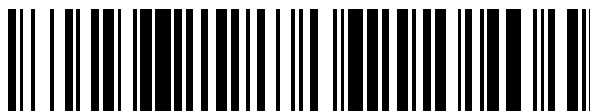


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 741 726**

51 Int. Cl.:

G05B 13/04 (2006.01)

E03B 1/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.04.2013 PCT/AU2013/000355**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.10.2013 WO13149304**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.04.2013 E 13771881 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.05.2019 EP 2834714**

54 Título: **Control supervisor de canales de irrigación automatizado**

30 Prioridad:

05.04.2012 AU 2012901378

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

12.02.2020

73 Titular/es:

RUBICON RESEARCH PTY LTD. (50.0%)

1 Cato Street

Hawthorn East, VIC 3122 , AU y

THE UNIVERSITY OF MELBOURNE (50.0%)

72 Inventor/es:

CHOY, SUMITH;

CANTONI, MICHAEL WILLIAM;

DOWER, PETER MAXWELL y

KEARNEY, MICHAEL PETER

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 741 726 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

Control supervisor de canales de irrigación automatizado

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de control de supervisión y a un procedimiento de control de supervisión para redes de fluidos, y se refiere particularmente, aunque no exclusivamente, a sistemas de control de supervisión para conductos abiertos (redes de canales) y conductos cerrados (oleoductos).

Antecedentes de la invención

10 En nuestra Patente de EE.UU. No. 7,152,001, se divulga un sistema computarizado para predecir el nivel de fluido en una red de flujo de fluido. El sistema ha tenido mucho éxito, ya que puede usar mediciones de parámetros pasados y presentes para predecir y controlar el nivel y el flujo del fluido. El sistema recoge datos de los niveles de fluidos cronometrados y las posiciones de apertura de los reguladores o válvulas para proporcionar un modelo a partir del cual los niveles de fluidos y el flujo se pueden determinar en tiempo real. Un canal de irrigación es un sistema hidráulico abierto que sirve para transportar agua desde una fuente de suministro hasta los clientes finales. A lo largo del canal, los flujos y los niveles de agua se regulan a través de compuertas de control situadas en puntos discretos. La figura 1 de la Patente de EE.UU. No. 7,152,001 muestra una vista lateral de un canal típico regulado por compuertas sobrepasadas. El tramo de canal entre las compuertas 16, 18 se conoce como una piscina. El agua fluye bajo el poder de la gravedad, desde una fuente de agua a lo largo del canal hasta las granjas. En vista de esto, los niveles de agua a lo largo del canal corresponden a la energía potencial disponible para producir el flujo de agua a lo largo del propio canal, en los sistemas de distribución lateral y en la tierra a irrigar. Por lo tanto, es importante mantener los niveles de agua por encima de los niveles requeridos para satisfacer la demanda de flujo.

15 El objetivo de automatizar un canal de irrigación es mejorar la eficiencia de la distribución en términos del agua extraída del suministro y del agua suministrada a los clientes finales. Esto se logra empleando sistemas avanzados de instrumentación y control del tipo que se muestra en la Patente de EE.UU. No. 7,152,001, que proporciona una mayor correspondencia entre el agua ordenada por los agricultores y el volumen de agua que se mueve a través o fluye hacia el sistema de canales, mientras mantiene los niveles de agua a lo largo del sistema de canales dentro de los límites operacionales dictados por la calidad del servicio y preocupaciones de seguridad.

20 Patente de EE.UU. No. 7,152,001 incluye sensores 24, 26, 28, 29 y actuadores conectados a través de una red 44 de comunicaciones de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) y prácticas de control avanzado que trabajan en conjunto para lograr una alta eficiencia de distribución, reducir las pérdidas de transmisión y proporcionar un alto nivel de servicio al cliente/agricultor, lo que produce una alta productividad del agua, que es un recurso limitado. Cuando un canal está completamente automatizado, las compuertas 16, 18 de control de canal funcionan de tal manera que satisfacen la demanda de agua corriente abajo de las compuertas 16, 18 de control y mantienen el nivel de agua corriente arriba de la compuerta o regulador en cada piscina. Se debe exceder un cierto nivel de agua en cada piscina para proporcionar la energía potencial necesaria para impulsar el agua corriente abajo, hacia los canales secundarios y hacia las granjas adyacentes. El volumen de agua que fluye hacia el sistema de canales se controla en el extremo superior o en la parte superior. El volumen de agua que fluye hacia el canal aumenta si se detecta una caída en el nivel del agua en una piscina determinada o se reduce si el nivel del agua aumenta, lo que garantiza un nivel constante de agua.

