

SISTEMA Y DISPOSITIVO MODULAR PARA LA MEDICIÓN Y MONITOREO REMOTO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN Y ACOMETIDAS

CAMPO DE LA INVENCION

5 La presente invención está relacionada con la gestión técnica y comercial de las redes de servicios públicos domiciliarios, específicamente con los sistemas de tele lectura, suspensión y reconexión remota del servicio, así como el monitoreo de diferentes parámetros de calidad del fluido y calidad del servicio; lo cual ayudará a los usuarios en la solución de problemas y seguimiento en tiempo real de sus servicios; y los operadores de
10 los servicios públicos de agua, gas y/o energía para una gestión más óptima de sus redes y satisfacción de sus clientes.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Una vez se hace evidente la necesidad de la prestación de servicios públicos domiciliarios como agua potable, energía eléctrica y gas durante los siglos XIX y XX, la humanidad
15 mostró interés en la medición de los consumos de los fluidos en las viviendas, con el objeto de lograr un servicio óptimo y equitativo. Con la aparición de los primeros computadores y sistemas de telecomunicación, algunas empresas operadoras de los servicios y fabricantes de medidores evolucionaron hacia la medición o lectura remotas de
20 medidores, fortaleciendo los aspectos electrónicos de los contadores de agua, gas y electricidad.

En cuanto a la Telemetría, aunque existen evidencias de inicios incipientes de la telemetría en la primera revolución industrial, con la era del vapor, tan solo hasta finales del siglo XIX se popularizó el uso de telemetría como dispositivos de alcance, principalmente en
25 sistemas eléctricos y con capacidad para medir diferentes parámetros.

En la primera mitad del siglo XX, la telemetría tuvo un amplio uso sobre todo por la ocurrencia de las guerras mundiales, en las cuales se proliferó su uso por las investigaciones realizadas en cohetes y aviones. Este impulso llevó este tipo de tecnologías al alcance de las industrias, y que fueran comercialmente viables.

Es así, como en la segunda mitad del siglo XX, con los avances en la exploración espacial, la guerra fría; el desarrollo en diferentes campos como la salud, fabricas, armas y satélites, llega finalmente la telemetría a las empresas de todos los servicios públicos domiciliarios, como agua potable, alcantarillado y gas.

- 5 La telemetría en este punto consistía en la recolección de datos en sitios de diferentes mediciones físicas y químicas de puntos remotos y su transmisión automática a un equipo receptor por medio de canales de comunicación (Telecomunicaciones) para su posterior seguimiento y control.

- 10 A finales del siglo XX se hicieron muchos avances en sistemas de telemando como complemento de la telemetría sobre todo en los procesos o sistemas que necesitan instrucciones, basados en diferentes medidores externo. Y que por lo general envían dicha información a un sistema SCADA (Suspensión, control y adquisición de datos) que se gestionaba a través de un centro de control.

- 15 Las empresas de servicios públicos domiciliarias, principalmente de agua potable, alcantarillado, gas y energía en la actualidad cuentan con una infraestructura , que en una mayoría de casos esta por fuera de su periodo de diseño, con una presión demográfica sin precedentes y con la necesidad de garantizar una prestación del servicio optima, sostenible y asequible para toda la población; por lo tanto se han visto en la necesidad de realizar una transformación digital evolucionando de la telemetría al internet de las cosas
20 (IOT)

- El internet de las cosas (IOT) son cosas (Dispositivos y objetos) conectados, que están equipados con sensores, software y un componente tecnológico de transmisión y recepción de datos, y dichos dispositivos u objetos tienen la capacidad de comunicarse bidireccionalmente con otros dispositivos u objetos. Estas cosas o dispositivos buscan
25 remplazar remotamente los sentidos del ser humano a través de los diferentes sensores para la captura de datos. De manera predeterminada transmiten los datos a un sistema con capacidad para almacenarlo organizadamente, procesar y analizar la información que sustenta la operación y/o las decisiones que se toman parte de los administradores.

La evolución y masificación de los dispositivos IOT que se ha venido dando en los últimos años es una consecuencia del avance y la unión de diferentes tecnologías como la conectividad a internet, la globalización de una extensa gama de sensores, cada vez mas amplia y la capacidad de procesamiento y almacenamiento de los equipos de cómputo.

- 5 Estos avances tecnológicos enunciados con anterioridad permitirán a las empresas y organizaciones disponer de una Big data importante, como reporte para la inteligencia artificial y el Machine Learning o aprendizaje automático de las maquinas. Así mismo, la capacidad de procesamiento y almacenamiento de información en la nube, Cyber Seguridad y la capacidad de procesar información "in situ", en los dispositivos conocidos
- 10 también como Edge Computing, permitan también la toma de decisiones de manera inmediata y almacenar tan solo lo necesario, así como su transmisión y recepción.

Las tecnologías de comunicación evolucionaron permitiendo transmitir datos desde los dispositivos hasta una estación colectora o base (Gateway), incluso a distancias importantes por bajos costos energéticos, los cuales se han denominado LPWAN (Low power wide Area Networks). Si bien este tipo de tecnología permite tener costos bajos de

15 transmisión y un largo alcance. Tiene limitaciones en cuanto a la cantidad o volumen de datos que puede transmitir.

Todos estos avances tecnológicos en la actualidad permiten que maquinas, dispositivos y sensores puedan ser conectados a software o aplicaciones empresariales como ERP'S

20 con capacidades de Machine Learning e inteligencia artificial, lo cual provee una comunicación más fluida entre máquinas y programaciones automatizadas desde el sistema principal, logrando una mayor eficiencia y productividad ya que permite escenarios, parámetros y alternativas entre otras, que de otra manera serian prácticamente imposible.

- 25 Por otra parte, la gestión técnica y administrativa de las redes de servicios públicos siempre ha sido uno de los mayores retos de estas empresas en cuanto a la detección y localización de fugas, principalmente en todos aquellos aspectos relacionados con la perdida de fluido y las dificultades técnicas que representa la detección y ubicación en un periodo corto de tiempo de algún tipo de fuga en las redes de distribución.

A manera de ejemplo se expone el caso de las empresas de agua potable. Muchas empresas de servicios públicos domiciliarios de agua potable se basan en el concepto de balance hídrico que se realizó en IWA (International Water Association), en la cual se describen los diferentes tipos de pérdidas de agua para su gestión:

				IWA	Colombia		
1	2	3	4	5	6		
Volumen suministrado al sistema	Consumos Autorizados	Consumos autorizados facturados	Consumos facturados medidos.	Ingresos por Agua	Consumos medidos o estimados		
			Consumos facturados no medidos (Estimación)				
		Consumos autorizados no facturados	Consumos medidos no facturados.	Agua no facturada		Agua no contabilizada	
			Consumos no medidos no facturados.				
	Perdida de agua	Perdidas aparentes	Consumos no autorizados.				
			Errores en la Micro-Medición.				
		Perdidas reales	Fugas en líneas de transmisión o líneas principales.				
			Fugas en reboses en tanques de almacenamientos.				
		Perdida en las conexiones domiciliarias antes del micromedidor.					

5

La columna 5 calcula las pérdidas de agua de acuerdo con los conceptos de la IWA, y la columna 6, presenta una variación de las pérdidas de cómo algunos países las asumen. Adicionalmente a este tipo de pérdidas de agua, se puede sumar las fugas de agua internas en los predios de tipo no visible, ya que en una gran mayoría de casos los asume por varios meses la empresa operadora del servicio.

10

A pesar de que la tierra está cubierta en un 71% de agua, se estima que un poco menos del 3% es agua dulce, de los cuales el 1.74% corresponden a los glaciares y casquetes polares en forma de hielo. Así que, el resto que representa menos del -1% se encuentra en ríos, lagos, ciénagas, lagunas, aguas subterráneas, atmosfera y otros cuerpos de agua.

- 5 Mundialmente las pérdidas de agua en las redes de distribución de agua potable se estiman en 34% (Agencia Internacional de Energía), países como España 25.4%(CNMC), Reino Unido 23.37% (Water UK), Estados Unidos 20% (Ambiente y Sociedade) y Colombia 41.4% (SSPD – 2020). Se estima que las perdidas reales (Fugas) son del 22.5% a nivel mundial, en España cerca del 16.3% (IAgua), Reino Unido 23% (IAgua), Estados
- 10 Unidos 16% (Gobierno Federal) y Colombia 27% (SSPD).

