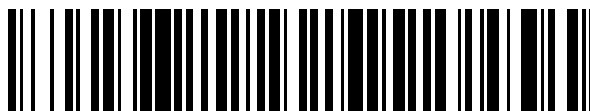


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 000**

51 Int. Cl.:

F03B 3/06 (2006.01)

F03B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.10.2016 PCT/IB2016/056175**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.04.2017 WO17064666**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2016 E 16820323 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.08.2019 EP 3362675**

54 Título: **Procedimiento para evaluar automáticamente en línea la eficiencia de una turbina Kaplan**

30 Prioridad:

16.10.2015 IT UB20155292

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

30.03.2020

73 Titular/es:

ENEL PRODUZIONE S.P.A. (100.0%)

Viale Regina Margherita 125

00198 Roma, IT

72 Inventor/es:

SUFFREDINI, ROBERTO;

MASOTTI, MATTEO;

QUADRELLI, ALESSANDRO y

SELLO, STEFANO

74 Agente/Representante:

DURAN-CORRETJER, S.L.P

ES 2 751 000 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

Procedimiento para evaluar automáticamente en línea la eficiencia de una turbina Kaplan

5 Sector de la invención

La presente solicitud describe un procedimiento y un sistema para evaluar automáticamente la eficiencia de una turbina hidráulica del tipo Kaplan, para ser llevados a cabo en línea, durante el funcionamiento normal de la turbina, con el fin de optimizar el rendimiento de la misma en todas las condiciones de funcionamiento.

10

Estado de la técnica anterior

Las turbinas Kaplan son utilizadas en numerosas centrales hidroeléctricas y se diferencian de otros tipos de turbinas de hélice hidráulicas en que tienen álabes, cuya orientación puede cambiar según varía el caudal de agua, de modo que siempre se mantiene el rendimiento de la planta al máximo. Constructivamente, este tipo de turbina comprende un conducto en forma de voluta que conduce el agua de entrada para alimentar un distribuidor; un distribuidor de este tipo aplica una rotación al flujo de agua con respecto a un impulsor equipado con álabes que es impactado, en consecuencia, por el agua y puesto en movimiento.

15

20

La turbina Kaplan está equipada, en general, con un doble ajuste, es decir, es capaz de ajustar, independientemente uno del otro, tanto el ángulo φ de los álabes del impulsor, tal como se ha indicado anteriormente, como también el ángulo de apertura α del distribuidor, para adaptarlos al caudal instantáneo del agua de modo que se obtenga el máximo rendimiento de la planta en todo momento.

25

Durante el funcionamiento normal de una central hidroeléctrica con una turbina Kaplan, el accionamiento de la turbina tiene lugar mediante ángulo de apertura α del distribuidor, mientras que un regulador de turbina se encarga del posicionamiento del ángulo de apertura φ de los álabes del impulsor, de acuerdo con una relación fija que se define como "curva de conjugación" o CAM. Dicha curva puede ser independiente del salto de funcionamiento hidráulico de la turbina, estando definido en este caso como CAM bidimensional o CAM 2D, o puede estar vinculado al valor medido del salto hidráulico, en cuyo caso se define como CAM tridimensional o CAM 3D. En otras palabras, en el primer caso, para un cierto ángulo de apertura del distribuidor, la posición de los álabes del impulsor solo dependerá del ángulo de apertura del distribuidor, mientras que en el segundo caso dependerá también del salto hidráulico y, por tanto, se ajusta mejor a la situación de funcionamiento real.

30

35

Para una turbina Kaplan dada, las relaciones entre la apertura de su distribuidor, la orientación de los álabes y el salto hidráulico se deben establecer gracias a las pruebas llevadas a cabo en la planta en la que la turbina está instalada, con el propósito de buscar las relaciones entre estas magnitudes correspondientes a la máxima eficiencia de la turbina, que normalmente significa la máxima eficiencia del conjunto de turbina y generador. Estas son las llamadas "pruebas de índice", que pretenden determinar la tendencia de las curvas de eficiencia, y buscar el máximo, a medida que cambian la disposición geométrica de la máquina y las condiciones de funcionamiento, tal como el salto hidráulico y el caudal del flujo de agua.