30 Se emplea una estrategia de control reactivo para mantener el nivel del agua en las piscinas en sus puntos de referencia, es decir, la acción de control se realiza solo cuando la variable controlada (nivel del agua en una piscina) se desvía de su punto de referencia. Esto a menudo se conoce como control de retroalimentación. La información del flujo medido en el regulador 18 corriente abajo en una piscina y en las tomas externas y en las tomas de la parcela (si está disponible) puede ser explotada para aumentar el controlador de retroalimentación y hacer que el sistema de control sea más sensible. A menudo referido como control de avance de alimentación, la compuerta 16 aguas arriba envía un porcentaje de las salidas medidas inmediatamente, en lugar de esperar a que los flujos afecten el nivel de agua en la piscina y el controlador de retroalimentación tome medidas.

35 La arquitectura de control reactivo descrita anteriormente limita la propagación de transitorios corriente arriba de los cambios en la carga de flujo (es decir, un inicio o detención del flujo de salida). Esto tiene mérito en términos de la correspondiente liberación de agua impulsada por la demanda desde la fuente corriente arriba; es decir, el agua se libera desde la parte superior solo cuando hay un flujo de salida debido a una toma de salida corriente abajo y esto se corta cuando se detiene la toma de salida. Sin embargo, el rendimiento transitorio alcanzable está fundamentalmente limitado por los retrasos de transporte inherentes, particularmente en términos de picos transitorios de los comandos de flujo de la compuerta de control y la desviación en los niveles de agua en respuesta a un aumento en la carga de flujo y efectos indeseables similares cuando se reduce la carga de flujo.

40 La figura 1 de los dibujos muestra un gráfico de una amplificación del pico de flujo a lo largo de un canal operado utilizando la patente de EE.UU. No. 7,152,001 para un aumento de 55 Megalitro/día hasta 20 en flujo desde la compuerta de control inferior en el canal. La primera y principal limitación de la estrategia de control representada en la

figura 1 es la característica de flujo transitorio limitado. Los picos en los comandos de flujos transitorios para las compuertas de control 16 se amplifican a medida que el efecto de un cambio de carga se propaga corriente arriba. El comportamiento transitorio como se muestra en la figura 1 puede provocar la saturación del actuador (es decir, la compuerta de control), lo que desencadena un comportamiento no deseado. Esta es la segunda limitación de la estrategia existente utilizada en las patentes de EE. UU. No. 7,152,001. El mecanismo para contrarrestar la saturación, a menudo llamado anti-agitación en la industria de control, está diseñado como una idea de último momento en la patente de EE.UU. No. 7,152,001 y esto puede no ser muy efectivo. En el caso de piscinas largas, por ejemplo, más de 5 km que tienen un volumen de almacenamiento limitado, el flujo transitorio puede dar lugar a desviaciones inaceptables del nivel de agua que pueden afectar el servicio a los clientes/agricultores o puede violar los límites operativos seguros. Esta es la tercera limitación de la estrategia existente. La tercera limitación significa que la estrategia de control existente no se puede aplicar a canales de irrigación abiertos con francobordos muy limitados. Esta es la cuarta limitación. "Francobordo" es la altura de la arista superior del canal por encima del nivel de agua más alto previsto.

Objetos de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un sistema para suministrar agua a los clientes a través de una red de irrigación con precisión.

Un objeto adicional de la invención es proporcionar un procedimiento o sistema en el que se reduzcan los gastos generales para el suministro de agua a través de una red de irrigación.

