

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 441 470**

21 Número de solicitud: 201231265

51 Int. Cl.:

**E02B 9/00**

(2006.01)

12

## SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

**03.08.2012**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**04.02.2014**

71 Solicitantes:

**BUNT PLANET S.L. (100.0%)  
Zuatzu Kalea 9. Edificio Europa, Planta 3  
20018 San Sebastian (Gipuzkoa) ES**

72 Inventor/es:

**GARCÍA-ALONSO MONTOYA , Andrés ;  
LETE NÚÑEZ, Ainhoa y  
NAVAS MARTÍNEZ, Raúl**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

54 Título: **CENTRAL DE BOMBEO MIXTA Y MÉTODO DE GENERACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

57 Resumen:

Central de bombeo mixta y método de generación y almacenamiento de energía.

Central de bombeo mixta que comprende una red de captación, tratamiento y abastecimiento de agua que comprende, al menos un depósito principal o de cabecera (5, 6) y al menos dos depósitos secundarios (7-12). El al menos un depósito principal (5, 6) y los al menos dos depósitos secundarios (7-12) están conectados entre sí mediante conducciones (24) y medios de válvula (23). El sistema comprende unos medios de conversión (26) de la energía potencial del agua en energía eléctrica, unos medios de bombeo y unos medios de control (33), en conexión con al menos unos medios de actuación (27), adaptados para el accionamiento de los medios de válvula (23), de los medios de conversión (26) y de los medios de bombeo (25).

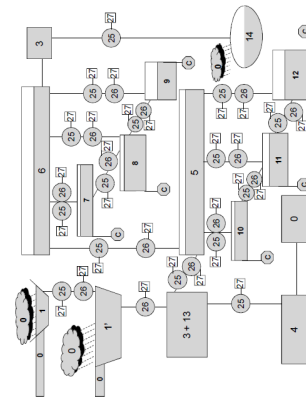


Fig. 1.

**DESCRIPCIÓN**

Central de bombeo mixta y método de generación y almacenamiento de energía.

5 **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención está dirigida a una central de bombeo mixta y a un método para la generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir de dicha central.

10 **ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

En la actualidad, existen muchos sistemas distintos para generar energía. En concreto, dentro del campo de la invención, i.e, la energía hidroeléctrica, existen centrales hidroeléctricas, que transforman la energía potencial de un fluido en energía eléctrica, y centrales de bombeo, que transforman la energía potencial de un fluido en energía eléctrica y viceversa, y la almacenan. Existen también centrales de bombeo mixtas, en las que además del flujo de agua entre el depósito y el contradepósito existe un flujo neto de agua entrante en el depósito superior y saliente del depósito inferior que corresponde a la aportación de un recurso hídrico externo, como por ejemplo un río.

20 El funcionamiento básico de estos sistemas se basa en la elección de un depósito y un contradepósito. Desde el primero se deja caer el fluido por gravedad hacia el segundo, aprovechándose la energía potencial de dicho fluido para producir energía eléctrica. Desde el segundo se puede bombear el fluido hacia el primero en un periodo en el que el coste de la energía eléctrica empleada para bombear sea más bajo, de modo que compense el beneficio por la energía generada en un periodo frente al gasto que supone bombear de nuevo el fluido en el otro periodo.

25 El documento WO07131305A describe una central hidroeléctrica con rellenado indirecto por hidro-acumulación, incluyendo una serie de bombas movidas por un molino de agua o similar, utilizando la energía cinética de la corriente de agua, manga de agua o conducciones a través de los cuales se bombea el agua hacia el depósito de hidro-acumulación.

30 El documento BR0305012 A hace referencia a un sistema de retorno de agua a un pantano, de modo que el agua que se pierde por los aliviaderos se hace retornar al pantano para que se aproveche para cumplir su función generadora de energía. Esto lo lleva a cabo con un bajo coste, ya que utiliza dispositivos existentes en el mercado (bombas comerciales, conducciones, norias, etc.).

35 No obstante, estos sistemas necesitan la construcción de una infraestructura *ad hoc*, siendo por tanto el coste de la infraestructura proporcional al número de elementos que se quieran construir. Además, debido precisamente a este coste, la capacidad de elección entre itinerarios para realizar los trasiegos se ve muy reducida. Tampoco se conoce ningún sistema que tenga en cuenta las pérdidas originadas por las fugas en las conducciones.

40 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION**

45 La presente invención propone una solución al problema anterior mediante un sistema según la reivindicación 1 y un método según la reivindicación 12. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas de la invención.

En un primer aspecto inventivo se presenta una *central de bombeo mixta que comprende una red de abastecimiento de agua que comprende,*

- 50
- *al menos un depósito principal o de cabecera a una altura HP,*
  - *al menos dos depósitos secundarios a una altura H1 y H2 respectivamente,*
- en donde*
- *el al menos un depósito principal y los al menos dos depósitos secundarios están conectados entre sí mediante conducciones y medios de válvula, y*

55 *caracterizado porque comprende*

- *al menos unos medios de conversión de la energía potencial del agua en su trasiego entre dos depósitos por gravedad, en energía eléctrica,*
  - *al menos unos medios de bombeo de agua desde al menos un depósito hasta al menos otro depósito con una altura mayor, y*
  - *unos medios de control en conexión con al menos unos medios de actuación, adaptados para*
    - *el accionamiento de los medios de válvula para permitir el trasiego por gravedad de un flujo de agua desde al menos un depósito hasta al menos otro depósito con una altura menor, y*
- 60

*activación de los al menos unos medios de conversión para la producción de energía eléctrica a partir de dicho flujo de agua asociado durante un periodo de tiempo T1, y*

- *el accionamiento de los medios de válvula y de los al menos unos medios de bombeo para permitir el trasiego de un flujo de agua por bombeo desde al menos uno de los depósitos hasta otro depósito a un altura mayor durante un periodo de tiempo T2.*

5

En el contexto de la presente invención, se entiende por depósito cualquier entidad capaz de almacenar agua, ya sea un depósito al uso, i.e, depósito de cabecera, depósito de cola, aljibe, etc., ya sea cualquier otra entidad de almacenamiento, como un pantano, un río, un acuífero, un lago o mar, etc.