40

45

En una situación ideal, el fabricante de la turbina Kaplan debería suministrar la curva 3D inicial, obtenida durante las simulaciones, que debería ser optimizada, posteriormente, con pruebas de índice llevadas a cabo en las condiciones reales de funcionamiento; en realidad, en una cantidad sustancial de centrales hidroeléctricas que funcionan actualmente y que están equipadas con turbinas Kaplan, la curva de conjugación CAM es del tipo 2D, independiente del salto hidráulico y de origen incierto y, además, no se realizan pruebas de índice durante el funcionamiento, de modo que no se conoce si la máquina está trabajando en condiciones de eficiencia óptima. La casi totalidad de las turbinas Kaplan actualmente en funcionamiento tampoco tiene una curva de conjugación 3D, y esto puede tener fuertes repercusiones en la eficiencia de la máquina, dado que las turbinas Kaplan están instaladas en plantas con un bajo salto hidráulico, por lo que los porcentajes de variación de salto debido a las diferentes condiciones de funcionamiento hidráulico pueden ser muy altos en términos porcentuales con respecto al salto nominal, con las consiguientes variaciones sustanciales en los valores de eficiencia. Por tanto, existe la necesidad de crear dichas curvas CAM 3D en condiciones de funcionamiento por medio de pruebas de índice.

50

55

60

No obstante, la realización de las pruebas de índice con un procedimiento manual implica costes sustanciales, tanto en términos de los recursos utilizados en la realización de las pruebas como en términos de pérdida de producción debido al cierre de la planta y su falta de disponibilidad mientras se están llevando a cabo las pruebas. Se debe comentar que dicha falta de disponibilidad de la planta, o en cualquier caso, que se coloque en un modo de prueba con funcionamiento limitado, puede incluso durar mucho tiempo, en casos de plantas vinculadas a masas de agua con variaciones estacionales, en las que el tiempo de espera para obtener los datos relativos a toda la amplitud de saltos hidráulicos será muy largo. Frente a tales costes, los responsables de las plantas a menudo prefieren posponer o incluso no realizar dichas pruebas de índice fuera de línea, con la consecuencia de no ser capaces de optimizar la eficiencia de la turbina en la situación real de funcionamiento de la planta. No obstante, de este modo se pierden ganancias mucho mayores en términos de energía eléctrica perdida debido a la eficiencia no óptima de la planta. Hasta donde el solicitante conoce, hasta ahora no se han propuesto soluciones técnicas que permitan

65

realizar pruebas de índice en línea de las turbinas Kaplan; no obstante, la necesidad de tener que realizarlas durante el funcionamiento normal de las turbinas, se considera importante, por tanto, para optimizar el rendimiento de las turbinas y, más en general, la eficiencia de las plantas.

5 La Patente US 4794544 da a conocer un procedimiento y un aparato para llevar a cabo automáticamente pruebas de índice en turbinas Kaplan.

Atta K.T. et al., en "Maximum power point tracking for micro hydro power plants using extremum seeking control" 2015 IEEE Conference on Control Applications (CCA), IEEE, 1874-1879, dan a conocer la posibilidad de utilizar herramientas para la optimización en línea de la potencia máxima disponible en microplantas hidroeléctricas.

Características de la invención

15 La presente invención propone, por tanto, dar a conocer un procedimiento mejorado para determinar automáticamente la posición óptima del ángulo de apertura de un distribuidor y el ángulo de orientación de los álabes de una turbina Kaplan en una central hidroeléctrica, a cuya posición corresponde la máxima eficiencia de dicha turbina.

20 La presente invención también propone dar a conocer un procedimiento para reconstruir de manera continua un modelo numérico de índice de una turbina Kaplan en una central hidroeléctrica sobre sus condiciones de funcionamiento normales por medio de pruebas de índice en línea en un intervalo de tiempo lo suficientemente largo como para registrar todo un rango de saltos hidráulicos en funcionamiento.

25 La presente invención también propone dar a conocer un sistema para llevar a cabo los procedimientos mencionados anteriormente.

30 La presente invención es aplicable a cualquier turbina Kaplan en una central hidroeléctrica y, como se explica en más detalle a continuación, se puede realizar con un coste relativamente bajo e instrumentación equipada con seguridad intrínseca y adaptable a cualquier tipo de planta ya existente.

Un objetivo principal de la presente invención es, por tanto, dar a conocer un procedimiento que permite llevar a cabo automáticamente pruebas de índice en línea para una turbina Kaplan, sin tener que limitar de ningún modo el funcionamiento de la central hidroeléctrica en donde está la turbina.

35 Este y otros objetivos se logran mediante el sistema y el procedimiento para determinar automáticamente la posición óptima del ángulo de apertura de un distribuidor y el ángulo de orientación de los álabes de una turbina Kaplan en una central hidroeléctrica, de acuerdo con la presente invención, cuyas características esenciales están definidas por las reivindicaciones independientes que se adjuntan en este documento. Otras características importantes del procedimiento de acuerdo con la invención se definen en las reivindicaciones dependientes que también se adjuntan en el presente documento.

