

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 009 807**

51 Int. Cl.:

F03B 13/06 (2006.01)

F03B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.11.2021** **PCT/IB2021/060911**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.06.2022** **WO22118143**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.11.2021** **E 21814921 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2025** **EP 4256196**

54 Título: **Sistema de producción de energía**

30 Prioridad:

01.12.2020 IT 202000029351

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

01.04.2025

73 Titular/es:

SIZABLE ENERGY S.R.L. (100.00%)
Via Giorgio Washington, 96 c/o Milano
Multiphysics
20146 Milano (MI), IT

72 Inventor/es:

AUFIERO, MANUELE

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 3 009 807 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

Sistema de producción de energía

5 **Campo técnico**

Esta invención se refiere a un sistema de producción de energía, a una central eléctrica y a un método para gestionar un sistema de producción de energía.

10 **Técnica anterior**

En el campo técnico de sistemas de producción de energía, se conocen centrales hidráulicas de almacenamiento por bombeo, que incluyen un primero y un segundo depósitos, que están a diferentes alturas, por ejemplo a partir de los documentos de patente WO2019207564, FR3011885. Durante los periodos de tiempo de producción de energía eléctrica excedentaria en la red, la electricidad se utiliza para bombear el agua aguas arriba desde el depósito inferior hasta el depósito superior, mientras que durante periodos de demanda de energía eléctrica desde la red, se permite que el agua fluya hacia aguas abajo desde el depósito superior hasta el depósito inferior a través de una turbina que está acoplada a un generador eléctrico. Sin embargo, si se demanda energía eléctrica desde la red, el sistema tarda tiempo en alcanzar el nivel de salida de energía eléctrica, que debe suministrarse a la red; este tiempo es debido al tiempo requerido para que la turbina alcance la velocidad operativa y para que el flujo de agua en la tubería de presión alcance el caudal requerido para el régimen operativo.

Recientemente, la gran penetración de fuentes de energía renovable y de sistemas de generación distribuida requiere una operación más flexible de la red eléctrica; por lo tanto, se están introduciendo nuevos servicios de la red de altamente valiosos en mercados eléctricos. Por ejemplo, la Respuesta de Frecuencia Rápida y la Inercia Sintética son servicios nuevos de la red, que responden a perturbaciones de frecuencia de la red incrementando o reduciendo el consumo o producción de energía en unos pocos cientos de milisegundos a partir de una señal o evento de frecuencia. En este contexto, las centrales de energía hidráulicas tradicionales de almacenamiento por bombeo, que requieren a menudo tiempos de arranque del orden de decenas de segundos o algunos minutos, no son adecuadas para servicios de tiempo de respuesta más cortos.

Para acortar el tiempo de respuesta, el documento de patente WO2019207564 divulga un sistema hidráulico de almacenamiento por bombeo acoplado a un conjunto de condensadores; el conjunto de condensadores está configurado para suministrar energía eléctrica a la red mediante descarga hasta que la energía eléctrica recuperada desde el sistema hidráulico de almacenamiento por bombeo sea adecuada para su entrada en la red. De este modo, después de un evento o señal de la red, el conjunto de condensadores proporciona la energía requerida a la red desde unos pocos cientos de milisegundos desde el evento, hasta el arranque completo del sistema hidroeléctrico. De esta manera, el sistema puede responder rápidamente. Sin embargo, este sistema requiere una alta capacidad de acumulación de energía en el conjunto de condensadores, para proporcionar efectivamente servicios de la red. Altas capacidades de almacenamiento de energía implican altos costes.

Exposición de la invención

El alcance de la presente invención es proporcionar un sistema de producción de energía, una central eléctrica y un método para gestionar un sistema de producción de energía que soluciona al menos uno de los inconvenientes mencionados anteriormente. Este alcance se consigue por el sistema de producción de energía, la central eléctrica y el método de acuerdo con las reivindicaciones anexas.

La presente invención se refiere a un sistema de producción de energía. El sistema de producción de energía (en adelante: "el sistema") comprende una turbina eléctrica; la turbina eléctrica es instalable en una tubería de presión o en un extremo de una tubería de presión y es giratoria en una primera dirección de rotación por efecto de un flujo de fluido (en particular, agua), que fluye en la tubería de presión en una dirección descendente. En particular, la tubería de presión tiene un primer extremo y un segundo extremo, opuesto al primer extremo, en donde el segundo extremo tiene una elevación más baja que el primer extremo. Por lo tanto, la dirección descendente se define desde el primer extremo hacia el segundo extremo. De esta manera, preferiblemente, la turbina hidráulica es una bomba/turbina reversible y es giratoria también en una segunda dirección de rotación opuesta a la primera dirección de rotación (cuando actúa como una bomba).

En particular, la turbina incluye un impulsor (rotor de impulsor), que es giratorio en la primera dirección de rotación y, preferiblemente, también en la segunda dirección de rotación.

El sistema comprende un grupo convertidor de energía. El grupo convertidor de energía está conectado a la turbina eléctrica. El grupo convertidor de energía puede incluir un generador, o alternador, configurado para recibir energía mecánica de entrada desde la turbina y generar energía eléctrica de salida. El grupo convertidor de energía puede incluir un motor eléctrico, configurado para absorber energía eléctrica de entrada y para generar energía mecánica

de salida para mover la turbina. En una realización, el grupo convertidor de energía incluye una máquina eléctrica, que funciona tanto como un motor como un generador.

5 El sistema comprende un acumulador (o unidad de almacenamiento). El acumulador está conectado al grupo convertidor de energía.

El sistema comprende una unidad de control.

10 La unidad de control puede estar conectada al grupo convertidor de energía y al acumulador. La unidad de control está configurada para hacer funcionar el sistema en un modo de generación de potencia, en el que el grupo convertidor de energía recibe una energía mecánica de entrada desde la turbina hidráulica, que gira en la primera dirección de rotación por efecto del flujo de fluido y genera una energía eléctrica de salida. El grupo convertidor de energía, en el modo de generación de energía del sistema, suministra dicha energía eléctrica de salida a una red externa y/o al acumulador. En particular, la unidad de control puede estar configurada para controlar el grupo
15 convertidor para que suministre al menos una parte de la potencia eléctrica de salida al acumulador hasta que el acumulador ha sido cargado totalmente y, después de que el acumulador ha sido cargado totalmente, suministra la energía eléctrica de salida a la red externa. Por lo tanto, en el modo de generación de energía, el grupo convertidor de energía funciona como un generador.

20 La unidad de control puede estar configurada para hacer funcionar el sistema en un modo de empuje hacia abajo, en el que el grupo convertidor de energía absorbe una potencia eléctrica de entrada desde el acumulador y genera una energía mecánica de salida para mover la turbina hidráulica (en particular, el impulsor). Por lo tanto, en el modo de empuje hacia abajo, el grupo convertidor de energía funciona como un motor. En el modo de empuje hacia abajo, el grupo convertidor de energía está configurado para accionar la turbina hidráulica (en particular, el impulsor) en dicha
25 primera dirección de rotación. En otras palabras, en el modo de empuje hacia abajo, el grupo convertidor de energía está configurado para hacer que la turbina hidráulica gire en la primera dirección de rotación. Por lo tanto, en dicho modo de empuje hacia abajo, la turbina hidráulica (en particular, el impulsor) es giratorio en la primera dirección de rotación por efecto del grupo convertidor de energía; la energía proporcionada a la turbina (en particular, el impulsor) causa una aceleración del flujo de fluido que fluye en la tubería de presión en la dirección descendente. Por lo tanto,
30 se acorta el tiempo requerido para que el fluido que fluye en la tubería de presión se acelere hasta alcanzar un caudal objetivo.

