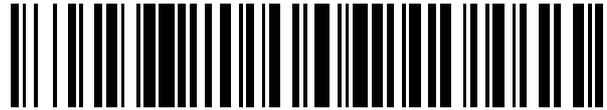


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 546 853**

51 Int. Cl.:

F03B 3/02 (2006.01)

F03B 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.04.2012 E 12714732 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015 EP 2699792**

54 Título: **Rueda para máquina hidráulica, máquina hidráulica equipada con dicha rueda e instalación de conversión de energía que comprende dicha máquina hidráulica**

30 Prioridad:

20.04.2011 FR 1153428

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

29.09.2015

73 Titular/es:

**ALSTOM RENEWABLE TECHNOLOGIES (100.0%)
82, Avenue Léon Blum
38100 Grenoble, FR**

72 Inventor/es:

**LAVIGNE, SYLVAIN;
HOUELINE, JEAN-BERNARD y
BERAL, CLAUDE**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 546 853 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).

DESCRIPCION

Rueda para máquina hidráulica, máquina hidráulica equipada con dicha rueda e instalación de conversión de energía que comprende dicha máquina hidráulica.

5 La presente invención se refiere a una rueda de tipo Francis para máquina hidráulica destinada para ser atravesada por una corriente forzada de agua. Cuando la máquina es una turbina, dicha corriente tiene por efecto accionar la rueda en rotación y cuando la máquina es una bomba, dicha corriente se produce por esta rotación. Por otro lado, la presente invención se refiere a una máquina hidráulica equipada con dicha rueda. Por otra parte la presente invención se refiere a una instalación de conversión de energía que comprende dicha máquina hidráulica.

10 De forma clásica, una instalación de conversión de energía hidráulica en energía eléctrica comprende una máquina hidráulica que funciona en modo turbina y que es atravesada por una corriente forzada de agua cuyo caudal es controlado por un distribuidor. La rueda de la turbina acciona en rotación un árbol conectado con un alternador. Para poder conectar el alternador a la red eléctrica, la velocidad de rotación de la turbina debe ser estable, para que la frecuencia de la señal eléctrica a la salida del alternador sea igual a la frecuencia de la red eléctrica. La frecuencia de la red eléctrica es de 50 Hz en Europa, pero este valor puede ser de 60 Hz en otros países, por ejemplo en los
15 Estados Unidos. Mientras la máquina no se acople a la red, el par de la rueda es nulo. En fases transitorias de funcionamiento, fluctuaciones de presión de la corriente provocan inestabilidades, de modo que la velocidad de rotación de la rueda de la turbina no está estabilizada y el alternador no puede conectarse a la red eléctrica. En particular, en el arranque de la turbina, el distribuidor de abre poco a poco, produciendo oscilaciones de la velocidad de rotación de la rueda de turbina. Luego, cuando la apertura deseada del distribuidor ha sido alcanzada, el
20 alternador se conecta con la red eléctrica una vez que la velocidad de rotación de la rueda es estable y alcanza una velocidad de sincronismo.

La figura 1 muestra una rueda 100 de tipo Francis de la técnica anterior, que comprende una corona 101 y un techo 112 situado frente a la corona 101. La rueda 100 comprende, además, nueve álabes 121 solidarios de la corona 101 y del techo 112 y que se extienden entre la corona 101 y el techo 112. Cada álabe 121 presenta un borde de ataque
25 221 rectilíneo que es atravesado primero por una corriente forzada de agua, cuando la rueda pertenece a una máquina hidráulica que funciona en el modo turbina.

La gráfica de la figura 4 muestra, en abscisas, una magnitud denominada «velocidad de rotación reducida», expresada en r/min, proporcional con relación a la velocidad de rotación de la rueda de una turbina sobre la raíz cuadrada de la altura del salto, y, en ordenadas, una magnitud denominada «par reducido», expresado en Nm y proporcional con relación al par ejercido por la rueda, sobre la altura del salto. Cada curva C1 a C6 del gráfico
30 proporciona el par reducido de la rueda en función de su velocidad de rotación reducida, para una apertura constante de un distribuidor situado aguas arriba de esta rueda. Las curvas con líneas de trazo continuo C1, C3 y C5 corresponden al funcionamiento de una turbina equipada con la rueda 100 de la técnica anterior, y las curvas con líneas de trazo interrumpido C2, C4 y C6 corresponden al funcionamiento de una turbina equipada con una rueda conforme a la invención.

Las pequeñas velocidades de rotación reducidas de la turbina, en la parte izquierda del gráfico, corresponden a grandes alturas de salto, mientras que las grandes velocidades de rotación reducidas de la turbina, en la parte derecha del gráfico, corresponden a alturas de salto pequeñas. Los puntos P1 a P6 están situados respectivamente en la intersección entre las curvas C1 a C6 y una línea recta horizontal corresponden a un par reducido nulo. Los
40 puntos P1 a P6 proporcionan por consiguiente una velocidad de rotación reducida de la rueda que permite conectar el alternador a la red eléctrica. Es conocido que, en un gráfico de este tipo, los puntos de funcionamiento para los cuales la pendiente de la curva es negativa corresponden a un funcionamiento estable de la turbina, dicho de otro modo a una velocidad de rotación de la rueda estable. A la inversa, los puntos de funcionamiento para los cuales la pendiente de la curva es positiva corresponden a una velocidad de rotación de la rueda inestable, lo cual no permite
45 conectar el alternador a la red. De forma clásica, se busca poder hacer funcionar la turbina para alturas de salto lo más bajas posible, manteniendo una pendiente negativa.

Para la rueda 100 de la técnica anterior, se observa que para el punto P1, que corresponde a una primera apertura del distribuidor para una altura de salto relativamente importante, la pendiente de la curva C1 es negativa y la velocidad de rotación es estable. Respecto al punto P3, que corresponde a una altura de salto más pequeña para una segunda apertura del distribuidor, la curva C3 es poco más o menos vertical lo cual significa que la velocidad de rotación de la rueda 100 de la técnica anterior es poco estable. Por último, la curva C5 tiene forma de S y su
50 pendiente en el punto P5 es positiva, lo cual corresponde a una velocidad de rotación inestable de la rueda 100.

En conclusión, la rueda 100 de la técnica anterior no permite, por si sola, estabilizar su velocidad de rotación para alturas de salto relativamente pequeñas.

55 Con el fin de estabilizar la velocidad de rotación de una rueda de la técnica anterior, es conocido utilizar una turbina con un dispositivo suplementario de conexión que consiste en desincronizar las directrices. Estas directrices se reparten alrededor de la rueda y son desincronizables, es decir que es posible orientarlas de distinto modo las unas

con relación a las otras para hacer variar alrededor de la rueda el caudal de la corriente con miras a obtener una curva de pendiente negativa en la representación de la figura 4. Sin embargo, desincronizar las directrices requiere, por una parte, la colocación de servomotores de maniobra de las directrices a desincronizar y, por otra parte, la colocación de un programa de control y de mando apropiados.

5 El documento US-2005/013691 describe una rueda de tipo Francis que comprende un techo y un anillo, entre los cuales se extienden álabes con un borde de ataque curvado cuya convexidad es circunferencial. Así, los bordes de ataque comprenden cada uno un punto intermediario, situado en el fondo de la forma curva del borde de ataque. Esta rueda tiene una geometría tal que el radio de un primer punto de conexión entre el borde de ataque y el techo es inferior al radio del punto intermediario. Esta geometría no permite mejorar la estabilidad de la velocidad de rotación de la rueda, en fases de conexión a la red eléctrica.

