

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 690 468**

(51) Int. Cl.:

F03B 13/24 (2006.01)
F01D 1/20 (2006.01)
F01D 1/30 (2006.01)
F03B 13/14 (2006.01)
F01D 5/30 (2006.01)
F03B 3/06 (2006.01)
F03B 3/12 (2006.01)
F03B 3/14 (2006.01)
F03B 11/02 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.10.2011 PCT/AU2011/001333**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **26.04.2012 WO12051656**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.10.2011 E 11833628 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2630366**

(54) Título: **Conjunto de rotor de turbina**

(30) Prioridad:

22.10.2010 AU 2010904731

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
21.11.2018

(73) Titular/es:

**WAVE POWER RENEWABLES LIMITED (100.0%)
Suite 3408, 34th Floor, China Resources Building,
26 Harbour Road
Wanchai, Hong Kong, CN**

(72) Inventor/es:

MURDOCH, PETER JOHN

(74) Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 690 468 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

Conjunto de rotor de turbina

Campo de la invención

La presente invención está relacionada generalmente con dispositivos de conversión de energía. Más particularmente, 5 esta invención está relacionada con turbinas y principalmente con turbinas de reacción unidireccionales.

La invención se ha desarrollado principalmente para uso en un sistema de extracción de energía de olas oceánicas que emplea una columna de agua oscilante y se describirá más adelante en esta memoria con referencia a esta aplicación. Sin embargo, se apreciará que la invención no se limita a este campo de uso particular.

Antecedentes de la invención

10 Con una preocupación siempre creciente en el impacto que los sistemas de energía tradicionales han tenido o están teniendo en el medioambiente, actualmente se están desarrollando nuevos métodos y sistemas para reducir el impacto de dichos sistemas tienen en el medioambiente.

Varios de estos sistemas se basan en turbinas para hacer rotar un generador eléctrico a fin de producir electricidad. 15 El problema con muchos de estos sistemas propuestos hasta la fecha es que se requiere un desembolso de capital significativo para instalar un nuevo sistema. La magnitud de este desembolso de capital puede actuar a menudo como freno para los inversores, ya que el retorno de la inversión está limitado hasta cierto punto por la relación entre el desembolso de capital y la eficiencia del sistema.

Las turbinas empleadas actualmente en tales sistemas funcionan con una eficiencia relativa baja y el sistema de extracción de energía como conjunto está limitado por la eficiencia de estas turbinas.

20 El documento JPH10288139 A describe una disposición para generar potencia, independientemente de la dirección de flujo de fluido, al proporcionar varias hojas de miembros de álate y un limitador que establece el alcance de oscilación y que hace girar un vástago rotatorio en una dirección fija al oscilar alternadamente los miembros de álate en la dirección vertical por flujo de fluido desde la parte superior y la parte inferior de los miembros de álate. Cuando fluido tal como aire y agua desde la parte superior fluye hacia abajo dentro de un canal de una turbina unidireccional, 25 miembros de álate son rotados hacia arriba a una ubicación donde los miembros de álate colisionan contra la parte de collarín inferior de un limitador de modo que las partes extremas libres pueden ser los lados inferiores con un husillo como centro. Cuando se sopla fluido desde la parte inferior, los miembros de álate se rotan en la dirección superior hasta que las partes extremas libres colisionan contra una parte de collarín superior. Así, cuando fluye fluido continua y alternadamente desde las direcciones superior e inferior, los miembros de álate son rotados en la dirección vertical, 30 se genera fuerza de impulsión en los miembros de álate en cualquier dirección y los miembros de álate son rotados en una dirección fija con un vástago rotatorio como centro y un generador genera energía.

El documento DE102008007616 A1 describe una turbina corrugada, que comprende: un cubo con una pluralidad de 35 álates de rotor con un perfil simétrico, que se configura como perfil en forma de gota, empezando desde un morro de perfil. Los álates de rotor tienen una línea de rosca cuyo curso se desvía en el plano rotacional de la turbina corrugada opuesto a un chorro radial asignado al álate de rotor respectivo al menos en partes de la extensión radial del álate rotor.

Un objeto de la presente invención es vencer o mejorar una o más de las desventajas de la técnica anterior, o al menos proporcionar una alternativa útil.

Compendio de la invención

40 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un conjunto de rotor de turbina como se presenta en la reivindicación 1 adjunta. En las reivindicaciones dependientes se presentan rasgos opcionales y preferidos.

Preferiblemente, la pluralidad de álates se disponen secuencialmente para formar una distribución circular alrededor del eje central. Los álates se disponen preferiblemente en una formación secuencial sin solapamiento.

45 Se apreciará que la estrecha proximidad de encaje borde con borde entre álates montados secuencialmente que se puede lograr con los bordes de ataque y de salida de perfil complementario resulta ventajosamente en un aumento de área superficial frontal de cada álate, y en consecuencia reduce la holgura entre álates (cuando se ve el rotor desde la parte delantera o posterior - es decir, a lo largo de la línea del eje central). Además, los perfiles complementarios permiten una anchura de holgura sustancialmente constante a lo largo de la longitud de los bordes adyacentes. La holgura es preferiblemente tan pequeña como sea posible y únicamente se proporciona para huecos mecánicos de trabajo. Esto es, la anchura de la holgura viene dictada preferiblemente por las tolerancias mecánicas predeterminadas asociadas con la fabricación de los álates. En ciertas realizaciones preferidas, la anchura de holgura a lo largo de la longitud de los bordes de álate adyacentes es de aproximadamente 1 mm o menos.

Este aumento de área superficial permite así que pase un fluido de trabajo que cruza más superficie de álate que a

su vez mejora la eficiencia del empuje que surge de las fuerzas de sustentación generadas por el fluido de trabajo que fluye sobre el álabe y que acelera a través de la tobera, el empuje actúa para hacer rotar el cubo y los álabes alrededor del eje central.

