TECNOLOGÍAS EN LA DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUGAS

Pérez Lleó, Andross – (Global Omnium – EMIVASA); García Zorrilla, Antonio (PAM – Saint Gobain); Cortés Celada, Patricia (Kamstrup); García García, Carlos (TECSAN – Mejoras Energéticas); Dolz Molla, Ramón (Baseform); Sander, Berit (Baseform)

SUMARIO

El Agua No Registrada (ANR) representa uno de los principales desafíos en la gestión de redes de abastecimiento, afectando a la eficiencia operativa, el consumo energético y la sostenibilidad del recurso. La evolución hacia redes inteligentes exige la integración de sistemas de monitorización continua, sectorización hidráulica y análisis avanzado de datos.

La sectorización en Distritos Hidrométricos, junto con el análisis del Caudal Mínimo Nocturno (CMN), permite identificar anomalías y priorizar actuaciones. La telelectura y la microsectorización mejoran la resolución temporal de los balances hidráulicos, facilitando la detección temprana de fugas.

La gestión de presiones, especialmente mediante regulación dinámica, se posiciona como una herramienta clave para reducir roturas, minimizar pérdidas y optimizar el consumo energético. Asimismo, la recuperación energética mediante dispositivos como picoturbinas contribuye a la sostenibilidad del sistema.

Las tecnologías de detección acústica continúan siendo fundamentales, con soluciones avanzadas como correladores, prelocalizadores y sensores permanentes que permiten una localización precisa de fugas. Paralelamente, tecnologías emergentes como la fibra óptica distribuida y los contadores inteligentes posibilitan una monitorización continua y automatizada.

Otros métodos complementarios, como gas trazador, detección satelital, infrarroja o sensores de humedad, aportan valor en escenarios específicos, aunque con limitaciones en cobertura o precisión.

Finalmente, los gemelos digitales, integrando modelos hidráulicos, sensores IoT e inteligencia artificial, permiten una gestión predictiva y proactiva de la red. Este enfoque integral configura un nuevo paradigma en la gestión del agua, orientado a maximizar la eficiencia, reducir pérdidas y garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

PALABRAS CLAVE

Agua No Registrada, Caudal Mínimo Nocturno, Sectorización, Gemelos Digitales, Fibra Óptica Distribuida, Inteligencia Artificial, Regulación de Presiones.

INTRODUCCIÓN

El Agua No Registrada (ANR) representa el principal desafío operativo para las empresas gestoras de agua potable, impactando no solo en la disponibilidad del recurso, sino también en el balance energético y económico de la ciudad. Un alto porcentaje de ANR es síntoma de una red envejecida o insuficientemente monitorizada, lo que conlleva un incremento innecesario en los costes de tratamiento y bombeo desde la potabilización, así como un incremento de incidencias en red que requiere de acciones de urgencia. La modernización de estas infraestructuras exige integrar, desde su diseño, ecosistemas de eficiencia hidráulica que permitan una vigilancia constante. La transición hacia redes inteligentes no es una opción tecnológica, sino una necesidad imperativa para garantizar la sostenibilidad. La monitorización constante facilita la detección temprana de anomalías, transformando el mantenimiento en una actividad proactiva. Para alcanzar altos porcentajes de rendimiento, es fundamental la fragmentación lógica de la red y la adopción de hardware avanzado que capture datos en tiempo real, permitiendo una toma de decisiones informada y científica.

GESTIÓN DE REDES: SECTORES HIDRÁULICOS Y CAUDAL MÍNIMO NOCTURNO (CMN)

La sectorización es el pilar fundamental para establecer un plan de control hidráulico. Consiste en la fragmentación de la red en Distritos Hidrométricos para transformar sistemas mallados complejos en unidades de gestión independientes.

