

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 743 698**

51 Int. Cl.:

**F03B 13/08** (2006.01)

**F03B 17/06** (2006.01)

**F03B 11/02** (2006.01)

**F03B 11/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.04.2015 PCT/GB2015/051035**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.10.2015 WO15150819**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.04.2015 E 15715386 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 3126665**

54 Título: **Conjunto de turbina**

30 Prioridad:

**02.04.2014 GB 201405946**

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

**20.02.2020**

73 Titular/es:

**VERDERG LIMITED (100.0%)  
Kingston upon Thames  
Surrey KT2 6QF, GB**

72 Inventor/es:

**ROBERTS, PETER**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 743 698 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 turbina

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un sistema y un aparato para su uso en la generación de energía a partir de un flujo de agua. En particular, la invención se refiere a un conjunto de turbina para su uso en un aparato para generar energía a partir del flujo de agua.

10

Antecedentes de la invención

Se han propuesto muchos sistemas para convertir un flujo de agua en electricidad. En el documento WO2013/190304 se describe un tipo de dispositivo que puede generar energía a partir de un cuerpo fluente de agua, particularmente en situaciones en las que exista un flujo volumétrico alto de agua a velocidades relativamente bajas. Este documento describe el uso de una disposición estándar de turbina/mecanismo impulsor en el sistema para generar electricidad.

15

En la industria hidroeléctrica es conocido el uso de otras disposiciones de turbina. Un tipo de turbina son las turbinas de generación de borde, a veces denominadas turbinas straflo. En las turbinas straflo, el tubo está dividido en dos mitades, una sección corriente arriba y una sección corriente abajo. La turbina comprende un borde cilíndrico corto fijado a las palas de la turbina, de igual diámetro al tubo de turbina y posicionado entre las dos secciones de tubo estacionarias. Las palas y el borde giran juntos con un pequeño espacio libre entre las secciones estacionarias corriente arriba y corriente abajo del tubo y los bordes del borde giratorio de la turbina. Las rutas de flujo situadas corriente arriba y corriente abajo están en un tubo estacionario, dado que el tubo no está fijado a la turbina. Sellar los dos espacios circunferenciales entre el borde y la sección del tubo resulta complicado. Un espacio demasiado grande puede causar demasiadas fugas de derivación, desde la cara de alta presión del disco de la turbina hacia la cara de baja presión situadas corriente abajo del disco de la turbina, lo que disipará la potencia generada. Por el contrario, un espacio demasiado pequeño puede causar demasiada fricción debido al hecho de que los sellos están demasiado apretados.

20

25

30

La presente invención proporciona un conjunto de turbina alternativa para su uso en la generación de energía hidroeléctrica de baja caída. En particular, se describe un conjunto de turbina que se puede usar en situaciones en las que exista un flujo de agua de alto volumen a una altura de presión relativamente baja, por ejemplo para su uso en sistemas como se describe en el documento WO2013/190304.

35

Divulgación de la invención

Un aspecto de la invención comprende un aparato para generar electricidad a partir del flujo de agua, que comprende:

40

- una sección convergente conectada a un primer extremo de un tubo de mezclado, de manera que se defina un venturi entre el extremo de la sección convergente y el tubo de mezclado;

45

- una sección difusora conectada a un segundo extremo del tubo de mezclado, estando configurada la sección difusora de modo que, en uso, la presión a la salida de la sección difusora sea mayor que la presión en el venturi;

50

- un tubo de turbina, que comprende un conjunto de palas que tiene una pluralidad de palas, estando soportado el tubo de turbina en la sección convergente de manera que se defina una corona circular entre el tubo de turbina y la sección convergente, para formar un primer paso de flujo, y definiendo el tubo de turbina un segundo paso de flujo, en donde el tubo de turbina está soportado de forma giratoria en la sección convergente y las palas están sujetas a la superficie interior del tubo de turbina de modo que, en uso, el flujo de agua que pasa por las palas impulse la rotación del tubo de turbina.

55

60

65

El tubo de turbina y las palas giran en relación con la sección convergente. Las palas están conectadas de manera fija a la superficie interior del tubo de turbina y se extienden a lo largo del diámetro interior del tubo de turbina, de tal manera que el conjunto de palas y el tubo de turbina giren concéntricamente juntos a medida que el agua fluye por las palas. No es necesario que el tubo de turbina comprenda un árbol de transmisión que se extienda desde el conjunto de palas a lo largo del eje central del tubo de turbina, para transmitir la energía rotacional del tubo de turbina a un generador externo. Las palas están conectadas a la superficie interior del tubo de turbina de modo que el conjunto de palas y el tubo de turbina giren concéntricamente juntos a medida que el agua fluya más allá de las palas. La rotación del tubo de turbina puede accionar un generador. En una realización, el conjunto de palas está situado en el tubo de turbina, de tal manera que parte del paso de flujo secundario en el tubo de turbina se proporcione antes y después del conjunto de palas. En una realización, la longitud del tubo de turbina puede ser mayor que el diámetro del tubo de turbina.

5 El tubo de turbina está montado de forma giratoria en un saliente de soporte, estando el saliente de soporte montado en la sección convergente mediante paletas de soporte. El saliente de soporte tiene un taladro central formado a través del mismo para recibir y soportar el tubo de turbina. El saliente de soporte comprende un conjunto de cojinetes sobre los cuales el tubo de turbina gira alrededor de su eje longitudinal. El interior del tubo de turbina puede no comprender cojinete mecánico alguno. Los cojinetes están ubicados fuera del paso de flujo secundario.

10 El saliente de soporte puede comprender un tubo de soporte de longitud más corta que el tubo de turbina, en el que se sujete el tubo de turbina. El saliente de soporte puede comprender adicionalmente tapas terminales en cualquier extremo del tubo de soporte, teniendo las tapas terminales cojinetes sobre los cuales puede girar el tubo de turbina.

15 El tubo de turbina puede comprender una brida de empuje que se extienda circunferencialmente alrededor de la superficie exterior del tubo de turbina. El saliente de soporte puede comprender un saliente de empuje que se extienda circunferencialmente alrededor de la superficie interior del saliente de soporte. La brida de empuje del tubo de turbina puede enganchar con el saliente de empuje del saliente de soporte. El acoplamiento del saliente de empuje y la brida de empuje puede producirse a través de un conjunto de cojinetes.

20 El tubo de turbina puede girar libremente para accionar un generador y permitir que el aparato genere energía eléctrica a partir de la energía de rotación del tubo de turbina. El tubo de turbina puede accionar un generador mecánico o un generador eléctrico para generar energía.

25 En un conjunto de generador mecánico, el tubo de turbina está conectado a un tren de engranajes que se puede conectar a un generador. En una realización, el tubo de turbina comprende una brida dentada en su superficie exterior que engancha con al menos un engranaje de piñón situado en un espacio entre el saliente de soporte y el tubo de turbina. Cada engranaje de piñón está conectado a un árbol de transmisión, en donde el árbol de transmisión se puede conectar a un generador.

30 El aparato puede comprender una pluralidad de disposiciones de engranajes de piñón y árboles de transmisión en el espacio entre el saliente de soporte y el tubo de turbina. En una realización, el aparato comprende al menos dos disposiciones de engranaje de piñón y árbol de transmisión, enganchando cada engranaje de piñón con la brida dentada. El aparato puede comprender dos, tres, cuatro o más disposiciones de engranaje de piñón y árbol de transmisión. La brida dentada se extiende circunferencialmente alrededor del tubo de turbina.

35 En un conjunto de generador eléctrico, el tubo de turbina y el saliente de soporte comprenden una disposición de imán y estator permanente. En una realización, el tubo de turbina comprende imanes permanentes en un rebaje situado en la superficie exterior del tubo de turbina, y el saliente de soporte comprende un estator alineado con los imanes permanentes. El rebaje y el imán permanente pueden extenderse circunferencialmente alrededor de la superficie externa del tubo de turbina.

40 El aparato puede comprender adicionalmente un conducto de descarga de energía que se extienda a través del saliente de soporte y una de las paletas de soporte. A través del conducto puede extenderse el árbol de transmisión de una disposición de generador mecánico o el cable de alimentación de una disposición de generador eléctrico, hasta el exterior del aparato. El hecho de contar con un conducto que atraviese el saliente de soporte y una paleta de soporte implica que el tubo de turbina no comprende ningún árbol de transmisión y/o cables de alimentación en su interior. Esto permite que el primer y el segundo paso de flujo estén desprovistos de árboles de transmisión y/o cables de alimentación, lo que puede ayudar a reducir la interrupción del flujo de agua.

50 El aparato puede comprender adicionalmente un compresor de aire para inyectar aire en el espacio entre el tubo de turbina y el saliente de soporte, a través de un conducto de aire que se extiende a través de una de las paletas de soporte. El compresor de aire puede estar ubicado externamente al tubo de turbina y/o la sección convergente.

El aparato puede comprender adicionalmente un ventilador soplador situado radialmente alrededor del tubo de turbina, para llevar aire al espacio entre el tubo de turbina y el saliente de soporte a través de un conducto de aire que se extienda a través de una de las paletas de soporte.

55 En una realización, un conducto de drenaje se extiende hacia abajo desde el saliente de soporte hasta el exterior de la sección convergente, a través de la paleta de soporte. El conducto de drenaje proporciona un pasaje para cualquier posible cantidad de agua que se filtre hacia el espacio entre el tubo de turbina y el saliente de soporte.

60 El saliente de soporte puede comprender un carenado delantero y/o un carenado trasero. En una realización, el perfil exterior del carenado delantero tiene un perfil cilíndrico o un perfil en forma de bala. El perfil interior del carenado delantero puede tener una forma cóncava, cónica o convexa.

65 En una realización, las palas son integrales con la superficie interior del tubo de turbina. En una realización adicional, la superficie interior del tubo comprende una pluralidad de rebajes en los que se fijan las puntas de las palas.

El tubo de turbina puede comprender una primera sección fabricada con un primer material y una segunda sección

fabricada con un segundo material, en donde el primer material y el segundo material son diferentes. El primer material puede ser un material más fuerte que el segundo material. La primera sección puede ser la sección frontal del tubo y comprender las palas, y la segunda sección puede ser la sección posterior del tubo.

5 El diámetro interior del tubo de turbina puede variar. En una realización, el diámetro interior del tubo de turbina disminuye a todo lo largo del mismo en la dirección del flujo de agua. En otra realización, el tubo de turbina tiene un diámetro interior sustancialmente constante a todo lo largo del mismo.

10 La posición del tubo puede variar con respecto a la sección convergente. El tubo de turbina está situado en la sección convergente de manera que el eje longitudinal del tubo de turbina esté sustancialmente alineado con el eje longitudinal de la sección convergente. El tubo de turbina puede estar situado de modo que la entrada de la sección convergente esté corriente arriba de la entrada del tubo de turbina. En una realización adicional, el tubo de turbina puede estar situado de manera que la entrada del tubo de turbina esté corriente arriba de la entrada de la sección convergente.

15 La posición de la salida del tubo de turbina también puede variar. En una realización, el tubo de turbina está situado de tal manera que la salida del tubo de turbina se extienda hacia el tubo de mezclado. En una realización adicional, el tubo de turbina está situado de tal manera que la salida del tubo de turbina está corriente arriba de la entrada del tubo de mezclado.

20 El aparato puede comprender adicionalmente un estator pre-torbellino situado en el paso de flujo secundario. El estator pre-torbellino puede estar situado antes del conjunto de palas de turbina en la entrada del carenado delantero o en la parte delantera de la entrada del tubo de turbina.

25 La sección convergente, el tubo de mezclado y la sección difusora pueden fabricarse como un tubo continuo. En una realización adicional, la sección convergente, el tubo de mezclado y la sección difusora están fabricados como secciones discretas conectadas entre sí para formar un tubo continuo.

30 En una realización preferida, el perfil de la sección convergente está configurado para proporcionar una aceleración constante del flujo primario a través de la corona circular. El perfil de la sección difusora puede configurarse preferentemente para proporcionar una desaceleración constante del flujo de agua a través de la sección difusora.

35 Un aspecto adicional de la invención comprende un sistema para generar electricidad a partir de un flujo de agua, que comprende; una barrera a ubicar a través de la sección transversal de un cuerpo fluyente de agua; y provisto de al menos un aparato como el descrito anteriormente, en donde el aparato está posicionado de tal manera que, en uso, proporcione una ruta de flujo desde el lado corriente arriba de la barrera al lado corriente abajo de la barrera.

40 Un aspecto adicional de la invención comprende un método de generación de electricidad a partir de un flujo de agua, que comprende:

40 - instalar un sistema o aparato como el descrito anteriormente a través de un cuerpo de agua para proporcionar un depósito de agua, de modo que se cree una diferencia de altura entre los lados de flujo arriba y de flujo abajo de la barrera; y

45 - usar el flujo de agua a través del aparato para hacer girar la turbina.

La barrera puede comprender al menos dos aparatos como los descritos anteriormente. Preferentemente, la barrera comprende una serie de aparatos como los descritos anteriormente. Los aparatos se incorporan a la barrera para proporcionar una ruta de flujo desde un lado de la barrera al otro.