La unidad de control está configurada para recibir una señal representativa de una demanda de la red y para ajustar el sistema en el modo de empuje hacia abajo, sensible a dicha señal. Preferiblemente, la señal es enviada por el
35 Operador del Sistema de Transmisión o el Operador del Sistema Independiente u otra entidad que gestiona la red (en adelante: "TSO"). Por lo tanto, cuando el TSO detecta un desequilibrio repentino en el sistema de energía, envía a la unidad de control una señal representativa de una solicitud para incrementar la energía de salida, para restablecer el equilibrio de la carga. De esta manera, el TSO previene o al menos amortigua caídas de la frecuencia o de la tensión de la red.

40 Dicha señal incluye una energía de salida objetivo y/o un límite de tiempo dentro del cual debe suministrarse dicha energía de salida objetivo a la red externa. En una realización posible, dicha señal incluye una solicitud para incrementar la energía de salida hasta un cierto porcentaje de un cierto valor objetivo dentro de un primer límite de tiempo, y cien por cien del valor objetivo, dentro de un segundo límite de tiempo. Preferiblemente, dicha señal
45 incluye un periodo de tiempo durante el cual debe suministrarse (continuamente) dicha energía objetivo a la red externa. Por ejemplo, dicha señal puede incluir una solicitud para incrementar la energía de salida hasta la mitad del valor de la energía de salida objetivo dentro de 300 ms, para incrementarla adicionalmente hasta el segundo valor de energía de salida objetivo dentro de 1 segundo, y para mantener el valor de la energía de salida objetivo durante 10 minutos.

50 En una realización, dicha señal es representativa de una frecuencia de la red. En una realización, la unidad de control puede estar configurada para recibir un valor real de la frecuencia de la red y activar el modo de empuje hacia abajo sensible a la frecuencia de la red que decrece por debajo de un valor de referencia.

55 En otra realización posible, el modo de empuje hacia abajo podría activarse manualmente por un operador. El operador puede activar el modo de empuje hacia abajo en respuesta a un mensaje recibido por el TSO.

En una realización, el sistema comprende un sensor configurado para detectar una señal de flujo representativa de un caudal del fluido que fluye en la tubería de presión. Dicho sensor puede ser un sensor de caudal, tal como un
60 manómetro acoplado a la tubería de presión. En una realización, la unidad de control está configurada para mantener el sistema en un modo de empuje hacia abajo hasta que el caudal detectado por el sensor alcanza un valor predeterminado. Dicho valor predeterminado está relacionado con la energía de salida objetivo que debe suministrarse en el régimen; en otras palabras, dicho valor predeterminado es el valor que permite ajustar el sistema en el modo de generación de energía y suministrar la energía objetivo.

65

Por lo tanto, el modo de empuje hacia abajo se utiliza para dejar que el fluido alcance el caudal de régimen más rápidamente; una vez que se ha alcanzado el caudal de régimen, se ajusta el sistema en el modo de generación de energía para generar energía de salida a partir de la rotación de la turbina.

5 En una realización, el sistema comprende un inversor conectado entre el acumulador y el grupo convertidor de energía, en donde, en dicho modo de empuje hacia abajo, el inversor está configurado para recibir una corriente continua desde el acumulador y suministrar una corriente alterna al grupo convertidor de energía. Hay que indicar que el inversor puede funcionar también como un rectificador cuando recibe una corriente alterna en el convertidor de energía y suministra una corriente continua al acumulador. En este sentido, el inversor está concebido como un
10 componente inversor-rectificador. En una realización, la unidad de control está configurada para mantener el sistema en el modo de empuje hacia abajo hasta que la energía eléctrica de entrada suministrada desde el acumulador hasta el grupo convertidor de energía alcanza un valor máximo relacionado con el inversor. En particular, el valor máximo es una función de la potencia nominal del inversor.

15 En una realización, la unidad de control está configurada para mantener el sistema en el modo de empuje hacia abajo hasta que el caudal detectado por el sensor alcanza un valor predeterminado o la energía eléctrica de entrada suministrada desde el acumulador hasta el grupo convertidor de energía alcanza un valor máximo permitido por el inversor (o una combinación del valor máximo permitido por el inversor y una duración máxima para dicho valor), cualquiera que sea la condición que se verifique primero. De hecho, un inversor está diseñado normalmente para
20 resistir su potencia nominal máxima durante funcionamiento extensivo, o para resistir potencias cada vez más altas durante periodos cada vez más cortos. El funcionamiento a una potencia superior a la nominal puede impactar negativamente en la durabilidad del convertidor y el otro equipo eléctrico. Preferiblemente, la unidad de control está configurada para minimizar los efectos adversos funcionamiento del equipo eléctrico a una potencia superior a la nominal.

25 En una realización, está previsto un sensor de la velocidad de rotación en el sistema, para medir la velocidad de rotación de la turbina.

30 En una realización, en el modo de empuje hacia abajo, la unidad de control está configurada para controlar el acumulador para que el acumulador, además de suministrar dicha energía eléctrica de entrada al grupo convertidor de energía, suministre una energía eléctrica de la red a la red externa. Por lo tanto, durante el funcionamiento del sistema en el modo de empuje hacia abajo, el acumulador es descargado para acelerar más el fluido en la dirección descendente y para suministrar energía eléctrica a la red, mientras que el fluido que fluye hacia abajo es acelerado solamente por el efecto de la gravedad (es decir, la presión hidrostática), la potencia de rotación de régimen se
35 alcanza más rápidamente y se requiere menos capacidad del acumulador. De hecho, aunque una parte de la energía del acumulador se emplea para inducir una aceleración descendente en el flujo de fluido, que es mayor que la aceleración natural del fluido en la tubería de presión, la energía requerida para acelerar más el fluido es menos que la energía ahorrada gracias al hecho de que el régimen nominal se alcanza más rápidamente. Esto es debido al hecho de que la mayor parte del efecto de aceleración descendente se obtiene mientras el fluido tiene un caudal pequeño y, por lo tanto, se requiere un trabajo limitado.

40 Por lo tanto, el modo de empuje hacia abajo es útil para proporcionar servicios tales como Respuesta de Frecuencia Rápida e Inercia Sintética. De hecho, cuando se requiere un incremento rápido en la energía de salida que debe suministrarse a la red, se abre una válvula reguladora (posiblemente, un distribuidor regulador que actúa como
45 válvula de cierre), que permite que el fluido fluya a la tubería de presión, y durante el tiempo que el fluido tarda en acelerarse en la tubería de presión, la turbina es accionada activamente por el grupo convertidor de energía. Esto causa una aceleración descendente del fluido en la tubería de presión, que es mayor que la aceleración natural del fluido. Por lo tanto, la turbina alcanza una velocidad objetivo de la turbina en un tiempo más corto y el fluido en la tubería de presión alcanza también un caudal de fluido objetivo en un tiempo más corto; después de que la turbina
50 ha alcanzado la velocidad objetivo y el fluido ha alcanzado un caudal objetivo del fluido, la unidad de control ajusta el sistema en el modo de generación de energía para generar la energía demandada desde la red. Por lo tanto, gracias a la aceleración activa de la turbina y, por lo tanto, del fluido, utilizando la energía almacenada en el acumulador, el sistema está preparado para suministrar dicha energía a la red más rápidamente.

55 En una realización, la unidad de control está configurada, además, para operar el sistema en un modo de bombeo normal (o ascendente), en el que el grupo convertidor de energía absorbe una energía eléctrica de entrada adicional desde la rejilla externa y/o desde el acumulador, y genera una potencia mecánica de salida adicional para accionar la turbina hidráulica (en particular, el impulsor) en una segunda dirección de rotación opuesta a la primera dirección de rotación, para hacer que el fluido en la tubería de presión fluya en la dirección ascendente, opuesta a la dirección
60 descendente. De esta manera, el sistema de producción de energía puede acoplarse a una central de almacenamiento por bombeo, en donde durante periodos de carga eléctrica alta y/o precios altos de la electricidad y/o producción baja de energía, el fluido fluye en la dirección descendente y el sistema es accionado en el modo de generación de energía, mientras que durante periodos de baja carga eléctrica y/o bajos precios de la electricidad y/o alta producción de energía, el sistema es accionado en el modo de bombeo normal (o hacia arriba) y el fluido fluye
65 en la dirección ascendente. Además, está previsto que, mientras el sistema es accionado en el modo de generación

de energía, a un nivel de energía más bajo que el nivel máximo de energía, la unidad de control puede ajustar el modo de empuje hacia abajo para responder más rápidamente a incrementos repentinos en la demanda de electricidad. En términos generales, el sistema es accionado en el modo de empuje hacia abajo durante un periodo de tiempo limitado, necesario para que la turbina alcance la velocidad de rotación de régimen y/o el fluido alcance un caudal de fluido objetivo.