Metodología de Sectorización Física y Virtual

La sectorización física tradicional utiliza válvulas frontera para delimitar áreas de control. No obstante, un exceso de fragmentación puede degradar la calidad del agua (frescura y residual de desinfectante) al generar colas de red y estancamiento, incumpliendo los valores paramétricos legales. Como alternativa, se propone la vigilancia lógica mediante sectores virtuales en arterias principales. Estos sectores no requieren el cierre de válvulas, sino el uso de contadores capaces de registrar flujos bidireccionales, realizando balances mediante la suma de caudales entrantes y resta de salientes.

Análisis del Caudal Mínimo Nocturno (CMN)

El CMN es la herramienta diagnóstica más eficaz. Este indicador representa el flujo de agua registrado en el periodo de menor actividad de la población evaluándose habitualmente entre las 01:00 y las 04:00 horas. Su análisis debe ser dinámico y considerar la casuística del sector:

- **Actividad Industrial:** Evaluación de consumos productivos de 24 horas que pueden elevar el CMN sin ser fugas.
- **Zonas Turísticas:** Ajuste de los periodos de observación en verano debido a la actividad nocturna prolongada.
- **Riego Programado:** Factor crítico que debe segregarse de la medición, ya que su variabilidad distorsiona la serie histórica y dificulta la detección de nuevas roturas.

Una planificación sistemática de búsqueda de fugas permite establecer en el tiempo un CMN mínimo de un sector entre la serie histórica registrada, convirtiéndose en el valor mínimo objetivo de referencia.

Criterios de dimensionamiento y diseño de los sectores

El diseño debe responder a un equilibrio entre la sensibilidad diagnóstica y la viabilidad del mantenimiento, considerando que la detección de una anomalía mediante el CMN es solo el primer paso, para posteriormente pasar a la fase de localización.

Criterios de dimensionamiento óptimo:

- Longitud entre 10 y 20 km para permitir la inspección total por equipos técnicos en una semana.
- Multiplicidad de puntos de entrada para favorecer la circulación y evitar el agua estancada.

Microsectorización

Este modelo resuelve las rigideces de la sectorización clásica mediante el uso de válvulas inteligentes y actuadores hidráulicos autoalimentados. Durante la madrugada, se crean unidades temporales de entre 5 y 10 km por un periodo inferior a tres horas para maximizar la sensibilidad diagnóstica sin perder rapidez en la localización. El sistema garantiza la seguridad del suministro, detectando demandas urgentes (ej. incendios) para abrir automáticamente las válvulas y restablecer el mallado.

Telelectura

Para una sectorización totalmente efectiva, es imprescindible contar con un registro preciso y continuo de los consumos de los abonados dentro de cada unidad de gestión. La implementación de sistemas de Telelectura (TL) supone una mejora necesaria que permite evolucionar de los balances hidráulicos tradicionales, realizados habitualmente al ritmo de los ciclos de facturación,

hacia balances hidráulicos horarios. Con la digitalización de los consumos se transforma en una herramienta de diagnóstico predictivo capaz de identificar eventos de fuga o consumos anómalos en cuestión de horas.

REGULACIÓN DE PRESIONES Y RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

La gestión de presiones es la estrategia más eficiente para reducir la fatiga de materiales y la tasa de nuevas roturas.

Estrategias de Regulación Estática

Mediante el uso de válvulas reguladoras de presión (VRP) que mantienen una presión de salida fija y constante, independientemente de las variaciones de la demanda o del flujo.

Estrategias de Regulación Dinámica

Frente a la regulación estática de presión fija, que genera un exceso de presión nocturna perjudicial, la regulación dinámica adapta la consigna en tiempo real según tres modalidades:

1. **Control por Tiempo:** Cambia niveles de presión mediante programación horaria (día/noche).
2. **Control por Caudal:** La válvula ajusta su apertura basándose en el flujo real detectado por el caudalímetro para compensar pérdidas de carga.
3. **Control por Punto Crítico:** Un sensor remoto en el nudo más desfavorable envía datos en tiempo real; el sistema ajusta la entrada al mínimo necesario para que dicho punto esté siempre servido.

