



TERCERA CONVOCATORIA DE SUBVENCIONES PARA PROYECTOS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL CICLO URBANO DEL AGUA (PERTE DIGITALIZACIÓN DEL CICLO DEL AGUA), EN EL MARCO DEL PRTR

DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES DE PERALEDA DE LA MATA (CÁCERES)

www.aqlara.com

FIRMADO:

SERGI LLÀCER SANSALONI
RESPONSABLE DE OFICINA TÉCNICA Y TECNOLOGÍAS

ÍNDICES

1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO JURÍDICO	5
2.1. NORMATIVA ESTATAL ESPAÑOLA	5
2.1.1. REAL DECRETO 3/2023, DE 10 DE ENERO	5
2.1.2. MANUAL DE EVALUACIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES (ESPAÑA).....	6
3. OBJETIVOS	7
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
4. DEFINICIONES Y TÉRMINOS	8
5. CLASIFICACIÓN INTEGRAL DE LAS FUGAS Y PÉRDIDAS DE AGUA	10
5.1. CONCEPTO FUNDAMENTAL: “VOLUMEN DE AGUA NO REGISTRADO”	10
5.2. CLASIFICACIÓN DE ANR SEGÚN ORIGEN	10
5.2.1. CONSUMOS NO CONTROLADOS	11
5.2.2. DEFECTOS EN LA MEDICIÓN.....	12
5.2.3. DEFECTOS EN LAS REDES.....	13
5.3. CLASIFICACIÓN DE LAS FUGAS SEGÚN SU APARIENCIA	14
5.3.1. FUGAS APARENTES.....	14
5.3.2. FUGAS OCULTAS DE PEQUEÑA PÉRDIDA DE CAUDAL	14
5.3.3. FUGAS OCULTAS DE MEDIANA O GRAN PÉRDIDA DE CAUDAL	14
6. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED	15
6.1. INTRODUCCIÓN.....	15
6.2. FASE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	16
6.2.1. ETAPA DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE.....	16
6.2.2. ETAPA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE.....	17
6.2.3. ETAPA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	17
7. BALANCE HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	19
7.1. RENDIMIENTO HIDRÁULICO DEL SISTEMA.....	21

8. ALCANCE TEMPORAL DEL PLAN DE EVALUACIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES	22
9. MÉTODOS, SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS	23
9.1. CICLO ESTRUCTURADO DE DETECCIÓN Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES.....	23
9.2. CONTROL HIDRÁULICO Y BALANCES	24
9.2.1. BALANCE HIDRÁULICO	24
9.2.2. ANÁLISIS DE CAUDALES Y PRESIONES	25
9.2.3. IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE TELECONTROL Y TELELECTURA	25
9.3. IDENTIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE SECTORES.....	26
9.3.1. SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	26
9.3.2. DISTRITOS HIDROMÉTRICOS VIRTUALES (DHV).....	27
9.3.3. SELECCIÓN DE SECTORES PRIORITARIOS.....	27
9.3.4. INSPECCIÓN VISUAL DE LA RED DE SANEAMIENTO.....	28
9.4. PRELOCALIZACIÓN DE FUGAS	28
9.5. DETECCIÓN DE FUGAS	29
9.5.1. MODELIZACIÓN DE REDES MEDIANTE GISWATER	30
9.5.2. VIGILANCIA DEL CAUDAL MÍNIMO NOCTURNO	31
9.5.3. TOMA Y REGISTRO DE PRESIONES.....	31
9.5.4. PRELOCALIZADORES ACÚSTICOS.....	32
9.5.5. CÁMARA DE INSPECCIÓN CON PÉRTIGA	35
9.5.6. INSPECCIÓN MEDIANTE VEHÍCULO ROBOTIZADO CON CÁMARA	36
9.6. LOCALIZACIÓN DE FUGAS	37
9.6.1. CAÑA O INDIO	37
9.6.2. VARILLA DE ESCUCHA ELECTRÓNICA.....	38
9.6.3. GEÓFONO.....	39
9.6.4. EQUIPO DE DETECCIÓN CON GAS	40
9.6.5. TERMOGRAFÍA INFRARROJA.....	40
9.6.6. GEORRADAR O GPR	41
10. SENSIBILIZACIÓN DE LA COMUNIDAD	43

1. INTRODUCCIÓN

AQLRA CICLO INTEGRAL DEL AGUA S.A.U., en virtud del contrato firmado con el Ayuntamiento de Peraleda de la Mata en fecha 5 de marzo de 2.026, es la entidad responsable de la gestión del Servicio Municipal de Abastecimiento de Agua Potable del término municipal de Peraleda de la Mata.

En el ámbito de la gestión de los sistemas de abastecimiento de agua, AQLARA considera fundamental la implantación de un **seguimiento hidráulico exhaustivo y sistemático de las infraestructuras**, como herramienta clave para garantizar la eficiencia del servicio, la seguridad de las instalaciones y la sostenibilidad del recurso hídrico.

Las fugas estructurales en las redes de distribución pueden generar impactos significativos en distintos ámbitos, entre los que destacan:

- **Riesgos para la seguridad**, dado que las roturas de conducciones pueden ocasionar accidentes a las personas o daños a bienes públicos y privados.
- **Impactos ambientales**, tales como degradación del suelo, hundimientos, socavones y afecciones al entorno urbano.
- **Riesgos para la salud pública**, ya que las fugas pueden favorecer la entrada de contaminantes en la red de distribución, comprometiendo la calidad del agua de consumo humano.
- **Consecuencias económicas**, derivadas tanto del volumen de agua no registrada como de los costes asociados a reparaciones de emergencia, daños colaterales y pérdidas de eficiencia operativa.

Una gestión eficiente del abastecimiento debe basarse en el control y reducción de los **índices de pérdidas de agua**, siendo estos un indicador fundamental del grado de eficiencia del sistema. En este sentido, la implantación de medidas orientadas al control, investigación y reducción de fugas estructurales repercute positivamente tanto en la optimización del servicio como en el beneficio económico y ambiental del municipio.

El agua constituye un recurso esencial y limitado, por lo que cualquiera actuación encaminada a optimizar su explotación y reducir las pérdidas innecesarias contribuye de manera directa a la sostenibilidad del ciclo urbano del agua. En muchos sistemas de abastecimiento, una parte significativa del agua producida se pierde como consecuencia de deficiencias estructurales o de una gestión insuficiente de las redes, lo que refuerza la necesidad de planes específicos de evaluación y control.

En este contexto normativo y técnico, el **Real Decreto 3/2023, de 10 de enero**, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, introduce la obligación para determinados operadores de realizar la **evaluación de fugas estructurales** en los sistemas de abastecimiento, de acuerdo con metodologías normalizadas y con periodicidad definida. Asimismo, el **Manual para la Evaluación de Fugas Estructurales en los Sistemas de Abastecimiento de Agua**, elaborado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), establece las directrices técnicas para el desarrollo de dichas evaluaciones.

El presente documento recoge el **Plan de Evaluación de Fugas Estructurales de AQLARA** para el Servicio Municipal de Abastecimiento de Agua Potable del término municipal de Peraleda de la Mata, elaborado con el objetivo de dar

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

cumplimiento a las obligaciones establecidas en el RD 3/2023 y alinearse con las recomendaciones técnicas del MITECO, sirviendo además como documento justificativo en el marco de la solicitud de subvención ministerial.

El documento se estructura de la siguiente manera:

- En primer lugar, se presenta una **introducción teórica**, en la que se describen los distintos tipos de fugas que pueden producirse en una red de distribución, así como los métodos, sistemas y procedimientos disponibles para su detección y evaluación.
- A continuación, se desarrolla un **análisis del sistema de abastecimiento**, incluyendo la elaboración del balance hídrico, que permite identificar el nivel de pérdidas existentes y justificar la necesidad de implantar un Plan de Evaluación de Fugas estructurales.
- Posteriormente, se detallan las **actuaciones técnicas previstas**, los programas de mantenimiento, formación, sensibilización y los mecanismos de seguimiento y evaluación continua.

2. MARCO JURÍDICO

2.1. Normativa estatal española

La gestión del servicio de agua en municipios españoles está regulada por un marco normativo comprensivo que establece obligaciones, estándares técnicos, y procedimientos de control:

2.1.1. Real Decreto 3/2023, de 10 de enero

Este Real Decreto, de aplicación muy reciente y vigente desde enero de 2023, constituye actualmente la normativa más relevante en materia de evaluación de fugas estructurales, ya que establece la obligación de realizar auditorías energéticas para las entidades gestoras del agua, reconoce las fugas estructurales como factor crítico en la eficiencia energética de los sistemas de abastecimiento, define criterios específicos de evaluación basados en el **Índice de Fugas Estructurales (IFE)** y fija los procedimientos necesarios para la medición, el registro y el reporte sistemático de dichas fugas.

$$IFE = \frac{PRAA}{PRAI} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- **PRAA:** Pérdidas reales anuales actuales ($m^3/año$)
- **PRAI:** Pérdidas reales anuales inevitables o umbral mínimo de fugas (UMF) ($m^3/año$)

$$PRAA = \frac{Q^{PR}}{N_{dp}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- **Q^{PR} :** Pérdidas reales anuales de agua ($m^3/año$)
- **N_{dp} :** Número de días en los que el sistema está presurizado

$$PRAI = P \cdot (6,57 \cdot Lm + 0,256 \cdot Nc + 9,13 \cdot Lt) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- **Lm:** Longitud de tuberías (Km)
- **Nc:** Número de acometidas (tuberías a línea de propiedad)
- **P:** Presión media de operación (m.c.a)
- **Lt:** Longitud total en Km de las acometidas, desde la tubería al contador

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

2.1.2. Manual de Evaluación de Fugas Estructurales (España)

Este manual se trata de un documento técnico de referencia, elaborado por grupos de trabajo especializados, que establece de manera detallada la clasificación de las fugas según su origen, apariencia y nivel de urgencia, describe las metodologías para su detección y localización, define los equipos recomendados junto con sus especificaciones técnicas, y fija los protocolos de operación que deben seguirse para garantizar una gestión eficiente y segura.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

El objetivo general del presente **Plan de Evaluación de Fugas Estructurales** es **mejorar la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable del término municipal de Peraleda de la Mata**, mediante la identificación, evaluación y reducción de las fugas estructurales existentes en la red de distribución, garantizando el uso sostenible del recurso hídrico y el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el **Real Decreto 3/2023, de 10 de enero**, así como las directrices técnicas recogidas en el **Manual para la Evaluación de Fugas Estructurales en los Sistemas de Abastecimiento de Agua del MITECO**.

3.2. Objetivos Específicos

De forma específica, el presente Plan persigue los siguientes objetivos:

- **Dar cumplimiento a la normativa vigente**, en particular a lo dispuesto en el Real Decreto 3/2023, en relación con la evaluación periódica de las fugas estructurales en los sistemas de abastecimiento de agua de consumo humano.
- **Caracterizar y cuantificar las pérdidas reales de agua** en la red de distribución municipal, mediante la elaboración de balances hídricos fiables y el uso de indicadores normalizados de eficiencia, de acuerdo con la metodología recomendada por el MITECO.
- **Identificar sectores de la red con mayor incidencia de fugas estructurales**, permitiendo priorizar actuaciones de control, renovación y mantenimiento de las infraestructuras.
- **Implantar y consolidar tecnologías avanzadas de detección de fugas**, tales como sistemas acústicos, balances hidráulicos diarios y herramientas de modelización hidráulica, que faciliten la detección temprana y la localización precisa de pérdidas.
- **Optimar la sectorización de la red de distribución**, mediante la ampliación de sectores existentes, la instalación de contadores sectoriales ultrasónicos bidireccionales y el diseño de Distritos Hidrométricos Virtuales (DHV), con el fin de mejorar el control hidráulico y la gestión operativa.
- **Establecer un programa de mantenimiento preventivo**, basado en criterios técnicos y datos objetivos, que permita reducir la frecuencia de averías y minimizar las pérdidas de agua a medio y largo plazo.
- **Mejorar la capacitación del personal técnico**, asegurando la correcta aplicación de los procedimientos de evaluación, control y seguimiento de fugas estructurales definidos en el Plan.
- **Fomentar la sensibilización y participación de la comunidad**, promoviendo el uso responsable del agua y facilitando la detección y comunicación de fugas visibles por parte de la ciudadanía.
- **Implantar un sistema de monitoreo y evaluación continua**, que permita medir la evolución de los indicadores de pérdidas, verificar la eficiencia de las actuaciones realizadas y garantizar una adecuada rendición de cuentas ante la Administración concedente de la subvención.