Preferiblemente, la turbina hidráulica es una turbina de flujo axial. Por turbina de flujo axial se entiende una turbina en la que el flujo de fluido es dirigido principalmente paralelo a un árbol de la turbina. Por ejemplo, la turbina puede ser una turbina Kaplan. Las turbinas de flujo axial son capaces de proporcionar energía al fluido mediante bombeo en ambas direcciones ascendente y descendente. Por lo tanto, estas turbinas de flujo axial son adecuadas para que el sistema sea accionado en el modo de generación de energía, en el modo de bombeo normal y en el modo de empuje hacia abajo. Se observa que el perfil de la pala puede optimizarse considerando los triángulos de velocidad que resultan del modo de generación de energía y del modo de bombeo normal; no obstante, pueden alcanzar una eficiencia razonable también en el modo de empuje hacia abajo. Además, es aceptable tener una eficiencia limitada en el modo de empuje hacia abajo, y en ciertas aplicaciones, también es aceptable incurrir en fenómenos de cavitación, puesto que el modo de empuje hacia abajo solamente se activa durante un periodo de tiempo corto, para suministrar dichos servicios de red.

Preferiblemente, el acumulador incluye supercondensadores (o ultracondensadores). Los supercondensadores implican un régimen-C alto (es decir, tiempo de descarga corto), que es particularmente adecuado para proporcionar grandes cantidades de energía durante tiempos muy cortos (por ejemplo, algunos segundos o décimas de segundos). En otra realización, el acumulador incluye una pluralidad de baterías, por ejemplo baterías de iones de Li.

La presente invención se refiere también a una central eléctrica, que comprende dicho sistema de producción de energía. La central eléctrica comprende, además, al menos un primer depósito y una tubería de presión. La tubería de presión tiene un primer extremo conectado al primer depósito y un segundo extremo opuesto al primer extremo, teniendo el segundo extremo una elevación (o altitud) menor que el primer extremo. La turbina hidráulica está acoplada a la turbina de presión entre el primer extremo y el segundo extremo.

La central puede comprender, además, un segundo depósito conectado al segundo extremo de la tubería de presión. El segundo depósito tiene una elevación (o altitud) más baja que la elevación (o altitud) del primer depósito.

Preferiblemente, la tubería de presión tiene una pendiente equivalente (o media) en el rango del 5 % al 40 %, más preferiblemente en el rango del 10% al 30%. De hecho, el modo de empuje hacia abajo es particularmente útil cuando la tubería de presión tiene una pendiente suave, en cuyo caso el fluido tarde mucho en acelerar y alcanzar el caudal nominal.

El sistema (o la central) comprende al menos una válvula de cierre. La válvula de cierre está configurada para controlar un flujo de fluido en la tubería de presión. En particular, la válvula de cierre tiene una posición abierta para permitir que el fluido fluya en la tubería de presión en la dirección descendente y una posición cerrada para bloquear que el fluido fluya a la tubería de presión. Además, la válvula de cierre puede permitir que el fluido fluya en la tubería de presión en la dirección ascendente. El sistema (o la central) comprende un distribuidor regulador para guiar de una manera óptima el flujo hacia la turbina. Preferiblemente, el distribuidor tiene palas reguladoras para adaptarse a diferentes regímenes operativos en el modo de generación de energía, en el modo de bombeo normal, y en el modo de empuje hacia abajo. Preferiblemente, la válvula de cierre y el distribuidor regulador son el mismo componente. En otras palabras, las palas reguladoras de los distribuidores están adaptadas para controlar el flujo de fluido en el fluido en la tubería de presión.

La válvula de cierre puede estar controlada por la unidad de control. En particular, si el sistema está desconectado (no se genera ni absorbe ninguna energía, la válvula de cierre en la posición cerrada) y recibe dicha señal, la unidad de control abre la válvula de cierre para permitir que el fluido fluya en la tubería de presión y, simultáneamente, ajusta el sistema en el modo de empuje hacia abajo hasta que el fluido ha alcanzado el caudal descendente (de régimen) preferido.

Además, las palas reguladoras del distribuidor pueden ser controladas por la unidad de control. En particular, durante la operación en modo de empuje hacia abajo, la unidad de control regula el ángulo de apertura de las palas reguladoras del distribuidor continuamente (a saber, en tiempo real), de acuerdo con un conjunto predeterminado de valores, dependiendo de las lecturas del sensor de caudal y del sensor de velocidad de rotación, para maximizar la efectividad de la aceleración del fluido hacia abajo.

Además, si la unidad de control está accionando el sistema en el modo de generación de energía a un nivel de energía menor que el nivel de potencia máxima y recibe dicha señal, ordena una variación en el ángulo de apertura de las palas reguladoras del distribuidor para incrementar el flujo de fluido en la tubería de presión y, simultáneamente, ajusta el sistema en el modo de empuje hacia abajo, hasta que el caudal ha alcanzado el valor (de

régimen) predefinido, que corresponde a la energía de salida incrementada requerida.

La central eléctrica puede comprender dicho fluido (que define un fluido de trabajo). Dicho fluido tiene una primera densidad. En una realización, el segundo depósito está inmerso operativamente dentro de un fluido ambiental que tiene una segunda densidad diferente de la primera densidad; también la tubería de presión está al menos parcialmente inmersa operativamente en dicho fluido ambiental. Una central de acuerdo con esta realización se llama también de tipo sumergido. En particular, el fluido ambiental puede ser agua fresca o agua salada de una balsa; el segundo depósito está sumergido en la balsa; el primer depósito puede estar colocado fuera de la balsa o flotando en la balsa o al menos parcialmente sumergido en la balsa a una altura diferente que el primer depósito.

El fluido puede ser una de las siguientes sustancias: agua fresca, agua salada, soluciones electrolíticas acuosas de solutos, que incluyen sales inorgánicas, sales orgánicas y ácidos; soluciones no electrolíticas, que incluyen glucosa, sucrosa, coloides de etanol y suspensiones que incluyen agua turbia y emulsiones. La primera densidad es preferiblemente mayor que la segunda densidad. En particular, una diferencia entre la primera densidad y la segunda densidad puede ser aproximadamente 200 kg/m^3 ; esto significa que, incluso para una tubería de presión vertical, el fluido de trabajo está sujeto a una aceleración de gravedad similar a la de un fluido que fluye en una tubería de presión tradicional con pendiente suave; por lo tanto, incluso en tal tipo de central de tipo sumergido, se puede emplear ventajosamente el modo de empuje hacia abajo.

Una central de acuerdo con esta realización (a saber, de tipo sumergido) se detalla más en el documento de patente italiana, que tiene el número de solicitud 102019000022917, a nombre de la misma solicitante. Se pretende aquí explícitamente que todas las características de la central de energía del documento de patente italiana 102019000022917 puedan aplicarse a la central eléctrica de acuerdo con esta realización.

La presente invención se refiere también a un método para gestionar un sistema de producción de energía. El sistema de producción de energía se obtiene de acuerdo con uno o más de los aspectos de la presente invención. El método comprende una etapa de funcionamiento del sistema en el modo de generación de energía, en el que el grupo convertidor de energía recibe una potencia mecánica de entrada desde la turbina hidráulica que gira en una primera dirección de rotación por efecto de un fluido que fluye en la tubería de presión en una dirección descendente, en donde el grupo convertidor de energía genera una energía eléctrica de salida y suministra dicha energía eléctrica de salida a una red externa y/o al acumulador.