Tabla 1: Comparativa de sistemas de regulación de presión

Sistema de Regulación	***Funcionamiento y Características***	***Ventajas Principales***	***Inconvenientes y Limitaciones***
Estática	*Mantiene una presión de salida fija y constante independientemente de la demanda, mediante el uso de un piloto mecánico.*	*Es el método más económico, de inversión contenida y fácil de operar; contribuye a estabilizar presiones y preservar activos.*	*Incapacidad de adaptación; la presión excesiva nocturna (periodo valle) fatiga los materiales, provoca roturas y aumenta el volumen de agua perdida en fugas existentes.*
Dinámica	*Ajusta la presión en tiempo real basándose en factores variables: horario (Tiempo), flujo detectado (Caudal) o la presión en el nudo más desfavorable (Punto Crítico).*	*Maximiza el ahorro de agua, reduce la tasa de nuevas roturas, extiende la vida útil de la red y permite una gestión avanzada del Agua No Registrada (ANR).*	*Requiere una infraestructura tecnológica compleja, mayor coste económico y personal técnico especializado; a menudo necesita suministro eléctrico y redes de comunicación robustas*

Sostenibilidad y Valorización Energética

La modernización y la tecnología permiten transformar puntos de disipación de presión en fuentes de energía limpia. Para dotar de energía a los equipos de control en puntos remotos, se dispone de tres opciones: acometida eléctrica, energía fotovoltaica o válvulas con turbina incorporada.

En un nivel superior, la instalación de picoturbinas o PATs en entradas de sectores permite generar electricidad para autoconsumo de las estaciones de sectorización o incluso para servicios municipales de uso y disfrute de la ciudadanía, reforzando así la descarbonización.

TECNOLOGÍAS DE DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUGAS

Detección acústica no intrusiva

Fundamentos Físicos y Velocidad de Propagación

Las vibraciones producidas por el ruido de fuga varían según el material y diámetro. En tuberías metálicas, la velocidad de propagación es de ~1200 m/s, mientras que en plásticas se reduce a 300-600 m/s. Un detalle técnico crítico es que las tuberías plásticas y de gran diámetro poseen frecuencias de resonancia alrededor de los 10 Hz, por debajo del umbral de audición humano (20 Hz), lo que exige el uso de sensorización de alta sensibilidad.

Equipamiento de Escucha Activa

Los **geófonos** o amplificadores electrónicos de escucha modernos incorporan filtros automáticos y grabación de sonidos para trazabilidad GIS. Incorporan unidades de control avanzadas:

- Pantalla táctil en la que se muestra los niveles de ruido y el histograma de frecuencia en tiempo real.
- Herramientas de registro y grabación de sonidos de hasta 2 minutos.
- Filtros automáticos para el análisis de los niveles de ruido obtenidos.
- Auriculares capaces de aislar de forma adecuada del ruido ambiente, y permitir una calidad sonora debe ser máxima.

Los **correladores** avanzados comparan señales de ruido para calcular el tiempo de retardo (TD). Su principal ventaja radica en que su eficacia no depende críticamente del tipo de terreno, la profundidad de la tubería o el ruido ambiental, lo que permite localizar fugas en zonas urbanas con alto tráfico o interferencias sonoras donde otros dispositivos fallan.

A continuación, se detallan los aspectos clave de esta tecnología para su integración en el resumen del congreso:

- **Principio de Funcionamiento:** Los correladores operan comparando las señales de ruido captadas en dos o más puntos de la red. El sistema calcula la posición exacta de la rotura identificando el **tiempo de retardo (TD)**, que es la diferencia en el tiempo de llegada del patrón de ruido de la fuga a cada sensor.

- **Cálculo de la Ubicación:** La localización se determina mediante una ecuación matemática que correlaciona la distancia de la fuga a lo largo de la tubería al sensor más cercano (L), la distancia entre sensores (D), el tiempo de retardo (TD) y la velocidad del sonido (V**)**. Cabe destacar que las fuentes subrayan que la velocidad del sonido varía según el material y el diámetro de la conducción, por lo que los equipos modernos incluyen bases de datos con estas variables para minimizar errores.