Breve descripción de los dibujos

45 Las características y ventajas del procedimiento para evaluar la eficiencia de una turbina Kaplan en una central hidroeléctrica, de acuerdo con la invención, serán más claras a partir de la siguiente descripción de las realizaciones de la misma, dada como un ejemplo no limitativo con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 muestra una vista, en sección, de una turbina Kaplan habitual, en una central hidroeléctrica;
- la figura 2 muestra un diagrama de flujo del procedimiento de construcción de un modelo de índice de una turbina Kaplan de acuerdo con la invención en una realización a modo de ejemplo de la misma;
- las figuras 3 y 4 muestran modelos de índice de una turbina Kaplan conseguidos mediante el procedimiento de la invención.

Descripción detallada de la invención

55 Gracias al procedimiento de la invención, para cada condición de trabajo establecida para una turbina Kaplan en una central hidroeléctrica desde el exterior a través de la potencia (P) o el caudal (Q) del flujo de agua, y para cada condición de salto hidráulico (H) presente en la planta, se identifican un par de valores de los ángulos α y φ , que son respectivamente el ángulo de apertura del distribuidor y el ángulo de apertura de los álabes del impulsor, a los que corresponde la máxima eficiencia de generación de energía eléctrica.

60 Haciendo referencia concretamente a la figura 1, se muestra la estructura de una turbina Kaplan 1, en la que se muestran: un impulsor 2 que gira alrededor de un eje 3 y está equipado con álabes 4 ajustables y termina hacia la parte inferior con un cono ojival 5, destinado a contener todos los mecanismos que permiten el ajuste de los álabes; una estructura con una voluta 6 espiral tiene el objetivo de acelerar el agua que entra en la turbina y distribuirla uniformemente en la periferia de la propia turbina desde la que el agua llega al distribuidor 7, también equipado con

álabes 8 ajustables, para dirigir el flujo de agua que entra en el impulsor con el ángulo correcto.

El procedimiento propuesto en esta invención para optimizar la eficiencia de una turbina de este tipo, determinando automáticamente la posición óptima de apertura del distribuidor α y del ángulo de orientación de los álabes φ a los que corresponde la máxima eficiencia de la turbina, comprende las siguientes etapas:

- i) monitorizar el funcionamiento de la turbina controlando la posición del ángulo de apertura del distribuidor y la posición del ángulo de orientación de los álabes de la turbina por medio de un regulador especial, de acuerdo con una curva de conjugación CAM 2D o CAM 3D de dicha turbina;
- ii) medir uno de los parámetros operativos de la turbina e identificar cuándo funciona la turbina en condiciones de estado estabilizado caracterizadas por los valores de dicho parámetro operativo dentro de un intervalo predeterminado durante un tiempo predeterminado;
- iii) al alcanzar dichas condiciones de estado estabilizado, cambiar arbitrariamente la posición del ángulo de apertura del distribuidor, manteniendo fija la posición de dicho ángulo de orientación de los álabes y medir, para cada valor del ángulo de apertura del distribuidor, los valores de los parámetros operativos de la turbina;
- iv) calcular con un procedimiento de cálculo automático optimizado los valores del índice de eficiencia para cada conjunto de valores medidos en la etapa iii) e identificar, para cada conjunto de valores de los parámetros operativos de la turbina, los valores del ángulo de apertura del distribuidor y del ángulo de apertura de los álabes a los que corresponde el valor máximo de eficiencia.

El parámetro operativo de la turbina que puede ser medido para identificar el estado estabilizado en la etapa ii) del presente procedimiento puede ser el caudal Q o la potencia P de la turbina, mientras que el conjunto de parámetros operativos de la turbina en la etapa iv) puede comprender, por ejemplo, caudal, potencia y salto hidráulico, y consiste, preferentemente, en dichos tres parámetros. Los procedimientos para medir dichas entidades pueden ser muchos y dependen de la configuración de la planta y de la instrumentación disponible; son procedimientos conocidos por todos los expertos en la materia que pueden, en cualquier circunstancia, elegir el procedimiento de medición que mejor se adapte al contexto de la planta y de la instrumentación. Una descripción detallada de estos procedimientos se puede encontrar, por ejemplo, en la normativa de referencia CEI EN 60041.

En la etapa iii) las variaciones llevadas a cabo en el ángulo de apertura del distribuidor son preferentemente tales que excluyan, en cualquier caso, los valores de índice de eficiencia resultantes que no son significativos, ya que corresponden a áreas de turbulencia e inestabilidad, así como a valores potencialmente peligrosos para la integridad de los componentes mecánicos de la turbina, ya que corresponden a áreas con fenómenos de cavitación o fuertes vibraciones. Basándose en dichas variaciones, para cada valor que toma el ángulo de apertura del distribuidor, los valores de los parámetros operativos de la turbina son medidos, a continuación, gracias a un algoritmo de muestreo que, una vez que se ha alcanzado un número predeterminado de valores muestreados, activa la posterior etapa de cálculo automático.