10

En el contexto de la presente invención, se entiende por conducción cualquier medio de conexión que ponga en contacto fluido dos depósitos. Puede entenderse por tanto cualquier tubería, cañería o conducto enterrado o al aire libre, un surco, un canal, una cascada, etc.

15

En el contexto de la presente invención, se entiende que los medios de control están en conexión con los medios de actuación en el sentido de que los medios de control gobiernan los medios de actuación, enviando órdenes de activación o desactivación de los medios (medios de válvula, medios de conversión, medios de bombeo, etc.) sobre los que actúan dichos medios de actuación. Los medios de control utilizan, entre otros aspectos, para dicho gobierno la información que reciben por parte de los diversos sistemas de detección de la central.

20

En el contexto de la presente invención, la activación de los medios de válvula puede servir para diversas funciones, como por ejemplo para abrir o cerrar un conducto y reducir las fugas o como paso inmediatamente anterior a la activación de un medio de conversión o un medio de bombeo, o para hacer un bypass de un medio de conversión o de bombeo.

25

Ventajosamente con una central según la invención, se puede aprovechar una infraestructura que ya ha sido creada para el abastecimiento de agua y utilizarla para almacenar y obtener energía, de modo que ambos sistemas se benefician mutuamente: aprovechar la red de abastecimiento de agua permite al sistema de generación y almacenamiento de energía contar con una gran cantidad de depósitos y conexiones para realizar los trasiegos, y por otro lado, el hecho de poder generar energía permite abastecer de agua y energía de manera más eficiente a las localidades cuya generación y demanda de agua y energía sufre fuertes variaciones temporales tanto horarias como estacionales, y a cuya demanda no puede hacer frente el sistema actual de abastecimiento de energía. Además, una distribución planeada del agua permite que el agua de la que se dispone se distribuya entre núcleos de población de manera más eficiente que con los sistemas encontrados en el estado de la técnica.

30

En una realización particular de la invención, la altura HP es mayor que H1 y mayor que H2.

35

En una realización particular de la invención, la central comprende un sistema de detección de fugas para la detección de un nivel de fuga que comprende al menos dos sensores de caudal de medida directa o indirecta en al menos una conducción. Se entiende por medida directa la de aquellos sensores que miden directamente el caudal que atraviesa la sección donde están instalados. Se entiende por medida indirecta la de aquellos sensores que miden una magnitud que no es el caudal, pero gracias a la cual se puede calcular el caudal que atraviesa dicha sección.

40

En una realización particular de la invención, el sistema de detección comprende un conjunto distribuido de sensores de presión en al menos una conducción.

45

En una realización particular de la invención, los medios de control están en conexión con unos medios de actuación, estando adaptados dichos medios de control para el cierre de los medios de válvula y para la desactivación de los medios de conversión y los medios de bombeo en una conducción cuando el nivel de fuga en dicha conducción supera un umbral de fuga. Esto permite optimizar el funcionamiento de la central, teniendo en cuenta qué conexiones tienen un nivel de fuga demasiado elevado como para dejar de resultar ventajoso el hecho de utilizar esa conexión para realizar el trasiego.

50

En una realización particular de la invención, la central comprende al menos un sensor de detección de contenido de cloro para la detección de un nivel de contenido de cloro, y al menos un medio dosificador de cloro. En una realización particular de la invención, cada depósito comprende un sensor de detección de contenido de cloro. En una realización particular de la invención, cada depósito comprende un medio dosificador de cloro. En una realización particular de la invención, los medios de actuación están adaptados para activar el al menos un medio dosificador de cloro cuando el nivel de contenido de cloro está por debajo de un umbral de cloro. Esto permite que el agua recupere, en caso de ser necesario, sus propiedades de potabilidad si las pierde durante el trasiego, y pueda seguir siendo apta para el consumo de la población de las localidades abastecidas.

55

En una realización particular de la invención, al menos un depósito comprende un sensor de nivel.

60

65

En una realización particular de la invención, los medios de control están adaptados para llevar a cabo las siguientes acciones:

- 5       • recibir información relativa a valores históricos correspondientes a la época del año y el carácter laboral o festivo de la jornada y a los valores estimados de la demanda de agua de cada depósito durante un número de horas siguientes al comienzo del trasiego, y
- seleccionar, haciendo uso de dicha información recibida,
  - 10       - antes del periodo T1 al menos una conducción en la que se va a realizar trasiego de agua por gravedad, accionando los correspondientes medios de válvula y activando los medios de conversión, y
  - 15       - antes del periodo T2 al menos una conducción en la que se va a realizar el trasiego de agua por bombeo, accionando los correspondientes medios de válvula y activando los medios de bombeo.

Esto permite integrar la información sobre las necesidades de abastecimiento de agua de las distintas poblaciones abastecidas por los depósitos, de modo que además de aprovechar el agua para generar energía, se permite un mejor abastecimiento de las poblaciones.