10 Son estos inconvenientes los que pretende más particularmente remediar la invención proponiendo una rueda de turbina cuya geometría específica permita estabilizar la velocidad de rotación de la rueda en fases transitorias de arranque, para alturas de salto relativamente pequeñas.

15 A este respecto, la invención tiene por objeto una rueda de tipo Francis para máquina hidráulica, destinada para ser atravesada por una corriente forzada de agua, que comprende:

- una corona con simetría de revolución alrededor de un eje de rotación de la rueda,
- un techo con simetría de revolución alrededor del eje de rotación y situado frente a la corona,
- una pluralidad de álabes curvados hacia adentro, solidarios de la corona y del techo y que presentan cada uno un borde central cerca del eje de rotación y un borde periférico, opuesto al borde central, que se extiende entre la corona y el techo y que está destinado para ser atravesado primero por la corriente cuando la máquina hidráulica funciona en modo turbina. Dicho de otro modo, cuando la máquina hidráulica funciona en modo turbina, la corriente fluye del borde periférico hacia el borde central.

20 El borde periférico de al menos un álabe es curvo con su concavidad vuelta hacia el exterior de la rueda. Una primera distancia, medida entre un punto cualquiera del borde periférico y una línea recta que pasa, por una parte, por un primer punto de conexión entre el borde periférico y la corona y, por otra parte, un segundo punto de conexión entre el borde periférico y el techo es máxima a nivel de un punto intermediario del borde periférico. El radio del punto intermediario es estrictamente inferior al radio del primer punto de conexión. El radio del punto intermediario es estrictamente inferior al radio del segundo punto de conexión.

30 Gracias a la forma en hueco del borde periférico de los álabes, que corresponde al borde de ataque cuando la máquina hidráulica funciona en modo turbina, se hace funcionar la turbina para alturas de saltos más pequeñas, manteniendo una pendiente negativa en los puntos de funcionamiento que permiten conectar el alternador con la red eléctrica. Esto permite obtener una velocidad de rotación estable y conectar rápidamente la turbina con la red eléctrica sin tener necesidad de añadir un dispositivo suplementario de conexión, en particular, para alturas de salto pequeñas.

35 Según aspectos ventajosos no obligatorios de la invención, una rueda de este tipo puede incorporar una o varias de las características siguientes, tomadas en cualquier combinación técnicamente admisible:

- El punto intermediario es el más alejado de la línea recta.
- La proyección ortogonal del punto intermediario en la línea recta está situada en una zona que se extiende a lo largo de la línea recta y que está centrada en el centro de la línea recta. La altura de la zona es inferior al 80% de una altura de cada álabe, medida entre el primer punto de conexión y el segundo punto de conexión, de preferencia inferior al 10%.
- El borde periférico de los álabes tiene forma de porción de círculo, de elipse, de parábola, incluso de cualquier otra curva.
- Una primera relación que presenta:
 - 40 - como denominador, una altura de un álabe medida entre el primer punto de conexión y el segundo punto de conexión,
 - 45 - como numerador, una distancia máxima entre la línea recta y el borde periférico,

está comprendida entre el 0% y el 200%, de preferencia entre el 30% y el 80%.

- El punto intermediario del borde periférico está situado a media distancia entre los puntos de conexión.
- 50 - En un primer plano, paralelo al eje de rotación y perpendicular a un segundo plano que pasa por una intersección entre el techo y una superficie media del álabe situada entre una superficie externa y una superficie interna del álabe, y que prolonga esta superficie media, la superficie externa es convexa y la superficie interna es cóncava.

- En el primer plano, la superficie externa y la superficie interna tienen forma de porción de círculo, de elipse, de parábola, incluso de cualquier otra curva.

- Una segunda relación, que presenta:

5 - como denominador, una altura del álabe, medida entre el primer punto de conexión y el segundo punto de conexión,

- como numerador, una distancia máxima, medida paralelamente al primer plano, entre la línea recta y el borde periférico,

está comprendida entre un 0% y un 200%, de preferencia comprendida entre un 10% y un 40%.

10 -En el primer plano, el punto intermedio del borde periférico está situado a media distancia entre los puntos de conexión.

- En el primer plano, el borde periférico es curvo, con su concavidad vuelta en el mismo sentido que el sentido de rotación en modo turbina de la rueda.

- Una segunda distancia, medida paralelamente al primer plano, entre un punto cualquiera del borde periférico y la línea recta, es máxima en el punto intermedio.

15 La invención tiene igualmente por objeto una máquina hidráulica equipada con dicha rueda.

Ventajosamente, cuando la máquina funciona en modo turbina, la corriente golpea primero la superficie externa de los álabes.

Por último, la invención se refiere a una instalación de conversión de energía que comprende dicha máquina hidráulica.

20 La invención se comprenderá mejor y otras ventajas de ésta se desprenderán también a la luz de la descripción que sigue de una rueda que equipa una máquina hidráulica que pertenece a una instalación de conversión de energía, dada solamente a título de ejemplo y realizada con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- la figura 1 es una vista en perspectiva de una rueda de máquina hidráulica de la técnica anterior;

- la figura 2 es una vista análoga a la figura 1 de una rueda de máquina hidráulica conforme a la invención;

25 - la figura 3 es una sección de principio de una instalación de conversión de energía equipada con una máquina hidráulica que comprende la rueda de la figura 2;

- la figura 4 es un gráfico que muestra seis curvas, de las cuales tres con líneas de trazo continuo muestran la velocidad de rotación de la rueda de la figura 1 en función de su par, y tres con líneas de trazo discontinuo muestran la velocidad de rotación de la rueda de la figura 2 en función de su par;

30 - la figura 5 es una vista parcial en perspectiva, bajo otro ángulo y a mayor escala, del detalle V en la figura 2;

- la figura 6 es una vista de un álabe perteneciente a la rueda de la figura 2, según la flecha F6 en la figura 5;

- la figura 7 es una vista, a mayor escala, del álabe de la figura 6, según la flecha F7 en la figura 5;

- la figura 8 es una vista en perspectiva de la rueda de la figura 2;

35 - la figura 9 es una sección, en vista por encima, de la rueda de la figura 2, según el plano P8 en la figura 7, no estando el techo de la rueda representado; y

- la figura 10 es una sección, en vista por debajo, de la rueda de la figura 2, según el plano P8 en la figura 7, no estando representado el anillo de la rueda.

40 La instalación 1 representada en la figura 3 comprende una máquina hidráulica reversible M, que es una turbina-bomba de tipo Francis, cuya rueda R es alimentada con agua a partir de un depósito 3 en el cual desemboca una conducción forzada 4 cuando la máquina M funciona en modo turbina. En funcionamiento, la rueda 200 gira alrededor de un eje de rotación Z vertical. Cuando la máquina M funciona en modo turbina, la rueda 200 gira en un sentido de rotación R1, alrededor del eje Z, que corresponde al sentido horario cuando la rueda R es vista por encima. Para producir electricidad en el modo turbina, la máquina M se conecta con un alternador 5 por un árbol 50 que gira alrededor del eje Z. Entre el depósito 3 y la rueda R se disponen directrices anteriores 6 estáticas y directrices 7 orientables, cuya función es guiar una corriente de agua E, procedente de la conducción 4 y destinada a

45

atravesar la rueda R, en dirección a un conducto de evacuación 8. Las directrices 7 aseguran igualmente la función de un distribuidor pues las mismas permiten regular el caudal de la corriente E.