4. DEFINICIONES Y TÉRMINOS

El presente apartado tiene por objeto establecer las definiciones de los principales términos y conceptos técnicos utilizados a lo largo del documento, con el fin de garantizar una interpretación homogénea y evitar ambigüedades. Las definiciones adoptadas se basan en el Manual para la Evaluación de Fugas Estructurales en los Sistemas de Abastecimiento de Agua y en lo establecido en el Real Decreto 3/2023, siendo de aplicación para la correcta comprensión y ejecución de los procedimientos descritos en los siguientes apartados.

Unión de gestión: Área territorial que agrupa un conjunto de infraestructuras de abastecimiento interconectadas (captación, tratamiento, almacenamiento y distribución), gestionadas de forma unitaria por el operador del servicio, y que pueden incluir uno o varios municipios.

Unión de gestión de fugas: Ámbito de referencia utilizado para la evaluación de fugas estructurales coincidente con la unión de gestión definida para el sistema de abastecimiento.

Zona de abastecimiento: Área geográficamente definida y censada por la autoridad sanitaria, en la que el agua de consumo procede de una o varias captaciones y cuya calidad puede considerarse homogénea durante la mayor parte del año, incluyendo el conjunto de instalaciones asociadas.

Tipos de zona de abastecimiento: Clasificación de las zonas de abastecimiento en función del volumen medio diario de agua suministrada, de acuerdo con lo establecido en el Real Decreto 3/2023.

Tipos de evaluación: La evaluación de fugas estructurales puede realizarse mediante evaluación básica o evaluación detallada, en función del tamaño de la población abastecida y del volumen de agua suministrado, conforme a los criterios establecidos en el Real Decreto 3/2023.

Agua suministrada: Volumen total de agua de consumo que entra en la red de distribución del sistema gestionado por el operador.

Agua registrada: Volumen de agua suministrada en los puntos finales de consumo que es medida mediante los contadores instalados

Agua no registrada (ANR): Diferencia entre el volumen de agua suministrada y el volumen de agua registrada, incluyendo pérdidas reales, pérdidas aparentes y consumos autorizados no medidos.

Pérdidas reales de agua: Volumen de agua perdido físicamente del sistema como consecuencia de fugas y roturas en la red de distribución, acometidas, depósitos y otros elementos del sistema.

Pérdidas aparentes de agua: Pérdidas asociadas a consumos no autorizados, errores de medición o imprecisiones de los contadores, sin pérdida física de agua en la red

A continuación, se presenta la metodología de trabajo de AQLARA se fundamenta en un modelo de gestión adaptativa orientado a la mejora continua, lo que permite la aplicación dinámica de medidas correctoras y ajustes operativos durante la ejecución de los trabajos, garantizando el cumplimiento de los objetivos técnicos, operativos y de eficiencia establecidos:

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

Unidades Operativas (UO): Estructura organizativa interna destinada a coordinar la ejecución técnica, operativa y administrativa de los servicios gestionados. Cada Unidad Operativa centraliza la planificación, supervisión, seguimiento y control de las actuaciones desarrolladas en las distintas explotaciones, optimizando la asignación de recursos y la respuesta operativa.

Explotación: Ámbito territorial correspondiente a cada municipio o conjunto de municipios en los que se realiza la gestión integral de los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento, incluyendo la operación, mantenimiento, control, monitorización y optimización de las infraestructuras asociadas.

Cuadros de Mando (CDM): Herramienta interna de gestión técnica desarrollada para el seguimiento integral de los servicios de abastecimiento de agua potable y depuración, orientada al control operativo, análisis de indicadores y apoyo a la toma de decisiones. Incorpora funcionalidades específicas para la estimación de pérdidas en distribución mediante la aplicación de criterios asociados al Método de los Caudales Mínimos Nocturnos, así como el seguimiento del Índice Estructural de Fugas (IEF) como indicador clave de operación, control y eficiencia hidráulica de la red.

Cálculo del subcontaje del parque de contadores: Es una estimación del porcentaje del parque de contadores derivado de la pérdida progresiva de precisión metrológica de los equipos de medida, calculada al inicio de cada ejercicio en función de la edad media del parque y del volumen medio acumulado registrado por cada contador. Como criterio de referencia, se considera un subcontaje del 6 % en parques con antigüedad media inferior a 6 años y del 11 % en parques con antigüedad superior a 12 años, ajustándose adicionalmente en función del promedio del totalizador acumulado. Este indicador permite mejorar la estimación de pérdidas aparentes, optimizar la elaboración del balance hídrico y planificar de forma eficiente la renovación del parque de contadores.

5. CLASIFICACIÓN INTEGRAL DE LAS FUGAS Y PÉRDIDAS DE AGUA

5.1. Concepto fundamental: “Volumen de Agua No Registrado”

Para comprender adecuadamente el fenómeno de fugas estructurales, es esencial comenzar con la **clarificación conceptual** de qué se entiende por “pérdida de agua” en un sistema de distribución.

En sistemas municipales de agua potable, es práctica estándar medir dos volúmenes:

- **Volumen de Entrada (VE):** Agua que entra en el sistema desde fuentes (pozos, ríos, embalses, desaladoras)
- **Volumen Registrado (VR):** Agua que es facturada a usuarios finales, medida mediante contadores

La diferencia entre estos dos volúmenes se denomina **Agua No Registrada (ANR)** o **Volumen No Contabilizado (VNC)**:

$$ANR = VE - VR \quad \text{Ecuación 2}$$

Históricamente, la ANR ha sido etiquetada simplemente como “perdidas por fugas”, asumiendo que representa únicamente roturas de tuberías. Sin embargo, **esta interpretación es incompleta y engañosa**. La realidad es que ANR tiene múltiples orígenes, siendo “fugas en tuberías” solamente **una parte del problema**.

5.2. Clasificación de ANR según origen

El concepto de pérdidas de agua en los sistemas de abastecimiento se ha asociado tradicionalmente, de forma simplificada, a las fugas existentes en las redes de distribución. No obstante, esta interpretación resulta incompleta, ya que las pérdidas de agua abarcan un conjunto más amplio de situaciones que no siempre implican una pérdida física del recurso.

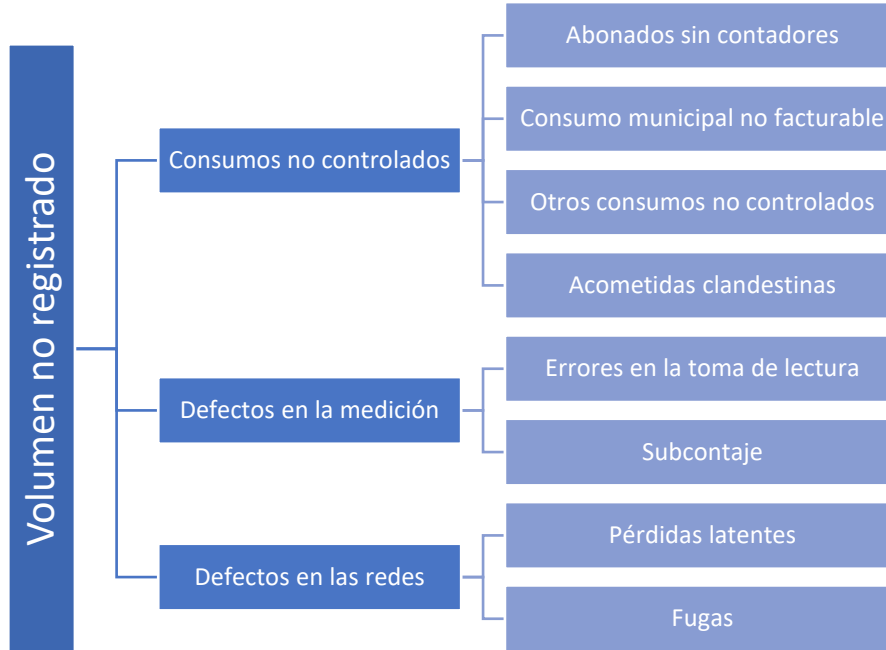
En este sentido, resulta más preciso emplear el término **Volumen de Agua No Registrada o No Contabilizada (ANR)**, entendido como la diferencia entre el volumen total de agua introducido en el sistema de abastecimiento y el volumen de agua efectivamente registrado y facturado a los usuarios finales. Este volumen engloba tanto las pérdidas reales como las pérdidas aparentes y otros usos no contabilizados del agua.

En función de su origen, el **agua no registrada** puede clasificarse en los siguientes conceptos:

- Consumos no controlados
 - Abonados sin contadores
 - Consumos de carácter municipal no facturables (riegos, colegios, etc)
 - Otros consumos sin facturación no Controlados (hidrantes, bocas de riego, etc)
 - Acometidas Clandestinas
- Defectos en la medición
 - Errores en la toma de lectura
 - Errores en la medida del contador (subcontaje)
- Defectos en las redes
 - Pérdidas latentes: goteos, reparación de averías, etc

- o Fugas (debidas a defectos en la red): de intervención inmediata (roturas, fugas con influencia en el abastecimiento, etc.), de intervención programada (defectos en el sistema).

Figura 1. Clasificación de las fugas según su origen.



A continuación, pasan a describirse los distintos tipos de pérdidas mencionadas:

5.2.1. Consumos no controlados

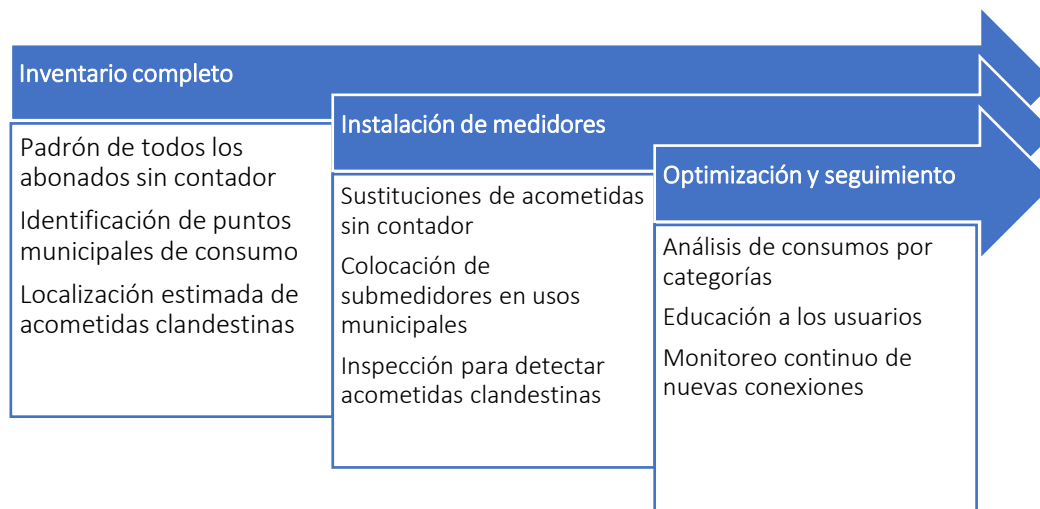
Son aquellos que engloban el volumen de agua realmente consumida y no contabilizada. La pérdida no viene ocasionada en este caso por defectos en las redes si no por la inexistencia de contadores o adecuados elementos de medida.

La solución a esta situación pasa por evitar estimaciones y obtener mediciones fiables mediante la progresiva instalación de contadores conforme se vayan identificando cada uno de los puntos que presenten este tipo de consumos.