Sumario de la invención

La presente invención en un aspecto proporciona un sistema de suministro para el suministro de fluido a al menos un cliente a través de una red de fluido controlada por ordenador de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La estructura y las características funcionales de una realización preferente de la presente invención se harán más evidentes a partir de la siguiente descripción detallada cuando se toma junto con los dibujos adjuntos, en los cuales:

La figura 1 muestra un gráfico de una amplificación del pico de flujo a lo largo de un canal operado utilizando el sistema descrito en la Patente de EE. UU. No. 7,152,001 para un incremento de 55 Megalitros por día en el flujo desde el regulador más bajo;

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de una red de fluidos controlada por ordenador de acuerdo con los conceptos de la presente invención; y

La figura 3 es una vista similar a la de la figura 3 de la Patente de EE.UU. No. 7,152,001 que incluye características de acuerdo con los conceptos de la presente invención.

Descripción de la realización preferente

La realización preferente es una mejora de las invenciones descritas en las patentes de EE.UU. No. 7,152,001 y la Solicitud de Patente Australiana No. 2011903084, ahora Solicitud de Patente Internacional No. PCT/AU2012/000907 y cualquier solicitud de patente basada en la Solicitud de Patente Internacional No. PCT/AU2012/000907.

La figura 2 es un diagrama de flujo esquemático de un sistema 100 de red de fluido controlado por ordenador para conductos abiertos, es decir, redes de canales, especialmente para irrigación. El sistema tiene tres (3) subsistemas, a saber, un primer sistema 102 de control, un segundo sistema 104 de control y un tercer sistema 106 de control. El primer sistema 102 de control es un sistema regulador de fluido, preferiblemente del tipo divulgado en la patente de EE.UU. No. 7,152,001. El tercer sistema 106 de control es un sistema de gestión de demanda, preferiblemente del tipo divulgado en la Solicitud de Patente Internacional No. PCT/AU2012/000907. El segundo sistema 104 de control es un sistema de control de supervisión que se discutirá en breve. El primer sistema 102 de control proporciona un esquema de control y permite el movimiento de una pluralidad de compuertas de control (no mostradas) para establecer el flujo localmente después de que se observe una perturbación en forma de desviación del nivel de agua o un flujo de salida medido en la piscina. Esta operación se discute en la realización preferente de la patente de EE.UU. No. 7,152,001. El primer sistema 102 de control tiene comandos de flujo de compuerta 108 de control para la apertura de compuertas de control (no mostradas). Un enfoque para mitigar las limitaciones de la arquitectura de control reactivo de este tipo es explotar la información disponible sobre la demanda futura de flujo. Permitir que los comandos de flujo de la compuerta 108 de control producidos por el primer sistema 102 de control y las referencias 109 de nivel de agua utilizadas para determinar estos comandos se ajusten por el segundo sistema 104 de control, proporciona un margen para explotar sistemáticamente tanto los flujos de toma de agua medidos como un programa de dichos flujos en el futuro. De acuerdo con lo anterior, el segundo sistema 104 de control realiza los ajustes 107 a los comandos de flujo de la compuerta 108 de control y/o las referencias 109 de nivel de agua para mejorar el rendimiento transitorio asegurando la satisfacción de las restricciones, en base a la información medida y un modelo del canal automatizado. incluyendo una representación de la carga de flujo futuro, como un programa. El segundo sistema 104 de control es la capa intermedia en una

jerarquía de tres niveles, con el canal operando bajo el primer sistema 102 de control en la capa más baja y el tercer sistema 106 de control, el sistema de gestión de la demanda, en la capa más alta. El tercer sistema 106 de control procesa los pedidos 112 de los clientes o agricultores 114 para construir un programa de carga de flujo 116.