- **Capacidades Avanzadas de Filtrado:** Los modelos actuales incorporan funciones que elevan la precisión del diagnóstico, tales como:

    - **Multi-filtro:** Ejecución simultánea de tres correlaciones con filtros distintos.

    - **Supresión de picos:** Eliminación de ruidos identificados como "no fuga" para evitar falsos positivos.

    - **Correlación en frecuencia y tiempo:** Análisis profundo de la señal tanto en tiempo real como en post-proceso.

- **Tipología de Sensores:** El sistema puede emplear **acelerómetros**, que se fijan magnéticamente a elementos metálicos de la red para captar vibraciones, o **hidrófonos**, que se instalan en contacto directo con el agua a través de tomas en carga o ventosas, siendo estos últimos ideales para una mayor sensibilidad en grandes conducciones

Los **prelocalizadores** autónomos suponen un avance tecnológico importante respecto a las tecnologías anteriores. Se trata de unidades compactas que integran sensores tipo acelerómetro o hidrófono, electrónica, batería y modem de comunicación.

La ratio medio de sensores necesarios por Km de red con presiones habituales de trabajo (2 – 4 Kg/cm2) puede estar entre 6 y 10 unidades, según se trate de materiales flexibles, rígidos o tipo plástico, y diámetros medios o mayores de 300 mm.

Prelocalizadores con uso principalmente móvil

Estos equipos tienen la capacidad de prelocalización de fugas basado en el estudio estadístico de los ruidos nocturnos realizado por el propio equipo, obteniendo un resultado de nivel, dispersión y estado, pudiendo realizar grabaciones acústicas del sonido de fuga y realizar correlaciones multipunto.

La operativa a seguir con este tipo de equipos es la siguiente:

1. Despliegue de los sensores en campo
2. Mediante el patrullador, creación de la base de datos con los sensores y su ubicación GPS,
3. Una vez que los equipos han registrado ruidos durante al menos una noche, los operarios recorrerán las zonas donde están instalados, para recoger con el patrullador los datos registrados.

Estos datos se pueden compartir por Bluetooth con un dispositivo móvil, Tablet o PC, para, mediante Apps específicas, establecer multicorrelaciones entre los sensores sobre mapa (no sobre GIS), reproducir los ruidos registrados, etc. También se cuenta con plataformas web avanzadas, en las cuales también es posible enviar los registros por medio de la App para su tratamiento, análisis mediante IA, realización de correlaciones avanzadas (GIS), y gestión de históricos.

En cuanto a la estrategia de despliegue de los equipos, cambiando con cierta frecuencia (diaria o semanal), se suele contar con una media de 25 – 50 uds, manejables por una cuadrilla en 1 – 2 días para el proceso completo.

Prelocalizadores con uso permanente

Son dispositivos compactos instalados en redes de distribución para detectar fugas de agua de forma automática, incorporan sensores acelerómetros que captan vibraciones y las transforman en señales acústicas analizables.

Funcionan con baterías de larga duración y transmiten datos mediante tecnología NB-IoT a una plataforma web, permitiendo la monitorización continua sin necesidad de inspecciones manuales en campo.

Las características principales de esta tecnología son:

- El análisis se basa en algoritmos que estudian el ruido nocturno para determinar la presencia de fugas.
- Los equipos clasifican automáticamente mediante algoritmos el estado como “Fuga” o “No fuga”.
- Además, registran niveles de ruido, dispersión, audios, batería y cobertura de manera automática a la plataforma de gestión.
- Los equipos realizan una escucha diaria de los ruidos presentes en la red, programándose habitualmente en horario nocturno

El análisis de los datos se realiza mediante plataformas web, cuyas características son:

- Sencillez de uso
- Gestión de la flota de sensores y de los datos en entorno GIS
- Aplicación de funcionalidades: autocorrelación automática de los prelocalizadores, correlaciones con los audios disponibles, superposición de correlaciones, posicionamiento de las fugas en un mapa georreferenciado.
- Generación de informes, históricos y visualización del estado de las fugas.