De acuerdo con la invención el procedimiento de cálculo automático optimizado en la etapa iv) puede ser, por ejemplo, un procedimiento de regresión polinómica de múltiples variables de segundo o tercer orden, o un procedimiento de aproximación de funciones basado en el uso de redes neuronales específicamente diseñadas, puesto en práctica gracias a un sistema informático adecuado, también objeto de esta invención.

El sistema de la invención comprende, en concreto, medios para procesar datos para calcular automáticamente los valores del índice de eficiencia por conjunto de valores de los parámetros operativos de la turbina y para identificar, para cada conjunto de estos valores, los valores del ángulo de apertura del distribuidor y del ángulo de apertura de los álabes a los que corresponde el valor máximo de eficiencia; y medios para almacenar los datos predeterminados de la turbina y de los datos medidos y calculados en el procedimiento de la invención descrito anteriormente. Más específicamente, en la etapa iv) los valores del índice de eficiencia son calculados para cada conjunto de valores medidos en la etapa iii), mediante un procedimiento de cálculo automático optimizado, se construye un modelo numérico continuo para dicha turbina Kaplan y, para cada conjunto de valores de los parámetros operativos de la turbina, se identifican los valores de dichos ángulos de apertura del distribuidor y de la orientación de los álabes a los que corresponde el valor máximo de eficiencia. La evaluación de tales valores de eficiencia anteriores a excluir se realiza basándose en una diferencia predeterminada con respecto a los valores de eficiencia operativa de la conjugación predeterminada, mientras que la exclusión de áreas operativas bajo riesgo mecánico debido a vibraciones o cavitación puede ser activada por medio de la monitorización continua de vibraciones en los cojinetes del generador.

Con el procedimiento de la invención es posible, de este modo, determinar para cada condición de trabajo de una turbina Kaplan en una central hidroeléctrica que se establece desde el exterior mediante la potencia P o el caudal Q, y para cada condición de salto hidráulico H presente en esa planta, un par de valores de los ángulos α y φ , que son respectivamente el ángulo de apertura del distribuidor y el ángulo de apertura de los álabes del impulsor, para los que se obtiene máxima eficiencia η de generación de energía eléctrica, calculada mediante la siguiente relación:

$$\eta = k \cdot P/(Q H)$$

en la que:

k es una constante que depende de la fuerza de la gravedad y de la densidad del agua, una función de la temperatura y la presión de funcionamiento,

5 P es la potencia,

Q es el caudal, y

H es el salto hidráulico de la planta en cuestión.

10 Gracias a este procedimiento también es posible construir para cada turbina en una planta dada un modelo de índice que representa una correlación completa de la turbina y de los valores óptimos de los ángulos antes mencionados identificados en un intervalo de tiempo lo suficientemente largo como para registrar toda la amplitud de saltos hidráulicos. En otras palabras, dicho modelo de índice anterior de una turbina Kaplan está basado en la realización de las pruebas de índice en línea mediante el procedimiento de la invención, en un intervalo de tiempo, por lo menos, igual o mayor que el tiempo requerido para toda la amplitud de saltos hidráulicos operativos que pueden ser
15 determinados sin ninguna dificultad por cualquier experto en la materia en este sector, de acuerdo con las condiciones de funcionamiento de la planta.

En este caso, el procedimiento descrito anteriormente lleva a cabo las pruebas de índice automáticamente acerca de las condiciones de funcionamiento predeterminadas de la turbina, que son, por ejemplo, las condiciones indicadas en la normativa que rige las pruebas de índice para turbinas Kaplan, por ejemplo, la normativa CEI EN 60041. Tal asignación también puede ser implementada posiblemente en un regulador de turbina ya presente en la planta, a efectos de posicionar automáticamente los ángulos de la turbina a los valores óptimos indicados en el modelo para cada condición de trabajo dada. El sistema para controlar el regulador basado en el presente procedimiento se separa de la turbina en el momento en el que interviene una causa externa, que se puede encontrar, por ejemplo,
20 entre las siguientes causas:

- detención, rotura o bloqueo de la turbina;
- variación de las condiciones de trabajo establecidas por un operador de la estación o por un centro de control remoto, en el caso del funcionamiento a potencia constante e instalaciones de almacenamiento;
- 30 - acción del regulador del caudal o del nivel en el caso de instalaciones de agua circulante.