5 Una realización preferente del esquema de control de supervisión que puede lograr los objetivos especificados anteriormente, implica el uso de una técnica de control óptimo de horizonte de retroceso, a menudo llamada Control Predictivo de Modelo (MPC) en la literatura abierta para el tercer sistema 106 de control. Es particularmente adecuado para problemas de control de supervisión del tipo mencionado anteriormente. Específicamente, la técnica de MPC puede incorporar directamente predicciones o un programa de la carga de flujo (demanda) en un horizonte futuro, así como restricciones sobre cómo el nivel del agua y las referencias pueden variar a lo largo del tiempo. Estas características son ideales para brindar garantías de calidad de servicio en los puntos de suministro, operación sin inundaciones y evitar la saturación del actuador, lo que puede llevar a un comportamiento dinámico muy indeseable. Es decir, las características son ideales para mitigar las cuatro limitaciones del primer sistema 102 de control existente, es decir, el sistema regulador de fluido divulgado en la patente de EE. UU. No. 7,152,001.

15 Como puede verse en la figura 2, el segundo sistema 104 de control tiene conocimiento del programa 116 de carga de flujo futuro y obtiene una estimación del estado del primer sistema 102 de control, a través del nivel de agua medido y la información 110 de flujo. Esto proporciona un margen para tomar medidas de control preventivo en anticipación de la carga (demanda) futura con el fin de lograr un mejor desempeño transitorio, con garantías de calidad de servicio a través de la satisfacción de las restricciones en los niveles y flujos de agua.

20 El esquema de control del primer sistema 102 de control proporciona un grado de robustez frente a incertidumbres como las inexactitudes del modelo y la instrumentación, las pérdidas de transporte y el incumplimiento por parte del cliente/agricultor del programa de carga de flujo acordado a través de una acción de control basada en retroalimentación. El segundo sistema 104 de control también emplea la retroalimentación en la toma de decisiones a través del nivel de agua medido y la información 110 de flujo.

25 La arquitectura jerárquica de los tres sistemas de control 102,104,106 proporciona un margen para explotar las ventajas de ambos mundos; control preventivo a través del segundo sistema 104 de control que es una capa de control de supervisión que explota el conocimiento del futuro programa de demanda de flujo utilizando el control preferido implementado a través de MPC, por ejemplo, y el control reactivo a través del primer sistema 102 de control. Este es un primer aspecto único de la solución. La capa de control de supervisión adicional del segundo sistema 104 de control en la jerarquía permitirá una mayor explotación de la capacidad del sistema de red de fluidos mediante el uso del almacenamiento disponible para sobrecargar la red en previsión de un futuro cambio de carga, mediante el ajuste de la referencia 109 de nivel de agua y variando los comandos 108 de flujo del primer sistema 102 de control.

30 El uso de técnicas de MPC para implementar una capa de control de supervisión en el segundo sistema 104 de control para un controlador de regulación de nivel de agua reactivo de nivel inferior del primer sistema de control, con el fin de explotar la información con respecto al programa de carga acordado entre los clientes 114 y El sistema de gestión de la demanda en el tercer sistema 106 de control para mejorar el rendimiento transitorio, es un segundo aspecto único de la solución.

35 Como se discutió previamente, el MPC es una técnica de control óptimo de horizonte de retroceso. Dentro del contexto de la figura 2, esto significa que antes de cada tiempo de actualización, el ajuste al comando de flujo o la referencia de nivel de agua 107 se determina resolviendo un problema de optimización restringido. Esto ocurre cada vez que se actualizan los comandos de flujo y la referencia 107 de niveles de agua. El problema de optimización que se resuelve en cada paso de tiempo implica un modelo para el canal que opera bajo el primer sistema 102 de control, que incluye el efecto de la carga programada sobre un horizonte de predicción en el futuro. El modelo se inicializa utilizando estimaciones del estado basadas en observadores, derivadas a través de mediciones de los niveles de agua y flujos a lo largo del canal. El problema de optimización resuelto para cada tiempo de actualización implica una función de coste para dirigir la solución a las características y restricciones transitorias deseables en los niveles y flujos de agua, que evitan los efectos degradantes del desempeño de la saturación del actuador y conducen a la calidad del servicio y las garantías de operación segura. La capacidad de hacer tales garantías es un tercer aspecto único de la solución.