Dichos puntos serán, en general, de la siguiente naturaleza:

- **Abonados sin contador:** el número de abonados sin contador puede ser fácilmente reconocible, tanto por la información aportada por los fontaneros del servicio, como por los padrones municipales.
- **Consumos de carácter municipal no facturables:** el control de los mismos se efectuará a partir de la instalación de contadores en cada uno los puntos de consumo, independientemente de que éste se facture o no.
- **Otros consumos sin facturación no controlados:** normalmente serán los consumos de carácter exento de facturación, sean municipales o no. El control de los mismos se efectuará de la misma forma descrita anteriormente.
- **Acometidas clandestinas:** el mayor problema que presenta la determinación de los consumos no controlados es la dificultad que entraña la localización de acometidas clandestinas. Deberá prestarse especial interés en la regularización de dichas acometidas mediante el desarrollo de campañas periódicas según se considere necesario.

Figura 2. Estrategia integral para reducir consumos no controlados.



5.2.2. Defectos en la medición

Actualmente los defectos de medición pueden reducirse enormemente ya que existen en el mercado una amplia gama de contadores disponibles en el mercado, los cuales, con una adecuada verificación y mantenimiento, ofrecen una elevada fiabilidad en la medida y una vida útil prolongada.

Generalmente existen dos tipos de errores:

- **Errores en la toma de lecturas:** este tipo de error es de carácter humano y, generalmente, no son elevados en número, por lo que suelen ser despreciables. De todas formas, destacamos la importancia de la toma correcta de lecturas y de realizar tal operación en los periodos establecidos para las mismas, a fin de evitar, en la medida de lo posible, las estimaciones.
- **Errores en la medida del contador (subcontaje):** este otro tipo de error es el más importante, ya que representa el mayor porcentaje de pérdidas. En este sentido, de acuerdo con la Directiva 2014/32/UE (anexo MI-001), los caudales característicos del funcionamiento de un contador se definen como:
 - Caudal mínimo (Q1): correspondiente al menor caudal a partir del cual el equipo mide dentro de los límites de errores permitidos
 - Caudal de transición (Q2): correspondiente al valor del caudal que se sitúa entre el caudal de agua mínimo y el permanente, en el que el intervalo de caudal se divide en dos zonas, la “superior” y la “inferior”. A cada zona de las mencionadas les corresponde un error máximo permitido.
 - Caudal permanente (Q3): corresponde al caudal que define el régimen normal de funcionamiento continuo
 - Caudal de sobrecarga (Q4): corresponde al caudal máximo admisible durante periodos cortos sin deterioros.

En este marco, los contadores deben de operar dentro de unos errores máximos permitidos (EMP), que son de $\pm 2\%$ en el rango de caudales comprendido entre Q2 y Q4 y de $\pm 5\%$ entre Q1 y Q2. Así mismo, el ratio

metrológico ($R = Q3/Q1 \geq 10$) define la capacidad del contador para registrar con precisión los caudales bajos, siendo un factor clave en el control del subcontaje.

Con el paso del tiempo y el volumen acumulado de agua registrada (m³), se produce un desgaste progresivo de los componentes internos del contador, lo que conlleva a una degradación de sus prestaciones metrológicas y un incremento del subcontaje, especialmente en el rango de caudales bajos. La normativa de aplicación establece una vida útil de referencia de 12 años, en la que el equipo debe mantener sus características dentro de los requisitos de error y durabilidad definidos.

No obstante, con el objetivo de garantizar la fiabilidad de la medida y optimizar la gestión del parque de contadores, se recomienda su renovación en plazos inferiores, situándose habitualmente en torno a los **10 años de servicio**.

5.2.3. Defectos en las redes

Las pérdidas por defectos en las redes las subdividiremos, a su vez, en pérdidas latentes y en fugas.

- **Pérdidas latentes:** las pérdidas latentes son aquellas cuya eliminación resulta prácticamente inviable, por lo que requieren una labor continua de vigilancia y control. Para minimizar su impacto, es necesario implementar un programa de mantenimiento preventivo de la red y de las instalaciones, prestando atención a la reposición de elementos defectuosos.

Entre los ejemplos más habituales se incluyen goteos, pequeñas fugas, permeabilidad en conducciones, fugas en válvulas y averías de baja entidad.

Cabe señalar que, en determinadas ocasiones, la reparación de este tipo de pérdidas puede implicar costes superiores al valor económico del volumen de agua perdido. No obstante, dado que el agua es un recurso natural limitado y de alto valor ambiental, resulta necesario proceder a su reparación, en cualquier caso, priorizando los criterios de sostenibilidad y eficacia en la gestión del recurso hídrico.

- **Fugas:** se entiende por fugas aquellas pérdidas, subsanables, debidas a defectos en la red. Su corrección requiere, en muchos casos, un tratamiento específico en función de sus características y afecciones. En este sentido, se distinguen dos tipos principales:
 - De intervención programada: son aquellas cuya reparación puede demorarse de forma controlada, permitiendo la realización previa de estudios orientados a la optimización de costes y planificación de los trabajos.
 - De intervención inmediata: corresponden a aquellas que, debido a su elevado volumen de pérdidas, su impacto sobre la población o los posibles daños a terceros, requieren una actuación urgente para su corrección.

La aparición de fugas puede deberse a múltiples causas, entre las que destacan envejecimiento de la red, defectos en la ejecución durante su instalación, la presencia de transitorios hidráulicos y sobrepresiones, periodos prolongados de inactividad sin agua en el interior de las conducciones, así como movimientos del terreno, corrosión de materiales o acciones externas.

A diferencia de otros tipos de pérdidas, las fugas suelen presentar una alta rentabilidad económica en su reparación, ya que el coste de su corrección queda ampliamente justificado por la reducción de pérdidas de agua y la mejora en la eficiencia del sistema.

5.3. Clasificación de las fugas según su apariencia

Según el criterio de apariencia, se pueden englobar las fugas en tres tipos:

- Aparentes
- Ocultas de pequeña pérdida de caudal
- Ocultas de mediana o gran pérdida de caudal

5.3.1. Fugas aparentes

Son las que se producen por causas accidentales, en la mayoría de los casos, como pueden ser: por obras, reventones, inundaciones, maniobras falsas, etc., se suele perder bastante cantidad de agua, por lo que su cierre y reparación debe de ser lo más rápidamente posible, además son las que causan mayores molestias a los usuarios del servicio.

5.3.2. Fugas ocultas de pequeña pérdida de caudal

Son las que se producen en las válvulas, juntas, tomas, juntas de acometidas, bocas de riego mal cerradas, ventosas, hidrantes, depósitos de las comunidades de vecinos, etc.

Suelen ser de pérdidas de caudales pequeños, pero en algunos casos al estar mucho tiempo saliéndose el agua, la cantidad total de agua que se pierde puede ser muy importante. En la mayoría de los casos se detectan en las revisiones periódicas de las zonas con los equipos de detección de fugas.

5.3.3. Fugas ocultas de mediana o gran pérdida de caudal

Son las que se producen en lugares donde no salen al exterior, por encontrarse en terrenos de relleno o muy permeables, se filtra el agua buscando salidas subterráneas, en algunos casos ha coincidido que el agua se mete en la red de saneamiento, siendo costosa su localización. Algunas veces se detectan por bajadas de presión en la zona que abastecen, dejando sin servicio a zonas altas con el consiguiente perjuicio a nuestros clientes.

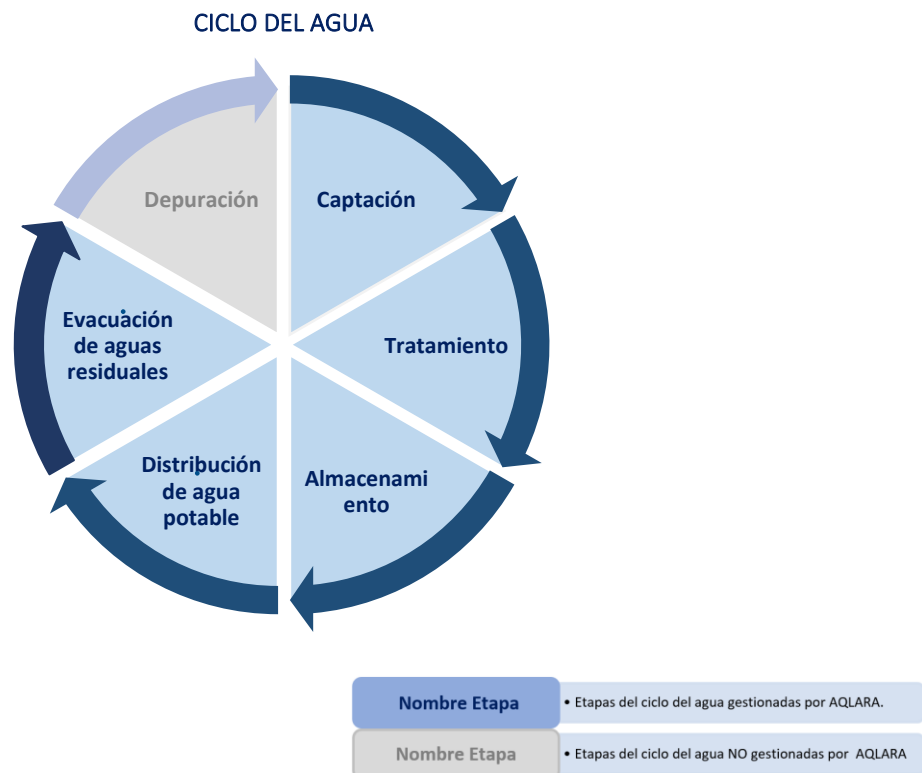
Estas fugas suelen perder gran cantidad de agua, por lo que tan pronto como se tenga conocimiento de una bajada de presión o deficiencia de servicio, es necesario ponerse en marcha y averiguar dónde se encuentra.

6. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DE LA RED

6.1. Introducción

Se procede a presentar el presente apartado a detallar las diferentes instalaciones e infraestructuras que conforman cada una de las diferentes fases y etapas que integran la gestión de la concesión del Servicio de Suministro de Agua Potable y saneamiento en el Término Municipal de Peraleda de la Mata.

A continuación, en el siguiente gráfico se pueden observar las diferentes etapas que integran el ciclo integral del agua, y cuales, de ellas, son gestionadas actualmente por AQLARA en Peraleda de la Mata.



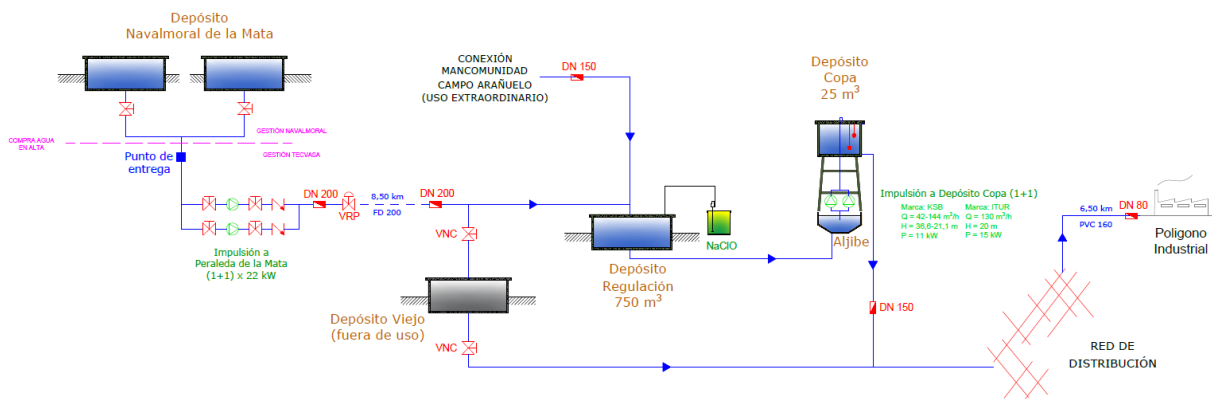
En Peraleda de la Mata, AQLARA gestiona las instalaciones e infraestructuras asociadas a las fases y etapas de:

- Fase de abastecimiento de Agua Potable:
 - Etapa de captación de Agua Bruta
 - Etapa de tratamiento de Agua Potable
 - Etapa de almacenamiento de Agua Potable
 - Etapa de distribución de Agua Potable
 - Etapa de saneamiento de agua residual
- Fase de alcantarillado:
 - Etapa de evacuación de agua residual

6.2. Fase de abastecimiento de agua potable

El Servicio de Suministro de Agua Potable de Peraleda de la Mata está compuesto por un sector hidráulico de abastecimiento, compra de agua en alta en Navalmoral de la Mata a través del depósito de cola (aunque también dispone fuera de uso la conexión con la Mancomunidad del Campo Arañuelo), un depósito de regulación y un depósito elevado. A continuación, en la siguiente figura se puede observar el esquema de la red de abastecimiento de agua potable de Peraleda de la Mata, en el que se pueden diferenciar claramente las diferentes etapas que conforman la fase de abastecimiento de agua potable.