- 5 Preferiblemente, cada álabe se monta en el cubo por medio de unos medios de montaje. Los medios de montaje incluyen preferiblemente primeros elementos de montaje asociados con el cubo y segundos elementos de montaje asociados con los álabes, en donde cada primer elemento de montaje coopera con uno respectivo de los segundos elementos de montaje para montar con seguridad el álabe en el cubo. Los medios de montaje incluyen preferiblemente unos medios de sujeción para acoplar y sostener los respectivos primeros y segundos elementos de montaje en relación fija entre sí. Los medios de sujeción pueden ser, por ejemplo, un sujetador tal como un tornillo o una combinación de tornillo y tuerca o algo semejante.
- 10 En algunas realizaciones preferidas, cada primer elemento de montaje es preferiblemente en forma de una pluralidad de formaciones de recepción en el cubo para recibir el husillo o espita del álabe asociado. En ciertas realizaciones preferidas, cada segundo elemento de montaje es un vástago, husillo o una espita que se extiende desde una raíz del álabe.
- 15 Preferiblemente, el álabe es móvil respecto al cubo de manera que el álabe puede cambiar su paso (o ángulo de ataque) respecto a la dirección de flujo del fluido de trabajo de modo que el cubo y los álabes rotan en la misma dirección independientemente de la dirección del flujo de fluido.
- 20 En algunas realizaciones preferidas, cada álabe se mueve en respuesta a una fuerza o presión aplicadas al álabe por el fluido de trabajo. Esto es, cada álabe se configura preferiblemente para ser autorrectificador de manera que cambia automáticamente su paso en respuesta a las características predominantes del fluido de trabajo. Por ejemplo, los álabes pueden cambiar su paso en respuesta a cambios de presión y/o dirección de flujo del fluido de trabajo. En algunas realizaciones, los medios de montaje se configuran de manera que todos los álabes cambian su paso al mismo tiempo y el mismo grado. En otras realizaciones preferidas, el paso de cada álabe se cambia independientemente a los cambios de paso de los otros álabes.
- 25 Cada álabe se monta de manera preferiblemente rotatoria en el cubo por medio de un vástago, en donde el vástago o husillo define un eje de rotación para ese álabe. Preferiblemente, el vástago de cada álabe se monta en una disposición de apoyo en la formación de recepción asociada en el cubo de manera que el álabe es rotatorio respecto al cubo. La disposición de apoyo preferiblemente incluye uno o más apoyos y puede ser una disposición apilada de dos o más apoyos. La disposición apilada incluye preferiblemente una pila de cuatro cojinetes de bolas de empuje de contacto angular.
- 30 Cada álabe rota preferiblemente alrededor de su vástago/husillo asociado para cambiar su ángulo de paso respecto a la dirección de flujo del fluido de trabajo de modo que el cubo y los álabes rotan en una dirección únicamente alrededor del eje central. Preferiblemente, cada álabe se configura para poder rotar alrededor del husillo a través de un ángulo predeterminado. En ciertas realizaciones preferidas, cada álabe puede rotar a través de un ángulo de hasta aproximadamente $\pm 45^\circ$, $\pm 40^\circ$, $\pm 35^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 25^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$ o $\pm 5^\circ$. En una realización preferida, cada álabe puede rotar a través de un ángulo de hasta aproximadamente $\pm 16^\circ$. Se apreciará que el ángulo real a través del que puede rotar el álabe no se limita a los ejemplos proporcionados anteriormente, sino en cambio se puede configurar para adaptarse a una aplicación particular. Según la invención los álabes rotatorios pueden ser retenidos en una posición neutral o posición de cierre en donde cada álabe se alinea alrededor de la circunferencia del cubo para cerrar sustancialmente o eficazmente el pasadizo de fluido a través de los álabes. Los álabes rotatorios preferiblemente también pueden ser retenidos en la posición de sus posiciones de abertura máxima de avance o retroceso para mantener un pasadizo abierto a través de los álabes, los álabes se mueven en dirección de apertura ya sea en avance o retroceso dependiendo de la dirección del flujo de fluido.
- 35 Cada álabe rota preferiblemente alrededor de su vástago/husillo asociado para cambiar su ángulo de paso respecto a la dirección de flujo del fluido de trabajo de modo que el cubo y los álabes rotan en una dirección únicamente alrededor del eje central. Preferiblemente, cada álabe se configura para poder rotar alrededor del husillo a través de un ángulo predeterminado. En ciertas realizaciones preferidas, cada álabe puede rotar a través de un ángulo de hasta aproximadamente $\pm 45^\circ$, $\pm 40^\circ$, $\pm 35^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 25^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$ o $\pm 5^\circ$. En una realización preferida, cada álabe puede rotar a través de un ángulo de hasta aproximadamente $\pm 16^\circ$. Se apreciará que el ángulo real a través del que puede rotar el álabe no se limita a los ejemplos proporcionados anteriormente, sino en cambio se puede configurar para adaptarse a una aplicación particular. Según la invención los álabes rotatorios pueden ser retenidos en una posición neutral o posición de cierre en donde cada álabe se alinea alrededor de la circunferencia del cubo para cerrar sustancialmente o eficazmente el pasadizo de fluido a través de los álabes. Los álabes rotatorios preferiblemente también pueden ser retenidos en la posición de sus posiciones de abertura máxima de avance o retroceso para mantener un pasadizo abierto a través de los álabes, los álabes se mueven en dirección de apertura ya sea en avance o retroceso dependiendo de la dirección del flujo de fluido.
- 40 Cada álabe rota preferiblemente alrededor de su vástago/husillo asociado para cambiar su ángulo de paso respecto a la dirección de flujo del fluido de trabajo de modo que el cubo y los álabes rotan en una dirección únicamente alrededor del eje central. Preferiblemente, cada álabe se configura para poder rotar alrededor del husillo a través de un ángulo predeterminado. En ciertas realizaciones preferidas, cada álabe puede rotar a través de un ángulo de hasta aproximadamente $\pm 45^\circ$, $\pm 40^\circ$, $\pm 35^\circ$, $\pm 30^\circ$, $\pm 25^\circ$, $\pm 20^\circ$, $\pm 15^\circ$, $\pm 10^\circ$ o $\pm 5^\circ$. En una realización preferida, cada álabe puede rotar a través de un ángulo de hasta aproximadamente $\pm 16^\circ$. Se apreciará que el ángulo real a través del que puede rotar el álabe no se limita a los ejemplos proporcionados anteriormente, sino en cambio se puede configurar para adaptarse a una aplicación particular. Según la invención los álabes rotatorios pueden ser retenidos en una posición neutral o posición de cierre en donde cada álabe se alinea alrededor de la circunferencia del cubo para cerrar sustancialmente o eficazmente el pasadizo de fluido a través de los álabes. Los álabes rotatorios preferiblemente también pueden ser retenidos en la posición de sus posiciones de abertura máxima de avance o retroceso para mantener un pasadizo abierto a través de los álabes, los álabes se mueven en dirección de apertura ya sea en avance o retroceso dependiendo de la dirección del flujo de fluido.
- 45 En algunas realizaciones preferidas, los álabes son libres para rotar a fin de cambiar su paso automáticamente en respuesta a los cambios en el fluido de trabajo predominante y/o la presión en la cámara de aire. En otras realizaciones preferidas, los cambios en el paso de álabe son controlados por un accionador. El accionador preferiblemente responde a cambios en las características/propiedades del fluido de trabajo predominante detectado por sensores dispuestos dentro del pasaje de flujo (p. ej. dirección de flujo y/o presión de cámara de aire). En diversas realizaciones, el accionador puede funcionar mecánica, electromecánica, hidráulica o neumáticamente. Preferiblemente, el accionador se configura para abrir los álabes en una primera dirección (p. ej. dirección hacia delante al exhalar aire de una ola ascendente) basándose en un primer conjunto de criterios y en una segunda dirección (p. ej. dirección hacia atrás al inhalar aire de una ola alejándose/cayendo) basándose en un segundo conjunto de criterios. Los conjuntos de criterios primero y segundo incluyen preferiblemente diferentes parámetros.
- 50 En ciertas realizaciones preferidas, se asocian unos medios de control con los álabes para controlar los cambios en el paso. Los medios de control se asocian preferiblemente con el accionador de cada álabe. En algunas realizaciones preferidas, los medios de control incluyen un amortiguador o elemento de resorte para proporcionar un cambio suave y/o constante en el paso. En otras realizaciones, los medios de control pueden variar la velocidad a la que rota el álabe. En ciertas realizaciones, los medios de control también pueden actuar para limitar el grado o ángulo al que puede cambiar el paso del álabe. En ciertas realizaciones preferidas, los medios de control son en forma de resorte
- 55 En ciertas realizaciones preferidas, se asocian unos medios de control con los álabes para controlar los cambios en el paso. Los medios de control se asocian preferiblemente con el accionador de cada álabe. En algunas realizaciones preferidas, los medios de control incluyen un amortiguador o elemento de resorte para proporcionar un cambio suave y/o constante en el paso. En otras realizaciones, los medios de control pueden variar la velocidad a la que rota el álabe. En ciertas realizaciones, los medios de control también pueden actuar para limitar el grado o ángulo al que puede cambiar el paso del álabe. En ciertas realizaciones preferidas, los medios de control son en forma de resorte

mecánico reactivo tal como, por ejemplo, un resorte plano. En otras formas, los medios de control incluyen un brazo de par. En algunas realizaciones, el accionador y/o los medios de control están en comunicación con un controlador central tal como, por ejemplo, un controlador lógico programable (PLC).

- 5 El borde de ataque y el borde de salida de cada álate son preferiblemente de forma curvada o arqueada. Preferiblemente, cada borde de ataque es de curvatura convexa. Preferiblemente, cada borde de salida es de curvatura cóncava. En algunas realizaciones, la curvatura de los bordes de ataque y de salida tiene un radio de curvatura constante. En otras realizaciones preferidas, el radio de curvatura de los bordes de ataque y de salida varía a lo largo de la longitud del borde respectivo. Preferiblemente, el radio de curvatura del borde de ataque es mayor que el radio de curvatura del borde de salida.
- 10 En otra forma preferida, los bordes de ataque y de salida de cada álate son sustancialmente rectos. En algunas realizaciones, los bordes rectos de cada álate son en disminución alejándose entre sí desde la raíz a la punta del álate.
- 15 Preferiblemente, los medios de montaje y la forma del álate son de manera que el centro de presión está funcionalmente por detrás del eje de rotación del husillo de cada álate de modo que el álate puede rotar alrededor de su vástago en respuesta a cambios en la presión aplicada al álate.
- 20 Preferiblemente, cada álate tiene un perfil en sección transversal generalmente simétrico. Sin embargo, en cierta forma preferida, se pueden emplear perfiles asimétricos. El perfil en sección transversal es preferiblemente en forma de una superficie sustentadora. Preferiblemente, la superficie sustentadora tiene un perfil biconvexo (o convexo-convexo). En otras realizaciones, una superficie de la superficie sustentadora tiene un perfil cóncavo y la superficie opuesta es convexa. El perfil de superficie sustentadora tiene preferiblemente un borde de ataque agrandado redondeado y es en disminución hacia dentro hacia un borde de salida más estrecho. En otra forma preferida, cada álate tiene un perfil generalmente plano (p. ej. una placa plana) con caras laterales sustancialmente paralelas.
- 25 En ciertas realizaciones, los álates pueden ser intercambiables con álates de un perfil diferente para lograr una característica de funcionamiento diferente de la turbina.
- 30 35 40 Los medios de control incluyen preferiblemente un sensor de presión para detectar la presión en la cámara de aire del conducto de columna de agua oscilante (OWC, el inglés *oscillating water column*), el sensor de presión se asocia funcionalmente con el accionador y/o los medios de control de manera que cuando se detecta una presión predeterminada los álates rotan para abrir las toberas.
- 45 Preferiblemente, cada álate está en su posición de cierre conforme la columna de agua oscilante (OWC) empieza a subir (es decir, en la valle de OWC) de manera que el pasadizo de aire se cierra eficazmente. Los álates se abren preferiblemente en una primera dirección una vez se ha alcanzado una presión predeterminada en la cámara de aire. Preferiblemente, los álates vuelven a la posición de cierre cuando la ola alcanza su cresta. Conforme la ola empieza a caer y con los álates en la posición de cierre, preferiblemente se crea un vacío en la cámara de aire. Preferiblemente, los álates se abren en una segunda dirección una vez se ha alcanzado una presión predeterminada en la cámara de aire. Los álates se abren preferiblemente en la segunda dirección una vez se ha alcanzado una presión negativa predeterminada en la cámara de aire conforme cae la ola.
- 50 Preferiblemente, la punta de cada álate es curvada. La punta de cada álate es preferiblemente convexa. Preferiblemente, la curvatura de la punta de cada álate es de manera que cuando la pluralidad de álates se montan en el cubo en una distribución circular la periferia de la distribución es generalmente en forma de círculo.
- 55 Preferiblemente, el conjunto de rotor de turbina se usa en una turbina de única etapa. La turbina es preferiblemente una turbina de reacción unidireccional. Sin embargo, el conjunto de rotor de turbina se podría adaptar fácilmente para uso en turbinas multietapa que tienen dos o más motores.
- 55 El conjunto de rotor de turbina es ventajosamente idóneo para uso en extracción de energía de un fluido de trabajo oscilante. Más particularmente, el conjunto de rotor de turbina es adecuado para uso en un sistema de extracción de energía de columna de agua oscilante (OWC) que tiene un conducto de OWC. El conjunto de rotor se monta preferiblemente en el conducto de OWC del sistema de extracción de energía de manera que se define una cámara de aire dentro del conducto entre la superficie del agua en el conducto y el cubo y los álates.
- 55 El conjunto de rotor se adapta preferiblemente para rotación en una única dirección, independiente de la dirección del flujo de fluido. Preferiblemente, el rotor se dispone para ser sustancialmente normal a la dirección del flujo de fluido con el eje de rotación sustancialmente paralelo a la dirección de fluido.
- 55 La pluralidad de álates del conjunto de rotor se configura preferiblemente de manera que el rotor rota en una dirección

predeterminada. Preferiblemente, el conjunto de rotor se dispone sustancialmente normal a la dirección de flujo del fluido de trabajo de manera que rota alrededor del eje longitudinal del alojamiento. En otra forma preferida, el conjunto de rotor se dispone para rotar en una dirección sustancialmente paralela a la dirección de flujo de fluido.

5 Preferiblemente, el conjunto de rotor de turbina se dispone rotatoriamente dentro de un pasaje de flujo de un alojamiento. El alojamiento se configura preferiblemente para dirigir el fluido de trabajo fluyente hacia los álabes del conjunto de rotor. En algunas realizaciones, el alojamiento se configura para tener superficies en disminución o curvadas asociadas con el pasaje de flujo para dirigir el fluido de trabajo hacia los álabes.