5 La figura 2 ilustra la rueda R conforme a la invención, que comprende una corona 1 y un techo 12 situado frente a la corona 1. La corona 1 y el techo 12 se encuentran en simetría de revolución alrededor del eje Z. La corona 1 y el techo 12 presentan respectivamente un borde periférico externo 10 y 20 centrado sobre el eje Z. Las superficies de la corona 1 y del techo 12 presentan formas alabeadas, producidas por la rotación alrededor y a distancia del eje Z, de un segmento de curva.

10 La rueda R comprende, además, nueve álabes 21 solidarios de la corona 1 y del techo 12 y que se extienden entre la corona 1 y el techo 12 alrededor del eje Z. En la figura 2, las zonas de conexión entre los álabes 21, por una parte, y el techo 2, por otra parte, están representadas con líneas de trazo interrumpido.

Un objeto es aquí calificado de «central» cuando se encuentra en la proximidad del eje Z, por oposición al adjetivo «periférico» que designa un objeto que está alejado del eje Z.

15 Cada álabe 21 presenta una forma curva entre un extremo periférico 22 del álabe 21 y un extremo central 23 del álabe 21. Esta forma curvada hacia adentro constituye una curvatura principal del álabe 21 generalmente en forma de porción de espiral. Cada álabe 21 presenta un borde periférico 212, situado en la periferia de la corona 1 y un borde central 211, vuelto hacia el eje Z. Cada álabe 21 está delimitado por una superficie externa 213, por fuera de la curvatura principal del álabe 21, y por una superficie interna 214, por el interior de la curvatura principal del álabe 21. Las superficies 213 y 214 se juntan a nivel del borde central 211 y del borde periférico 212.

20 Cuando la máquina M funciona en modo turbina, la corriente E golpea primero la superficie externa 213 de los álabes 21. Como se puede apreciar en las figuras 9 y 10, en un plano de sección perpendicular al eje de rotación Z, la superficie externa 213 de cada álabe 21 es convexa y la superficie interna 214 es cóncava.

25 Cuando la máquina hidráulica M funciona en modo turbina, el borde periférico 212 de cada álabe 21 forma un borde de ataque y el borde central 211 forma un borde de fuga. El borde de ataque está destinado para ser atravesado primero por la corriente E cuando la máquina hidráulica M funciona en modo turbina. Dicho de otro modo, en el modo turbina, el fluido fluye del borde periférico al borde central. La descripción dada a continuación para el modo turbina retoma estas expresiones «borde de ataque» y «borde de fuga»; la misma puede transponerse en el caso en que la rueda funcione en modo bomba invirtiendo estas expresiones.

30 Se indica con A el punto de conexión de la corona 1 con el borde de ataque 212 de cada álabe 21. Se indica con B el punto de conexión de la corona 1 con el borde de fuga 211 de cada álabe 21. De forma análoga, se indica con C el punto de conexión del techo 12 con el borde de ataque 212 de cada álabe 21 y se indica con D el punto de conexión del techo 12 con el borde de fuga 211 de cada álabe 21.

Se indica respectivamente con Ra, Rb, Rc o Rd el radio del punto A, B, C o D. Cada radio Ra, Rb, Rc y Rd es la distancia, medida radialmente, entre el eje Z y el punto A, B, C o D.

35 El radio Rd es inferior al radio Rb. Los radios Ra y Rc son iguales y son estrictamente superiores a los radios Rb y Rd. En particular, el radio Rc es estrictamente superior al radio Rb, lo cual permite a la máquina M poder funcionar en modo bomba, con rendimientos satisfactorios. Cuando la máquina M funciona en modo turbina, la presión de la corriente E, a nivel del punto C, es más importante que a nivel del punto B.

Las figuras 5 a 7 muestran más en detalle el extremo periférico 22 de uno de los álabes 21, entendiéndose que los otros álabes 21 son similares.

40 Se indica con S una superficie media de cada álabe 21 que pasa entre las superficies externa 213 e interna 214 del álabe 21, a igual distancia de estas superficies. A nivel del extremo periférico 22 del álabe 21, la superficie media S coincide con el borde de ataque 212. La superficie S se representa en la figura 5, por su traza a nivel del techo 12.

45 Se indica con L, una línea recta que pasa por los puntos A y C del borde de ataque 212. La línea recta L es paralela al eje de rotación z de la rueda R. Se indica con Pa, un plano que pasa por la línea recta L y que está situado en la prolongación de la superficie media S a nivel de su intersección con el techo 12. El plano Pa pasa por la semitangente a la izquierda T del extremo periférico S1 de la traza a nivel del techo 12 de la superficie media S.

La figura 6 es una vista según una flecha F6 perpendicular al plano Pa, y que hace frente a la superficie externa 213 del álabe 21.

50 El borde de ataque 212 es una curva y no presenta discontinuidad. En otras palabras, el borde de ataque 212 está canalizado en dirección al borde de fuga 211, y su forma no presenta discontinuidades. Así, la concavidad del borde de ataque 212 está vuelta hacia el exterior del álabe 21 y de la rueda R, en particular en el plano Pa o en un plano paralelo a las superficies 213 o 214, en la proximidad del borde de ataque 212.

En el plano Pa, la forma curva, en hueco, del borde de ataque 212 está definida por una porción de círculo, como se desprende de la figura 6. Se indica con C21 el centro del borde de ataque 212 en el plano Pa y con R21, su radio.

5 El borde de ataque 212 es simétrico con relación a un plano P8 perpendicular a la línea recta L que pasa por un punto intermediario N del borde de ataque 212. El punto N es el punto del borde de ataque 212 más alejado de la línea recta L.

Se indica con D21, una distancia entre el punto N y la línea recta L y se indica con H, una altura del borde de ataque 212, medida entre los puntos A y C, a lo largo de la línea recta L. La distancia D21 es la distancia máxima entre el borde de ataque 212 y la línea recta L.

10 En el ejemplo representado, la distancia D21 se mide perpendicularmente a la línea recta L. O sea d1, la distancia entre la línea recta L y un punto cualquiera P del borde de ataque 212, medida perpendicularmente a la línea recta L. O sea G, la proyección ortogonal del punto P sobre la línea recta L. La distancia d1 se mide entre los puntos P y G. La distancia d1 es la proyección del vector \overrightarrow{PG} en el plano Pb. La distancia d1 es nula en el punto A y aumenta entre los puntos A y N. En el punto N, la distancia d1 es máxima y es igual a la distancia D21. Entre los puntos N y C, la distancia d1 disminuye. En el punto C, la distancia d1 es nula.

15 Así, a lo largo del borde de ataque 212 y entre los puntos A y C, la distancia d1, expresada como función de una distancia L1 entre el punto A y el punto G, comprende un solo máximo y no comprende punto de inflexión.

La derivada de la distancia d1 con relación a la distancia L1 es positiva entre los puntos A y N, se anula en el punto N y es negativa entre los puntos N y C. La derivada segunda de la distancia d1 con relación a la distancia L1 es negativa entre los puntos A y C.

20 Una relación que tiene, como numerador, la distancia D21 y, como denominador, la altura H, está comprendida entre un 0% y un 200%, de preferencia comprendida entre un 30% y un 80%.

Se indica por F, un punto de intersección entre la línea recta L y el plano P8. La distancia entre el punto A y el punto F es igual a la distancia entre el punto F y el punto C. Dicho de otro modo, el plano P8 está situado a media distancia entre los puntos A y C, a lo largo de la línea recta L.

25 Se indica por Rn, el radio del punto N, es decir la distancia, medida radialmente, entre el eje Z y el punto N. La distancia Rn es estrictamente inferior a la distancia Ra y a la distancia Rc.