50 Un aspecto adicional de la invención comprende un conjunto de turbina para su uso en un tubo exterior que tiene una sección convergente conectada con un primer extremo del tubo de mezclado, de tal manera que se defina un venturi entre la sección convergente y el tubo de mezclado, y una sección divergente conectada con un segundo extremo del tubo de mezclado para generar electricidad a partir del flujo de agua, comprendiendo el conjunto de turbina:

55 - un tubo de turbina que comprende un conjunto de palas, que tiene una pluralidad de palas; y

60 - un saliente de soporte, para montar en la sección convergente del tubo exterior;

en donde el tubo de turbina está soportado de forma giratoria en un saliente de soporte y las palas están fijadas a la superficie interior del tubo de turbina de modo que, en uso, el flujo de agua que pasa por las palas impulse la rotación del tubo de turbina. El tubo de turbina gira en relación con el saliente de soporte.

65 Las palas están conectadas de forma fija a la superficie interior del tubo de turbina, de tal manera que el conjunto de palas y el tubo de turbina giren concéntricamente juntos a medida que el agua fluya más allá de las palas.

5 El saliente de soporte tiene un taladro central formado a través del mismo, para recibir y soportar el tubo de turbina. El saliente de soporte comprende un conjunto de cojinetes sobre los cuales el tubo de turbina gira alrededor de su eje longitudinal. El conjunto de turbina puede tener características adicionales del tubo de turbina y el saliente de soporte según se han descrito anteriormente.

10 En la siguiente descripción, los términos "corriente arriba" y "corriente abajo" se utilizan para definir las ubicaciones relativas de características del aparato. Las direcciones corriente arriba y corriente abajo se definen en relación con la dirección en la que el agua fluye a través del aparato durante el uso. El extremo de flujo arriba puede considerarse la región de entrada y el extremo de flujo abajo puede considerarse la región de salida.

Breve descripción de los dibujos

15 La invención se describirá ahora a modo de ejemplo con referencia a los dibujos adjuntos:

La Figura 1 muestra una vista lateral en sección transversal de una realización de la invención;

La Figura 2 muestra una realización del aparato de la invención;

20 La Figura 3 muestra una vista en corte de la Figura 2;

La Figura 4 muestra una vista lateral en sección transversal de una realización de la invención;

25 La Figura 5 muestra una vista lateral en sección transversal de la sección convergente y el tubo de turbina de la invención.

La Figura 6 muestra una vista en corte de una sección convergente, un tubo de turbina y un saliente de soporte para su uso en el aparato de la invención;

30 La Figura 7 muestra una vista extrema del tubo de turbina y del saliente de soporte de la invención;

Las Figuras 8 y 9 muestran vistas en corte de una realización del tubo de turbina y el saliente de soporte para su uso en el aparato de la invención;

35 La Figura 10 muestra una vista despiezada de una realización del tubo de turbina y el saliente de soporte;

Las Figuras 11 y 12 muestran vistas laterales esquemáticas del tubo de turbina de la invención;

40 Las Figuras 13A, 13B y 13C muestran vistas laterales esquemáticas de realizaciones de la invención;

La Figura 14 muestra una vista lateral esquemática de un tubo de turbina y una sección convergente de la invención;

45 La Figura 15 muestra una vista en corte del generador de energía mecánica de la invención; y

Las Figuras 16, 17 y 18 muestran vistas laterales en sección transversal de los tubos de turbina de la invención.

Descripción detallada de la invención

50 La Figura 1 muestra un sistema 10 de acuerdo con la invención para convertir un flujo de agua en electricidad. El sistema comprende una barrera 12 situada a lo ancho de un cuerpo de agua y un aparato 14, que proporciona un paso de flujo de agua a través de la barrera 12 desde el lado de flujo arriba de la barrera hasta el lado de flujo abajo de la barrera. El sistema convierte energía de flujo hidráulico en energía potencial hidráulica, y luego convierte la energía potencial hidráulica en energía eléctrica.

55 La resistencia del sistema al flujo induce un aumento en la superficie libre del agua situada corriente arriba, creando un inventario de energía potencial hidráulica que impulsa el flujo a través del aparato y a partir de la cual la turbina extrae energía mecánica para su conversión a electricidad. El inventario de energía potencial hidráulica en la superficie libre elevada situada corriente arriba se ve continuamente repuesto por la energía cinética del flujo corriente arriba.

60 Con referencia a las Figuras 1, 2 y 3 el aparato 14 proporciona un paso de flujo desde una ubicación corriente arriba hasta una ubicación corriente abajo de una barrera 12. El aparato comprende un tubo que tiene una sección convergente 16, una sección 18 de mezclador y una sección divergente difusora 22. La sección convergente 16 se estrecha hacia el tubo mezclador 18 de manera que se defina un venturi 20 en el límite de la sección convergente 16 y el tubo mezclador 18. Una sección divergente difusora 22 se extiende desde la salida del tubo mezclador 18.

- Un tubo 24 de turbina está soportado giratoriamente dentro de la sección convergente 16 en un saliente 26 de soporte, de tal manera que se forme un espacio anular 28 entre la superficie exterior del tubo 24 de turbina y la superficie interior de la sección convergente 16. El saliente de soporte comprende un taladro central para recibir y soportar el tubo de turbina de modo que el eje longitudinal del tubo 24 de turbina esté sustancialmente alineado con el eje longitudinal de la sección convergente 16. El tubo de turbina comprende un conjunto 30 de palas. A medida que el agua fluye a través del tubo 24 de turbina, el conjunto 30 de palas impulsa la rotación del tubo 24 de turbina en relación con el saliente estático 26 de soporte y la sección convergente 16.
- Una primera trayectoria de flujo para el flujo primario 32 está definida dentro de la corona circular entre el tubo 24 de turbina y la sección convergente 16. Una segunda trayectoria de flujo para un flujo secundario 34 está definida dentro del tubo 24 de turbina. La corona circular no se limita a un espacio circular en forma de anillo entre el tubo y las paredes interiores de la sección convergente. La forma de la corona circular dependerá de la forma de sección transversal de la sección convergente, el tubo de turbina y el saliente de soporte.
- La barrera 12 a través del cuerpo de agua proporciona una carga de agua inmediatamente corriente arriba del aparato. Esto convierte parte de la energía cinética del flujo corriente arriba en energía potencial del nivel de agua elevado a medida que el flujo disminuye, a medida que aumenta la profundidad del agua detrás de la barrera. La diferencia (H) de carga resultante permite convertir la energía potencial en energía útil por encima del límite de salida superior, conocido como el límite de Betz, de un dispositivo de flujo libre que extrae energía cinética directamente de un flujo equivalente. El agua del lado corriente arriba de la barrera fluye a través de la sección convergente hacia la sección de mezclado, y luego sale del aparato a través de la sección de difusora. A través del tubo se induce un flujo secundario que impulsa la rotación del tubo de turbina mediante el conjunto de palas, generando electricidad mediante una disposición de descarga de energía eléctrica.
- La sección convergente acelera el flujo primario hacia la zona de baja presión en el venturi. La zona de baja presión induce el flujo secundario a través del tubo de turbina. Tanto el flujo primario como el secundario ingresan en la cámara de mezclado, donde se mezclan los dos flujos. El flujo mixto ingresa en la sección difusora y la velocidad del flujo de agua disminuye a medida que se mueve a través de la sección difusora. A medida que el agua fluye a través de la sección difusora, el flujo recupera su carga estática y pierde su carga dinámica antes de salir de la sección difusora corriente abajo. Esto preserva la baja carga estática en el venturi.
- La parte principal del flujo de agua, el flujo primario 32, pasará a través de la corona circular 28 formada entre la sección convergente 16 y el tubo 24 de turbina. Un volumen menor de agua, el flujo secundario 34, fluirá a través del tubo 24 de turbina, impulsando la rotación del tubo de turbina a medida que fluya más allá del conjunto 30 de palas. A medida que el flujo primario 32 converge hacia el venturi 20, el flujo primario acelera y pierde carga estática. El flujo primario 32 de alta velocidad fuera del tubo 24 de turbina, en la salida del tubo de turbina, ayuda a atraer el flujo secundario 34 más lento del extremo del tubo 24 de turbina hacia el flujo primario 32.
- Así, el aparato es capaz de transformar un flujo de alto volumen y baja carga en un flujo de alta carga y bajo volumen, a partir del cual puede generarse energía eléctrica de manera eficiente a través del tubo de turbina giratorio.
- Con referencia a las Figuras 4 y 5, el tubo 24 de turbina está soportado de forma giratoria en la sección convergente 16 en un saliente estático 26 de soporte, y está localizado centralmente dentro de la sección convergente 16. El tubo 24 de turbina proporciona una trayectoria de flujo entre la alta carga estática situada corriente arriba y la baja carga estática en el venturi. El flujo secundario pasa a través del tubo de turbina, inducido por la caída de carga amplificada entre el extremo situado corriente arriba del tubo de turbina y el venturi.
- Un conjunto 30 de palas que comprende una pluralidad de palas de turbina está situado en el interior del tubo 24 de turbina. El conjunto de palas está conectado a la superficie interior del tubo 24 de turbina a través de las puntas de las palas, de tal manera que, a medida que el agua fluya más allá del conjunto 30 de palas, el tubo 24 de turbina gire alrededor de su eje central. El tubo de turbina y el conjunto de palas giran juntos como una sola unidad. A medida que el agua fluye más allá del conjunto de palas, el flujo de agua interactúa con las palas y esto impulsa la rotación del tubo de turbina, que gira sobre los cojinetes en el saliente de soporte.
- En una realización, una pluralidad de rebajes está mecanizada en la superficie interior del tubo de turbina. Cada pala tiene un resalte en su punta, conformado para encajar en los rebajes y fijar las palas de turbina en relación con el tubo de turbina. Los rebajes están mecanizados en la superficie interior del extremo frontal del tubo de turbina, y los resaltes de las puntas de las palas pueden deslizar al interior de los rebajes desde el extremo frontal del tubo. Esto permite montar y desmontar las palas con respecto al extremo delantero del tubo de turbina, en caso de que estén dañadas o sea necesario reemplazar las mismas, sin necesidad de desmantelar sustancialmente el tubo de turbina.
- En una realización alternativa las puntas de palas son integrales con la superficie interior del tubo de turbina.
- No existen fisuras en el tubo de turbina alrededor del conjunto de palas y, por lo tanto, no hay vías de fuga entre las

caras situadas corriente arriba y corriente abajo del conjunto de palas. Los cojinetes 36, 40 sobre los cuales gira el tubo 24 de turbina están fuera del tubo 24 de turbina, segregados del flujo que pasa a través del conjunto 30 de palas. Así, la alta caída de presión a través de la turbina no cuenta con una vía de fuga de derivación disponible, y todo el flujo secundario 34 atraviesa la longitud del tubo 24 de turbina.

5 El conjunto de palas puede proporcionarse a una distancia suficiente de la entrada del tubo de turbina, es decir, el conjunto de palas está apartado de la entrada del tubo de turbina, de tal manera que haya un flujo bien acondicionado a través del conjunto de palas. En una realización, el conjunto de palas se proporciona a lo largo de un tramo del tubo de turbina, de modo que al menos parte del paso de flujo secundario se proporcione antes del conjunto de palas y al menos parte del paso de flujo secundario después del conjunto de palas.

15 Al hacer que el tubo de turbina y las palas del conjunto de palas giren como una sola unidad dentro del saliente de soporte, se logra una continuidad física desde las palas hasta el tubo, lo que ayuda a eliminar las pérdidas de potencia en las puntas de las palas que pueden producirse en las turbinas convencionales. Esta continuidad de las palas hasta el tubo de turbina también ayuda a mejorar la resistencia estructural y la elasticidad de las palas, y permite utilizar un diseño de palas más pequeño y liviano, lo que puede ayudar a minimizar la pérdida de potencia.

20 Como se muestra en la Figura 12, el tubo 24 de turbina puede tener un diámetro interior sustancialmente constante a todo lo largo del mismo. En una configuración alternativa, el tubo 24 de turbina puede estrecharse hacia su extremo situado corriente abajo, como se muestra en la Figura 11. El diámetro del tubo de turbina converge a todo lo largo del mismo, de tal manera que la entrada del tubo 24 de turbina tenga un diámetro mayor que la salida del tubo de turbina. Proporcionar un tubo de turbina cónico puede ayudar a generar mayores eficiencias del aparato debido a una fricción superficial reducida.

25 En una realización, el tubo 24 de turbina puede comprender dos o más secciones. El tubo 24 de turbina puede comprender una sección delantera 44 de soporte de carga y una sección posterior 46. La sección delantera y la sección posterior pueden estar fabricadas con diferentes materiales. Preferentemente, la sección delantera está fabricada con un material más fuerte que la sección posterior. Esto puede ayudar a reducir los costos durante la fabricación del sistema al hacer uso de un material ligero y/o más barato en la sección posterior. Algunos materiales adecuados que pueden utilizarse incluyen, pero no se limitan a, materiales tales como acero, titanio, aluminio, bronce, y aleaciones de los mismos, para la sección fabricada con el material más resistente. Algunos materiales más livianos y/o más baratos para la otra sección pueden incluir, pero no se limitan a, plástico o aleaciones de metal de bajo costo.

35 Las secciones que forman el tubo pueden fabricarse por medios convencionales. En algunas realizaciones, la sección delantera que comprende la turbina encastrada podría fabricarse opcionalmente mediante impresión 3D.

40 El tubo de turbina puede tener una longitud suficiente tal que quede posicionado en la sección convergente de manera que abarque desde el área de zona de alta presión a la zona de baja presión en el venturi. Como se muestra en la Figura 5, el extremo situado corriente abajo del tubo 24 de turbina puede estar ubicado dentro del tubo 18 de mezclado, extendiéndose dentro del tubo de mezclado a una distancia X. La distancia X se selecciona para optimizar el rendimiento del dispositivo, y puede ser 0, positiva o negativa. Cuando la distancia X es positiva, el tubo de turbina se extiende hacia el tubo de mezclado. Cuando la distancia X es negativa, la salida del tubo de turbina termina corriente arriba de la entrada del tubo de mezclado. Cuando la distancia X es 0, la salida del tubo de turbina está sustancialmente alineada con la entrada del tubo de mezclado.

