnelas de abatimiento están necesariamente espaciadas entre sí por una distancia de dimensión acorde con un diámetro externo del árbol hueco. El espaciado grande existente entre las charnelas de abatimiento permite que el buje del rotor tenga una dimensión máxima acorde con un diámetro del árbol hueco. Los álabes están fijados al buje del rotor, y puesto que ya no se necesitan cojinetes de álabe convencionales, la fijación de la raíz de álabe tiene también una dimensión máxima acorde con el diámetro de árbol hueco.

En una realización, un generador de accionamiento directo está enclavado al menos parcialmente en el seno del árbol hueco. El generador transforma el movimiento giratorio del árbol hueco, producido por fuerzas aerodinámicas en los álabes, en energía eléctrica. El "accionamiento exógeno" se utiliza preferiblemente con generadores de accionamiento directo individuales, que tienen un gran número de polos. Algunos ejemplos de estos tipos de generadores incluyen una configuración de rotor externo de flujo radial, una configuración de rotor interno de flujo radial, una configuración de flujo axial, o una configuración de flujo radial. También pueden utilizarse otros tipos de generadores.

Para minimizar el peso, y para disminuir los esfuerzos, el árbol hueco está configurado para poseer un diámetro máximo que sea lo más grande posible. Cuando se utiliza transporte por tierra, el diámetro externo máximo está limitado por el espacio disponible en las carreteras, tal como la altura máxima en estructuras, puentes, estaciones de peaje, semáforos, etc. En los Estados Unidos esta dimensión es de aproximadamente 4 metros. Sin embargo, para aplicaciones marítimas, no hay un límite estricto para el diámetro máximo cuando el transporte se lleva a cabo utilizando barcas de transporte o embarcaciones similares.

Como tales, las estructuras de "accionamiento exógeno" de gran diámetro en la turbina eólica o turbina de viento forman la mayor parte, o la totalidad, de una superficie externa de la turbina eólica o turbina de viento proporcionando una ventaja adicional al reducir el número total de componentes requeridos, lo cual a su vez reduce el coste.

5 Estas y otras características propias de la presente invención pueden comprenderse mejor a partir de la especificación y los dibujos que siguen, de los cuales se ofrece a continuación una breve descripción.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

10 La Figura 1 es una visión lateral esquemática de una turbina eólica o turbina de viento completa.
 La Figura 2 es una vista en perspectiva de una realización de componentes estructurales básicos de un sistema de "accionamiento exógeno" que incorpora el objeto de la invención.
 15 La Figura 3 es una vista en perspectiva de una realización del objeto de la invención, con una vista de corte de un árbol hueco para mostrar un generador.
 La Figura 4 es un trazado en sección transversal de una raíz de álabes, que compara una raíz de álabes según la presente invención con una de la técnica anterior.
 La Figura 5 es una vista en sección transversal de la estructura de la parte superior de una torre o columna, que muestra una realización de un generador de accionamiento directo.
 20 La Figura 6 es una vista en sección transversal de la estructura de la parte superior de la torre o columna, que muestra otra realización de un generador de accionamiento directo.
 La Figura 7 es una vista en sección transversal de la estructura de la parte superior de la torre o columna, que muestra otra realización de un generador de accionamiento directo.
 25 La Figura 8 es una vista en sección transversal de la estructura de la parte superior de la torre o columna, que muestra otra realización de un generador de accionamiento directo.
 La Figura 9 es una vista en sección transversal de la estructura de la parte superior de la torre o columna, que muestra otra realización de un generador de accionamiento directo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA REALIZACIÓN PREFERIDA

30 En referencia a la Figura 1, una turbina eólica o turbina de viento está compuesta por tres sistemas estructurales principales que incluyen una torre o columna 10, un rotor 12, y una góndola 18 que está fijada de manera giratoria a la torre o columna 10 para girar alrededor de un eje de columna (eje de guiñada). La potencia aerodinámica generada por el rotor 12 se controla cambiando un ángulo de guiñada de la góndola 18. Consecuentemente, el rotor 12 debe estar conectado con la góndola 18 a través de charnelas 40 de abatimiento espaciadas entre sí para evitar que las grandes fuerzas giroscópicas producidas durante la guiñada dañen las estructuras de la turbina eólica o turbina de viento. El movimiento de abatimiento permite balancear las fuerzas giroscópicas mediante la aceleración del álabes y las fuerzas aerodinámicas amortiguadoras.

40 La góndola 18 sujeta un componente central de un sistema de accionamiento exógeno, a saber un árbol 30 hueco (Figuras 2-3) de un diámetro grande, que está fijado de manera giratoria a una estructura 20 de popa de góndola a través de al menos un cojinete para girar alrededor de un eje que es esencialmente horizontal. El eje se sitúa generalmente dentro de un intervalo de entre más 10 grados y menos 10 grados de ángulo respecto a la horizontal. Las charnelas 40 de abatimiento espaciadas entre sí conectan el árbol 30 hueco a un buje 50 del rotor (Figuras 2-3) para permitir la acción de abatimiento del buje 50 del rotor con respecto al árbol 30 hueco. El árbol 30 hueco tiene una estructura de caparazón relativamente delgada, y las charnelas 40 de abatimiento están necesariamente espaciadas entre sí en una dimensión acorde con un diámetro externo del árbol hueco. Este espaciado grande entre las charnelas 40 de abatimiento permite que el buje 50 del rotor tenga una dimensión máxima (tal como el eje mayor si la sección transversal es elíptica, por ejemplo) de dimensión acorde con el diámetro externo del árbol 30 hueco.