El método comprende también una etapa de funcionamiento del sistema en un modo de empuje hacia abajo, en el que el grupo convertidor de energía absorbe una energía eléctrica de entrada desde el acumulador y genera una energía eléctrica de salida para accionar la turbina hidráulica en el modo de empuje hacia abajo. En dicho modo de empuje hacia abajo, el grupo convertidor de energía proporciona energía a la turbina hidráulica para accionarla (o hacerla girar) en dicha primera dirección de rotación. Por lo tanto, la turbina hidráulica es girada por el efecto del grupo convertidor de energía; la rotación de las turbinas acelera el flujo de fluido que fluye en la tubería de presión en la dirección descendente. En otras palabras, el modo de empuje hacia abajo permite a la turbina impulsar activamente el fluido en la dirección descendente.

Preferiblemente, el modo de empuje hacia abajo es activado por una unidad de control sensible a una señal representativa de una solicitud de la red; el modo de empuje hacia abajo se mantiene activo hasta que el flujo de fluido descendente alcanza un caudal (de régimen) predefinido. Después de eso, la unidad de control ajusta el sistema en el modo de generación de energía para realizar dicha etapa de funcionamiento del sistema en el modo de generación de energía.

El método puede comprender también una etapa de funcionamiento del sistema en un modo de bombeo normal (o tradicional), en el que el grupo convertidor de energía absorbe una energía eléctrica adicional desde la red externa y/o desde el acumulador y genera una potencia mecánica de salida adicional para accionar la turbina hidráulica en la segunda dirección de rotación opuesta a la primera dirección de rotación, para hacer que el fluido en la tubería de presión fluya en la dirección ascendente, opuesta a la dirección descendente.

En una realización, en el modo de empuje hacia abajo, el acumulador, además de suministrar dicha energía eléctrica de entrada al grupo convertidor de energía, suministra una energía eléctrica de salida adicional a la red externa.

Breve descripción de los dibujos

Esta y otras características de la invención serán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de una realización ejemplar preferida, no limitativa, de la misma, con referencia al dibujo que se acompaña, en el que:

La figura 1 ilustra esquemáticamente una central eléctrica, que comprende un sistema de producción de energía de acuerdo con la invención.

La figura 2 ilustra esquemáticamente el funcionamiento de una central eléctrica de la técnica anterior, en donde se

emplea un acumulador solo para proporcionar energía a la red, mientras el fluido se acelera en la tubería de presión por efecto de la gravedad.

5 Las figuras 3 a 5 ilustran operaciones posibles de la central eléctrica de acuerdo con la presente invención, en donde el acumulador se emplea para proporcionar directamente energía a la red y para acelerar activamente la turbina, para reducir de esta manera el tiempo que el fluido tarda en alcanzar el caudal nominal.

10 La figura 6 ilustra otro funcionamiento de la central eléctrica de acuerdo con la presente invención, en donde el acumulador se emplea solamente para acelerar activamente la turbina, para reducir de esta manera el tiempo que el fluido tarda en alcanzar el caudal nominal.

Descripción detallada de realizaciones preferidas de la invención

15 Con referencia a los dibujos que se acompañan, el número 10 denota una central eléctrica. La central eléctrica 10 comprende un primer depósito (o depósito superior) 91 y un segundo depósito (o depósito inferior) 92. El primer depósito 91 está a la altitud mayor que el segundo depósito 92. La central eléctrica 10 comprende una tubería de presión 3. La tubería de presión 3 conecta el primer depósito 91 al segundo depósito 92.

20 La central eléctrica 10 comprende un sistema de producción de energía 1. El sistema de producción de energía 1 comprende una turbina hidráulica 2, preferiblemente con el tipo de flujo axial, montada a lo largo de la tubería de presión 2. El sistema de producción de energía 1 comprende un grupo convertidor de energía 4, conectado a la turbina 2. El grupo convertidor de energía 4 puede funcionar como un motor, para accionar la turbina 2, o como un generador, para generar energía eléctrica después de recibir el movimiento de rotación desde la turbina 2.

25 El sistema de producción de energía 1 comprende un acumulador o unidad de almacenamiento 5, conectada al grupo convertidor de energía 4. El grupo convertidor de energía 4 y el acumulador 5 están conectados, además, a una red de transmisión externa 7.

30 En particular, el sistema 1 comprende un transformador 81, conectado entre el grupo convertidor de energía 4 y la red 7. El transformador 81 está configurado para recibir desde el grupo convertidor de energía 4 una corriente alterna, que tiene una primera tensión y suministrar a la red 7 una corriente alterna, que tiene una segunda tensión. Preferiblemente, el transformador 81 es bidireccional, de manera que está configurado también para recibir desde la red 7 energía eléctrica en la segunda tensión y para suministrar energía eléctrica en la segunda tensión al grupo convertidor de energía.

35 El sistema 1 comprende, además, un primer rectificador-inversor 82, conectado entre el grupo convertidor de energía 4 y el acumulador 5; el primer rectificador-inversor 82 está configurado para recibir una corriente alterna desde el grupo convertidor de energía 4 y transformarla en una corriente alterna que debe ser suministrada al acumulador; además, el primer rectificador-inversor 82 está configurado para recibir una corriente directa desde el acumulador 5 y transformarla en una corriente alterna que debe suministrarse al grupo convertidor de energía 4. Además, el primer rectificador-inversor 81 está configurado para suministrar al grupo convertidor de energía 4 con frecuencia variable para regular la velocidad de rotación de la turbina. Se observa que este rectificador-inversor 82 debe sobredimensionarse con respecto a una solución en la que no está previsto el modo de empuje hacia abajo.

45 El sistema comprende, además, un segundo rectificador-inversor 83, conectado entre el acumulador 5 y la red 7.

El sistema 1 comprende un distribuidor con palas reguladoras (no ilustradas), configuradas para controlar un flujo de fluido en la tubería de presión 3.

50 El sistema 1 comprende una unidad de control 6. La unidad de control 6 está configurada para accionar el sistema 1 en un modo de generación de potencia, en donde:

55 - el distribuidor permite que el flujo fluya en la tubería de presión 3 en una dirección descendente, desde el primer depósito 91 hasta el depósito inferior 92;

- la turbina 2 gira en una primera dirección de rotación, por efecto del flujo de fluido;

60 - las palas reguladoras del distribuidor están abiertas en el ángulo óptimo para dirigir óptimamente el flujo hacia la turbina para maximizar la eficiencia de la conversión de energía en el régimen operativo seleccionado;

- el grupo convertidor de energía 4 trabaja como un generador para transformar el movimiento de rotación de la turbina 2 en energía eléctrica;

65 - la energía eléctrica producida es suministrada al acumulador 5 y/o a la red 7.

La unidad de control 6 está configurada para accionar el sistema 1 en un modo de empuje hacia abajo, en donde:

- el distribuidor permite que el fluido fluya en la tubería de presión 3 en una dirección descendente, desde el primer depósito 91 hasta el depósito inferior 92;

- las palas reguladoras del distribuidor están reguladas continuamente en los ángulos óptimos dependiendo de los valores del caudal y de la velocidad de rotación de la turbina desde sensores, para dirigir de una manera óptima el flujo hacia la turbina para maximizar la efectividad de la aceleración del flujo hacia abajo;

- el grupo convertidor de energía 4 trabaja como un motor para accionar la turbina 2 en la primer dirección de rotación, de manera que la turbina 2 es accionada por el motor y el fluido en la tubería de presión 3 es acelerada por la turbina;

el grupo convertidor de energía 4 absorbe energía desde el acumulador 5 para accionar la turbina 2.

En una realización, en el modo de empuje hacia abajo, el acumulador suministra también energía a la red externa.