40 Los elementos fundamentales del MPC son los modelos de canal y los modelos de controlador que sustentan el diseño del primer sistema de control como se describe en la Patente de EE. UU. No. 7,152,001. Los modelos de canal son modelos de caja gris (basados en datos de pieza basados en la física de piezas) con buenas capacidades predictivas. El uso de modelos de caja gris es el cuarto aspecto único de la solución. Una práctica común en la industria de la automatización es utilizar modelos de caja negra basados en una respuesta escalonada. Todas las habilidades de la invención discutidas en las columnas 8 y 9 de la patente de EE.UU. No. 7,152,001 son aplicables a MPC también, ya que MPC se construye utilizando los modelos y controladores descritos en las patentes de EE. UU. No. 7,152,001.

45 El Controlador Predictivo de Modelo preferido del segundo sistema 104 de control se integrará a la perfección con el SCADA y el entorno informático analizados en la columna 6 de la Patente de EE. UU. No. 7,152,001. Una copia de "figura 3" de la Patente de EE.UU. No. 7,152,001, aumentada para incluir una implementación de MPC de la capa de control de supervisión del segundo sistema 104 de control, se muestra como la figura 3 de la presente solicitud. La arquitectura de implementación de MPC como una capa de control de supervisión como se muestra en la figura 3 es un

quinto aspecto único de la solución. La figura 3 usa los números de referencia idénticos utilizados en la figura 3 de la Patente de EE.UU. No. 7,152,001 y la discusión de los números 42 a 54 de referencia se describen completamente en la Patente de EE.UU. No. 7,152,001 y no requieren más repetición de la descripción. Como puede verse, el segundo sistema 104 de control está vinculado al módulo 54 de construcción de piscina, el módulo de software del controlador LQR, el módulo 44 SCADA, la base de datos 46 principal y el tercer sistema 106 de control. De manera similar, el tercer sistema 106 de control está vinculado al software 52 de topología de red, el segundo sistema 102 de control, la base de datos 46 principal y la interfaz 48 de usuario. Esta integración de los sistemas de control segundo y tercero proporciona un sistema de control de irrigación completo en lugar del sistema de regulación de fluidos de las patentes de EE. UU. No. 7,152,001.

10 **Glosario de términos**

“Modelo de caja negra”: modelo basado en el comportamiento de entrada y salida puro del sistema sin ningún conocimiento de la física real

“Demanda”: carga de flujo en el sistema de red de fluidos

“Modelo de caja gris”: modelo basado en la física del sistema y datos experimentales

15 “Toma de agua”: un canal para retirar agua. Una extracción puede ser una toma del agricultor o un canal de irrigación secundario que retira el agua del canal de irrigación principal

“Respuesta transitoria”: comportamiento de un sistema de control para un cambio en su carga o punto de referencia

“Punto de referencia”: nivel/banda deseado en/dentro del cual se debe mantener la variable controlada

20 “Respuesta escalonada”: la respuesta escalonada es el comportamiento en el tiempo de las salidas de un sistema cuando sus entradas cambian de cero a un valor distinto de cero en un tiempo muy corto

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100) de suministro para el suministro de fluido a al menos un cliente a través de una red de fluidos controlada por ordenador, teniendo dicha red de fluidos una pluralidad de reguladores para controlar el flujo de fluido a lo largo de dicha red de fluidos para suministrar una cantidad predeterminada de fluido a dicho al menos un cliente, 5
incluyendo dicha red un primer sistema (102) de control para abrir y cerrar dichos reguladores bajo control informático, recogiendo dicho primer sistema de control datos basados en mediciones cronometradas de los niveles de fluido corriente arriba y corriente abajo de los reguladores respectivos y las posiciones de apertura de los respectivos reguladores, estando dicho primer sistema de control adaptado para usar el análisis de datos para proporcionar modelos respectivos para la predicción de los niveles de fluido respectivos entre los reguladores, estando el sistema de 10
suministro **caracterizado porque** comprende además un segundo sistema (104) de control que es una capa de supervisión que interactúa con dicho primer sistema de control para proporcionar ajustes en el control de dichos reguladores mediante dicho primer sistema de control en base a las restricciones y la carga de flujo futura.
2. El sistema de suministro de la reivindicación 1, que incluye además un tercer sistema de control que interactúa con dichos primer y segundo sistemas de control, dicho tercer sistema de control procesa las solicitudes de suministro de fluido de dicho al menos un cliente para proporcionar un programa de suministro de carga de flujo en base a la 15
capacidad hidráulica de dicha red de fluidos.
3. El sistema de suministro de las reivindicaciones 1 o 2, en el que dicho segundo sistema de control usa un modelo de control predictivo para proporcionar un control preventivo.
4. El sistema de suministro de las reivindicaciones 1, 2 o 3, en el que dicho primer sistema de control incluye una 20
interfaz de Control de Supervisión y Adquisición de Datos "SCADA" que recopila dichos datos utilizados para calibrar y ajustar continuamente la red de fluidos controlada por ordenador utilizando un modelo de red de tuberías basada en técnicas de identificación del sistema.