La incorporación de inteligencia artificial mejora la precisión comparando los espectrogramas con amplísimas bases de datos de ruidos presentes en las redes y reduce intervenciones innecesarias.

Prelocalizadores permanentes para redes de transporte

Los **hidrófonos** se utilizan para detectar fugas en redes arteriales, tuberías de gran diámetro, materiales plásticos o zonas de baja presión. Funcionan captando el ruido de las fugas que se transmite a través del agua a largas distancias. Las características más habituales son:

- El sistema consta de: sensor hidrófono, un registrador de datos y una plataforma web.
- El sensor se instala en contacto directo con el agua mediante elementos de la red como hidrantes o ventosas.
- La distancia entre sensores varía entre 300 y 1.000 metros según condiciones de red.
- La sincronización entre equipos se realiza mediante GPS para evitar errores en la localización de fugas. Además, el GPS permite el geoposicionamiento preciso de cada sensor.
- Algunos sistemas incorporan sensores de presión para detectar transitorios.
- Los datos se envían automáticamente a una plataforma web para su análisis y monitorización continua.

Detecciones de fugas con herramientas de nado interno

La inspección “in line” con herramientas de nado interno permite detectar fugas desde el interior de tuberías de más de 300 mm siendo especialmente útil en redes de transporte, arterias y aducciones.

Estas herramientas se introducen en el flujo de agua, mejorando la precisión al acercarse al punto de fuga. A diferencia de métodos externos, no dependen tanto del material, ruido o profundidad de la tubería.

Se caracteriza por una alta precisión en la localización de fugas y la posibilidad de inspección en tiempo real con soporte visual. Permiten detectar fugas muy pequeñas si la presión es igual o superior a 1 bar. Sin embargo, requieren operaciones de inserción, extracción y seguimiento durante la inspección.

Herramientas de Inspección Anclada

Las herramientas ancladas usan hidrófonos y, en algunos casos, cámaras para inspección en tiempo real (CCTV)

En redes de transporte, el sensor puede ser arrastrado por el flujo de agua mediante un sistema de paracaídas, mientras que en redes de distribución se emplean cables rígidos para recorridos más cortos.

Entre sus limitaciones destacan la longitud máxima de 2 km, restricciones geométricas y la imposibilidad de atravesar ciertas válvulas.

Herramientas de Inspección de Nado Libre

Las tecnologías de nado libre son herramientas autónomas para la detección de fugas dentro de tuberías presurizadas. Se desplazan impulsadas por el flujo del agua, registrando datos acústicos mediante hidrófonos.

Tras la inspección, se recuperan aguas abajo y los datos se analizan posteriormente. No dependen del material ni del diámetro de la tubería, pero requieren un recorrido sin obstáculos.

Para su correcto funcionamiento, es necesario aislar el tramo y mantener válvulas abiertas. La posición del dispositivo se rastrea mediante receptores externos distribuidos a lo largo de la red.

Al pasar cerca de las fugas, ofrecen alta precisión incluso en condiciones de baja presión. Eliminan limitaciones de métodos externos como ruido, profundidad o tipo de suelo. Algunos equipos incorporan sensores adicionales como presión, acelerómetros o giroscopios.

Sus limitaciones incluyen autonomía de unas 24 horas, presión mínima de 1 bar y necesidad de controlar derivaciones.

Detecciones de fugas mediante sensores

La monitorización con **fibra óptica** distribuida (DFOS) convierte el cable en miles de sensores virtuales a lo largo de la tubería. Permite vigilancia continua 24/7 de fugas y comportamiento estructural en conducciones de gran longitud. Además de fugas, permite detectar intrusiones, manipulaciones y degradaciones estructurales.

Su funcionamiento se basa en detectar vibraciones (DAS) y variaciones térmicas (DTS/DTGS). Ofrece localización precisa de eventos con un margen de error de pocos metros. Es especialmente útil en aducciones y arterias donde el impacto de una fuga es elevado.