10 El alojamiento es preferiblemente longitudinal y se extiende a lo largo de un eje longitudinal. En algunas realizaciones preferidas, el alojamiento tiene un cuerpo generalmente cilíndrico. Preferiblemente, el conjunto de rotor de turbina se dispone de manera sustancialmente coaxial con el eje longitudinal del alojamiento.

En ciertas realizaciones, el alojamiento se dispone de manera que su eje longitudinal se dispone sustancialmente paralelo a la dirección de flujo del fluido de trabajo oscilante. En otras realizaciones, el alojamiento se dispone de manera que su eje longitudinal se dispone sustancialmente normal a la dirección de flujo del fluido de trabajo oscilante.

15 Por ejemplo, en ciertas realizaciones, el alojamiento se podría disponer de manera que el eje longitudinal esté sustancialmente vertical. En otra forma preferida, el alojamiento se podría disponer de manera que el eje longitudinal esté sustancialmente horizontal. Los expertos en la técnica apreciarán que el alojamiento no se limita a las orientaciones descritas anteriormente, sino que se podría disponer en cualquier otra orientación adecuada, respecto a la dirección de flujo del fluido de trabajo, para adaptarse a una aplicación particular.

20 En ciertas realizaciones, se proporcionan medios de guía aguas arriba del rotor para dirigir el fluido de trabajo hacia los álabes del rotor. Preferiblemente, los medios de guía incluyen guías primera y segunda dispuestas en lados opuestos del rotor para dirigir el fluido de trabajo sobre los álabes en un ángulo deseado. En algunas realizaciones, los medios de guía incluyen una o más palas de guía dispuestas aguas arriba del rotor para dirigir el fluido de trabajo hacia los álabes del rotor. Las palas de guía se disponen preferiblemente en una distribución polar o circular en proximidad a los álabes. Las palas de guía se pueden asociar con un estator o disponerse de otro modo dentro del alojamiento. En ciertas realizaciones, los medios de guía incluyen un cono de morro que se extiende desde el cubo.

25 Por supuesto se apreciará que las palas de guía no se limitan a una forma particular y por lo tanto podrían ser de cualquier forma adecuada, incluidas formas curvadas y planas, para desviar el fluido de trabajo hacia los álabes de rotor.

30 El fluido de trabajo oscilante es preferiblemente un flujo de aire oscilante. En ciertas realizaciones preferidas de la invención, el rotor de turbina se configura para rotación por un flujo de aire generado desde una columna de agua oscilante de un sistema de extracción de energía de olas oceánicas, la columna de agua oscilante (y así el flujo de aire) oscila en respuesta a la subida o caída de olas oceánicas que pasan.

35 Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que el fluido de trabajo oscilante no se limita a un flujo de aire oscilante, y en particular, no se limita a un flujo de aire oscilante producido por una columna de agua oscilante. En ciertas realizaciones, el conjunto de rotor de turbina se puede adaptar para uso con un fluido de trabajo unidireccional. En realizaciones adaptadas para fluidos de trabajo unidireccional, los álabes se pueden disponer en una formación de solapamiento en donde los bordes de ataque y de salida de álabes secuencial se solapan entre sí.

40 En realizaciones preferidas, el rotor tiene un árbol de impulsión acoplado en su extremo proximal en el cubo de manera que rotación del cubo provoca una rotación correspondiente del árbol de impulsión de manera que su extremo distal se puede usar para acoplar e impulsar un generador eléctrico.

El cubo tiene preferiblemente una masa que es suficiente para actuar como volante de inercia para proporcionar una velocidad angular sustancialmente constante, en uso.

Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona una turbina para extraer energía de un fluido de trabajo oscilante, la turbina incluye:

45 un alojamiento; y
un conjunto de rotor de turbina según el primer aspecto de la invención, el conjunto de rotor de turbina se monta rotatoriamente en el alojamiento para rotación unidireccional en respuesta al fluido de trabajo oscilante que fluye a través del alojamiento.

50 Según un tercer aspecto de la invención, se proporciona un sistema de extracción de energía de olas oceánicas que incluye:
un conducto para recibir una columna de agua oscilante, la columna de agua oscilante genera un flujo de aire oscilante;
un alojamiento conectado al conducto para definir un pasaje de flujo para el flujo de aire oscilante;

un conjunto de rotor de turbina según el primer aspecto de la invención, el conjunto de rotor turbina está en comunicación de fluidos con el flujo de aire oscilante de manera que el rotor es impulsado por el flujo de aire oscilante; y

un generador eléctrico configurado para rotación por el conjunto de rotor de turbina para generar energía eléctrica.

5 Breve descripción de los dibujos

Ahora se describirán realizaciones preferidas de la invención, a modo de ejemplo únicamente, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es una vista en perspectiva de un conjunto de rotor de turbina según la invención;
- la figura 2 es una vista delantera del conjunto de rotor de turbina de la figura 1;
- 10 la figura 3 es una vista lateral del conjunto de rotor de turbina;
- la figura 4 es una vista agrandada de los álabes del conjunto de rotor de turbina;
- la figura 5 es una vista en perspectiva de un álate y un husillo del conjunto de rotor de turbina;
- la figura 6 es una vista delantera del álate y el husillo de la figura 5;
- la figura 7 es una ilustración esquemática de un álate montado en el cubo;
- 15 la figura 8 muestra una pareja de álabes adyacentes en tres ángulos de paso diferentes;
- la figura 9 muestra el perfil de presión que cruza una superficie sustentadora en forma de álate y un álate plano;
- la figura 10 muestra tres parejas de álabes, cada pareja tiene un perfil en sección transversal diferente para diversas realizaciones;
- 20 la figura 11 muestra una gráfica del ángulo de paso de álate contra la altura de la columna de agua oscilante dentro de un conducto de OWC y contra la presión con la cámara de aire entre el nivel de agua y el rotor (conjunto de cubo y álate); y
- la figura 12 muestra un diagrama esquemático de un sistema de extracción de energía de OWC en el que se dispone el conjunto de rotor de turbina.

Realizaciones preferidas de la invención

25 Haciendo referencia a los dibujos, la invención proporciona un conjunto de rotor de turbina 1 para extraer energía de un fluido de trabajo oscilante en forma de flujo de aire oscilante. El conjunto de rotor de turbina 1 se ha desarrollado específicamente para uso en un sistema de extracción de energía de olas oceánicas (figura 12) del tipo que tiene una columna de agua oscilante.

30 En tales sistemas, la columna de agua oscilante (OWC) se configura para producir el flujo de aire oscilante en respuesta a la subida y caída de olas oceánicas que pasan. Conforme la OWC sube en respuesta a una cresta de ola que pasa, la OWC sube para producir un flujo de aire de escape. Conforme la ola continúa y pasa el siguiente valle de ola, la OWC cae para producir un flujo de aire de admisión.

35 Con referencia a la figura 1, el conjunto de rotor de turbina 1 incluye un cubo 2 que es rotatorio alrededor de su eje central 3. Una pluralidad de álabes 4 se montan en el cubo 2 alrededor del eje central. Como se muestra más claramente en la figura 2, los álabes se disponen en una formación secuencial sin solapamiento, para formar una distribución circular alrededor del eje central 3 del cubo 2.

Para montar los álabes 4 en el cubo 2, el cubo tiene una serie de primeros elementos de montaje en forma de agujeros radiales 5 dispuestos circunferencialmente alrededor de la periferia del cubo 2. Cada álate 4 tiene un segundo elemento de montaje en forma de husillo 6 que se recibe en un agujero asociado 5 del cubo 2.

40 Cada husillo 6 incluye un elemento de apoyo 7 que permite al álate asociado 4 ser rotatorio respecto al cubo 2, alrededor de un eje de rotación definido por el husillo 6. Cada álate 4 se configura a poder rotar alrededor de su husillo 6 a través de un ángulo predeterminado. En la realización ilustrada, cada álate 4 puede rotar a través de un ángulo, por ejemplo, aproximadamente $\pm 24^\circ$. En las figuras 1 a 4, los álabes 4 han rotado a una posición adecuada para un flujo de aire de escape (que fluye de izquierda a derecha en la figura 3).

45 Cada álate 4 se mueve en respuesta a una fuerza aplicada al álate por el fluido de flujo de aire predominante, la fuerza que surge de una diferencia de presión a través de los álabes. La capacidad de los álabes para cambiar su ángulo de paso proporciona al rotor 1 una característica de autorrectificación. En particular, los álabes 4 pueden ser rotados para adaptarse a un flujo de aire de admisión o de escape y mantener la rotación del cubo 2 en una única

dirección alrededor de su eje central.

Unos medios de control en forma de resorte mecánico reactivo tal como un resorte plano 8 se asocian con cada álate 4 para controlar los cambios en el ángulo de paso. El resorte plano 8 actúa para proporcionar un cambio suave y/o constante en el paso. Adicionalmente, el resorte plano limita el grado al que puede cambiar el paso del álate.

5 Haciendo referencia ahora a las figuras 5 y 6, cada álate 4 tiene un borde de ataque 11 y un borde de salida 12. Los bordes de ataque y de salida (11, 12) se configuran ventajosamente para tener perfiles complementarios entre sí de manera que los álates 4 se pueden montar en el cubo 2 en estrecha proximidad entre sí de encaje borde con borde.

10 Los expertos en la técnica apreciarán que la estrecha proximidad de encaje borde con borde entre álates secuenciales, que se puede lograr con los bordes de ataque y de salida con perfil complementario, resulta ventajosamente en un aumento de área superficial frontal de cada álate, y en consecuencia reduce la holgura entre álates (cuando se ve el rotor desde la parte delantera o posterior - es decir, a lo largo de la línea del eje central). Además, cuando los álates están en una posición neutral (ángulo de paso = 0°), los perfiles complementarios proporcionan una anchura de holgura sustancialmente constante a lo largo de la longitud de los bordes adyacentes (11, 12).