Figura 3. Esquema de red Peraleda de la Mata.



6.2.1. Etapa de captación de agua potable

El municipio de Peraleda de la Mata dispone de un pozo que se encuentra fuera de servicio desde hace años, pues en su agua presenta trazas de arsénico y flúor fuera de los límites establecidos por el RD 140/2003. Ante este problema, el municipio dispone de una compra de agua en alta proporcionada por el municipio de Navalmoral de la Mata, ubicado a aproximadamente 9 km.

El punto de entrega se ubica junto a los dos depósitos de cola de Navalmoral de la Mata, donde existe una Estación de Bombeo de Agua Potable (EBAP) que actúa como punto de captación de Peraleda de la Mata.

La EBAP en cuestión dispone de un sistema de bombeo que permite el trasiego desde los depósitos de cola, habitualmente empleando uno de ellos, hasta el depósito de regulación de Peraleda de la Mata.

El grupo de presión se compone de dos bombas centrífugas horizontales, en configuración 1+1, cuyo funcionamiento se alterna mensualmente para su correcto mantenimiento y conservación. Ambas bombas, de marca ECHTOP están equipadas con sendos motores de 22 kW, y aportan aproximadamente, unos 80 m³/h a 55 mca.

La contabilización de los volúmenes que se suministra a Peraleda de la Mata desde este depósito se lleva a cabo gracias a un contador de la marca Geconta WP-SDC PLUS de 200 mm de diámetro nominal.

6.2.2. Etapa de almacenamiento de agua potable.

El sistema de almacenamiento de Peraleda de la Mata cuenta con tres depósitos y un aljibe, todos ellos de titularidad del Ayuntamiento, estando uno de ellos fuera de servicio (Depósito Viejo).

Tras el llenado del depósito de regulación, por diferencia de cota, el agua pasa a un aljibe que cuenta con un grupo de bombeo formado por dos bombas centrífugas verticales cuya función principal consiste en impulsar el agua de este hacia lo alto del depósito de copa. De esta forma daría inicio la etapa de distribución de agua por gravedad hacia toda la red de distribución de agua potable del municipio

El depósito de regulación se trata de un depósito rectangular de dos vasos interconectados, conformado por placas de hormigón prefabricado con una capacidad de almacenamiento total de 750 m³.

El depósito elevado cuenta con un único vaso en forma de cilindro anular, con una capacidad de almacenamiento de 25 m³. La altura aproximada del vaso es de 5 m, mientras que la altura total del depósito es de unos 20 m.

Para el llenado del vaso elevado, se dispone previamente de un aljibe que recibe el agua por gravedad desde el depósito de regulación donde el agua es impulsada, gracias a un grupo de bombeo, hasta el vaso de almacenamiento ubicado en la parte alta del depósito.

El grupo de bombeo en cuestión está formado por dos bombas centrífugas horizontales, en configuración 1+1, siendo la primera de ellas de la marca ITUR BD-23 de 15 kW capaz de aportar 130 m³/h a 20 mca y, la segunda, de la marca KSB de 11 kW capaz de aportar entre 42 y 144 m³/h a una H de entre 34,6 y 21,1 mca.

6.2.3. Etapa de distribución de agua potable

6.2.3.1. Redes de distribución

Las redes de distribución de Peraleda de la Mata es una red tipo mixta, combinando zonas ramificadas y mallada, y presentando gran diversidad de materiales en su composición: fibrocementos, polietileno y PVC fundamentalmente

Los diámetros se encuentran comprendidos en una horquilla de entre 180 y 40 mm. La longitud total de conducciones y acometidas es de 17,89 km.

6.2.3.2. Parque de contadores

Sin contar las instalaciones temporales de obra, y a fecha de elaboración del presente documento, el parque de contadores del municipio de Peraleda de la Mata está compuesto por un total de 1.221 unidades.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

El parque está conformado mayoritariamente por contadores de DN 15-13 mm, se puede destacar el envejecimiento de este, con una edad media superior a los 10 años, donde se encuentran gran parte de piezas que ya han sobrepasado su vida útil.

Caracterizando el parque de contadores según sus usos, nos encontramos tres tipos de usos repartidos de la siguiente forma:

- Doméstico – 1.142 unidades (93,5 %)
- Industrial – 3 unidades (0,3 %)
- Comercial – 27 unidades (2,2%)
- Municipal – 45 (4 %)

7. BALANCE HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

Con el objeto de evaluar la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable del término municipal de Peraleda de la Mata y cuantificar el **volumen de agua no registrada**, se ha elaborado un **balance hidráulico del sistema**, de acuerdo con la metodología estandarizada recomendada en el **Manual para la Evaluación de Fugas Estructurales en los Sistemas de Abastecimiento de Agua**, publicado en el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), y conforme a los principios del balance hídrico de la Internacional Water Association (IWA) referenciados en el **Real Decreto 3/2023, de 10 de enero**.

El balance hidráulico se basa en la comparación entre el volumen total de agua introducido en el sistema de abastecimiento y el volumen de agua registrada y contabilizada, correspondiente a los consumos medios y facturados a los usuarios finales durante el periodo de análisis de 2024 - 2025.

El volumen de agua introducido en el sistema comprende el agua captada, tratada y puesta en red, medida en los puntos de control disponibles en cabecera. Por su parte, el volumen de agua registrada incluye los consumos domésticos, comerciales, industriales y otros usos autorizados que disponen de medición mediante contadores domiciliarios.

La diferencia entre ambos volúmenes constituye el **Volumen de Agua No Registrada (ANR)**, que engloba tanto las **pérdidas reales**, asociadas a fugas estructurales en las infraestructuras del sistema, como las **pérdidas aparentes** y los consumos autorizados no registrados.

A partir de la información disponible y conforme a la metodología indicada, se ha elaborado el balance hidráulico del sistema de abastecimiento, cuyos principales resultados se recogen en la siguiente tabla, donde se presentan de forma sintética los volúmenes del sistema.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

Tabla 1. Balance hidráulico actual del sistema de abastecimiento.

Agua Producida (0 m ³)	Volumen de Entrada (180.590 m ³)	Consumo Autorizado (133.374 m ³)	Consumo Autorizado Facturado (118.746 m ³)	Agua Exportada (0 m ³)	Agua Facturada (118.746 m ³)	Agua Registrada (118.746 m ³)
				Consumo Autorizado Facturado y Registrado (118.746 m ³)		Agua No Registrada (0 m ³)
				Consumo Autorizado Facturado y No Registrado (0 m ³)		
		Consumo Autorizado No Facturado (14.628 m ³)	Consumo Autorizado No Facturado y Registrado (14.628 m ³)	Agua Registrada (14.628m ³)		
		Pérdidas de Agua (47.216 m ³)	Consumo Autorizado No Facturado y No Registrado (0 m ³)	Agua No Facturada (61.844 m ³)	Agua No Registrada (47.216 m ³)	
			Consumo No Autorizado/Fraude (4.668 m ³)			
Error Medida Contadores (4.001 m ³)						
Agua Importada (180.590 m ³)		Pérdidas Reales (38.547 m ³)				

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

El balance obtenido debe considerarse una aproximación inicial al funcionamiento del sistema, condicionada por el grado actual de sectorización de la red y la limitada disponibilidad de medición continua en determinados puntos. Estas circunstancias impiden, en esta fase, una identificación detallada del origen exacto de las pérdidas.

No obstante, los resultados ponen de manifiesto la existencia de un volumen significativo de agua no registrada, lo que evidencia un margen importante de mejora en la eficiencia del sistema de abastecimiento.

7.1. Rendimiento hidráulico del sistema

A partir del balance hidráulico elaborado se ha determinado el rendimiento hidráulico del sistema, definido como la relación entre el volumen de agua registrada y el volumen total de agua introducida en la red.

Para el periodo analizado, correspondiente a 2025, el rendimiento hidráulico obtenido es del 73,85%, valor que se deriva directamente de los volúmenes reflejados en la tabla de balance hidráulico.

El rendimiento hidráulico se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Volumen Registrado (m}^3\text{)}}{\text{Volumen Aportado (m}^3\text{)}} \times 100$$

El bajo valor de rendimiento obtenido, indica la existencia de un elevado volumen de agua no registrada y pone de manifiesto la necesidad de actuar sobre el sistema de abastecimiento, especialmente en lo relativo al control hidráulico, la mejora de la medición y la detección de fugas estructurales.

En este contexto, el balance hidráulico y el rendimiento actual del sistema constituyen la situación de partida para la implantación del Plan de Evaluación de Fugas Estructurales, desarrollado en los siguientes aparados, cuyo objetivo es mejorar progresivamente la eficiencia de la red y reducir el volumen de agua no registrada.

8. ALCANCE TEMPORAL DEL PLAN DE EVALUACIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES

El presente Plan de Evaluación de Fugas Estructurales se plantea con un horizonte temporal de cinco (5) años, concebido como un instrumento dinámico de mejora continua de la eficiencia del sistema de abastecimiento de agua potable.

Durante este periodo, el plan permitirá implantar de forma progresiva las medidas de control hidráulico, sectorización, detección y localización de fugas, mantenimiento preventivo y monitorización continua descritas en el presente documento, adaptando su alcance y prioridades en función de los resultados obtenidos y de la evolución del sistema.

El balance hidráulico elaborado conforme a la metodología de la Internacional Water Association (IWA) constituye la línea base inicial del plan. A lo largo del periodo de vigencia, dicho balance será revisado y actualizado de manera periódica, incorporando la mejora progresiva de la calidad y el nivel de detalle de los datos disponibles, especialmente a medida que se implanten nuevas herramientas de telecontrol, telelectura y sectorización hidráulica.

La evaluación del grado de cumplimiento de los objetivos del plan se realizará mediante el seguimiento de indicadores clave de eficiencia, tales como la evolución del volumen de agua no registrada, el rendimiento hidráulico del sistema, el número de fugas detectadas y reparadas, así como la estabilidad de presiones y caudales en los distintos sectores de la red.

Este enfoque temporal permite establecer una planificación realista y escalonada de las actuaciones, garantizando la sostenibilidad técnica y económica de las medidas adoptadas y alineando el plan con los principios de mejora continua y uso eficiente del recurso hídrico recogidos en el Real Decreto 3/2023.

9. MÉTODOS, SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA DETECCIÓN DE FUGAS

La detección y reducción de fugas estructurales en los sistemas de abastecimiento de agua potable requiere la aplicación coordinada de distintos **métodos, sistemas y procedimientos**, que permitan identificar tanto las fugas visibles como las fugas ocultas, optimizando los recursos disponibles y priorizando las actuaciones en función de su impacto.

De acuerdo con las directrices establecidas en el **Manual para la Evaluación de Fugas Estructurales en los Sistemas de Abastecimiento de Agua del MITECO**, el presente Plan adopta un enfoque integral, combinando técnicas de **control hidráulico, detección acústica, sectorización de la red y modelización hidráulica**, con el fin de mejorar el conocimiento del sistema y reducir progresivamente el volumen de agua no registrada.