50 El saliente 26 de soporte comprende un tubo de soporte que tiene un taladro central en el que está montado el tubo 24 de turbina. El saliente de soporte está montado en la sección convergente 16 mediante las paletas 62 de soporte.

55 El tubo 24 de turbina comprende una brida 38 de empuje que se extiende circunferencialmente alrededor de la superficie exterior del tubo 24 de turbina. La brida 38 de empuje en el tubo 24 de turbina engancha con los cojinetes 40 de empuje, que están restringidos dentro del saliente 26 de soporte mediante un saliente roscado 42 de empuje. El saliente roscado 42 de empuje se extiende circunferencialmente alrededor de la superficie interior del saliente 26 de soporte. El enganche de la brida de empuje con el saliente de empuje evita que el tubo de turbina se mueva axialmente corriente abajo a medida que el tubo de turbina gira.

60 En una realización, el saliente 26 de soporte puede comprender un carenado delantero 48 y/o un carenado trasero 50 que enganchen con el tubo de soporte. Los carenados delantero y trasero están formados para presentar un perfil hidrodinámico liso al flujo primario cuando están montados en el saliente de soporte, para ayudar a minimizar la pérdida de energía debido a la turbulencia. Como se muestra en la Figura 5, el carenado delantero puede ser cilíndrico o presentarse como un perfil en forma de bala, como se muestra en las Figuras 15 a 18.

65 El carenado delantero 48 proporciona una cubierta de entrada al tubo 24 de turbina, y define la entrada para el flujo secundario 34 al tubo de turbina. La superficie interior del carenado delantero está en contacto con el flujo secundario y puede conformarse de manera que ayude a la eficiencia del aparato. La Figura 13 ejemplifica algunas

formas posibles de la superficie interior del carenado delantero. Como se muestra en la Figura 13A, la superficie interior del carenado delantero puede tener una forma cóncava. La Figura 13B muestra un aparato donde el carenado delantero tiene una forma cónica, con un achaflanado constante desde su entrada hasta la entrada del tubo de turbina. La Figura 13C muestra un aparato donde el carenado delantero tiene una forma convexa. En una realización, el aparato puede comprender además una malla para peces (no mostrada), conectada a la entrada del tubo de turbina. La malla para peces se selecciona para permitir que el agua siga fluyendo a través del tubo de turbina al tiempo que se evita la entrada de peces en el tubo. La rotación del tubo de turbina puede ayudar a mantener la malla para peces libre de restos.

Como se muestra en la Figura 14, el extremo de flujo arriba del carenado delantero 48 del saliente 26 de soporte está a una distancia Y con respecto a la entrada de la sección convergente 16. La distancia Y puede ser cero, positiva o negativa. Cuando la distancia Y es positiva, la entrada de la sección convergente está corriente arriba de la entrada del carenado delantero del saliente de soporte. Cuando la distancia Y es negativa, la entrada del saliente de soporte está corriente arriba de la entrada de la sección convergente. Cuando la distancia Y es cero, la entrada de la sección convergente está sustancialmente en línea con la entrada del carenado delantero del saliente de soporte.

En una realización preferida, en la que la velocidad del agua de flujo libre es inferior a 2 metros por segundo, la distancia Y se selecciona en conjunción con el tamaño de D1 (diámetro de la entrada convergente) para asegurar que el agua que pase por la sección transversal de la sección convergente, que está alineada a nivel con el borde delantero del carenado delantero, tenga una velocidad promedio de aproximadamente 2 metros por segundo.

Con referencia a la Figura 5, el saliente 26 de soporte comprende un resalte circular interior elevado 52. La brida 38 de empuje del tubo 24 de turbina está enganchada con el resalte circular 52 del saliente de soporte. En el espacio entre el saliente 26 de soporte y el tubo 24 de turbina están situados unos componentes de generación de energía. Unas tapas terminales roscadas 54 y 56 cierran el extremo del espacio entre el tubo 24 de turbina y el saliente 26 de soporte. Las tapas terminales 54 y 56 pueden soportar unos cojinetes 36 sobre los que el tubo 24 de turbina gira alrededor de su eje longitudinal. Se proporcionan unos sellos 58 entre el tubo 24 de turbina y las tapas terminales 54, 56, entre las tapas terminales 54, 56 y el carenado delantero 48 y el carenado posterior 50, y/o entre el saliente 26 de soporte y el carenado delantero 48 y el carenado posterior 50. Los sellos 58 ayudan a limitar el agua que entra en el espacio entre el saliente de soporte y el tubo de turbina.

El saliente de soporte y el tubo de turbina también están configurados de tal manera que haya poca o ninguna diferencia de presión entre las entradas de las posibles vías de fuga que conducen desde el flujo secundario hacia dentro del espacio entre el tubo de turbina y saliente de soporte. Esto ayuda a inhibir la fuga de agua hacia dentro del espacio.

El saliente 26 de soporte está soportado en la sección convergente por dos o más paletas 62 de soporte que se extienden desde la superficie exterior del saliente 26 de soporte hasta la superficie interior de la sección convergente 16. El número de paletas de soporte puede variar, usándose preferentemente 3 o 4 paletas de soporte, aunque pueden usarse más o menos paletas de soporte si es necesario. Las paletas de soporte están perfiladas para minimizar la pérdida de energía en el flujo primario. Las paletas 62 de soporte están fijadas a la sección convergente 16 y el saliente 26 de soporte mediante unos pernos 64 y/o unas clavijas 66, como se muestra en la Figura 8. También se pueden usar otros medios de fijación convencionales para unir las paletas de soporte a la sección convergente y al saliente de soporte.

En una realización, el saliente 26 de soporte puede comprender un conducto 60 de drenaje que se extienda a través del saliente 26 de soporte y las paletas 62 de soporte hasta el exterior de la sección convergente 18. Si está presente, el conducto de drenaje estará posicionado de tal manera que, en uso, el conducto 60 quede alineado verticalmente hacia abajo, y pueda drenarse hacia afuera del aparato 14 el agua que se cuele en el espacio entre el saliente de soporte y el tubo de turbina.

La rotación del tubo de turbina hará que cierta cantidad de energía rotacional pase al flujo primario a través de la fricción superficial. En una realización, como se muestra en las Figuras 6 y 7, cualquier grado de rotación no deseado en el flujo se contrarresta incluyendo un estator pre-torbellino 68 en el carenado delantero 48. El estator pre-torbellino 68 también puede ayudar a evitar la entrada de grandes desechos en el tubo de turbina.

En el espacio entre el saliente 26 de soporte y el tubo 24 de turbina están situados componentes de generación de energía. Dos opciones preferidas de descarga de energía para el aparato son, una disposición de descarga de energía mecánica y una disposición de descarga de energía eléctrica.

En las Figuras 15-18 se muestra una disposición de descarga de energía mecánica. La brida 38 de empuje del tubo 24 de turbina tiene dientes de engranaje tallados en su lado de flujo arriba. La rotación del tubo de turbina acciona un tren de engranajes conectado a la brida dentada 38 de empuje. El tren de engranajes comprende una rueda dentada 70 de piñón ubicada dentro del espacio entre el saliente 26 de soporte y el tubo 24 de turbina, y que engancha con la brida dentada 38 de empuje. La rueda 70 de piñón está conectada a un extremo de un árbol 72 de transmisión. El árbol 72 de transmisión se extiende hacia arriba a través de un conducto 74 en el saliente 26 de



soporte y la paleta 62 de soporte. La rotación del tubo 24 de turbina da como resultado la rotación de la rueda 70 de piñón y el árbol 72 de transmisión. El árbol de transmisión está conectado a un alternador (no mostrado) ubicado fuera del aparato 14 para generar electricidad.

5 El aparato puede comprender uno o más conjuntos de árbol 72 de transmisión y rueda 70 de piñón que enganchen con la brida dentada 38 del tubo 24 de turbina. Cuando resulte deseable limitar la tensión en los componentes de descarga de energía del aparato, unos dispositivos de alta potencia pueden comprender una pluralidad de conjuntos de árbol de transmisión/rueda de piñón en los que cada árbol 72 de transmisión pase a través de un conducto 74 en el saliente 26 de soporte y la paleta 62 de soporte.

10 Con referencia a las Figuras 7 y 16, en una realización el aparato comprende un compresor de aire (no mostrado) para inyectar aire por un conducto 76 que se extiende a través de la paleta 62 de soporte y el saliente 26 de soporte, hacia dentro del espacio entre el saliente 26 de soporte y el tubo 24 de turbina. La inyección de aire por el conducto 76 ayuda a descargar cualquier cantidad de agua presente en el espacio entre el saliente 26 de soporte y el tubo 24 de turbina, al exterior del conducto 60 de drenaje. Cuando está presente en un aparato que comprende una disposición de descarga mecánica, el compresor de aire puede estar accionado por el árbol 72 de transmisión del tren de engranajes.

20 Eliminar agua del espacio que contiene los cojinetes 36 y la rueda 70 de piñón ayuda a minimizar el arrastre por fricción en el tren de transmisión. Cuando el aparato no está funcionando, cualquier cantidad de agua que se filtre en el espacio fluirá fuera del conducto 60 de drenaje por gravedad.

25 En las figuras 8, 9 y 10 se muestra una disposición de descarga de energía eléctrica. Unos imanes permanentes 78 están fijados en una ranura mecanizada en la superficie exterior del tubo 24 de turbina. La ranura puede estar ubicada en la porción 44 de soporte de carga del tubo 24 de turbina. Un estator 80 soporta los devanados primarios 82 y está conectado al saliente 26 de soporte. El estator 80 está sujeto dentro del saliente 26 de soporte mediante unos pernos 84, u otros medios de fijación convencionales.

30 La rotación del tubo 24 de turbina hace que los imanes permanentes 78 giren dentro del estator 80 de núcleo de hierro blando y los devanados primarios 82, generando energía eléctrica. La energía eléctrica se exporta desde el aparato a través de un cable 86 de alimentación, a través de un conducto 88 que se extiende a través del saliente 26 de soporte y la paleta 62 de soporte.

35 En una realización, un ventilador 90 está montado sobre el tubo 24 de turbina. El ventilador está dimensionado de tal manera que la rotación del tubo de turbina haga que el ventilador arrastre aire hacia abajo por el conducto 76 de aire. El conducto se extiende a través del saliente de soporte y la paleta de soporte, llevando aire al interior del espacio entre el saliente de soporte y el tubo de turbina, inmediatamente corriente arriba del ventilador. Cuando está presente en un aparato que comprende una disposición de descarga eléctrica, el ventilador sopla aire a presión dentro del espacio que rodea el estator.

40 La presión de aire creada alrededor del estator 80 descarga a través del conducto 60 de drenaje cualquier cantidad de agua presente en el espacio alrededor del estator. Cuando el aparato no está en funcionamiento, el agua que se filtra dentro del espacio fluirá hacia fuera a través del conducto 60 de drenaje por gravedad.

45 La toma descarga de energía de la turbina, ya sea a través de una disposición mecánica o eléctrica, se hace a través de un conducto que se extiende a través del saliente de soporte y las paletas de soporte. Esto significa que el flujo primario o secundario no se ve alterado por las correas o los árboles de transmisión, como sería el caso en las turbinas de rotación libre en un tubo fijo.

50 La construcción integrada de los componentes que forman el tubo de turbina y el saliente de soporte ayuda a reducir el tiempo de instalación y los costes, y ayudan a posicionar el aparato.

55 La sección convergente 16 tiene la forma de un embudo que tiene una primera abertura en un extremo, a modo de entrada para recibir agua desde detrás de la barrera 12, y una abertura más estrecha en el extremo opuesto, a modo de salida para liberar agua en el tubo 18 de mezclado. La sección convergente 16 se estrecha hacia abajo desde el extremo situado corriente arriba hacia la entrada del tubo 18 de mezclado. Un venturi 20 está definido en el límite de la sección convergente y el tubo de mezclado. Los parámetros de la sección convergente, tales como el ángulo de convergencia, la longitud de la sección y el tamaño, tales como los diámetros de la entrada y salida de la sección convergente, pueden seleccionarse para optimizar el rendimiento del aparato.

60 Con referencia a la Figura 13, como se muestra en la Figura 13A, la sección convergente 16 tiene un perfil sustancialmente cónico desde el extremo situado corriente arriba hasta el extremo situado corriente abajo. La sección convergente puede fabricarse simplemente como una sola pieza de forma troncocónica. La Figura 13B y la Figura 5 ejemplifican una configuración alternativa donde la sección convergente 16 comprende una sección convergente hacia delante 92 y una sección convergente posterior 94. Las secciones convergentes hacia delante y posterior pueden fabricarse por separado, teniendo la sección convergente hacia delante una forma sencilla, tal

como forma troncocónica, y teniendo la sección convergente posterior una forma convexa curva más compleja. La Figura 13C ejemplifica una configuración alternativa preferida adicional, donde la sección convergente se estrecha con un ángulo variable a lo largo para proporcionar un perfil exterior de tipo convexo, conformado para generar una aceleración constante del flujo primario 32 a través de la corona circular.