En una realización, la unidad de control 6 está configurada para accionar el sistema 1 en un modo de bombeo, en donde:

- el distribuidor permite que el flujo fluya en la tubería de presión 3 en la dirección ascendente, desde el depósito inferior 92 hasta el primer depósito 91;

- las palas reguladoras del distribuidor están abiertas en el ángulo óptimo para dirigir de una manera óptima el flujo hacia la turbina para maximizar la eficiencia de conversión de energía en el régimen operativo seleccionado;

- el grupo convertidor de energía 4 trabaja como un motor para accionar la turbina 2 en la segunda dirección de rotación, opuesta a la primera dirección de rotación;

- el grupo convertidor de energía 4 absorbe energía desde el acumulador 5 y/o desde la red 7, para accionar la turbina 2.

Las ventajas proporcionadas por el modo de empuje hacia abajo serán más evidentes por la siguiente descripción de ejemplos posibles de funcionamiento del sistema.

En particular, con referencia a las figuras 2 a 6, se representa sobre un primer eje vertical la energía P suministrada por la turbina con el tiempo. Sobre un segundo eje vertical se representa el caudal F del flujo que fluye en la tubería de presión con el tiempo.

La figura 2 ilustra el funcionamiento de un sistema de la técnica anterior. Partiendo desde una configuración desconectada, en el momento en que el sistema recibe una solicitud de la red representativa de una solicitud para incrementar la energía de salida hasta una energía nominal (o de régimen) NP. El distribuidor se abre, de manera que el fluido comienza a acelerarse bajo el solo efecto de la gravedad. Mientras el fluido se está acelerando, (por lo tanto, se incrementa el caudal), se emplea el acumulador para proporcionar energía a la red. La energía de salida desde el acumulador hasta la red se representa por una línea de trazos; se indica con E2 la energía suministrada desde el acumulador directamente a la red. Se supone aquí que el acumulador proporciona inmediatamente a la red la misma energía que la energía nominal NP solicitada por la red, y que se desconecta en el tiempo t_1 , que es el tiempo en el que el caudal F alcanza un valor de flujo nominal NF, momento en el que la turbina es capaz de proporcionar la energía nominal NP a la red.

La figura 3 ilustra un ejemplo de funcionamiento del sistema de acuerdo con la presente invención.

Se parte de la configuración desconectada, en el tiempo en el que el sistema recibe una solicitud de la red representativa de una solicitud para incrementar la energía de salida hasta una energía nominal (o de régimen) NP. Mientras el fluido se está acelerando debido a la gravedad, el sistema es accionado en el modo de empuje hacia abajo; en particular, el acumulador se emplea para acelerar más el flujo en la tubería de presión y para proporcionar energía a la red. Como resultado, el caudal F se incrementa más rápidamente que en el sistema de la técnica anterior. Por lo tanto, se reduce la duración de tiempo entre t_0 y t_1 (que es el tiempo en el que el caudal F alcanza el valor de flujo nominal NF). Por lo tanto, en el tiempo t_1 , la turbina se conmuta al modo de generación de energía, en el que la turbina proporciona la energía nominal NP a la red. De nuevo, E1 indica la energía suministrada desde el acumulador hasta la turbina y, por lo tanto, al fluido en el modo de empuje hacia abajo; E2 indica la energía proporcionada desde el acumulador directamente hasta la red; E3 indica la energía proporcionada desde el fluido hasta la red en el modo de generación de energía. En particular, se proporciona suficiente energía a la turbina para generar una diferencia de presión, que es la misma que la presión hidrostática (o gravitacional) en la tubería de presión, que reduce a la mitad el tiempo necesario para alcanzar el caudal nominal. Esto permite ahorrar un 25% de

energía necesaria desde el acumulador (a saber, la suma de E1 más E2), comparado con la técnica anterior.

La figura 4 ilustra otro ejemplo de funcionamiento del sistema de acuerdo con la presente invención. Como en el ejemplo de la figura 3, parte de la energía desde el acumulador se utiliza para proporcionar energía E2 a la red, y otra parte se utiliza para proporcionar energía E1 para acelerar el flujo en la tubería de presión. En particular, se proporciona suficiente energía a la turbina para generar una diferencia de presión, que es el doble de la presión hidrostática (o gravitacional) en la tubería de presión, que reduce 3 veces el tiempo necesario para alcanzar el caudal nominal. Esto permite ahorrar 33% de la energía necesaria desde el acumulador comparado con la técnica anterior. No obstante, requiere proporcionar hasta el doble de la energía nominal a la turbina, lo que, a su vez, requiere sobredimensionar los componentes eléctricos (en particular, el inversor 82 y el grupo convertidor de energía 4).

La figura 5 ilustra otro ejemplo de funcionamiento del sistema de acuerdo con la presente invención. Como en los ejemplos de las figuras 3 y 4, parte de la energía desde el acumulador se utiliza para proporcionar energía E2 a la red, y otra parte se utiliza para proporcionar energía E1 para acelerar el flujo en la tubería de presión. En particular, se proporciona suficiente energía a la turbina para generar una diferencia de presión, que es tres veces la presión hidrostática (o gravitacional) en la tubería de presión. En este caso, se mantiene el modo de empuje hacia abajo solamente hasta que el tiempo t_i , que es el tiempo en el que la energía suministrada desde el acumulador hasta la turbina alcanza (en valor absoluto) la potencia nominal de la turbina. En otras palabras, t_i es el tiempo en el que, por ejemplo, el inverso alcanza su potencia máxima. En este caso, no es necesario sobredimensionar los componentes eléctricos (tal como el inversor). Esta solución permite ahorrar aproximadamente un 40 % de energía desde el acumulador, comparado con la técnica anterior.

La figura 6 ilustra otro ejemplo de funcionamiento del sistema de acuerdo con la presente invención. En este caso, no se utiliza ninguna energía desde el acumulador para proporcionar energía a la red. El acumulador solamente se utiliza para acelerar el flujo en la tubería de presión. En particular, se utiliza potencia suficiente para reducir a la mitad el tiempo necesario para alcanzar el caudal nominal.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de producción de energía (1), que comprende:

- una turbina hidráulica (2), que se puede montar a lo largo de una tubería de presión (3) y que es giratoria en una primera dirección de rotación por efecto de un flujo de fluido, que fluye en la tubería de presión (3) en una dirección descendente;

- un grupo convertidor de energía (4), conectado a la turbina hidráulica (2);

- un acumulador (5), conectado al grupo convertidor de energía (4);

- una unidad de control (6), configurada para accionar el sistema (1) en un modo de generación de energía, en el que el grupo convertidor de energía (4) recibe una potencia mecánica de entrada desde la turbina hidráulica (2), que gira en la primera dirección de rotación por efecto del flujo de fluido, genera una energía eléctrica de salida y suministra dicha energía eléctrica de salida a una red externa (7) y/o al acumulador (5),

en donde la unidad de control (6) está configurada, además, para accionar el sistema (1) en un modo de empuje hacia abajo, en el que el grupo convertidor de energía (4) absorbe una energía eléctrica de entrada desde el acumulador (5) y genera una potencia mecánica de salida para accionar la turbina hidráulica (2), en donde, en el modo de empuje hacia abajo, el grupo convertidor de energía (4) está configurado para proporcionar energía a la turbina hidráulica (2) para accionarla en dicha primera dirección de rotación; **caracterizado porque** la unidad de control (6) está configurada para recibir una señal representativa de una solicitud de reserva de la red y para ajustar el sistema (1) en el modo de empuje hacia abajo, sensible a dicha señal; en donde dicha señal incluye una energía de salida objetivo y un límite de tiempo, dentro del cual dicha energía de salida objetivo debe suministrarse a la red externa (7).