9.1. Ciclo estructurado de detección y gestión de fugas estructurales

El presente Plan adopta un **ciclo estructurado y continuo de detección y gestión de fugas estructurales**, conforme a las recomendaciones del **Manual para la Evaluación de Fugas Estructurales en los Sistemas de Abastecimiento de Agua del MITECO**, que permite abordar el control de pérdidas de forma sistemática, eficiente y sostenible en el tiempo.

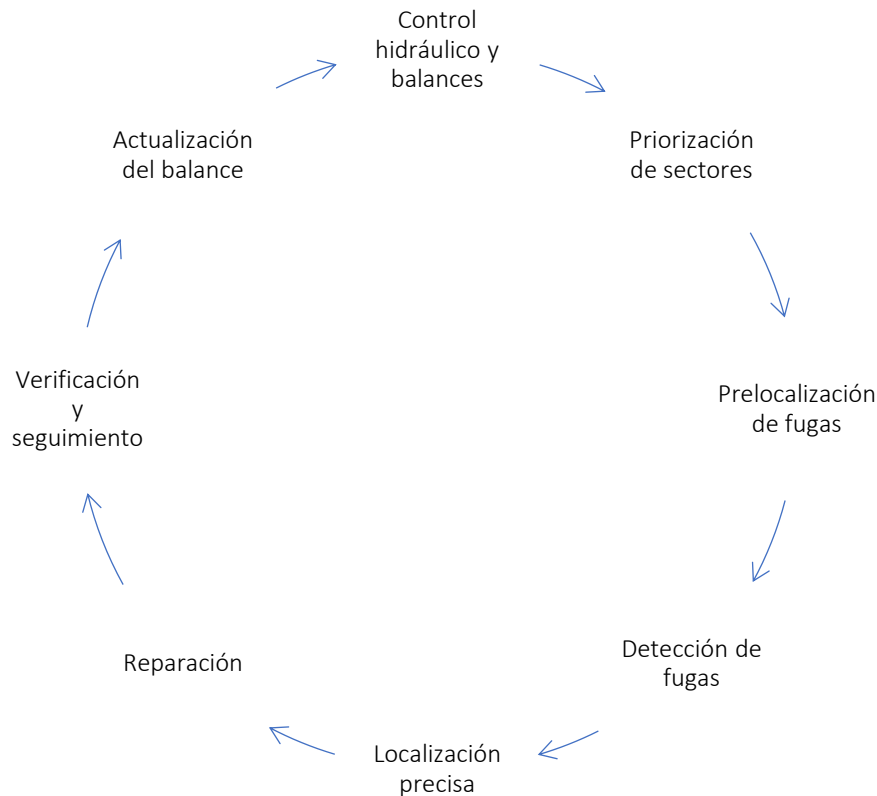
Este ciclo se basa en la aplicación secuencial y coordinada de distintas fases, que se retroalimentan entre sí, garantizando la mejora continua del conocimiento del sistema y la optimización de las actuaciones de control y reducción de fugas.

Las principales fases del ciclo de detección son las siguientes:

- **Análisis y control hidráulico del sistema**, mediante balances de agua y seguimiento de caudales, con el fin de identificar desviaciones y sectores con elevados niveles de agua no registrada.
- **Priorización de sectores de actuación**, en función de criterios hidráulicos, históricos de averías, antigüedad de la red y nivel de pérdidas estimadas.
- **Prelocalización de fugas**, utilizando técnicas de análisis de caudales mínimos nocturnos y sistemas acústicos de escucha preliminar, que permiten acotar las zonas de búsqueda
- **Localización precisa de fugas**, mediante equipos acústicos específicos, tales como geófonos y correladores, que permiten determinar el punto exacto de la pérdida.
- **Reparación y corrección de la fuga**, aplicando criterios de prioridad y minimizando la afección al servicio.
- **Verificación posterior a la intervención**, evaluando la reducción de caudales y la mejora del comportamiento hidráulico del sector intervenido.
- **Actualización del balance hidráulico y de los registros del sistema**, incorporando los resultados obtenidos y ajustando las estrategias de control.

En la figura se representa de forma esquemática el ciclo de detección de fugas y gestión de fugas estructurales adoptado en el presente Plan, basado en un proceso continuo de análisis, actuación y verificación.

Figura 4. Ciclo de detección y gestión de fugas estructurales.



A continuación, se desglosa cada uno de los métodos empleados por AQLARA en (Peraleda de la Mata) para llevar a cabo el control y detección de fugas en sus redes de distribución:

9.2. Control hidráulico y balances

El control hidráulico y el análisis inicial del sistema de abastecimiento constituyen la fase de partida del ciclo de detección de fugas, ya que permiten obtener una visión global del comportamiento hidráulico de la red y detectar desviaciones significativas asociadas a pérdidas de agua.

Esta fase se basa en el análisis sistemático de los volúmenes de agua introducidos en el sistema, los consumos registrados y los parámetros hidráulicos fundamentales, como caudales y presiones, con el objetivo de identificar sectores con un funcionamiento anómalo y establecer prioridades de actuaciones en las fases posteriores del proceso.

9.2.1. Balance hidráulico

El balance hidráulico es la herramienta fundamental para evaluar la eficiencia global del sistema de abastecimiento y cuantificar el Volumen de Agua No Registrada (ANR). Se obtiene a partir de la comparación entre el volumen total de agua introducido en la red y el volumen de agua registrada y contabilizada a los usuarios finales durante un periodo determinado.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

Para la elaboración del balance hidráulico se utilizan los datos disponibles de captación, producción y entrada en red, así como la información procedente de los sistemas de medición existentes en cabecera y en la red de distribución. Los consumos registrados se obtendrán a partir de los contadores domiciliarios y sectoriales disponibles.

La diferencia entre ambos volúmenes permitirá estimar el volumen de agua no registrada, que incluye tanto pérdidas reales asociadas a fugas estructurales como las pérdidas aparentes y los consumos autorizados no registrados. Dadas las limitaciones actuales del sistema en cuanto a instrumentación y sectorización, el balance hidráulico tendrá inicialmente un carácter estimativo, constituyendo una línea base de referencia para el seguimiento de la evolución del sistema.

Los resultados del balance hidráulico permitirán identificar la magnitud del problema de las pérdidas, evaluar el rendimiento técnico del sistema y justificar la necesidad de implantar medidas de control y reducción de fugas estructurales.

9.2.2. Análisis de caudales y presiones

El análisis de caudales y presiones complementa al balance hidráulico y permite profundizar en el conocimiento del comportamiento hidráulico de la red de distribución. Este análisis se basa en el estudio de los valores registrados en los distintos puntos de control disponibles, tanto en condiciones normales de explotación como durante periodos de baja demanda.

El seguimiento de los caudales circulantes en la red permite detectar incrementos anómalos no asociados a consumos reales, especialmente durante el periodo nocturno, lo que puede iniciar la existencia de fugas ocultas. Asimismo, el análisis de las curvas del caudal a lo largo del tiempo facilita la identificación de sectores con patrones de consumo irregulares.

Por su parte, el análisis de presiones se realizará mediante la toma puntual o el registro continuo de valores en puntos representativos de la red. En sectores con escasa variación de cota, las presiones deberían mantenerse relativamente estables; desviaciones significativas o caídas de presión no justificadas pueden constituir un inicio de fugas estructurales o de problemas de funcionamiento en la red.

La información obtenida a partir del análisis conjunto de caudales y presiones permitirá:

- Detectar sectores con comportamiento hidráulico anómalo
- Priorizar zonas de actuación para las fases de prelocalización y localización de fugas
- Evaluar el impacto de las actuaciones correctoras implantadas en la red

9.2.3. Implantación de sistemas de telecontrol y telelectura

Con el fin de mejorar el control operativo del sistema de abastecimiento y facilitar la detección temprana de fugas estructurales, se procederá a la **implantación de sistemas de telecontrol y telelectura** como parte fundamental del presente Plan de evaluación de fugas estructurales.

Estos sistemas permitirán la **monitorización continua y remota** de los principales parámetros hidráulicos de la red de distribución, tales como caudales, presiones y volúmenes suministrados, proporcionando información en tiempo real sobre el comportamiento del sistema y posibilitando una gestión más eficiente y proactiva.

La implantación de los sistemas de telecontrol y telelectura comprenderá, entre otras, las siguientes actuaciones:

- **Instalación de contadores sectoriales con capacidad de telelectura**, de tecnología ultrasónica y bidireccional, en los puntos de entrada y salida de los sectores hidráulicos.
- **Integración de sensores de caudal y presión** en los puntos estratégicos de la red, permitiendo el seguimiento continuo de su evaluación.
- **Conexión de los equipos a la plataforma ZEUS**, que permita la supervisión remota del sistema, la generación de alarmas y el registro histórico de datos.
- **Análisis de datos en tiempo real**, facilitando la detección de consumos anómalos, caudales mínimos nocturnos elevados o variaciones de presión no justificadas, potencialmente asociadas a fugas.
- **Soporte a la toma de decisiones operativas**, mejorando la rapidez de respuesta ante incidencias y optimizando la planificación de campañas de detección de fugas y mantenimiento.

La información obtenida a través de los sistemas de telecontrol y telelectura se integrará en la plataforma Baseform, sirviendo de base para la elaboración de balances hidráulicos, el seguimiento del agua no registrada y la evaluación de la eficacia de las actuaciones llevadas a cabo.

9.3. Identificación y priorización de sectores

La identificación y priorización de sectores constituye una fase esencial dentro del ciclo estructurado de detección de fugas, ya que permite acotar el ámbito de actuación y concentrar los esfuerzos en aquellas zonas de la red con mayor probabilidad de presentar fugas estructurales o mayores niveles de agua no registrada.

Esta fase se apoya en la información obtenida durante el control hidráulico inicial, así como en el conocimiento previo del sistema, con el fin de definir sectores hidráulicos adecuados y establecer un orden de actuación que maximice la eficiencia de los recursos disponibles.

9.3.1. Sectorización de la red de distribución

Para gestionar eficientemente una red de distribución de agua potable, es necesario que su tamaño sea adecuado para poder analizar su comportamiento a un nivel de detalle que permita focalizar acciones correctoras y establecer objetivos de mejora de la gestión.

Para ello, y en mayor o menor medida según sea el tamaño de la red, hay que subdividir la red en zonas reducidas y aisladas entre sí, es decir, sectores, que dispongan cada uno de una o varias entradas (las menos posibles) conectadas con las arterias principales. Cada entrada debe disponer de la instrumentación y equipos adecuados al nivel de información y de actuación que se determine en cada explotación.

La sectorización no debe definirse sólo en términos de configuración de la red, sino que debe entenderse como una forma de gestión de la misma. Debe dotarse al sistema de una herramienta de análisis y de gestión, más o menos sofisticado, capaz de recibir y ordenar periódicamente los datos obtenidos por los equipos de campo y analizarlos conjuntamente con otra información relativa al mantenimiento, averías, inventario, etc. Este conocimiento global es el que permitirá la toma de decisiones tanto de mantenimiento, como de explotación e incluso de inversión.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

El alcance y la complejidad de la sectorización de una red de distribución depende en gran medida del tamaño de la red a sectorizar y de las funcionalidades que se requieran, pero en todos los casos debe seguirse una metodología para su implantación y posterior gestión del sistema.

Actualmente, el Servicio de Peraleda de la Mata no se encuentra sectorizado en zonas de abastecimiento.

9.3.2. Distritos Hidrométricos Virtuales (DHV)

Como complemento a la sectorización hidráulica tradicional, el presente Plan de evaluación de fugas estructurales contempla la implantación de **Distritos Hidrométricos Virtuales (DHV)** como herramienta avanzada de análisis y control del sistema de abastecimiento.