En un segundo aspecto inventivo se presenta un *método de obtención y almacenamiento de energía eléctrica con una central de bombeo mixta según el primer aspecto inventivo, caracterizado por que comprende los siguientes pasos:*

- 25       • *durante un periodo de tiempo T1,*
  - *accionamiento de los medios de válvula para el trasiego por gravedad de un flujo de agua entre al menos un depósito y al menos otro depósito a una altura menor, y*
  - *accionamiento de los al menos unos medios de conversión para la producción de energía eléctrica a partir de dicho flujo de agua asociado,*
- 30       • *durante un periodo de tiempo T2,*
  - *accionamiento de los medios de válvula y*
  - *accionamiento de los al menos unos medios de bombeo para el trasiego de un flujo de agua desde al menos uno de los depósitos a otro depósito a una altura mayor.*

En una realización particular de la invención, el método comprende adicionalmente las etapas de:

- 35       • comprobar el nivel de fuga de una conducción, preferentemente por el sistema de detección de fugas, y
- 40       • si el nivel de fuga supera el umbral de fuga, desactivar los medios de conversión y los medios de bombeo en dicha conducción.

En una realización particular de la invención, la comprobación del nivel de fuga se realiza al menos una vez en al menos uno de los periodos de tiempo T1 o T2.

En una realización particular de la invención, el método se lleva a cabo tomando como referencia temporal un día, dividido en intervalos temporales, y un índice "n" que recorra dichos intervalos temporales dentro de dicha referencia temporal.

En una realización particular de la invención, los medios de control reciben información relativa a valores históricos correspondientes a la época del año y el carácter laboral o festivo del día de referencia y a los valores estimados de la demanda de agua de cada depósito durante dicho día de referencia.

En una realización particular de la invención, los medios de control realizan las siguientes acciones:

- 55       • antes de comenzar el día de referencia, seleccionar al menos una conducción en la que se va a realizar trasiego de agua por gravedad, accionando los correspondientes medios de válvula y activando los medios de conversión, y
- 60       • antes de comenzar el día de referencia, seleccionar al menos una conducción en la que se va a realizar el trasiego de agua por bombeo, accionando los correspondientes medios de válvula y activación de los medios de bombeo, en función de los valores estimados de la demanda de agua de cada depósito durante dicho día de referencia.

En una realización particular de la invención, los medios de control seleccionan para cada intervalo temporal n del día de referencia las conducciones entre las que se va a realizar el trasiego mediante la optimización de una función de coste C

$$C = \sum_{n,i,j} C_{n,i,j}, \quad \text{siendo } C_{n,i,j} = (Q_{n,i,j} - F_{n,i,j}) \cdot g \cdot (h_{n,i} - h_{n,j}) \cdot \eta_{n,i,j} \cdot k_{n,i,j} \cdot T_{n,i,j} + F_{n,i,j} \cdot P \cdot T_{n,i,j}$$

5

Cubriendo i y j todos los pares de depósitos de la central, incluyendo los intercambios de agua con el ambiente y las aportaciones al consumo externo, y cubriendo n cada una de los intervalos temporales del día, y siendo cada uno de los términos:

10

*C<sub>n,i,j</sub>*: coste del trasiego entre el depósito i y el depósito j

*Q<sub>n,i,j</sub>*: gasto másico (en kg/s) que atraviesa la conducción en el trasiego entre el depósito i y el depósito j, constante durante el tiempo *T<sub>n,i,j</sub>*.

*F<sub>n,i,j</sub>*: gasto másico (en kg/s) que se pierde por fugas en el trasiego entre el depósito i y el depósito j, constante durante el tiempo *T<sub>n,i,j</sub>*, y estimado por medio de datos históricos.

15

*g*: aceleración de la gravedad

*h<sub>n,i</sub>*: altura media del nivel en el depósito i durante el intervalo temporal n

*h<sub>n,j</sub>*: altura media del nivel en el depósito j durante el intervalo temporal n

*η<sub>n,i,j</sub>*: rendimiento de la máquina, turbina o turbina-bomba en el caso de un trasiego por gravedad o bomba en el caso de un trasiego por bombeo, constante durante el intervalo temporal n.

20

*k<sub>n,i,j</sub>*: coste de la electricidad, para vender en el caso de trasiego por gravedad (en cuyo caso tendrá un valor positivo) o para comprar en el caso de trasiego por bombeo (en cuyo caso tendrá un valor negativo). Se estima al comienzo de cada jornada en base a datos históricos y otras informaciones. Se considera que permanece constante durante el intervalo temporal n.

25

*T<sub>n,i,j</sub>*: tiempo durante el cual tiene lugar el trasiego dentro del intervalo temporal n, será *T<sub>1n,i,j</sub>* en el caso del trasiego por gravedad o *T<sub>2n,i,j</sub>* en el caso del trasiego por bombeo.

*P*: precio del agua, constante.

30

en donde para la optimización de la función interviene la limitación de mantener el nivel mínimo de los depósitos, por motivos del uso del depósito; estando dado en los depósitos de consumo por las necesidades de abastecimiento, y en los depósitos naturales, por necesidades ecológicas.

35

Tanto la central de bombeo mixta como el método de generación y almacenamiento de energía, ambos objeto de la presente invención, aportan una solución que ofrece la ventaja de permitir la absorción de los picos de electricidad generados por fuentes de generación de energía discontinuas cuyos picos de generación no coinciden con los picos de demanda de energía, por ejemplo, la energía eólica. En cualquier momento la central puede almacenar energía en forma de energía potencial del agua en los depósitos más altos.

40

Los n intervalos temporales se establecen de modo que durante cada uno de ellos el precio de compra y el de venta de la energía permanezcan constantes como sucede por ejemplo durante los periodos de tarifa constante como pueden ser las consideradas horas valle y horas punta o como sucede por ejemplo cuando la oferta y la demanda energética de algunos sistemas se ajustan fijando un precio mediante subasta para periodos de tiempo prefijados como puede ser por ejemplo cada hora del día.