2. Sistema de producción de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un primer inversor (82) conectado entre el acumulador (5) y el grupo convertidor de energía (4), en donde, en dicho modo de empuje hacia abajo, el primer inversor (82) está configurado para recibir una corriente continua desde el acumulador (5) y suministrar una corriente alterna al grupo convertidor de energía (4), en donde la unidad de control (6) está configurada para mantener el sistema (1) en el modo de empuje hacia abajo, hasta que la energía eléctrica de entrada suministrada desde el acumulador (5) hasta el grupo convertidor de energía (4) alcanza un valor máximo relacionado con el primer inversor (82) u otro equipo eléctrico.

3. Sistema de producción de energía (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, además, un sensor configurado para detectar una señal de flujo representativa de un caudal descendente del fluido que fluye en la tubería de presión (3) en la dirección descendente, en donde la unidad de control (6) está configurada para mantener el sistema (1) en el modo de empuje hacia abajo hasta que el caudal descendente detectado por el sensor alcanza un valor predeterminado.

4. Sistema de producción de energía (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la turbina hidráulica (2) es una turbina de flujo axial.

5. Sistema de producción de energía (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, además:

- un segundo inversor (83) conectado entre el acumulador (5) y la red externa (7);

en donde, en el modo de empuje hacia abajo, la unidad de control (6) está configurada para controlar el segundo inversor (83) para que el acumulador (5), además de suministrar dicha energía eléctrica de entrada al grupo convertidor de energía (4), suministre una energía eléctrica de salida adicional a la red externa (7).

6. Sistema de producción de energía (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la unidad de control (6) está configurada, además, para accionar el sistema (1) en un modo de bombeo, en el que el grupo convertidor de energía (4) absorbe una energía eléctrica de entrada adicional desde la red externa (7) y/o desde el acumulador (5), y genera una potencia mecánica de salida adicional para accionar la turbina hidráulica (2) en una segunda dirección de rotación opuesta a la primera dirección de rotación, para hacer que el fluido en la tubería de presión (3) fluya en una dirección ascendente, opuesta a la dirección descendente.

7. Sistema de producción de energía (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el acumulador (5) incluye supercondensadores.

8. Una central eléctrica (10), que comprende:

- el sistema de producción de energía (1) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes;

- un primer depósito (91);

5 - una tubería de presión (3), en donde la tubería de presión (3) tiene un primer extremo conectado al primer depósito (91) y un segundo extremo opuesto al primer extremo, el segundo extremo que tiene una altura menor que el primer extremo, en donde la turbina hidráulica (2) está asociada a la tubería de presión (3) entre el primer extremo y el segundo extremo.

10 9. La central (10) de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende un segundo depósito (92) conectado al segundo extremo de la tubería de presión, el segundo depósito (92) que tiene una altura menor con respecto al primer depósito (91).

15 10. La central (10) de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en donde la tubería de presión (3) tiene una pendiente equivalente en el rango de 10% a 30%.

20 11. Un método para gestionar un sistema de producción de energía (1), en donde el sistema de producción de energía (1) comprende una turbina hidráulica (2), que se puede montar a lo largo de una tubería de presión (3), un grupo convertidor de energía (4), un acumulador (5) y una unidad de control (6), en donde el método comprende las siguientes etapas:

25 - accionar el sistema (1) en el modo de generación de energía, en el que el grupo convertidor de energía (4) recibe una potencia mecánica de entrada desde la turbina hidráulica (2) que gira en una primera dirección por efecto de un fluido que fluye en la tubería de presión (3) en una dirección descendente, en donde el grupo convertidor de energía (4) genera una energía eléctrica de salida y suministra dicha energía eléctrica de salida a una red externa (7) y/o al acumulador (5), en donde el método comprende una etapa de funcionamiento del sistema (1) en un modo de empuje hacia abajo, en la que el grupo convertidor de energía (4) absorbe una energía eléctrica de entrada desde el acumulador (5) y genera una potencia mecánica de salida para accionar la turbina hidráulica (2), en donde, en el modo de empuje hacia abajo, el grupo convertidor de energía (4) proporciona energía a la turbina hidráulica (2) para accionarla en dicha primera dirección de rotación, de manera que la turbina hidráulica (2) es accionada en dicha primera dirección de rotación por efecto del grupo convertidor de energía (4) y proporciona aceleración al flujo de fluido en la dirección descendente; caracterizado porque la unidad de control (6) está configurada para recibir una señal representativa de una solicitud de reserva de la red y para ajustar el sistema (1) en el modo de empuje hacia abajo, sensible a dicha señal; en donde dicha señal incluye una energía de salida objetivo y un límite de tiempo, dentro del cual dicha energía de salida objetivo debe suministrarse a la red externa (7).

40 12. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde, en dicho modo de empuje hacia abajo, el acumulador (5), además de suministrar dicha energía eléctrica de entrada al grupo convertidor de energía (4), suministra una energía eléctrica de salida adicional a la red externa (7).

45 13. El método de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, en donde dicho fluido que fluye en la tubería de presión (3) tiene una primera densidad, en donde la tubería de presión (3) conecta un primer depósito (91) a un segundo depósito (92), que tiene una elevación menor con respecto al primer depósito (91), y en donde el segundo depósito (92) está inmerso operativamente en el fluido ambiental, que tiene una segunda densidad diferente de la primera densidad, y la tubería de presión (3) está inmersa al menos parcialmente operativamente en dicho fluido ambiental.