Los DHV consisten en la **delimitación lógica de zonas de la red** que, sin necesidad de un aislamiento físico completo mediante válvulas, permiten realizar un seguimiento detallado del comportamiento hidráulico a partir de la información obtenida mediante sistemas de **telelectura, telecontrol y modelización hidráulica**.

La implantación de DHV permite:

- Analizar balances de caudales y consumos a nivel de subzonas de la red.
- Detectar incrementos anómalos de caudal o variaciones de presión que puedan estar asociados a la existencia de fugas estructurales.
- Reducir la necesidad de intervenciones físicas en la red, minimizando afecciones al servicio.
- Optimizar la priorización de sectores y tramos para campañas de detección acústica
- Mejorar el seguimiento del volumen de agua no registrada y la evaluación del rendimiento técnico del sistema.

La definición y gestión de los Distritos Hidrométricos Virtuales se apoyará en la información procedente de contadores sectoriales y domiciliarios con telelectura, sensores de presión y caudal, así como la modelización de la red mediante el software de código abierto GISWATER, basado en QGIS. Toda esta información se integrará en la plataforma de Baseform, permitiendo un análisis continuo y actualizado del funcionamiento del sistema.

9.3.3. Selección de sectores prioritarios

Una vez definidos los sectores hidráulicos, se procederá a la selección de los sectores prioritarios de actuación, en los que se concentrarán las tareas de prelocalización y localización de fugas.

La priorización se realizará atendiendo a una combinación de criterios técnicos, entre los que se incluyen:

- Elevados valores de agua no registrada o bajo rendimiento técnico.
- Caudales mínimos nocturnos anormalmente altos.
- Histórico de averías y roturas.
- Antigüedad de las conducciones y materiales empleados.
- Incidencias recurrentes en la calidad o continuidad del servicio.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

La aplicación de estos criterios permitirá establecer un orden de actuación racional y objetivo, orientado a obtener el mayor impacto posible en la reducción de pérdidas de agua. Los sectores seleccionados serán objeto de un seguimiento más exhaustivo y constituirán la base para el desarrollo de las fases posteriores del ciclo de detección de fugas.

9.3.4. Inspección visual de la red de saneamiento

La inspección visual de la red de saneamiento es una técnica básica de prelocalización de fugas que, pese a su sencillez, resulta especialmente eficaz para la identificación de fugas de cierta entidad en la red de abastecimiento en un periodo de tiempo reducido. Su aplicación es altamente recomendable durante las fases iniciales de una campaña de detección de fugas, ya que permite obtener una primera aproximación a la existencia de pérdidas significativas.

La mayor parte de las redes de saneamiento presentan una configuración ramificada, en la que los colectores de menor diámetro confluyen progresivamente en otros de mayor sección, hasta desembocar en un colector principal que, habitualmente, conduce las aguas residuales a la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

Con el apoyo de los planos de saneamiento y abastecimiento de la zona objeto de estudio, la inspección se iniciará en el tramo final del colector principal, avanzando posteriormente en sentido aguas arriba. Estas actuaciones se realizarán preferentemente en horario nocturno, a partir de las 00:00 horas, con el fin de que los caudales de aguas residuales sean mínimos y facilitar así la detección de aportaciones anómalas.

Durante la inspección se procederá a la apertura de las arquetas existentes y a la observación visual de su interior mediante iluminación adecuada que permita apreciar con claridad el caudal circulante. En un mismo tramo de la red, el caudal observado debería mantenerse aproximadamente constante. La aparición de incrementos repentinos de caudal sin que los planos indiquen la existencia de conexiones intermedias puede ser indicativa de aportaciones procedentes de fugas en la red de abastecimiento.

Este método permite identificar fugas de cierta magnitud y, precisamente por ello, resulta especialmente útil al inicio de una campaña de detección de fugas, debiendo complementarse posteriormente con otras técnicas de prelocalización y localización precisa que permitan confirmar y acotar los resultados obtenidos.

9.4. Prelocalización de fugas

La prelocalización de fugas tiene como finalidad identificar y acotar zonas concretas de los sectores prioritarios en las que existen indicios de pérdidas de agua, reduciendo así el ámbito de búsqueda antes de proceder a la localización precisa. Esta fase permite optimizar los recursos técnicos y humanos, concentrando los esfuerzos en aquellos tramos de red con mayor probabilidad de presentar fugas estructurales.

La prelocalización se apoya en el análisis de parámetros hidráulicos y en el uso de sistemas de monitorización y detección preliminar, que proporcionan información suficiente para orientar las actuaciones posteriores.

9.5. Detección de fugas

La detección de fugas constituye una fase fundamental dentro de la gestión eficiente de la red de distribución de agua potable, al permitir la identificación de sectores o tramos de la red con posibles pérdidas de agua no registrada, que posteriormente serán objeto de actuaciones específicas de localización y reparación.

La metodología de detección aplicada se basa en un enfoque sistemático y progresivo, orientado a acotar especialmente las zonas con indicios de fuga mediante el análisis de parámetros hidráulicos y la monitorización continua de la red, sin abordar en esta fase la identificación exacta del punto de fuga.

En este sentido, el procedimiento integra las siguientes actuaciones:

- Análisis hidráulico y sectorización de la red.
- Control y seguimiento de caudales, especialmente caudales mínimos nocturnos.
- Monitorización y registro de presiones.
- Evaluación de balances hídricos por sectores.
- Inspección visual de infraestructuras y detección de indicios externos.
- Monitorización acústica preliminar mediante equipos de registro.

La información obtenida permite evaluar el rendimiento de la red, cuantificar el volumen de agua no registrada y, fundamentalmente, identificar y priorizar aquellos sectores donde se detectan anomalías compatibles con la existencia de fugas. Esta priorización resulta clave para optimizar los recursos destinados a las posteriores campañas de localización.

En relación con los medios disponibles, el servicio dispone de herramientas de análisis y control asociadas a la monitorización hidráulica de la red, así como de equipos de inspección visual no invasiva, principalmente aplicados a redes de saneamiento, con el objetivo de detectar posibles afecciones entre infraestructuras que puedan derivar en pérdidas o riesgos para la red de abastecimiento.

Como herramienta tecnológica avanzada para optimizar esta fase de detección, se contempla la implantación de una plataforma de gestión de detectores permanentes de fugas, diseñada para maximizar el rendimiento de los equipos de prelocalización acústica mediante la automatización de la recopilación, procesamiento y análisis de datos. Esta solución permitirá incrementar la capacidad de detección temprana y mejorar la precisión en la identificación de anomalías hidráulicas y acústicas.

Entre sus funcionalidades principales destaca la correlación automática diaria de datos acústicos registrados en continuo, posibilitando la detección temprana de patrones anómalos y la clasificación de incidencias según niveles de prioridad (alta, media o baja), atendiendo a parámetros específicos de la red como materiales, diámetros, distancias, antigüedad y configuración hidráulica de las conducciones.

Adicionalmente, la plataforma incorpora herramientas de representación geoespacial de incidencias, gestión documental y generación de registros históricos exportables, facilitando el seguimiento evolutivo del comportamiento de la red y el control de indicadores de eficiencia hidráulica, incluyendo el Índice de Fugas Estructurales (IFE), conforme a la normativa y estándares técnicos vigentes.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

Toda la información procesada será integrada con la plataforma de gestión del ciclo integral del agua, permitiendo una toma de decisiones basada en datos objetivos, actualizados y georreferenciados, así como la optimización de estrategias de mantenimiento preventivo, correctivo y de renovación de infraestructuras.

Asimismo, resulta imprescindible la ejecución periódica de campañas de búsqueda activa de fugas tanto en la red de abastecimiento de agua potable como en la red de saneamiento, integrando dichas actuaciones con levantamientos topográficos exhaustivos de ambas redes. Estas labores de campo tienen como finalidad disponer una cartografía completa, precisa y permanentemente actualizada del sistema mediante el empleo de tecnologías avanzadas como equipos GPS de alta precisión, medidores láser y dispositivos móviles para captura de datos georreferenciados.

La información obtenida a partir de estos levantamientos permitirá no solo registrar la disposición real de las infraestructuras, identificar modificaciones, afecciones o deficiencias existentes y actualizar el inventario activo, sino también generar la base cartográfica y geométrica necesaria para el desarrollo, calibración y actualización de modelos matemáticos e hidráulicos de las redes.

La modelización resultante reforzará significativamente la capacidad de diagnóstico de fugas, análisis de vulnerabilidades, priorización de inversiones y gestión de riesgos operativos, contribuyendo a una explotación más eficiente, sostenible y resiliente del conjunto del sistema de abastecimiento y saneamiento.

9.5.1. Modelización de redes mediante GISWATER

La modelización de redes constituye una herramienta fundamental para el análisis avanzado del funcionamiento hidráulico del sistema de abastecimiento y para la detección de anomalías de presión y caudal potencialmente asociadas fugas estructurales.

En el marco del presente Plan de evaluación de fugas estructurales, se procederá a la aplicación de modelos hidráulicos de la red de distribución mediante la plataforma GISWATER, herramienta especializada que integra los sistemas de información geográfica (SIG) con motores de cálculo hidráulico.

El proceso de modelización mediante GISWATER permitirá:

- Representar digitalmente la red de distribución, incorporando la geometría, tipología y características de las conducciones, así como los elementos singulares del sistema (válvulas, hidrantes, depósitos, acometidas, etc.).
- Simular el comportamiento hidráulico de la red bajo diferentes escenarios de demanda, permitiendo analizar la distribución de caudales y presiones en condiciones normales de explotación.
- Comparar los resultados del modelo con datos reales obtenidos a través de campañas de medición, telecontrol y telelectura, con el fin de calibrar el modelo y garantizar su fiabilidad.
- Identificar desviaciones significativas entre los valores simulados y medidos, tales como caídas de presión no justificadas o caudales superiores a los esperados, que pueden ser indicativos de existencias de fugas.
- Apoyar la priorización de sectores y tramos de actuación, orientando las campañas de detección acústica y optimizando el uso de recursos técnicos y humanos.

La utilización de GISWATER permitirá disponer de un modelo hidráulico dinámico y actualizado, que servirá tanto para la detección y evaluación de fugas estructurales como para la planificación de actuaciones de mantenimiento, mejora y renovación de la red.

9.5.2. Vigilancia del caudal mínimo nocturno

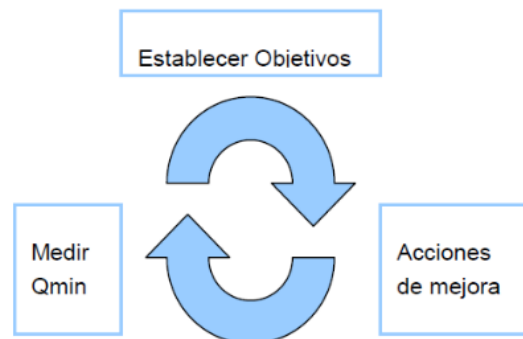
La vigilancia del caudal mínimo nocturno es una metodología fundamental para la prelocalización de fugas estructurales, basada en el análisis de los caudales registrados durante las horas de menor consumo, en las que la demanda legítima es mínima y la influencia de las fugas resulta más evidente.

El procedimiento consiste en medir de forma continua el caudal circulante en cada sector durante el periodo nocturno, identificar el valor mínimo registrado y compararlo con valores de referencia o con estimaciones de consumo nocturno esperado. Caudales mínimos elevados o persistentes en el tiempo constituyen un indicio claro de la existencia de pérdidas en la red.

Esta metodología permite:

- Detectar sectores con fugas significativas.
- Evaluar la evolución de las pérdidas a lo largo del tiempo
- Medir el impacto de las actuaciones correctoras implantadas

Figura 5. Esquema del procedimiento de vigilancia del caudal mínimo nocturno.



9.5.3. Toma y registro de presiones

Como complemento de análisis de caudales, se realizarán campañas de toma y registro de presiones en puntos representativos de los sectores seleccionados. Para ello se emplearán captadores de presión piezorresistivos conectados a la red y asociados a equipos de registro de datos (Data Loggers), que permitirán obtener series temporales de presión para su análisis posterior. También es reseñable destacar que, los loggers empleador para el registro de datos son capaces de detectar transitorios de presión.