La fibra puede instalarse en el interior de la tubería o mediante accesos existentes, incluso en servicio. Su integración con sistemas SCADA facilita la gestión, alarmas y toma de decisiones.

Entre sus ventajas destacan la cobertura continua y el enfoque multiservicio con una sola infraestructura. Como limitaciones, presenta alto coste inicial y requiere correcta instalación, calibración y análisis avanzado de datos y una alta capacidad de machine learning.

La fibra óptica puede instalarse en servicio mediante “hot taps” sin interrumpir el suministro o con la tubería vacía.

El proceso incluye planificación, tendido del cable, pruebas de estanqueidad y puesta en marcha. Es fundamental asegurar un buen acoplamiento al tubo para maximizar la sensibilidad del sistema.

La calibración inicial y fase de aprendizaje permiten ajustar parámetros y reducir falsas alarmas. Las buenas prácticas incluyen definir filtros, frecuencias y protocolos de operación y respuesta a alarmas.

Los **contadores inteligentes con detección acústica** combinan medición de consumo y detección de fugas.

Se basan en tecnología ultrasónica sin partes móviles, lo que mejora su precisión y durabilidad. Incorporan sensores que analizan continuamente el flujo y el ruido asociado a posibles fugas.

Funcionan como geófonos individuales y, en conjunto, como sistemas de correlación distribuida. Permiten detectar fugas incluso de bajo caudal que otros métodos no identifican.

Los datos se envían a plataformas que generan alertas automáticas y priorizan intervenciones. El sistema incluye algoritmos de inteligencia artificial que aprenden y mejoran con el tiempo.

Ofrecen monitorización remota continua sin necesidad de acceso físico a la red. Facilitan el mantenimiento predictivo y la toma de decisiones basada en datos en tiempo real.

Como resultado, reducen pérdidas de agua con tiempos bajos de respuesta, optimizan recursos y mejoran la eficiencia operativa. La tecnología es incluso escalable a microsectores y redes completas

Otros métodos de detecciones de fugas

Gas trazador

El método de gas trazador consiste en introducir un gas no tóxico en la tubería para detectar fugas, que se identifican al emerger el gas por grietas y medirse su concentración en superficie.

Su funcionamiento se basa en sensores específicos y, en ocasiones, en la aplicación de sobrepresión para mejorar la detección. Se emplea principalmente en conducciones enterradas de difícil acceso, verificación de estanqueidad y redes críticas.

Ofrece alta precisión y sensibilidad, especialmente para fugas pequeñas o localizadas. Sin embargo, presenta limitaciones como elevada complejidad operativa, costes altos, interferencias ambientales y falta de monitorización continua. Por ello, se considera una técnica puntual y complementaria frente a soluciones más automatizadas como la detección acústica continua.

Detección mediante tecnología satelital

La detección mediante tecnología satelital SAR utiliza microondas para identificar variaciones en la humedad del suelo, detectando fugas a partir de cambios en la constante dieléctrica. El agua filtrada altera la respuesta electromagnética del terreno, generando señales distintivas que pueden captarse incluso sin evidencia superficial.

Esta tecnología permite analizar grandes extensiones de red, localizar fugas invisibles y priorizar zonas de inspección mediante integración con sistemas GIS. Entre sus ventajas destacan la cobertura masiva, la capacidad de penetración en el terreno y la independencia de condiciones climáticas. Sin embargo, presenta limitaciones como baja precisión exacta (requiere confirmación en campo), interferencias urbanas y dependencia de la frecuencia del radar.

Por ello, se emplea como herramienta de prelocalización complementaria dentro de estrategias integradas de detección de fugas.

Tecnología infrarroja

La tecnología infrarroja detecta fugas mediante el análisis de la radiación térmica, identificando anomalías de temperatura en la superficie provocadas por filtraciones de agua. Estas variaciones se captan con cámaras termográficas, ya sea mediante sensores portátiles, drones o vehículos especializados.