5 El tubo de mezclado proporciona una sección de la tubería en la que pueden combinarse el flujo secundario 34 y el flujo primario 32, para formar un flujo sustancialmente uniforme. El flujo es sustancialmente homogéneo antes de salir del tubo 18 de mezclado, hacia dentro de la sección difusora 22, con un perfil de velocidad que permite una recuperación de presión suficiente del flujo a través de la sección difusora, para mantener la diferencia de presión entre la baja presión en el venturi y la presión más alta en la salida de la sección difusora.

10 El tubo de mezclado está configurado para maximizar la potencia de salida del tubo de turbina a través del cual pasa el flujo secundario 34. Esto se logra, al menos en parte, configurando la sección de mezclado para optimizar los regímenes de flujo en la región situada inmediatamente corriente abajo del punto donde el flujo secundario a través de la turbina, inducido por la baja presión en el venturi, comienza a mezclarse con el flujo primario. El tubo de mezclado está configurado para optimizar la transferencia de energía desde el flujo primario al flujo secundario en este tubo de mezclado.

15 El tubo de mezclado tiene una abertura, una salida y longitud que no es igual a cero, para proporcionar un espacio de longitud suficiente entre la abertura y la salida en la que pueden mezclarse los flujos. La longitud (L) del tubo que define el tubo de mezclado se selecciona de modo que se obtenga un flujo adecuadamente acondicionado antes de que el flujo entre en la sección difusora. La selección de la longitud correcta para las condiciones de flujo y presión asegura que haya una transferencia de energía óptima entre el flujo primario en rápido movimiento y el flujo secundario más lento, de modo que haya un perfil de velocidad aceptable en los dos flujos antes de que el flujo combinado entre en la sección difusora.

20 En una realización de la invención, el tubo de mezclado puede estrecharse en la dirección corriente abajo, en un ángulo de medio cono de  $\beta$ , beta, de tal manera que la salida del tubo de mezclado sea más estrecha que su entrada. El ángulo de medio cono del tubo de mezclado puede ser positivo o negativo. En una realización alternativa, el tubo de mezclado puede estrecharse en la dirección corriente arriba de manera que la salida del tubo de mezclado sea más ancha que la entrada del tubo de mezclado, es decir, que el tubo de mezclado diverja a lo largo hacia la sección difusora. El hecho de contar con un tubo de mezclado cónico puede facilitar la transferencia de energía entre el flujo primario de mayor velocidad, a través de la corona circular, y el flujo secundario más lento que sale del tubo de turbina.

25 El extremo situado corriente abajo del tubo 18 de mezclado está conectado a la sección difusora 22. La sección difusora tiene la forma de un embudo con una primera abertura, a modo de entrada para recibir agua desde el tubo 18 de mezclado, y una abertura más amplia a modo de salida en el extremo opuesto, para liberar agua de regreso al flujo libre en el lado de flujo abajo de la barrera 12. La sección difusora 22 diverge hacia fuera desde la salida del tubo 18 de mezclado para disminuir el flujo y recuperar la presión estática antes de salir de la sección difusora 22, y para minimizar la pérdida de energía por turbulencia. El ángulo de desviación puede seleccionarse para optimizar el rendimiento del difusor.

30 Los parámetros de la sección difusora, tal como la longitud de la sección, el ángulo de divergencia,  $\theta$ , y la relación del área de sección transversal de la primera y segunda aberturas se seleccionan para suprimir la turbulencia y para reducir las pérdidas de energía causadas por la ruptura del flujo, a medida que el flujo desacelera de nuevo hasta la velocidad de flujo libre. La turbulencia indebida, los remolinos y la ruptura del flujo pueden afectar a la recuperación de la presión a medida que el flujo se acerca a la salida de la sección difusora. Los parámetros se seleccionan para maximizar la recuperación de la presión de modo que la presión en la salida del difusor, que viene establecida por la profundidad del agua corriente abajo, sea lo más alta posible por encima de la presión en el venturi.

35 La sección difusora está configurada para proporcionar el flujo primario con una velocidad constante de deceleración a través de la sección difusora, a medida que se produce la recuperación de la presión. Con referencia a las Figuras 13A y 13C, la sección difusora 22 diverge al extremo situado corriente abajo en ángulos variables a lo largo de la misma. Como se muestra en la Figura 13A, la sección difusora puede tener un perfil externo de tipo cóncavo. Como se muestra en la Figura 13C, la sección difusora puede tener una sección de perfil exterior de tipo convexo. La Figura 13B ejemplifica un aparato que tiene una sección divergente 22 que se estrecha con un ángulo sustancialmente constante, para tener un perfil sustancialmente cónico.

40 La sección convergente, el tubo de mezclado y la sección difusora pueden fabricarse como un único tubo continuo. Alternativamente, la sección convergente, el tubo de mezclado y la sección difusora pueden fabricarse como dos secciones separadas sujetas entre sí mediante pernos, o mediante otros medios o técnicas de unión convencionales. Como se muestra en las Figuras 2 y 3, la sección convergente, el tubo de mezclado y la sección difusora pueden fabricarse como dos secciones, una sección convergente y de tubo de mezcla y una sección difusora, estando las dos secciones sujetas mediante pernos 96.

Entre dos secciones adyacentes pueden estar formadas unas transiciones redondeadas 98 para reducir al mínimo las pérdidas de energía debidas turbulencias inducidas, que pueden producirse en caso de que haya presentes transiciones de borde agudo entre las secciones. Esto ayudará a mejorar la eficiencia de conversión de energía del sistema.

5 El aparato puede utilizarse para generar salidas de potencia de 1 kW a más de 1 MW. Con referencia a la Figura 4, el diámetro (D1) de la entrada de la sección convergente, el diámetro (D2) de la entrada del carenado delantero del saliente de soporte, el diámetro (D3) de la salida del tubo de turbina, el diámetro (D4) de la salida de la sección de mezclado, el diámetro (D5) de la salida de la sección difusora, la longitud "M" de la sección de mezclado y la longitud "L" de la sección difusora pueden variarse para ayudar a mejorar la eficiencia del sistema. Las relaciones D4/D1, D3/D1, M/D4 y L/(D5-D4) se seleccionarán para adaptarse a las condiciones en las que vaya a instalarse el sistema.

15 En una realización el dispositivo está diseñado de tal manera que aproximadamente el 80 % del flujo de agua pase a través de la corona circular 28 y aproximadamente el 20 % restante del flujo de agua se extraiga a través del tubo 24 de turbina. En una realización preferida, el aparato está configurado de tal manera que el producto de dos parámetros no dimensionales  $\alpha$  (alfa) y  $\beta$  (beta) sea aproximadamente igual a 0,25, donde:

20  $\alpha$  es la relación del área total de flujo primario en la salida del tubo de turbina  $[(\pi/4)(D4^2-D3^2)]$  para el área total de flujo secundario a la salida del tubo de turbina  $(\pi D3^2/4)$ ; y

$\beta$  es la relación entre la velocidad media del flujo secundario en el tubo de turbina y la velocidad media del flujo primario en la corona circular a la salida del tubo de turbina.

25 A diferencia de las máquinas de energía cinética en una corriente de fluido libre, en donde la potencia máxima de cualquier máquina de este tipo esté sometida al límite Betz, y una serie de tales máquinas requieren ser colocadas con una separación significativa entre cada máquina, la presente invención crea en primer lugar un inventario de energía potencial hidráulica a partir de la energía cinética de todo el flujo al elevar el nivel del agua corriente arriba debido a la provisión de la barrera a todo lo ancho del cuerpo de agua, y luego concentra gran parte de este inventario de energía potencial en la parte más pequeña del flujo que pasa a través del tubo de turbina y a través del cual se crea una caída de presión correspondientemente amplificada, lo que permite que se genere energía eléctrica con una eficiencia económica del proceso de generación completo (del agua al tendido eléctrico).

35 Para lograr eficiencias aceptables en la generación de energía, la presente invención permite el uso de un conjunto de palas y un tubo de turbina con un diámetro menor que el diámetro de un disco de una turbina de flujo libre situada a través del mismo cuerpo de agua fluyente. En muchos sitios, incluyendo la mayoría de los ríos y muchos estuarios mareales, el diámetro deseable de una turbina de flujo libre puede exceder significativamente la profundidad del agua disponible. Con el sistema de la invención puede utilizarse una turbina más pequeña para lograr eficiencias equivalentes con un costo de capital más bajo, y el sistema es adecuado para su uso en una mayor variedad de sitios.

45 La superficie libre del agua situada corriente arriba detrás del sistema de la invención queda elevada a todo lo ancho del flujo, habitualmente entre 1,0 m y 3,5 m. En las turbinas de flujo libre, habrá un pequeño "abultamiento" en la superficie del agua sobre la turbina, causado por la resistencia de la turbina al flujo de agua, y que es una medida de la capacidad de generación de energía de esa turbina de flujo libre. Este abultamiento habitualmente no puede detectarse a simple vista. La elevación justo corriente arriba de una turbina de superficie libre resulta casi imperceptible debido a las limitaciones del límite Betz. Adicionalmente, este pequeño volumen elevado es local para cada turbina de flujo libre en el plano, y el Límite Betz también prescribe una cantidad significativa de agua abierta entre cada turbina de flujo libre en un conjunto, de modo que el volumen de agua elevada por encima y justo corriente arriba de una turbina o conjunto de turbinas de flujo libre será radicalmente más pequeño que el que se encuentra corriente arriba de la presente invención situada a través del mismo cuerpo de agua fluyente, habitualmente en un orden de magnitud o más. Esta comparación de volúmenes del agua elevada es una medida directa de la energía comparativa disponible para la conversión a electricidad por cada tipo de máquina. Por lo tanto, el sistema de la invención habitualmente obtiene un orden de magnitud, o más, de energía disponible que una 55 turbina o un conjunto de turbinas de flujo libre a partir del mismo cuerpo de agua.

60 Adicionalmente, la invención crea un levantamiento de carga de agua mucho mayor corriente arriba de lo que se obtendría desplegando una turbina de flujo libre, y habitualmente amplifica esa diferencia de carga adicionalmente en un factor de 3 a 5 veces en el flujo secundario inducido, que habitualmente es un 20 % del flujo corriente arriba. De modo que la carga de accionamiento (presión) de la turbina de la invención es mayor que la de una turbina de flujo libre, habitualmente en un orden de magnitud o más. Por lo tanto, el aparato de la invención puede usar un tubo de turbina y un conjunto de palas con un diámetro que es menor en un orden de magnitud o más, y gira a una velocidad que es mayor, en un orden de magnitud o más, que una turbina de flujo libre habitual.

65 Una presa hidroeléctrica habitual, en la que una barrera situada a través de una fuente de agua canaliza todo el flujo de agua a través de la turbina, requiere una diferencia de carga de habitualmente 3,5 m o más para hacer que el

generador funcione de manera eficiente. Sin embargo, debido a la amplificación de presión en el flujo secundario inducido, la invención puede operar dicha turbina de manera rentable con diferencias de altura de aproximadamente 1,0 m.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato (14) para generar electricidad a partir de un flujo de agua, que comprende:

- 5 - una sección convergente (16) conectada a un primer extremo de un tubo (18) de mezclado de manera que se defina un venturi entre el extremo de la sección convergente y el tubo de mezclado;
- una sección difusora (22) conectada a un segundo extremo del tubo (18) de mezclado, estando configurada la sección difusora de tal manera que, en uso, la presión a la salida de la sección difusora sea mayor que la presión en el venturi;
- 10 - un tubo (24) de turbina que comprende un conjunto (30) de palas que tiene una pluralidad de palas, estando soportado el tubo de turbina en la sección convergente (16) de modo que se defina una corona circular (28) entre el tubo (24) de turbina y la sección convergente (16), para formar un primer paso de flujo, y definiendo el tubo (24) de turbina un segundo paso de flujo, caracterizado por que el tubo (24) de turbina está montado de manera giratoria en la sección convergente (16) y las palas están fijadas a la superficie interior del tubo de
- 15 turbina de tal manera que, en uso, el agua que pasa por las palas impulse la rotación del tubo de turbina.

2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el tubo (24) de turbina está montado de forma giratoria en un saliente (26) de soporte, estando el saliente de soporte montado en la sección convergente (16) mediante unas paletas (62) de soporte.

3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 2, en donde el saliente (26) de soporte comprende un tubo de soporte de longitud más corta que el tubo (24) de turbina, en donde, opcionalmente, el saliente de soporte comprende unas tapas terminales (54, 56) en cualquiera de los extremos del tubo de soporte, teniendo las tapas terminales unos cojinetes (36) sobre los cuales puede girar el tubo (24) de turbina.

4. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3, en donde el tubo (24) de turbina comprende una brida (38) de empuje que se extiende circunferencialmente alrededor de la superficie exterior del tubo (24) de turbina, y el saliente (26) de soporte comprende un saliente (42) de empuje que se extiende circunferencialmente alrededor de la superficie interior del saliente de soporte, en donde la brida (38) de empuje engancha con el saliente (42) de empuje a través de un conjunto (40) de cojinetes.

5. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde el tubo (24) de turbina acciona un generador mecánico.

6. El aparato de acuerdo con la reivindicación 5, en donde el tubo de turbina comprende una brida dentada en su superficie exterior que engancha con al menos un engranaje de piñón situado en un espacio entre el saliente (26) de soporte y el tubo (24) de turbina, estando cada engranaje de piñón conectado a un árbol (72) de transmisión, en donde el árbol (72) de transmisión puede conectarse a un generador.

7. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en donde el tubo (24) de turbina acciona un generador eléctrico, en donde, opcionalmente, el tubo (24) de turbina comprende unos imanes permanentes (78) en un rebaje situado en la superficie exterior del tubo (24) de turbina, y el saliente (26) de soporte comprende un estator (80) alineado con los imanes permanentes (78).

8. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, que comprende:

- un compresor de aire para inyectar aire en el espacio entre el tubo (24) de turbina y el saliente (26) de soporte, a través de un conducto (76) que se extiende a través de una de las paletas (62) de soporte;
- 50 un ventilador (90) ubicado radialmente alrededor del tubo (24) de turbina, para llevar aire al espacio entre el tubo (24) de turbina y el saliente (26) de soporte, a través de un conducto (76) que se extiende a través de una de las paletas (62) de soporte; y/o
- un conducto (60) de drenaje que se extiende hacia abajo, que se extiende desde el saliente (26) de soporte hasta el exterior de la sección convergente (16) a través de la paleta (62) de soporte.

9. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 8, en donde el saliente (26) de soporte comprende un carenado delantero (48) y/o un carenado trasero (50), y en donde, opcionalmente, el perfil exterior del carenado delantero (48) tiene forma cilíndrica o de bala y/o el perfil interior del carenado trasero (48) tiene una forma cóncava, cónica o convexa.

10. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:

- las palas son integrales con la superficie interior del tubo (24) de turbina;
- en donde la superficie interior del tubo (24) de turbina comprende una pluralidad de rebajes en los que se fijan las puntas de las palas; y/o
- 65 en donde el aparato comprende adicionalmente un estator pre-torbellino (68) ubicado en la entrada del segundo paso de flujo.

- 5 11. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el tubo (24) de turbina comprende una primera sección fabricada con un primer material y una segunda sección fabricada con un segundo material, en donde el primer y el segundo material son diferentes, en donde, opcionalmente, el primer material es un material más fuerte que el segundo material.
- 10 12. El aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el diámetro interior del tubo (24) de turbina disminuye en la dirección del flujo de agua, o en donde el tubo (24) de turbina tiene un diámetro interior sustancialmente constante.
- 15 13. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el tubo (24) de turbina está colocado de tal manera que la entrada de la sección convergente (16) esté corriente arriba de la entrada del tubo de turbina, o en donde el tubo (24) de turbina está colocado de tal manera que la entrada del tubo (24) de turbina esté corriente arriba de la entrada de la sección convergente (16).
- 20 14. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el tubo (24) de turbina está posicionado de tal manera que la salida del tubo (24) de turbina se extienda hacia el tubo (18) de mezclado, o en donde el tubo (24) de turbina está posicionado de tal manera que la salida del tubo (24) de turbina esté corriente arriba de la entrada del tubo (18) de mezclado.
- 25 15. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la sección convergente (16), el tubo (18) de mezclado y la sección difusora (22) están construidos como un tubo continuo, o en donde la sección convergente (16), el tubo (18) de mezclado y la sección difusora (22) están construidos como secciones discretas conectadas entre sí para formar un tubo continuo.
- 30 16. Un sistema (10) para generar electricidad a partir de un flujo de agua, que comprende; una barrera (12) a ubicar a través de la sección transversal de un cuerpo de agua fluyente; y provisto de al menos un aparato (14) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15, en donde el aparato (14) está posicionado de tal manera que, en uso, proporcione una ruta de flujo desde el lado situado corriente arriba de la barrera al lado situado corriente abajo de la barrera (12).