Fig.1

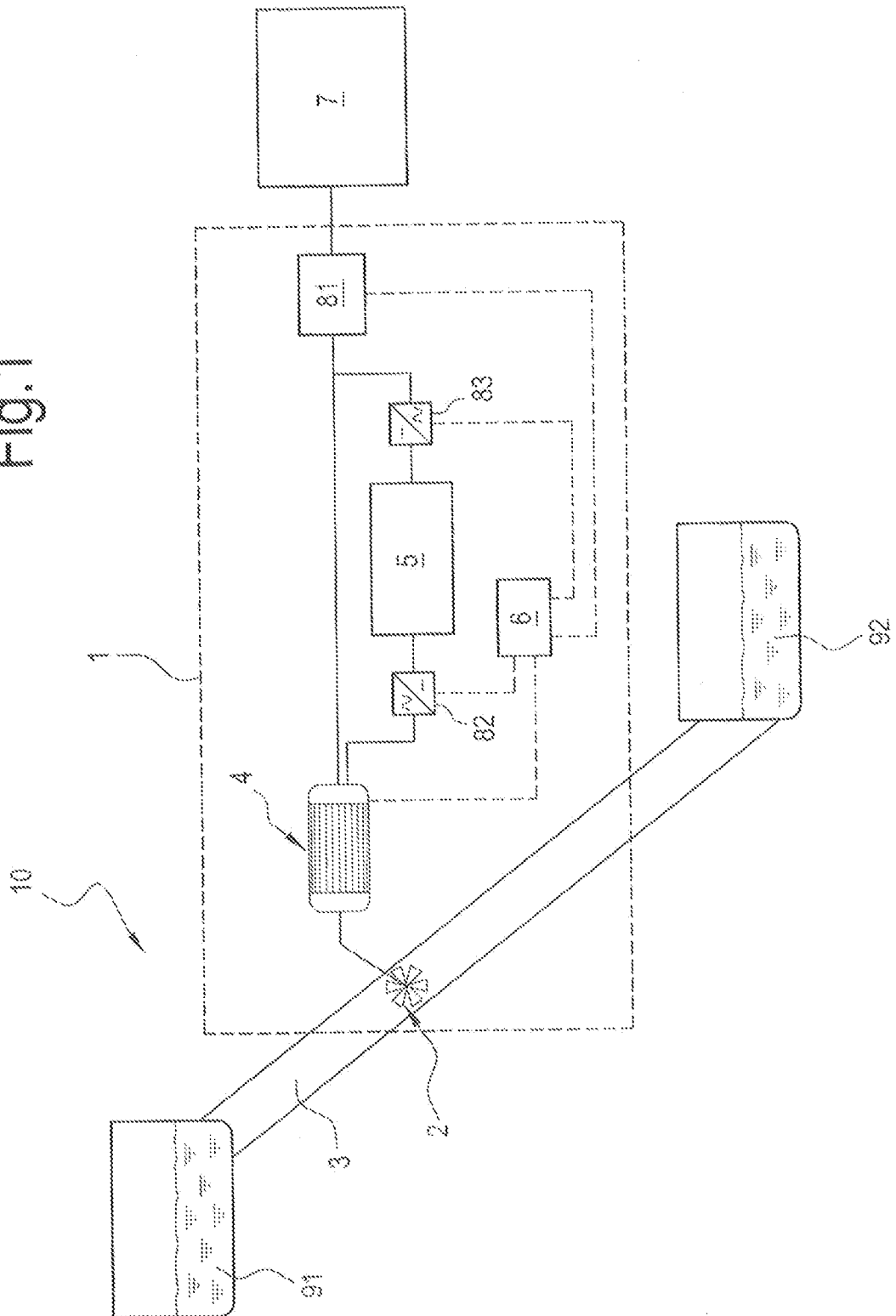


Fig. 2

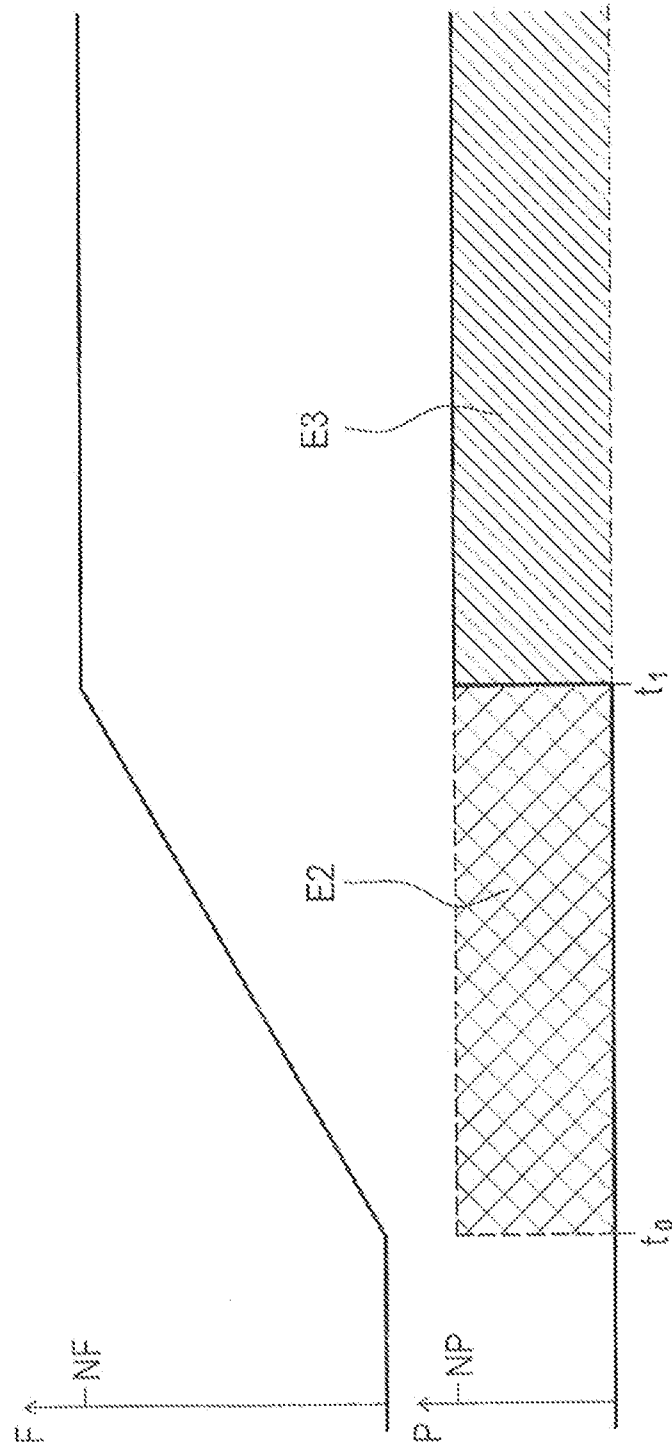


Fig. 3

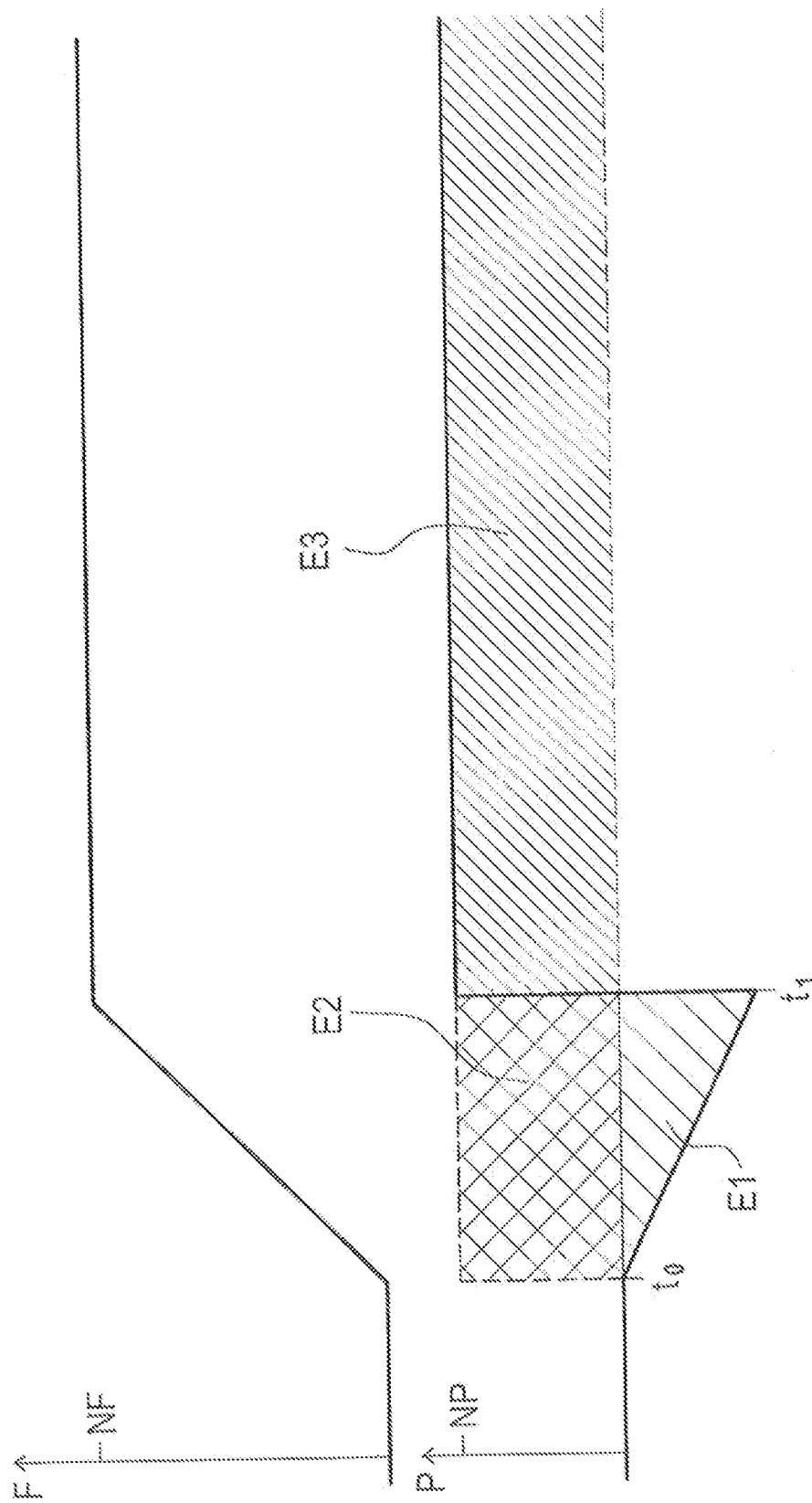