45

A lo largo de todo el documento, se debe entender como consumo externo cualquier consumo que se realice a partir de los depósitos, como por ejemplo, consumo humano, industrial, agrícola, ganadero, etc.

50

Todas las características y/o las etapas de métodos descritas en esta memoria (incluyendo las reivindicaciones, descripción y dibujos) pueden combinarse en cualquier combinación, exceptuando las combinaciones de tales características mutuamente excluyentes.

55

### **DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

60

Estas y otras características y ventajas de la invención, se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción detallada que sigue de una forma preferida de realización, dada únicamente a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a las figuras que se acompañan.

Figura 1 Esquema de un sistema según la invención, donde se observan todos sus componentes y las relaciones entre ellos.

Figura 2 Esquema de un método según la invención, realizado entre dos entidades genéricas.

65

### **EXPOSICIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

En la exposición que se va a realizar se han utilizado las siguientes referencias:

- 0: Río, mar, lluvia, ambiente, etc.  
 1, 1': Azud, pantano, etc.  
 3: ETAP, *Estación de Tratamiento de Agua Potable*  
 4: Desaladora con su depósito  
 5 5: Depósito de cabecera de baja cota  
 6: Depósito de cabecera de alta cota  
 7-12: Depósito de cola  
 13: Depósito de salida de la ETAP  
 14: Acuífero  
 10 C: Consumo externo
- 21: Entidad genérica 1  
 22: Entidad genérica 2  
 23: Medios de válvula  
 15 24: Conducción  
 25: Medios de bombeo  
 26: Medios de conversión  
 27: Medios de actuación  
 28: Sensor de caudal  
 20 29: Sensor de presión  
 30: Sensor de contenido en cloro  
 31: Medios dosificadores de cloro  
 32: Sistema de detección de fugas  
 33: Medios de control (no representados en las figuras)  
 25 34: Sensor de nivel

Del mismo modo, en las explicaciones también se hará referencia a las siguientes nomenclaturas:

30  $n$  es el índice temporal, indica el intervalo temporal en el que tiene lugar cada una de las acciones. Se considera que las magnitudes permanecen constantes durante el periodo de tiempo indicado por el índice  $n$ . La suma en  $n$  de todos los intervalos da como resultado un día, que es la unidad que se toma como referencia, ya que las decisiones sobre cómo realizar los trasiegos se toman para cada día.

35  $h_{b,i}$  indica la altura a la que se encuentra la base de un depósito natural o artificial  $i$ :  $h_{b,1}$  es la altura de la base del azud (1),  $h_{b,5}$  es la altura de la base del depósito de cabecera de baja cota (5), etc. A su vez,  $n_{n,i}$  indica el nivel de llenado en el intervalo temporal  $n$  de un depósito  $i$ , con respecto a su altura  $h_{b,i}$ :  $n_{n,1}$  será el nivel de llenado del azud (1) con respecto a la altura de su base  $h_{b,1}$ , y así sucesivamente. También se define la altura en el intervalo temporal  $n$  del nivel de un depósito  $h_{n,i} = h_{b,i} + n_{n,i}$

40  $Q_{n,i,j}$  indica el caudal que circula en el intervalo temporal  $n$  entre el depósito  $i$  y el depósito  $j$ . Así,  $Q_{n,5,6}$  será el caudal que circula entre el depósito de cabecera de baja cota (5) y el depósito de cabecera de alta cota (6).  $Q_{n,5,0}$  indica las pérdidas al ambiente (0) desde el depósito de cabecera de baja cota (5), y  $Q_{n,5,C}$  indica el flujo de agua que se trasiega desde el depósito de cabecera de baja cota (5) al consumo externo.

45  $F_{n,i,j}$  indica las fugas en la conducción (24) que une las entidades  $i$  y  $j$ , con un criterio de nomenclatura análogo al del caudal:  $F_{n,5,6}$  serán las fugas que presenta en el intervalo temporal  $n$  la conducción (24) que une el depósito de cabecera de baja cota (5) y el depósito de cabecera de alta cota (6).

#### 50 Descripción de las figuras

En la figura 1 se puede observar una realización preferida de un sistema según la invención. En esta figura se observa la existencia de los siguientes elementos:

- 55 - Elementos de aporte natural de agua o de recogida natural de las pérdidas (0): un río, el mar, la lluvia, el ambiente, etc.
- Depósitos naturales (1), (1'): un azud, un pantano, etc.
- Dos depósitos principales, llamados también depósitos de cabecera: el depósito de cabecera de baja cota (5) y el depósito de cabecera de alta cota (6).
- Varios depósitos secundarios (7-12).
- 60 - Medios de conversión (26) situados en cada conducción (24).
- Medios de bombeo (25) situados en cada conducción (24).
- Medios de actuación (27) situados en los medios de conversión (26) y en los medios de bombeo (25).

En un ejemplo particular de realización, los medios de conversión son una turbina o una bomba utilizada como turbina o una turbina-bomba. Cuando lo que se utiliza es una bomba utilizada como turbina o una turbina-bomba, la reversión de su funcionamiento permite utilizarlos como medios de bombeo.

5 En la Figura 2 se observa un detalle del sistema con los elementos existentes entre una primera entidad genérica  $i$  (21) y una segunda entidad genérica  $j$  (22). Debe entenderse como entidades genéricas cualesquiera elementos naturales de aporte o recogida de pérdidas (0), depósitos naturales (1, 1'), depósitos de cabecera (5, 6), depósitos secundarios (7-12), el consumo externo (C). Entre estas dos entidades se muestran una serie de elementos:

10

- una válvula (23) en cada entidad;
- dos sensores de caudal (28) en cada conducción (24);
- dos sensores de presión (29) en cada conducción (24); y
- algunos de los elementos incluidos en la Figura 1, i.e., los medios de bombeo (25), medios de conversión (26) y medios de actuación (27).

