

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 626 269**

51 Int. Cl.:

**F03B 3/04** (2006.01)

**F03B 3/12** (2006.01)

**F03B 13/10** (2006.01)

**F03B 13/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.01.2012 PCT/GB2012/000056**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2012 WO12098363**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2012 E 12701541 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.03.2017 EP 2665903**

54 Título: **Aparato de rotor**

30 Prioridad:

**20.01.2011 GB 201101010**

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

**24.07.2017**

73 Titular/es:

**SEA-LIX AS (100.0%)  
PO Box 9  
2005 Raelingen, NO**

72 Inventor/es:

**DALE, JASON y  
ANDERSEN, AAGE BJØRN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 626 269 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

Aparato de rotor

5 La invención se refiere a un rotor para extraer energía de un fluido que fluye, por ejemplo, un flujo de marea.

10 Un fluido que fluye posee energía cinética debido a su movimiento. El fluido que se presenta en forma natural que fluye se puede encontrar en corrientes de marea, corrientes costeras u oceánicas, flujos de ríos, corrientes terminas, corrientes de aire y en otras partes. El hombre también puede generar flujo de fluidos directamente o indirectamente, por ejemplo, los flujos de fluidos secundarios se pueden generar corriente arriba o corriente debajo de un obstáculo colocado en un flujo de fluido que se presenta en forma natural tal como una represa en un río. El fluido que fluye se puede generar por el transporte de un fluido en una tubería o mediante una maquina tal como un fluido que fluye en un sistema de fluido instalado en un tren, o un barco o un automóvil.

15 La conversión de energía de los flujos de gas tal como corrientes de aire, es decir potencia eólica, es una tecnología bien desarrollada. Se han hecho numerosas turbinas diseñadas especialmente para extraer energía del viento. Sin embargo, el nivel de energía potencial es mucho más grande en un fluido líquido que en un fluido de gas debido a que la densidad del fluido es generalmente mayor. Por ejemplo, en corrientes de marea, se puede generar exceso de velocidades de fluido de 5 m/s, aunque una velocidad más típica se puede encontrar en el rango 1.5–2.5 m/s. Dado que la densidad del agua salada es de  $1000 \text{ kg/m}^3$ , la densidad de la energía de las corrientes de marea puede normalmente ser del orden de  $4000 \text{ W/m}^2$ . En comparación, la densidad del aire es de aproximadamente  $1.2 \text{ kg/m}^3$ , por lo tanto, la densidad de la energía del viento en esta velocidad es normalmente de aproximadamente  $5 \text{ W/m}^2$ , esto es aproximadamente 800 veces menos que la disponible en una corriente de marea correspondiente.

20 Por lo tanto, subsiste la necesidad de un dispositivo mejorado para energía de potencia de flujos de fluidos tal como los flujos de mareas.

30 El documento US 5760515 y US 587814 divulgan rotores de contra corriente como se define en el preámbulo de la reivindicación 1.

Visto desde un primer aspecto, la invención proporciona un aparato de rotor para extraer energía de flujos de fluido unidireccional o bidireccional, el aparato rotor comprende un primer rotor montado para rotación alrededor de un eje rotacional en una primera dirección rotacional, el primer rotor tiene por lo menos una pala helicoidal; y un segundo rotor montado para rotación alrededor del mismo eje rotacional en una dirección opuesta rotacional y que tiene por lo menos una pala helicoidal, en donde el fluido que sale del primer rotor se pasa al segundo rotor; caracterizado porque la pala del primero rotor tiene un tramo que reduce en una dirección a lo largo del eje rotacional, y la pala del segundo rotor tiene un tramo que aumenta en la misma dirección a lo largo del eje rotacional.

40 En razón a que el tramo helicoidal de la pala helicoidal se reduce en una dirección cada rotor posee una dirección de flujo optima, que es de un extremo de tramo más grande al extremo de tramo más pequeño. El fluido que ingresa en paralelo al eje longitudinal y al cabezal al extremo de tramo helicoidal más grande encontraría menos resistencia y se podría guiar más gentilmente dentro del rotor. Cuando el fluido pasa a lo largo de la pala helicoidal el tramo de reducción asegura la extracción eficiente de la energía del flujo. El fluido puede aún fluir en paralelo al eje longitudinal y el cabezal en la dirección no preferida pero la extracción de potencia no sería optima en razón a que se perdería mucha energía al alinear inicialmente el flujo de fluido entrante hacia las palas de rotor en ángulo. De esta manera se diseñan convencionalmente los rotores con una dirección de flujo preferida. En las situaciones en donde la dirección de flujo invierte las disposiciones de la técnica anterior se puede proporcionar con medios para realineación con la nueva dirección de flujo tal como un montaje de torre o un flotador atado en un flujo o en un cambio de ángulo de pala mediante algunos medios.

50 Preferiblemente el aparato rotor es un rotor generador, y por lo tanto una realización preferida comprende un generador que incluye un aparato rotor, por ejemplo, un generador para generar electricidad de flujos de mareas.

55 El anterior rotor unidireccional o bidireccional de dos etapas surge de la realización no obvio de que cuando el fluido sale del rotor de palas helicoidales unidireccionales, el fluido poseerá tanto un componente radial como longitudinal y que este componente radial será bien adecuado para ingresar en el extremo de tramo helicoidal más pequeño de otro rotor de palas helicoidal unidireccional, cuando los dos rotores tienen palas que giran en la misma dirección cuando se reduce el tramo (es decir, ambos rotores tienen palas en sentido horario cuando se reduce el tramo o ambos rotores tienen palas en dirección contra horaria cuando se reduce el tramo). De esta manera, en el segundo rotor la dirección de flujo de fluido puede ingresar desde el extremo de tramo helicoidal más pequeño y fluye hacia el extremo de tramo helicoidal más grande. La extracción de potencia resultante sería igual que el caso inicial pero inverso y el fluido saldría del rotor solo con un componente longitudinal. En razón a que los dos rotores son contra rotatorios y poseen otro, el fluido puede fluir en la dirección opuesta con el mismo resultado. Por lo tanto, el rotor de dos etapas de este aspecto permite que la energía se extraiga de los fluidos en cualquier dirección a lo largo de dos ejes sin comprometer el nivel de producción de potencia. Una realización preferida es un aparato rotor para extraer energía de fluidos de marea, preferiblemente mediante la producción de electricidad, con lo cual el aparato rotor

funciona como una turbina de marea. El aparato puede por lo tanto tomar la forma de una turbina de marea que comprende el aparato rotor. Un flujo de líquido bidireccional adecuado también se puede generar debido al movimiento regular hacia arriba y hacia abajo o hacia adelante y hacia atrás de una embarcación o automóvil.

5 En una realización preferida el primero y segundo rotor tienen una abertura en el extremo de entrada o salida del aparato rotor que se dispone para flujo axial de fluido. De esta manera, la abertura es perpendicular al eje rotacional del aparato rotor y las palas se forman preferiblemente para recibir o expeler fluido que fluye en una dirección generalmente axial, opcionalmente en una única dirección axial. El tramo helicoidal más grande en el extremo de entrada y salida reciben por lo tanto principalmente o únicamente flujo axial, que aumenta la eficiencia.

10 Preferiblemente los primeros y segundos rotores tienen aberturas en sus extremos opuestos que no se disponen para únicamente el flujo axial, sino que en cambio se pueden adaptar para recibir o expeler fluido que fluye con un componente radial para su movimiento. El componente de flujo radial es útil en razón a que los dos extremos opuestos tienen un tramo pequeño hacia la pala de rotor y por lo tanto transfieren flujo entre los dos rotores lo que es más efectivo cuando el flujo tiene un componente radial, así como un componente axial.

15 Una realización preferida no permite el flujo de fluido a través de cualquiera abertura del rotor cuando el flujo de fluido tenga sólo un componente radial y ningún componente axial.

20 Preferiblemente, los primeros y segundos rotores tienen extremos opuestos que tienen mismo diámetro. El primer rotor y/o el segundo rotor pueden ser un rotor cilíndrico que tiene una pala formada por una hélice cilíndrica. Sin embargo, en realizaciones preferidas el primer rotor y/o el segundo rotor tiene una pala o palas formadas por una superficie que se extiende entre las hélices cónicas interna y externa, las hélices cónicas tienen cada una un tramo que se reduce cuando el radio de la hélice aumenta. Los rotores pueden tener características como se discute adelante con relación al cuarto aspecto de la invención, por ejemplo, en relación con la forma y el diseño de las hélices cónicas, el número de palas, el aro externo y la superficie periférica interna, generador características y así sucesivamente. En la realización preferida en donde el primer rotor y el segundo rotor comprenden una pala o palas formadas entre las hélices cónicas, los dos rotores tienen extremos de diámetro grande que se oponen entre sí y tienen el mismo diámetro.

30 El primero y segundo rotores tienen extremos que se oponen entre sí de tal manera que los fluidos que fluyen de un rotor a otro rotor. Preferiblemente los extremos opuestos se oponen directamente, es decir, con espacio mínimo entre los dos rotores. Esto hace mejor uso del componente radial del flujo que sale de un rotor en ingresa al otro. Sin embargo, en aplicaciones de turbina de mareas, para reducir el peligro a la vida acuática, el espacio entre los dos rotores se puede aumentar para reducir el efecto de picado entre rotores. La vida acuática puede pasar a través del dispositivo sin daño al ser transportado a lo largo del flujo giratorio.

35 Preferiblemente el primer rotor y el segundo rotor tienen una pala o palas de la misma forma formadas mediante hélices cónicas similares. Esto asegura bidireccionalidad máxima en razón a que un flujo de fluido idéntico puede ingresar al aparato rotor de dos etapas desde cualquier extremo con la misma potencia de despegue resultante.

40 El aparato del rotor puede comprender una carcasa alrededor de los primeros y segundos rotores. La carcasa soporta preferiblemente los rotores para rotación alrededor del eje rotacional. La carcasa de rotor se puede diseñar para realizar diversas funciones. Por ejemplo, la carcasa de rotor se puede diseñar exclusivamente para alojar los rotores y proporcionar soporte por vía de rodamientos mecánicos, rodamientos magnéticos o algún otro tipo de sistema de rodamiento activo o pasivo que permita que los rotores para giren libremente con poca fricción. Una disposición de sellado tal como sellos de borde, sellos de laberinto o algún otro tipo de disposición de sellado también pueden estar en el lugar para evitar que el flujo de líquido alcance los rodamientos o componentes eléctricos en la carcasa del rotor. O, alguno flujo líquido se puede direccionar hacia los rodamientos e intercambiadores de calor de componentes eléctricos y utilizar como refrigerante en aplicaciones demandantes.

45 La carcasa también puede incluir generadoras, sistemas de control y similares. Cualquier forma adecuada de carcasa se puede utilizar. En una realización preferida, la carcasa de rotor tiene una sección de entrada y una sección salida. La carcasa de rotor se puede utilizar para mejorar el desempeño de los rotores. La geometría de entrada de la carcasa de rotor se puede diseñar para aumentar la velocidad lineal del flujo de líquido cuando ingresa a la entrada del rotor mediante el uso de una sección convergente o alguna otra geometría. En razón a que la potencia disponible del flujo de líquido es proporcional al cubo de la velocidad de flujo de líquido, esto proporciona un medio efectivo para aumentar la cantidad de energía disponible. La salida de la carcasa del rotor también se puede diseñar para reducir el flujo de líquido en una forma controlada a través del uso de una sección divergente o una geometría de salida diseñada especialmente de tal manera que la pérdida turbulencia y viscosidad se minimizan y el fluido regresa gentilmente al volumen principal de fluido con perturbación mínimo.

60 Los rotores pueden cada uno comprender por lo menos una pala dispuesta para girar alrededor de un eje rotacional, la pala se forma mediante una superficie que se extiende entre las hélices cónicas interna y externa, las hélices cónicas cada una tienen un tramo que se reduce cuando aumenta el radio de la hélice.

65

5 En el contexto actual, una hélice cónica tiene una curva tridimensional formada sobre una superficie de un cuerpo generalmente cónico. La superficie del cuerpo generalmente cónico puede ser cónica, de cono truncado o de cualquier otra forma diseñada como una superficie de revolución que tiene generalmente un radio creciente o decreciente. De esta manera, la superficie no se limita específicamente a un cono de lados rectos, sino que en su lugar puede ser un cono de lados convexos o de cono truncado tal como una zona o forma de cono de nariz, o alternativamente el cono puede tener un cono de lado cóncavo o de cono truncado. Lo que es importante para el rotor de la invención es que cada hélice cónica se forma con un radio que aumenta a lo largo de un eje del rotor y un tramo que se reduce cuando aumenta el radio. Las hélices cónicas interna y externa tienen preferiblemente la misma reducción en tramo, aunque son posibles aplicaciones en donde se puede utilizar una reducción diferente en el tramo para las hélices cónicas interna y externa.

10 Los términos "interno" y "externo" se utilizan aquí para referirse a partes del rotor que tienen un radio más pequeño o más mayor del eje rotacional del rotor.

15 El rotor es para extraer energía cinética de un flujo de fluido al convertirla en energía cinética en el flujo de fluido en una fuerza de rotacional o torque, permitiendo por lo tanto la conversión hacia adentro en una forma más conveniente de energía, tal como energía eléctrica. Preferiblemente el rotor es para generación de electricidad a partir de flujos de marea.

20 Puede haber un aro externo ubicado alrededor del borde externo de la pala y que corresponde a la superficie sobre la cual se forma la hélice cónica externa. Puede haber una superficie periférica interna ubicada alrededor del borde interno de la pala y que corresponde a la superficie sobre la cual se forma la hélice cónica interna. El rotor por lo tanto incluye preferiblemente superficies internas y externas que incluyen las palas, que pueden superficies generalmente cónicas interna y externa de revolución que corresponde a las rutas de las hélices cónicas. Internamente, el rotor por lo tanto tiene uno o más pasajes de flujo formados entre las superficies de pala delantera y posterior, el aro externo y la superficie interna. Los pasajes de flujo contienen efectivamente el fluido que fluye y evitan que se pierda la energía debido a las pérdidas de punta.

30 Para permitir la rotación de la pala esta se puede montar sobre el aro externo y/o la superficie periférica interna, que luego se montarían para movimiento, por ejemplo, por medio de rodamientos y un eje fijo. En realizaciones preferidas la pala se extiende entre estos y se monta a ambos el aro externo y la superficie interna. Esto asegura el flujo encerrado de fluido y minimiza las pérdidas de punta. Alternativamente, sería posible montar la pala a solo uno del aro externo y la cara interna, con el otro aro externo o la superficie interna restante fija. Esta última disposición puede dar aumento a mayores pérdidas, pero podría simplificar la fabricación del rotor.