50 Los álabes 100 están fijados de manera solidaria al buje 50 del rotor. Por lo tanto, en ausencia de cojinetes de álabes convencionales, la fijación de la raíz de álabes también puede tener una dimensión máxima de dimensión acorde con el diámetro externo del árbol 30 hueco.

55 En referencia a las Figuras 1, 2 y 3, la torre o columna 10 soporta la góndola 18 a una altura predeterminada sobre el suelo. Como se discutió anteriormente, la góndola 18 está compuesta de dos partes principales, la estructura 20 de popa de góndola y el árbol 30 hueco. La estructura 20 de popa de góndola está fijada de manera giratoria a la torre o columna 10 a través de un cojinete 15 de guiñada (Figuras 5-8), y gira alrededor del eje de columna un ángulo de guiñada deseado si se recibe una instrucción proveniente de un dispositivo 16 de accionamiento de guiñada (Figuras 5-8). Además de este movimiento de guiñada, no existe esencialmente ningún otro movimiento relativo de la estructura 20 de popa de góndola relativa a la torre o columna 10. El árbol 30 hueco está fijado de manera giratoria a la estructura 20 de popa de góndola a través de un cojinete 70 de cono de hélice, que se muestra mejor en las Figuras 5-9. El cojinete 70 de cono de hélice permite el giro del árbol 30 hueco alrededor de un eje del árbol 30 hueco, pero evita esencialmente cualquier otro tipo de movimiento relativo entre el árbol 30 hueco y la estructura 20 de popa de góndola.

Como se discutió anteriormente, el árbol 30 hueco está conectado al buje 50 del rotor a través de charnelas de abatimiento. Como se muestra en las Figuras 5-8, las charnelas de abatimiento comprenden una primera charnela 40 de abatimiento y una segunda charnela 40' de abatimiento, donde ambas están alineadas a lo largo de un eje de abatimiento orientado bien perpendicular al eje del buje 50 del rotor, o bien con un ángulo pequeño respecto al eje del buje 50 del rotor, denominado comúnmente "□3" por aquellos expertos en la técnica. La primera charnela 40 de abatimiento y la segunda charnela 40' de abatimiento están fijadas esencialmente en posiciones diametralmente opuestas del árbol 30 hueco. Las charnelas 40, 40' de abatimiento permiten un movimiento de abatimiento del buje 50 del rotor relativo al árbol 30 hueco, pero excluyen esencialmente todos los demás tipos de movimiento relativo entre el buje del rotor y el árbol hueco.

Fuelles convencionales y flexibles (no mostrados) unen el árbol 30 hueco al buje 50 del rotor para sellar un interior del árbol 30 hueco protegiéndolo frente al tiempo meteorológico y frente a elementos atmosféricos asociados. Adicionalmente, topes de abatimiento (no mostrados), fabricados de un material elástico, se sitúan en el árbol 30 hueco para recibir el buje 50 del rotor cuando aumenta el ángulo de abatimiento más allá de un valor normal de movimiento de abatimiento libre. Los topes de abatimiento evitan un contacto directo estructura a estructura entre el rotor y el árbol 30 hueco.

Como se discutió anteriormente, los álabes 100 están fijados de manera solidaria al buje 50 del rotor. Se denomina raíz de álabe a una parte de cada álabe que contacta con el buje 50 del rotor, tal como se indica mediante el número 101 en la Figura 2. Para propósitos de nomenclatura e identificación solamente, el álabe 100 se divide a lo largo de su longitud de extensión (es decir, distancia desde la raíz hasta la punta) en tres secciones: (1) un área del álabe 100 que se extiende desde la raíz de álabe hasta esencialmente un 15% aproximadamente de la longitud de extensión se denomina región de raíz de álabe (indicado por el número 102 en la Figura 1); (2) un área que se extiende desde el 15% de la longitud de extensión hasta aproximadamente el 25% de la longitud de extensión se denomina región interna de álabe (indicado por el número 103); y (3) el área restante de la longitud de extensión se denomina región externa del álabe (indicado por el número 104).

Al ser expuestos al viento y a la fuerza de la gravedad, los álabes 100 desarrollan fuerzas que producen fuerzas de cizallamiento y momentos flectores en la estructura de soporte de carga. Esto conduce a esfuerzos de compresión, de tracción, y de cizallamiento en el material del álabe. El peso mínimo del álabe y el uso óptimo del material se dan cuando la estructura de soporte de carga del álabe incluye un revestimiento del álabe 100. Esto es así debido a que la distancia (en un plano de sección transversal) entre las fuerzas de compresión y de tracción en la estructura tiene su valor máximo y el módulo de flexión (como se denomina comúnmente en la técnica) de la estructura tiene su valor máximo. En efecto, como ejemplo, es bien sabido por aquellos expertos en la técnica que duplicar la "profundidad" de una viga en I mientras se mantiene constante el peso de la viga aumenta la resistencia a la flexión de la viga. Como tal, para una carga dada y un nivel de esfuerzo en el material dado, una viga en I en voladizo con profundidad (o dimensión, espaciado, diámetro) de valor $2h$ tiene la mitad de peso, y supone la mitad de coste, que una viga en voladizo de profundidad h , y produce la cuarta parte de desplazamiento de la punta.