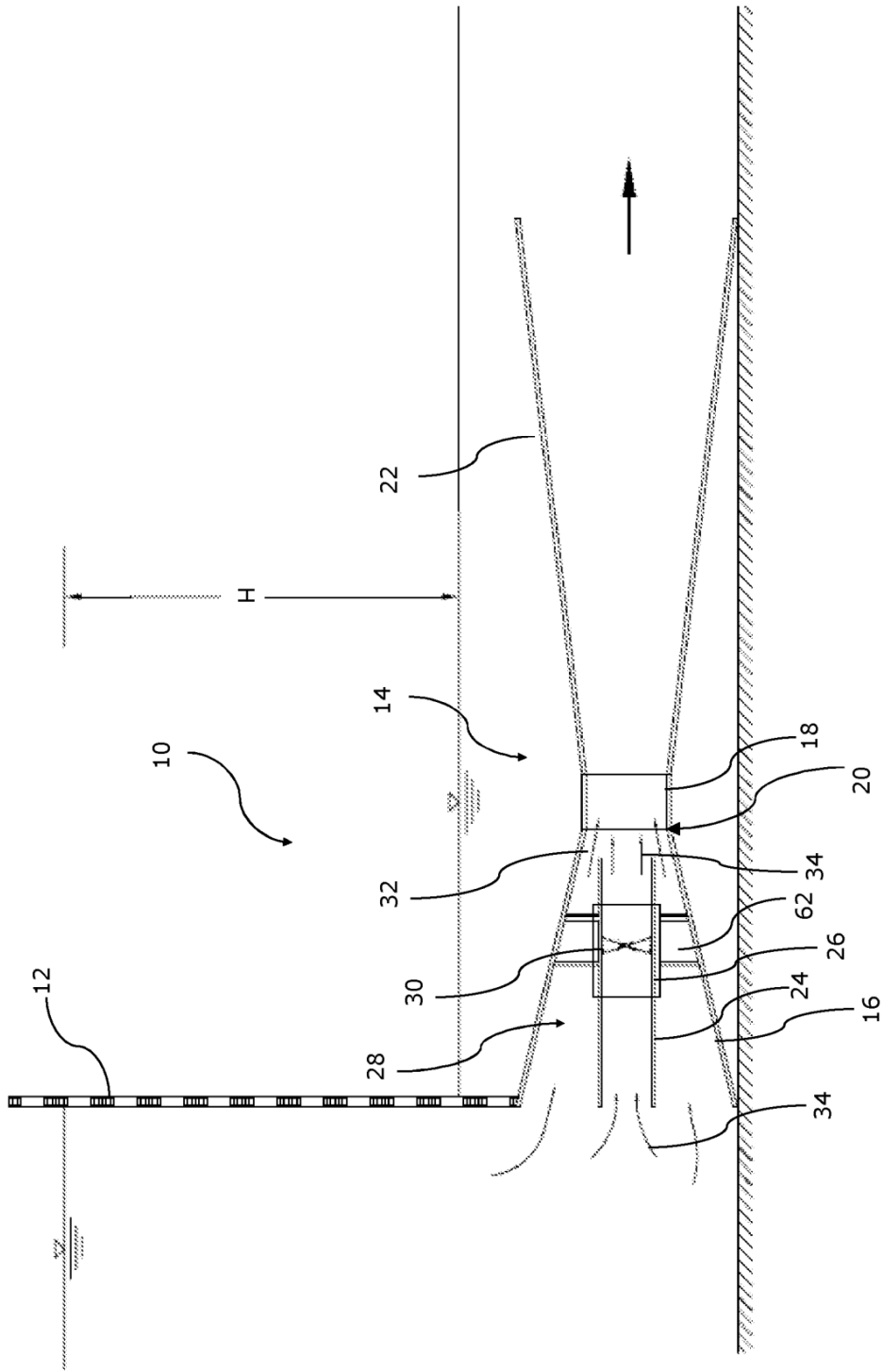


Figura 1

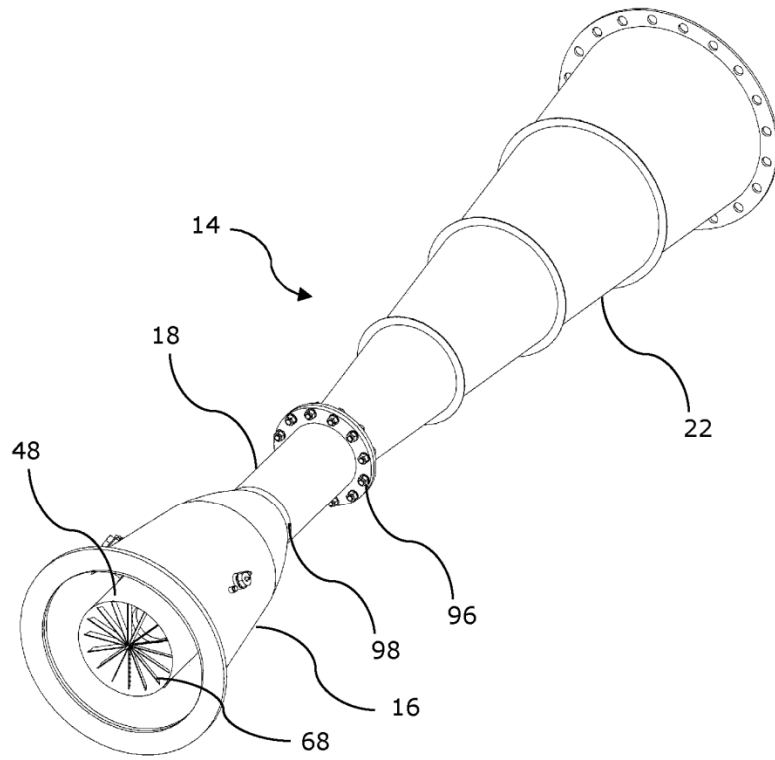


Figura 2

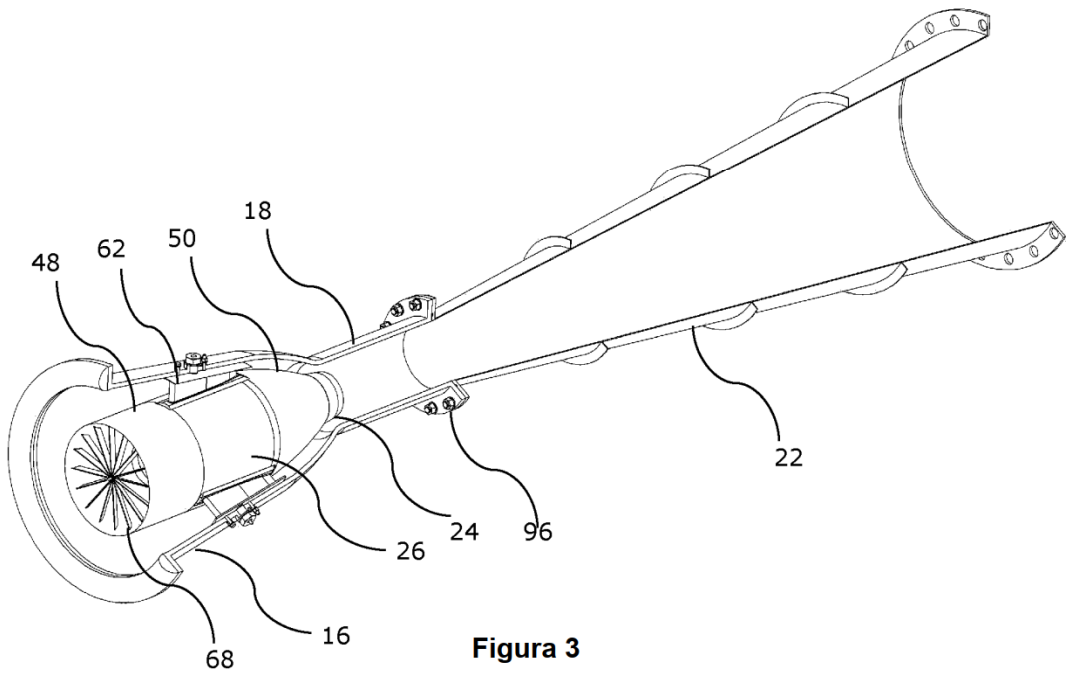


Figura 3



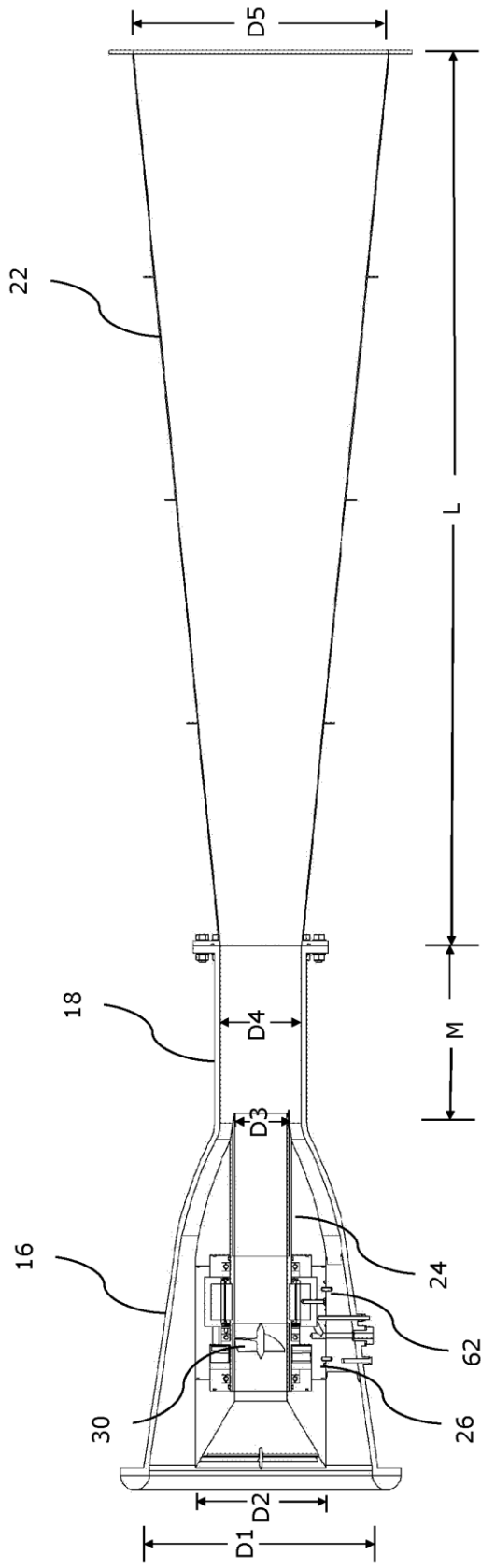


Figura 4

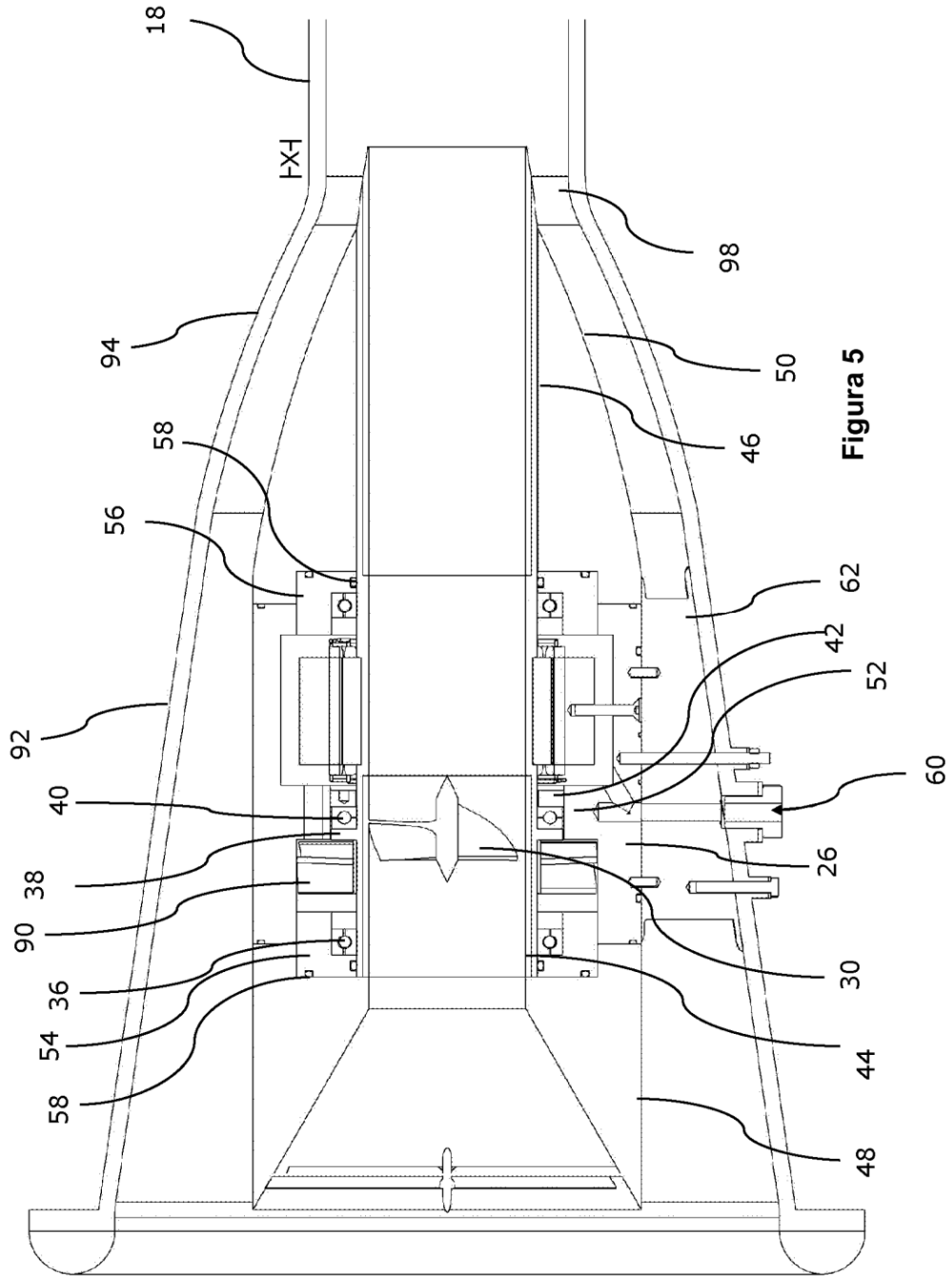
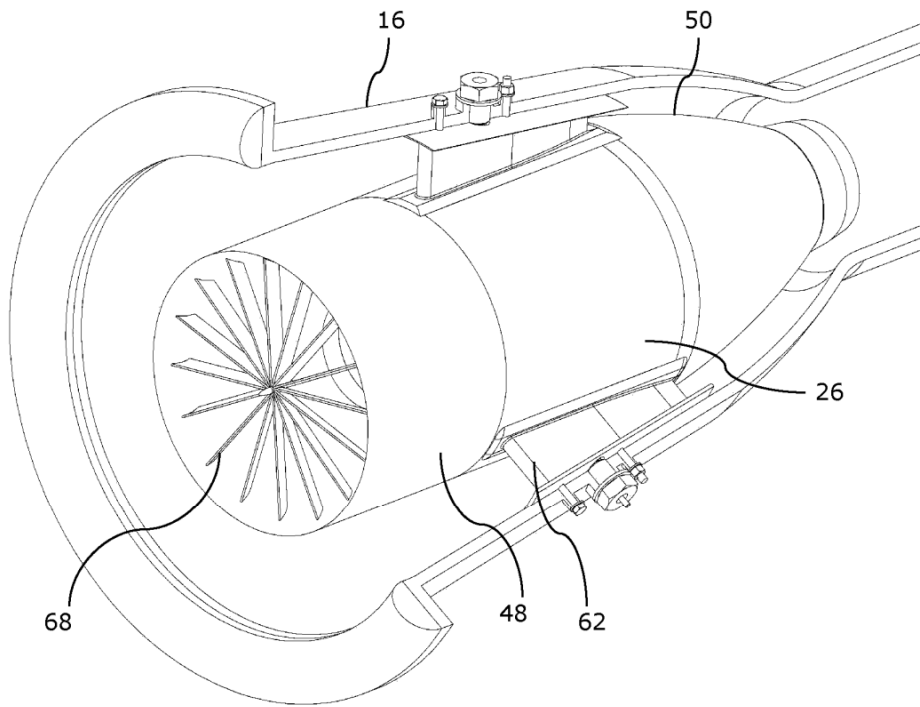
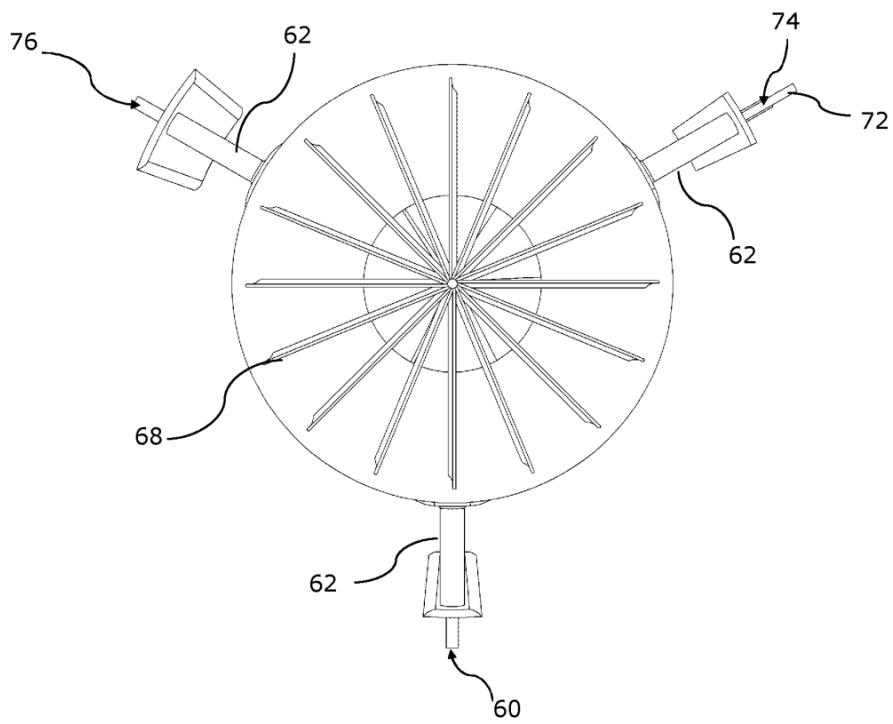