35 En una realización preferida el rotor tiene una abertura en el extremo de diámetro pequeño del rotor que se dispone para flujo axial del fluido. De esta manera, la abertura es perpendicular al eje rotacional del rotor y las palas se forman preferiblemente para recibir o expeler fluido que fluye en una dirección generalmente axial. Preferiblemente el rotor tiene una abertura en el diámetro grande que también es perpendicular al eje rotacional del rotor. Sin embargo, en la realización preferida las palas en el extremo de diámetro grande no se disponen únicamente para flujo axial, pero en cambio se pueden adaptar para recibir o expeler fluido que fluye en un componente radial a su movimiento. Una realización preferida no permite el flujo de fluido a través de la abertura del rotor cuando el flujo de fluido tiene sólo un componente radial y ningún componente axial.

40 Las hélices cónicas interna y externa empiezan preferiblemente en la misma posición longitudinal a lo largo del eje rotacional del rotor antes de extenderse a lo largo de la dirección del eje rotacional del rotor. Preferiblemente las hélices cónicas interna y externa también se extienden por aproximadamente la misma longitud axial a lo largo de la dirección del eje rotacional del rotor. Con esta disposición cuando un aro externo del rotor está presente encierra naturalmente una abertura que requiere un componente axial del flujo para que el fluido fluya a través de la abertura.

50 La hélice cónica puede tener cualquier forma adecuada que permita una curva tridimensional con un aumento de radio y una reducción de tramo como se describió anteriormente. Una opción preferida es el uso de un espiral Arquimedeo con un aumento lineal en el radio, que se puede utilizar para producir un rotor con una forma simple basada en el cono truncado del lado recto. Sin embargo, la hélice cónica se puede basar alternativamente en espirales de Euler, Fibonacci, hiperbólica, Lituus, logarítmica, Theodorus o cualquier otra espiral conocida que tiene radio variable  $r$  como una función de la coordenada polar  $\theta$  pero que también tiene una tercera variable, la longitud  $l$  que también varía como una función de la coordenada polar  $\theta$ . Algunas curvas y/o el uso de radio no lineal que aumenta resultará en hélices cónicas basadas en formas cónicas con lados cóncavos o convexos, como se discutió anteriormente.

60 Las hélices cónicas interna y externa se pueden basar en la misma forma de espiral o curva, con diferentes radios inicial y final. Alternativamente, las diferentes formas de curva o espiral se pueden utilizar para las hélices cónicas interna y externa que producen una forma más compleja para la pala.

65 Aunque se puede utilizar una única pala es ventajoso utilizar múltiples palas. Esto crea múltiples pasajes de flujo y también permite que el rotor se balancee fácilmente. La elección de dos, tres o más palas de rotor puede depender

del balance de la resistencia del rotor, facilidad de fabricación y pérdida de energía con fricción. En la presente realización, se prefiere la elección de tres palas de rotor ya que ofrece una fuerte construcción de tres puntos balanceada con mínima pérdida de fricción.

5 La pala o palas se forman preferiblemente como superficies generadas por líneas rectas entre puntos en las hélices cónicas interna y externa en la misma distancia longitudinal a lo largo de la dirección del eje rotacional del rotor. De esta manera, la superficie de pala puede conectar el par de hélices cónicas en la dirección radial. Alternativamente, las palas se pueden formar como superficies generadas por curvas entre puntos sobre las hélices cónicas interna y externa en la misma distancia longitudinal a lo largo de la dirección del eje rotacional del rotor. Con esta disposición  
10 las superficies de palas pueden, por ejemplo, ser cóncavas cuando se ven desde el extremo de diámetro grande del rotor.

Las hélices cónicas interna y externa ambas pueden aumentar en radio en la misma proporción, de tal manera que las superficies cónicas generalmente son paralelas. Sin embargo, puede ser ventajoso ajustar el desempeño del rotor al tener un índice diferente de aumento en diámetro para las hélices cónicas interna y externa. La hélice cónica interna puede aumentar en radio en una proporción más lenta que el aumento en el radio de la hélice cónica externa con el fin de reducir o restringir las fuerzas de reacción hidrodinámicas y las fuerzas de torsión producidas por el rotor. Alternativamente, el radio de hélice cónica interno puede aumentar en una proporción más rápida que el radio de hélice cónica externo con el fin de aumentar las fuerzas de reacción hidrodinámicas y las fuerzas de torsión.

Los parámetros discutidos anteriormente, incluyendo el radio de la hélice cónica, el tramo de las hélices cónicas y el aumento relativo en el radio de las hélices cónicas interna y externa que varían preferiblemente linealmente a lo largo de la longitud del rotor. Sin embargo, las variaciones de no lineales, de radio, el tramo y el radio relativo también serían posibles.

25 En una realización preferida el rotor incluye una carcasa ubicada alrededor del aro externo. La carcasa puede albergar el rotor y los rodamientos de soporte o ejes que permiten la rotación del rotor. La carcasa puede incluir una entrada convergente y/o salida divergente para condicionar el flujo del fluido antes que ingrese al rotor.

30 El rotor puede estar provisto con uno o más generadores para convertir el movimiento rotacional del rotor en energía eléctrica. El aro rotacional externo del rotor se puede disponer para actuar cuando el rotor en el generador eléctrico con una parte de la carcasa estacionaria es el estator. Alternativamente, la superficie periférica interna se puede disponer para actuar como el rotor con partes estacionarias a lo largo del eje rotacional del rotor que proporciona el estator. Con estas disposiciones el rotor y el estator forman un generador eléctrico configurado de tal manera que se acciona mediante el flujo de líquido y convierte directamente el movimiento del rotor en energía eléctrica sin la necesidad de transferir la fuerza rotacional hacia un dispositivo adicional. Se pueden montar electroimanes permanentes sobre el aro externo del rotor y sobre el lado interno de la carcasa del rotor para este propósito. El estator y el rotor formados se pueden configurar en cualquier manera adecuada para producir corriente alterna (CA) o corriente continua (CC) en una forma eficiente. La electrónica y acondicionamiento de señales se  
35 puede incorporar en la carcasa de rotor o en cualquier parte para facilitar la conexión a una red eléctrica o una instalación de almacenamiento tal como una instalación de batería.

Sin embargo, no se considera ideal el uso de imanes para aplicaciones de baja velocidad. En aplicaciones de flujo de baja velocidad es más eficiente tener un rotor de diámetro grande que sea capaz de capturar altos niveles de torque del flujo de fluido de baja velocidad. Esto resulta en una velocidad relativamente baja rotacional del rotor. Una gran serie de imanes sería necesaria para generar directamente la frecuencia correcta para dirigir la conexión a una rejilla eléctrica típica. Si se utiliza una serie de imanes más pequeños entonces el equipo electrónico adicional requeriría acondicionar la señal eléctrica para que coincida con la red eléctrica.

50 Por lo tanto, se prefiere utilizar generadores múltiples de alta eficiencia, alta velocidad, bajo torque tal como generadores asincrónicos, que son útiles en aplicaciones de frecuencia constante, velocidad variable. Los niveles de alto torque y baja velocidad rotacional son ventajosos para este tipo de generadores. Los generadores asincrónicos pueden generar potencia que luego se puede cargar directamente a la red en la frecuencia correcta.

55 En razón a que el rotor en este caso puede ser un rotor con aros internos y externo periféricos giratorios, las áreas de superficie grande están disponibles para conexión a múltiples generadores de alta velocidad y bajo torque. Las realizaciones preferidas requieren por lo tanto el uso de estos generadores, a diferencia de un único generador conectado a un giratorio eje central. Se pueden colocar diversos generadores alrededor de la periferia del aro externo giratorio con el fin de extraer la máxima potencia y/o ser reemplazado en el espacio central interno del rotor y extraer potencia de la superficie periférica interna giratoria. La conexión entre el generador y cada aro se puede hacer con un engranaje simple o utilizando una rueda portante.

60 En razón a que el aro externo y la superficie periférica interna en las realizaciones preferidas tendrán un diámetro que varía a lo largo de la longitud del rotor, entonces se pueden disponer múltiples generadores para que se conecten al aro externo o la superficie periférica interna en diferentes diámetros para que corra por lo tanto a diferentes velocidades de rotación con relación a la velocidad de rotación del rotor.

5 En una realización preferida el aro externo y/o la superficie periférica interna tienen una superficie generalmente cónica, y se pueden mover múltiples generadores montados en paralelo a una superficie cónica con el fin de permitir la variación de la velocidad rotacional de entrada a los generadores mediante el movimiento a lo largo de la superficie del cono. Esta disposición funciona de una manera similar para algunos dispositivos de transmisión variable continua. Los generadores se pueden mover a lo largo de la superficie mediante motores de tramo a tramo y de marco. Los generadores se pueden montar, por ejemplo, en la superficie interna del cono interno del rotor, o sobre la superficie externa del aro externo del rotor.

10 En una disposición alternativa se pueden montar múltiples generadores a una superficie escalonada de la superficie periférica interna del aro externo, es decir, una superficie comprendida de múltiples cilindros apilados de diferentes diámetros. Con esta disposición puede haber múltiples anillos de generadores montados a una superficie escalonada en diferentes diámetros. Uno o más anillos de generadores se pueden enganchar o desenganchar preferiblemente a diferentes velocidades rotacional con el fin de generar electricidad eficiente para diferentes velocidades.

Al permitir la conexión de velocidades variables al rotor de esta forma, una velocidad de generador relativamente constante dentro del rango variable de generadores se puede alcanzar a través de un rango de flujos de fluido.

20 En una realización particularmente preferida, un primer rotor como se describió anteriormente se proporciona en combinación con un segundo rotor como se describió anteriormente, con los extremos de diámetro grandes del primero y segundo rotores que se oponen entre sí, de tal manera que el fluido que sale del extremo de diámetro grande de un rotor y luego ingresa al extremo de diámetro grande del otro rotor. Dentro de esta disposición los rotores se montan ambos para rotación alrededor de un único eje y se montan preferiblemente dispuestos para contra rotación, es decir, de tal manera que el primer rotor gira en la dirección opuesta alrededor del eje del segundo rotor. En este caso los rotores pueden tener palas que se forman desde hélices cónicas que giran en el mismo sentido cuando aumenta el radio, es decir, los primeros y segundos rotores tienen palas que se forman en la dirección horaria cuando aumenta el radio de la hélice cónica, o alternativamente ambos rotores tienen palas en sentido contra horario.

30 Visto desde un segundo aspecto, la invención proporciona un método que comprende el uso de un aparato de rotor de dos etapas como se describió anteriormente para la producción de energía cinética rotacional del flujo de un fluido. Preferiblemente el método comprende el uso de un aparato de rotor de dos etapas para producir energía de un flujo de marea, y más preferiblemente el uso de un rotor para producir energía eléctrica del flujo de marea.

35 Visto desde un tercer aspecto, la invención proporciona un método para fabricar un aparato rotor de dos etapas que comprende: montar un primer rotor para rotación alrededor de un eje rotacional, el primer rotor tiene por lo menos una pala helicoidal; y un montar segundo rotor para rotación alrededor del mismo eje rotacional en una dirección rotacional opuesta, el rotor segundo tiene por lo menos una pala helicoidal. caracterizado porque la pala del primer rotor tiene un tramo que reduce en una dirección a lo largo del eje rotacional, y la pala del segundo rotor tiene un tramo que aumenta en la misma dirección a lo largo del eje rotacional.

40 El método puede incluir proporcionar características del aparato de rotor como se discutió anteriormente en relación con el primer aspecto. La forma y el diseño del rotor se pueden seleccionar como se discutió anteriormente en relación con un método preferido.

45 El método puede incluir fabricar uno o ambos rotores con por lo menos una pala dispuesta para girar alrededor de un eje rotacional, el método comprende: definir una hélice cónica interna y una hélice cónica externa, la hélice cónica tiene cada una un tramo que se reduce cuando aumenta el radio de la hélice; y forma las palas como una superficie que se extiende entre las hélices cónicas internas y externas.

50 El método puede incluir proporcionar características de las hélices cónica y de rotor como se discutió anteriormente, que incluyen uno o más de un aro externo, superficie periférica interna, eje, posición de partida y longitud de la hélice cónica, forma de la hélice cónica, cambio de radio de la hélice cónica, cambio relativo del radio de las hélices cónicas interna y externa, cambio de tramo de la hélice cónica, número de palas, carcasa, generadores, segundo rotor y así sucesivamente.

55 En realizaciones preferidas, el método comprende seleccionar las características del rotor basado en las características deseadas del desempeño del rotor. Por ejemplo, el método puede comprender seleccionar el índice de cambio de radio de una hélice cónica o ambas hélices cónicas basado en una salida de fuerza de torsión deseada para una condición de flujo predeterminada. La condición de flujo predeterminada puede por ejemplo ser un flujo de marea promedio en un sitio de instalación propuesto, y la fuerza de torsión deseada se puede hacer coincidir con el torque de entrada óptimo para el dispositivo de salida pretendido, que puede ser un generador o múltiples generadores. Similarmente, el método puede comprender seleccionar el cambio relativo de radio de hélices cónicas internas o externas o seleccionar el cambio en tramo de una hélice cónica o ambas hélices cónicas basado en una salida de fuerza de torsión deseada para una condición de flujo predeterminada.

El uso de múltiples generadores de alta eficiencia, alta velocidad, y bajo torque, montados en el rotor con una superficie que tiene un diámetro que varía a lo largo de la longitud del rotor, en que se disponen múltiples generadores que se van a conectar a la superficie en diferentes diámetros para que corran por lo tanto diferentes velocidades rotacional con relación a la velocidad rotacional del rotor se considera que son nuevas e inventivas en su propio derecho, y por lo tanto, vistas desde un aspecto adicional, la invención proporciona un rotor para generación de potencia eléctrica de flujo de fluido, el rotor comprende una superficie que tiene un diámetro que varía a lo largo de la longitud del rotor, en el que se montan múltiples generadores para recibir la fuerza rotacional del movimiento de la superficie en diámetros variables de la misma. La superficie puede ser una superficie generalmente cónica o una superficie escalonada, como se describió anteriormente. El término generalmente cónico está destinado a referirse a no solo conos rectos perfectos si no también conos truncados, conos convexos y conos cóncavos como se discutió anteriormente. Los generadores pueden ser generadores de alta eficiencia, alta velocidad, y bajo torque, tal como generadores asincrónicos como se discutió anteriormente. Se pueden colocar diversos generadores alrededor de la periferia de un aro externo giratorio con el fin de extraer la máxima potencia y/o ser colocados en un espacio central interno del rotor y extraer potencia del aro interno giratorio. La conexión entre el generador y cualquier aro se puede hacer con un engranaje simple o utilizando una rueda portante o algunos otros medios. El rotor puede tener características como se discutió anteriormente en relación con el rotor y el aparato rotor de dos etapas. En una realización particularmente preferida los generadores se pueden montar en forma móvil en paralelo a la superficie generalmente cónica con el fin de permitir la variación de la velocidad rotacional de entrada a los generadores mediante el movimiento a lo largo de la superficie del cono como se discutió anteriormente.