El diseño de la turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la presente invención materializa un concepto de "accionamiento exógeno" en el que cargas aerodinámicas y gravitatorias, que comienzan en una superficie de álabe y terminan en una cimentación de turbina, son transmitidas, en la totalidad de su longitud, a través de estructuras que poseen un revestimiento de soporte de carga. Adicionalmente, las estructuras que transportan la carga desde esencialmente la región 103 interna de álabe hasta la cimentación, son tan grandes como sea posible y tienen configuraciones con diámetro, espaciado, o dimensiones que generalmente se corresponden unas a otras. Este diseño de "accionamiento exógeno" minimiza el uso del material, los desplazamientos estructurales, y el coste total. En la realización preferida, las estructuras de gran diámetro forman la mayor parte, o la totalidad, de una superficie externa de la turbina eólica o turbina de viento (de ahí el nombre "exógeno"), proporcionando una ventaja adicional al reducir el número total de componentes, lo que resulta en un coste inferior. Por consiguiente, se elimina "el estrangulamiento" de un camino de carga a través de componentes de pequeño diámetro de turbinas de viento o turbinas eólicas convencionales tales como cojinetes de álabe, árboles principales y cajas de engranajes.

Las fuerzas de álabe son transmitidas al suelo a través de un camino referido como camino de fuerzas. Este camino de fuerzas está definido por una sección de la raíz de rotor, el buje 50 del rotor, las charnelas 40, 40' de abatimiento, el árbol 30 hueco, el cojinetes 70 de cono de hélice, la estructura 20 de popa de góndola, el cojinete 15 de guiñada, y la torre o columna 10. Cuandoquiera que la estructura de soporte de carga se constriña o se estreche adoptando una sección transversal estrecha en cualquier lugar a lo largo del camino de fuerzas, aumentan rápidamente los esfuerzos del material, y por lo tanto el peso y el coste de la estructura de soporte de carga en, y cerca de, esta constricción. La presente invención evita este problema proporcionando una configuración única para la estructura de soporte de carga.

Este diseño único de " accionamiento exógeno" está basado en una optimización minimax. En particular, el coste de la turbina se minimiza maximizando los módulos de sección a lo largo del camino de fuerzas. Para los componentes que son esencialmente piezas huecas con un revestimiento de esfuerzos, a saber, la región 102 de raíz de álabe, el buje 50 del rotor, el árbol 30 hueco, la estructura 20 de popa de góndola, y la torre o columna 10, esta maximización

de los módulos, junto con la minimización simultánea del coste, se consigue haciendo la dimensión máxima de "sección transversal" igual a la dimensión máxima permitida por los requerimientos de transporte y erección. Para transporte por tierra, es bien sabido la técnica de la dimensión máxima permitida en autopistas de los Estados Unidos es cercana a los cuatro metros. Para transporte marítimo, no existen límites.

Debido a los requerimientos de mecanizado de precisión de los cojinetes, el diámetro óptimo del cojinete 70 de cono de hélice, que satisfaría el requerimiento de máximo diámetro y mínimo coste de la turbina, es a menudo inferior al diámetro máximo de los componentes huecos. Típicamente tiene un valor alrededor del 50 al 75 por ciento de este diámetro máximo. Para acomodar el cojinete 70 de cono de hélice, se incorpora una aleta 32 de árbol hueco al árbol 30 hueco.

Una ubicación en la que no es deseable un estrechamiento, es decir, una restricción en el diámetro, debido a la presencia de un cojinete, es en la ubicación de la raíz de álabe. Por lo tanto, en el diseño de "accionamiento exógeno" no se utiliza un cojinete de cabeceo de raíz de álabe. Un cojinete de cabeceo no es deseable porque el estrechamiento asociado en la raíz de álabe desestabiliza fuertemente el flujo de fuerzas óptimo en el seno de la estructura del álabe, y empuja a la estructura global de soporte de carga de álabe lejos de su forma óptima. Consecuentemente, la longitud de extensión de álabe se reduce para un peso de álabe dado, acompañado por una reducción en la producción anual de energía de la turbina. Debido a que la producción anual de energía es uno de los parámetros más importantes para minimizar el coste de energía global de la turbina, una pérdida de la forma óptima del álabe no puede tolerarse en el diseño de "accionamiento exógeno".

La Figura 4 muestra un ejemplo del grado de constricción generado por el cojinete de cabeceo en la técnica convencional anterior comparado con el diseño de "accionamiento exógeno". La Figura 4 compara las dimensiones de raíz de álabe para un álabe de 40 metros diseñado de acuerdo con la presente invención ("accionamiento exógeno"), con la dimensión de raíz de álabe para un álabe tradicional/convencional de la misma envergadura. Las dimensiones de cada raíz de álabe corresponden a una turbina eólica o turbina de viento de 1,5 MW con un álabe de 40 metros.

En el diseño de "accionamiento exógeno", la potencia aerodinámica producida por el rotor 12 se controla mediante la guiñada del plano del rotor alejándolo de la dirección del viento. Este método de control de la potencia aerodinámica ha probado ser muy efectivo en la técnica anterior.

El movimiento giratorio del árbol 30 hueco, producido por las fuerzas aerodinámicas en los álabes 100, se transforma en energía eléctrica mediante un sistema generador. El "accionamiento exógeno" es apropiado, aunque no exclusivamente, para un único generador de accionamiento directo, que tiene un gran número de polos. La lista que se ofrece a continuación se establece para los ejemplos de topologías fundamentales de generador de accionamiento directo apropiadas para utilizarse con el "accionamiento exógeno":

- una configuración de flujo radial y rotor externo, parcialmente visible con el número 60 en la Figura 2, y mostrada en sección transversal en la Figura 5;
- una configuración de flujo radial y rotor interno, mostrada en sección transversal en la Figura 6;
- una configuración de flujo axial, mostrada en sección transversal en la Figura 7; y
- una configuración de flujo radial con bobinas sin núcleo magnético, mostrada en sección recta en la Figura 8.