El grupo de perdida de agua de IWA (Water Las Group) propuso cuatro actividades para disminuir el nivel de pérdidas de agua en la red como son:

- a) Control de presiones en la red.
- b) Control activo de fugas.
- 15 c) Rapidez y calidad en las reparaciones.
- d) Gestión de la infraestructura: Renovación y reposición.

- Estas estrategias para el control de perdidas empezaron a ser conocidas hacia finales del siglo XX debido a las exitosas experiencias en Inglaterra, lo que las catapultaron al resto del mundo, sin embargo, dicho éxito no ha permitido disminuciones de pérdidas de agua,
- 20 muy por debajo de la línea del 25%.

Según las proyecciones de la OCDE para el 2050, el aumento en la demanda de agua será de un 55% tomando como punto de partida el año 2000, y se prevé que para ese año la mitad de la población sufrirá escases de agua y que 240 millones de personas continúen sin acceso al agua.

- 25 En la actualidad muchas empresas operadoras de dichos servicios han implementado planes piloto, con sistemas de lectura automática de contadores (AMR) y sistemas de infraestructura avanzada de medidores (AMI) utilizando medidores con un dispositivo de comunicación, los cuales van desde tecnología cerradas, hasta tecnologías abiertas, ambas por medio de Wireless, M-Bus, Radio Frecuencia, Telefonía Móvil, Telefonía Fija,

o inclusive en los últimos años con sistemas LP-WAN (Low Power Wide Area Networking), como Sigfox, Lorawan o NB-IoT.

Lo anterior, hizo que muchos fabricantes de medidores mecánicos abandonaran prototipos exitosos en años anteriores, por su incapacidad para realizar la lectura remota y la respectiva transmisión de la información, lo cual llevó a estos fabricantes a producir “medidores inteligentes” cuyos precios se han aumentado en casi un 500%, respecto de los medidores sencillos.

De acuerdo con el estado de la técnica, se divulgan invenciones que permiten incorporar al medidor otros accesorios o dispositivos internos como válvulas y sensores, que otorgan otras prestaciones de mejora en los servicios, como es el caso del documento divulgado en la Patente US 2021/0148729, que consiste en un dispositivo de medición inteligente con nivel de servicio adaptable (smart metering device providing adaptive service level). Este dispositivo de medición inteligente consta del medidor del consumo del servicio, un dispositivo de comunicación, un actuador de cierre y sensores. Esta solución, si bien satisface las necesidades de mediciones distintas al consumo para este tipo de medidor, no divulga que sea adaptable para otros tipos de medidores, tales como los mecánicos o análogos. Así mismo, no es adaptable a todos los medidores digitales, ya que cada uno de estos podría tener su propia tecnología de pulsos para la conversión de los consumos de respectivo servicio. Tampoco, se divulga la posibilidad para la detección y localización de fugas en las redes de distribución del fluido.

Adicionalmente, se encuentran invenciones que permiten leer los medidores de fluidos por medio de fotografía y que integran dispositivos de comunicación, tales como el divulgado en la Patente WO2018/015822, el cual consta de un sistema electrónico para la lectura remota de contadores de consumo, que comprende un fotodispositivo de lectura instalado en un contador y un dispositivo electrónico de comunicación. No se evidencia en el documento divulgado que éste dispositivo pueda contar con diferentes sensores de medición de calidad del fluido y el servicio, como tampoco, cuenta con un dispositivo actuador para el cierre del fluido ni un sistema de búsqueda automática de fugas.

Por otro lado, se han encontrado dispositivos para la lectura automatizada de medidores, como se divulgó en la Patente US2019/0297395 que consta de una unidad lectora de

medidores que incluye un sensor de captura de imágenes para producir datos. Incluye un procesador de imágenes para extraer los datos numéricos, un transistor inalámbrico transmite los datos del medidor, también cuenta con fuente de alimentación que proporciona energía a la unidad lectora de medidores. Esta solución aparentemente se puede adaptar a cualquier tipo de medidor de fluidos de manera externa, y realiza la actividad de Telelectura o lectura remota del medidor, sin embargo, no cuenta con un dispositivo actuador para el cierre del fluido, ni un sistema de búsqueda automática de fugas ni sensores de diferentes parámetros de calidad del servicio.

Para resolver esta situación, se ha diseñado un dispositivo que permite leer los medidores mecánicos y análogos de bajo costo con muy buena calidad, a través de la Visión Artificial para la captura de imágenes en tiempo real, las cuales son transmitidas a un Software de Big Data que procesa y analiza las imágenes para obtener la información precisa y real del medidor, como son el código de dicho medidor y el consumo registrado.

Adicionalmente el dispositivo cuenta con un interruptor o válvula interna que permite cerrar el paso del fluido para los casos de necesidad del cierre parcial o total de las viviendas, o inclusive para la suspensión y/o reconexión remota del servicio desde un aplicativo web y/o móvil.

También, cuenta con un sistema de captación de sonido por medio de transductores para la identificación de posibles fugas del fluido, y con un emisor de ruidos para la medición en campo de la velocidad de la onda sonora a través de las paredes de las tuberías. Dicho dispositivo, tiene la capacidad de medir a través de diferentes sensores digitales parámetros varios de calidad del fluido y del servicio.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Para resolver esta situación, se diseñó un sistema y dispositivo modular para la medición y monitoreo remoto de redes de distribución y acometidas que permite leer y controlar los medidores, a través de la Visión Artificial para la captura de imágenes en tiempo real, las cuales son transmitidas a un Software de Big Data que procesa y analiza las imágenes para obtener la información precisa y real del medidor, como son el código de identificación de este y el consumo registrado.

En donde dicho sistema y dispositivo modular, comprende una caja de visión, una recámara electrónica, un conjunto de parales de ajuste y un sistema de ajuste a Red.

En donde el sistema y dispositivo modular se conecta por medio de un módulo de comunicaciones a un sistema remoto que recibe, organiza, analiza la información y toma
5 decisiones.

En donde el sistema y dispositivo modular de monitoreo y control, puede detectar y localizar la fuga de fluidos en un determinado segmento de la red de distribución, haciendo uso de los sensores que se acoplan en el dispositivo modular dispuesto en los medidores y acometidas.

10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura No. 1: Muestra vista esquemática de la integración de los módulos que componen el sistema modular e medición y control.

Figura No. 2: Muestra una vista lateral de una realización de la presente invención en la
15 cual se puede observar los elementos estructurales que componen el dispositivo modular de una realización de la invención.

Figura No. 3: Muestra una vista frontal de una realización de la presente invención en la cual se puede observar el acople del dispositivo modular a un medidor de acueducto.

Figura No. 4: Muestra una vista superior de una realización de la presente invención en
20 la cual se puede observar el acople del dispositivo modular a un medidor de acueducto.

Figura No. 5: Muestra una vista lateral de una realización de la presente invención en la cual se puede observar el acople del dispositivo modular a un medidor de energía eléctrica.

Figura No. 6: Muestra una vista frontal de una realización de la presente invención en la
25 cual se puede observar el acople del dispositivo modular a un medidor de energía eléctrica.

Figura No. 7: Muestra una vista lateral de una realización de la presente invención en la cual se puede observar el acople del dispositivo modular a un medidor de gas domiciliario.

Figura No. 8: Muestra una vista frontal de una realización de la presente invención en la cual se puede observar el acople del dispositivo modular a un medidor de gas domiciliario.

Figura No. 9: Muestra una vista esquemática de los módulos que comprende el sistema de monitoreo y control remoto.

- 5 **Figura No. 10:** Muestra una vista esquemática de los módulos que comprende el sistema de detección de fugas.

Figura No. 11: Muestra una vista esquemática de una representación de la operación del sistema de detección de fugas en una red de distribución de acueducto.

10 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Se ha desarrollado un sistema y dispositivo modular para la medición y monitoreo remoto de redes de distribución y acometidas cuyos principales aspectos son: Gestión comercial, Telemando, telemetría y gestión de las redes de servicios públicos domiciliarios.

- 15 Este sistema y dispositivo modular permite a los operadores de los servicios públicos domiciliarios de agua potable, gas y energía realizar un proceso de facturación sin errores y en tiempo real ya que la verificación de desviaciones significativas será realizada de manera horaria o diaria de acuerdo con los que se predetermine en el sistema. Así mismo, permite conocer en detalle, el patrón de consumo por cada usuario, por sector, por circuitos hidráulicos, por barrio o por cualquier otro parámetro de asociación como también
20 se puede conocer con exactitud el patrón de consumo de toda la explotación.