La invención también abarca el uso del rotor como se describió anteriormente para la producción de electricidad de los flujos de fluidos.

Determinadas realizaciones preferidas de la invención se describirán ahora solo por vía de ejemplo y con referencia a los dibujos acompañantes en los que:

Las figuras 1A y 1B muestran una realización de un rotor en una vista lateral y en una vista de extremo,

Las figuras 2A y 2B muestran el rotor de la figura 1 con un aro periférico externo cortado parcialmente de tal manera que son visibles más detalles del diseño de rotor

Las figuras 3A y 3B son vistas en perspectivas del rotor de las figuras 1 y 2 con el aro externo parcialmente y completamente omitido,

Las figuras 4A y 4B muestran una realización de un rotor en donde aumenta el radio de hélice cónica interno a una menor proporción que el radio de hélice cónica externo,

Las figuras 5A y 5B muestran una alternativa adicional en donde aumenta el radio de hélice cónico interno a una mayor proporción que el radio de hélice cónica externa,

Las figuras 6A y 6B muestran una realización alterna en donde se reduce el tramo helicoidal a una menor proporción que el rotor de las figuras 1 y 2,

Las figuras 7A y 7B muestran una realización alterna en donde el tramo helicoidal se reduce a una mayor proporción que el rotor de las figuras 1 y 2,

Las figuras 8A y 8B ilustran una realización de una disposición de aparato de rotor de dos etapas en una vista lateral y una vista de extremo con el aro externo parcialmente omitido,

Las figuras 9A y 9B son vistas en perspectivas del aparato rotor de dos etapas de la figura 8 con el aro externo parcialmente y completamente omitido.

La figura 10 muestra un aparato de rotor de dos etapas instalado en una carcasa con generadores en la superficie de rotor externo,

La figura 11 muestra un aparato de rotor de dos etapas instalado en una carcasa con generadores en una superficie de rotor cónica interna,

La figura 12 muestra una disposición alterna con generadores en una superficie de rotor interna escalonada,

La figura 13 ilustra una disposición con un par de aparatos de rotor de dos etapas instalado sobre un tipo de torre de estructura para uso sobre un lecho marino.

La figura 14 es una gráfica que muestra la variación en las fuerzas de torsión generada por un aparato rotor de dos etapas cuando se cambia la relación de radio mínimo  $d_0$  y radio máximo  $D_0$  de la hélice cónica,

La figura 15 es una gráfica que muestra la variación en las fuerzas de torsión generadas por un aparato rotor de dos etapas con modificación a la velocidad en la que aumenta el radio de hélice cónica interior comparado con el radio de hélice cónica externo, y

5 La figura 16 es una gráfica que muestra la variación en las fuerzas de torsión generadas por un aparato rotor de dos etapas cuando el índice de reducción del tramo helicoidal se ajusta al alterar el índice de aumento de la frecuencia helicoidal.

10 Las figuras 1A y 1B describen una realización de un rotor que incluye un aro 1 periférico externo, palas 2 y superficies 3 internas periféricas. El rotor se puede utilizar para girar el flujo de un líquido en movimiento rotacional que luego se puede utilizar para generar electricidad. Por ejemplo, en una realización preferida el rotor se utiliza en una turbina para generar electricidad de flujos de marea. Las palas 2 se extienden entre la superficie 3 periférica interna y el aro 1 externo y por lo tanto forman las rutas de flujo encerradas. En esta realización el espiral subyacente que forma el diseño de las palas 2 se basa en el espiral Arquimedeo en donde existe un aumento lineal de radio  $r$  con la coordenada polar  $\theta$ . El rotor resultante tiene por lo tanto la forma de un cono truncado. Como se indicó anteriormente, se pueden utilizar otros tipos de curva. Se pueden ver tres palas 2 rotor dentro del rotor y también la superficie 3 periférica interna. El eje 4 longitudinal del rotor se muestra por una línea central. A lo largo de las figuras, el diámetro externo máximo del rotor se designa por  $D_o$  y el diámetro externo mínimo se designa por  $d_o$ . La longitud del rotor se designa por  $L$  y la longitud local  $l$  se mide desde el extremo del rotor que tiene el diámetro externo mínimo  $d_o$ .

15 Las figuras 2A y 2B describen el rotor de las figuras 1A y 1B con el aro 1 periférico externo parcialmente oculto para claridad. El aro 3 periférico interior también se resalta. Las tres palas 2 de rotor tienen una forma diseñada mediante un par de hélices cónicas. La hélice 5 cónica externa es una hélice formada sobre la superficie interna del aro 1 externo y forma un radio externo variable  $r_o$  de la pala 2. La hélice 6 cónica interna es una hélice formada sobre el exterior del cono 3 interno y forma un radio interno variante  $r_i$  de la pala. Ambas hélices tienen un aumento de radio y una reducción del tramo helicoidal a lo largo del eje 4 longitudinal. Las palas 2 tienen un tramo helicoidal reducido que resulta de un aumento de la frecuencia helicoidal. El par de hélices 5 y 6 cónicas se generan en una dirección en sentido horario y tienen radios iniciales diferentes que aumentan en una proporción igual para formar un par de hélices cónicas paralelas.

20 Las figuras 3A y 3B muestran vistas en perspectiva del rotor de las figuras 1 y 2 en las que el detalle adicional de la forma de las palas 2 se puede observar.

25 Las figuras 4A y 4B muestran una variación del rotor. En esta realización el par de hélices 5 y 6 cónicas se generan en una dirección en sentido horario y forman el diseño de las palas 2 en la forma discutida anteriormente. Sin embargo, el radio  $r_i$  de la hélice 6 cónica interna aumenta a una menor proporción que el radio  $r_o$  de la hélice 5 cónica externa para formar por lo tanto un par de hélices cónicas no paralelas que se separan adicionalmente en un extremo de diámetro mayor del rotor que un extremo de diámetro pequeño del rotor.

30 Las figuras 5A y 5B muestran una variación adicional en la que el radio  $r_i$  de la hélice 6 cónica interna aumenta en una mayor proporción que el radio  $r_o$  de la hélice 5 cónica externa para formar por lo tanto un par de hélices cónicas no paralelas que se separan más juntas en el extremo de diámetro grande del rotor que en el extremo de diámetro pequeño del rotor.

35 Las figuras 6A y 6B muestran una variación que tiene conos internos o externos paralelos como en las figuras 1 y 2, pero en los cuales el tramo helicoidal se reduce a una menor velocidad que las realizaciones descritas anteriormente. Esto resulta en índice más lento de aumento de frecuencia helicoidal. Las figuras 7A y 7B muestran la variante opuesta en la que el tramo helicoidal se reduce en un mayor índice, que resulta en un índice as rápido de aumento de frecuencia helicoidal.

40 Las figuras 8a - 8B, 9A y 9B muestran un par de rotores en un aparato de rotor de dos etapas que puede funcionar como una turbina de mareas. Las figuras 8A y 8B son vistas de extremo y laterales con un aro 1 externo parcialmente omitido. Las figuras 9A y 9B son vistas en perspectivas del mismo par de rotor con el aro 1 externo parcialmente y completamente omitidos. Como se puede ver de la figura 8A, los dos rotores son montados extremo a extremo sobre un eje 4 de rotación común. En uso, los rotores están en contra rotación como se describió anteriormente. Los rotores mostrados en las figuras son similares a los rotores ilustrados en las figuras 1, 2 y 3 aquí, pero se apreciará que el aparato de rotor de dos etapas puede comprender cualquier par de rotores con la forma de cuchilla helicoidal requiere, tal como cualquiera de las realizaciones alternas y variaciones de rotores descritas aquí.

45 La figura 10 muestra una realización de un aparato rotor de dos etapas que puede funcionar como una turbina de mareas con un par de rotores 7, 8 de contra rotación, instalados en una carcasa 9 a lo largo de un eje 4 longitudinal común. La carcasa 9 se muestra en una sección transversal y los rotores 7, 8 se muestran en la sección trasversal parcial. Los rotores 7 y 8 giran alrededor de un eje 11 fijo común que se asegura a la carcasa 9 y está soportado por los rodamientos 10. Para asegurar que el flujo pasa sólo a través de los rotores 7, 8, los sellos 15 de laberinto se colocan en cualquier extremo de los rotores 7, 8 entre una superficie interna de la carcasa 9 y una superficie externa

de los aros 1 de cada rotor 7, 8. En esta realización, los dos extremos de la carcasa 9 tienen una geometría 16 convergente/divergente diseñada para aumentar/reducir la velocidad de fluido y mejorar el desempeño de los dos aparatos rotores de dos etapas.

5 El aparato rotor de dos etapas se utiliza para acomodar un flujo unidireccional y también un flujo reversible o cíclico mediante la combinación de dos de los rotores. El primer rotor de etapa recibe el flujo de fluido líquido que se aproxima que posee un componente longitudinal y extrae una proporción de la energía cinética al convertir la fuerza rotacional o torque que provoca que gire el primer rotor de etapa. El segundo rotor de etapa tiene una geometría construida en la misma forma que el primer rotor de etapa y gira alrededor del mismo eje longitudinal que el primer rotor de etapa, pero gira 180° con relación al primer rotor de etapa, por lo tanto, gira en la dirección opuesta alrededor del eje. El flujo líquido sale del primer rotor de etapa en un ángulo determinado por el tramo helicoidal en la salida de rotor y luego es recibido por el segundo rotor de etapa, la entrada al segundo rotor de etapa está en un ángulo similar y tramo helicoidal. En esta etapa el fluido posee tanto un componente longitudinal como radial. El segundo rotor de etapa extrae una proporción adicional de la energía cinética del flujo líquido. Cuando el fluido sale el segundo rotor de etapa posee idealmente un componente longitudinal únicamente y puede ser regresado del flujo principal con mínima interferencia.

En la realización de la figura 10, la carcasa 9 se diseña para proporcionar un área de montaje para múltiples generadores 13 de alta eficiencia, alta velocidad, bajo torque colocados por fuera de los rotores 7, 8. Los generadores 13 se accionan mediante el movimiento del aro 1 giratorio externo de los rotores 7, 8 mediante el engranaje apropiado.

La figura 11 muestra una sección transversal de una realización alterna de un aparato rotor de dos etapas instalado en una carcasa 9. En la realización mostrada en la figura 11, en contraste a la disposición de la figura 10 los generadores 13 se colocan dentro del cono interno en lugar de afuera del cono externo. Los bloques 12 de montaje fijos se unen al eje 11 fijo dentro de los rotores 7 y 8. Estos proporcionan un área de montaje para generadores 13 de alta eficiencia, alta velocidad, bajo torque. Los generadores 13 se acciona mediante la superficie interna del cono 3 interno de los rotores 7, 8 mediante el engranaje adecuado.

30 Como se mencionó, en la presente realización en donde el espiral subyacente se basa en el espiral Arquimediano en donde existe un aumento lineal en el radio  $r$  con la coordenada polar  $\theta$ , el rotor propiamente dicho forma el diseño similar al cono truncado. Una característica de esta forma es que la velocidad lineal del aro 3 varía a lo largo del eje 4 longitudinal debido al radio externo variante. En razón a que los generadores de 13 en esta realización se montan sobre un bloque 12 con una superficie paralela a la superficie interno del cono 3 interno los generadores 13 se pueden mover a lo largo de la superficie mediante el marco adecuado y los motores 14 escalonados. Los generadores 13 se pueden asegurar a un montaje de estructura móvil común o moverse por separado a lo largo de la superficie truncada por los motores de tramo a tramo activados por equipo de monitorización cableado o inalámbrico y/o CPU de tal manera que el aparato rotor de dos etapas es capaz de responder a cambios en la velocidad rotacional de los rotores 7, 8 y ajustar la posición longitudinal de los generadores a lo largo del cono truncado. Esto permite que los generadores 13 se muevan dentro de los rotores 7, 8 para responder a cambios en la velocidad rotacional de los rotores 7, 8. En esta forma, una velocidad de generador relativamente constante dentro del rango variable de los generadores de 13 se puede alcanzar a través de un rango de flujo de fluidos. Para un flujo de fluido de baja velocidad el punto de conexión de generador se puede hacer en el extremo de mayor velocidad lineal, esto es en el extremo de diámetro más grande del rotor. Para mayores velocidades de flujos de fluidos el punto de conexión del generador se puede reposicionar en el extremo de velocidad lineal as bajo, este es el extremo de diámetro más pequeño del rotor. Esto presenta una ventaja significativa, en razón a que una caja de velocidades complicada no requiere que representa un ahorro significativo en economía y complejidad.

La figura 12 muestra una sección transversal de una realización alterna de un aparato de rotor de dos etapas instalado en una carcasa 9. En la realización mostrada en la figura 12, en contraste a la disposición de la figura 10 se montan los generadores 13 sobre un montaje 16 de motor fijo en lugar del exterior de un cono externo. Los montajes 12 de motor fijo se unen al eje 11 fijo dentro de los rotores 7 y 8. Esto proporciona un área de montaje para múltiples generadores 13 de alta eficiencia, alta velocidad de bajo torque. Los generadores 13 se accionan mediante la superficie de revolución interna del cono 3 interno de los rotores 7, 8 mediante el engranaje adecuado.

55 Como se mencionó, en la presente realización en donde el espiral subyacente se basa en el espiral Arquimediano en donde existe un aumento lineal en el radio  $r$  con la coordenada polar  $\theta$ , el rotor propiamente dicho forma el diseño similar a un cono truncado. Una característica de esta forma es que la velocidad lineal del aro 3 varía a lo largo del eje 4 longitudinal debido a un radio externo variante. En razón a que los generadores de 13 en esta realización se montan sobre un montaje 16 de motor fijo los generadores 13 se pueden instalarse como anillos de generadores que se pueden enganchar o desenganchar según se requiera en diferentes ubicaciones a lo largo del eje 4 longitudinal. Los anillos de los generadores 13 se pueden enganchar o desenganchar por motores de tramo a tramo activados mediante equipo de monitorización cableado o inalámbrico y/o CPU de tal manera que el aparato rotor de dos etapas es capaz de responder a cambios en la velocidad de rotación de los rotores 7, 8 y ajustar el número de anillos de los generadores 13 en uso en cualquier momento dado.

Esto permite que los anillos de los generadores 13 se enganchen y desenganchen selectivamente dentro de los rotores 7, 8 para responder a cambios en la velocidad de rotación de los rotores 7, 8. De esta forma, una salida de generador relativamente constante dentro del rango variable de los anillos de generadores 13 se puede lograr a través de un rango de flujo de fluidos. Adicionalmente, la operación de los anillos de los generadores 13 por fuera de su rango de operación se puede controlar y por supuesto, se pueden desconectar todos los generadores si turbina de dos etapas se sobrecarga en flujo de fluidos extraños.