Fig. 4

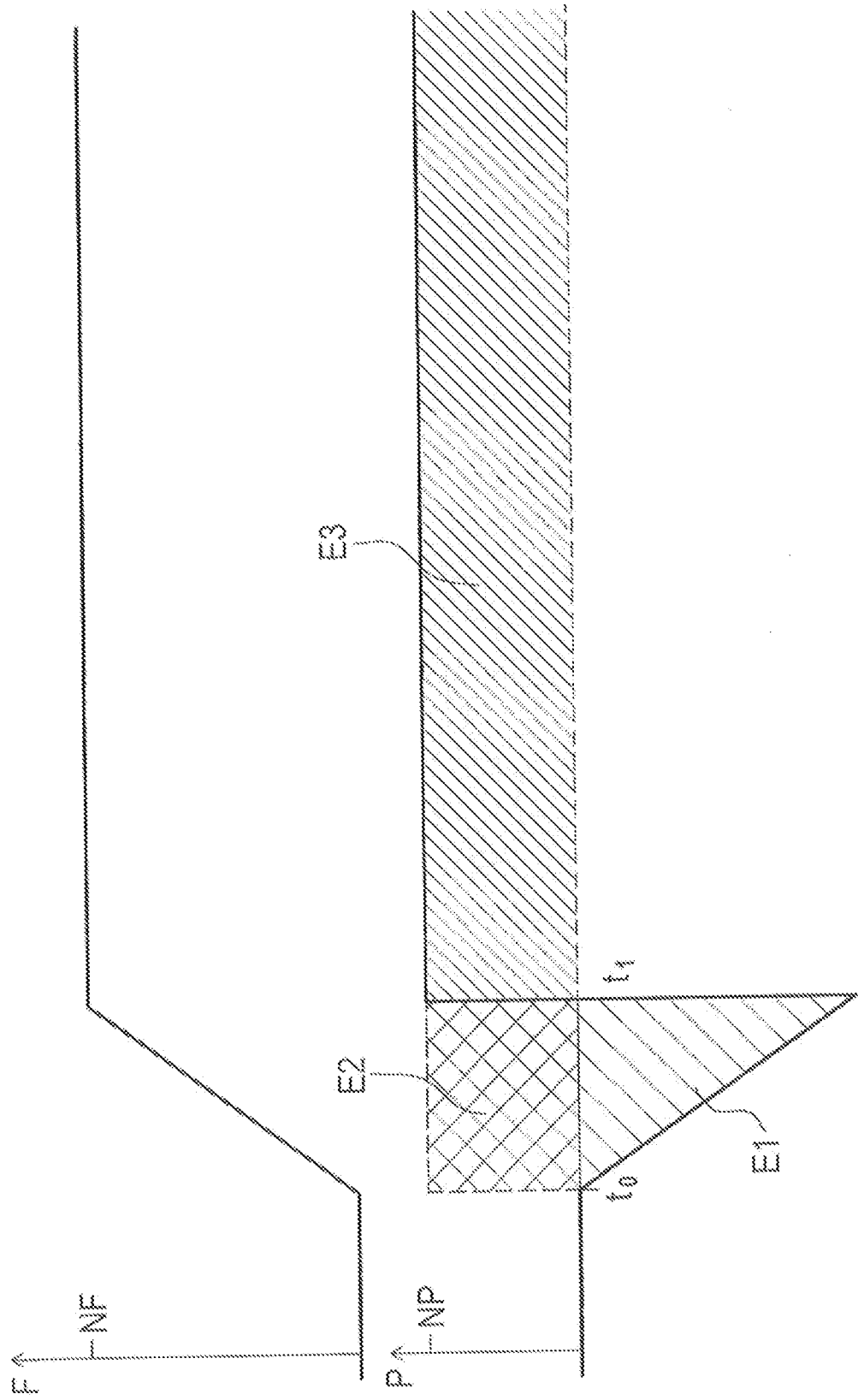
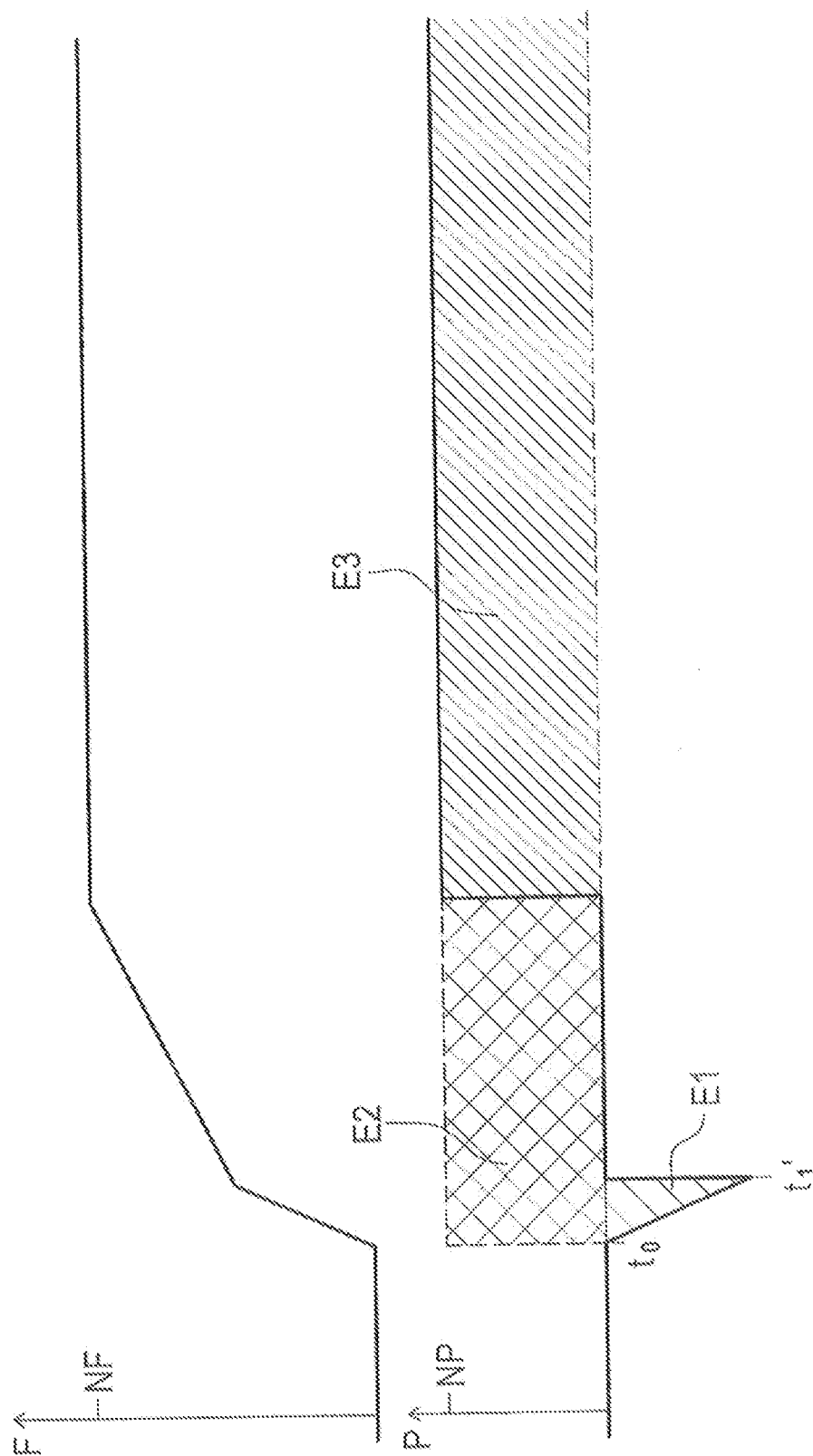


Fig. 5



CO
O
L