- El sistema y dispositivo modular crea un vínculo más directo de la empresa con el usuario, ya que este cuenta con una aplicación Web y Móvil que le permite conocer el estado de su servicio y consumo en tiempo real. El usuario puede verificar desde su ordenador o su teléfono móvil, tableta, etc, la coordinación para realizar la programación de su pago o la
25 respectiva autorización para el débito automático de esta. Adicionalmente, dicha aplicación, permite a los usuarios conocer con anticipación sus obligaciones de apoyo y si existe algún orden de suspensión del servicio para evitar con tiempo que esto suceda.

La presente invención describe un sistema y dispositivo modular para la medición y monitoreo remoto de redes de distribución y acometidas, que permite leer el registro o consumo de fluidos de forma remota, detectar fugas, cerrar el paso del fluido, medir características del fluido acorde al tipo de sensor que se incorpore en el dispositivo modular o a la necesidad del usuario o de la empresa prestadora del servicio público. Dicho dispositivo modular está conformado por una caja de visión, recámara electrónica, recámara de ajuste, paral de ajuste, sistema de ajuste, sistemas de anclaje, tubo de medición, válvula, sensores, micrófono y un emisor de ruido.

De acuerdo con la FIG 2, el dispositivo modular de la presente invención comprende una caja de visión (1), una recámara de electrónica (2), una recámara de ajuste (3), un paral de ajuste trasero (4), un paral de ajuste delantero (5), un sistema de anclaje a red trasero (6), un sistema de anclaje a red delantero (7), un tubo de medición (8).

En una realización de la invención, la caja de visión (1) integra en su compartimento interno cámaras que apuntan hacia el registro del medidor de fluido, una recámara de electrónica (2) la cual integra en su interior la tableta electrónica y fuente de energía, una recámara de ajuste (3) por medio del cual se puede ajustar el dispositivo modular de forma horizontal en el medidor de fluido, un paral de ajuste trasero (4) por medio del cual se puede ajustar el dispositivo modular de forma vertical en el medidor de fluido, también comunica la caja de visión (1) y la recámara electrónica (2) con el sistema de anclaje a red trasero (6). Un sistema de ajuste delantero (5) permite ajustar el dispositivo de forma vertical, un sistema de anclaje a red trasero (6) que une de forma mecánica el dispositivo modular al medidor de fluido, el cual puede integrar en su compartimento interno sensores digitales para medir características del fluido, un interruptor o válvula de cierre, transductores y emisores de ruido; los cuales se conectan a la tableta electrónica dispuesta en el interior de la recámara electrónica (2), un sistema de anclaje a red delantero (7) que une al dispositivo modular a la red del medidor del fluido de forma mecánica, un tubo de medición (8) en el cual se dispone una válvula, sensores para medición de calidad o presión del fluido.

En una configuración inicial de la presente invención, el dispositivo modular puede ser acoplado a un medidor de agua (9), tal como se representa en la FIG 3 y 4, de modo que, la caja de visión (1) está compuesta en su interior hasta por cuatro cámaras fotográficas en cada uno de los ángulos internos opuestos de dicha caja. La caja de visión (1) se
5 dispone sobre la cara del medidor (9) verificando que las cámaras fotográficas visualicen los datos del registro del medidor desde los cuatro ángulos internos opuestos de la caja (1). Adicionalmente, se añade el módulo de la recámara electrónica (2), el cual incorpora en su compartimento el microprocesador compuesto por una tarjeta electrónica (Printer Circuit Board) que incluye circuitos integrados (CI) y sistemas electrónicos, así como,
10 microcontroladores (MCU o MPU) con módulos de comunicación LPWAN; también incorpora la fuente de energía que se compone de baterías de ion de litio. La recámara de ajuste horizontal (3) brinda estabilidad a la caja (1) sobre un plano horizontal, mientras que el paral de ajuste trasero (4) da estabilidad y soporte a la caja (1) en un plano vertical, también comunica la caja (1) con la recámara electrónica (2) y permite que las cámaras
15 fotográficas se conecten con el microprocesador y la batería.

Adicionalmente, el paral de ajuste trasero (4) conecta con el sistema de anclaje a red trasero (6); dicho sistema de anclaje a red trasero (6), acopla en su interior sensores digitales de calidad y presión del agua y calidad del servicio, tales como medidores de presión de distintos principios de funcionamiento como capacitivos o piezorresistivos
20 (entre otros) para la calidad del servicio principalmente; en cuanto a calidad del agua, puede contar con sensores de turbidez, dureza, conductividad eléctrica, o medidores de color residual en línea entre otros; también está equipado con un sistema de medición del ruido compuesto por un sensor de sonido o micrófono y un emisor de ruido. Por último, este sistema de anclaje trasero integra una válvula de cierre en caso de que sea necesario
25 cerrar el suministro del fluido por no cumplir con el pago del mismo o por detectar un parámetro no deseado en la calidad del agua por medio de los sensores. Finalmente, el sistema de anclaje a red trasero (6), permite fijar mecánicamente el dispositivo modular a la red de distribución del fluido por medio de un sistema mecánico roscado o una abrazadera. El sistema de ajuste delantero (5) brinda estabilidad al dispositivo de forma
30 vertical y permite la conexión entre la recámara horizontal (3) y el sistema de anclaje a red delantero (7). El sistema de anclaje a red delantero (7) une el dispositivo modular a la red

de distribución por medio de una abrazadera. El tubo de medición (8) está conectado con El sistema de anclaje a red delantero (7), adicionalmente, dicho tubo de medición (8) integra una válvula de tipo ventosa para la purga de aire presente en la acometida o en la red.

- 5 De acuerdo con la FIG 1, el sistema es un conjunto de elementos y algoritmos (100), el cual opera mediante la red de distribución de servicios públicos (200), en los cuales se encuentran las viviendas objeto de medida, que son los usuarios de los servicios y cada una cuenta con un dispositivo modular (DMR); el conjunto de medidores y dispositivos garantizan la cobertura total de puntos de medición y colección de información para el
- 10 sistema (300).

Estos dispositivos tienen comunicación con un sistema de Big data o Cloud data center (500) y con el ERP de las empresas de servicios públicos (600) por diferentes tipos de tecnologías de comunicación, pero esta invención se enfoca principalmente en tecnologías de IOT con conexión entre los mismos dispositivos que por medio de sistemas

15 de comunicación LPWAN, tales como Sigfox, lorawam o NB iot.

Por otra parte, el cloud data center (500) y el ERP de servicios públicos (600) comprende todo el sistema (400) de algoritmos necesarios para recepcionar la información de los dispositivos (300), clasificarla, analizarla, procesarla, generar resultados o información necesaria en el sistema de algoritmos (400) para la toma de decisiones y en determinados

20 casos enviar información de vuelta a los dispositivos para realizar algún tiempo de acción, como cierre de válvulas del sistema o de los dispositivos. Los dispositivos modulares (300) tienen la capacidad de transmitir la información al sistema Cloud Data Center (400) y viceversa.

De acuerdo con la FIG. 2 las partes que componen el dispositivo modular (MDR), en una

25 realización de la invención se caracterizan por: Caja de visión (1) integra un sistema de cámaras fotográficas que puede ir entre uno y cuatro cámaras en 360°, del tipo de visión nocturna para resolver la situación de falta de luz que hay dentro de las cajas de medidores principalmente en el servicio de acueducto. Las cámaras tendrán la capacidad de visión nocturna con LED infrarrojas de 830nm, del tipo CHOS, iluminación mínima de 0 lux y

30 resistencia al agua. En la recamara electrónica (2) se almacena la tableta electrónica, el

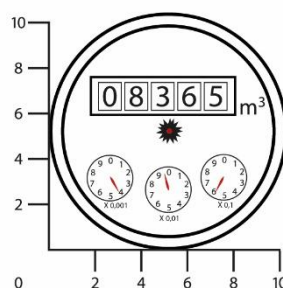
sistema de comunicación LPWAN y la fuente de energía de todo el dispositivo seleccionada del grupo de baterías de litio.