En general, para anillos de flujo de fluido de baja velocidad de los generadores 13 se pueden enganchar en el extremo de velocidad lineal mayor, esto es en el extremo de diámetro más grande del rotor. Para flujos de fluido de mayor velocidad los anillos de los generadores se pueden enganchar en el extremo de velocidad lineal más bajo, este es el extremo de diámetro más pequeño del rotor. El enganche de múltiples anillos también es posible, por ejemplo, enganchando dos o más anillos de generadores en el extremo de menor velocidad lineal o dos o más anillos de generadores en el extremo de mayor velocidad lineal. Esto presenta una ventaja significativa sobre la figura 11, ya que un dispositivo de posicionamiento complicado no se requiere que represente un ahorro significativo en gastos y complejidad. También como se muestra en la figura 12, se sellan compartimentos 17 que pueden incorporar piñones de control para los generadores o dispositivos de flotación para permitir la recuperación segura de la turbina de etapas dos a la superficie para reparación y servicio.

El aparato rotor de dos etapas se puede aplicar efectivamente a direcciones de flujo de fluido líquido vertical, así como horizontal y los que están entre ellos al variar la orientación de la entrada y salida y la orientación de los rotores. En aplicaciones de turbinas de marea, la carcasa de rotor también funciona para dirigir el flujo de líquido en el rotor para corregir desviaciones de flujo cruzado menores. Para desviaciones de flujo cruzado más grandes, la carcasa de rotor puede tener un sistema de dirección y suspensión e incluir aletas, engranajes y dispositivos de control de flotación con el fin de ajustar su posición dentro del campo de flujo con el fin de optimizar el desempeño o para alcanzar la superficie con propósito de mantenimiento si se sumerge en una corriente líquida. El sistema de suspensión y dirección proporciona una determina capacidad de autoajuste con respecto a los cambios en la dirección de flujo.

Es posible tener un aparato rotor de dos etapas adicional dispuesto o instalado en serie en la carcasa de rotor. Sin embargo, la cantidad de potencia restante en el flujo de líquido que sale de la primera turbina de dos etapas sería menor que aquel contenido en el flujo líquido original. Por lo tanto, parece más económico tener múltiples aparatos de rotor de dos etapas en paralelo.

En operación, particularmente en aplicaciones de turbina de mareas, el aparato rotor de dos etapas se puede apoyar sobre un piso, por ejemplo, el lecho del mar o se puede suspender en un flujo líquido por medio de una disposición de anclaje o amarre al lecho marino o a una balsa de flotación. O se puede sentar sobre una torre instalada sobre el lecho marino de tal manera que pueda ser recuperado del mar para manteniendo por un buque sobre la superficie o mediante una disposición de extensión telescópica en la torre. O se puede configurar para que sea naturalmente flotante de tal manera que se ubique suspendido en el flujo de fluido, al modificar la flotación de la unidad, la disposición de turbina de dos etapas se puede elevar hasta la superficie o bajar hasta el lecho marino. O la disposición de turbina completa se puede configurar de tal manera que sólo una parte más pequeña de la disposición se necesitaría recuperar para mantenimiento. En este caso una subunidad de la disposición que contiene los componentes de rotor y eléctricos solo se pueden separar de la estructura instalada principal que sale de la estructura instalada principal en el lugar. Esto proporciona una operación de mantenimiento más simple.

La figura 13 muestra una posible utilización del aparato rotor de dos etapas como una turbina de mareas. Los rotores 7,8 en las dos carcasas 9 como se muestra en las figuras 10, 11 o 12 se instalan sobre una estructura de torre que se puede instalar sobre el lecho marino. Las múltiples carcasas de rotor se pueden alinear con la primera dirección de flujo para permitir la operación efectiva en un flujo reversible o cíclico tal como un sistema de corrientes de marea. En razón a que el aparato rotor de dos etapas es capaz de operación eficiente con la dirección de flujo no es necesario proporcionar un mecanismo de rotación de la torre cuando cambia la dirección de flujo de marea.

Una disposición alterna (no mostrada) sería para montar el aparato de rotor de dos etapas en una carcasa dentro de un tubo en donde fluye el fluido. El flujo de fluido en cualquier dirección se convertiría eficientemente en movimiento rotacional y, de acuerdo con la realización preferida del rotor, convertido en energía eléctrica por los generadores. El tubo se puede instalar dentro de las vías acuáticas de una represa o una estación de hidropotencia o una presa de mareas Alternativamente, si puede estar dentro de un sistema de corrientes líquida encerrado que consiste de dos depósitos líquidos conectados en dicha forma que se permite la transferencia de líquido de un depósito al otro. Se puede inducir un flujo de líquido entre dos depósitos como una consecuencia de fuerzas hechas por el hombre o naturales externamente aplicadas. Dicha fuerza externa puede ser experimentada si se instala transversalmente o longitudinalmente a bordo de un buque o algún otro objeto móvil tal como un tren o un automóvil creando movimiento transversal y/o longitudinal.

De esta manera, los rotores como se describe aquí se utilizan en realizaciones preferidas en un aparato rotor de dos etapas instalado en una carcasa de rotor. Cuando el aparato rotor de dos etapas se somete a una variedad de escenarios de flujo de fluido líquido, tal como flujos de marea, los rotores extraen la energía cinética del flujo de

fluido líquido y la conviertan en una fuerza rotacional o torque que provoca que el par de rotores con forma específica giren.

5 En la realización preferida del flujo de marea se aplica torque para accionar los generadores eléctricos como se indicó anteriormente. Alternativamente, se puede utilizar torque para impulsar una bomba, un compresor o cualquier otro dispositivo que requiera que se aplique una fuerza rotacional o torque.

10 La geometría de los rotores facilita la conversión de la energía cinética en flujo de fluido líquido para fuerza rotacional o torque. La geometría de los rotores se basa en el par de hélices 5, 6 cónicas que tienen un aumento en el radio  $r$  con una coordenada  $\theta$  polar a lo largo del eje 4 longitudinal, cada hélice 5, 6 poseen un radio inicial diferente. El par de hélices 5, 6 cónicas también tienen un tramo que reduce con la coordenada  $\theta$  polar cuando aumenta el radio. La reducción de tramo helicoidal proporciona un aumento de la frecuencia helicoidal. Este tipo de hélice cónica se puede definir como una espiral tridimensional que tiene un radio  $r$  variante como una función de la coordenada  $\theta$  polar pero también tiene una tercera variable, la longitud  $l$  que varían también como una función de la coordenada polar  $\theta$ .

15 Se puede generar el par de hélices cónicas en una dirección horaria o contra horaria y como se muestra en las figuras 6A a 7B la velocidad de reducción del tramo helicoidal que resulta en un aumento en la frecuencia helicoidal se puede variar para obtener una reducción óptima del tramo helicoidal por unidad de longitud. Otras variables que tienen un efecto directo sobre la potencia extraída son los radios iniciales y finales del par de hélices cónicas (y de esta manera los diámetros interno o externo máximo y mínimo del rotor) y la longitud general del rotor. Estas también se pueden optimizar para una situación de flujo dada. Por ejemplo, en una aplicación de tubería, se puede limitar el espacio y restringir para que existan diámetros de tubería, por lo tanto un rotor que tiene diámetros externos máximos y mínimos relativamente pequeños se pueden preferir, por ejemplo 1 m y 2m de diámetro respectivamente. En este caso, un rotor más grande puede ser beneficioso que luego permite espacio para que se extienda el par de hélices cónicas para optimizar la salida de potencia. En una aplicación de turbina de marea, el espacio no puede ser un problema y los diámetros grandes, por ejemplo 10 m y 20 m respectivamente se pueden utilizar para mejorar en gran medida la salida de potencia. Se puede utilizar luego un rotor más corto para reducir los costes de instalación y cobertura.

20 Las superficies de pala de rotor del rotor se forman cuando el par de hélices cónicas se conectan en la dirección radial. En los rotores mostrados en las figuras se presentan tres palas 2 de rotor idénticas. Alternativamente puede haber menos o más palas 2 de rotor idénticas separadas equidistante alrededor del rotor. Las palas de 2 rotor se extienden entre la superficie 3 periférica interna y el aro 1 externo y se fijan a la superficie 3 periférica interna o el aro 1 externo para rotación con estos.

25 Se crea una fuerza de reacción hidrodinámica sobre una superficie sólida cuando un cuerpo de fluido que fluye sobre la superficie sólida experimenta un cambio del momentum. La fuerza hidrodinámica neta que actúa sobre el cuerpo de fluido en una dirección particular es al índice de cambio de momentum del cuerpo de fluido en esa dirección como se indica por la segunda ley de Newton. De acuerdo con la tercera ley de Newton, una fuerza de reacción hidrodinámica igual y opuesta actúa sobre la superficie del sólido que se une al cuerpo de fluido. Ejemplos de dichas fuerzas de reacción hidrodinámicas son aquellas encontradas cuando un chorro de agua golpea una pared, o la fuerza aplicada en un sistema de tubería cuando se obliga que el fluido gire en una curva o la fuerza que se siente en un cuerpo sólido cuando se coloca en un fluido que fluye que obliga a que el fluido fluya alrededor de este.

30 En los rotores descritos aquí una unión de superficie sólida del cuerpo de fluido que fluye se forma mediante el par de palas de rotor delantera y posterior y los aros internos y externos del rotor. Cuando el cuerpo de fluidos fluye a través del rotor de forma especialmente y su pasaje de flujo complicado se ve forzado constantemente a cambiar de dirección debido a la forma de las palas y a la reducción de tramo helicoidal de la entrada a la salida lo que resulta en un aumento frecuencia helicoidal, resulta por lo tanto en un índice continuo de cambio de momentum. Este índice de cambio de momentum resulta necesariamente en una fuerza de reacción hidrodinámica que actúa sobre las superficies sólidas del rotor. Cuando la hélice cónica tiene una dirección geométrica dada, esta se encuentra en dirección horaria o en forma contra horaria, la fuerza de reacción hidrodinámica actúa en la dirección opuesta y por lo tanto el centro de fuerza de reacción hidrodinámica se desplaza a una distancia radial del eje longitudinal, se genera una fuerza de torsión que actúa alrededor del eje longitudinal del rotor y tiende a girar el rotor.

35 El espiral de matemática subyacente de la hélice cónica se puede basar en espiral Arquímediana, de Euler, de Fibonacci, hiperbólica, Lituus, logarítmica, Theodorus o cualquier otra espiral conocida que tenga radios  $r$  variables como una función de la coordenada  $\theta$  polar, sino que también tiene una tercera variable, la longitud  $l$ , que varía también como función de la coordenada  $\theta$  polar. Por las razones discutidas anteriormente, es evidente que una espiral subyacente que posee un cambio más rápido en el radio  $r$  interno y externo con la coordenada  $\theta$  polar induciría a un índice de cambio más rápido del momentum que resulta necesariamente en un aumento en la fuerza de reacción hidrodinámica. Esto es similar a comparar una curva poco profunda con una curva aguda. Es bien sabido que la fuerza experimentada en un sistema de tuberías se incrementa cuando el fluido se ve obligado a girar la más aguda de las dos curvas.

En las realizaciones descritas anteriormente, por motivos de simplicidad, el espiral subyacente se basa en un espiral de Arquímediana cuando subsiste un aumento lineal en el radio  $r$  con la coordenada  $\theta$  polar. Sin embargo, es igualmente factible construir el rotor por vía de un aumento no lineal los radios interno y externo  $r$  con la coordenada  $\theta$  polar a través del uso de una espiral matemática subyacente diferente tal como espiral Arquímediano, de Euler, de Fibonacci, hiperbólica, de Lituus, logarítmica, Theodorus o cualquier otro espiral conocido que tenga radios  $r$  variables como una función de la coordenada  $\theta$  polar pero que también tiene una tercera variable, la longitud  $l$ , que también varía como función de la coordenada  $\theta$  polar. El uso de un espiral de Arquímediano con aumento lineal en los radios  $r$  con la coordenada  $\theta$  polar proporciona una hélice cónica formada alrededor de un cono truncado de lados rectos como se muestra en las figuras. Por el contrario, un aumento no lineal en los radios  $r$  interno y externo con la coordenada  $\theta$  polar proporcionaría una forma diferente, por ejemplo, las superficies cónicas interna y externa se pueden curvar.

En las realizaciones preferidas ilustradas aquí, el par de hélices cónicas se seleccionan para que tengan un aumento lineal en los radios  $r$  con una coordenada  $\theta$  polar a lo largo del eje longitudinal, cada una posee un radio diferente inicial. En algunas realizaciones, como las figuras 4A a 5B el incremento del radio de la hélice cónica puede aumentar en más o menos proporción para formar un par de hélices cónicas no paralelas. En otras realizaciones, como las figuras 1A a 3B ellas pueden aumentar en la misma proporción para formar un par de hélices cónicas paralelas. Simultáneamente, el tramo helicoidal también se reduce por vía de la variación  $l$  como una función de  $\theta$  continuamente o en etapas discretas a lo largo del eje longitudinal. El índice de reducción de tramo helicoidal o la proporción de aumento de frecuencia helicoidal en las realizaciones de las figuras es lineal. Alternativamente este puede no ser lineal.

El radio, con forma de hélice, aumenta y el tramo reduce la combinación para proporcionar la fuerza de reacción hidrodinámica general sobre el rotor y de esta manera el torque y salida de potencia. Estos parámetros pueden optimizarse para maximizar la extracción de potencia de un flujo de fluido dado o para limitar la extracción de potencia de un flujo de fluido dado si se requiere. El siguiente grupo de ecuaciones considera las fuerzas de reacción hidrodinámica y torques generados.

$$\dot{m}_{entrada} = \dot{m}_{salida} = \dot{m} \quad [1]$$

$$F_x = \dot{m}(u_2 - u_1) \quad [2.1]$$

$$F_y = \dot{m}(v_2 - v_1) \quad [2.2]$$

$$F_z = \dot{m}(w_2 - w_1) \quad [2.3]$$

$$T_x = F_z \times y - F_y \times z \quad [3.1]$$

$$T_y = F_x \times z - F_z \times x \quad [3.2]$$

$$T_z = F_y \times x - F_x \times y \quad [3.3]$$

Como se indica en la ecuación [1], el flujo de masa  $\dot{m}$  en el rotor es constante. Las fuerzas de reacción hidrodinámica  $F_x$ ,  $F_y$  y  $F_z$  se producen necesariamente debido a la reducción continua del tramo helicoidal o en otras palabras, debido a un cambio continuo en la dirección de flujo de fluido y de esta manera un cambio en la velocidad de los componentes  $u$ ,  $v$  y  $w$  del fluido entre los componentes de velocidad en primeras y segundas secciones cruzadas arbitrarias en el rotor, los primera y segunda secciones cruzadas arbitrarias están a diferentes distancias a lo largo de la longitud del rotor. Esto resulta en un índice de cambio del momentum y las fuerzas de reacción hidrodinámicas como se expresa mediante la ecuación [2.1] a [2.3]. Observe la regla a mano derecha, los torques  $T_x$ ,  $T_y$  y  $T_z$  alrededor del eje  $x$ ,  $y$  y  $z$  del rotor se producen por la salida del producto de balance cruzado de los componentes de fuerza hidrodinámicas y las distancias  $x$ ,  $y$  y  $z$  pertinentes del eje longitudinal alrededor del cual ellos actúan como se muestra por las ecuaciones [3.1] [3.3].

