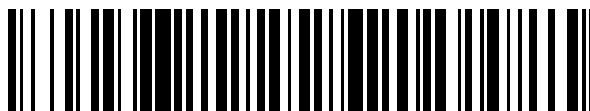


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 721 272**

51 Int. Cl.:

**G05B 23/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.07.2015 PCT/IB2015/055581**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.01.2016 WO16012971**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2015 E 15762728 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.01.2019 EP 3172632**

54 Título: **Procedimiento de detección de anomalías en una red de distribución, en particular de distribución de agua**

30 Prioridad:

**25.07.2014 FR 1457222**

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

**30.07.2019**

73 Titular/es:

**SUEZ GROUPE (100.0%)  
Tour CB21, 16 place de l'Iris  
92040 Paris la Défense Cedex, FR**

72 Inventor/es:

**JARRIGE, PIERRE-ANTOINE;  
GANCEL, GUILLAUME y  
CAMPAN, FRANCIS**

74 Agente/Representante:

**ILLESCAS TABOADA, Manuel**

ES 2 721 272 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCIÓN**

Procedimiento de detección de anomalías en una red de distribución, en particular de distribución de agua

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de detección de anomalías en un sistema de abastecimiento de fluido, en particular una red de distribución de fluidos newtonianos, todavía más particularmente para la distribución de agua, pero también por ejemplo en las redes urbanas de calentamiento y/o de climatización.

El rendimiento operacional está en el corazón de la gestión de dichas redes. El nivel de rendimiento puede mejorarse significativamente mediante herramientas de detección y localización de anomalías hidráulicas, por ejemplo, en las redes de transporte y de distribución de agua potable.

10 En dichas redes, pueden surgir diferentes tipos de incidentes y tener graves consecuencias para el operador. Puede tratarse de fugas, de la interrupción de la entrega a los consumidores, fallos de funcionamiento de un componente, error de manipulación durante una intervención o tras una intervención, un acto malintencionado, un comportamiento anormal o una avería en un consumidor.

15 En redes muy extendidas y parcialmente inaccesibles (enterradas), la monitorización directa es poco eficaz y a menudo imposible. La monitorización por instrumentos de medición tampoco es suficiente, ya que una anomalía local puede tener efectos sobre una zona extendida de la red o incluso sobre toda la red entera, lo cual complica el diagnóstico.

Se conocen procedimientos de detección basados en técnicas estadísticas. Éstas no permiten ni caracterizar ni localizar la anomalía.

20 Otros procedimientos de detección conocidos se basan en modelos hidráulicos que utilizan algoritmos evolucionarios (algoritmos genéticos) para detectar y/o localizar anomalías. Estos procedimientos evolucionarios consumen gran cantidad de recursos de cálculo, lo cual les hace difícilmente aplicables a gran escala. La solicitud de patente FR 2 957 097 A1 da un ejemplo de éstos.

El objetivo de la presente invención es proponer un procedimiento eficaz para detectar y/o localizar y/o caracterizar y/o cuantificar una anomalía en una red de distribución, que puede ser amplia si procede, como lo es una red de distribución de agua potable.

25 Según la invención, el procedimiento para detectar anomalías en una red de distribución comprende:

- establecimiento para la red de un modelo directo que comprenda los elementos siguientes:
  - o datos estructurales de la red,
  - o datos operacionales relativos a parámetros elegidos como parámetros de entrada primarios que describan un escenario operacional,
  - 30 o reglas sobre dichos datos estructurales, los parámetros de entrada primarios y parámetros de salida primarios (simular el modelo);
- ejecución del modelo directo para determinar valores teóricos de los parámetros de salida primarios (resolver el problema inverso);
- obtención de mediciones de los parámetros de salida primarios;
- 35 - comparación de los valores teóricos y de las mediciones;
- en casos en los que la comparación revele al menos un parámetro de salida primario anormal debido a una desviación importante entre el valor teórico y el medido, establecimiento de un modelo inverso que se deriva del modelo directo introduciendo el al menos un parámetro de salida primario anormal como un parámetro de entrada secundario del modelo inverso, comprendiendo el modelo inverso de más a menos un parámetro de salida secundario además de los parámetros de salida primarios conservados;
- 40 - ejecución del modelo inverso.

Preferentemente, la red de distribución es una red de distribución de fluidos.

El establecimiento del modelo inverso puede comprender una minimización de una función de desviación entre medición y simulación en el punto de medición, en relación con un conjunto de parámetros configurable.

45 El parámetro de entrada secundario puede tomar como valor el valor de medición.

La ejecución del modelo inverso se realiza preferentemente por el motor de simulación hidráulica.