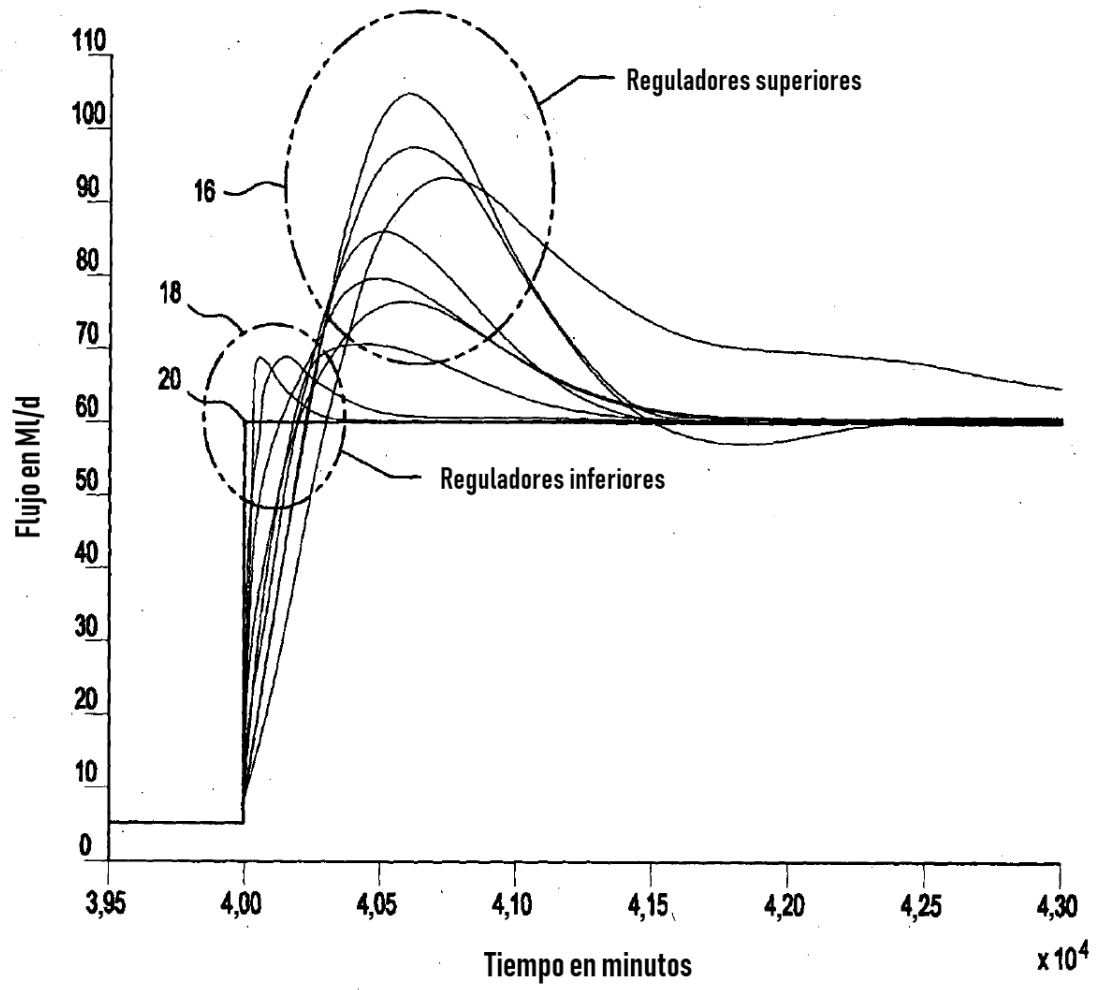


FIG 1