En referencia a la Figura 5, un generador 200 que tiene una configuración de flujo radial y rotor externo, incluye imanes 210 permanentes unidos a una superficie interna del árbol 30 hueco. El árbol 30 hueco está fabricado preferiblemente de un material magnetizable, tal como una aleación de hierro, para proporcionar la función de contra-hierro a los imanes 210 permanentes. La función de contra-hierro se necesita para cerrar el camino del flujo magnético. Adicionalmente, el árbol 30 hueco proporciona al generador 200 enclaustramiento y protección frente al tiempo meteorológico y los elementos. El generador 200 está contenido al menos parcialmente en el seno del árbol 30 hueco, junto con componentes eléctricos asociados, tales como cableado, interruptores, y elementos de ese tipo. Esta funcionalidad de enclaustramiento es proporcionada por una estructura separada, típicamente de fibra de vidrio, en la técnica anterior. El árbol 30 hueco del diseño de "accionamiento exógeno", por consiguiente, proporciona una funcionalidad múltiple:

- Estructural;
- Magnética (es decir, contra-hierro); y
- Protectora (es decir, enclaustramiento).

La provisión de una funcionalidad múltiple utilizando una única parte reduce la cuenta global de elementos y el coste de la turbina.

El generador 200 funciona como se explica a continuación. El árbol 30 hueco y los imanes 210 permanentes forman un rotor multipolo giratorio (por ejemplo 96 polos). De manera concéntrica, y en el seno del rotor, existen bobinas 220 montadas en una estructura 222 metálica de soporte de bobinas que proporciona tanto soporte estructural como

función de contra-hierro a las bobinas 220. La estructura 222 de soporte de bobinas está fijada de manera solidaria a la estructura 20 de popa de góndola. El calor de las bobinas 220 puede ser eliminado bien por un sistema de aire forzado (no mostrado) que hace circular aire dentro del árbol 30 hueco, o bien por un sistema líquido que descarga el calor a través de un intercambiador de calor expuesto al aire ambiente que rodea la turbina (no mostrado). El giro del árbol 30 hueco genera un movimiento relativo entre los imanes 210 permanentes y las bobinas 220 generando de este modo potencia.

En referencia a la Figura 6, un generador 230 que tiene una configuración de flujo radial y rotor interno, incluye imanes 210' permanentes unidos a una superficie externa del árbol 30 hueco. El árbol 30 hueco está fabricado preferiblemente de un material magnetizable, tal como una aleación de hierro, para proporcionar la función de contra-hierro a los imanes 210' permanentes para formar un rotor de generador. De manera concéntrica, y en el exterior del rotor, existen bobinas 220' montadas en una estructura 222' metálica de soporte de bobinas que proporciona tanto soporte estructural como función de contra-hierro a las bobinas 220'. La estructura 222' de soporte de bobinas está fijada de manera solidaria a la estructura 20 de popa de góndola. El calor de las bobinas 220' puede ser eliminado bien por un sistema de convección directa al aire ambiente exterior o bien por un sistema líquido que descarga el calor a través de un intercambiador de calor expuesto al aire ambiente que rodea la turbina. Se proporciona un sello 224 entre la estructura 222' de soporte de bobinas y el árbol 30 hueco para impedir que agua, polvo, y otras partículas atmosféricas entren en el generador 230.

En referencia a la Figura 7, un generador 260 que tiene una configuración de flujo axial incluye imanes 210'' permanentes unidos a una superficie interna de la aleta 32 de árbol hueco y al menos a un anillo 34 espaciado separado para crear un campo magnético de flujo axial. Al menos una bobina 220'' se sitúa entre los imanes 210'' permanentes para recibir el flujo magnético axial. La bobina 220'' no posee una pieza de contra-hierro, y es sujeta en un extremo de la bobina mediante una estructura 222'' de soporte de bobina. La estructura 222'' de soporte de bobina está fijada de manera solidaria a la sección 20 de popa de góndola.

En referencia a la Figura 8, un generador 280 que tiene una configuración de flujo radial con bobinas sin núcleo magnético esta optimizado para utilización marítima, en donde no existe límite impuesto por el transporte por tierra para su dimensión máxima. Consecuentemente, el buje 50 del rotor tiene una dimensión máxima que excede la del árbol 30 hueco. Tal como se discutió anteriormente, unas dimensiones del buje del rotor y de la raíz de álabe grandes permiten que el álabe tenga una forma óptima, maximizando así la captura anual de energía. El generador 280 tiene imanes 210''' permanentes unidos a una superficie interna del árbol 30 hueco y al menos a un anillo 34' espaciado separado para crear un campo magnético de flujo radial. Bobinas 220''' se sitúan entre los imanes 210''' permanentes para recibir el flujo magnético radial. Cada bobina 220''' no posee una pieza de contra-hierro, y es sujeta en un extremo de la bobina mediante una estructura 222''' de soporte de bobina. La estructura 222''' de soporte de bobina está fijada a la sección 20 de popa de góndola a través de una pieza 228 de fijación. La combinación de imán permanente y bobina se repite a lo largo de un perímetro del árbol 30 hueco para crear una disposición multi-polo, como es comúnmente conocido en la técnica. Las estructuras de soporte de bobina de bobinas adyacentes están materialmente separadas entre sí con el fin de permitir la sustitución de bobinas individuales durante el servicio.

Para aplicaciones marítimas, en las que los límites de ruido son menos restrictivos que en tierra, puede utilizarse una realización adicional del generador. Esta realización, mostrada en la Figura 9, utiliza un mecanismo 240 de rueda para mantener un entrehierro predeterminado entre las bobinas 220 y los imanes 210 permanentes, montado en el árbol 30 hueco. El mecanismo 240 de rueda está fabricado de un material resistente, tal como metal, y posee preferentemente una capa externa (por ejemplo, un "bandaje") fabricada de un material elastomérico, tal como por ejemplo polietileno, para reducir el ruido del contacto entre el mecanismo de rueda y el árbol hueco durante el giro del mecanismo de rueda. El estátor está compuesto por secciones 282 del estátor magnéticamente conductoras. Al menos una pareja de bobinas 220 se monta en cada sección 282 del estátor, de manera que las secciones 282 del estátor proporcionan una función de contra-hierro a las bobinas y cierran el camino del flujo magnético, tal como se requiere para el funcionamiento del generador.