En tales casos anteriores, el presente sistema desconecta inmediatamente del control de la turbina, volviendo al modo normal de control. Si la causa está vinculada a una situación de emergencia que, por ejemplo, bloquea la turbina, los procedimientos de seguridad independientes del presente sistema también garantizarán que el generador está bloqueado y sea seguro. Si, por otro lado, la causa es una variación de las condiciones de trabajo, el sistema puede volver al procedimiento de optimización en las nuevas condiciones de trabajo modificadas.
35

Con referencia a la figura 2 adjunta, en la que está representado un diagrama de flujo del presente procedimiento de construcción de un modelo de turbina continua, la asignación optimizada de la eficiencia en torno al máximo en función del ángulo de apertura del distribuidor y el ángulo de inclinación de los álabes, de los parámetros de salto hidráulico y potencia, tal como se ha indicado anteriormente, se lleva a cabo como sigue:
40

1. se inicia a partir de un valor inicial estimado del ángulo de orientación de los álabes, φ_{guess} , con H y P fijos;
2. se determina el valor del otro ángulo de apertura del distribuidor a_{guess} como una función de los valores de entrada que maximizan la eficiencia para iniciar la exploración de la superficie 3D en torno a la eficiencia máxima;
3. a partir de los valores determinados en el punto 1, se inicia el escaneo o correlación optimizados en α , en base a los valores del gradiente de eficiencia y limitando la amplitud dentro del 5 % del desplazamiento desde el valor máximo de la eficiencia detectado, violando temporalmente la limitación de mantener constante la potencia P,
4. se inicia el escaneo (correlación) optimizado en el ángulo φ para satisfacer siempre la restricción de potencia P constante, y la limitación al mínimo valor de eficiencia aceptable. El procedimiento de escaneo optimizado está basado en una lógica combinada del gradiente de eficiencia y una lógica "difusa" para no entrar en puntos de estancamiento. Los criterios de bloqueo del escaneo están basados en alcanzar un valor máximo de φ o en la falta de mejora en la eficiencia durante un número establecido de iteraciones (puntos escaneados).
50
55

Las etapas descritas anteriormente generan una serie de datos que contienen, en el orden de escaneo preferente, los datos relacionados con los ángulos y con el salto hidráulico, posteriormente, los datos relacionados con la magnitud a correlacionar, eficiencia, potencia o caudal. Dicho conjunto de datos es utilizado, a continuación, para proporcionar un modelo de índice continuo del funcionamiento real de la turbina Kaplan. Las figuras 3 y 4 muestran ejemplos de un modelo continuo obtenido con el procedimiento de la presente invención para diferentes conjuntos de parámetros. La figura 3 representa la curva de rendimiento obtenida basándose en 314 puntos de trabajo escaneados para un valor dado del salto, mientras que la figura 4 muestra la misma curva de rendimiento continuo pero que destaca tres trayectorias diferentes a potencia constante que los ángulos φ y α siguieron para alcanzar el punto de rendimiento máximo a partir de un valor inferior.
60
65

Una primera ventaja del sistema y del procedimiento según la presente invención viene dada por la posibilidad de llevar a cabo las pruebas de índice para turbinas Kaplan directamente en línea, sin tener que cerrar la planta durante tiempos que, especialmente en los casos de centrales hidroeléctricas vinculadas a masas de agua con variaciones estacionales, serían muy largos a efectos de poder tener toda la amplitud de saltos hidráulicos.

5 Otra ventaja viene dada por el hecho de que el procedimiento está completamente automatizado gracias al uso del algoritmo de muestreo y a los procedimientos de cálculo automático descritos anteriormente en detalle. Con respecto a los procedimientos conocidos para realizar las pruebas de índice para este tipo de turbina, que son manuales y que requieren el uso de numerosos recursos, el presente procedimiento es, por tanto, mucho más simple y más conveniente, además de implicar menores costes. Por otra parte, el sistema que permite llevar a cabo el presente procedimiento no prevé el uso de tecnologías costosas y, por tanto, no afecta gravemente al coste total del procedimiento de la invención, lo que tiene una ventaja económica indudable con respecto a procedimientos conocidos.