La figura 7 es una vista del extremo externo 22 del álabe 21 de la figura 5, según una flecha F7, contenida en el plano Pa, y perpendicular a la línea recta L. La figura 7 es por consiguiente una vista en un plano Pb perpendicular al plano Pa.

30 Como se puede apreciar en la figura 7, el velo del álabe 21 está curvado hacia el exterior de la rueda R. En otras palabras, en el plano Pb, la superficie externa 213 es convexa y la superficie interna 214 es cóncava. Esta curvatura secundaria de los álabes 21 es continua y no presenta interrupciones.

35 Más precisamente, en el plano Pb, la superficie externa 213, la superficie interna 214 y la superficie media S, que coincide con el borde de ataque 212, están cada una definidas por una porción de círculo. Se indica con C212 el centro del círculo que define la forma del borde de ataque 212 y R212 su radio. De igual modo, se indica con C213 y C214 el centro de los círculos que definen la forma de la superficie externa 213 y de la superficie interna 214, y R213 y R214 su radio respectivo.

Habida cuenta de esta curvatura secundaria, la línea recta que pasa por los puntos F y N, a lo largo de la cual se mide la distancia D21, está inclinada con relación al plano Pa de la figura 6.

40 Se indica con D22, una distancia medida paralelamente al plano Pb entre el punto F y el punto N. La distancia D22 es la distancia máxima, en un plano paralelo al plano Pb, entre la línea recta L y el borde de ataque 212. La distancia D22 es la proyección del vector \overrightarrow{FN} en el plano Pb. De la misma forma, la distancia D21 es la proyección del vector \overrightarrow{FN} en el plano Pa.

45 Una segunda relación que tiene, como numerador la distancia D22 y, como denominador, la altura H del álabe 21, está comprendida entre un 0% y un 200%, de preferencia comprendida entre un 10% y un 40%.

Por otro lado, en el plano Pb, la superficie externa 213 y la superficie interna 214 son simétricas con relación al plano P8. Dicho de otro modo, en el plano Pb, el punto N del borde de ataque 212 está situado a media altura entre los puntos de conexión A y C.

50 En el ejemplo representado, la distancia D22 se mide perpendicularmente a la línea recta L. O sea d2, la distancia entre la línea recta L y un punto P cualquiera del borde de ataque 212 y la línea recta L, medida paralelamente al

plano P_b y perpendicularmente a la línea recta L .

La distancia d_2 es la proyección del vector PG en el plano P_b . La distancia d_2 se mide entre los puntos P y G , paralelamente al plano P_b .

5 La distancia d_2 es nula en el punto A y aumenta entre los puntos A y N . En el punto N , la distancia d_2 es máxima y es igual a la distancia D_{22} . Entre los puntos N y C , la distancia d_2 disminuye. En el punto C , la distancia d_2 es nula. Así, a lo largo del borde de ataque 212 y entre los puntos A y C , la distancia d_2 , expresada como función de la distancia L_1 , comprende un solo máximo y no comprende punto de inflexión. La derivada de la distancia d_2 con relación a la distancia L_1 es positiva entre los puntos A y N , se anula en el punto N y es negativa entre los puntos N y C . La derivada segunda de la distancia d_2 con relación a la distancia L_1 es negativa entre los puntos A y C .

10 La concavidad de la curvatura secundaria de los álabes 21 está vuelta en el sentido de la rotación R_1 de la rueda R , cuando la máquina M funciona en modo turbina. En otras palabras, en una sección perpendicular a la traza de la superficie media S sobre el techo 12, y en la vista de la figura 7, la superficie externa 213 de los álabes 21 es convexa y está vuelta en la parte opuesta al sentido de rotación R_1 , y la superficie interna 214 es cóncava y está vuelta en el mismo sentido que el sentido de rotación R_1 .

15 Se indica con R_p , θ_p y Z_p las coordenadas cilíndricas de un punto P cualquiera de cada borde de ataque 212.

R_p es el radio del punto P . O sea P_z , la proyección ortogonal del punto P sobre el eje Z . El radio R_p se mide entre los puntos P_z y P , según una dirección radial. En el punto A , el radio R_p es igual al radio R_a . El radio R_p disminuye entre los puntos A y N . En el punto N , el radio R_p es mínimo y es igual al radio R_n . El radio R_p aumenta entre los puntos N y C . En el punto C , el radio R_p es igual al radio R_c .

20 Z_p es la altura del punto P . Se indica con A_z , la proyección ortogonal del punto A sobre el eje Z . La altura Z_p del punto P es la distancia entre el punto A_z y el punto Z_p .

25 Se indica con C_z , la proyección ortogonal del punto C sobre el eje Z . A lo largo del borde de ataque 212 y entre los puntos A y C , el radio R_p , expresado como función de la altura Z_p , comprende un solo mínimo y no comprende punto de inflexión. La derivada del radio R_p con relación a la altura Z_p es positiva entre los puntos A y N , se anula en el punto N y es negativa entre los puntos N y C . La derivada segunda del radio R_p con relación a la distancia Z_p es positiva entre los puntos A y C .

30 θ_p es el ángulo del punto P , en coordenadas cilíndricas. El ángulo θ_p tiene un sentido positivo idéntico en el sentido de rotación R_1 de la rueda R , cuando la máquina M funciona en modo turbina. O sea D_a , es una línea recta radial que pasa por el punto A y el eje Z . Para cada álabe 21, se considera una línea recta radial D_0 , que pasa por el eje Z , tal como un ángulo θ_0 positivo, medido a partir de la línea recta D_0 y hasta la línea recta D_a , es igual a 45° .

En el sistema de coordenadas cilíndricas, el ángulo θ_p del punto P se define a partir de la línea recta D_0 y hasta una línea recta D_p que pasa por los puntos P_z y P .

35 Como se puede apreciar en la figura 9, el ángulo θ_p es máximo en el punto A y es igual a un ángulo θ_a . El ángulo θ_p disminuye entre los puntos A y N . En el punto N , el ángulo θ_p es mínimo y es igual a un ángulo θ_n . Como se puede apreciar en la figura 10, entre los puntos N y C , el ángulo θ_p aumenta. En el punto C , el ángulo θ_p es máximo y es igual a un ángulo θ_c .

Así, a lo largo del borde de ataque 212 y entre los puntos A y C , el ángulo θ_p , expresado como función de la altura Z_p , comprende un solo mínimo y no comprende punto de inflexión.

40 La derivada del ángulo θ_p con relación a la altura Z_p es negativa entre los puntos A y N , se anula en el punto N y es positiva entre los puntos N y C . La derivada segunda del ángulo θ_p con relación a la altura Z_p es positiva entre los puntos A y C .

45 En las fases transitorias del funcionamiento de la instalación I , por ejemplo en el arranque de la instalación I , el alternador 5 no está conectado a la red eléctrica pues la velocidad de rotación de la rueda R no es estable y no permite al alternador 5 proporcionar una señal eléctrica cuya frecuencia sea igual a la frecuencia de la red eléctrica. Por ejemplo, en Europa, la frecuencia de la red eléctrica es igual a 50 Hz. Gracias a la forma en canal del borde de ataque 212 de los álabes 21, la corriente E provoca pocas, incluso ninguna turbulencia e inestabilidades, lo cual permite a la velocidad de giro de la rueda R estabilizarse con miras al conexionado del alternador 5 a la red.