De acuerdo con la FIG. 6, muestra como está conectado el sistema de lectura remota (52) y proceso de facturación en las empresas de servicios públicos, así como las mediciones de telemetría (53) y el tratamiento de esta información (55).

De acuerdo con la FIG. 7, se presenta el sistema para detección y localización de fugas (67) por medio de un diagrama de bloques, el cual se complementa con la FIG. 8, que representa la forma en que una fuga se presenta en una red de distribución y la onda sonora es percibida por diferentes dispositivos modulares (MDR) (53).

LECTURA REMOTA Y PROCESO DE FACTURACION:

Para efectuar el proceso de lectura remota y el proceso de facturación, el sistema y dispositivo modular actúa por medio de la caja de visión (51) y se toman las fotografías con las diferentes cámaras (52), las cuales son almacenadas para cada rango de tiempo predefinido por medio del sistema (54) como, por ejemplo: cada 15 minutos, cada hora o una lectura diaria. Posteriormente estas imágenes son transmitidas al software de Big data, por medio del cual se fusionan las fotografías de cada tiempo en estudio (56), con el objeto de obtener una única imagen por cada lectura realizada con la mayor calidad posible. Una vez se obtiene la imagen de la lectura, esto se convierte a un plano cartesiano para el reconocimiento de cada una de sus partes como son: tablero de lectura, diales, identificador del medidor, entre otros.



Por medio de un algoritmo identifica la lectura (58) y el identificador del medidor (57) por medio de OCR (Optical Character Recognition), y si es el caso leerá directamente los

diales con sus manecillas para identificar la lectura. Así mismo también almacena en el software de Big data la hora de toma de dichas fotografías

El algoritmo de análisis de lecturas calcula los consumos temporales y realiza un comparativo de desviaciones significativas con respecto a la media de los últimos seis meses (62), para cada bloque de tiempo estudiado. De este análisis de consumos se obtienen las diferentes alertas (61), como posibles fugas internas, consumos bajos (posibles consumos no autorizados) y transmite esta información a modulo comercial del ERP de servicios públicos (60) para que se generen las respectivas ordenes de inspección y el almacenamiento de dicha información (64).

La lectura necesaria para la facturación de los servicios será transmitida desde el software de Big data por solicitud del ERP (60), para una fecha y hora especifica. Los consumos medidos en rangos de tiempo predeterminados como minutos, horas, permiten al algoritmo de análisis realizar las curvas de consumo por usuario, sectores, barrios, entre otros factores. En el análisis de consumos (62) el algoritmo realiza una estimación de las pérdidas que se generan por un posible subcontaje del medidor, ya sea por desgaste o por cualquier otro motivo. Para esto, el software de Big Data debe estar alimentado con una base de datos de las curvas de error de cada tipo de medidor que se encuentre instalado en el sistema de distribución.

TELEMETRIA

Por otra parte, para realizar acciones de telemetría el sistema y dispositivo modular, de acuerdo con la figura No. 9, integra los diferentes sensores con que cuenta un dispositivo modular (DMR) en el tubo de medición (8) y/o en el sistema de anclaje trasero (6), pueden realizar las mediciones (53), realizar el almacenamiento temporal (54) y transmitirlo en un tiempo predeterminado y horas especificas al software de Big data (55). El algoritmo de análisis de parámetros de calidad (63) procesa la información según cada uno de los parámetros a evaluar y la necesidad de la red de servicio público en estudio.

En caso de monitorear parámetros relacionados con la calidad del agua, según las necesidades y los riesgos de cada sistema de agua potable, se determinarán los

parámetros a los cuales el operador desea realizar seguimientos en tiempo real, los cuales pueden ser seleccionados entre los parámetros físicos, biológicos, o químicos.

Estos parámetros deberán ser seleccionados para que se pueda hacer seguimiento en tiempo real a los indicadores más importantes del fluido de acuerdo con sus características. Sin embargo, un capítulo especial en el seguimiento de calidad del fluido, muy especialmente en agua; es el monitoreo en línea de la red de cloro residual libre, ya que este permite al operador controlar la desinfección del agua en línea y controlar dosificaciones como también saber que sectores tienen algún agente de contaminación.

También permite generar alertas (61) de posible contaminación en determinados sectores y enviar la información al ERP de servicios públicos (60) o en su defecto al centro de monitoreo y control (66).

También el dispositivo modular podrá tener una cobertura de sensores importantes de turbidez y temperatura con el objeto de poder estimar en caso de detectar ondas sonoras cuando se trata de posibles cavitaciones.

En cuanto a la calidad del servicio, si bien podría el dispositivo tener diferentes tipos de sensores, quizás, en agua potable, el más importante es el medidor de presión; que permite medir la presión media y sus variables estadísticas en tiempos predeterminados, así como transientes de presión.

La combinación de turbidez, temperatura y transientes de presión puede detectar la presencia de cavitaciones en algún punto de la red. La combinación de caudal en el medidor y presión en las acometidas permiten calcular en línea indicadores de calidad del servicio como continuidad y frecuencia entre otros.

Una ventaja técnica que representa el desarrollo la invención propuesta, radica en que la captura de información de presión del fluido, permite al sistema generar la información para calibración en tiempo real de modelos matemáticos hidráulicos, con los cuales se pueden optimar los escenarios de operación por el cierre o apertura de válvulas, encendido o apagado de bombas, o en su defecto modificar las condiciones de operación de dichas bombas a través de variadores de frecuencia, entrada o salida de servicio de tanques de almacenamientos y simulación de incendios entre otros.

A través de la inteligencia artificial se predicen las condiciones de operación del sistema de acuerdo con cada uno de sus componentes, logrando una mayor eficiencia energética y en general en la gestión de la prestación del servicio de agua potable y la red de distribución.

Un modelo hidráulico es el uso de métodos numéricos para la estimación de caudales y presiones e inclusive en redes de distribución de agua. En la actualidad estos van desde métodos numéricos iterativos simples hasta complejas operaciones de matrices que buscan resolver sistemas de ecuaciones no lineales. Normalmente las variables de los modelos son: a) Caudal transportado por cada tubería, b) Los caudales externos demandados en cada nodo que normalmente constituye la sumatoria de consumos de un área aferente, c) La altura piezométrica y presión en cada nodo del sistema y d) Las pérdidas de energía en cada tubería.

Por lo general estos modelos matemáticos utilizan el principio básico de las leyes de Kirchhoff en cuanto a conservación de energía y carga, y en cuanto al modelo hidráulico pueden ir desde las ecuaciones simples de Bernoulli hasta las ecuaciones complejas de Navier Stokes; y se han simplificado estas ecuaciones para modelar el flujo hidrodinámico en las tuberías.

Teniendo en cuenta que la operación de redes de distribución es dinámica durante el día y de acuerdo con las condiciones que se van presentando por consumos variables espacial y temporalmente, en el caso de redes de acueducto se hace necesario contar con modelos hidráulicos vinculados en tiempo real con sistemas de telemetría y telemando para la calibración permanente de estos y toma de decisiones más eficiente en cuanto a la operación de la red, principalmente en el manejo de presiones, control de fugas, análisis de calidad del agua de diferentes parámetros y la implementación de planes de vulnerabilidad ante eventos de posibles contaminaciones, así como diseño óptimo de la red y la optimización del consumo energético.

DETECCION Y LOCALIZACION DE FUGAS Y/O PUNTOS DE CAVITACION

En cuanto a la detección y localización de fugas o puntos de cavitación, el desarrollo de la presente invención facilita por medio de los sensores de ruido, sensores de emisión de ruido y sensores de presión con los que se encuentra equipado el dispositivo modular (DMR) en el tubo de medición (8) o en el sistema de anclaje trasero (6), realizan cada uno de sus mediciones para que, con esta información, el sistema Big data (55) pueda realizar el análisis necesario para la detección y localización de fugas y posteriormente la estimación de caudales perdidos por fugas tanto en la red de distribución como en las acometidas.

Los sensores de ruido acústico miden el nivel de ruido en un tiempo predeterminado de tal manera que permite al sistema conocer con exactitud cuando hay y cuando no hay fuga y por ende con las mediciones de caudal obtener un caudal mínimo nocturno bastante exacto.

Los audios obtenidos por los sensores de ruido (53) se almacenan en estos dispositivos modulares (54) y se transmite en horas prefijadas para un primer análisis de parámetros de calidad en el cual se define si hay sospecha de fuga (63). Si existe sospecha de fuga señala alerta (61) y se activa el algoritmo de detección y localización de fugas (67), de acuerdo con la FIG 10.