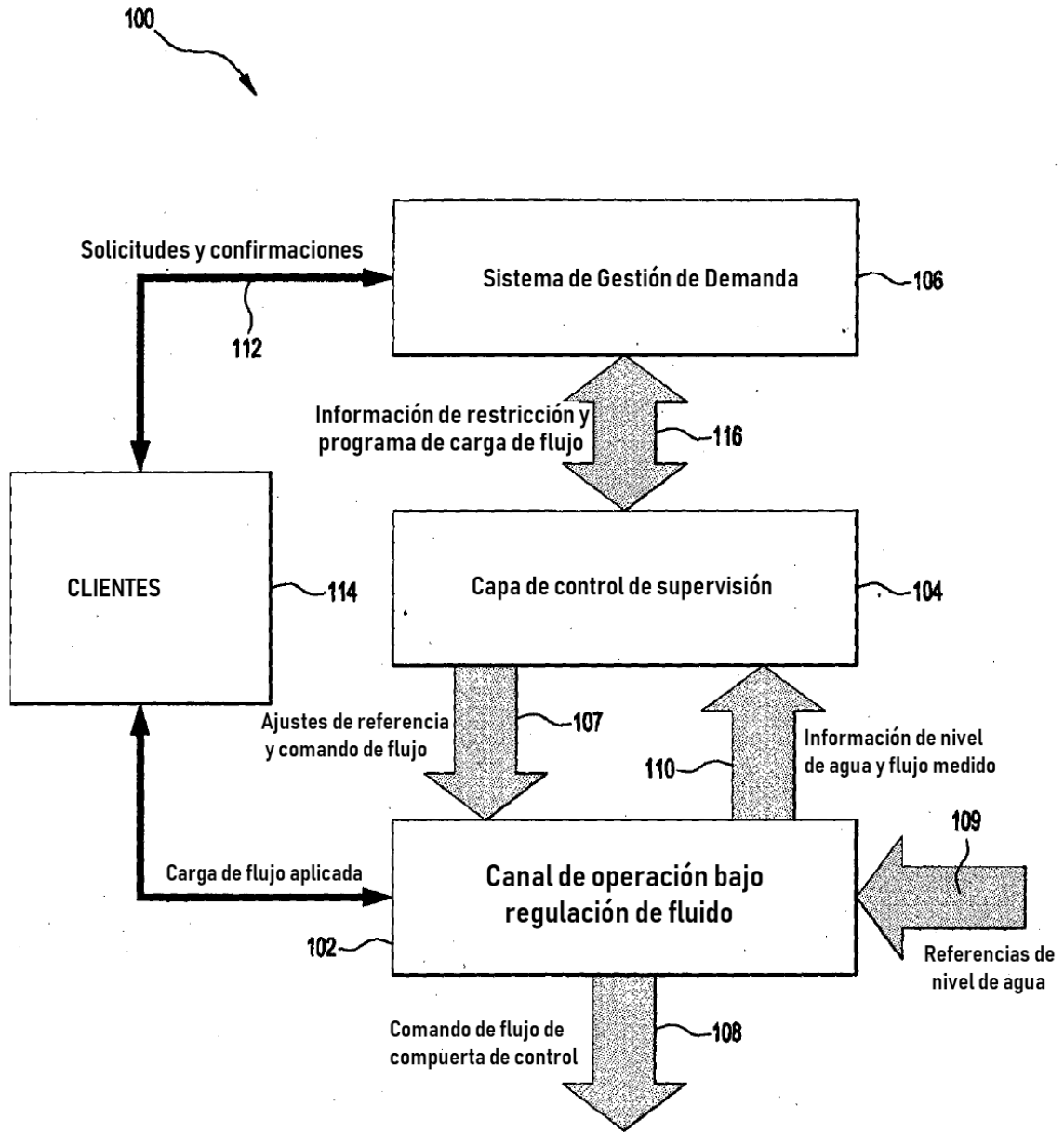


FIG. 2