Figura 6. Captador de presión y Data Logger.



La toma sistemática de presiones permite detectar variaciones anómalas en el comportamiento hidráulico del sector. En zonas con escasa variación de cota, las presiones deberían mantenerse relativamente estables; desviaciones significativas o descensos no justificados pueden indicar la presencia de fugas estructurales, siempre que se descarte la influencia de consumos puntuales próximos.

9.5.4. Prelocalizadores acústicos

Los prelocalizadores acústicos son dispositivos utilizados en redes de abastecimiento de agua para la detección temprana de posibles fugas mediante el análisis del ruido generado por el escape de agua a presión a través de defectos o fisuras en las conducciones. Este ruido se transmite a lo largo de la tubería y puede ser captado mediante sensores instalados en puntos accesibles de la red, tales como válvulas, acometidas, hidrantes o elementos singulares conectados hidráulicamente.

Su función principal consiste en identificar tramos o sectores con indicios de fugas, permitiendo priorizar las zonas de actuación antes de realizar una localización precisa mediante otros equipos específicos, como correladores acústicos o geófonos.

Los prelocalizadores acústicos se instalarán de forma temporal o permanente en puntos estratégicos de cada sector y se programarán para registrar sonidos durante las franjas horarias de menor consumo, generalmente en horario nocturno, con el objetivo de minimizar interferencias derivadas del consumo, tráfico u otras vibraciones externas. La distancia entre puntos de escucha se definirá en función de las características hidráulicas y constructivas de la red, incluyendo material de las conducciones, diámetros, presión de servicio, antigüedad de la infraestructura y condiciones del entorno.

A partir de los datos acústicos registrados, es posible identificar tramos con alta probabilidad de fuga que posteriormente serán objeto de campañas específicas de localización precisa mediante técnicas acústicas avanzadas.

En función del nivel tecnológico y capacidades de automatización, estos sistemas pueden clasificarse en dos grandes categorías:

9.5.4.1. Prelocalizadores acústicos vía radio

Los sistemas convencionales emplean registradores autónomos de ruido (“loggers”) instalados de forma temporal o permanente en distintos puntos de la red. Estos dispositivos realizan mediciones periódicas programadas, generalmente en horario nocturno, almacenando los niveles acústicos registrados en su memoria interna para su posterior análisis.

Dentro de esta categoría se incluyen equipos como los prelocalizadores SePem 100, que operan como loggers acústicos convencionales mediante campañas programadas de registro de ruido. Su funcionamiento se basa en la medición

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

periódica de parámetros acústicos durante intervalos de baja demanda hidráulica, registrando niveles mínimos de ruido, frecuencias dominantes y patrones sonoros compatibles con posibles fugas.

La obtención y análisis de la información registrada requiere necesariamente intervención de personal de campo, ya que la descarga de datos se realiza de forma presencial mediante comunicación vía radio. Esta operativa implica la ejecución periódica de rutas de inspección para la supervisión de equipos y recogida de información.

Las principales características de estos sistemas son:

- Permiten identificar zonas con posible actividad de fuga sin determinar su ubicación exacta.
- Requieren una fase posterior de confirmación mediante técnicas complementarias como correlación acústica o inspección con geófono.
- Implican mayor intervención operativa en campo, tanto para instalación como para descarga y análisis de datos.
- Constituyen una solución robusta, fiable y ampliamente implantada en la gestión de redes de abastecimiento.

En consecuencia, los sistemas vía radio ofrecen una solución eficaz para la prelocalización de fugas, si bien presentan una dependencia operativa elevada respecto a recursos humanos y desplazamientos periódicos.

Figura 7: Prelocalizadores acústicos convencionales.



9.5.4.2. Prelocalizadores acústicos NB-IoT

Los sistemas avanzados propuestos como mejora incorporan tecnología de transmisión remota mediante conectividad NB-IoT, permitiendo evolucionar desde un modelo convencional de captura de datos hacia una gestión inteligente y automatizada de la detección de fugas.

Además de registrar el ruido estructural de la red, estos dispositivos integran capacidades avanzadas de procesamiento y algoritmos específicos que permiten:

- Diferenciar automáticamente entre ruido de fondo y señales acústicas asociadas a fugas.
- Realizar correlaciones automatizadas entre sensores para estimar la posible ubicación de la fuga.
- Ejecutar análisis continuo y correlación diaria automática de grandes volúmenes de datos acústicos.
- Transmitir información en remoto mediante conectividad NB-IoT sin intervención manual.
- Integrarse con plataformas centralizadas de gestión y sistemas de información geográfica (GIS).

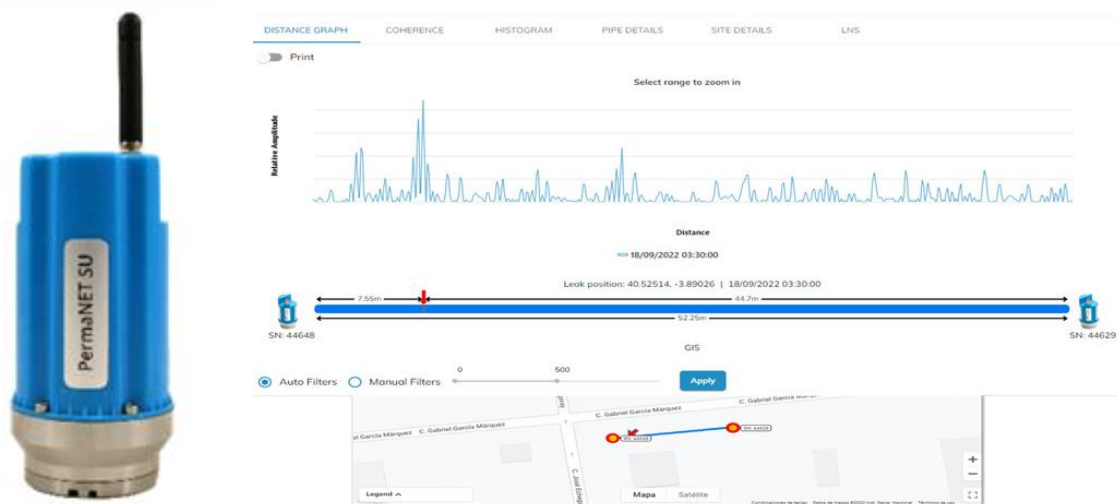
Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

A diferencia de los sistemas convencionales, la información obtenida se transmite automáticamente a la plataforma de gestión centralizada, permitiendo una representación geoespacial inmediata de incidencias, visualización cartográfica de anomalías, generación de históricos exportables y seguimiento continuo del comportamiento hidráulico de la red.

Asimismo, estos sistemas facilitan el control permanente del Índice de Fugas Estructurales (IFE), así como la priorización dinámica de actuaciones en función de criticidad, recurrencia y evolución temporal de las incidencias detectadas.

Estas funcionalidades permiten evolucionar desde una prelocalización básica hacia una localización asistida o semiautomática, reduciendo significativamente la necesidad de desplazamientos y mejorando la eficiencia operativa global.

Figura 8: Prelocalizadores acústico NB-IoT



9.5.4.3. Comparativa funcional entre tecnologías

Desde el punto de vista operativo, los sistemas convencionales vía radio dependen de campañas manuales de inspección y descarga presencial de datos, requiriendo recorridos periódicos por parte del personal técnico. Por el contrario, los equipos NB-IoT operan de forma autónoma y transmiten la información en remoto, eliminando la necesidad de visitas constantes a la red y optimizando significativamente los recursos disponibles.

En cuanto a capacidad analítica y precisión, los equipos vía radio proporcionan un diagnóstico estático basado en campañas discretas de medición, requiriendo validación posterior mediante técnicas adicionales. Los sistemas NB-IoT, en cambio, permiten análisis continuo, detección temprana de anomalías y localización asistida mediante algoritmos de correlación y análisis masivo de datos acústicos.

Respecto a la gestión de la información, los sistemas avanzados facilitan una integración completa con plataformas digitales, sistemas GIS y herramientas de explotación de datos, permitiendo disponer de registros históricos estructurados, indicadores de rendimiento y trazabilidad operativa. En contraste, la gestión de datos en sistemas convencionales resulta más fragmentada y dependiente de la toma manual de información en campo.

En conclusión, la incorporación de prelocalizadores acústicos avanzados con tecnología NB-IoT supone una evolución significativa respecto a los sistemas convencionales vía radio, al simplificar la operativa de trabajo, automatizar la

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

recopilación y análisis de información acústica y permitir una gestión basada en evidencias objetivas obtenidas en tiempo real. Todo ello redundará en una optimización de recursos humanos, mejora de la capacidad de respuesta y priorización más eficiente de las actuaciones de mantenimiento y reparación de fugas.

9.5.5. Cámara de inspección con pértiga

Siguiendo con la detección de fugas en las redes de alcantarillado se describe la cámara de inspección con pértiga de la serie QuickView o similar. Esta tecnología está diseñada para realizar una rápida comprobación visual de las tuberías desde un pozo de registro.

Al igual que el vehículo robotizado, permite hacer un diagnóstico de la red de alcantarillado sin necesidad de entrar dentro de la conducción, incrementando la velocidad de inspección y disminuyendo los costes de operación.

Figura 9. Cámara de inspección con sistema de pértiga.



Este sistema de inspección es de especial aplicación en:

- Inspección vídeo de conducciones antes de trabajos de limpieza.
- Inspección vídeo de conducciones antes de trabajos de rehabilitación.
- Verificación de la calidad de los trabajos de limpieza y rehabilitación.
- Inspección visual de depósitos.
- Detección de elementos ocultos.
- Localización de laterales y conexiones no documentadas o ilegales.
- Identificación de cambios de sección no documentada.

El procedimiento de inspección a seguir consiste, en primer lugar, en la señalización de la vía pública si fuera necesario, después se abre la tapa del pozo con ayuda de herramientas manuales y posteriormente se comprueban los gases con ayuda de un detector.

A continuación, se introduce por el pozo una cámara de grabación con zoom e iluminación homogénea sin sombras (dado que se trata de conducciones que se encuentran en la oscuridad) con ayuda de una pértiga telescópica con un soporte para centrar la cámara con el eje del colector. Cabe destacar que se deben inspeccionar dos pozos en ambos sentidos, es decir de pozo A a pozo B y viceversa. De esta manera y accionando el zoom de la cámara, abarca mucha distancia del tramo de colector. Desde el dispositivo móvil se pueden visualizar y registrar las grabaciones.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

Finalmente, se retira el robot de inspección con pértiga, se vuelve a colocar la tapa del pozo y se procede a inspeccionar el siguiente tramo de colector y repitiendo el procedimiento.

Figura 10. Inspección del pozo de registro con la cámara de inspección con pértiga.



La transmisión de las imágenes generadas se realiza mediante conexión Wi-Fi hacia un dispositivo móvil o *tablet*, por tanto, es un equipo libre de cables. Además, también cabe la posibilidad de registrar las imágenes y crear una librería para revisar los resultados posteriormente, que serán incorporados al SIG del Servicio.

9.5.6. Inspección mediante vehículo robotizado con cámara

Los vehículos robotizados con cámaras de inspección integradas representan una solución ampliamente extendida para el diagnóstico de redes en aplicaciones de fontanería, pocería y en general conservación de redes de alcantarillado. Esto se debe a sus sistemas de empuje manual, robotizados y de inspección no invasivos que permiten inspeccionar las tuberías mediante zoom.

Figura 11. Vehículo robotizado con cámara de inspección integrada.



Aunque esta tecnología está más enfocada para las redes de saneamiento, se considera el empleo de esta tecnología con el objeto de detectar posibles fugas en las redes de alcantarillado que transcurran en paralelo con las redes de distribución

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

de agua potable, para evitar filtraciones de una red a otra y con ello, contaminar el agua que abastece a los núcleos de población del servicio.