Cada sección 282 del estátor está fijada de manera rígida a la estructura 20 de popa de góndola con el fin de conducir las cargas generadas por el cizallamiento magnético que actúa entre las bobinas y los imanes permanentes. La sección 282 del estátor no es, por diseño, lo suficientemente fuerte (en la dirección radial) como para mantener el entrehierro a la distancia deseada. El término "dirección radial" se refiere a la dirección perpendicular a la superficie interna del árbol hueco. El mecanismo 240 de rueda proporciona la fuerza radial adicional necesaria para mantener el entrehierro deseado, contactando la superficie interna del árbol 30 hueco. Bajo ciertas condiciones de carga aerodinámica, la superficie de árbol hueco se mueve de manera relativa a una posición sin carga, lo que tiende a afectar a la dimensión del entrehierro. El mecanismo 240 de rueda, sin embargo, que está en contacto con la superficie interna del árbol hueco, ejerce una fuerza radial en la sección 282 del estátor, resultando en una deformación de la sección 282 del estátor. Esta deformación, por diseño, se concentra en el material situado en, o cerca de, el final de la sección del estátor que está fijada firmemente a la estructura 20 de popa de góndola. Puesto que el área de esta sección del estátor está cerca del cojinete 70 de cono de hélice, y puesto que la estructura de árbol hueco, por su propia naturaleza de árbol 30 hueco sujeto por el cojinete 70 de cono

de hélice, también se deforma esencialmente en forma pivotante alrededor del cojinete 70 de cono de hélice, el sector del estátor y las estructuras del árbol hueco se deforman en un movimiento esencialmente paralelo. Consecuentemente, las bobinas y los imanes permanentes se mantienen esencialmente paralelos entre sí.

5 El diseño de "accionamiento exógeno" de la presente invención muestra una sinergia única material y estructural con la función de los generadores. Esta sinergia permite una reducción adicional en elementos y/o en material, que se traduce en una reducción adicional en el coste de energía.

10 Aunque se ha descrito una realización preferida de esta invención, un trabajador de experiencia ordinaria en esta técnica reconocerá que ciertas modificaciones estarían dentro del alcance de esta invención. Por esta razón, deberían estudiarse las reivindicaciones que siguen para determinar el alcance verdadero y el contenido de esta invención.

REIVINDICACIONES

1.- Una turbina eólica o turbina de viento que comprende:

- 5 una torre o columna (10);
 una estructura (18) de popa de góndola montada en la torre o columna;
 un árbol (30) fijado de manera giratoria a la estructura de popa de góndola a través de al menos un cojinete (70), donde el árbol tiene un diámetro máximo de árbol y el al menos un cojinete está definido por un diámetro de cojinete que es menor que el diámetro máximo de árbol;
 10 un rotor (12) que incluye un buje (50) del rotor sujeto por el árbol, donde el buje del rotor recibe al menos dos álabes (100, 100); y
 charnelas (40) de abatimiento conectadas al buje del rotor para permitir una acción de abatimiento del buje del rotor con respecto al árbol;
 15 **caracterizado porque:**
 el árbol es un árbol (30) hueco;
 las charnelas (40) de abatimiento están espaciadas entre sí separadas por una cierta distancia; y
 el árbol hueco soporta estructuralmente al rotor con respecto a la estructura de góndola y popa.

20 2.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 1 en la que el buje del rotor tiene una dimensión máxima de buje del rotor, cada álabe tiene una dimensión máxima de raíz (102) de álabe, y el árbol hueco tiene un diámetro interno máximo, donde el máximo diámetro interno del árbol hueco, la máxima dimensión de la raíz de álabe, y la distancia entre las charnelas de abatimiento se corresponde generalmente con la máxima dimensión del buje del rotor.

25 3.- Una turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 1, en la que:
 el árbol hueco tiene un diámetro interno máximo;
 el buje del rotor tiene una dimensión de buje del rotor máxima y cada álabe tiene una dimensión de raíz (102) de álabe máxima; y
 30 el buje del rotor tiene una primera parte y una segunda parte, donde un álabe está fijado a la primera parte y donde las charnelas de abatimiento conectan la segunda parte al árbol hueco de tal manera que la segunda parte es recibida al menos parcialmente en el seno del interior del árbol hueco.

35 4.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 3, que además comprende un generador de accionamiento directo (200, 230, 260, 280) accionado por el árbol hueco.

5.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 4 en la que el árbol hueco está fabricado de un metal magnetizable, y el árbol hueco sirve como un contra-hierro para una parte del generador de accionamiento directo.

6.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 4 en la que al menos parte del generador de accionamiento directo está situado en el seno del árbol hueco.

45 7.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 3 en la que el generador de accionamiento directo tiene al menos una superficie externa de generador que forma parte de una superficie externa de la turbina eólica o turbina de viento, y en la que el árbol hueco proporciona al menos parte de la al menos una superficie externa de generador.

50 8.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 4 en la que el generador de accionamiento directo tiene una topología de flujo radial.

9.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 4 en la que el generador de accionamiento directo tiene una topología de flujo axial.