La resolución del problema inverso puede poner en marcha un algoritmo numérico de minimización de las desviaciones entre salidas teóricas y medidas utilizando igualmente el cálculo en el modelo directo de las sensibilidades de las salidas en relación con las entradas.

5 Los datos estructurales son relativos típicamente a la topografía de la red, a la naturaleza y a las características de sus componentes, etc.

10 Se llama «parámetro de entrada primario» a un parámetro de funcionamiento. Los parámetros de funcionamiento son típicamente variables en el tiempo. Por ejemplo, en una red de distribución de agua, un caudal, una presión, etc., cuyo valor se utiliza como dato de entrada para el modelo directo. Este valor puede ser proporcionado por un instrumento de medición o ser conocido de otra manera, como por ejemplo una estadística de consumo en función de la fecha y de la hora. Generalmente, los parámetros de entrada primarios comprenden parámetros descriptivos de las condiciones en los límites de la red. Por ejemplo, en una red hidráulica, el caudal de alimentación de la red y los caudales suministrados a los consumidores.

De una manera general, el adjetivo «primario» significa «relativo al modelo directo» mientras que el adjetivo «secundario» significará «relativo al modelo inverso».

15 Un «escenario» es un caso de funcionamiento de la red. Por ejemplo, en una red hidráulica, el escenario comienza con cierto nivel de llenado en un depósito de alimentación y, durante todo el desarrollo del escenario, el depósito se reabastece con cierto caudal, mientras que proporciona agua a la red en función de los caudales extraídos en los puntos de consumo. Los diferentes caudales evolucionan de acuerdo con cronogramas respectivos que forman parte del escenario.

20 Las regleregias son en particular las regleregias de la física aplicables. Por ejemplo, en una red hidráulica, la pérdida de carga (caída de presión) entre dos puntos de la red en función de la velocidad de flujo y de los datos estructurales de la red entre los dos puntos.

25 Los «parámetros de salida primarios» son parámetros calculables mediante la ejecución del modelo directo para obtener su valor teórico, y que son al mismo tiempo medibles mediante la instrumentación de la red que proporciona una medición de cada uno de los parámetros de salida primarios, o se conocen por ejemplo a partir de las estadísticas anteriores.

En el procedimiento de acuerdo con la invención, se compara el valor teórico y el valor real de los parámetros de salida primarios y se considera que hay una anomalía en la red en caso de discordancia entre los valores teóricos y medidos.

30 Cuando un parámetro de salida primario es «anormal» en el sentido de que hay una desviación entre sus valores teóricos y los medidos que sobrepasa un margen de error aceptable, se pasa a la resolución (ejecución) de un modelo inverso en el que el parámetro de salida primario anormal se convierte en un parámetro de entrada secundario al que se da como valor el valor de medición. En particular, para que el modelo inverso tenga los grados de libertad matemáticos necesarios, se introduce en el modelo inverso al menos una variable complementaria constituida por un nuevo parámetro de salida secundario. Preferentemente, se eligen prudentemente estos nuevos parámetros de salida secundarios en función de la anomalía en el resultado de la comparación de las mediciones tras la ejecución del modelo directo.

La ejecución del modelo inverso proporciona resultados que son o bien directamente informativos, por ejemplo, los nuevos parámetros de salida tienen un valor teórico que permite identificar la anomalía con una certeza suficiente, o bien que permiten converger hacia dicha identificación por vía interactiva como se expondrá más adelante.

40 De este modo, la invención usa con precisión la coherencia del conjunto de las variables (parámetros de funcionamiento) relacionadas con las «reglas», típicamente las ecuaciones de comportamiento de la red, en particular hidráulica.

El al menos un parámetro de salida secundario puede ser un parámetro añadido al modelo hidráulico, en relación con el modelo hidráulico.

45 Por ejemplo, si se sospecha una fuga en un punto de la red, se puede añadir un caudal de fuga como parámetro de salida secundario que se pretende determinar mediante un modelo inverso.

50 El al menos un parámetro de salida secundario puede corresponder también a al menos un dato suprimido, en relación con el modelo directo. Por ejemplo, si un parámetro de entrada primario indica una válvula en posición abierta, pero que la anomalía divulgada por la desviación entre el valor teórico y el valor medido por al menos un parámetro de entrada primario sugiere que esta válvula podría estar cerrada o parcialmente cerrada, el parámetro de entrada primario en cuestión se elige como parámetro de salida secundario, y se suprime de los parámetros de entrada para la ejecución del modelo inverso.

En un modo de realización preferente, se selecciona el al menos un parámetro de salida secundario aplicando al menos un criterio que revele una probabilidad de que el al menos un parámetro de salida secundario sea la causa de las desviaciones constatadas entre mediciones y valores teóricos.