En el paso (69), el software de Big data accede al sistema de información geográfico para identificar el conjunto (par) de sensores alrededor de aquel que obtuvo las mayores mediciones de nivel de intensidad. Una vez identificados, ubica en la base de datos los audios de cada dispositivo (70), como también ubica en la base de datos la velocidad de onda sonora (74) para cada tramo entre los dispositivos modulares seleccionados que contengan la fuga entre estos.

A cada uno de los audios seleccionados (70) se le hace un tratamiento previo que consiste en la aplicación de los filtros necesarios para limitar el ancho de banda de las señales sonoras de la fuga.

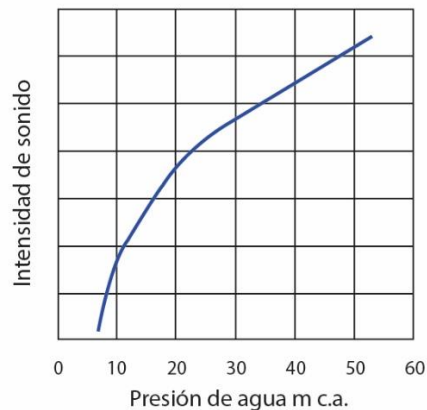
Los sonidos producidos por fugas de agua según subsurface leak detection (2003) son tres: a) Resonancia del tubo y vibraciones producidas por el orificio debido a la velocidad que se genera por este una ocasión de un diferencial de presión entre el flujo interno en

la tubería y la parte externa de esta. b) El impacto de agua en el suelo alrededor de la tubería y c) El flujo y la circulación del agua en el suelo alrededor de la tubería.

Solo se tendrá en cuenta la resonancia del tubo y las vibraciones producidas por el orificio en las paredes de la tubería, ya que este es generalmente el de mayor intensidad.

5 En cuanto a los factores que afectan la intensidad de los sonidos producidos por fugas y transmitidos por las paredes de las tuberías, solo se tendrá en cuenta los siguientes:

- Presión del agua en la tubería: tiene una relación directa, ya que la presión del agua es directamente proporcional a la frecuencia o a la intensidad del sonido.



10

- El material y el diámetro de la tubería según los estudios encontrados, entre el material sea más rígido, generan sonidos de mayor intensidad y frecuencias más altas y a mayor diámetro de la tubería menor será la intensidad y presenta frecuencias más bajas. Realizado el tratamiento previo de los audios, pasándolos por diferentes tipos de filtros y en algunos casos modificada la señal, con el objeto de detectar más tipos de fugas, se obtiene un sonido con poca interferencia de ruidos, ya que es lo que más se aproxima al nivel de ruido generado solo por la fuga.

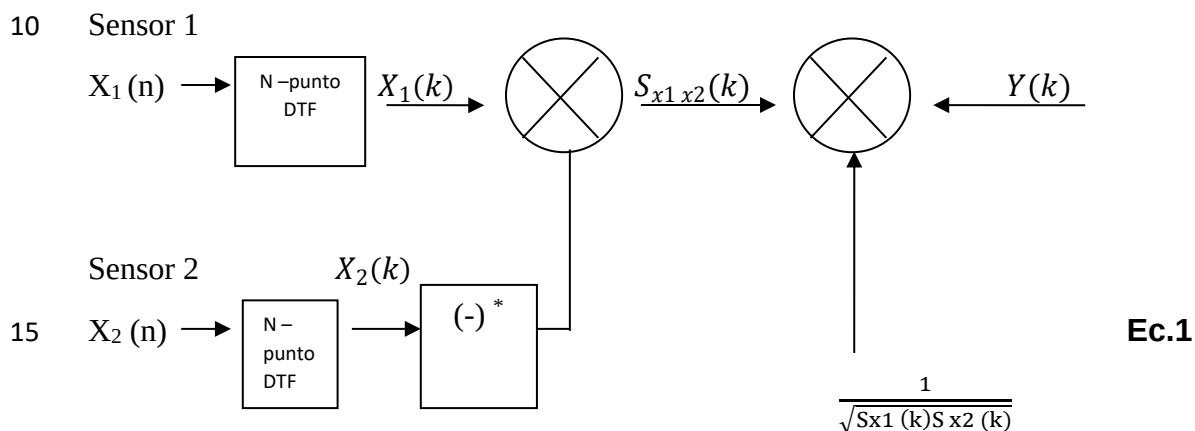
15

Se procede a identificar si el sonido almacenado en los audios corresponde a una fuga, y esto se realiza por medio de modelos matemáticos basados en la transformada de Fourier (72) con la cual se determinan los componentes espectrales de la señal sonora de la fuga y su diferencia a los demás componentes de ruido. Por medio de la función de coherencia

20

(73) se encuentran las frecuencias comunes entre cada dos señales cruzadas del conjunto de audios seleccionados (70).

De acuerdo con estos procedimientos universalmente reconocidos, cada una de estas combinaciones es verificada con la Transformada de Fourier. Se determinan los componentes espectrales de las señales de fuga y se diferencian de los ruidos. Para esto se emplea la función coherencia, que permite encontrar frecuencias comunes entre dos señales y evaluar la similitud entre ellas. Lo anterior, aplicado a un proceso estacionario proporciona una medida estadística de la correlación entre dos señales en función de sus frecuencias.



• $0 \leq Y(k) \leq 1 \rightarrow$ Resultado de la coherencia

• $\left. \begin{matrix} X_1(n) \\ X_2(n) \end{matrix} \right\}$ Son las señales muestreadas con $n = t/T_S$

T_S = Periodo de muestreo

• $(-)^*$ Es la operación complejo conjugado que se simboliza de esta manera.

• $\left. \begin{matrix} S_{x1}(k) \\ S_{x2}(k) \end{matrix} \right\}$ Son las densidades espectrales de potencia (DEP) de las señales adquiridas.

• $S_{x1x2}(K) \rightarrow$ Es la densidad espectral de potencia correlacionada (DEPC)

La DEP se calcula usando el teorema de Wiener – Khin Chin que relaciona la DEP con la transformada de Fourier de la función de auto correlación.

$$S_{XX}(f) = TF\{R_{xx}(\tau)\} = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

TF $\rightarrow$ Transformada de Fourier

$R_{xx} \rightarrow$ Es la función de auto correlación de $x(t)$

$S_{xx}(0)$ Es la potencia de la componente continua (DC) de la señal. La integral de esta función en todo el eje f es el vector de la potencia total de la señal $x(t)$

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(f) df \quad \text{Ec.3}$$

Usando el concepto de correlación cruzada es posible definir la densidad espectral cruzada.

$$S_{xy}(f) = TF \{R_{xy}(\tau)\} \quad \text{Ec.4}$$

Para la localización de la fuga se tiene en cuenta la topología de la red y los dispositivos modulares como se presentan en la figura No. 8, de la cual se extraen las distancias L_{ij} de cada uno de los tramos entre dispositivos modulares, como ejemplo se tiene que:

Ec.5

$$\begin{aligned} L_{14} &= L_{41} = d_1 + d_4 \\ L_{16} &= L_{61} = d_1 + d_6 \\ L_{36} &= L_{63} = d_3 + d_6 \end{aligned}$$

PROCEDIMIENTO No 1 (76)

El dispositivo modular (DMR) se encuentra equipado con un emisor de ruido (53) que es utilizado en cada dispositivo en un tiempo predeterminado de muy bajo ruido ambiental y se obtienen las diferentes mediciones de nivel de intensidad así (63):

$$[N_{ij}] = \begin{bmatrix} N_{11} & N_{21} & N_{31} & N_{41} & N_{51} & N_{61} \\ N_{12} & N_{22} & N_{32} & N_{42} & N_{52} & N_{62} \\ N_{13} & N_{23} & N_{33} & N_{43} & N_{53} & N_{63} \\ N_{14} & N_{24} & N_{34} & N_{44} & N_{54} & N_{64} \\ N_{15} & N_{25} & N_{35} & N_{45} & N_{55} & N_{65} \\ N_{16} & N_{26} & N_{36} & N_{46} & N_{56} & N_{66} \end{bmatrix} \quad \text{Ec.6}$$

Como ejemplo tenemos que:

N_{14} = Es el nivel de intensidad del ruido emitido en 1 y medido en 4.