Se emplea principalmente para inspecciones en grandes áreas, detección de fugas superficiales y control preventivo en zonas de difícil acceso.

Entre sus ventajas destacan su carácter no intrusivo, rapidez de inspección y buena capacidad visual en superficie. Sin embargo, presenta limitaciones como la dependencia de condiciones ambientales, dificultad para detectar fugas profundas y falta de precisión exacta.

Por ello, se utiliza como técnica complementaria dentro de estrategias integradas de detección de fugas.

Detección con sensores de humedad

Los sensores de humedad detectan la presencia de agua mediante cambios en propiedades eléctricas como resistencia o capacitancia, permitiendo identificar acumulaciones anómalas en infraestructuras hidráulicas.

Se utilizan principalmente en instalaciones como arquetas, estaciones de bombeo o cámaras de válvulas para alertar sobre posibles inundaciones o filtraciones.

Existen sensores resistivos, que requieren contacto directo con el agua, y capacitivos, más estables y duraderos. Su integración con tecnologías IoT permite la monitorización remota y generación de alarmas en tiempo real.

Entre sus ventajas destacan su bajo coste, fácil instalación y utilidad preventiva en puntos críticos. Sin embargo, su cobertura es muy localizada y no permiten identificar el origen ni la magnitud de las fugas, por lo que se consideran una solución auxiliar más que un sistema de detección global.

Modelos matemáticos. Gemelos Digitales

Los gemelos digitales aplicados a redes de agua son réplicas virtuales dinámicas que integran datos en tiempo real procedentes de sensores como caudalímetros, medidores de presión y contadores inteligentes. Esta representación permite visualizar el estado actual de la red y simular su comportamiento ante diferentes escenarios operativos. Su base se apoya en modelos hidráulicos, que reproducen el funcionamiento físico del sistema mediante leyes de conservación de masa y energía.

Al comparar los valores simulados con los datos reales, es posible detectar desviaciones o “residuales” que indican la posible presencia de fugas. Esta combinación de modelización física y análisis de datos permite identificar anomalías con alta fiabilidad. Además, mediante técnicas de análisis estadístico y machine learning, se mejora la detección y se reducen falsas alarmas.

El proceso se divide en dos fases: detección de anomalías y localización de la fuga, analizando patrones espaciales y temporales en la red. Estas metodologías pueden alcanzar tasas de detección cercanas al 100% y alta precisión en la localización.

Los gemelos digitales se apoyan en tecnologías como sensores inteligentes y sensores IoT, comunicaciones eficientes (NB-IoT), plataformas en la nube y algoritmos de inteligencia artificial. Esto permite una monitorización continua, automatizada y en tiempo real.

Entre sus principales beneficios destacan la reducción de pérdidas de agua, la optimización del control de presión, la mejora de la eficiencia energética y la priorización de intervenciones según impacto. También facilitan el cumplimiento normativo y la toma de decisiones basada en datos.

En conjunto, los gemelos digitales representan una solución avanzada que permite evolucionar hacia redes inteligentes, más eficientes, sostenibles y capaces de operar de forma cada vez más autónoma.

CONCLUSIÓN

La gestión del Agua No Registrada requiere un enfoque integral basado en la digitalización, la sectorización y el control eficiente de presiones. Las tecnologías acústicas y los sistemas avanzados de monitorización permiten mejorar significativamente la detección y localización de fugas. Las soluciones complementarias aportan valor en casos específicos, aunque no sustituyen a los sistemas continuos. La integración de sensores, telelectura y analítica avanzada impulsa una gestión más eficiente y proactiva. En este contexto, los gemelos digitales representan la evolución hacia redes inteligentes, sostenibles y altamente optimizadas.

CONTACTO

Andross Pérez Lleó

Global Omnium – EMIVASA

Grab Vía Marqués del Turia 19, 46005 Valencia

Tlfno: +34 636544792

Email: anpelle@globalomnium.com