15

El sistema de detección de fugas (32) utiliza la información recibida por los sensores de caudal (28) y los sensores de presión (29). Los sensores de caudal (28) son imprescindibles para la detección de las fugas, mientras que los sensores de presión (29) ofrecen un mayor detalle sobre la situación de la fuga, cuando ésta existe. Los valores de las fugas en los depósitos se miden comparando los caudales de salida y entrada del depósito con el volumen de agua almacenada que se conoce por medio de un sensor de nivel (34) que sirve además para el control de los niveles mínimos exigidos en cada depósito.

20

Estos niveles mínimos exigidos en cada depósito pueden venir impuestos por varias causas:

25

- El suministro de agua al consumo externo: este requisito impone que el nivel mínimo de un depósito sea el necesario para hacer frente a la demanda.
- El nivel mínimo por motivos ecológicos: este requisito impone que el nivel mínimo de un pantano, acuífero o cualquier otro depósito de estas características sea el imprescindible para que se cumplan las condiciones ecológicas establecidas por las autoridades competentes.

30

El nivel máximo admisible de fugas se establecerá de modo que si se supera dicho nivel, el trasiego no sea rentable. No obstante, esto no quiere decir que sólo se realicen trasiegos rentables en el sistema, ya que la exigencia del consumo externo puede obligar a realizar un trasiego por una conducción cuyo nivel de fuga sea superior al máximo admisible. Si dicho trasiego se realiza por gravedad, también se activan los medios de conversión para extraer energía.

35

Así las cosas, se lleva a cabo un ejemplo particular de un método según la invención, en el que intervienen los siguientes elementos y variables:

40

- Una primera entidad genérica  $i$  (21) y una segunda entidad genérica  $j$  (22), entre las que se va a realizar el trasiego, cada una de ellas con sus alturas de nivel ( $h_{n,i}$ ,  $h_{n,j}$ ), sus medios de válvula (23), sus sensores de detección de contenido de cloro (30), sus medios dosificadores de cloro (31).
- Las fugas de agua ( $F_{n,i,j}$ ) que presenta el trasiego.
- Un tiempo  $T_{1n,i,j}$  durante el cual se realiza un trasiego por gravedad de un caudal ( $Q_{n,i,j}$ ) desde la primera entidad genérica  $i$  (21) a la segunda entidad genérica  $j$  (22), que se puede aprovechar o no para extraer energía por medio de unos medios de conversión (26), en particular una turbina.
- Un tiempo  $T_{2n,i,j}$  durante el cual se realiza un bombeado de un caudal ( $Q_{n,i,j}$ ) desde la primera entidad genérica  $i$  (21) a la segunda entidad genérica  $j$  (22), por medio de unos medios de bombeo (25).

50

En realizaciones particulares,  $T_{1n,i,j}$  o  $T_{2n,i,j}$  son cero, puesto que no existe la necesidad de realizar durante todos los intervalos temporales las dos operaciones de trasvasar un caudal por gravedad y volver a bombearlo.

Antes de iniciar el funcionamiento, los medios de control (33) reciben información relativa a valores históricos correspondientes a la época del año y el carácter laboral o festivo de la jornada y a los valores estimados de la demanda de agua de dichos depósitos durante el día de referencia. Estos datos proporcionan los niveles mínimos de ambas entidades mencionados anteriormente, que tendrán que respetarse durante ese día, ya que de otro modo se pondría en peligro el suministro de agua a las poblaciones.

55

Además de estos niveles mínimos necesarios en cada depósito, existe una segunda condición que proporciona al sistema los valores de  $T_{1n,i,j}$  y  $T_{2n,i,j}$ . Esta es la maximización de una función de coste  $C$ :

60

$$C = \sum_{n,i,j} C_{n,i,j}, \quad \text{siendo } C_{n,i,j} = (Q_{n,i,j} - F_{n,i,j}) \cdot g \cdot (h_{n,i} - h_{n,j}) \cdot \eta_{n,i,j} \cdot k_{n,i,j} \cdot T_{n,i,j} + F_{n,i,j} \cdot P \cdot T_{n,i,j}$$

Cubriendo  $i$  y  $j$  todos los pares de depósitos de la central, y cubriendo  $n$  cada una de los intervalos temporales del día, y siendo cada uno de los términos:

$C_{n,i,j}$ : coste del trasiego entre el depósito  $i$  y el depósito  $j$

5  $Q_{n,i,j}$ : gasto másico (en kg/s) que atraviesa la conducción en el trasiego entre el depósito  $i$  y el depósito  $j$

$F_{n,i,j}$ : gasto másico (en kg/s) que se pierde por fugas en el trasiego entre el depósito  $i$  y el depósito  $j$

$g$ : aceleración de la gravedad

$h_{n,i}$ : altura media del nivel en el depósito  $i$  durante el intervalo temporal  $n$

$h_{n,j}$ : altura media del nivel en el depósito  $j$  durante el intervalo temporal  $n$

10  $\eta_{n,i,j}$ : rendimiento de la máquina, turbina o turbina-bomba en el caso de un trasiego por gravedad o bomba en el caso de un trasiego por bombeo

$k_{n,i,j}$ : coste de la electricidad, para vender en el caso de trasiego por gravedad (en cuyo caso tendrá un valor positivo) o para comprar en el caso de trasiego por bombeo (en cuyo caso tendrá un valor negativo). Se estima al comienzo de cada jornada en base a datos históricos y otras informaciones. Se considera que permanece constante durante el intervalo temporal  $n$ .

15  $T_{n,i,j}$ : tiempo durante el cual tiene lugar el trasiego dentro del intervalo temporal  $n$ , será  $T1_{n,i,j}$  en el caso del trasiego por gravedad o  $T2_{n,i,j}$  en el caso del trasiego por bombeo.