15 En la posición neutral, la holgura entre los álates es meramente una holgura claramente y minimizada a las tolerancias de fabricación disponibles. Como tal, el área de holgura total es insignificante y es suficiente para cerrar eficazmente el pasadizo y obstruir casi totalmente el flujo de aire a través de los álates. En otras palabras, la ratio de solidez (es decir, la ratio del área combinada total de álates al área de extensión de los álates) del conjunto de rotor es casi 1,0. En consecuencia, cuando los álates están en la posición neutral cerrando el pasadizo, la presión en la cámara de aire aumenta debido a la disminución en el volumen conforme la ola sube. De manera similar, conforme la ola cae desde su cresta, los álates cerrados inhiben la admisión de aire a la cámara de aire y así permiten que caiga la presión en la cámara.

20 La capacidad para mantener los álates cerrados hasta que se alcanza una presión predeterminada aumenta ventajosamente la amplificación de la altura de ola en el conducto de OWC para de ese modo mejorar la eficiencia de la turbina. Se ha modelado numéricamente que se puede lograr una mejora en la extracción total de energía al mantener cerrados los álates.

25 Adicionalmente, cuando los álates se abren, el aumento de área superficial permite que el flujo de aire pase cruzando más superficie de álate que a su vez proporciona fuerzas adicionales de sustentación y de empuje para hacer rotar el cubo y así mejorar la eficiencia del rotor 1, como se describe con detalle adicional más adelante. Esta mejor eficiencia surge de un mejor perfil de presión que cruza cada álate como se muestra en la figura 9.

30 La anchura sustancialmente constante de la holgura define una tobera que, al menos en forma preferida, funciona para aumentar la velocidad del flujo de aire predominante, aumentando además las fuerzas de sustentación y de empuje aplicadas a los álates.

35 Como se muestra más claramente en la figura 7, los medios de montaje y la forma del álate son de manera que el centro de presión (COP, del inglés *centre-of-pressure*) está funcionalmente por detrás del eje de rotación del husillo de cada álate. Esto es, los bordes de ataque y de salida se curvan alejándose del husillo para colocar el centro de presión por detrás del eje de rotación para permitir que el álate rote alrededor del eje de rotación.

40 Una variedad de perfiles en sección transversal de los álates se muestran en las figuras 8, 9 y 10. Con referencia a estas figuras, se puede ver que cada álate tiene preferiblemente un perfil en sección transversal simétrico.

45 El conjunto de rotor de turbina 1 se dispone rotatoriamente dentro de un pasaje de flujo de un alojamiento cilíndrico 9. Como se muestra más claramente en las figuras 1 y 3, el alojamiento 9 se configura preferiblemente para tener abertura de entrada curvada para dirigir el flujo de aire hacia los álates del rotor. Para facilitar aún más la dirección del flujo de aire hacia los álates, se proporciona un cono de morro 10 que se extiende desde el cubo 2.

50 En uso, el cubo 2 del rotor 1 se acopla preferiblemente a un árbol de impulsión que se acopla a un generador eléctrico (no se muestra). La rotación del cubo 2 provoca una rotación correspondiente del árbol de impulsión para impulsar el generador eléctrico.

55 La disposición de los álates en el conjunto de rotor es de manera que en la posición neutra o no accionada, el pasaje de flujo de fluido a través del alojamiento es bloqueado casi enteramente por los álates (excepto por las pequeñas holguras de huelgo entre álates secuenciales y entre las puntas de los álates y el alojamiento). Este tipo de obstrucción crea un diferencial de presión completa que cruza los álates entre las direcciones de flujo aguas arriba y aguas abajo. Análisis de fluido dinámico computacional (CFD) ha mostrado que un álate de sección muy delgada produce excelentes resultados y la forma de sección de superficie sustentadora no es crítica.

Esta obstrucción del flujo de fluido establece una diferencia presión que cruza los álates en los lados aguas arriba y aguas abajo de los álates. La diferencia de presión crea una fuerza normal a la superficie de los álates con una fuerza resultante que comprende una componente en la dirección de rotación axial del rotor y una componente en la dirección

de rotación del rotor, esta componente es el par que produce la potencia desde la turbina. Se apreciará que los términos "aguas arriba" y "aguas abajo" se usan en sentido relativo, dependiente de la dirección del flujo del flujo de aire oscilante.

En un modo de producción de potencia, se permite que el fluido de trabajo pase entre las toberas creadas entre los bordes de ataque y de salida de los álabes dispuestos secuencialmente. Las toberas son creadas por una rotación geométrica de los álabes alrededor de un eje de rotación ortogonal, pero no necesariamente perpendiculares al eje de rotación del eje central del cubo. Las toberas permiten que el fluido de trabajo fluya a través de la distribución de álabes de una manera y tasa preferidas de manera que el diferencial de presión que cruza los lados aguas arriba y aguas abajo de la distribución de álabe no se reduce sustancialmente comparada con la presión creada cuando los álabes están en su posición neutral. Esto es, la diferencia de presión que cruza los álabes desde los lados aguas arriba a aguas abajo de los álabes ventajosamente se mantiene de manera sustancial cuando las toberas se crean por accionamiento de los álabes desde su posición neutral.

La consecuencia de mantener sustancialmente el diferencial de presión conforme se rotan los álabes alrededor de sus ejes respectivos es una rotación resultante del vector de fuerza que actúa cruzando cada álabe de manera que el vector de fuerza contiene ahora una componente de empuje axial en la dirección paralela al eje central de rotación de la distribución de álabes y una componente de empuje ortogonal al eje central. Esta componente de empuje ortogonal crea un momento de torsión en el cubo que a su vez produce potencia rotacional útil en la dirección de rotación alrededor del eje central del conjunto de rotor.

El método preferido para formar cada tobera es por rotación del álabe entero alrededor de un eje ortogonal al eje central del cubo. Sin embargo, en otras realizaciones, las toberas se pueden formar por medio de la deformación estructural del álabe. Tal deformación de forma puede ser por medio de la presión de fluido aplicada sobre la superficie de álabe que contribuye a la deformación o por medio de otros métodos de control electromecánicos inducidos.

La configuración y el perfil de las toberas pueden producir un beneficio secundario para la potencia inducida produciendo empuje de los álabes. En particular, los bordes de ataque y de salida se forman preferiblemente para definir un perfil de tobera con una sección de reducción de área suave para provocar el fluido fluyente acelere a través de la tobera, intercambiando de ese modo energía de presión por energía cinética. La consecuencia de ello es una reducción adicional en la presión sobre el borde de ataque y la sección hacia delante de los álabes en el lado aguas abajo. Esta reducción de presión resulta en una fuerza normal con una componente en las direcciones axial y rotacional. La fuerza en dirección rotacional se convierte en par alrededor del eje central, por lo que esta contribución extra puede mejorar aún más la magnitud del vector de fuerza rotacional.

El ángulo de paso de álabe y la correspondiente presión en la cámara de aire se pueden ver para un ciclo de ola completo en la figura 11. En la figura 11 se puede ver claramente que los álabes son mantenidos cerrado cuando el álabe está subiendo desde su valle hasta que se alcanza una presión predeterminada en la cámara. Los álabes también se mantienen cerrados desde el momento que se alcanza la cresta de la ola hasta que cae y crea una segunda presión predeterminada (negativa) en la cámara.

Para mantener los álabes cerrados hasta que se logra una cierta presión en la cámara se usa un sistema de resorte mecánico que contiene una fuerza de pretensión de resorte. En otras formas, se puede usar un pistón hidráulico con una presión de fluido de precarga que se define por la presión en un acumulador o acumulador de pistón de resorte mecánico. También se podría usar un sistema accionador magnético con una fuerza de mantenimiento preestablecida.

El cierre de los álabes incluye un sistema amortiguador dependiente del tiempo de manera que la tasa de cierre de los álabes se reduce y la tasa de cierre de álabes se vuelve independiente de la presión en la OWC (es decir, el sistema amortiguador actúa contra la fuerza de pretensión de resorte). Este sistema permite que todo el aire en la cámara de OWC escape al final de la carrera de ola. Esto permite una mayor amplitud interna de altura de ola al principio de la siguiente carrera así como permitir que se arrastre más aire en la cámara antes de la carrera hacia arriba y que se arrastre menos aire en la cámara antes del comienzo de la carrera hacia abajo.

La presión de apertura preestablecida se ajusta de manera que la presión de apertura preestablecida es función de la velocidad rotacional (rpm) de la turbina. Esta mejora permite a la turbina funcionar en su intervalo de eficiencia óptima así como permitir que las rpm de turbinas coincidan más cercanamente con los estados disponibles de energía de ola, específicamente la altura de las olas que vienen.

Ventajosamente, los ciclos de inhalar y exhalar del control de paso de álabe de turbina pueden ser independientes entre sí, según los mecanismos descritos anteriormente.

De nuevo, la capacidad de controlar los álabes de manera que se mantengan cerrados hasta que se alcanza una presión predeterminada en la cámara de aire (para ambas direcciones de flujo de aire) amplia ventajosamente la amplificación de la OWC y de ese modo aumenta la cantidad de potencia neumática extraída y mejora la eficiencia de la turbina.

En consecuencia, la presente invención, al menos en sus realizaciones preferidas, proporciona un conjunto de rotor de turbina de eficiencia aumentada. El conjunto de rotor de turbina permite ventajosamente aumentar las cantidades

de energía a extraer de un fluido de trabajo oscilante o bidireccional. En particular, el conjunto de rotor de turbina tiene álabes que proporcionan ventajosamente un aumento de área frontal de los álabes de turbina que restringe el pasaje de flujo de fluido para crear un mayor diferencial de presión que cruza los álabes, dando como resultado un aumento en las fuerzas de sustentación y de empuje que se aplican a los álabes. La estrecha proximidad de encaje borde con borde de los álabes también proporciona ventajosamente toberas que pueden aumentar la velocidad del flujo de aire, de nuevo aumentando la diferencia de presión que cruza el álabe con un aumento resultante en el empuje.

5 El conjunto de rotor de turbina es particularmente idóneo para uso en un sistema de extracción de energía de olas oceánicas, en donde el fluido de trabajo es un flujo de aire oscilante generado por una columna de agua oscilante del sistema de extracción de energía de olas oceánicas, la columna de agua oscilante (y así el flujo de aire) oscila en respuesta a la subida o caída de olas oceánicas que pasan.

10 En estos y otros aspectos, la invención en sus realizaciones preferidas, representa una mejora práctica y comercialmente significativa sobre la técnica anterior.