5 Retomando el ejemplo precedente, un valor de caudal medido que es anormal en relación con el valor teórico en un punto dado de la red vuelve probable por ejemplo, o bien el cierre de una válvula que se consideraba abierta, o bien la existencia de una fuga importante, o bien un caudal a contracorriente anormal corriente abajo (lista no limitativa).

De acuerdo con una particularidad muy preferente de la invención, al menos algunos de los datos operacionales, de los valores teóricos y de las mediciones comprenden series temporales, es decir, series de valores asociadas cada una a un horario.

10 De este modo, el modelo directo y el modelo inverso se hacen funcionar no solamente de forma estática, sino también de forma dinámica. Esto le permite al modelo hacer controles de coherencia complementarios. Por ejemplo, el modelo puede comprender una regla que conecte la variación del nivel de un depósito a una suma de caudales medidos en diferentes puntos de la red. Además, en caso de anomalía, se obtiene no solamente el valor de la desviación en un momento de funcionamiento, sino también una función de desviación, dando la desviación en función de todos o parte  
15 de los parámetros primarios (ejecución del modelo directo) o secundarios (ejecución del modelo secundario), que sean de entrada o de salida.

Las mediciones, tanto si son utilizadas para obtener algunos datos funcionales, como si se refieren a los parámetros de salida para obtener los valores de medición en comparación con los valores teóricos, se obtienen igualmente en forma de series temporales. En lugar de utilizarlas tal cual, se las somete preferentemente a un ajuste antes de  
20 comparlas con los valores teóricos. De este modo, las funciones de desviación se ajustan ellas mismas automáticamente.

En una etapa de inicialización al principio de la puesta en marcha de un escenario, algunos datos funcionales pueden ser difícilmente accesibles. Típicamente, es el caso de los consumos. Por ejemplo, al tratarse de una red de distribución de agua, es difícil conocer el consumo hora por hora alimentado por la red o por cada subred de esta red.  
25 Se pretende de acuerdo con la invención reemplazar dichos datos difícilmente accesibles en tiempo real por datos conocidos históricamente o por experiencia. Por ejemplo, se conoce por estudios anteriores el consumo estimado de una subred dada a cada hora del día y de la noche, acompañado de información sobre la incertidumbre de estos valores. Se puede, al menos en el estado de inicialización, utilizar estas series temporales como datos funcionales.

Algunos datos estructurales o funcionales pueden ser desconocidos o inciertos. Por ejemplo, en una red de distribución de agua, la altitud de los puntos de medición de presión es importante, puesto que cada metro de altitud complementario corresponde a una caída de presión de 10 kPa aproximadamente, que es necesario tener en cuenta para la exactitud de los resultados obtenidos con las ecuaciones que rigen la dinámica de los flujos. Diámetros de canalización, rugosidades de canalización y otros parámetros que influyen en las pérdidas de carga en el flujo pueden ser poco conocidos, en particular en instalaciones antiguas.  
30

35 En particular para dicho caso, puede ser prudente, durante toda una etapa de inicialización, utilizar un modelo inverso para determinar algunos datos estructurales u operacionales imposibles o difíciles de obtener directamente, ejecutándose el modelo inverso teniendo como adquiridos valores de algunos parámetros de salida primarios, a partir de los valores conocidos o medidos para estos parámetros.

Según un aspecto importante de la invención, se integran en la ejecución del modelo directo cálculos de sensibilidad de al menos algunos de los parámetros de salida primarios, en las variaciones de al menos algunos de los otros parámetros, y para el modelo inverso se eligen como parámetros de salida secundarios parámetros de entrada primarios para los que el parámetro de salida primario que presenta la anomalía es en particular más sensible.  
40

La sensibilidad puede obtenerse teóricamente como la derivada de un parámetro en relación con cada uno de los demás, conociendo las reglas que conecten estos parámetros entre ellos, o también experimentalmente en comparación con las variaciones de la medición del parámetro de salida con las variaciones de los otros parámetros para todos los valores de la serie. La sensibilidad puede ser diferente en diferentes rangos de valores del parámetro cuya sensibilidad se evalúa, y en diferentes rangos de valores del parámetro en relación al cual la sensibilidad es evaluada. La sensibilidad puede expresarse por lo tanto como una función o como una tabla de valores. La sensibilidad puede ser positiva o negativa, según si el parámetro de salida evoluciona en un sentido, o respectivamente en el  
45 sentido inverso, respecto al parámetro en relación al cual la sensibilidad del parámetro de salida se calcula.  
50

En un modo de puesta en marcha preferente:

- mediante el modelo directo, se obtiene una función de desviación del valor de la desviación entre el valor teórico y el medido para el parámetro de salida primario anormal en función de los parámetros de salida secundarios;
- 55 – se calcula a partir de las sensibilidades el gradiente de la función de desviación en relación con los parámetros;