10
15 La presente invención ha sido descrita hasta ahora con referencia a una realización preferente. Se debe comprender que puede haber otras realizaciones que se obtienen a partir del mismo núcleo inventivo, tal como se define por el alcance de protección de las reivindicaciones facilitadas a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar automáticamente una posición óptima del ángulo de apertura del distribuidor (7) y del ángulo de orientación de los álabes (4) de una turbina Kaplan (1) en una central hidroeléctrica, a cuya posición corresponde la máxima eficiencia de la turbina, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:
- i) monitorizar las operaciones de dicha turbina mediante el control de la posición de dicho ángulo de apertura del distribuidor (7) y la posición de dicho ángulo de orientación de los álabes de dicha turbina por medio de un regulador especial, de acuerdo con una curva de conjugación CAM 2D o CAM 3D de dicha turbina;
 - ii) medir uno de los parámetros operativos de dicha turbina e identificar cuándo dicha turbina funciona en condiciones de estado estabilizado **caracterizado por** valores de dicho parámetro operativo que están dentro de un intervalo predeterminado durante un tiempo predeterminado;
 - iii) una vez que se alcanzan dichas condiciones de estado estabilizado, variar arbitrariamente la posición de dicho ángulo de apertura del distribuidor en una posición fija de dicho ángulo de orientación de los álabes (4) y medir, para cada valor de dicho ángulo de apertura del distribuidor, los valores de los parámetros operativos de dicha turbina;
 - iv) calcular mediante un procedimiento de cálculo automático los valores del índice de eficiencia para cada conjunto de valores medidos en la etapa iii), e identificar, para cada conjunto de valores de los parámetros de funcionamiento de la turbina, los valores de dichos ángulos de apertura del distribuidor (7) y de la orientación de los álabes (4) a los que corresponde el valor máximo de eficiencia.
2. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que dicho parámetro operativo medido en la etapa ii) es seleccionado a partir del flujo y de la potencia de dicha turbina.
3. Procedimiento, según la reivindicación 1 o 2, en el que dicha etapa iii) es llevada a cabo de tal manera que dichos valores del índice de eficiencia están comprendidos en un intervalo predeterminado de valores con la exclusión, a partir de la determinación de los valores óptimos de eficiencia, de valores no significativos o valores potencialmente peligrosos para dicha turbina correspondientes a las áreas con fenómenos de cavitación y fuertes vibraciones, mediante la monitorización continua de dichas vibraciones.
4. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que en la etapa iii) la medición de los valores de los parámetros de funcionamiento de la turbina para cada valor del ángulo de apertura del distribuidor (7) comprende el muestreo de dichos valores medidos por medio de un algoritmo de muestreo que, cuando se obtiene un número mínimo predeterminado de valores muestreados, activa dicho procedimiento de cálculo automático optimizado de la etapa iv).
5. Procedimiento, según la reivindicación 1, en el que dicho procedimiento de cálculo automático optimizado de la etapa iv) es seleccionado entre un procedimiento de regresión polinómica de múltiples variables de segundo o tercer orden y un procedimiento de aproximación de funciones basado en una red neuronal.
6. Procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho conjunto de los parámetros de funcionamiento de la turbina en la etapa iv) comprende el flujo, la potencia y el salto hidráulico.
7. Procedimiento para construir de manera continua un modelo numérico de índice de una turbina Kaplan (1) en una central hidroeléctrica acerca de sus condiciones operativas predeterminadas por medio de pruebas de índice en línea, de acuerdo con el procedimiento según se define en las reivindicaciones 1 a 6, en un intervalo de tiempo lo suficientemente largo como para registrar toda la amplitud de saltos hidráulicos en funcionamiento.
8. Procedimiento, según la reivindicación 7, en el que dichas condiciones operativas predeterminadas son las condiciones indicadas en la normativa que define las pruebas de índice para las turbinas Kaplan.
9. Sistema configurado para llevar a cabo el procedimiento, según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, para determinar automáticamente la posición óptima del ángulo de apertura del distribuidor (7) y del ángulo de orientación de los álabes de una turbina Kaplan en una central hidroeléctrica, cuya posición corresponde a la máxima eficiencia de dicha turbina, comprendiendo dicho sistema: medios para controlar el ángulo de apertura del distribuidor (7) y el ángulo de orientación de los álabes (4); medios para medir los parámetros operativos de la turbina; medios para procesar datos para calcular automáticamente los valores de índice de eficiencia por conjunto de valores de parámetros operativos de dicha turbina y para identificar, para cada conjunto de dichos valores, los valores de dichos ángulos de apertura de los distribuidores o de la orientación de los álabes (4) a los que corresponde el valor máximo de la eficiencia; y medios para almacenar datos predeterminados de dicha turbina y los datos calculados en dicho procedimiento.