Aunque la invención se ha descrito con referencia a ejemplos específicos, los expertos en la técnica apreciarán que la invención puede ser plasmada de muchas otras formas.

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de rotor de turbina (1) para extraer energía de un fluido de trabajo oscilante, el conjunto de rotor de turbina (1) incluye:
un cubo (2) rotatorio alrededor de un eje central (3);
- 5 una pluralidad de álabes (4) montables en el cubo (2) alrededor del eje central (3); cada átalo tiene un borde de ataque y un borde de salida; en donde el borde de ataque y el borde de salida se configuran para ser complementarios en perfil entre sí de manera que los álabes se pueden montar en estrecha proximidad entre sí de encaje borde con borde; en donde cada átalo (4) es móvil respecto al cubo (2) de manera que cada átalo (4) puede cambiar su paso respecto a la dirección de flujo del fluido de trabajo; y
- 10 en donde la pluralidad de álabes (4) se adapta para ser controlada de manera que, en uso, los álabes (4) son sostenidos en una posición de cierre para obstruir un pasadizo de fluido a través de los álabes (4) hasta que se alcanza una presión predeterminada del fluido de trabajo.
- 15 2. Un conjunto de rotor de turbina (1) según la reivindicación 1 en donde la pluralidad de álabes (4) se disponen secuencialmente para formar una distribución circular alrededor del eje central, opcionalmente, en donde los álabes (4) se disponen en una formación secuencial sin solapamiento.
3. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada átalo (4) se monta en el cubo por medio de unos medios de montaje, dichos medios de montaje incluyen una pluralidad de formaciones de recepción (5) en el cubo (2) y un vástago (6) que se extiende desde una raíz de cada átalo (4), cada vástago (6) es recibible en una respectiva de las formaciones de recepción (5).
- 20 4. Un conjunto de rotor de turbina (1) según la reivindicación 3, en donde cada átalo (4) se mueve en respuesta a una fuerza aplicada al átalo (4) por el fluido de trabajo,
opcionalmente, en donde los medios de montaje se configuran de manera que todas los álabes (4) cambian su paso al mismo tiempo y el mismo grado.
- 25 5. Un conjunto de rotor de turbina (1) según la reivindicación 4, en donde cada átalo (4) es rotatorio alrededor de su vástago asociado (6) para cambiar su ángulo de paso respecto a la dirección de flujo del fluido de trabajo de modo que el cubo (2) y los álabes (4) rotan en una dirección únicamente alrededor del eje central (3), independientemente de la dirección de flujo de fluido,
opcionalmente, en donde cada átalo (4) se configura para poder rotar alrededor del vástago (6) a través de un ángulo predeterminado.
- 30 6. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el movimiento de los álabes (4) es controlado por un accionador, y dicho accionador responde a cambios en las propiedades del fluido de trabajo predominante dentro del pasaje de flujo, opcionalmente, en donde el accionador se configura para abrir los álabes (4) en una primera dirección basándose en un primer conjunto de criterios y en una segunda dirección basándose en un segundo conjunto de criterios.
- 35 7. Un conjunto de rotor de turbina (1) según la reivindicación 6, en donde unos medios de control están en comunicación con el accionador para controlar el movimiento de los álabes (4),
opcionalmente, en donde los medios de control incluyen un amortiguador para proporcionar un cambio suave y/o constante en el paso, dicho amortiguador adaptado para controlar la velocidad a la que rota el átalo (4).
- 40 8. Un conjunto de rotor de turbina según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada átalo es montable en el cubo de manera que un centro de presión de cada átalo está funcionalmente por detrás de un eje de rotación del átalo asociado.
- 45 9. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde cada átalo (4) tiene un perfil en sección transversal generalmente simétrico.
10. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el perfil en sección transversal de cada átalo (4) es un perfil de superficie sustentadora,
opcionalmente, en donde el perfil de superficie sustentadora tiene un borde de ataque agrandado redondeado (11) y es en disminución hacia dentro hacia un borde de salida más estrecho (12).
- 50 11. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el borde de salida (12) de un primer átalo (4) y el borde de ataque (11) de un segundo átalo (4) que sigue inmediatamente al primer átalo (4) definen juntos una tobera.

12. Un conjunto de rotor de turbina (1) según la reivindicación 7 que incluye un sensor de presión para detectar la presión en una cámara de aire de un conducto de columna de agua oscilante en el que se disponen el cubo (2) y los álabes (4), el sensor de presión se asocia funcionalmente con el accionador y/o los medios de control de manera que cuando se detecta una presión predeterminada los álabes (4) rotan para abrir las toberas.
- 5 13. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un árbol de impulsión se acopla al cubo (2) en su extremo proximal y a un generador eléctrico en su extremo distal.
14. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fluido de trabajo es generado por una ola oceánica, y en donde los álabes (4) son mantenidos en la posición de cierre cuando una ola es ascendente desde su valle hasta que se alcanza la presión predeterminada.
- 10 15. Un conjunto de rotor de turbina (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el fluido de trabajo es generado por una ola oceánica, y en donde los álabes (4) son mantenidos en la posición de cierre cuando la ola está cayendo desde su cresta hasta que se alcanza una segunda presión predeterminada.