- mediante la aplicación del modelo inverso, se determina un conjunto de datos nuevos, modificando los datos iniciales, y para los que el gradiente global de la función de desviación presenta un valor nulo, indicativo de sensibilidades positivas y negativas que se neutralizan en relación con los parámetros;
- se selecciona entre estos parámetros un subconjunto formado de aquéllos para los que la sensibilidad es del mismo signo;
- se recomienza el procedimiento de forma iterativa restringiendo los parámetros de salida secundarios a los que forman parte del subconjunto;
- y así sucesivamente hasta la localización de la anomalía a un único parámetro o a un número pequeño de parámetros.

10 Para constituir el subconjunto, se elige preferentemente el signo de sensibilidad correspondiente a los parámetros más probablemente cuestionados, a partir de su naturaleza, el valor realista que resultaría de una variación en el sentido que lleve el valor teórico anormal hacia el valor de medición correspondiente.

15 Típicamente, cuando un único parámetro de salida primario presenta una anomalía del valor medido en relación con el valor teórico, se prefiere la hipótesis de un error de medición, sobre todo si el parámetro que presenta la anomalía solo está relacionado con los límites topográficos de la red a través de otros puntos de medición. En este caso, se puede comenzar por verificar el aparato de medición antes de la aplicación del modelo inverso. Pero se puede aplicar el modelo inverso de forma iterativa para concluir en el error de medición constatando que ninguna combinación de valores es plausible para los demás parámetros si la medición anormal se toma como hipótesis. Si la medición procede de un punto de medición en límite de red, la anomalía tiene más posibilidades de proceder de un elemento excepcional más allá de los límites topográficos de la red. Por ejemplo, un consumidor inyecta agua de pozos en la red, en lugar de sacar agua proporcionada por la red. Quizás es necesario entonces volver a cuestionar los datos operacionales sobre los puntos de consumo.

20 En un modo de puesta en marcha elaborado, se ejecuta cíclicamente el modelo directo y la comparación de los valores teóricos y los medidos, y la ejecución del modelo inverso se activa automáticamente cuando al menos dos parámetros de salida primarios presentan una anomalía del valor medido en relación con el valor teórico.

25 Preferentemente, los elementos del modelo comprenden además indicaciones de incertidumbres sobre los datos y los parámetros y, durante toda la comparación, estas incertidumbres se tienen en cuenta para considerar una medición de parámetro de salida conforme o por el contrario anormal.

#### DESCRIPCIÓN DE LOS MODOS DE REALIZACIÓN

30 Otras particularidades y ventajas de la invención destacarán también de la descripción siguiente, relativas a ejemplos no limitativos relativos a una red de distribución de agua potable, igualmente llamada «red hidráulica».

#### Observación preliminar

35 La siguiente descripción cubre la descripción de cualquier particularidad que contiene, o bien que se tome por separado de las otras particularidades, incluso si forman parte del mismo párrafo o de la misma frase, y cubre la descripción de cualquier combinación de dichas particularidades, tanto si dicha particularidad o combinación de características es distintiva del estado de la técnica y ofrece un efecto técnico, estando sola o en combinación con los conceptos presentados anteriormente, como si que esta característica se expresa en los términos mismos de esta descripción o en términos de más a menos generalizados.

#### Vocabulario

40 Se utilizará el vocabulario siguiente:

Serie temporal: secuencia finita de datos escalares indexados por el tiempo, generalmente espaciados por una duración constante.

45 Modelo hidráulico: sin otra precisión, designa el modelo hidráulico de una red de transporte y/o de distribución de agua potable: conjunto de datos que describen la topología (gráfica de la red), la topografía (altitud), las características de las secciones que definen su comportamiento hidráulico (longitud, diámetro interior, material y/o rugosidad, coeficiente de pérdida de carga singular, singularidades, etc.), las características de los equipos que definen su comportamiento hidráulico (diámetro, coeficiente de pérdida de carga, valor de consigna, curva de bomba, etc.), consumos nominales asociados a los nodos de la gráfica, así como un escenario que describe las condiciones de funcionamiento.

50 Escenario: Conjunto de los datos coyunturales u operacionales que describen las condiciones en los límites utilizados con un modelo hidráulico para simular el comportamiento de un sistema hidráulico en condiciones particulares, tales como los niveles iniciales de los depósitos, las series temporales de modulación de los consumos por sector y/o por tipo de consumidor, los estados de las bombas, válvulas, indicaciones de equipos activos controlados y/o las normas de realimentación.

Medición: Serie temporal procedente de un sistema de adquisición de datos. Una medición está asociada con un componente fundamental particular del modelo hidráulico (arco o sección para una medición de caudal, nodo para una medición de presión, depósito para una medición de nivel).