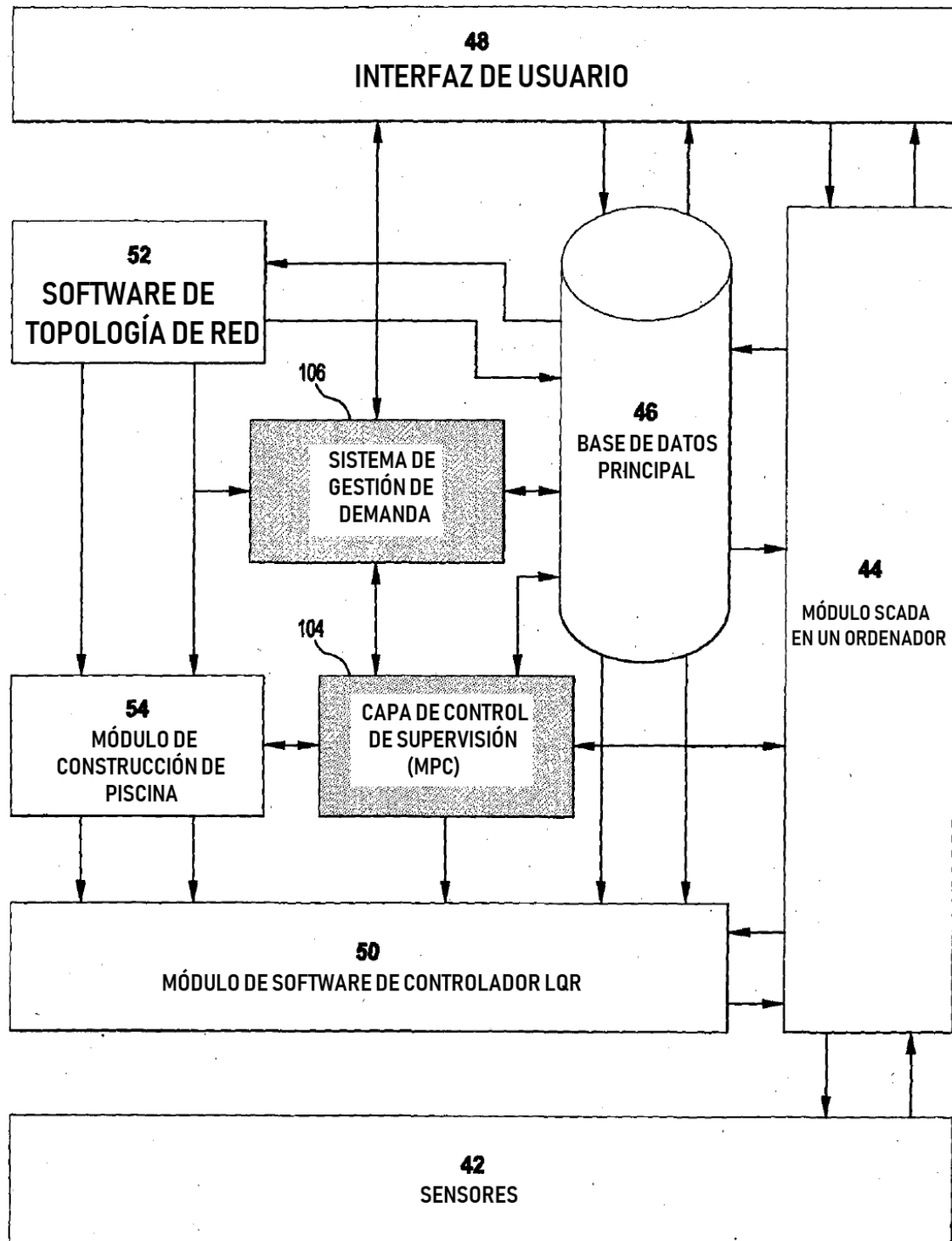


FIG. 3