50 La estabilidad de la velocidad de rotación de la rueda R de la invención puede ser observada en el gráfico de la figura 4. Para una altura de salto relativamente importante, la pendiente de la curva C_1 en el punto P_1 es negativa, como la de la curva C_2 en el punto P_2 , lo que significa que para la misma altura de salto, el funcionamiento es estable a la vez para la rueda 100 de la técnica anterior y para la rueda R de la invención. A nivel del punto P_4 , la pendiente de la curva C_4 es negativa, mientras que la curva C_3 , en el punto P_3 , es vertical, lo que significa que la

velocidad de rotación de la rueda de la invención es más estable que la de la técnica anterior. Por último, la curva C6 tiene una pendiente ligeramente negativa en el punto P6, mientras que la pendiente de la curva C5, en el punto P5, es positiva, lo cual significa que la velocidad de rotación de la rueda R de la invención es más estable que la de la rueda 100 de la técnica anterior, para una altura de salto relativamente pequeña.

5 La forma abombada hacia el exterior del velo de los álabes 21 permite acentuar la concavidad de los bordes de ataque 212 y obtener una distancia D21 relativamente importante, sin tener necesidad de ahuecar el borde de ataque 212 de forma demasiado pronunciada, a lo largo de la superficie medias, en dirección al borde de fuga 211. Esto permite a la máquina hidráulica M, cuando funciona en modo bomba, no perder demasiada eficacia.

10 Ningún dispositivo suplementario es necesario para asegurar una velocidad de rotación satisfactoria, permitiendo la forma de los álabes 21 por si sola la conexión del alternador 5 a la red.

En variante, la línea recta L no es paralela al eje de rotación Z de la rueda R. Por ejemplo, el punto C puede decalarse hacia el borde de fuga 211 con relación al punto A.

En variante, la forma cóncava de los bordes de ataque 212 está definida por una porción de elipse o de parábola, incluso por una curva cualquiera.

15 En otra variante, la forma curvada hacia el exterior del borde de ataque 212, de la superficie externa 213 y de la superficie interna 214 de un álabe 21 está definida por una porción de elipse o de parábola, incluso por una curva cualquiera.

En variante, solo algunos álabes 21 tienen su borde de ataque cóncavo.

20 En variante, el punto N no está exactamente a media altura entre los puntos A y C. La proyección ortogonal del punto intermediario N sobre la línea recta L está entonces situada en una zona que se extiende, a lo largo de la línea recta L, a partir del medio F de la línea recta L y a uno y otro lado del medio F centrándose sobre el medio. La altura H2 de la zona es inferior al 80% de la altura H del álabe 21, de preferencia inferior al 10%.

Además, las diferentes variantes y modos de realización descritos anteriormente pueden combinarse entre sí, total o parcialmente, para dar lugar a otras realizaciones de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Rueda (R) de tipo Francis para máquina hidráulica (M), destinada para ser atravesada por una corriente forzada de agua (E), que comprende:

- 5 - una corona (1) con simetría de revolución alrededor de un eje de rotación (Z) de la rueda (R),
- un techo (12) con simetría de revolución alrededor del eje de rotación (Z) y situado frente a la corona (1),
- una pluralidad de álabes (21) curvados hacia adentro, solidarios de la corona (1) y del techo (12) y que presentan cada uno un borde central (211) cerca del eje de rotación (Z) y un borde periférico (212), opuesto al borde central (211), que se extiende entre la corona (1) y el techo (12) y que está destinado para ser atravesado primero por la corriente (E) cuando la máquina hidráulica (M) funciona en modo turbina,
- 10 - siendo el borde periférico (212) de al menos un álabe (21) curvo con su concavidad vuelta hacia el exterior de la rueda (R), una primera distancia (d1), medida entre un punto (P) cualquiera del borde periférico (212) y una línea recta (L) que pasa, por una parte, por un primer punto de conexión (A) entre el borde periférico (212) y la corona (1) y, por otra parte, un segundo punto de conexión (C) entre el borde periférico (212) y el techo (12) que es máxima a nivel de un punto intermediario (N) del borde periférico (212), siendo el radio (Rn) del punto intermediario (N) estrictamente inferior al radio (Ra) del primer punto de conexión (A),
- 15 **caracterizándose** la rueda (R) **por que** el radio (Rn) del punto intermediario (N) es estrictamente inferior al radio (Rc) del segundo punto de conexión (C).

2. Rueda (200) según la reivindicación 1, **caracterizada por que** el punto intermediario (N) es el más alejado de la línea recta (L).

20 **3.** Rueda (200) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** la proyección ortogonal del punto intermediario (N) sobre la línea recta (L) está situada en una zona que se extiende a lo largo de la línea recta (L) y que está centrada en el medio (F) de la línea recta (L) y por que la altura (H2) de la zona es inferior al 80% de una altura (H) de cada álabe (21), medida entre el primer punto de conexión (A) y el segundo punto de conexión (C), de preferencia inferior al 10%.

25 **4.** Rueda (R) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** el borde periférico (212) de los álabes (21) tiene forma de porción de círculo, de elipse, de parábola, incluso de cualquier otra curva.

5. Rueda (R) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** una primera relación que presenta:

- 30 - como denominador, una altura (H) de un álabe (21), medida entre el primer punto de conexión (A) y el segundo punto de conexión (C),
- como numerador, una distancia máxima (D21) entre la línea recta (L) y el borde periférico (212),

está comprendida entre un 0% y un 200%, de preferencia entre un 30% y un 80%.

6. Rueda (R) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que** el punto intermediario (N) del borde periférico (212) está situado a media distancia entre los puntos de conexión (A, C).

35 **7.** Rueda (R) según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada por que**, en un primer plano (Pb), paralelo al eje de rotación y perpendicular a un segundo plano (Pa) que pasa por una intersección entre el techo (12) y una superficie media (S) del álabe (21) situada entre una superficie externa (213) y una superficie interna (214) del álabe (21), y que prolonga esta superficie media, la superficie externa (213) es convexa y la superficie interna (214) es cóncava.

40 **8.** Rueda (R) según la reivindicación 7, **caracterizada por que**, en el primer plano (Pb), la forma de la superficie externa (213) y de la superficie interna (214) está definida por una porción de círculo, de elipse, de parábola, incluso de cualquier otra curva.

9. Rueda según una de las reivindicaciones 7 y 8, **caracterizada por que** una segunda relación, que presenta:

- 45 - como denominador, una altura (H) del álabe (21), medida entre el primer punto de conexión (A) y el segundo punto de conexión (C),
- como numerador, una distancia (D22) máxima, medida paralelamente al primer plano (Pb), entre la línea recta (L) y el borde periférico (212),

está comprendida entre un 0% y un 200%, de preferencia comprendido entre un 10% y un 40%.

10. Rueda (R) según una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizada por que**, en el primer plano (Pb), el punto

intermediario (N) del borde periférico (212) está situado a media distancia entre los puntos de conexión (A, C).

11. Rueda (R) según una de las reivindicaciones 7 a 10, **caracterizada por que**, en el primer plano (Pb), el borde periférico (212) es curvo, con su concavidad vuelta en el mismo sentido que el sentido de rotación (R1) en modo turbina de la rueda (200).

5 **12.** Rueda (R) según una de las reivindicaciones 7 a 11, **caracterizada por que** una segunda distancia (d2), medida paralelamente al primer plano (Pb), entre un punto (P) cualquiera del borde periférico (212) y la línea recta (L), es máxima en el punto intermediario (N).

13. Máquina hidráulica (M), **caracterizada por que** está equipada con una rueda (R) según una de las reivindicaciones anteriores.

10 **14.** Máquina hidráulica (M) según la reivindicación 13, equipada con una rueda (R) según la reivindicación 7, **caracterizada por que** cuando funciona en modo turbina, la corriente (E) golpea primero la superficie externa (213) de los álabes (21).