5 Modelo directo: La simulación del modelo hidráulico consiste en resolver numéricamente las ecuaciones del flujo estacionario descritas y parametradas por el modelo hidráulico, y su evolución dinámica, utilizando las condiciones a los límites descritos en el escenario. Los resultados son caudales, velocidades, pérdidas de carga, estados, presiones en cualquier punto del sistema y en cualquier momento, presentándose estos resultados habitualmente en forma de serie temporal o en forma de mapa.

10 Modelo inverso: (resolución del problema inverso) consiste en resolver numéricamente las ecuaciones del flujo estacionario y su evolución en el tiempo. Se describen y se parametrizan por el modelo hidráulico y un escenario, en relación con uno o varios parámetros del modelo o del escenario, utilizando las mediciones de algunos caudales (o velocidad), y/o presiones y/o niveles de depósito

Datos de lectura remota: serie de índices de consumo para un medidor, medidos en una periodicidad de 1 a 24 horas, y tele-transmitidos generalmente al menos una vez al día.

15 Característica: valor escalar o serie temporal que contiene información significativa para el proceso estudiado.

### Generalidades

El modo de puesta en marcha del procedimiento de acuerdo con la invención utiliza conjuntamente datos operacionales procedentes de un sistema de monitorización remota, que permite la construcción de un escenario, un modelo hidráulico del sistema de la red hidráulica y un sistema de análisis de los resultados de la ejecución del modelo.

20 El programa de modelización hidráulica integra un cálculo explícito de las sensibilidades de los resultados (mediciones) en relación con los datos de entrada (consumos en los nodos y resistencias hidráulicas en los arcos), que permite el cálculo del gradiente del error de simulación en relación con los parámetros, y además la resolución del problema inverso.

25 La utilización del modelo inverso permite también paliar la ausencia de ciertas mediciones necesarias para la construcción de un escenario.

La utilización del modelo directo permite detectar anomalías de comportamiento del sistema.

La utilización del modelo inverso permite localizar, en el espacio y finalmente en el tiempo, el origen posible de la anomalía.

30 La utilización opcional de datos de lectura remota permite actualizar el reparto espacial de los consumos descritos en el modelo hidráulico.

### Descripción detallada

Los elementos que son suministrados en la entrada para la ejecución del modelo, la comparación con las mediciones de los parámetros de salida primarios y, si es necesario, la ejecución del modelo inverso comprenden:

- 35 – los datos estructurales de la red, que pueden comprender instrucciones y datos de estado de los equipos;
- los parámetros seleccionados para constituir los parámetros de entrada primarios, así como las series temporales de sus valores escalares, obtenidos por medición o por datos de lectura remota disponibles para todos o parte de los abonados, o también por estadísticas existentes;
- los parámetros seleccionados para constituir los parámetros de salida primarios, así como las series temporales de las mediciones de estos parámetros;
- 40 – informaciones sobre la precisión y las incertidumbres de las mediciones y de los parámetros, sus ponderaciones relativas, la activación de los parámetros seleccionados para ser parámetros de entrada secundarios y parámetros de salida secundarios durante la resolución del problema inverso.

### Operaciones elementales

- Construcción del escenario a partir de las mediciones y de las series de estados

45 Esta operación consiste en transcribir las mediciones de una forma utilizable por el software de modelización hidráulica. Por ejemplo, la cantidad algebraica de las series temporales de caudales de entrada/salida de un sector hidráulico se convierte en serie de modulación de los consumos nominales del sector.

- Resolución del problema directo, cálculo de las características

50 Esta operación consiste en lanzar el motor de simulación hidráulica, con el modelo hidráulico del sistema y el escenario creado por la operación precedente como datos de entrada. Las salidas usadas son las series temporales simuladas

(valores teóricos de los parámetros de salida primarios) comparables con mediciones disponibles para estos parámetros.

- Cálculo de las características

5 Para cada punto de medición (parámetro de salida primario), se calcula la característica sobre la base de la serie de residuos, definida como la diferencia entre valor simulado (valor teórico) y valor medido (ajustado o no), calculada al paso de la adquisición de la medición. La característica indica si hay o no anomalía.

- Resolución del problema inverso (caso general)

10 La resolución del problema inverso es una operación iterativa que consiste en minimizar, con la ayuda de un algoritmo de optimización, una función de la desviación entre medición y simulación (valor teórico) en el punto de medición (algoritmo que funciona mediante el procedimiento de la suma de los cuadrados o el procedimiento de los valores absolutos de las series de residuos), en relación con un conjunto de parámetros configurable. En la función de desviación, cada punto de cada serie se pondera mediante un coeficiente, calculado a partir de la incertidumbre a priori y de la varianza empírica local de las mediciones.