De acuerdo con este grupo de ecuaciones se puede entender que un cambio en el índice de reducción del tramo helicoidal resultara en un aumento o reducción en las fuerzas de torsión y salida de potencia. Una reducción en la fuerza torsión se alcanza mediante un índice de reducción más lento del tramo helicoidal y un aumento en la fuerza de torsión se alcanza mediante una proporción más rápida de la reducción del tramo helicoidal.

La distancia desde el eje longitudinal a la que actúan las fuerzas de la reacción hidrodinámicas se incrementa o se disminuye continuamente mediante el cambio en el radio del par de hélices cónicas. Para cada pasaje de flujo complicado un grupo de fuerzas de torsión separadas resulta, la fuerza de torsión total alrededor del eje longitudinal del rotor, es la suma de todas las fuerzas de torsión que actúan alrededor del eje longitudinal del rotor.

En el caso en donde el aumento de radios del par de hélices cónicas aumenta en la misma proporción para formar un par de hélices cónicas paralelas esto resulta en un aumento igual en la distancia del eje longitudinal en el que las fuerzas de reacción hidrodinámica actúan y de esta manera una magnificación de la fuerza de torsión y potencia de salida se determinada por la ecuación [3.1] a [3.3]. En este caso, las áreas de sección transversal en las primeras y segundas secciones cruzadas arbitrarias en el rotor aumentan en una proporción constante y en razón a que el flujo de masa es constante, las diferencias de velocidad y de esta manera las fuerzas de reacción hidrodinámicas producidas son constantes. La magnificación de la fuerza de torsión y la salida de potencia sólo es en la proporción en la que el radio del par de hélices cónicas aumenta.

Cuando aumenta el radio del par de hélices cónicas en mayor o menor proporción para formar un par de hélices cónicas no paralelas, esto tiene el efecto de cambiar la proporción en la que las áreas de sección transversal en la primera y segunda secciones cruzadas arbitrarias en el rotor aumenta. Cuando aumenta la hélice cónica interna en radio a una velocidad más lenta que el aumento en el radio de la hélice cónica externa, el área de sección transversal aumenta el índice de transferencia. Esto tiene el efecto de reducir los cambios en los componentes de velocidad y por lo tanto el flujo de masa es constante, las fuerzas de reacción hidrodinámicas producen menos. Cuando el radio de la hélice cónica interna aumenta en una proporción más rápida que el radio de la hélice cónica externo, el área de sección transversal aumenta en una proporción más lenta. Esto tiene el efecto de aumentar los cambios en los componentes de velocidad y por lo tanto el flujo de masa es constante, las fuerzas de reacción hidrodinámicas producidas son mayores. De esta manera, aunque la manipulación de los parámetros del rotor, es posible para manipular la salida de potencia extraída y optimizar o restringirlo según se requiera.

Adicionalmente, la conexión entre el par de hélices cónicas no se limita a ser rectas. La conexión se puede curvar, por ejemplo, una superficie cóncava se puede utilizar para aumentar el área de superficie a lo largo de la superficie de la pala de rotor con forma especial con el fin de dispersar las fuerzas hidrodinámicas resultantes sobre un área mayor más grande y reducir la tensión interna, En forma similar el par de hélices cónicas se alinean generalmente axialmente por simplicidad pero se pueden desalinear ligeramente con el fin de cambiar las características de superficie de las hélices cónicas en una forma beneficiosa.

Como se discutió anteriormente, varios parámetros de la forma de rotor y pala se pueden variar dependiendo del propósito del rotor y las condiciones de operación que se expondrá a, tal como índice de flujo y así sucesivamente. Las Figuras 14 a 16 ilustran como estos cambios de los parámetros afecta el desempeño del rotor.

La Figura 14 es una gráfica que ilustra el efecto de variar la relación del diámetro máximo externo  $D_o$  del rotor al diámetro externo mínimo  $d_o$ . En este caso, el radio del par de hélices cónicas se incrementa en la misma proporción para formar un par de hélices cónicas paralelas. El diámetro de aumento resulta en un aumento en la distancia desde el eje longitudinal en la que las fuerzas de reacción hidrodinámica actúan y de esta manera proporcionan una magnificación de la fuerza torsión. La magnificación de la fuerza de torsión es dependiente de la proporción de los radios del par de hélices cónicas.

Como un valor inicial, la Figura 14 ilustra una disposición sin cambio en el diámetro, es decir, en donde la relación de radios máximos y mínimos  $[D_o / d_o]$  es uno. Este es un rotor donde el radio del par de hélices cónicas no aumenta, es decir, este es un rotor basado en una hélice cilíndrica y no una hélice cónica. Los rotores descritos aquí, que se basan en palas formadas por hélices cónicas, tienen una relación de más de uno y esto proporciona una multiplicación de torque y un aumento en la eficiencia como se muestra en la figura.

En algunas de las diversas realizaciones discutidas anteriormente, la hélice cónica externa se forma sobre superficies cónicas no en paralelo. La Figura 15 es una gráfica que ilustra el efecto de aumentar o reducir los radios relativos del par de hélices cónicas para formar un par de hélices cónicas no en paralelo. Cuando la hélice cónica interna aumenta en el radio en una proporción más lenta que el aumento en el radio de la hélice cónica externa (es decir,  $[\Delta r_i/L] / [\Delta r_o/L] < 1$ ) áreas de sección transversal arbitraria en la primera y segunda distancias longitudinales a lo largo del rotor aumenta en una transferencia dada. Esto tiene el efecto de reducir los cambios en los componentes de velocidad y por lo tanto el flujo de masa es constante, las fuerzas de reacción hidrodinámicas y las fuerzas de torsión producidas son más bajas. Cuando el radio de hélice cónica interna aumenta en una proporción más rápida que el radio de hélice cónico externo (es decir,  $[\Delta r_i/L] / [\Delta r_o/L] > 1$ ), las áreas de sección transversal arbitrarias dentro del rotor aumentan a una proporción más lenta. Esto tiene el efecto de aumentar los cambios en los componentes de velocidad y por lo tanto el flujo de masa es constante, las fuerzas de reacción hidrodinámica y las fuerzas de torsión producidas son mayores. El punto en donde  $[\Delta r_i/L] / [\Delta r_o/L] = 1$  es un rotor en donde los radios del par de hélices cónicas aumentan en la misma proporción para formar un par de hélices cónicas paralelas.

Otras variantes discutidas anteriormente implican el uso de diferentes cambios en tramo para reducir el tramo de hélices cónicas. La Figura 16 es una gráfica que ilustra el efecto de los cambios en la proporción de reducción de la ruta helicoidal que resulta en un cambio en el índice de aumento de la frecuencia helicoidal  $\Delta f$ . Como se muestra en la figura, un cambio de esta naturaleza resultara en un aumento o reducción en las fuerzas de torsión y de esta manera salida de potencia. Una reducción en la fuerza de torsión se alcanza por un índice o reducción más lento de tramo helicoidal o un índice más lento de aumento de frecuencia helicoidal y una fuerza de momento y torsión se alcanza por un índice de reducción más rápido del tramo helicoidal o un índice de aumento más rápido en la

frecuencia helicoidal. En la Figura 16, el rotor etiquetado  $\Delta f = 0.1$  se basa en el rotor presentado en las Figuras 1A a 3B. En comparación, el rotor etiquetado  $\Delta f = 0.05$  se basa en el rotor presentado en las Figuras 6A y 6B mientras que el rotor etiquetados  $\Delta f = 0.25$  se basa en el rotor presentado en las Figuras 7A y 7B.

- 5 En resumen, las realizaciones preferidas descritas aquí proporcionan una complejidad de bajo campo del aparato de rotor de dos etapas que es ideal para la generación de eléctrica del flujo de marea. El aparato de rotor de dos etapas puede sin embargo ser aplicado efectivamente a cualquier sistema de flujo de líquidos que puede tener características de corriente líquida o cíclica reversible sencilla. El diseño de los rotores y las palas se puede sintonizar a una aplicación particular a través de la variación de los parámetros como se describió anteriormente.
- 10 Los parámetros no se limitan a los valores y combinaciones de valores establecidos aquí. En cambio, de los parámetros estos se pueden variar solos o en combinación según se requiera para alcanzar las características de desempeño deseadas. Estas características aseguran que el aparato de rotor de dos etapas puede funcionar eficientemente bajo condiciones significativamente variables y escenarios encontrados en flujos de fluidos.

15

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un aparato de rotor para extraer energía desde flujo de fluidos unidireccional o bidireccional, el aparato de rotor comprende un primer rotor (7) montado para rotación alrededor de un eje (4) de rotación en una primera dirección de rotación, el primer rotor tiene por lo menos una pala (2) helicoidal; y un segundo rotor (8) montado para rotación alrededor del mismo eje (4) de rotación en una dirección opuesta de rotación y que tiene por lo menos una pala (2) helicoidal, en la que el fluido que sale del primer rotor (7) se pasa al segundo rotor (8);
- 10 caracterizado porque la pala del primer rotor tiene un tramo que se reduce en una dirección a lo largo del eje de rotación, y la pala del segundo rotor tiene un tramo que se aumenta en la misma dirección a lo largo del eje de rotación.
- 15 2. Un aparato de rotor como se reivindica en la reivindicación 1, en el que el aparato de rotor es un aparato de rotor para extraer energía desde flujos de marea,
3. Un aparato de rotor como se reivindica en la reivindicación 1 o 2, en el que el primer y/o segundo rotor(s) (7, 8) tienen una abertura en el extremo de entrada o de salida del aparato de rotor que se dispone para recibir o expulsar el fluido que fluye en una dirección generalmente axial.
- 20 4. Un aparato de rotor como se reivindica en la reivindicación 1, 2 o 3, en el que el primer y segundo rotores (7, 8) tienen aberturas en sus extremos opuestos que se adaptan para recibir o expulsar el fluido que fluye con un componente radial así como también un componente axial.
- 25 5. Un aparato de rotor como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, en el que el primer y segundo rotores (7, 8) tienen extremos opuestos que tienen el mismo diámetro.
- 30 6. Un aparato de rotor como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, en el que el primer rotor (7) y/o segundo rotor (8) tiene una pala o palas (2) formadas por una superficie que se extiende entre las hélices (5, 6) cónicas interna y externa, teniendo cada una de las hélices cónicas un tramo que disminuye a medida que se incrementa el radio de la hélice.
- 35 7. Un aparato de rotor como se reivindica en la reivindicación 6, en el que los dos rotores (7, 8) tienen extremos de diámetros grandes opuestos entre sí y que son del mismo diámetro.
8. Un aparato de rotor como se reivindica en la reivindicación 6 o 7, en el que el primer rotor (7) y el segundo rotor (8) tiene una pala o palas (2) del mismo diseño formado por hélices (5, 6) cónicas similares.
- 40 9. Un aparato de rotor como se reivindica en cualquier reivindicación precedente, que comprende una carcasa (9) alrededor del primer y segundo rotores (7, 8), la carcasa es para soportar los rotores para rotación alrededor del eje (4) de rotación.
- 45 10. Un aparato de rotor como se reivindica en la reivindicación 9, en el que la carcasa (9) de rotor tiene una sección de entrada y una sección de salida, con la geometría (16) de entrada de la carcasa de rotor que se diseña para aumentar la velocidad lineal del flujo líquido cuando ingresa en la entrada del rotor y la salida de la carcasa de rotor se diseña para ralentizar el flujo líquido en una forma controlada.
- 50 11. Un generador que comprende el aparato de rotor como se reivindica en cualquier reivindicación precedente.
12. Un método que comprende el uso de un aparato de rotor o generador como se reivindica en cualquier reivindicación precedente para la producción de energía cinética rotacional desde el flujo de un fluido.
13. Un método como se reivindica en la reivindicación 12, que comprende el uso del aparato de rotor de dos etapas para producir energía desde un flujo de marea.
- 55 14. Un método para fabricar un aparato de rotor de dos etapas que comprende:
- 60 montar un primer rotor (7) para rotación alrededor de un eje (4) de rotación, el primer rotor tiene por lo menos una pala (2) helicoidal; y montar un segundo rotor (8) para rotación alrededor del mismo eje (4) de rotación en una dirección opuesta de la rotación, el segundo rotor tiene por lo menos una pala (2) helicoidal;
- caracterizado porque la pala del primer rotor tiene un tramo que se reduce en una dirección a lo largo del eje de rotación, y la pala del segundo rotor tiene un tramo que se aumenta en la misma dirección a lo largo del eje de rotación.
- 65 15. Un método como se reivindica en la reivindicación 14, que comprende proporcionar características de un aparato de rotor como se reivindica en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