15. Instalación (I) de conversión de energía, **caracterizada por que** comprende al menos una máquina hidráulica (M) según una de las reivindicaciones 13 y 14.

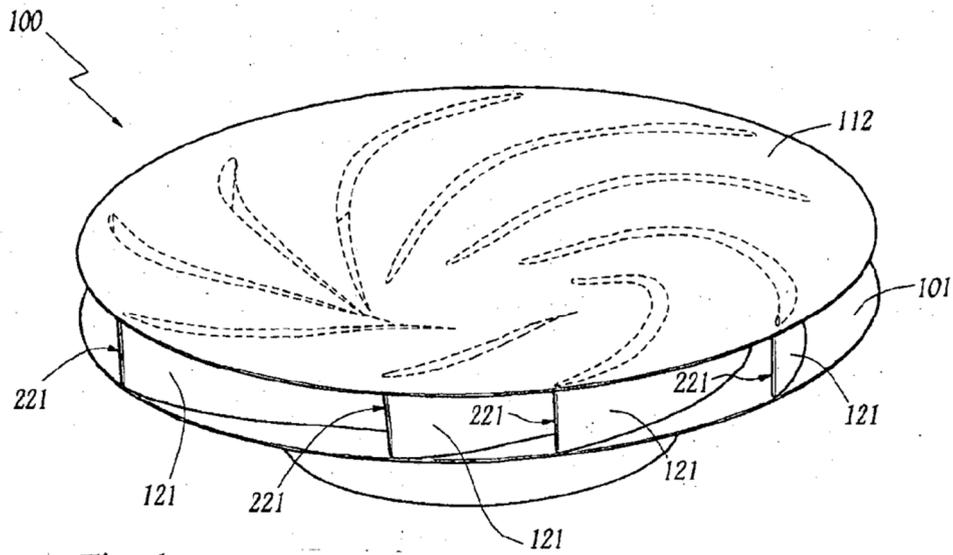


Fig. 1 - Técnica Anterior