15 El cálculo se hace utilizando mediciones fechadas en una ventana temporal predeterminada (por ejemplo, de 4 a 24 horas).

20 Cada iteración del problema de minimización necesita el cálculo de la función de desviación apoyándose en el cálculo del problema directo. El procedimiento de optimización utilizado recurre al cálculo del gradiente de la función de desviación en relación con los parámetros. El valor de este gradiente se calcula explícitamente a partir de las sensibilidades (derivadas) de las mediciones en relación con los parámetros del modelo hidráulico, que se ejecuta explícitamente de manera vinculada con la resolución del problema directo.

Uno de los aspectos de la innovación es, por un lado, el cálculo explícito de las sensibilidades al mismo tiempo que la resolución del problema directo, y su utilización para calcular el gradiente; por otro lado, la posibilidad de elegir en relación con qué parámetros se resuelve el problema inverso, por ejemplo:

- 25 • Datos estructurales (características hidráulicas de las secciones y equipos tales como la rugosidad y los coeficientes de pérdidas de carga singulares (PCS))
- Cota (altitud) de los sensores de presión y/o de nivel
- Reparto espacial de los consumos
- Modulación temporal de uno o varios tipos de consumo de reparto espacial predefinido.

30 Otro elemento importante de la innovación reside en la utilización de las sensibilidades para localizar la anomalía, cuando el parámetro identificado se asocia a varios componentes del modelo. En este caso, cuando se obtiene la solución, las sensibilidades toman valores positivos para algunos componentes, negativos para otros, ya que el gradiente del conjunto toma un valor nulo en la situación óptima. Basta entonces con repetir el procedimiento resolviéndolo en relación con uno de los dos subconjuntos de componentes cuyo gradiente es del mismo signo para determinar la localización de la anomalía. La secuencia de subconjuntos de componentes encajados formados de este modo localiza la anomalía cada vez más precisamente.

35 La precisión de la localización es más importante cuanto mayor sea la densidad de mediciones, y su lugar prudente para la determinación del tipo de parámetro seleccionado.

- Problema inverso aplicado a la reconstrucción de una medición esencial durante una etapa de inicialización.

40 Cuando una medición esencial para la constitución de un escenario (por ejemplo, un caudal de entrada o de salida de un sector) no está disponible, la resolución del modelo inverso permite reconstruir esta medición no disponible, cuando se reúnen ciertas condiciones de observabilidad, es decir, que existan otras mediciones cuyos valores estén en relación con la medición que falte (por ejemplo, mediciones de nivel de depósito y/o de presión).

Un escenario inicial se constituye entonces utilizando una serie predeterminada, y el problema inverso resuelto en relación con el parámetro constituido por la serie que falta.

- 45 - Ejecución del modelo inverso aplicada a la detección de anomalías

Aplicada a la identificación de datos estructurales tales como rugosidades o PCS (pérdida de carga singular), la resolución del problema inverso (ejecución del modelo inverso) permite fijar el modelo hidráulico, identificar anomalías de resistencia hidráulica tales como errores de registro de diámetro o de longitud de conductos, localizar válvulas cerradas olvidadas tras una intervención.

50 Aplicada a la identificación de parámetros estructurales tales como las altitudes de los sensores o las indicaciones de equipos, la resolución del problema inverso permite diagnosticar pérdidas de representatividad del modelo hidráulico tras una intervención que ha conllevado la modificación de uno de los parámetros de la red.

Aplicada a la identificación del reparto espacial de los consumos o de la serie de los coeficientes de modulación de uno o varios tipos de consumidores, la resolución del problema inverso permite localizar las anomalías de consumo. La desviación de cada parámetro entre sus valores teóricos y de medición constituye un indicador cuantitativo o una característica utilizable para la detección de anomalías.

5 – Interpretación de las características y anomalías

Indicadores de conformidad: para cada característica se calcula uno o varios indicadores cuantitativos: criterio de Nash, «Index of Agreement», porcentaje de rebasamiento de un umbral de error.

10 Anomalías: para cada medición se calcula un indicador cualitativo (bueno/bastante bueno/mediocre/malo) a partir de la posición de sus indicadores de conformidad en relación con umbrales fijos operacionalmente. Los valores clasificados «mediocre» o «malo» se identifican como anomalías.

Una anomalía aislada sobre un sector se clasifica como «anomalía de medición»; la observación de varias anomalías sobre un sector desencadena una «anomalía de red».