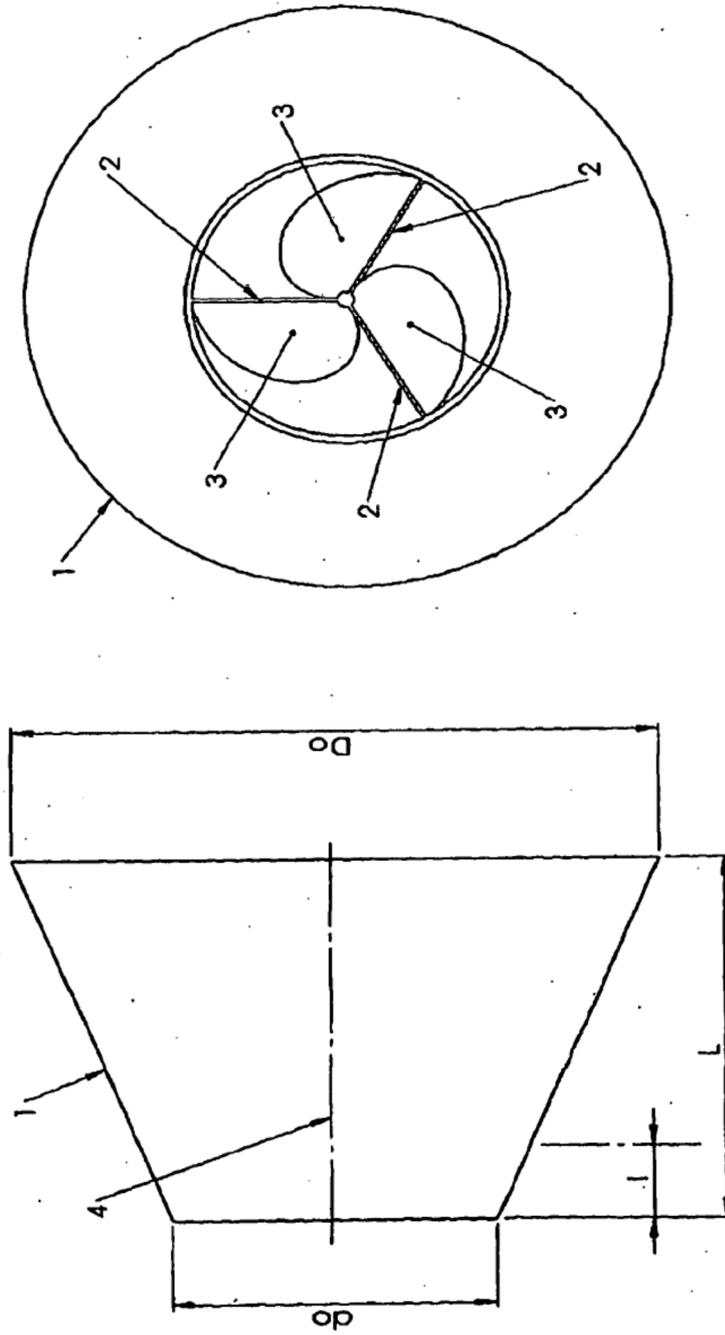


Fig. 1B

Fig. 1A

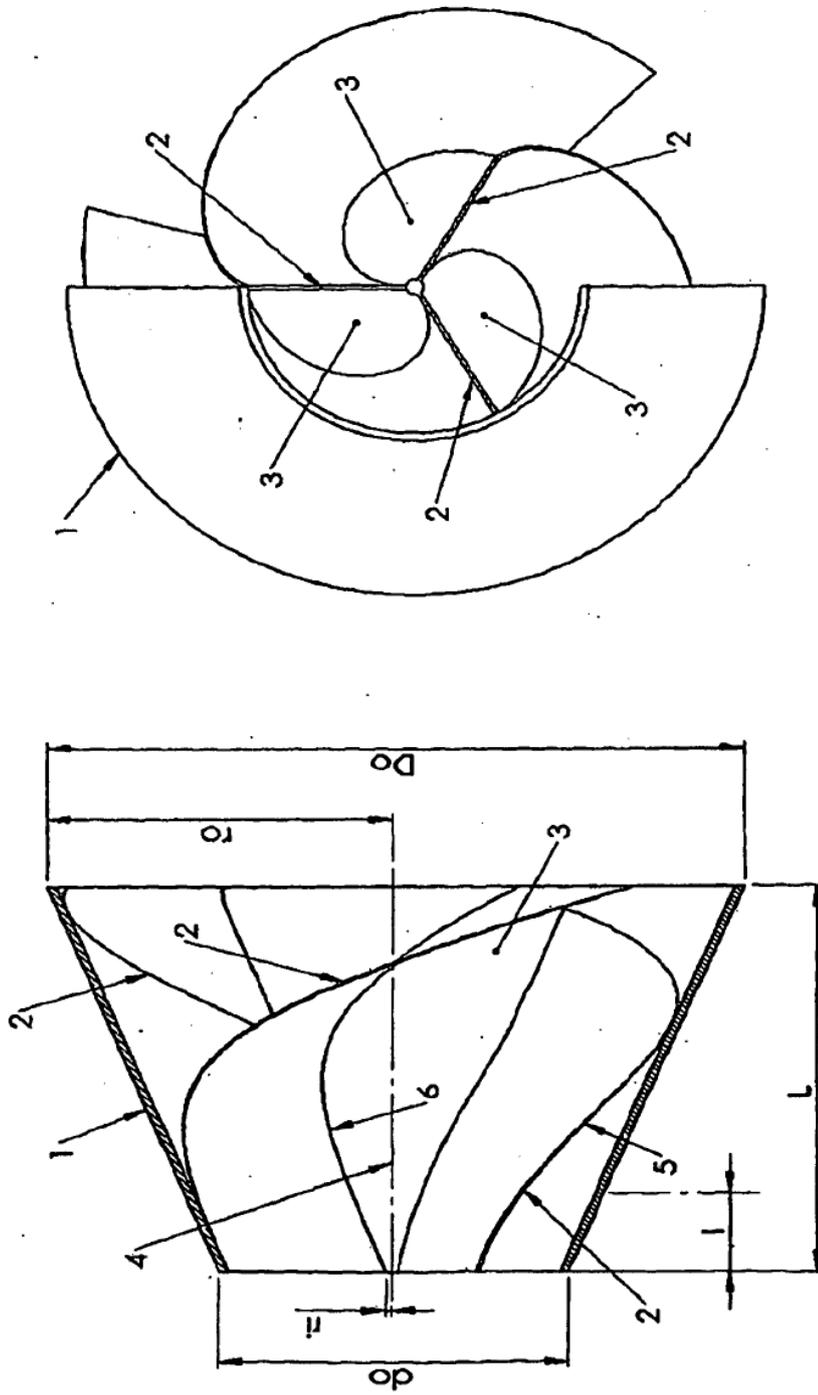


Fig. 2B

Fig. 2A

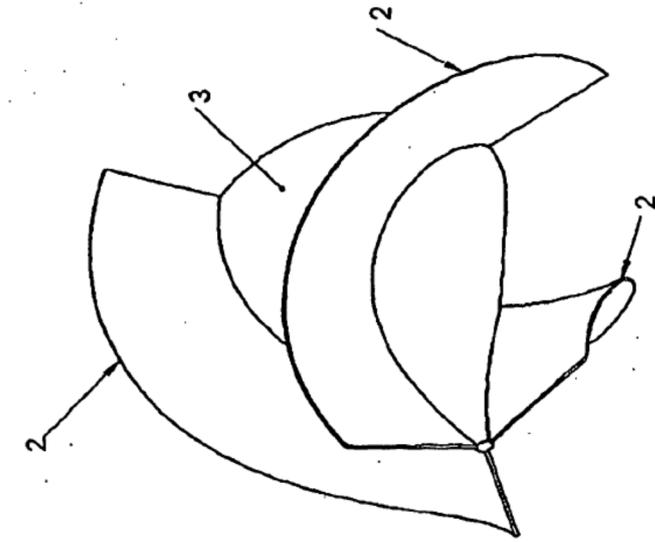


Fig. 3B

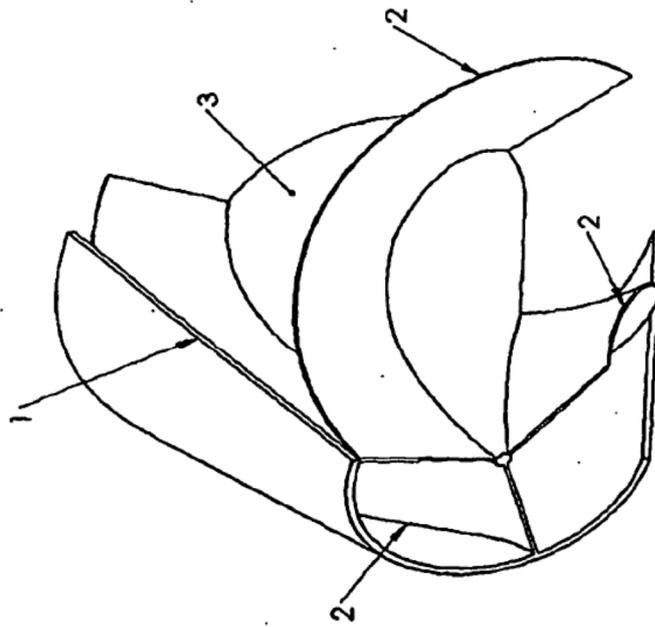


Fig. 3A

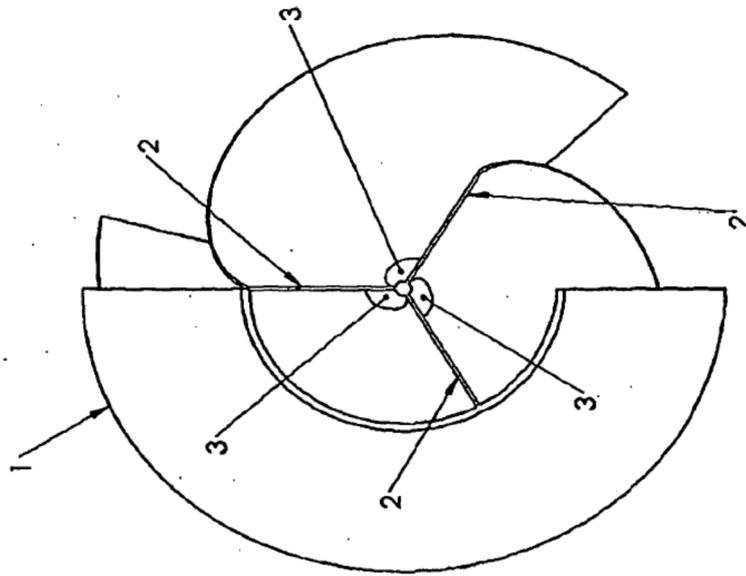


Fig. 4B

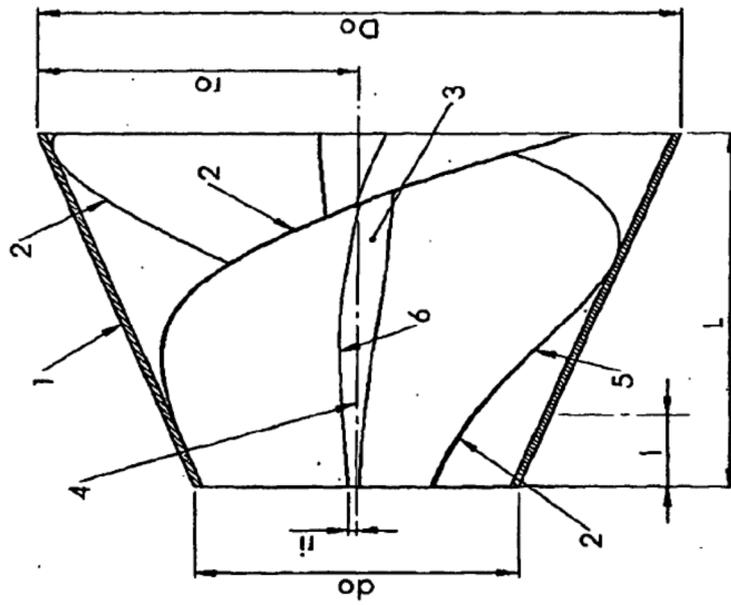


Fig. 4A

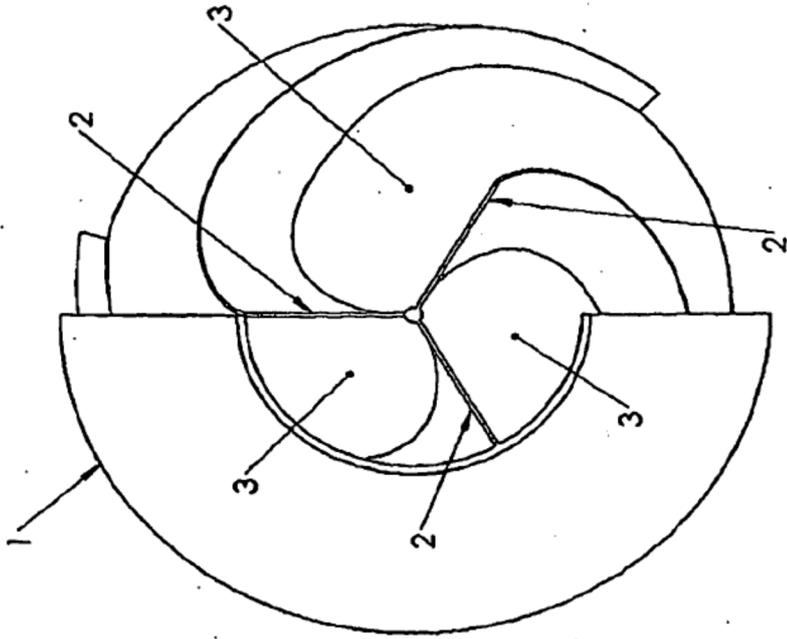


Fig. 5B

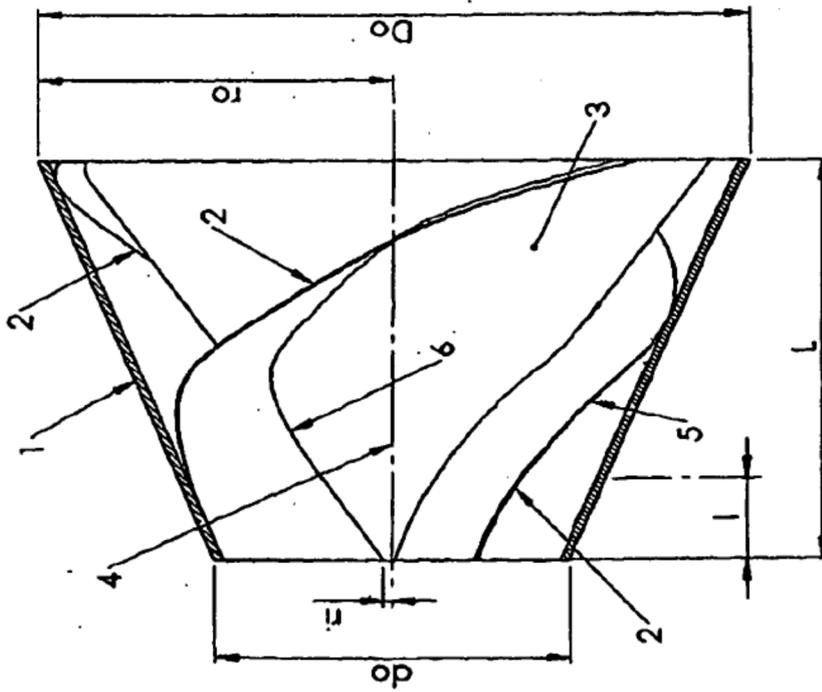


Fig. 5A