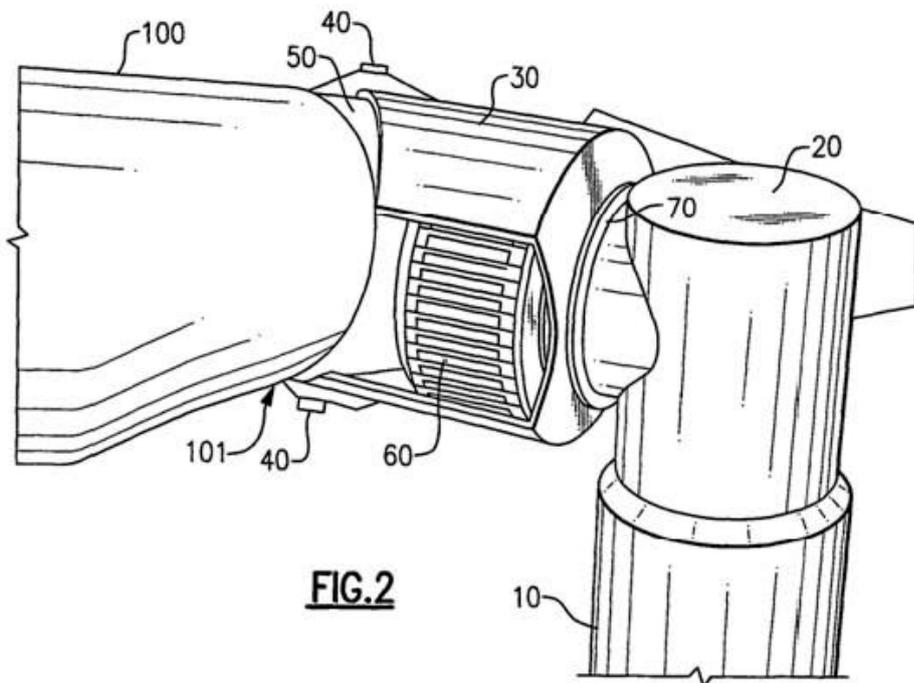
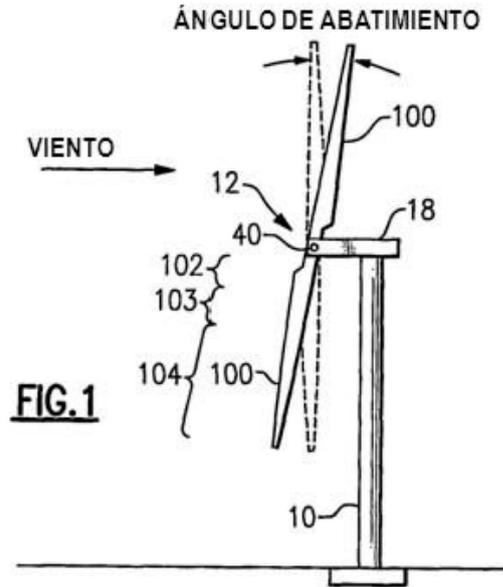
55 10.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 3 en la que el árbol hueco define un eje generalmente horizontal en torno al cual giran los al menos dos álabes mencionados.

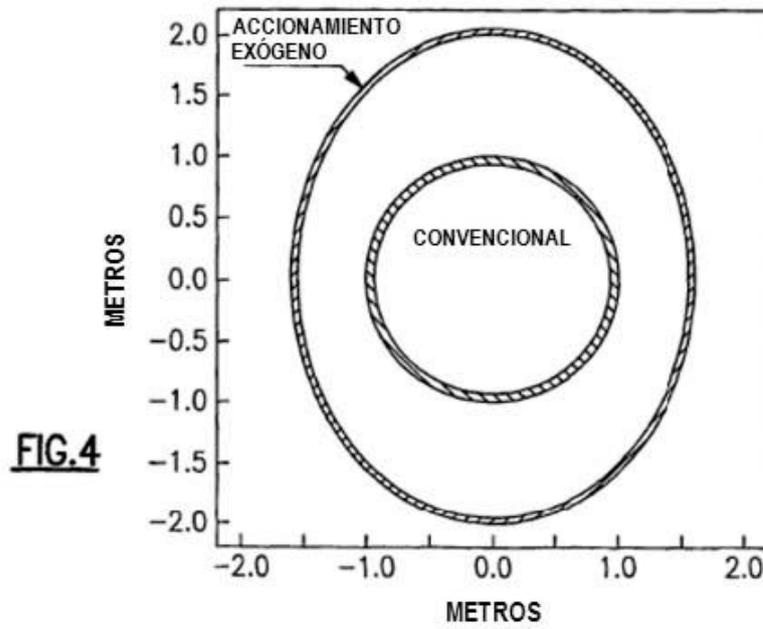
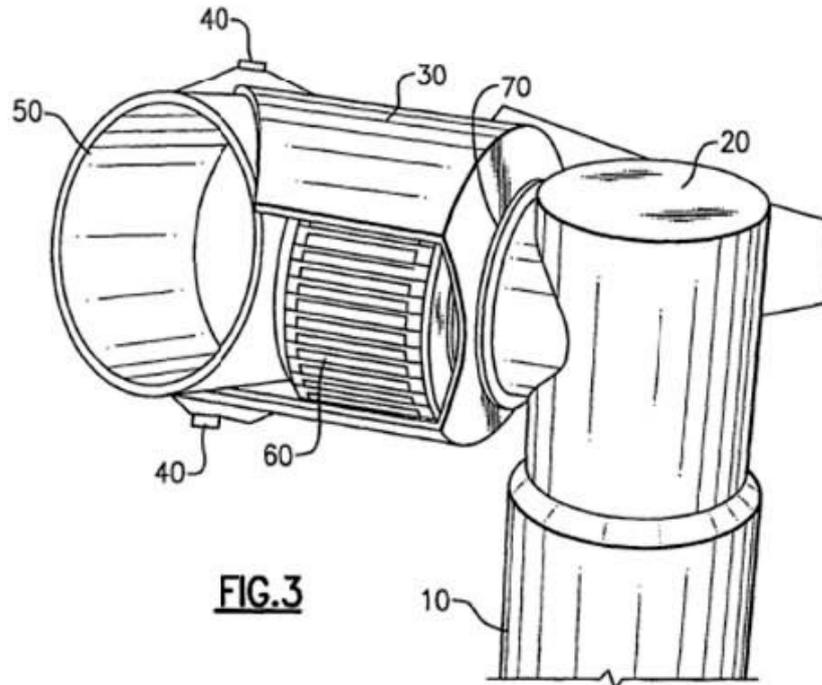
60 11.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 3 en la que los al menos dos álabes mencionados comprenden sólo dos álabes.