**Ventajas**

15 El conjunto constituido por los componentes expuestos anteriormente puede conectarse al sistema de información técnica del operador de un sistema de abastecimiento de agua potable. El conjunto se construye de tal manera que puede activarse periódicamente, con una frecuencia comprendida entre la frecuencia de adquisición de los datos medidos, y una vez al día. En estas condiciones, la detección y la caracterización de la anomalía son mucho más rápidas que con los procedimientos habitualmente utilizados y la eficacia operacional de los mismos se mejora considerablemente.

20 En la fase de puesta en marcha de un modelo hidráulico para una red, la invención permite reducir significativamente el tiempo de ajuste del modelo.

**Primer ejemplo de modo de realización**

La invención está configurada para modelizar un sector hidráulico alimentado por gravedad por dos depósitos de cabezal A y B.

25 El modelo hidráulico está constituido por un fichero en el formato PICCOLO/GANESSA\_SIM.

El generador de escenario utilizado es GANESSA\_GS.

El motor de simulación hidráulica que incorpora la resolución de problema (ejecución del modelo) directo o inverso es GANESSA\_SIM.

30 Los elementos que alimentan el modelo son el caudal de entrada de cada depósito, el nivel de cada depósito, los caudales de salida de cada depósito y la presión en un punto alejado, con la frecuencia de una vez al día. El caudalímetro de salida del depósito A presenta una anomalía que consiste en subcontar aproximadamente el 10 %.

35 La modelización hidráulica directa sobre 24 horas produce, entre otros, la acumulación de la cantidad algebraica de los caudales de entrada y de salida de los depósitos. La característica «nivel calculado menos nivel medido» informa sobre la exactitud de las mediciones de caudal, una desviación positiva al final del periodo que indica un subcontaje de los caudales de salida, o un sobrecontaje de los caudales de entrada. El indicador calculado a partir de esta característica pone de manifiesto una anomalía: el signo de la característica para cada una de las mediciones de caudal de salida indica el sentido de la anomalía.

40 El modelo inverso configurado con parámetros de salida secundarios, un consumo complementario fijo en el punto de salida de cada depósito y una serie temporal de coeficientes, calcula el ajuste de las dos series de intensidad para cada punto de salida de depósito. La serie asociada al punto de salida del depósito A presenta un perfil proporcional al caudal de salida de A, correspondiente a un consumo del orden del 10 %, mientras que la serie asociada a B presenta intensidades insignificantes.

**Segundo ejemplo**

45 La invención está configurada para modelizar un sector hidráulico alimentado por un conducto maestro en dos puntos A y B.

El modelo hidráulico está constituido por un fichero en el formato EPANET.

El generador de escenario utilizado es GANESSA\_GS.

El motor de simulación hidráulica que incorpora la resolución del problema inverso es GANESSA\_SIM.



Las mediciones son los caudales y presiones de entrada (puntos A y B), y las mediciones de presión obtenidas en seis puntos adicionales repartidos sobre la red de distribución.

5 En un primer tiempo, la invención se ha utilizado fuera de línea para ajustar la fijación hidráulica del modelo: el modelo inverso ha permitido identificar la altitud precisa de los puntos de medición de presión, la resistencia hidráulica de las dos válvulas de entrada y la rugosidad media de las 4 clases principales de materiales de las que se constituyen los conductos del sector.

10 En un segundo tiempo, la invención se pone en marcha a una frecuencia cotidiana. Un consumo débil adicional (por ejemplo, 1 l/s) se reparte sobre el conjunto de los nodos del modelo, por ejemplo, con prorrateo de las longitudes de los conductos que se le conectan, y se atribuye a un código consumidor particular (por ejemplo 'LEAK'), y una serie temporal se asocia a este código 'LEAK', inicializada con valores nulos o unitarios. El problema inverso se resuelve entonces en relación con los coeficientes de la serie temporal de coeficientes de 'LEAK'. La característica correspondiente se analiza entonces: si el consumo correspondiente es inferior a un umbral predeterminado, entonces la situación se considera normal. En el caso contrario, se presume una anomalía de consumo. La invención se pone en marcha entonces de nuevo tras haber reasignado el consumo adicional a los umbrales de nodos para los que la sensibilidad calculada en la etapa precedente es negativa, y esto varias veces, hasta que el número de nodos restantes sea inferior a un umbral predeterminado. Los últimos conjuntos de nodos correspondientes se identifican entonces como localización de la anomalía, y el valor medio del consumo adicional (asociado a 'LEAK') como su intensidad.