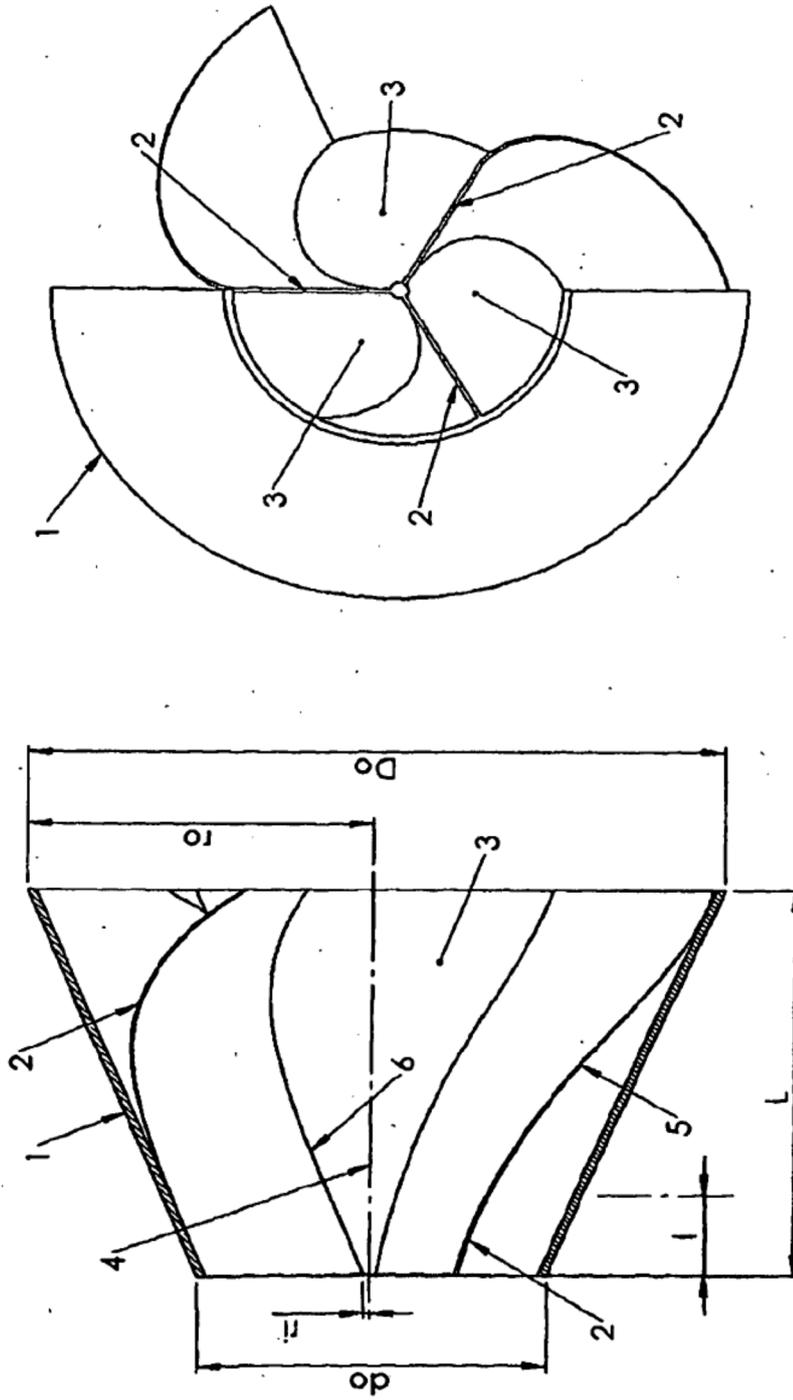


Fig. 6B

Fig. 6A

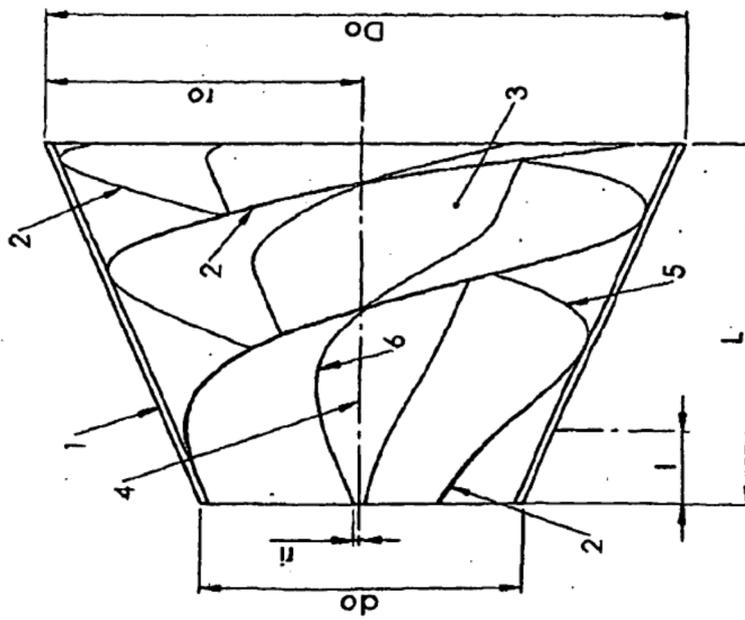


Fig. 7A

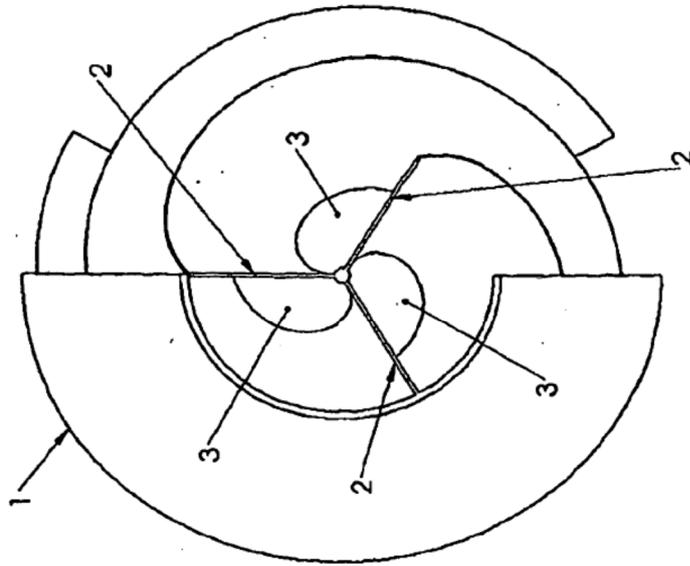


Fig. 7B

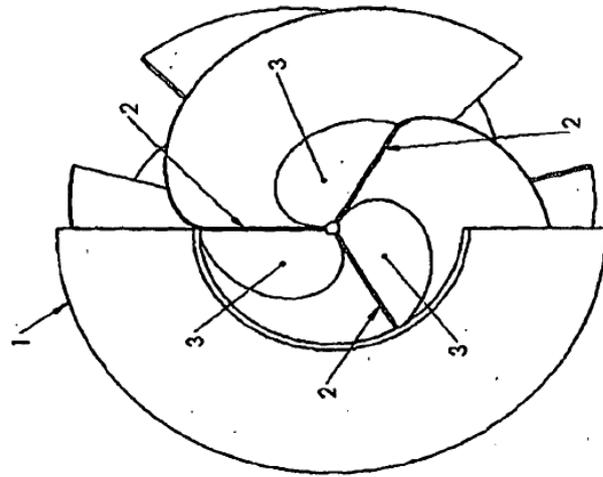


Fig. 8B

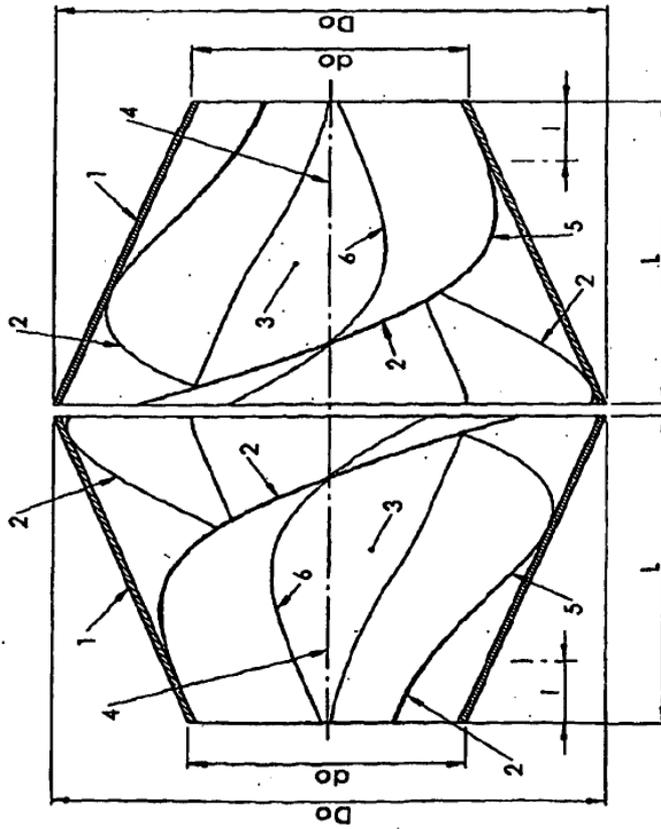


Fig. 8A

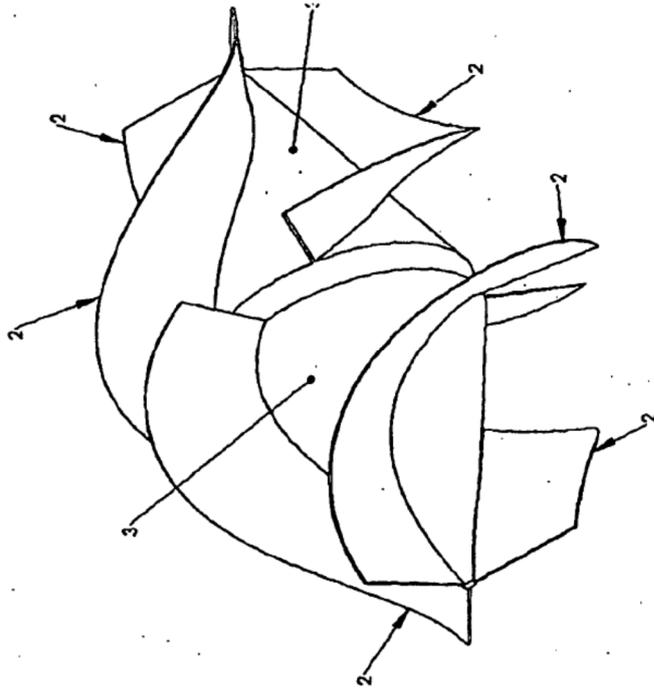


Fig. 9B

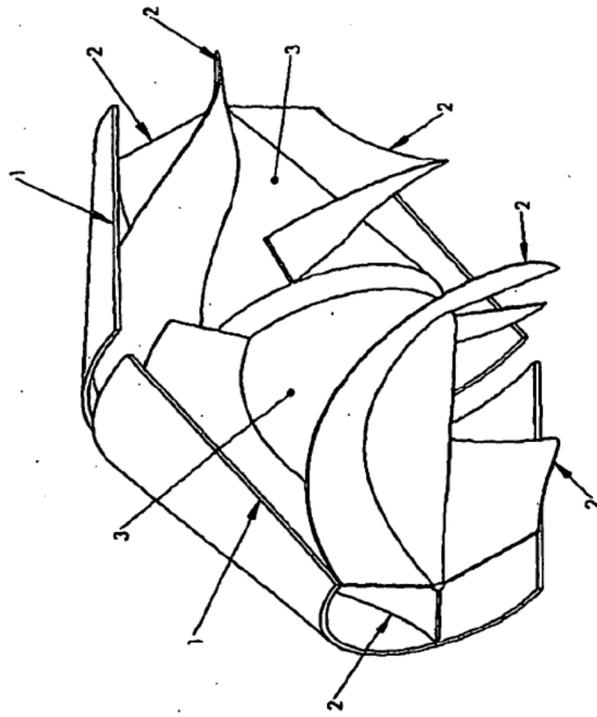


Fig. 9A

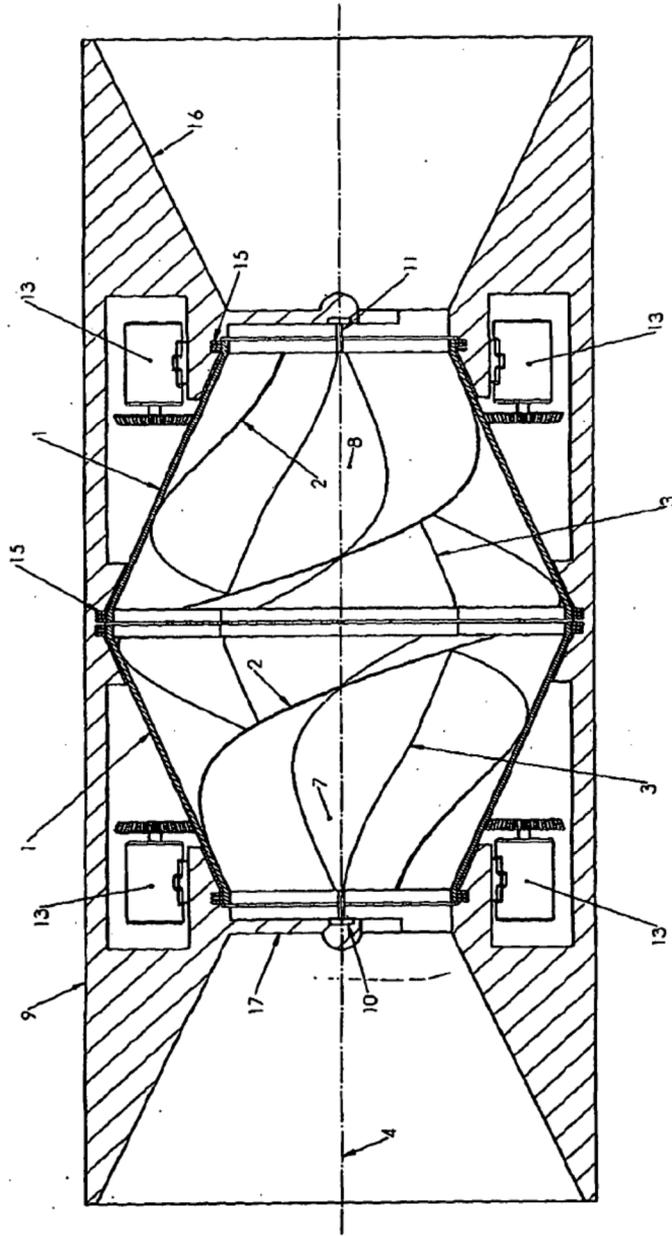
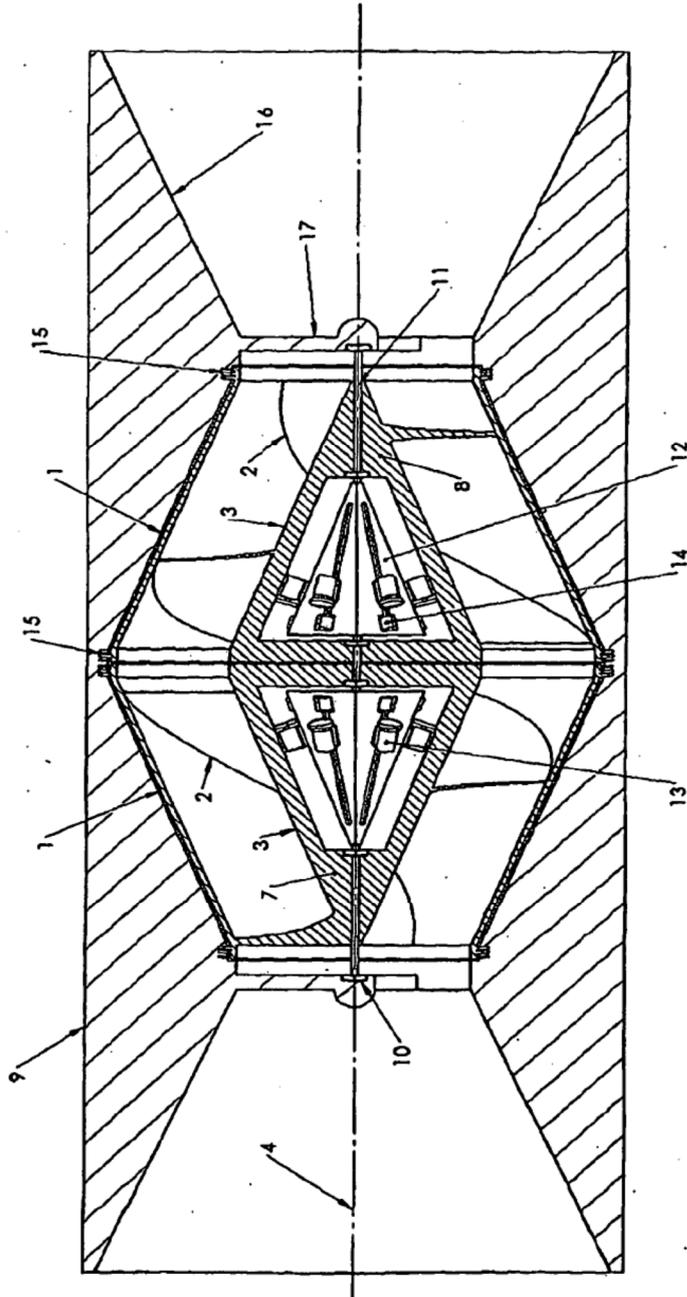