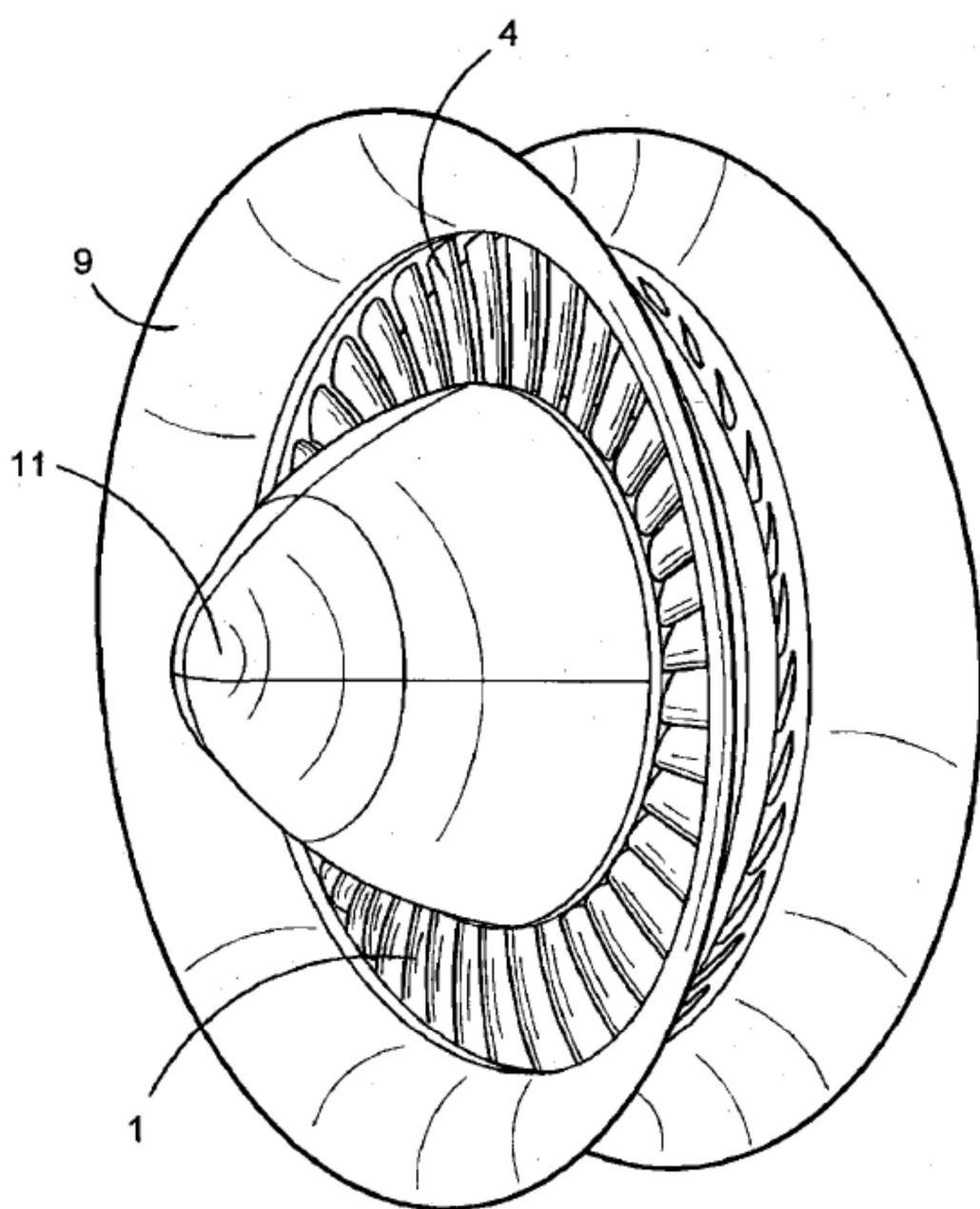


FIGURA 1

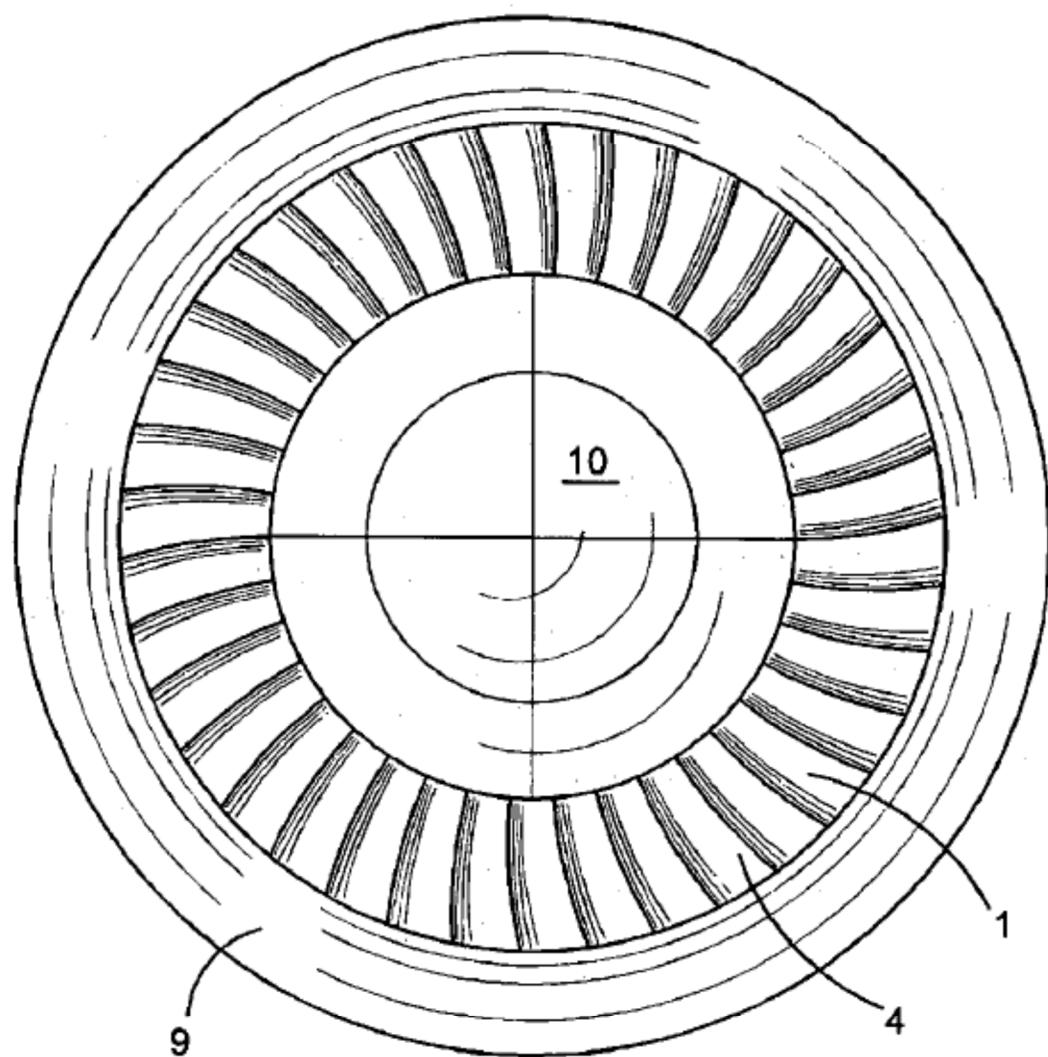


FIGURA 2

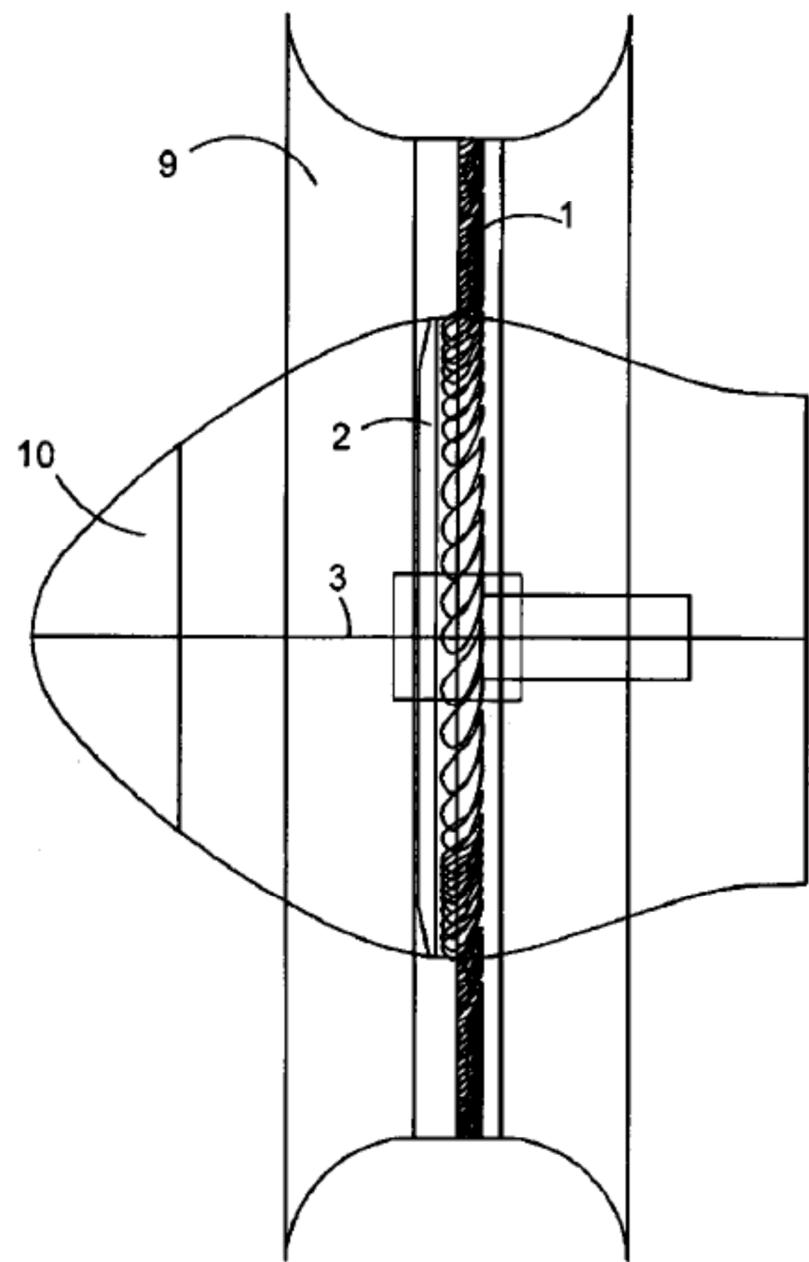


FIGURA 3

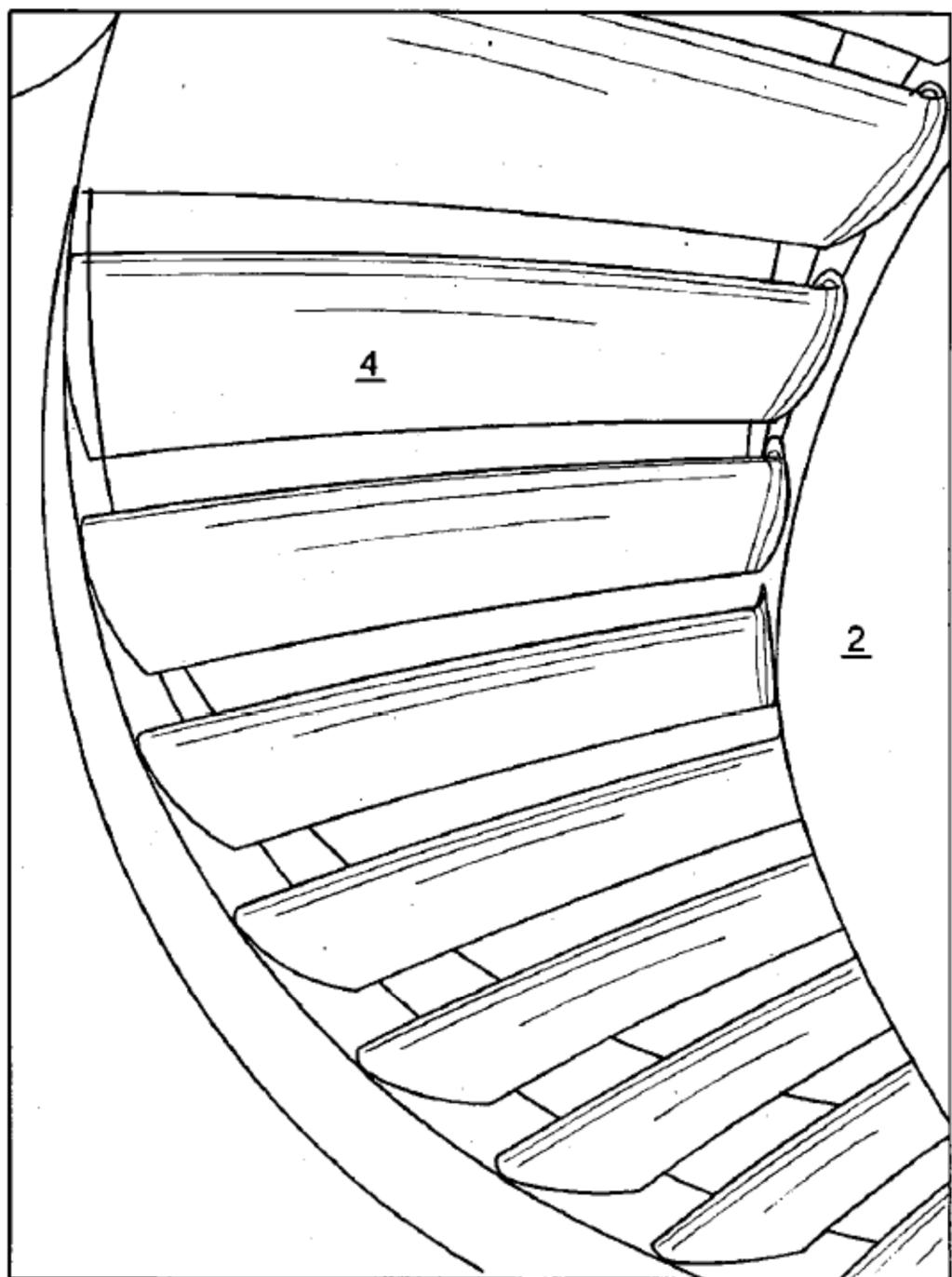


FIGURA 4