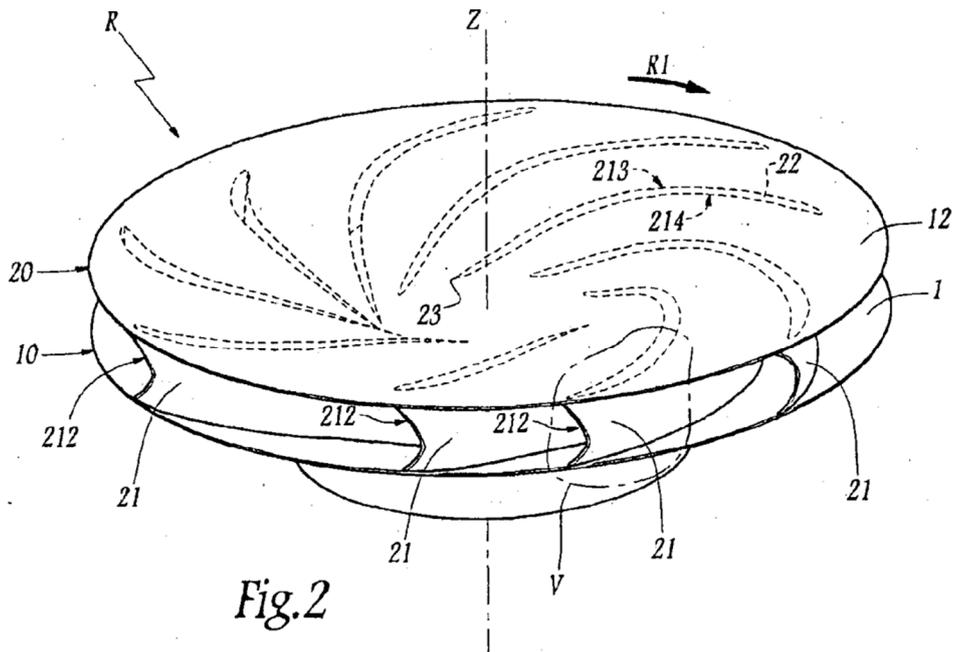


Fig. 2

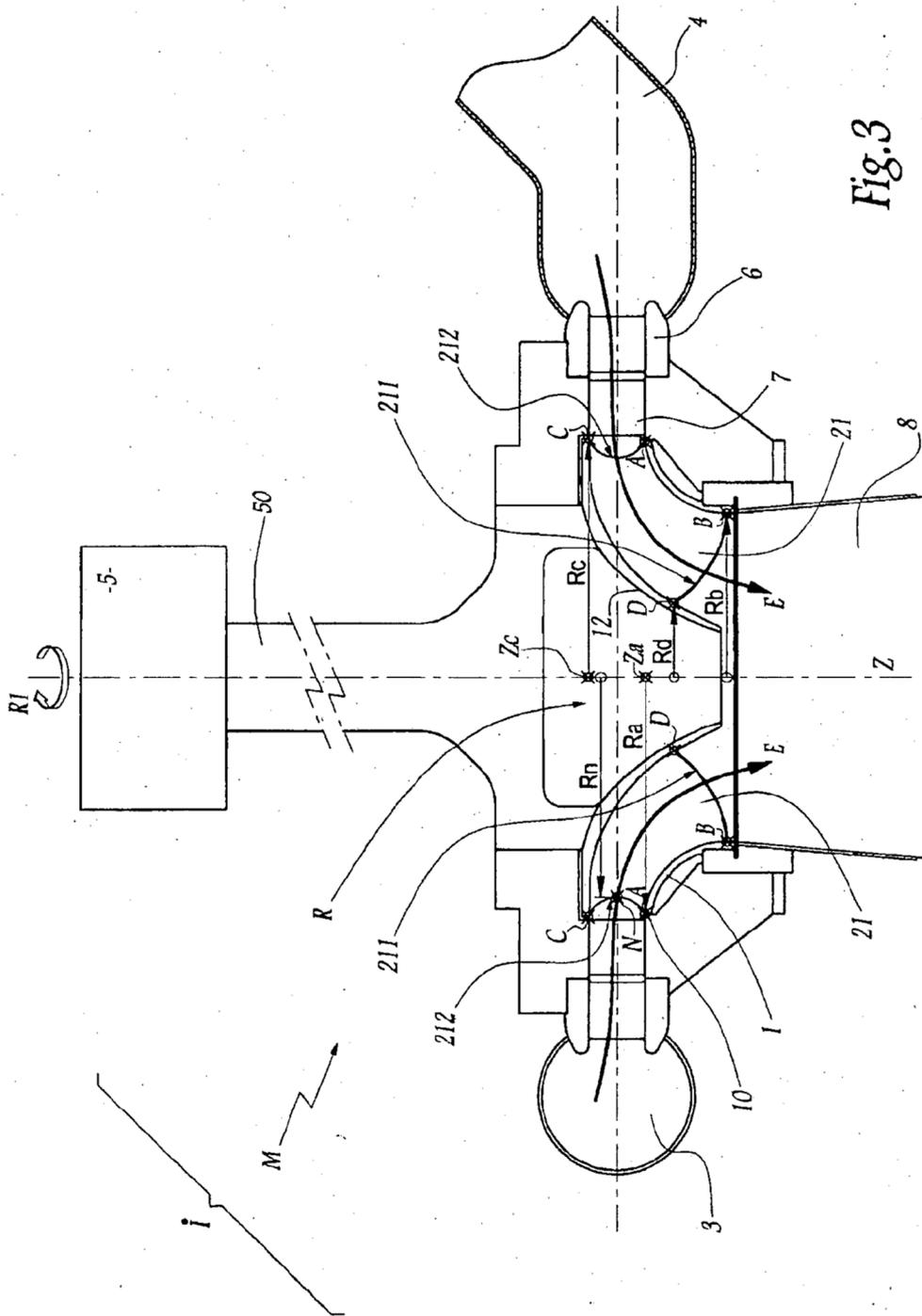


Fig. 3

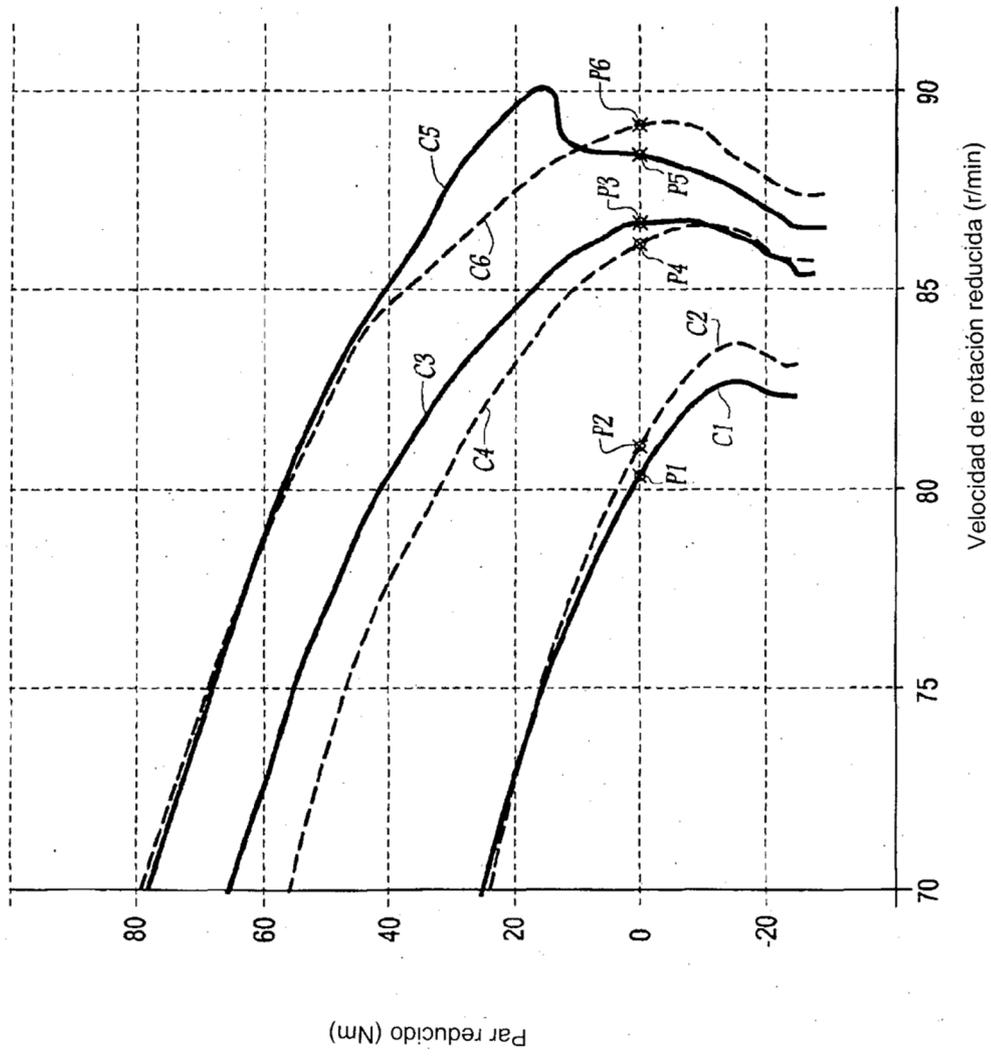


Fig.4

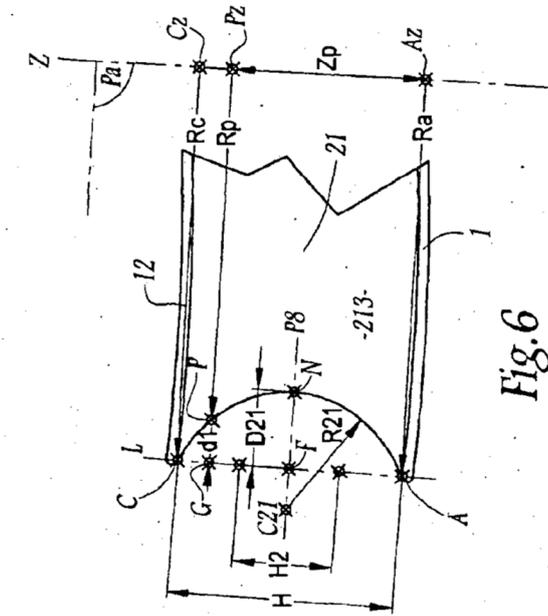


Fig. 6