$P$ : precio del agua

20 Para optimizar esta función se tendrán en cuenta todos los posibles trasiegos entre depósitos ( $i,j$ ), incluyendo

- los intercambios con el ambiente: el ambiente aporta a la central el agua de la lluvia, el agua de un río o del mar; por su parte la central cede al ambiente el agua que se evapora de cualquiera de sus depósitos, y
- 25 - las aportaciones al consumo externo.

A la hora de evaluar esta función, es necesario tener en cuenta las limitaciones antes señaladas:

- 30 - Los depósitos han de mantener en cada intervalo temporal un nivel mínimo determinado antes de comenzar el día de referencia, por motivos que dependen del depósito; en los depósitos de consumo externo serán exigencias de consumo; en los depósitos naturales, serán exigencias ecológicas.
- Se ha de satisfacer la demanda real de consumo de agua
- Se han de restringir las pérdidas de agua por fugas. El valor a usar para las fugas ( $F_{n,i,j}$ ) será estimado por medio de valores históricos, no con los datos del sistema de detección de fugas (32), ya que la optimización de la función y la consecuente elección de los depósitos entre los cuales se va a producir el trasiego sucede antes de que se produzcan las fugas. Estos valores de fugas detectados por el sistema de detección de fugas (32) sólo se utilizan como alertas para advertir por ejemplo del hecho de un posible valor excesivamente bajo en el nivel de un depósito, y poder garantizar el suministro mínimo de agua exigido en todos los depósitos de la central.

40 No obstante, en el caso de que por necesidades de abastecimiento sea necesario utilizar una conducción que no sea rentable por cuestiones de fugas, primará el criterio de garantizar el abastecimiento.

45 En un ejemplo particular de realización, en los periodos en el que una variación de  $Q_{n,i,j}$  no tiene influencia en el coste (debido a que el precio  $k_{n,i,j}$  permanezca constante aunque se alargue el tiempo del trasiego), se fija  $Q_{n,i,j}$  como el valor que maximiza el rendimiento de los medios de bombeo o de conversión colocados en la conducción que une los depósitos  $i$  y  $j$ .

50 Una vez recibidos y analizados esos datos y los datos de los niveles actuales de los depósitos para cada intervalo temporal  $n$  y para cada par de depósitos  $i,j$ , el periodo  $T1_{n,i,j}$  comienza con el accionamiento, por parte de los medios de actuación (27) y tras la orden recibida desde los medios de control (33), de los correspondientes medios de válvula (23) de ambos depósitos  $i$  y  $j$  (21 y 22) y la activación de los medios de conversión (26). El periodo  $T1_{n,i,j}$  concluye con la desactivación de los medios de conversión (26) y el cierre de los medios de válvula (23). Análogamente, el periodo  $T2_{n,i,j}$  comienza con la apertura, por parte de los medios de actuación (27), de los correspondientes medios de válvula (23) de ambos depósitos  $i$  y  $j$  (21 y 22) y activando los medios de bombeo (25). El periodo  $T2_{n,i,j}$  concluye con la desactivación de los medios de bombeo (25) y el cierre de los medios de válvula (23).

60 Además, en un ejemplo particular de realización, los medios de control (33) llevan a cabo las siguientes acciones al menos una vez al día:

- comprobar el nivel de fuga de una conducción (24), detectado por el sistema de detección de fugas (32), y

- si el nivel de fuga supera un determinado umbral de fuga predeterminado, no considerar esa conducción (24) para realizar los pasos indicados anteriormente en el método, no iniciando los periodos  $T_{1,n,i,j}$  ni  $T_{2,n,i,j}$ .

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Central de bombeo mixta que comprende una red de captación, tratamiento y abastecimiento de agua que comprende,
- 5       • al menos un depósito principal o de cabecera (5, 6) a una altura HP (hb5, hb6),  
       • al menos dos depósitos secundarios (7-12) a una altura H1 y H2 respectivamente,  
 en donde
- 10       • el al menos un depósito principal (5, 6) y los al menos dos depósitos secundarios (7-12) están conectados entre sí mediante conducciones (24) y medios de válvula (23), y  
 caracterizado porque comprende
- 15       • al menos unos medios de conversión (26) de la energía potencial del agua en su trasiego entre dos depósitos (5-12) por gravedad, en energía eléctrica,  
       • al menos unos medios de bombeo de agua (25) desde al menos un depósito (5-12) hasta al menos otro depósito (5-12) con una altura mayor, y
- 20       • unos medios de control (33), en conexión con al menos unos medios de actuación (27), adaptados para  
       - el accionamiento de los medios de válvula (23) para permitir el trasiego por gravedad de un flujo de agua (Q) desde al menos un depósito (5-12) hasta al menos otro depósito (5-12) con una altura menor, y activación de los al menos unos medios de conversión (26) para la producción de energía eléctrica a partir de dicho flujo de agua (Q) asociado durante un periodo de tiempo T1, y  
       - el accionamiento de los medios de válvula (23) y de los al menos unos medios de bombeo (25) para permitir el trasiego de un flujo de agua (Q) por bombeo desde al menos uno de los depósitos (5-12) hasta otro depósito (5-12) a un altura mayor durante un periodo de tiempo T2.
- 25 2.- Central de bombeo mixta según la reivindicación 1, caracterizado por que la altura HP es mayor que H1 y mayor que H2.
- 3.- Central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende un sistema de detección de fugas (32) para la detección de un nivel de fuga caracterizado por que comprende al menos dos sensores de caudal (28) de medida directa o indirecta en al menos una conducción (24).
- 30 4.- Central de bombeo mixta según la reivindicación 3, donde el sistema de fugas (32) comprende un conjunto distribuido de sensores de presión (29) en al menos una conducción (24).
- 35 5.- Central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones 3 o 4, caracterizado porque los medios de control (33) están en conexión con unos medios de actuación (27) adaptados para el cierre de los medios de válvula (23) y la desactivación de los medios de conversión (26) y los medios de bombeo (25) en una conducción (24) cuando el nivel de fuga en dicha conducción (24) supera un umbral de fuga.
- 40 6. Central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende al menos un sensor de detección de contenido de cloro (30) para la detección de un nivel de contenido de cloro, y al menos un medio dosificador de cloro (31).
- 45 7. Central de bombeo mixta según la reivindicación 6, caracterizado porque cada depósito (5-12) comprende un sensor de detección de contenido de cloro (30).
8. Central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, caracterizado porque cada depósito (5-12) comprende un medio dosificador de cloro (31).
- 50 9.- Central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado porque los medios de actuación (27) están adaptados para activar el al menos un medio dosificador de cloro (31) cuando el nivel de contenido de cloro está por debajo de un umbral de cloro.
- 10.- Central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos un depósito (5-12) comprende un sensor de nivel (34).
- 55 11.- Central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los medios de control (33) están adaptados para llevar a cabo las siguientes acciones:
- 60       • recibir información relativa a valores históricos correspondientes a la época del año y el carácter laboral o festivo de la jornada y a los valores estimados de la demanda de agua de cada depósito durante un número de horas siguientes al comienzo del trasiego, y  
       • seleccionar, haciendo uso de dicha información recibida,