N_{53} = Es el nivel de intensidad del ruido emitido en 5 y medido en 3

Teniendo en cuenta que el nivel de intensidad (N_{ij}) está dado por

$$N_{ij} = 10 \log \left(\frac{I_{ij}}{I_o} \right) \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

N_{ij} es la intensidad en el punto j del ruido emitido en i

$I_0 = 10^{-12} \text{ N/m}^2 \rightarrow$ representa el umbral de sensibilidad y se usa como valor de referencia para definir el nivel de intensidad en decibeles.

- 5 Con la ecuación (7) se obtiene la matriz de intensidades de los ruidos emitidos por cada dispositivo modular (DMR).

$$[I_{ij}] = \begin{bmatrix} I_{11} & I_{21} & I_{31} & I_{41} & I_{51} & I_{61} \\ I_{12} & I_{22} & I_{32} & I_{42} & I_{52} & I_{62} \\ I_{13} & I_{23} & I_{33} & I_{43} & I_{53} & I_{63} \\ I_{14} & I_{24} & I_{34} & I_{44} & I_{54} & I_{64} \\ I_{15} & I_{25} & I_{35} & I_{45} & I_{55} & I_{65} \\ I_{16} & I_{26} & I_{36} & I_{46} & I_{56} & I_{66} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 8}$$

- 10 De acuerdo con la ley de Lambert la intensidad en un punto j emitida desde un punto i a una distancia L_{ij} estaría dada por la siguiente ecuación:

$$I_{ij} = I_{ii} * e^{-2\alpha L_{ij}} \quad \text{o} \quad \frac{I_{ij}}{I_{ii}} = e^{-2\alpha L_{ij}} \quad \text{Ec. 9}$$

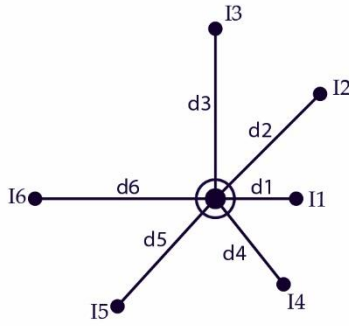
- 15 Donde α es el coeficiente de absorción en las paredes de las tuberías en el tramo L_{ij} , y por lo tanto, se obtienen para cada lado de la ecuación (9) así:

$$\left[\frac{I_{ij}}{I_{ii}} \right] = [e^{-2\alpha L_{ij}}] \quad \text{y} \quad [\alpha_{ij}] = - \frac{\ln \left[\frac{I_{ij}}{I_{ii}} \right]}{2 * L_{ij}} \quad \text{Ec. 10}$$

- 20 De lo cual se obtienen los coeficientes de absorción α_{ij} por cada tramo L_{ij} , que se encuentran almacenados en la base de datos del software de Big data (63), así:

$$[\alpha_{ij}] = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{21} & \alpha_{31} & \alpha_{41} & \alpha_{51} & \alpha_{61} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{32} & \alpha_{42} & \alpha_{52} & \alpha_{62} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} & \alpha_{43} & \alpha_{53} & \alpha_{63} \\ \alpha_{14} & \alpha_{24} & \alpha_{34} & \alpha_{44} & \alpha_{54} & \alpha_{64} \\ \alpha_{15} & \alpha_{25} & \alpha_{35} & \alpha_{45} & \alpha_{55} & \alpha_{65} \\ \alpha_{16} & \alpha_{26} & \alpha_{36} & \alpha_{46} & \alpha_{56} & \alpha_{66} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 11}$$

- 25 De acuerdo con la figura No. 11 se hace una nueva representación de la ubicación de la fuga y la distancia (d) desde la fuga hasta los dispositivos modulares y siguiendo con la Ley de Lambert para el cálculo del coeficiente de absorción del sonido en el sólido se tiene que (76):



$$[I_f] = [I_i e^{-2\alpha_i d_i}] \quad \text{Ec. 9}$$

$$\alpha_i = \frac{(\sum_{i=1}^j \alpha_{ij}) - \alpha_{ii}}{j-1} \quad \text{Ec. 12}$$

5

Donde:

I_f : Es la intensidad del sonido en la fuga que es igual para cada ecuación

I_i : Es la intensidad medida en el punto i (53) por el ruido generado por la fuga

10 α_i : Es el coeficiente de absorción promedio para el tramo d_i

d_i : es la distancia desde la fuga hasta el punto i

j = No. de dispositivos modulares (DMR) usados en la localización de la fuga

15 La solución anterior presenta (j) ecuaciones con $(j+1)$ incógnitas por lo tanto se resolverá por medio de un algoritmo del descenso del gradiente para buscar un promedio de $\bar{I}$ con la menor desviación estándar, y una vez se obtenga este resultado se tendrán todas las distancias d_i desde la fuga hasta cada uno de los dispositivos.

$$[d_i] = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ d_j \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 13}$$

20

PROCEDIMIENTO No. 2 (77)

25 Con el emisor de ruido (53) equipado en el dispositivo modular (DMR) se emite una onda sonora y se mide el tiempo que tarda ésta en llegar a los demás dispositivos a su alrededor, para esto es necesario que haya una marca de tiempo única del sistema con cada uno de los dispositivos. La matriz de tiempo (74) estaría dada por:

$$[t_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & t_{41} & t_{51} & t_{61} \\ 0 & 0 & 0 & t_{42} & t_{52} & t_{62} \\ 0 & 0 & 0 & t_{43} & t_{53} & t_{63} \\ t_{14} & t_{24} & t_{34} & 0 & 0 & 0 \\ t_{15} & t_{25} & t_{35} & 0 & 0 & 0 \\ t_{16} & t_{26} & t_{36} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 14}$$

Con la longitud de cada uno de los tramos L_{ij} descritos en la ecuación No. (4) se calcula la velocidad de la onda sonora para cada tramo, y estaría dado de la siguiente manera

5 (74)

$$V_{ij} = \frac{L_{ij}}{t_{ij}} \quad \text{Ec. 15}$$

$$[V_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & V_{41} & V_{51} & V_{61} \\ 0 & 0 & 0 & V_{42} & V_{52} & V_{62} \\ 0 & 0 & 0 & V_{43} & V_{53} & V_{63} \\ V_{14} & V_{24} & V_{34} & 0 & 0 & 0 \\ V_{15} & V_{25} & V_{35} & 0 & 0 & 0 \\ V_{16} & V_{26} & V_{36} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 16}$$

10

Donde V_{ij} : representa la velocidad de onda sonora ponderada del tramo L_{ij}

Para el cálculo de la localización de la fuga, con respecto a uno de los puntos con Dispositivo Modular (DMR), se parte de la siguiente ecuación.

15

$$\widehat{d}_1 = \frac{d \pm \widehat{V} \widehat{\tau}_{max}}{2} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

d = Distancia entre un par de sensores

$\widehat{V}$ = Velocidad de propagación de la señal de fuga estimada a partir de las mediciones en campo.

20

$\widehat{\tau}_{max}$ = Diferencial de tiempo de llegada de la onda sonora estimada.

De los parámetros obtenidos en la correlación cruzada se tiene el diferencial de tiempo de llegada de la onda sonora estimada por medio de la transformada de Fourier (75) con la siguiente ecuación.