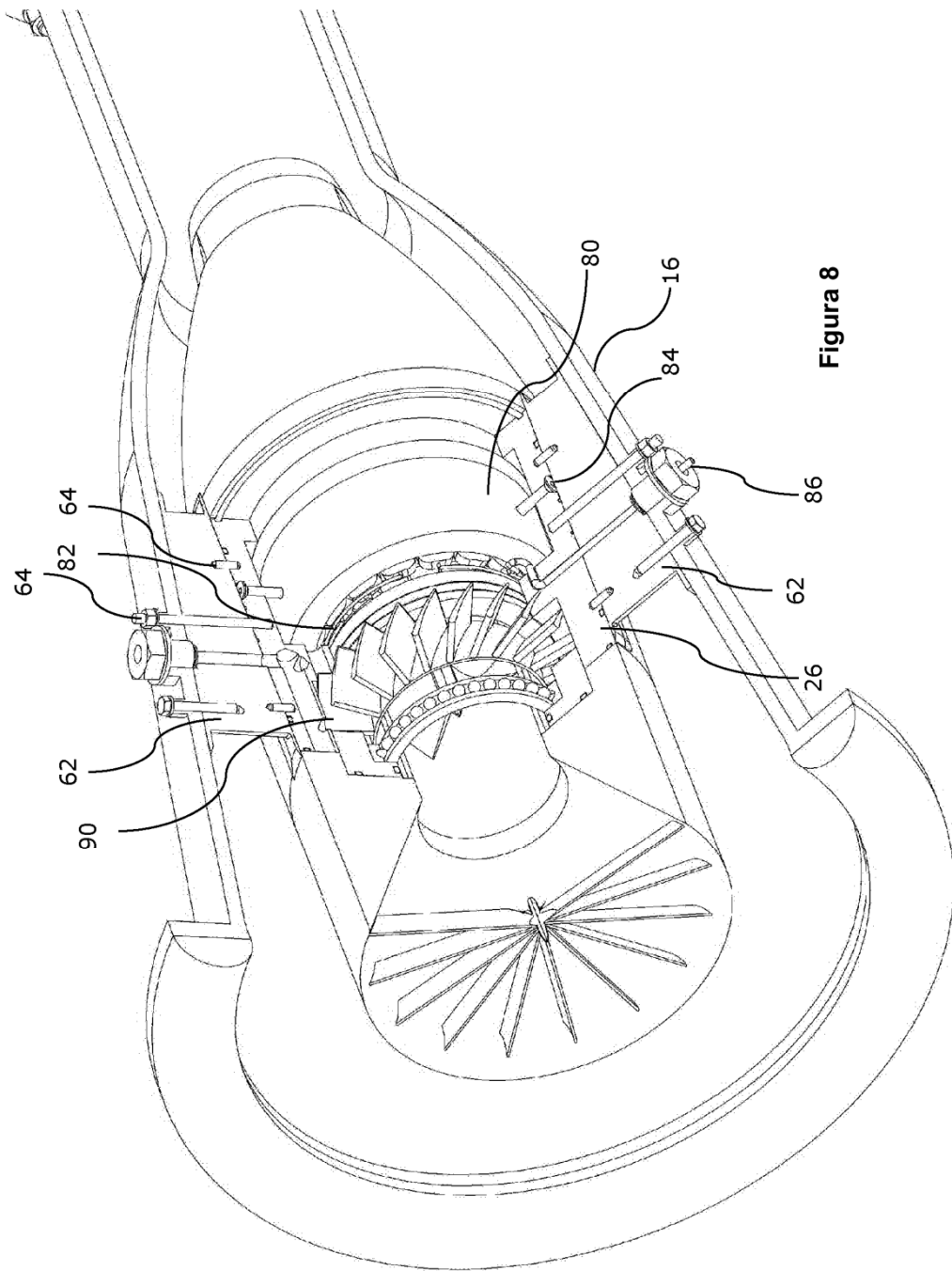
Figure 5



**Figura 6**



**Figura 7**



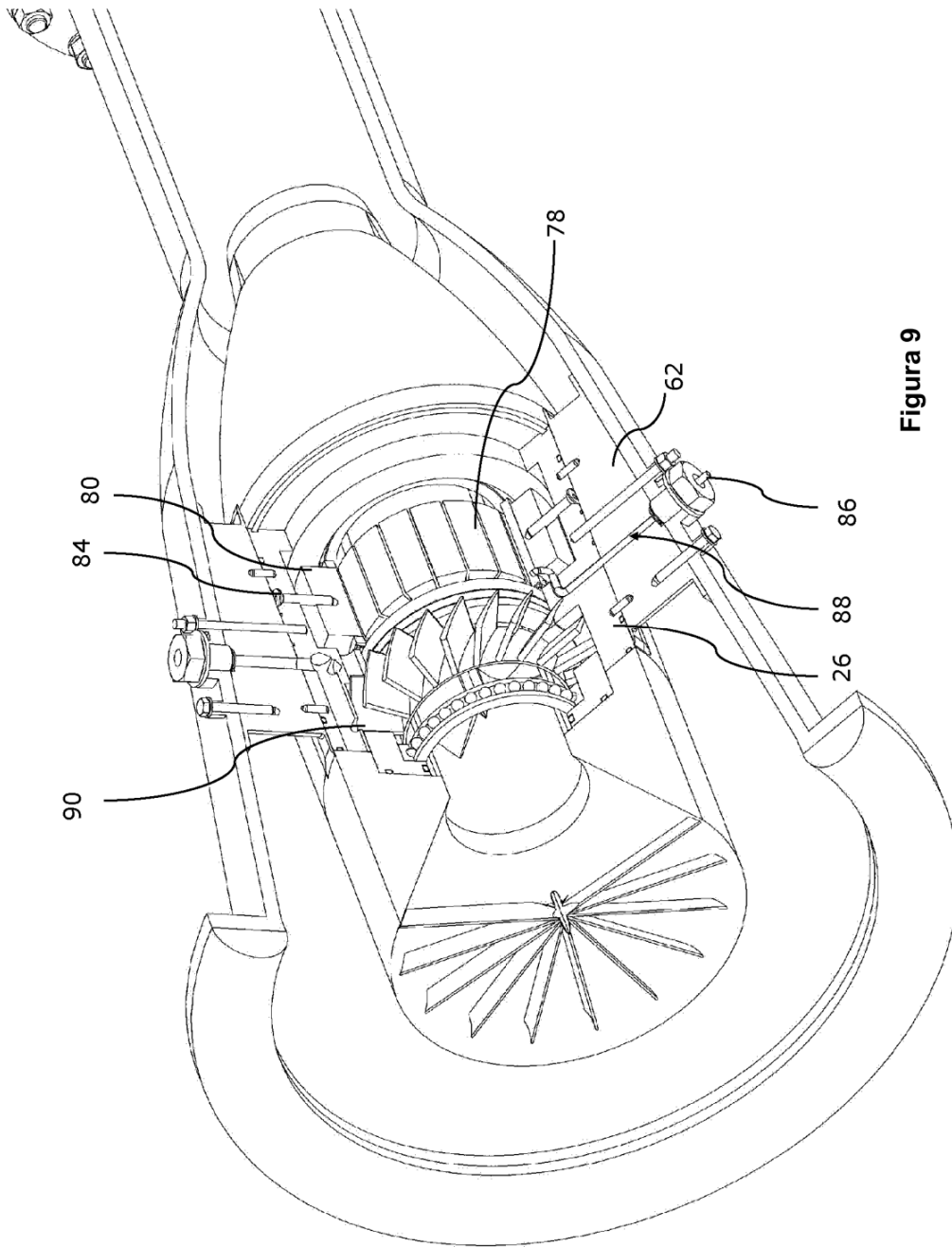


Figura 9

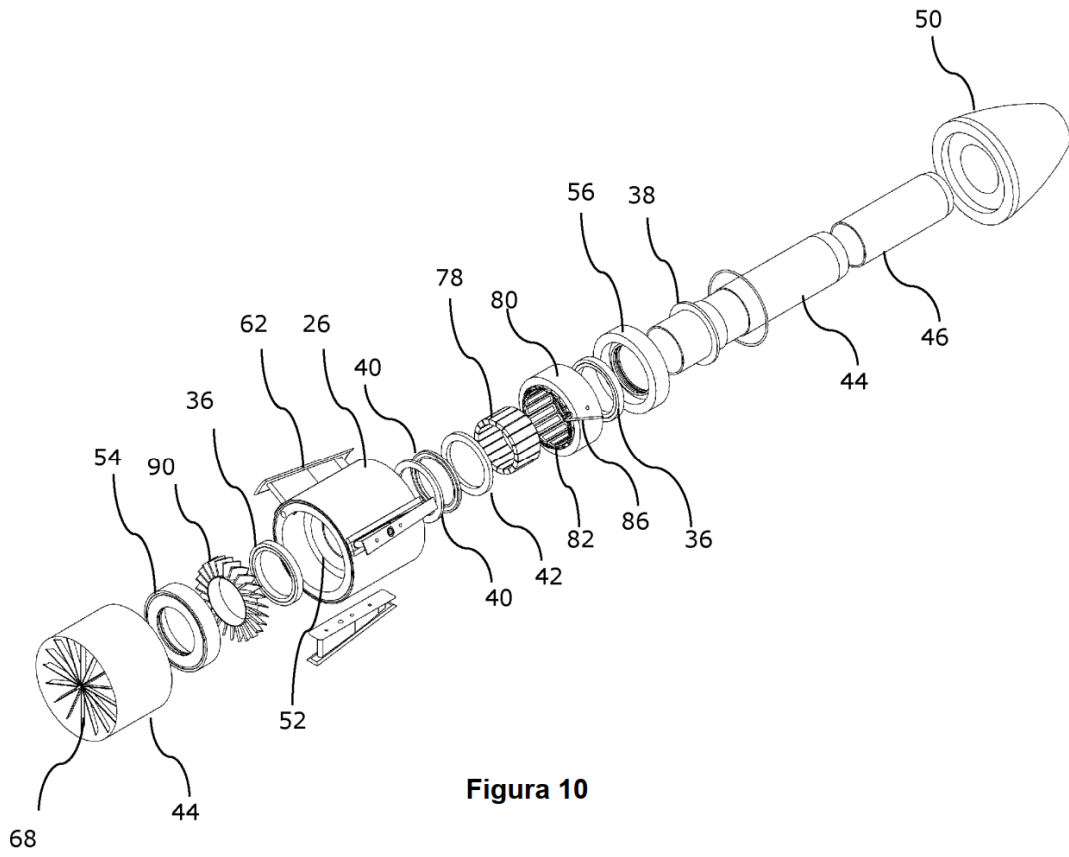


Figura 10

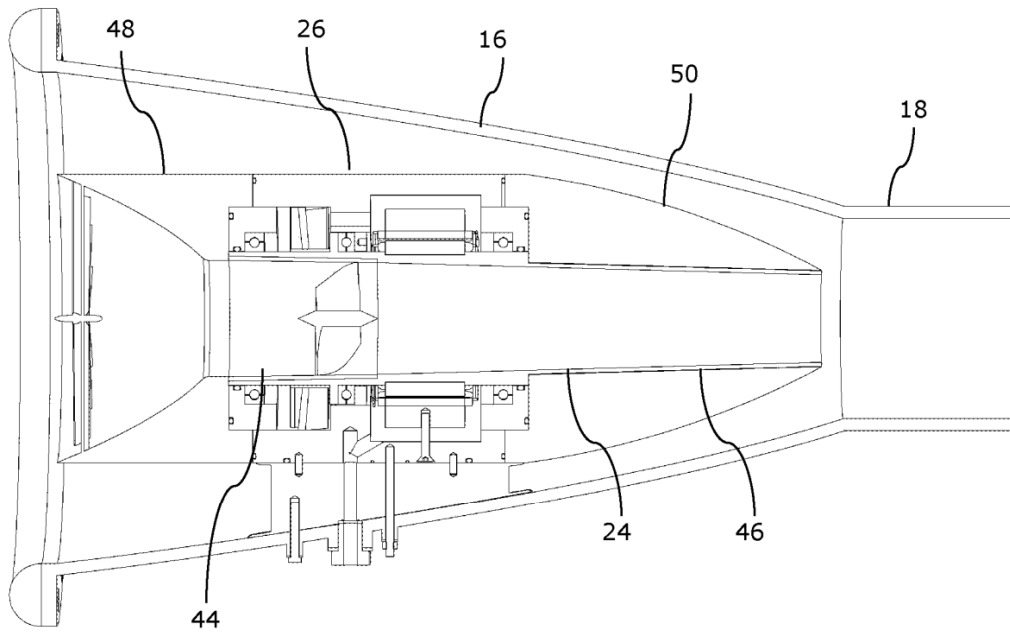


Figura 11

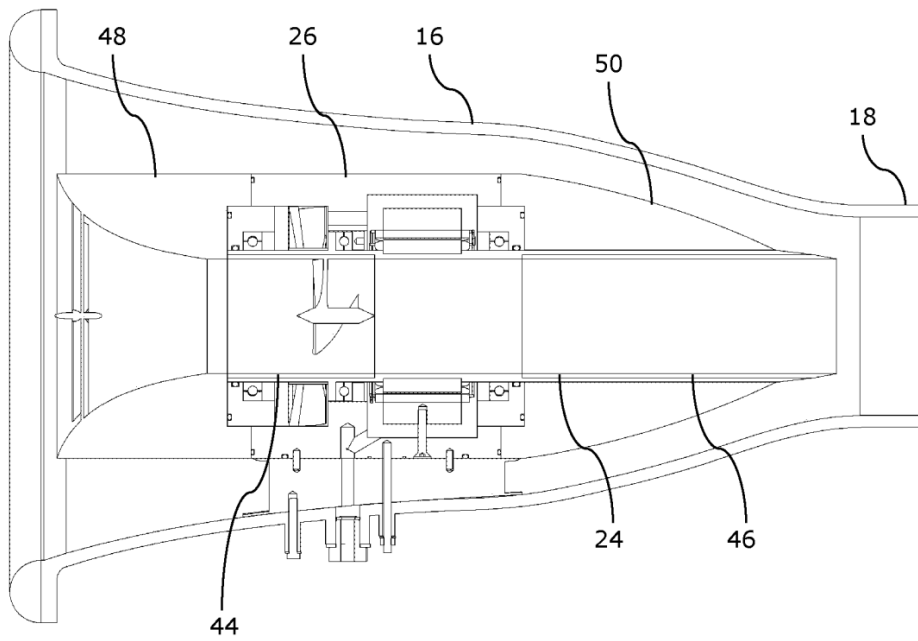


Figura 12