12.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 3 en la que el diámetro interno máximo del árbol hueco, la dimensión máxima de la raíz de álabe, y la distancia entre las charnelas de abatimiento están cerca de la dimensión máxima del buje del rotor.

65

- 13.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 3 en la que el diámetro interno máximo del árbol hueco está cerca de la dimensión máxima del buje del rotor de tal manera que sólo existe un pequeño espacio disponible entre la superficie interna del árbol hueco y la superficie externa del buje del rotor.
- 5 14.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 3 en la que el al menos un cojinete está sujeto en una aleta (32) de árbol hueco, donde la aleta de árbol hueco tiene una dimensión externa máxima que es menor que la dimensión externa máxima del árbol hueco.
- 10 15.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 1 en la que:
- la turbina eólica o turbina de viento es una turbina eólica o turbina de viento de eje horizontal;
la torre o columna y la popa de góndola forman una estructura estacionaria de soporte;
el rotor es un rotor de dos álabes;
15 el árbol hueco tiene un diámetro externo máximo, y
el diámetro externo máximo del árbol hueco es mayor que el diámetro externo del al menos un cojinete.
- 16.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 15 en la que la estructura estacionaria de soporte comprende una torre o columna que se extiende en una dirección vertical y una estructura de popa de góndola montada de manera giratoria en la torre o columna con un cojinete de guiñada y que se extiende en una
20 dirección horizontal, y en la que el árbol hueco gira alrededor de un eje horizontal de manera relativa a la estructura de popa de góndola.
- 17.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 16 que incluye al menos un generador de accionamiento directo sujeto por el árbol hueco.
25
- 18.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 17 en la que el al menos un generador de accionamiento directo incluye imanes permanentes y bobinas, donde los imanes permanentes están montados sobre el árbol hueco y las bobinas están montadas sobre una estructura de soporte de bobina fijada a la estructura de popa de góndola.
30
- 19.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 17 en la que el buje del rotor tiene una dimensión máxima de buje del rotor, el árbol hueco tiene un diámetro interno máximo, cada álabe del rotor de dos álabes tiene una dimensión máxima de raíz de álabe, y en la que el diámetro interno máximo del árbol hueco, la dimensión máxima de la raíz de álabe, y la distancia entre las charnelas de abatimiento están cerca de la dimensión
35 máxima del buje del rotor.
- 20.- La turbina eólica o turbina de viento de acuerdo con la reivindicación 16 en la que las fuerzas de álabe son transmitidas al suelo a través de un camino de fuerzas, y en la que el camino de fuerzas está definido por una sección de la raíz de rotor, el buje del rotor, las charnelas de abatimiento, el árbol hueco, el al menos un cojinete, y la estructura de popa de góndola, el cojinete de guiñada, y la torre o columna.
40