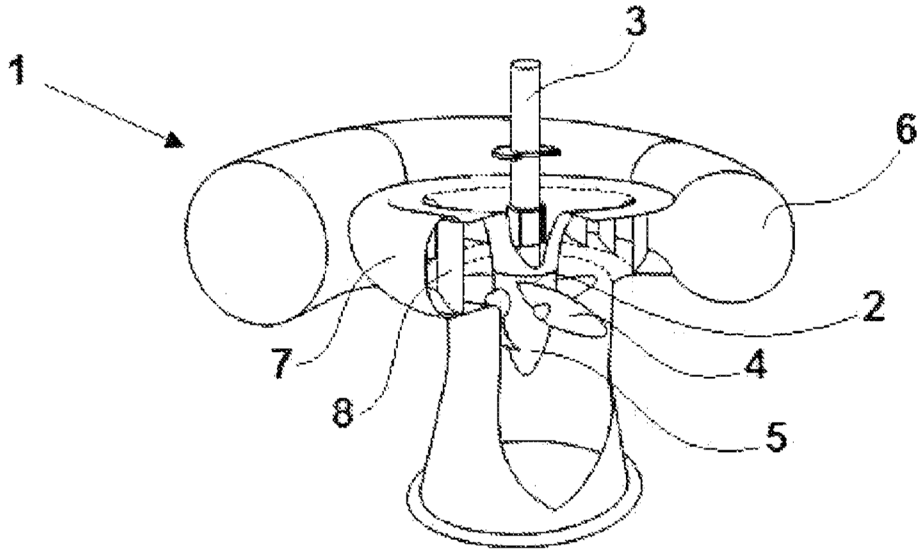


Fig. 1

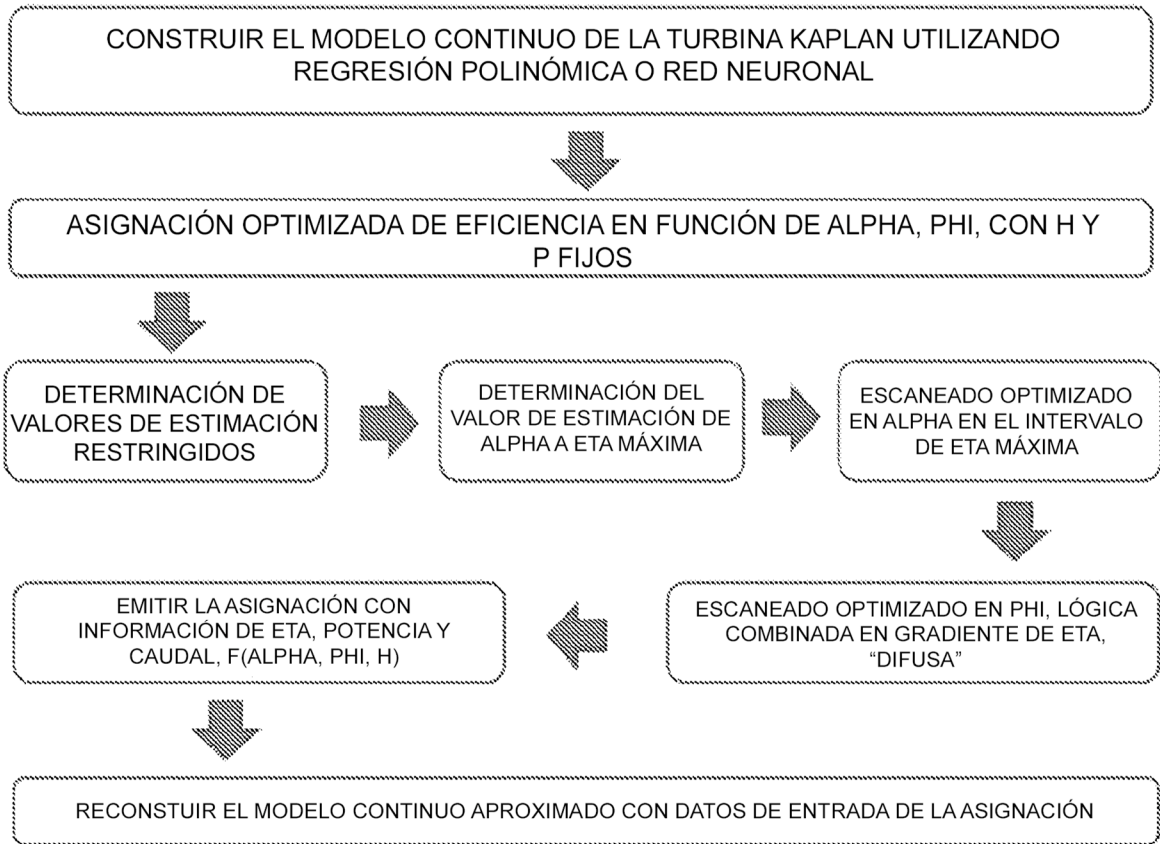


Fig. 2

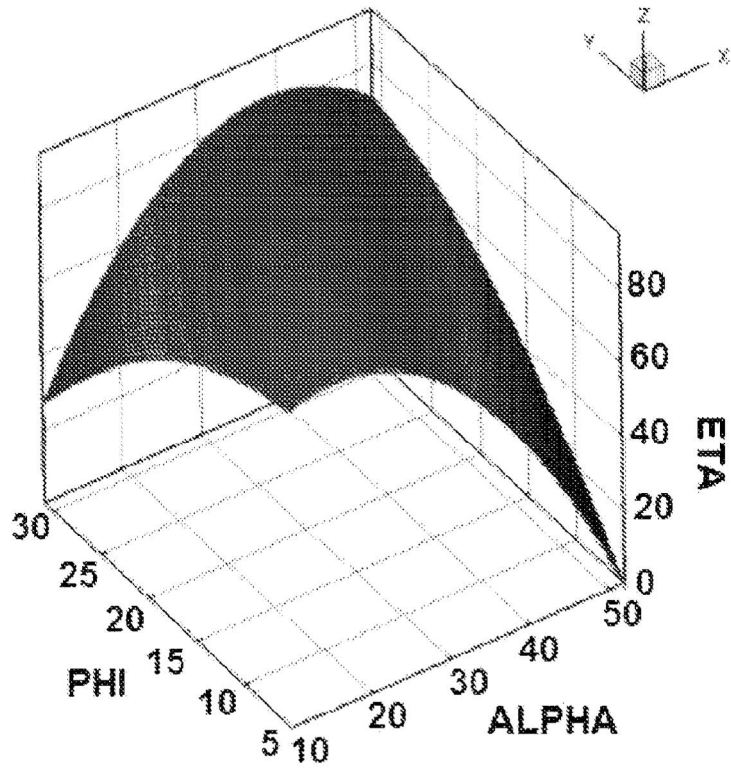


Fig. 3

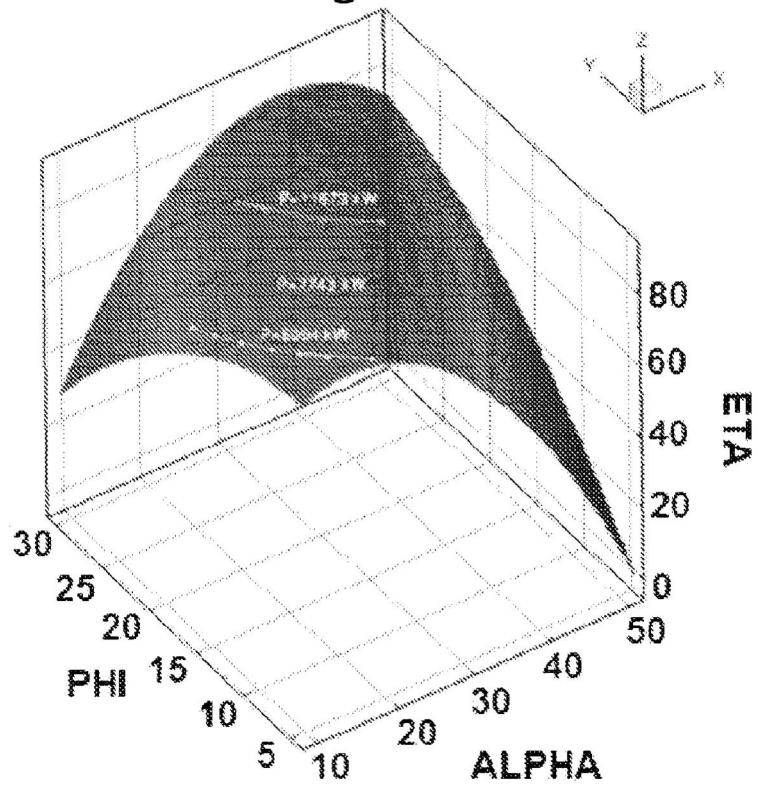


Fig. 4

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *Esta lista de referencias citada por el solicitante es únicamente para mayor comodidad del lector. No forman parte del documento de la Patente Europea. Incluso teniendo en cuenta que la compilación de las referencias se ha efectuado con gran cuidado, los errores u omisiones no pueden descartarse; la EPO se exime de toda responsabilidad al respecto.*

Documentos de patentes citados en la descripción

• US 4794544 A

10

Literatura no patente citada en la descripción

Maximum power point tracking for micro hydro power plants using extremum seeking control.
ATTA K.T. et al. IEEE Conference on Control Applications(CCA). IEEE, 2015, 1874-1879