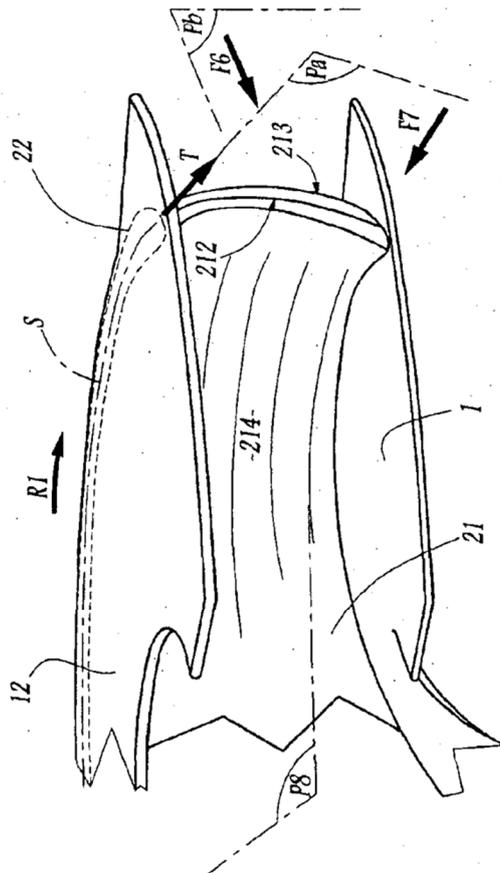


Fig. 5

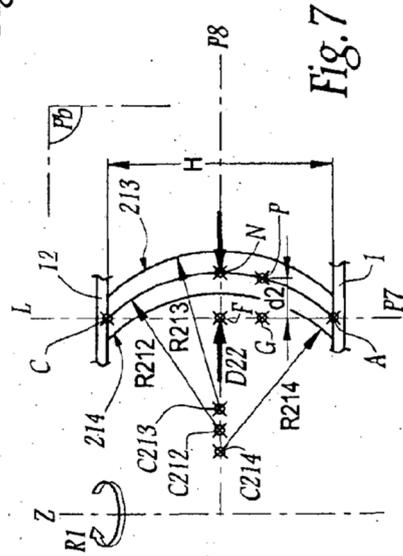
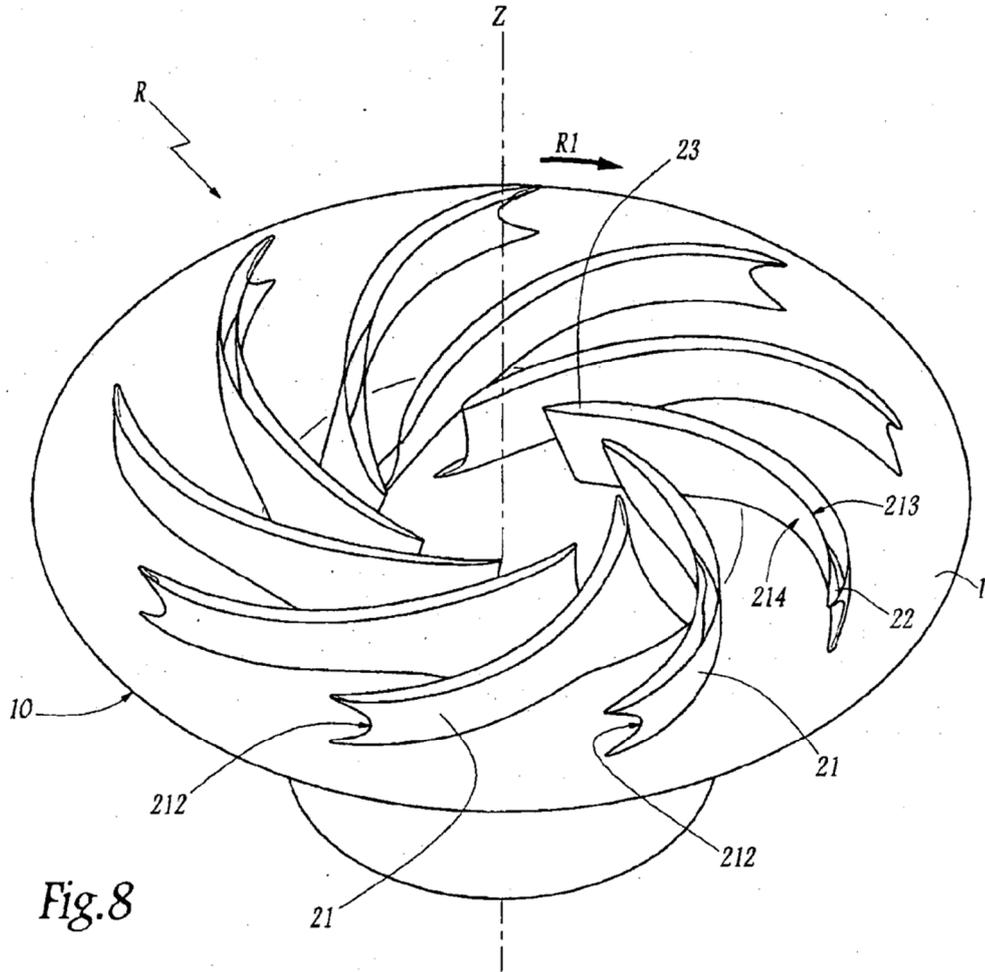


Fig. 7



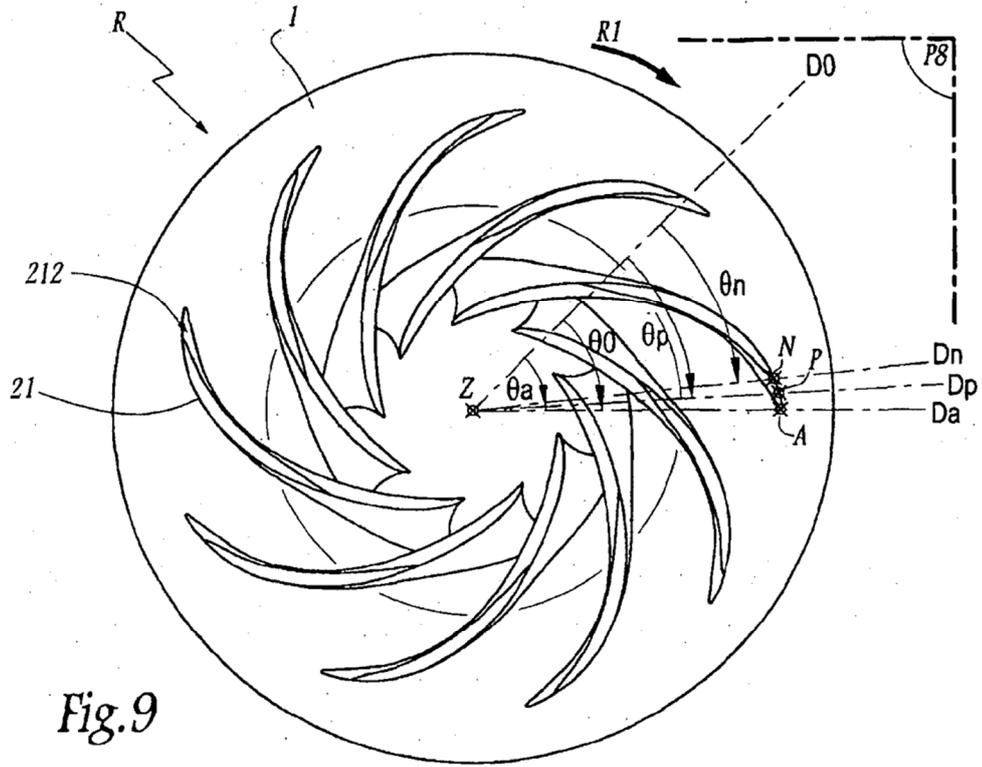


Fig. 9

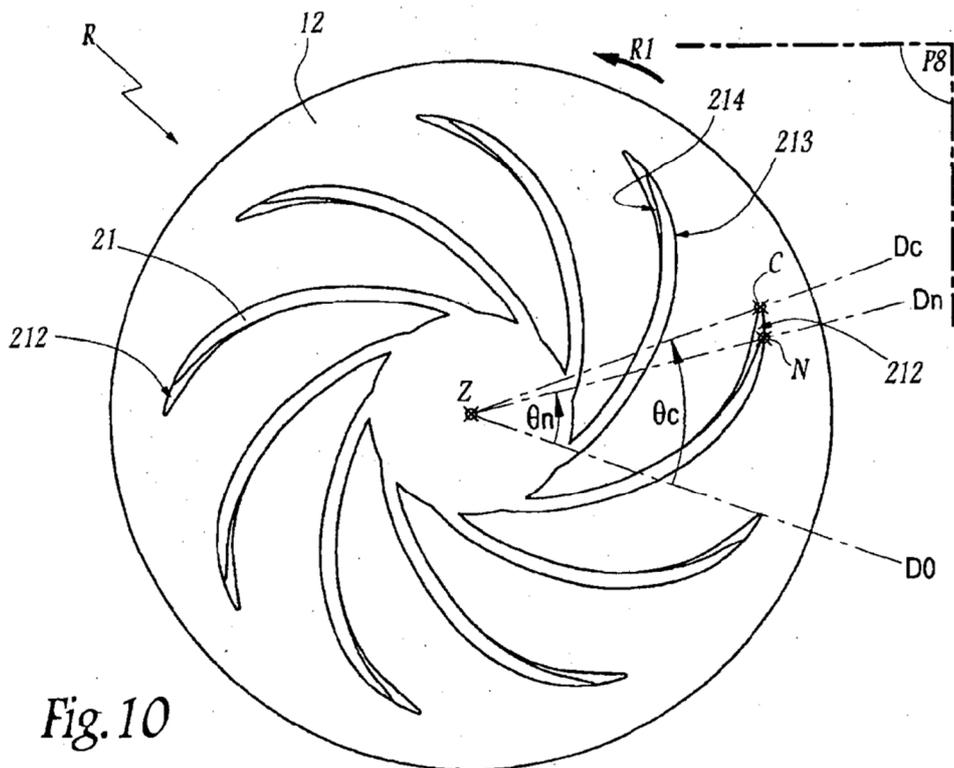


Fig. 10