25

$$d_{ij} = \frac{L_{ij} \pm V_{ij} \tau_{ij}}{2} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

d_{ij} : Es la distancia desde el punto i con el punto j

τ_{ij} : Es el diferencial de tiempo de la onda con medicion de i a j

5 Y por lo tanto:

$$[\tau_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \tau_{41} & \tau_{51} & \tau_{61} \\ 0 & 0 & 0 & \tau_{42} & \tau_{52} & \tau_{62} \\ 0 & 0 & 0 & \tau_{43} & \tau_{53} & \tau_{63} \\ \tau_{14} & \tau_{24} & \tau_{34} & 0 & 0 & 0 \\ \tau_{15} & \tau_{25} & \tau_{35} & 0 & 0 & 0 \\ \tau_{16} & \tau_{26} & \tau_{36} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 19}$$

Donde $\tau_{ij} = \tau_{ji}$

10 Por lo tanto, se obtiene la matriz de longitudes calculadas para cada medición de la siguiente manera:

$$[d_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & d_{41} & d_{51} & d_{61} \\ 0 & 0 & 0 & d_{42} & d_{52} & d_{62} \\ 0 & 0 & 0 & d_{43} & d_{53} & d_{63} \\ d_{14} & d_{24} & d_{34} & 0 & 0 & 0 \\ d_{15} & d_{25} & d_{35} & 0 & 0 & 0 \\ d_{16} & d_{26} & d_{36} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{Ec.20}$$

15 En los resultados obtenidos para d_{ij} se obtiene un valor medio para cada d_i (77) de la siguiente manera:

$$d_i = \frac{\sum_{i=1}^j d_i * (j/2+1)}{(j/2)} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ d_j \end{bmatrix} \quad \text{Ec.21}$$

20 Dependiendo del número de dispositivos modulares (DMR) seleccionados para el cálculo de la localización de fugas, así mismo, se obtienen el doble de distancias d_i , debido a que se realiza con dos procedimientos (76 y 77).

j	d_i
2	4
4	8
6	12

8	16
10	20
12	24

Los cuales se ubican sobre la tubería generando una nube de puntos, cuyas variables estadísticas, serán también, almacenadas en el software de Big data (78), la nube de puntos y las variables estadísticas podrán ser observadas gráficamente en el sistema de información geográfica o SIG (81) para su posterior reparación, seguimiento y control desde un Centro de Monitoreo y Control (80).

Con la ubicación real de la fuga por parte de la cuadrilla de reparación, la información es enviada al Sistema de Información Geográfica (81) y al Centro de Monitoreo y Control para que por medio de “aprendizaje de máquinas” (Machine Learning) se reevalúan los parámetros de velocidad (74) y demás parámetros obtenidos por mediciones en campo y transformada de Fourier (63) y (75) logrando con esto utilizar procesos de inteligencia artificial para ser más exactos en la ubicación de fugas.

Este proceso para ubicación de fugas será utilizado en igualdad de condiciones para la ubicación de puntos de cavitación.

BALANCE HIDRICO

Adicionalmente, el desarrollo de la presente invención puede realizar un balance hídrico en tiempo real y de manera automática, con la integración de macromedidores y una cobertura total de micromedidores y Dispositivos Modulares (MDR) dentro del circuito hidráulico. Con coberturas menores podrán ser utilizadas, pero esto introduce un error mayor en los cálculos de Balance Hídrico en tiempo real. Los macromedidores podrán realizar lecturas de caudales de entrada o salida del circuito lo que permite tener sectorizaciones más abiertas que en los métodos tradicionales.

El sistema y dispositivo modular (DMR) permiten medir el balance hidráulico de cada sector en los tiempos que se predeterminen y tener en tiempo real un comportamiento de las pérdidas totales por hora, día, semana, mes, año o cualquier otro rango de tiempo que

sea necesario. Pero también permiten realizar análisis detallado de cada tipo de pérdidas y el comportamiento histórico de estos.

El análisis detallado de cada tipo de pérdida permite, al Algoritmo de Análisis, presentar alternativas de acción al operador para lograr la disminución controlada de cada una de estas.

El balance hídrico esta dado por la siguiente ecuación:

$$ANC = \left(\frac{VD - VM}{VD} \right) * 100\% \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

ANC: Es el Agua no contabilizada

VM: Es el Volumen medido o estimado

VD: Es el Volumen distribuido al sistema

Pero también puede darse como:

$$ANC = PA + PR \quad \text{Ec. 23}$$

Donde

PA: Perdidas aparentes

PR: Perdidas reales

Otro atributo de la realización de la presente invención es la capacidad de calcular perdidas aparentes sobre un circuito en el que se ejecute el sistema y dispositivo modular.

Las pérdidas aparentes serán calculadas de la siguiente manera:

$$PA = VND + EM \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

VND: Es el volumen de consumos no deseados

EM: Es el volumen por error en los micromedidores

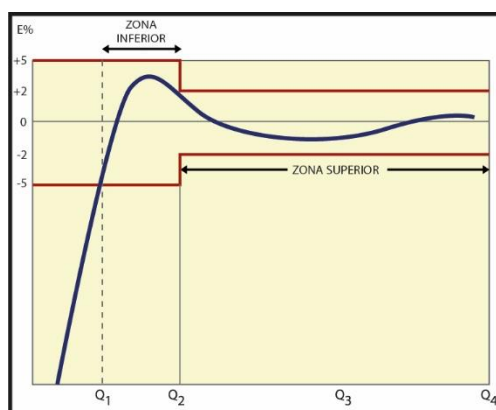
- **Consumos no deseados:**

Si bien los consumos no deseados como conexiones clandestinas o fraudes pueden ser detectadas por el procedimiento de detección y localización de fugas (67) se necesita que haya consumos por estas acometidas en los momentos que se activan los procesos de grabación.

En el cálculo y estimación de este ítem se podrán incluir las conexiones clandestinas encontradas y por el tiempo transcurrido hasta su detección, pero se desconoce el caudal real. Este ítem será utilizado como una variable desconocida, en el balance.

5 • Errores de medición en micromedidores:

En el análisis de consumos (62) el algoritmo realiza una estimación de las pérdidas que se generan por un posible subcontaje del medidor, ya sea por desgaste o por cualquier otro motivo. Por este análisis el software de Big data debe estar alimentado con una base de datos de curvas de error de cada tipo de medidor que no encuentre en el sistema. Esta curva de error está representada de la siguiente manera:



Donde;

- Caudal mínimo (Q_1)
- Caudal de transición (Q_2)
- Caudal permanente (Q_3)
- Caudal de sobrecarga (Q_4)
- Caudal (q)
- Caudal de arranque (Q_A)
- Curva de error ($E\%$)

Tomado de: "Todo sobre medidores de agua", José Dajes Castro, Edición junio 2008.

Teniendo las lecturas por cada rango de tiempo (Δt) de cada medidor se pueden hacer estimaciones sobre los caudales dejados de medir por el micromedidor siguiendo la siguiente ecuación:

Ec. 25

$$V_s = \text{perdidas por arranque} + \text{perdidas por error del medidor}$$

$$V_s = Q_A * N * t_a + \sum_{i=1}^n (q_i * \Delta t * E)$$

Donde:

V_s : Volumen de subcontaje en un día de medición

N : Numero de arranques del medidor

n : Numero de mediciones de lectura por día

t_a : Tiempo de arranque estimado

Δt : Tiempo entre lecturas predeterminado

E : Error de medición según curva propia del medidor

q_i : Caudal calculado entre la lectura $(i - 1)$ e i

Las pérdidas por arranque tienden a cero cuando se comprueban la existencia de fugas internas

PERDIDAS REALES

Las pérdidas reales en las redes de distribución son calculadas como:

$$PR = FT + FA$$

Ec. 26

Donde:

FT: Es el volumen por fugas en tuberías del sistema de distribución

FA: Es el volumen por fugas en acometidas y conexiones domiciliarias

Tanto las FT como las FA se detectan y localizan con el mismo Algoritmo, el caudal que se pierde por estas fugas es calculado por medio de la fórmula de Caudal de Salida a través de un Orificio siguiendo el principio de Torricelli y según Sotelo Avila (1997, p 204)

$$Q_f = C_f A_f \sqrt{2gh}$$

Ec. 27

Donde:

Q_f : Caudal de la fuga para una presión h

C_f : Coeficiente de descarga en la fuga

A_f : Área de orificio de fuga

h : Presión hidráulica en la tubería.

Para el cálculo del volumen perdido por fuga se tiene en cuenta el tiempo de detección hasta el arreglo de la fuga así:

$$V_f = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{T_j} Q_f * \Delta t_i \right)$$

Ec.28

$$V_f = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^{T_j} C f_j * A f_j * \sqrt{2 g h_{ji}} \right)$$

V_f : Volumen total por fugas en el periodo estudiado

n : Numero de fugas detectadas

5 j : Tiempo de deteccion hasta el arreglo para cada fuga

h_{ji} : Presion para la fuga j en el tiempo i

Finalmente, las pérdidas totales en un circuito hidráulico o en la red de distribución estará dada por la siguiente ecuación:

10

$$ANC = VND + EM + (FT + FA)$$

Ec. 29

Donde la variable VND será conocida ya que todas las demás variables han sido estimadas por el software Big data (55) a partir de la información recolectada por el dispositivo modular (52 y 53).