- antes del periodo T1 al menos una conducción (24) en la que se va a realizar trasiego de agua por gravedad, accionando los correspondientes medios de válvula (23) y activando los medios de conversión (26), y
- antes del periodo T2 al menos una conducción (24) en la que se va a realizar el trasiego de agua por bombeo, accionando los correspondientes medios de válvula (23) y activando los medios de bombeo (25).

12.- Método de obtención y almacenamiento de energía eléctrica con una central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende los siguientes pasos:

- durante un periodo de tiempo T1,
  - accionamiento de los medios de válvula (23) para permitir el trasiego por gravedad de un flujo de agua ( $Q_{i,j}$ ) entre al menos un depósito i (5-12) hasta al menos otro depósito j (5-12) a una altura menor, y
  - accionamiento de al menos unos medios de conversión (26) para la producción de energía eléctrica a partir de dicho flujo de agua ( $Q_{i,j}$ ) asociado,
- durante un periodo de tiempo T2,
  - accionamiento de los medios de válvula (23) y
  - accionamiento de los al menos unos medios de bombeo (25) para el trasiego de un flujo de agua (Q) desde al menos uno de los depósitos (5-12) hasta otro depósito (5-12) a un altura mayor.

13.- Método de obtención y almacenamiento de energía eléctrica con una central de bombeo mixta según la reivindicación 12, caracterizado por que comprende adicionalmente las etapas de:

- comprobar el nivel de fuga de una conducción (24), detectado por el sistema de detección de fugas (32), y
- si el nivel de fuga supera el umbral de fuga, desactivar los medios de conversión (26) y los medios de bombeo (25) en dicha conducción (24).

14.- Método de obtención y almacenamiento de energía eléctrica con una central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, en el que la comprobación del nivel de fuga se realiza al menos una vez en al menos uno de los periodos de tiempo T1 o T2.

15. Método de obtención y almacenamiento de energía eléctrica con una central de bombeo mixta según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, caracterizado porque se lleva a cabo tomando como referencia temporal un día, dividido en intervalos temporales, y un índice "n" que recorra dichos intervalos temporales dentro de dicha referencia temporal.

16.- Método de obtención y almacenamiento de energía eléctrica con una central de bombeo mixta según la reivindicación 15, caracterizado porque los medios de control (33) realizan las siguientes acciones:

- reciben información relativa a valores históricos correspondientes a la época del año y el carácter laboral o festivo del día de referencia y a los valores estimados de la demanda de agua de cada depósito durante dicho día de referencia.
- antes de comenzar el día de referencia, seleccionar, haciendo uso de la información recibida, al menos una conducción (24) en la que se va a realizar trasiego de agua por gravedad, accionando los correspondientes medios de válvula (23) y activando los medios de conversión (26), y
- antes de comenzar el día de referencia, seleccionar, haciendo uso de la información recibida, al menos una conducción (24) en la que se va a realizar el trasiego de agua por bombeo, accionando los correspondientes medios de válvula (23) y activación de los medios de bombeo (25), en función de los valores estimados de la demanda de agua de cada depósito durante el día de referencia.

17.- Método de obtención y almacenamiento de energía con una central de bombeo mixta según la reivindicación 16, caracterizado porque los medios de control (33) seleccionan para cada intervalo temporal n del día de referencia las conducciones (24) entre las que se va a realizar el trasiego mediante la optimización de una función de coste C

$$C = \sum_{n,i,j} C_{n,i,j}, \quad \text{siendo } C_{n,i,j} = (Q_{n,i,j} - F_{n,i,j}) \cdot g \cdot (h_{n,i} - h_{n,j}) \cdot \eta_{n,i,j} \cdot k_{n,i,j} \cdot T_{n,i,j} + F_{n,i,j} \cdot P \cdot T_{n,i,j}$$

Cubriendo i y j todos los pares de depósitos de la central, incluyendo los intercambios de agua con el ambiente y las aportaciones al consumo externo, y cubriendo n cada una de los intervalos temporales del día, y siendo cada uno de los términos:

$C_{n,i,j}$ : coste del trasiego entre el depósito i y el depósito j

$Q_{n,ij}$ : gasto másico (en kg/s) que atraviesa la conducción en el trasiego entre el depósito  $i$  y el depósito  $j$ , constante durante el tiempo  $T_{n,ij}$ .