Fig. 10



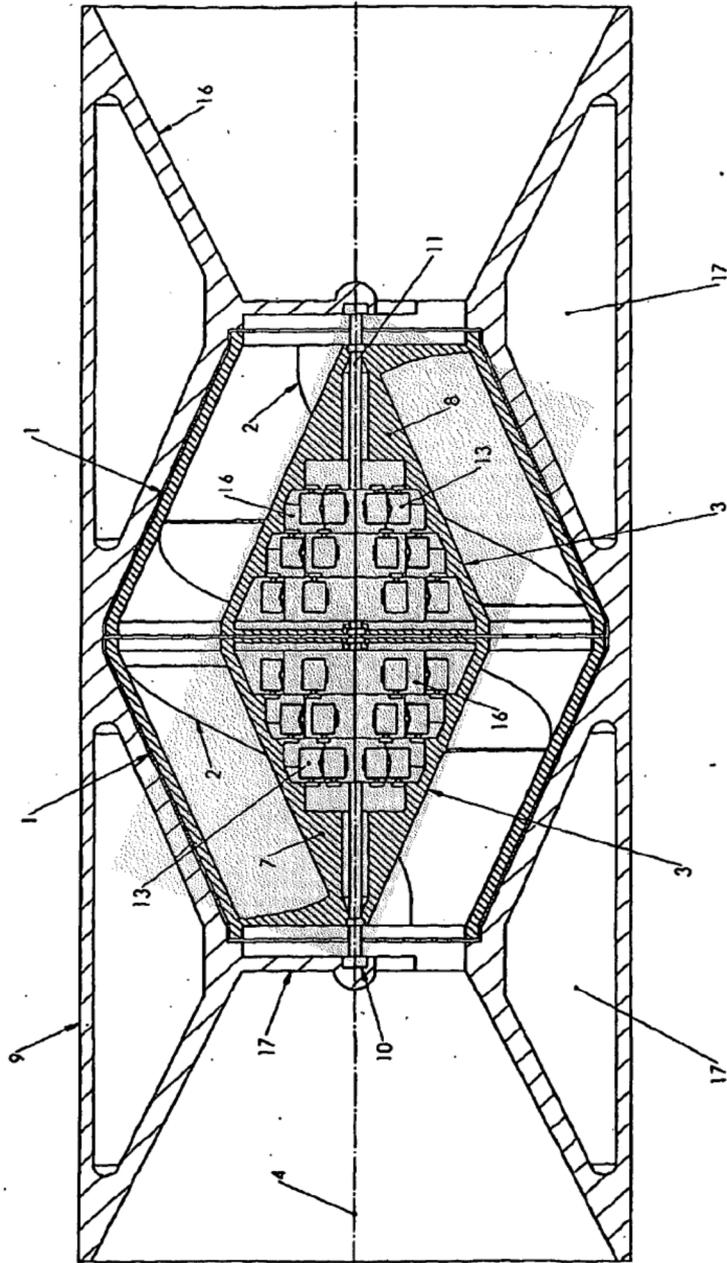


Fig. 12

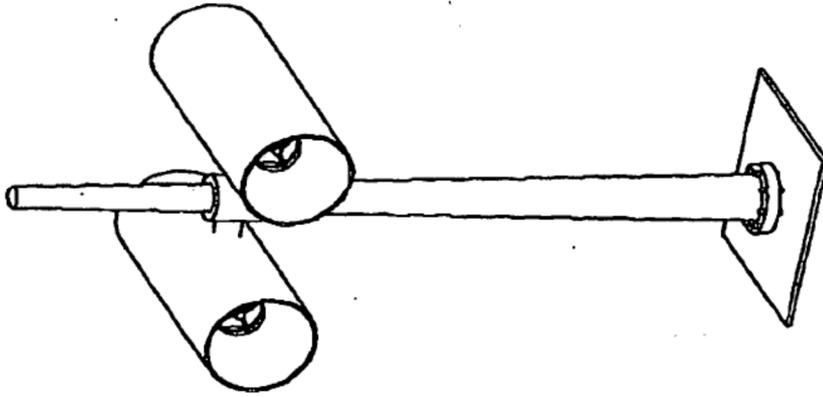


Fig. 13

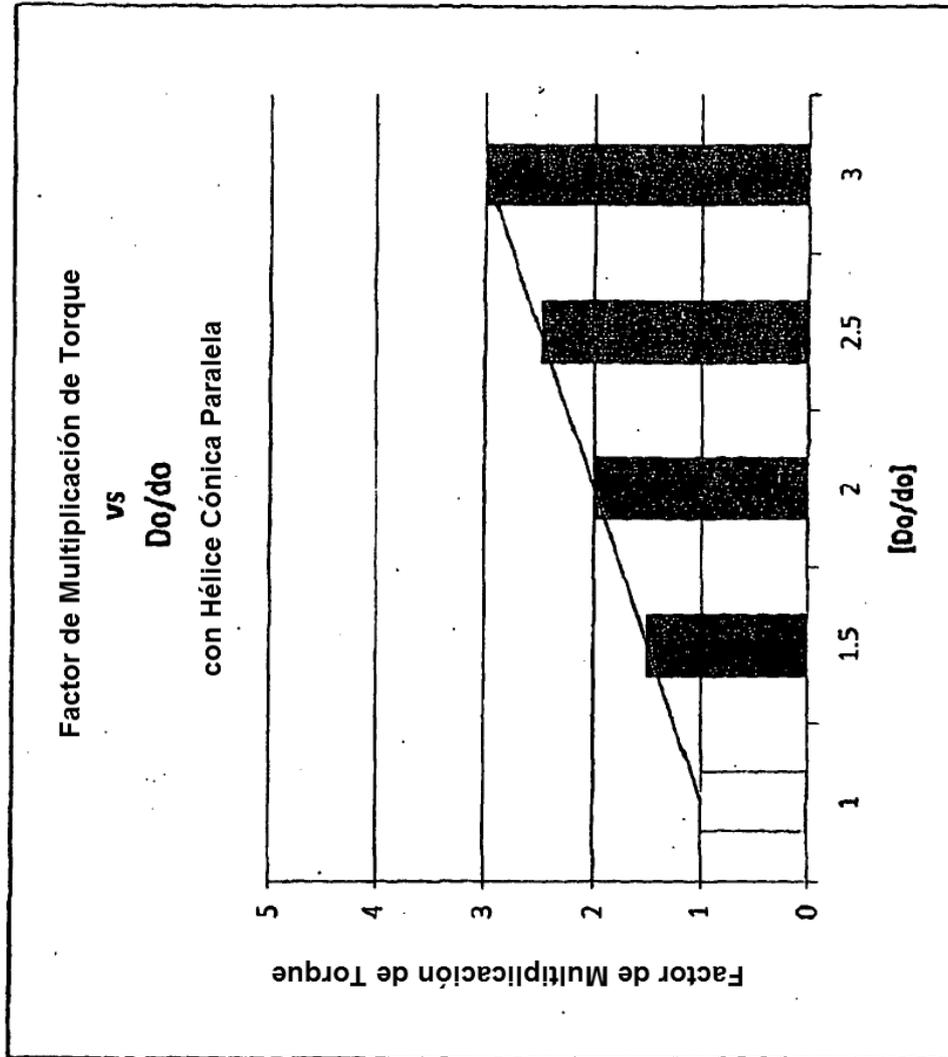


Fig. 14

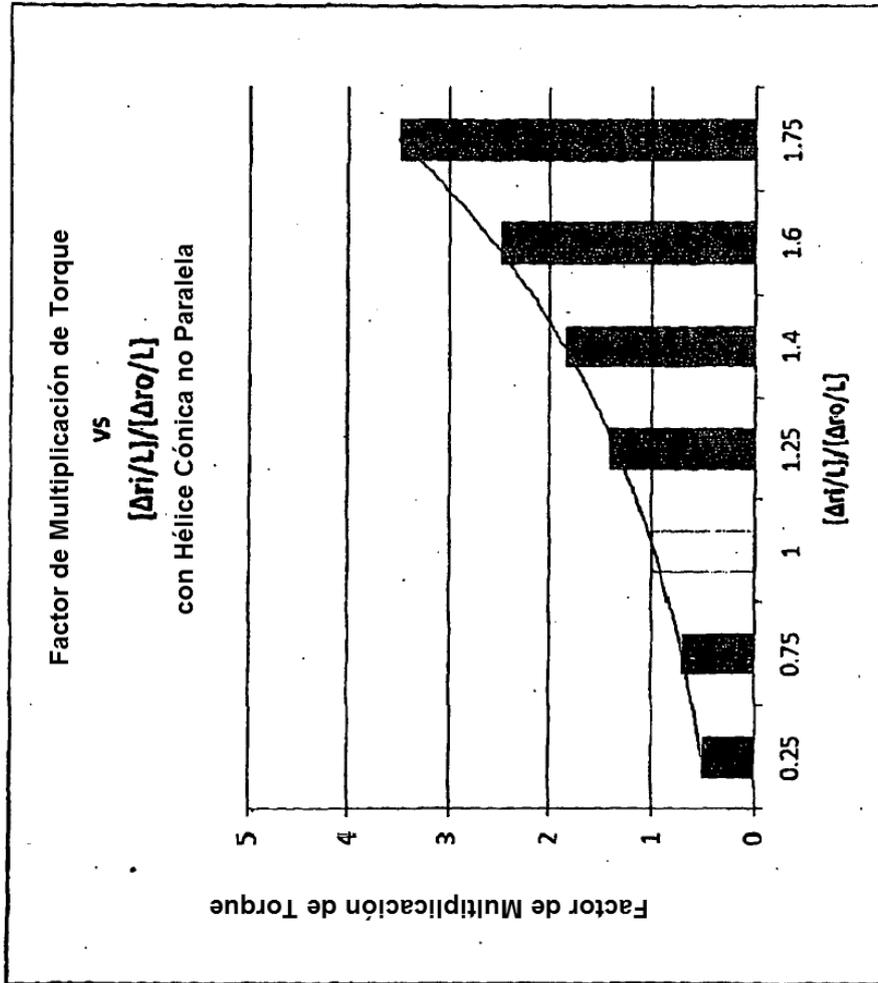


Fig. 15

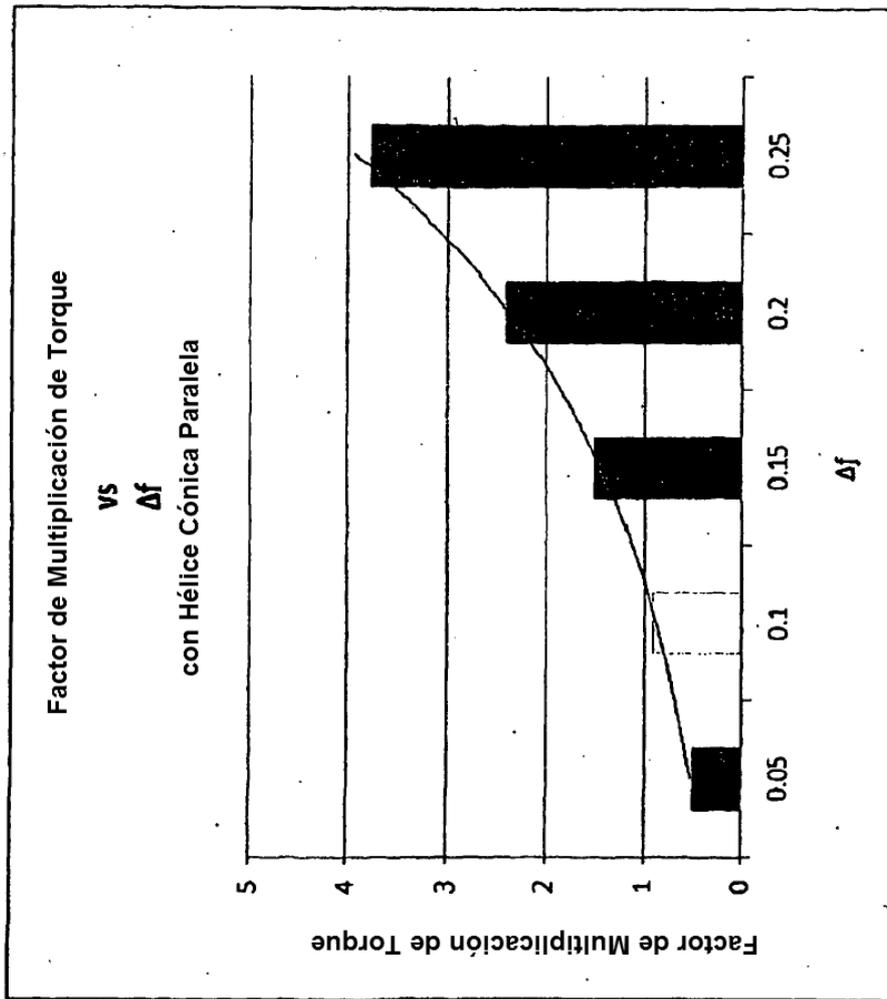


Fig. 16