15

Para cada una de estas variables el software de análisis generará sugerencias de actuación, que podrán ser automáticas por aprendizaje de las maquinas, en algunos casos; y en otros se hace necesario la decisión por parte del personal profesional del operador.

20

Otros atributos y ventajas técnicas que brinda dicha realización de la invención son:

- **Gestión comercial de suspensión y reconexión remota**

25

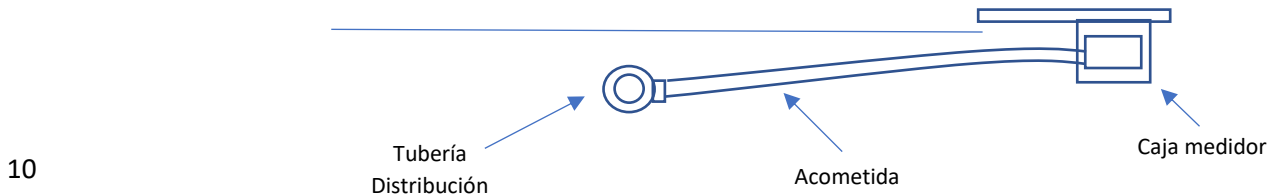
El dispositivo Modular se encuentra equipado con una válvula de actuación hidráulica, que permite al usuario hacer solicitudes de cierres de seguridad de flujo de agua remotamente por temas de seguridad ante una fuga, ausencias prolongadas, etc. Esta válvula permite el operador el cierre total del fluido, o en algunos casos de manera parcial, ya que sea por suspensiones temporales del servicio, o por eventos extremos como incendios para que el operador pueda dirigir la mayor cantidad de agua hacia estos.

30

- **Manejo de aire en la red**

En el caso de las redes de agua potable, se presentan situaciones en algunas explotaciones por presencia de aire en las tuberías, usualmente los puntos más altos en la red de distribución son en las acometidas.

5



10

Por la cual, son estos puntos los más susceptibles para almacenamiento de aire en la tubería, el dispositivo dispone de una válvula ventosa de 1/2" con capacidad para extraer el aire que se acumule en las tuberías de las acometidas. En una explotación con muchas

15 válvulas ventosas ubicadas en sus acometidas tendrán una mayor capacidad que las ubicadas en las tuberías principales.

Así una red de distribución de una población pequeña inferior a 2.500 usuarios podría contar con 2 y quizás hasta 4 válvulas ventosas en una capacidad media de extracción de 253 lts/seg, mientras que 2.500 dispositivos con ventosas de 1/2" tendrían una capacidad

20 de 63.300 lts/seg.

EJEMPLOS

Ejemplo 1

Haciendo referencia a las FIG. 1 a FIG. 8, se diseñó un Sistema modular para la medición y monitoreo remoto de redes de distribución y acometida de acueducto, con las siguientes características: Gestión comercial, Telemando y telemetría y gestión de las redes de servicios públicos domiciliarios, el cual comprende:

- Una caja de visión (1), una recámara de electrónica (2), una recámara de ajuste (3), un paral de ajuste trasero (4), un sistema de ajuste delantero (5), un sistema de anclaje a red trasero (6), un sistema de anclaje a red delantero (7), un tubo de medición (8).

30

- Un Software que integra los módulos de lectura remota de medidores (55), detección y localización de fugas (67), y el sistema de control y monitoreo (65).

Con la realización de la invención del EJEMPLO 1, desde la gestión comercial, el sistema y dispositivos modular permite a los operadores de los servicios públicos domiciliarios de agua potable, gas y energía; realizar un proceso de facturación sin errores y en tiempo real, ya que la verificación de desviaciones significativas será realizada de manera horaria o diaria de acuerdo con los parámetros que sean seleccionados en el sistema.

Así mismo, permite conocer en detalle, el patrón de consumo por usuarios, por sector, por circuitos hidráulicos, por barrio o por cualquier otro parámetro de asociación como también se puede conocer con exactitud el patrón de consumo de toda la explotación.

El sistema y dispositivo modular crea un vínculo más directo entre la empresa y el usuario, ya que este cuenta con una aplicación (App) que le permite conocer el estado de su servicio y consumo en tiempo real. Adicionalmente, el usuario puede verificar desde su ordenador o su teléfono móvil o tableta, la coordinación para realizar la programación de su pago o la respectiva autorización para el débito automático de esta.

Esta misma aplicación permite a los usuarios conocer con anticipación sus obligaciones de apoyo y si existe algún orden de suspensión del servicio para evitar con tiempo que esto suceda.

De acuerdo con el proceso de facturación y la verificación de desviaciones significativas, el sistema alerta tanto al operador como al usuario sobre una posible fuga interna, así como del estado físico (Posibles violaciones) y mecánico del medidor en tiempo real.

En cuanto a la factura remota, se realiza por medio de visión artificial, remplazando de esta manera el sentido de la vista de los seres humanos en el proceso de lectura de medidores y evitando así el movimiento respectivo de hasta 400 veces al día por persona, que conlleva muchas veces a enfermedades laborales de la columna vertebral.

Esta lectura remota, se realiza por medio de la caja de visión (1) de visión del dispositivo que está equipada con cámaras de visión nocturna con capacidad de utilizar una mínima cantidad de luz para la captura de las imágenes del tablero del medidor.

Las imágenes tienen un tratamiento de selección y fusión para obtener una única imagen perfecta, de la cual el sistema puede extraer la lectura, hora de toma de la lectura e identificación del medidor.

5 El sistema se retroalimenta en tiempo real sobre los consumos de cada usuario con lo cual construye día a día un patrón de consumo cada vez más exacto, con sus posibles variaciones en el tiempo y estacionales (si es el caso). Del conjunto que predetermine el operador obtiene así mismo, los distintos patrones de consumo por sectores, barrios, circuitos hidráulicos y la explotación completa o inclusive por cualquier otro parámetro de asociación que el operador necesite, como, por ejemplo: Viviendas, comercios,
10 industrias, etc.

El sistema permite obtener las curvas de patrón de consumo por usuario y comparar estas con las curvas de error de los diferentes medidores, las cuales están almacenadas predeterminadamente.

De esta manera se podrá obtener información sobre las posibles pérdidas por error en la micromedición, analizar financiera y técnicamente el momento oportuno para
15 intervenir o renovar el medidor.

En cuanto a la relación cliente – empresa, dicho sistema le permite al consumidor hacer seguimiento en tiempo real a las lecturas y consumos, así como a los históricos de estos.

Puede verificar igualmente, facturas, programaciones de pago, ordenes de suspensión,
20 tramite de reconexiones, fugas internas, inspecciones de fuga y violaciones del medidor entre otras noticias.

En cuanto a la gestión operativa comercial, permite al usuario hacer solicitudes de cierres de seguridad de flujo de agua remotamente por temas de seguridad ante una fuga, ausencias prolongadas, etc, por medio de una válvula de actuación hidráulica que
25 se dispone en el sistema de anclaje trasero (6). Esta válvula permite al operador el cierre total del fluido, ya sea por suspensiones temporales del servicio o por eventos extremos como fugas, contaminación del fluido, reparación en las redes de distribución, entre otros.

En cuanto al telemando y telemetría, la invención por ser modular cuenta con los

espacios necesarios para medir parámetros de calidad del fluido y del servicio, los cuales permiten al operador obtener en tiempo real información relevante para la toma de decisiones inmediatas como cierre o apertura de válvulas en la red de distribución o apagado y encendido de bombas, entrada en servicios de tanques de almacenamiento u
5 otras acciones para un manejo eficiente de presiones en la red.

Con la operación de dicho sistema, el operador puede medir parámetros en agua potable con la integración de sensores de parámetros físicos tales como: turbidez y PH, los cuales están integrados en el tubo de medición (8) y en el sistema de anclaje trasero (6); adicionalmente, puede medir por medio de sensores de parámetros biológicos tales
10 como: coliformes fecales y E. Coli, los cuales están integrados en el tubo de medición (8). Y Finalmente, el operador puede medir químicos tales como: Cloro residual libre, por medio del sensor dispuesto en el sistema de anclaje trasero (6).

Se debe entender que la presente invención no se halla limitada a las modalidades
15 descritas e ilustradas, pues como será evidente para una persona versada en la técnica, existen variaciones y modificaciones posibles que no se apartan del espíritu de la invención, definido por las siguientes reivindicaciones.

20

25