$F_{n,ij}$ : gasto másico (en kg/s) que se pierde por fugas en el trasiego entre el depósito  $i$  y el depósito  $j$ , constante durante el tiempo  $T_{n,ij}$ , y estimado por medio de datos históricos.

5  $g$ : aceleración de la gravedad

$h_{n,i}$ : altura media del nivel en el depósito  $i$  durante el intervalo temporal  $n$

$h_{n,j}$ : altura media del nivel en el depósito  $j$  durante el intervalo temporal  $n$

$\eta_{n,ij}$ : rendimiento de la máquina, turbina o turbina-bomba en el caso de un trasiego por gravedad o bomba en el caso de un trasiego por bombeo, constante durante el intervalo temporal  $n$ .

10  $k_{n,ij}$ : coste de la electricidad, para vender en el caso de trasiego por gravedad (en cuyo caso tendrá un valor positivo) o para comprar en el caso de trasiego por bombeo (en cuyo caso tendrá un valor negativo). Se estima al comienzo de cada jornada en base a datos históricos y otras informaciones. Se considera que permanece constante durante el intervalo temporal  $n$ .

15  $T_{n,ij}$ : tiempo durante el cual tiene lugar el trasiego dentro del intervalo temporal  $n$ , será  $T1_{n,ij}$  en el caso del trasiego por gravedad o  $T2_{n,ij}$  en el caso del trasiego por bombeo.

$P$ : precio del agua, constante.

20 en donde para la optimización de la función interviene la limitación de mantener el nivel mínimo de los depósitos, por motivos del uso del depósito; estando dado en los depósitos de consumo externo por las necesidades de abastecimiento, y en los depósitos naturales, por necesidades ecológicas.

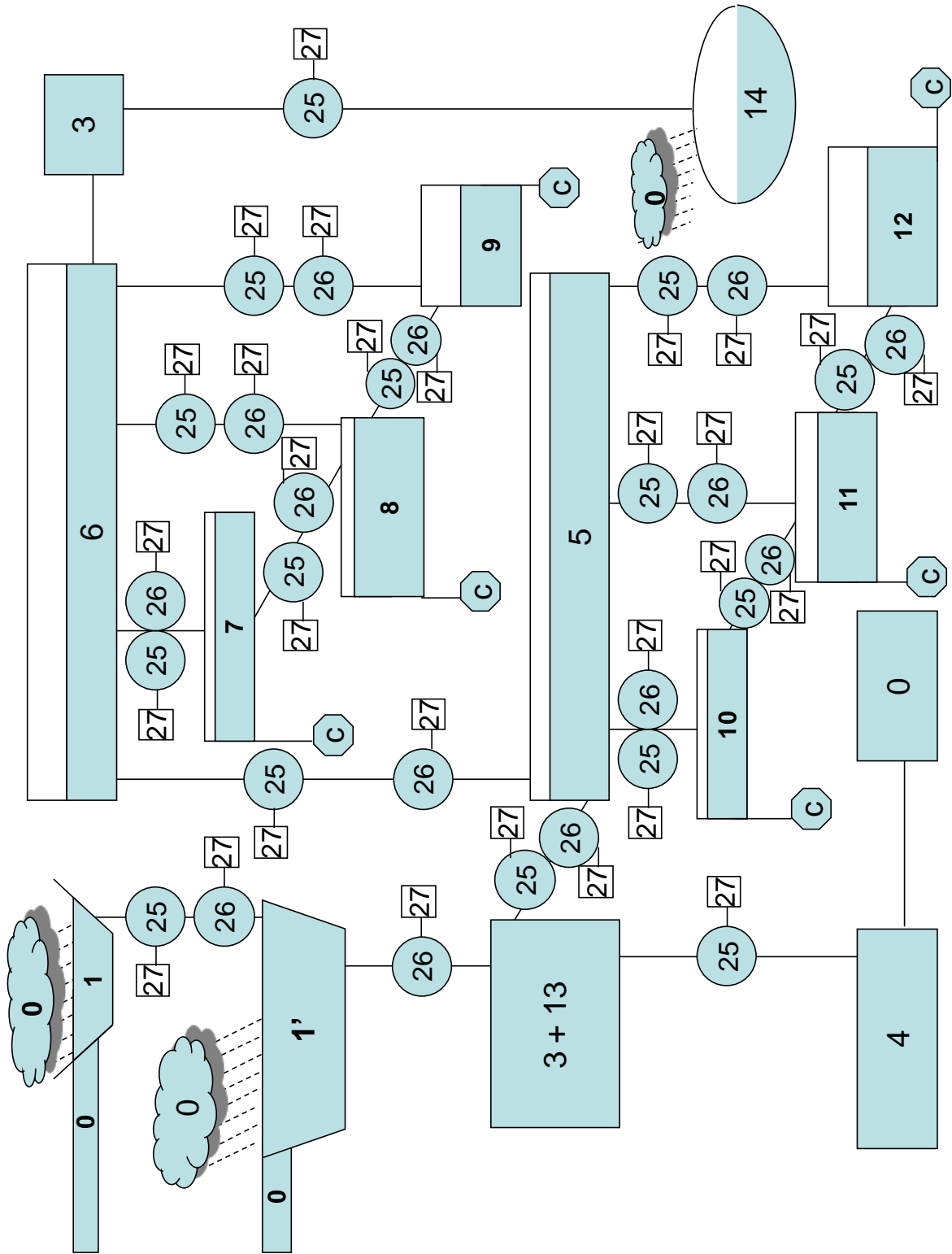


Fig. 1.