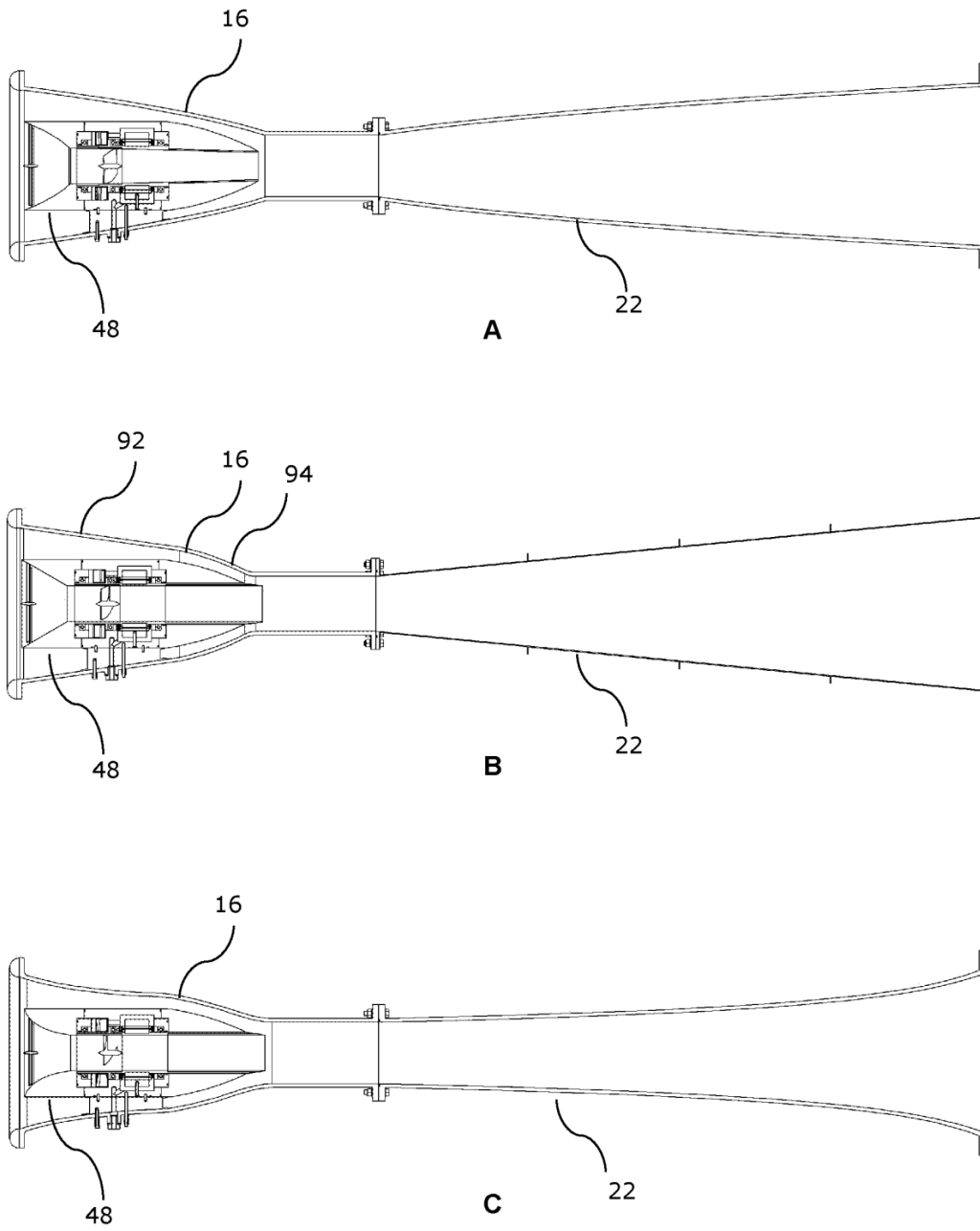


Figura 13



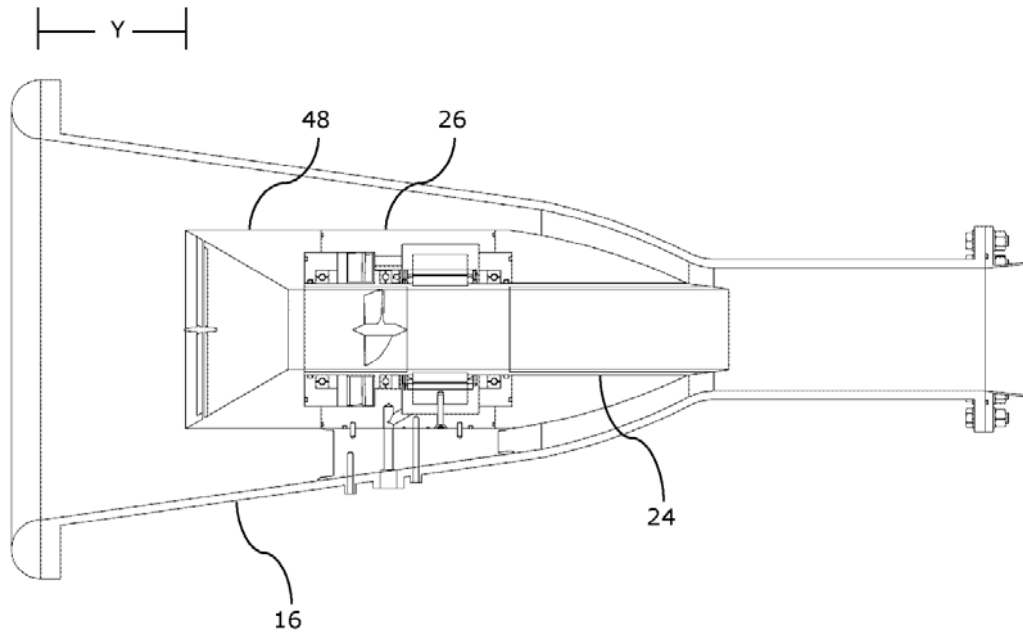


Figura 14

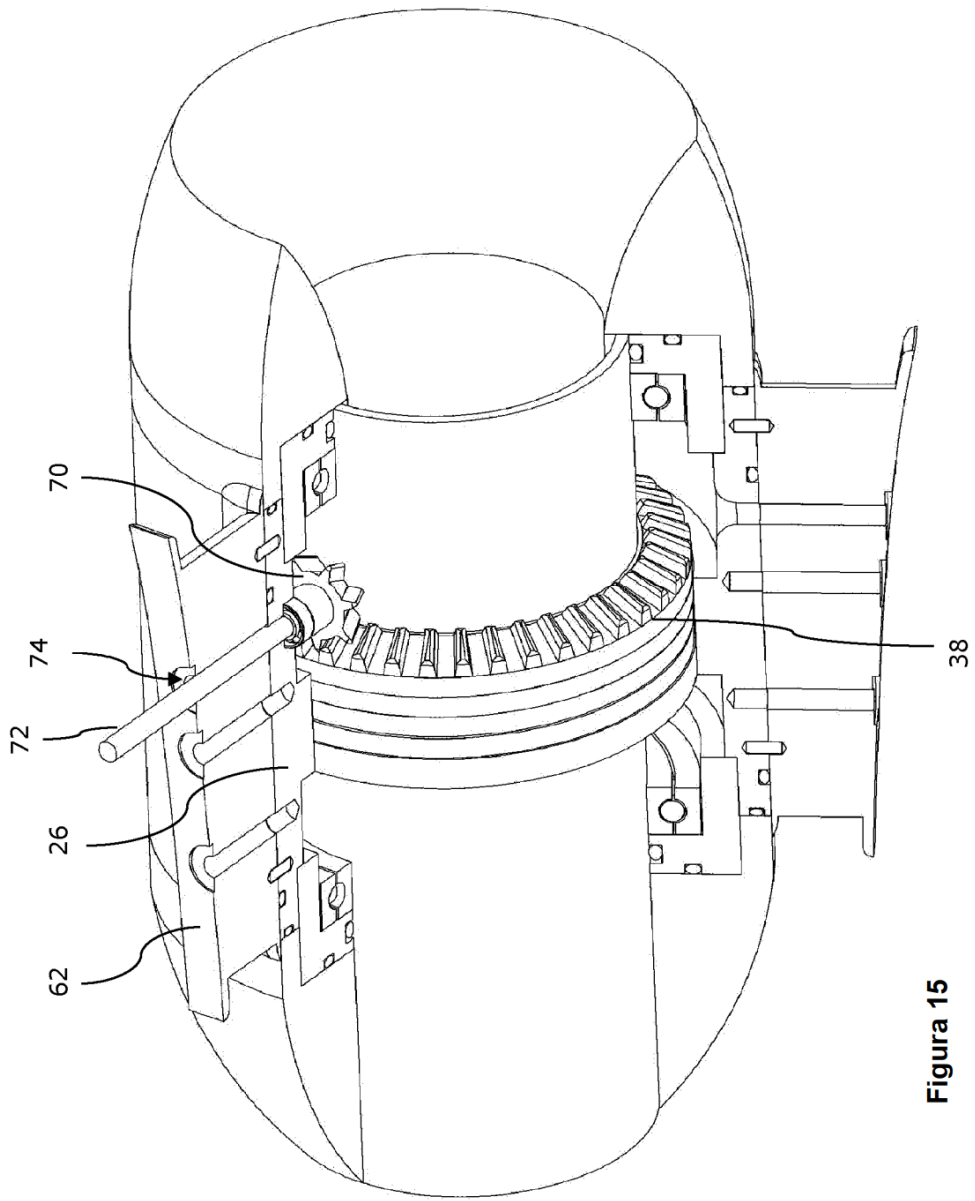


Figura 15

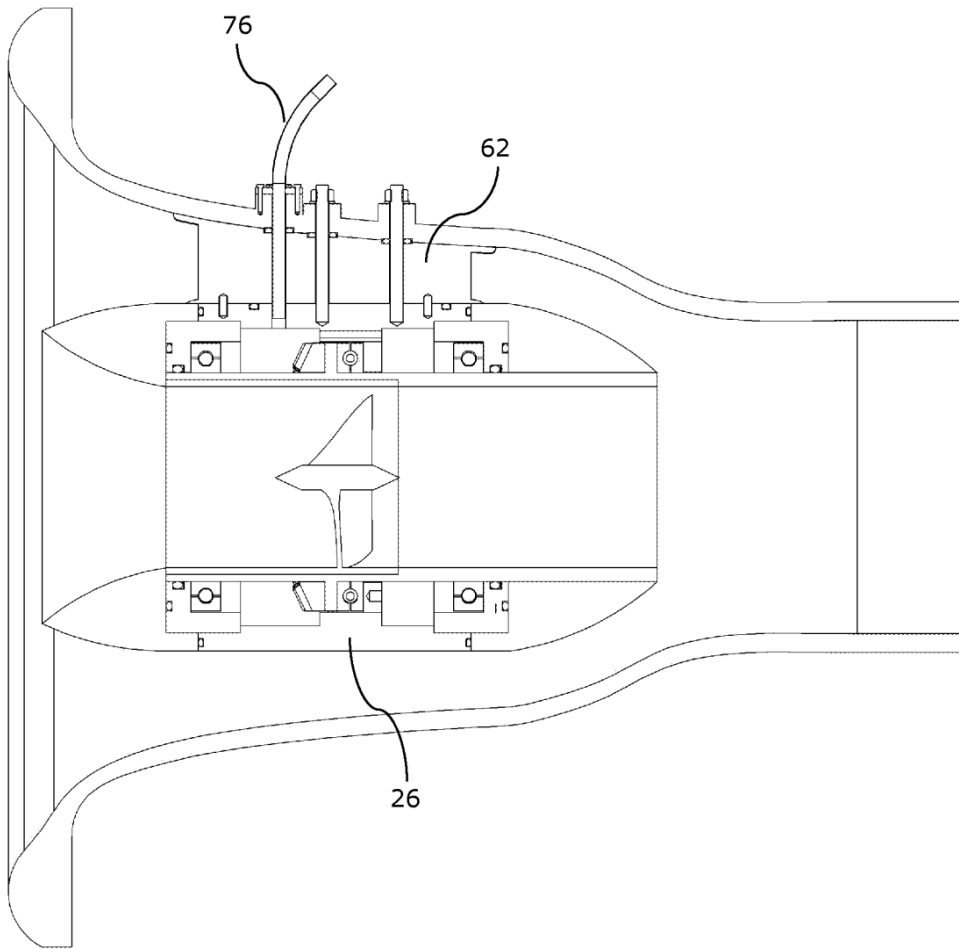


Figura 16

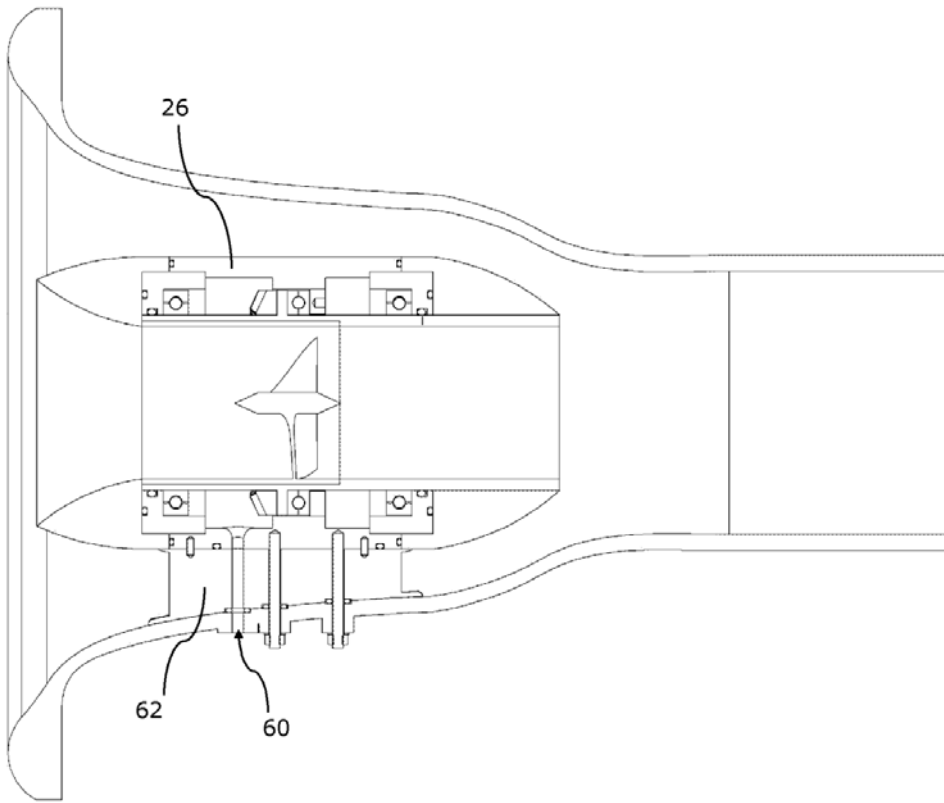


Figura 17

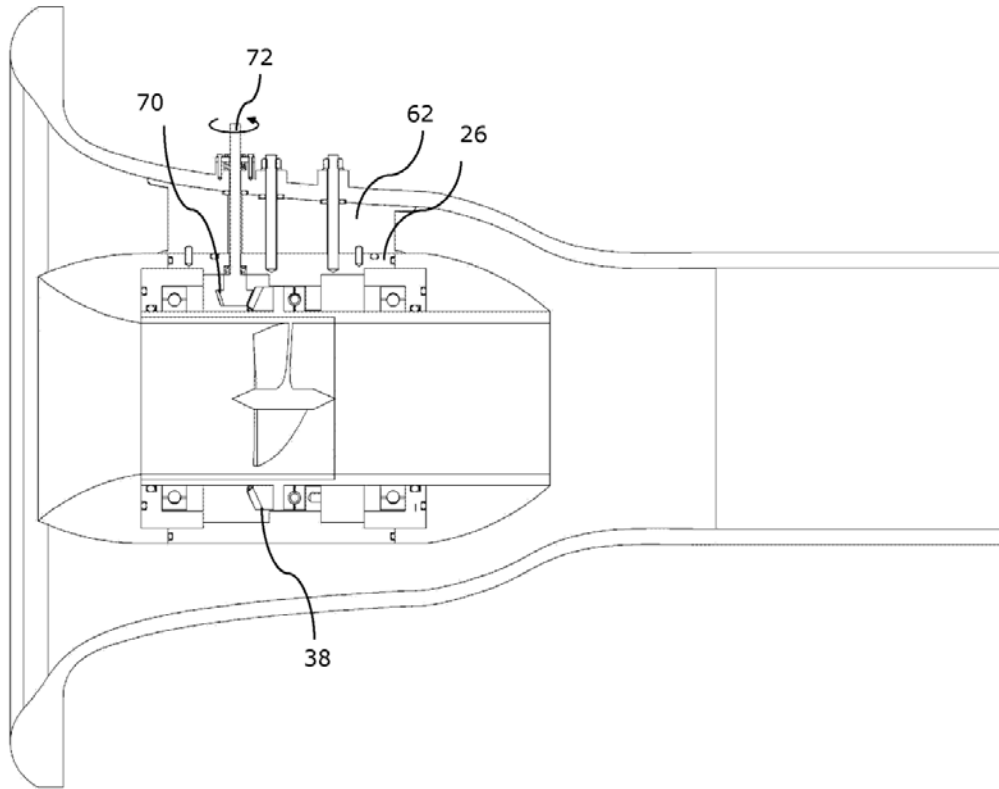


Figura 18