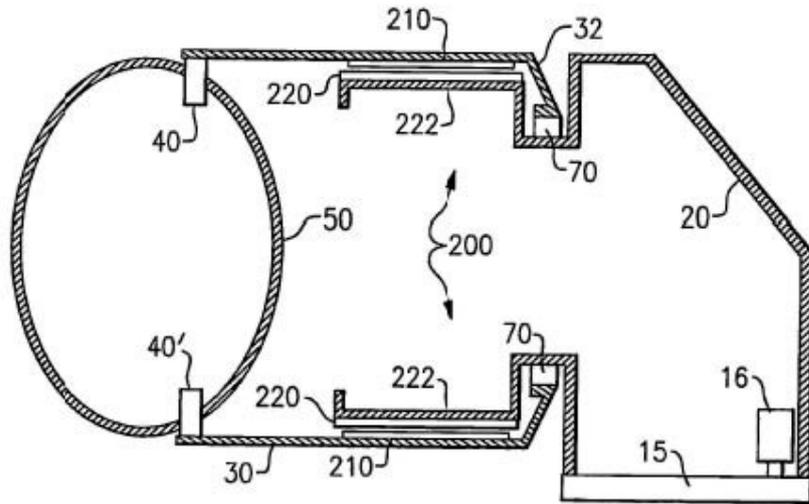


FIG. 5

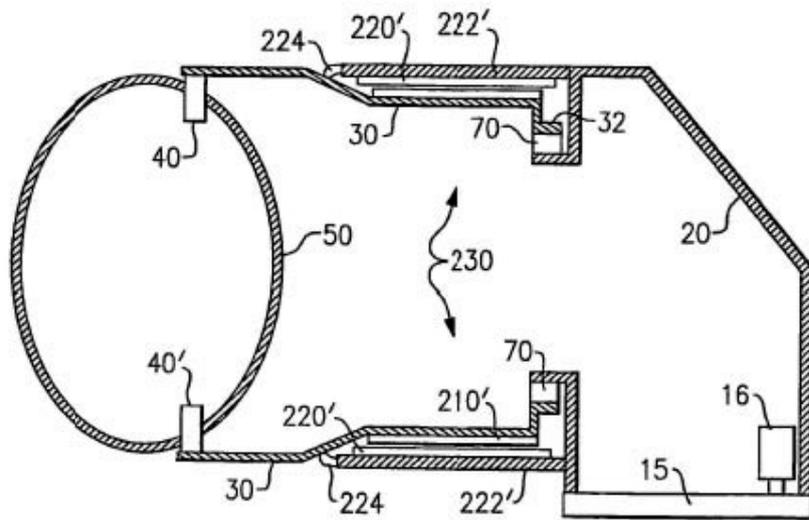


FIG. 6

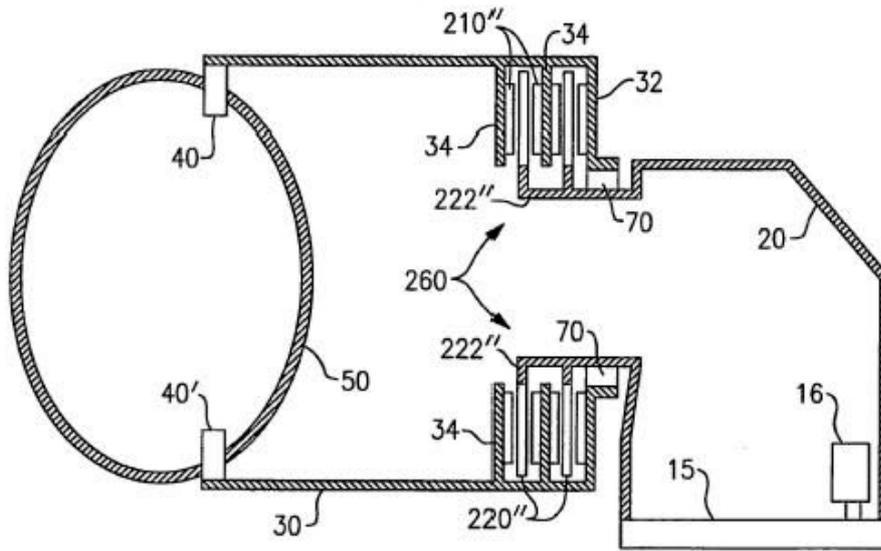


FIG. 7

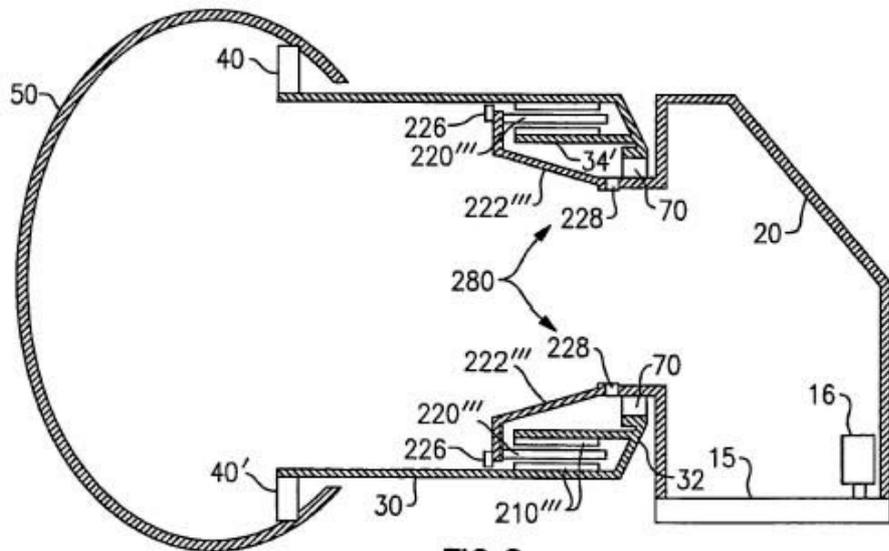


FIG. 8

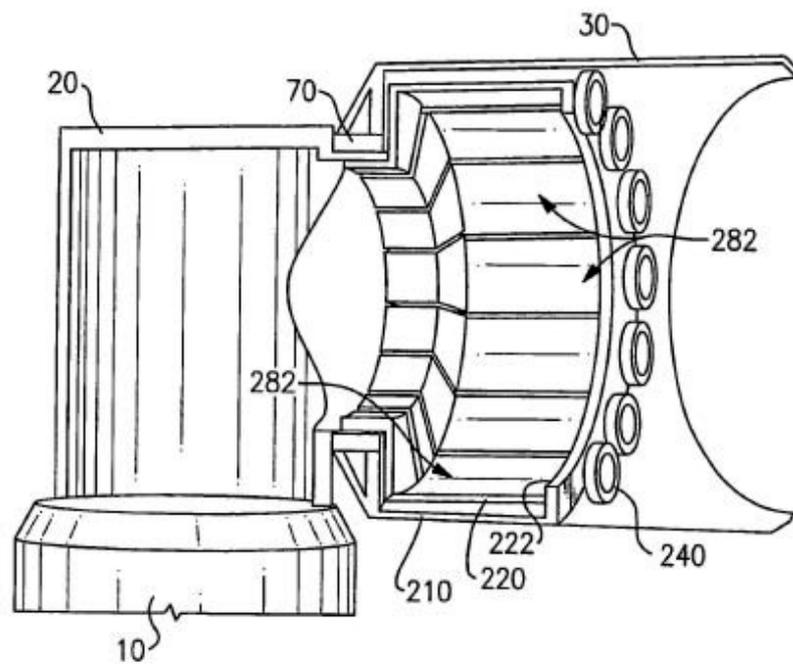


FIG. 9