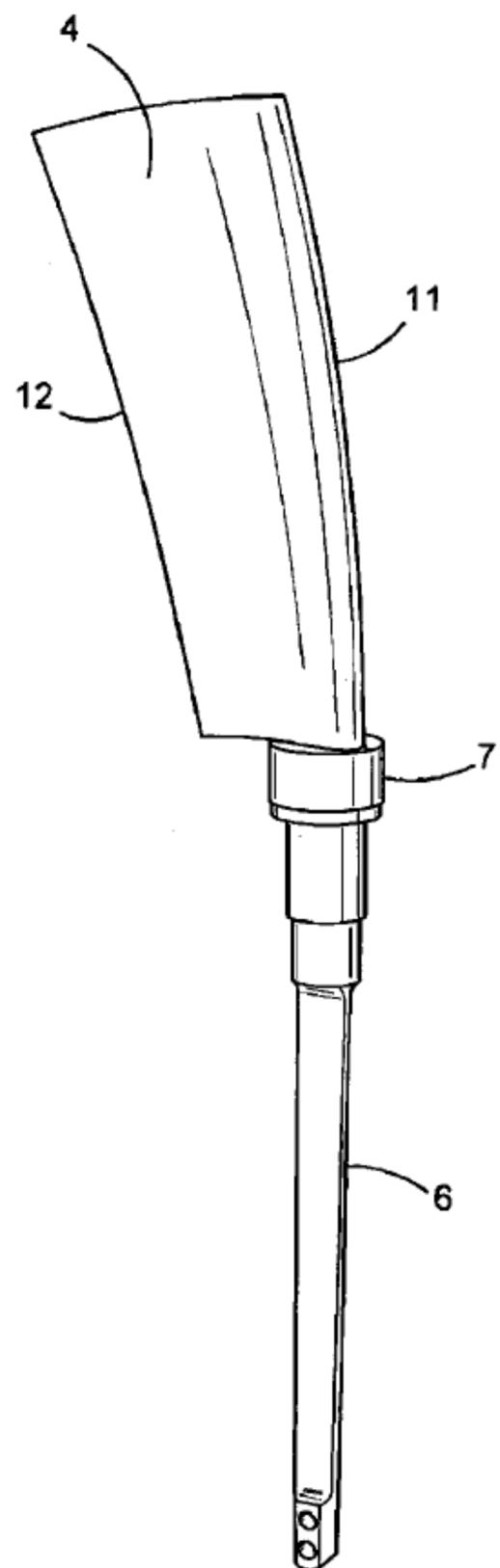


FIGURA 5

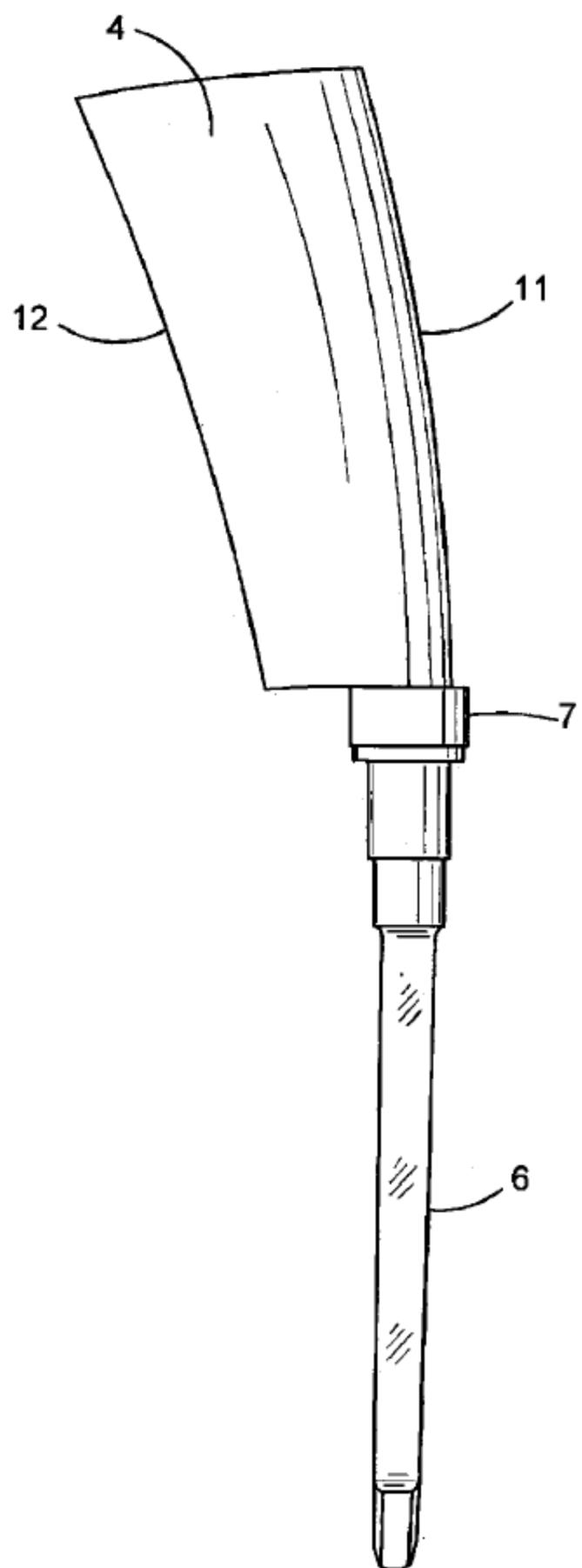


FIGURA 6

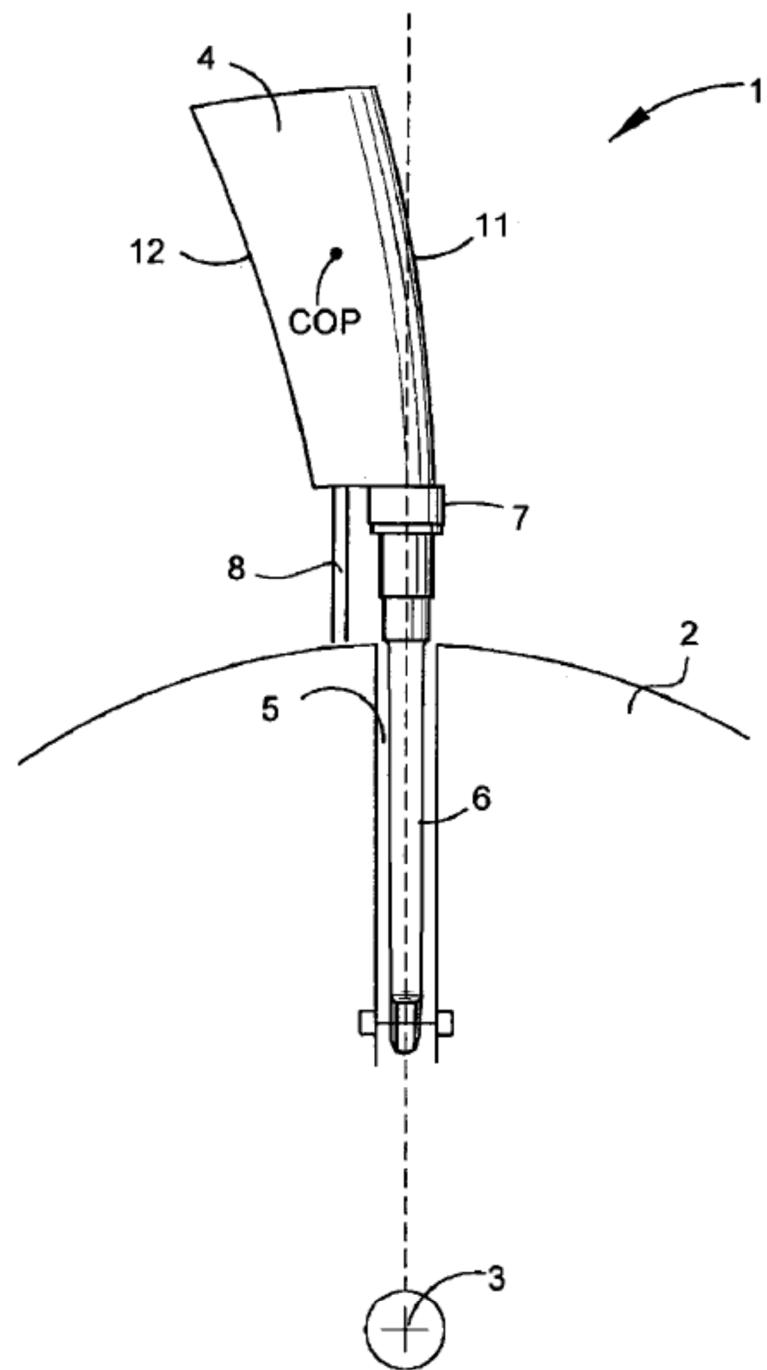


FIGURA 7

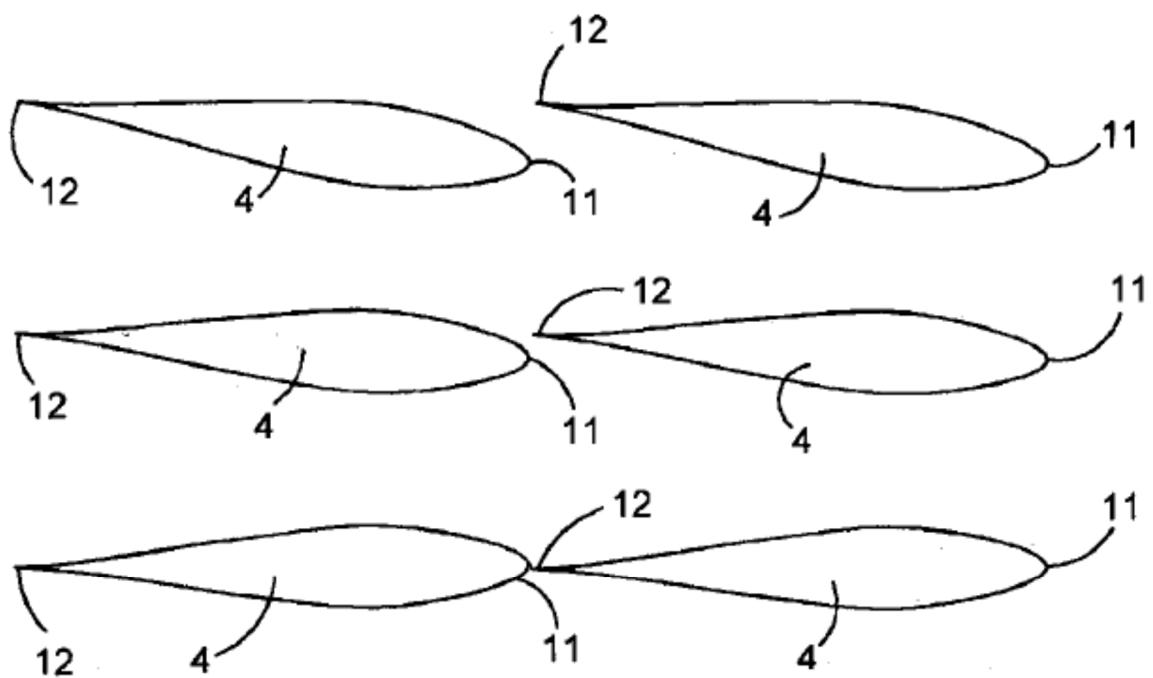


FIGURA 8