15 Por supuesto, la invención no se limita a los ejemplos descritos.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para detectar anomalías en una red de distribución de fluidos, que comprende las etapas siguientes:

- establecer para la red de distribución un modelo directo que comprenda los elementos siguientes:

- o datos estructurales de la red de distribución relativos a la topografía de dicha red de distribución y que comprenden indicaciones o datos de estados de equipo de dicha red de distribución,
- o datos operacionales relativos a parámetros elegidos como parámetros de entrada primarios que describen un escenario operacional,
- o reglereglas sobre dichos datos estructurales, los parámetros de entrada primarios y parámetros de salida primarios;

- ejecutar el modelo directo por un motor de simulación hidráulica para determinar valores teóricos de los parámetros de salida primarios;

- antes o después de todo o parte de lo que precede, obtener mediciones procedentes de sistemas de adquisición de datos de los parámetros de salida primarios;

- comparar los valores teóricos con las mediciones;

- en casos en los que la comparación divulgue al menos un parámetro de salida primario anormal debido a una desviación importante entre valor teórico y medición, establecer un modelo inverso que comprenda una minimización de una función de desviación entre medición y simulación en el punto de medición, en relación con un conjunto de parámetros configurable, el modelo inverso estando derivado del modelo directo introduciendo el al menos un parámetro de salida primario anormal como un parámetro de entrada secundario del modelo inverso, comprendiendo el modelo inverso además al menos un parámetro de salida secundario además de los de los parámetros de salida primarios que se conserven;

- ejecutar el modelo inverso por el motor de simulación hidráulica;

- localizar una anomalía de la red de distribución a partir de la ejecución del modelo inverso.

2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** al menos un parámetro de salida secundario es un parámetro añadido al modelo, en relación con el modelo directo.

3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** al menos un parámetro de salida secundario corresponde a al menos un dato suprimido, en relación con el modelo directo.

4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** se selecciona al menos un parámetro de salida secundario aplicando criterios que indican una probabilidad de que al menos un nuevo parámetro de salida secundario sea causante de las desviaciones constatadas entre mediciones y valores teóricos.

5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** al menos ciertos datos operacionales, de los valores teóricos y de las mediciones, comprenden series temporales, es decir, cada serie de valores asociada cada una a un horario.

6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado por que** las series temporales formadas de valores obtenidos a partir de mediciones se ajustan según una duración característica configurable.

7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que**, en una etapa de inicialización, se utiliza un modelo inverso para determinar ciertos datos estructurales u operacionales imposibles o difíciles de obtener directamente, ejecutándose el modelo teniendo como adquiridos los valores de ciertos parámetros de salida primarios.

8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** en la ejecución del modelo directo se integran cálculos de sensibilidad de al menos ciertos parámetros de salida primarios en las variaciones de al menos algunos de los otros parámetros, y **por que**, para el modelo inverso, se eligen como parámetros de salida secundarios parámetros de entrada primarios a los que el parámetro de salida primario anormal es en particular más sensible.

9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 **caracterizado por que**,

- mediante el modelo directo, se obtiene una función de desviación del valor de la desviación entre valor teórico y medición para el parámetro de salida primario anormal en función de los parámetros de salida secundarios;
- se calcula a partir de las sensibilidades el gradiente de la función de desviación en relación con los parámetros;

- mediante la aplicación del modelo inverso, se determina un conjunto de datos nuevos, modificando los datos iniciales, y para los que el gradiente global de la función de desviación presenta un valor nulo, indicativo de sensibilidades positivas y negativas que se neutralizan;
  - se selecciona entre los parámetros en relación a los cuáles se calculan las sensibilidades, un subconjunto formado de aquéllos para los que la sensibilidad es del mismo signo;
  - se recomienza el procedimiento de forma iterativa restringiendo los parámetros de salida secundarios a los que forman parte del subconjunto;
  - y así sucesivamente hasta la localización de la anomalía para un único parámetro o para un número pequeño de parámetros.
- 5
- 10 **10.** Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que**, cuando un único parámetro de salida primario presenta una anomalía del valor medido en relación con el valor teórico, se prefiere la hipótesis de un error de medición.
- 15 **11.** Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** se ejecuta cíclicamente el modelo directo y la comparación de los valores teóricos y medidos, y **por que** la ejecución del modelo inverso se activa automáticamente cuando al menos dos parámetros de salida primarios presentan una anomalía del valor medido en relación con el valor teórico.
- 20 **12.** Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado por que** los elementos del modelo comprenden además indicaciones de incertidumbres sobre los datos y los parámetros, y, durante toda la comparación, estas incertidumbres se tienen en cuenta para considerar una medición de parámetro de salida conforme o por el contrario anormal.

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

La lista de referencias citadas por el solicitante es, únicamente, para conveniencia del lector. No forma parte del documento de patente europea. Si bien se ha tenido gran cuidado al compilar las referencias, no pueden excluirse errores u omisiones y la OEP declina toda responsabilidad a este respecto.

**5 Documentos de patente citados en la descripción**

- **FR 2957097 A1 [0006]**