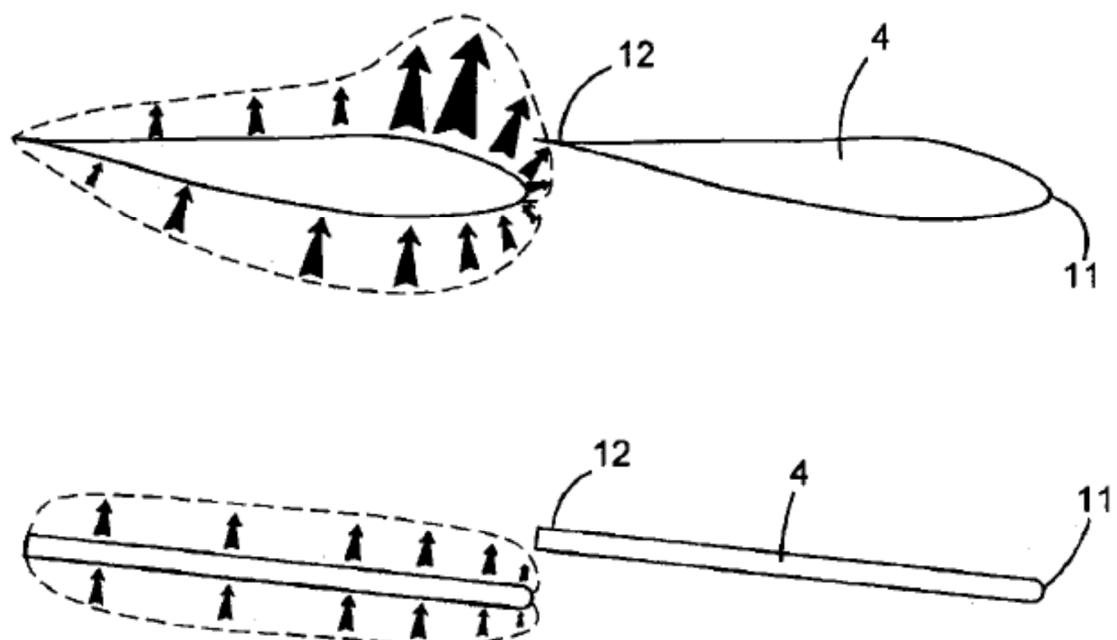


FIGURA 9

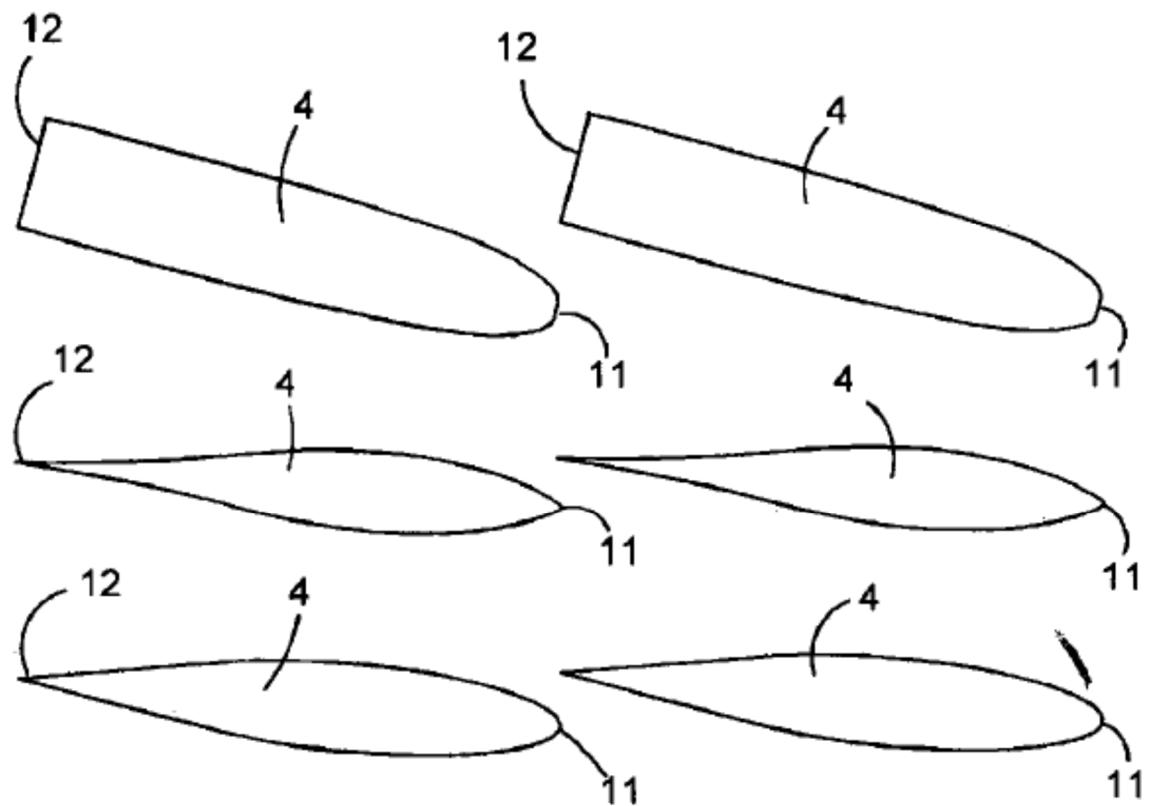


FIGURA 10

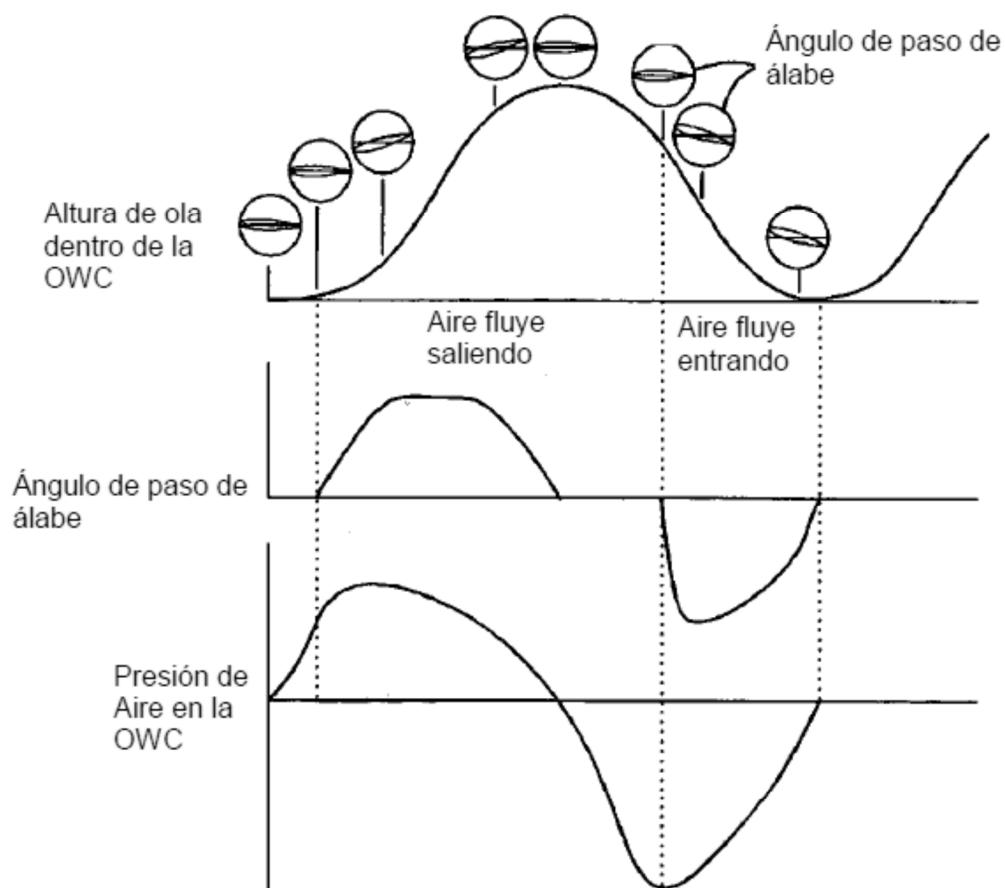


FIGURA 11

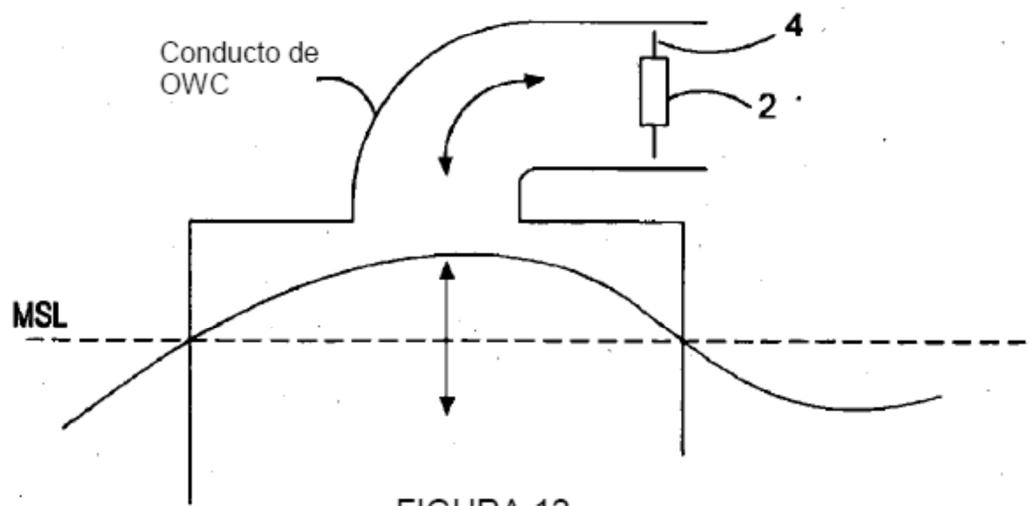


FIGURA 12