El equipo presentado, es capaz de inspeccionar redes de alcantarillado con una cámara de inspección zoom óptico y digital rotativa que permite la realización de un diagnóstico de las redes sin necesidad de que el operario tenga que acceder al interior de la conducción, incrementando la velocidad de inspección en vídeo y minimizando los costes de la operación.

Este sistema de inspección vídeo es de especial aplicación en:

- Detección de roturas, anomalías y puntos de infiltración.
- Detección de elementos ocultos.
- Localización de laterales y conexiones no documentadas o ilegales.
- Identificación de cambios de sección no documentada.

A su vez, permite georreferenciar e implantar en el sistema SIG todas las anomalías y puntos de rotura de colectores con el fin de que queden perfectamente localizados. Llegados a este punto, AQLARA emitirá un informe al Ayuntamiento acompañado de un juego de planos de detalle, donde se localice cada una de las anomalías detectadas y se proponga una solución para su subsanación.

9.6. Localización de fugas

La localización precisa de fugas constituye la fase del ciclo de detección en la que se determina con exactitud el punto concreto de la pérdida de agua dentro de un tramo previamente identificado durante las fases de prelocalización y detección de fugas. Esta etapa es fundamental para minimizar el alcance de las excavaciones, reducir los tiempos de intervención y optimizar los costes de reparación.

Las técnicas de localización precisa se basan principalmente en la detección acústica, aprovechando el ruido generado por el agua al escapar bajo presión a través de defectos en las conducciones. La elección de la técnica más adecuada dependerá de las características de la red, tales como el material de las tuberías, el diámetro, la presión de servicio y las condiciones del entorno.

9.6.1. Caña o indio

Se trata de uno de los primeros instrumentos utilizados en la localización de fugas. Consiste en un tubo metálico hueco terminado en forma de campana que produce una reverberación del sonido en su interior indicando la presencia de fuga.

Este instrumento se utiliza en algunos abastecimientos debido a la sencillez de manejo y a su bajo coste económico, aunque requiere mucha experiencia por parte del técnico para la localización exacta de la fuga, provoca cansancio auditivo y el ruido ambiental afecta muy negativamente su eficacia. A pesar de ello, es un sistema que todavía se utiliza, ya que se trata de un sistema muy rápido y sencillo.

Es un instrumento que posee una relación metros escuchados/día menor que otros equipos tecnológicamente más avanzados, además la eficacia en la localización está condicionada también por la profundidad a la cual se encuentra la

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

fuga y por el tipo de terreno sobre el que se asienta la tubería, por ello se emplea principalmente en zonas y tramos de red donde ya se conoce la existencia de alguna fuga.

AQLARA dispone de cañas/indios en algunos servicios gestionados debido a la experiencia de los operarios que lo manejan y a los buenos resultados obtenidos, si bien su uso es puntual al disponer de equipos con tecnologías mucho más avanzadas.

9.6.2. Varilla de escucha electrónica

Este equipo representa una evolución respecto del anterior, está constituido por un par de auriculares y una varilla electrónica que lleva acoplada en su interior un sensor piezoeléctrico, el cual se conecta a un amplificador con un sistema de filtros que aumentan la sensibilidad del instrumento.

Figura 12. Varilla de escucha electrónica.



Estos filtros y amplificadores electrónicos permiten seleccionar eficazmente las frecuencias, de esta forma el técnico puede ajustar el rango de frecuencias audibles a las características sonoras de la fuga, mejorando de esta forma la escucha. Los auriculares aíslan del ruido exterior que puede contaminar la escucha.

Las fugas pueden ser de distintos tipos y en materiales de tubería diferentes lo que produce sonidos en rangos de frecuencia diferentes.

Por ejemplo, las roturas limpias (cortes transversales al eje) o defectos en algunas piezas de conexión, tienen un rango de frecuencias entre 500 y 1000 Hz, mientras que roturas en sentido longitudinal tienen frecuencias más bajas, del orden de 40 a 300 Hz, y resultan mucho más difíciles de detectar.

En tuberías plásticas el elevado grado de atenuación de la señal hace que estos equipos sean menos efectivos, como se desprende de las experiencias de Hunaidi et al. 1999.

Un inconveniente importante asociado al uso de varillas de escucha electrónicas es que se ven limitadas a puntos accesibles de la red, es decir, válvulas y acometidas, ya que su funcionamiento requiere un contacto directo con la tubería.

Además, el área de recepción acústica tiene un radio de 10-20 m alrededor del punto de escucha, por lo que, para una correcta escucha de toda la red, ésta deberá tener puntos de acceso cercanos separados distancias de ese orden de magnitud.

9.6.3. Geófono

El geófono es un instrumento compuesto por un módulo de control y amplificación, un micrófono de pie tipo cámara, un par de auriculares y una varilla de contacto.

En el módulo de control se encuentran todos los mandos de funcionamiento e indicadores visuales con pantallas tipo LCD, analógica o LED, desde donde se ajustan los filtros en amplitud y frecuencia, de forma que se eliminen todos aquellos ruidos de fondo que perturban la escucha.

El método de trabajo consiste en identificar el ruido característico ampliado por el micrófono. En los equipos que dispone AQLARA, no es necesario que el técnico realice la escucha propiamente dicha, simplemente ajustando los parámetros en el módulo de control los indicadores visuales determinan la presencia de fuga con gráficas o indicando los niveles de ruido mínimo detectados.

Figura 13. Geófono.



El nivel de ruido indicado en cada punto se va almacenando hasta llegar al punto de mayor ruido que determina el punto de fuga. Los puntos muestreados alrededor de este deben dar valores menores.

Para una buena localización se recomienda comenzar la escucha con un ancho de banda grande y un valor de frecuencias y escucha medio. Una vez detectada la fuga se ajustan los filtros reduciendo el ancho de banda hasta su localización exacta.

Como ventajas importantes respecto a los anteriores equipos destacan la menor contaminación acústica que reciben, debido a la campana protectora que aísla del entorno, la capacidad del equipo para trabajar en lugares sin necesidad de tener un acceso o contacto directo con la red y la sensibilidad del micrófono. Estos factores mejoran el rendimiento de este equipo medido en metros escuchados por día y la efectividad del operario, siendo en la actualidad un sistema muy difundido para la localización de fugas.

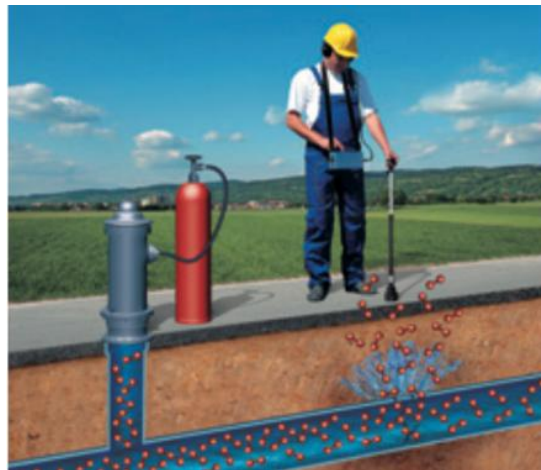
A pesar de todas estas ventajas, debemos considerar la dependencia con la profundidad de la tubería y con el tipo de terreno, un suelo compacto da mejores resultados ya que la campana del geófono se asienta mejor que en un suelo con hierba o pedregoso. También existe una relación metros escuchados/día baja en comparación con equipos más sofisticados y un mayor peso que los sistemas anteriormente descritos.

9.6.4. Equipo de detección con gas

Este equipo de detección de fugas es especialmente efectivo en las situaciones donde el geófono pierde eficiencia, como en conducciones enterradas a gran profundidad.

Su funcionamiento consiste en la introducción de gas con una concentración 95 % nitrógeno/5 % hidrógeno en la tubería con sospecha de fuga a través de una toma preexistente en la conducción. Posteriormente se realiza el recorrido del trazado de la tubería succionando el aire gracias a una pequeña bomba con la que cuenta el equipo (60 l/h), a través de una “alfombra” o “campana” (alfombra para localizar y campana para centrar). El equipo, a través de los sensores con los que cuenta, es capaz de detectar la concentración de hidrógeno en el aire (elemento que no se haya en el medio natural), hasta 5 ppm, localizando de este modo la posición de la fuga en el punto donde se produce una mayor concentración de hidrógeno.

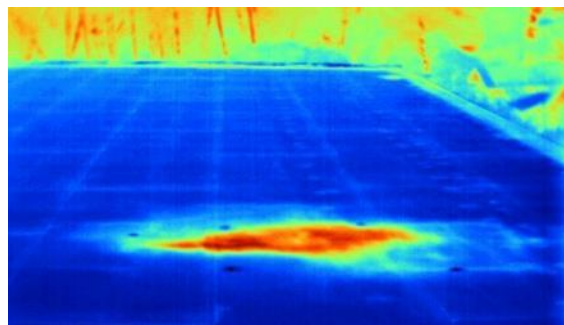
Figura 14. Equipo de detección con gas.



9.6.5. Termografía infrarroja

El sistema de escaneo termográfico refleja la temperatura superficial del terreno sobre el que se asienta la tubería o de los elementos que deseamos chequear. Esta temperatura depende de la composición del subsuelo y de las condiciones superficiales y atmosféricas.

Figura 15. Ejemplo de termografía infrarroja.



Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

Este equipo se basa en el principio de conservación de la energía, según el cual siempre habrá un flujo energético desde las zonas más calientes hacia las más frías. El sistema de visualización indica los puntos más fríos y los más calientes determinando de esta manera la situación de la fuga en el elemento o conducción analizados.

En verano, la diferencia de temperatura entre el agua y la superficie analizada, bien la superficie del terreno donde se ubica el trazado de la conducción o bien la superficie de un elemento como pudiera ser un depósito, creará una mancha oscura de baja temperatura en la termografía. En cambio, en invierno el agua fugada tiene una temperatura mayor que la del suelo con lo que la termografía presentará una mancha caliente (roja), como resultado de la transferencia de calor hacia la superficie de suelo frío.

9.6.6. Georradar o GPR

La técnica de Georradar se ha ido desarrollando y empleando desde los años cincuenta en investigaciones superficiales de alta resolución del subsuelo o de ciertos medios estratigráficos heterogéneos y homogéneos. En la actualidad se estudia la posibilidad de implantar esta técnica en la detección y localización de fugas en redes hidráulicas.

AQLARA ya ha experimentado con el georradar en algunas de las poblaciones gestionadas.

Figura 16. Ejemplo de utilización de georradar.



Es una técnica no destructiva que, en los primeros metros de profundidad, reproduce mejor que cualquier otra técnica geofísica los posibles problemas a solventar desde el punto de vista geofísico y de la ingeniería civil.

El georradar se ha convertido, en poco tiempo, en una herramienta prospectiva multidisciplinar y de gran resolución para profundidades que van desde centímetros hasta decenas de metros, llegando a alcanzar hasta 50 m de profundidad en Estratigrafía Glaciar, Ingeniería Civil, Geología, Arqueología, Recursos Naturales, Hidrología, Medio Ambiente, Patrimonio, Medicina Forense, Criminología, etc. son, entre otros, los campos de actuación en los cuales se está utilizando hoy en día dicha técnica.

La técnica de georradar o GPR (Ground Penetrating Radar) es un sistema electromagnético para la detección y localización de elementos, formaciones y/o anomalías en el subsuelo, construcciones u otros objetos materiales.

Tercera convocatoria de subvenciones para proyectos de mejora de la eficiencia del ciclo urbano del agua (PERTE digitalización del ciclo del agua), en el marco del PRTR. **DIAGNÓSTICO PARA EL CONTROL Y GESTIÓN DE FUGAS ESTRUCTURALES**

El georradar se basa en la emisión de impulsos electromagnéticos de muy corta duración (entre 1 ns y 10 ns) en la banda de frecuencias de UHF-VHF (normalmente entre 10 MHz y 2 GHz) y en el principio de reflexión de ondas electromagnéticas que se propagan en un medio.

El actual modus operandi del georradar puede originar secciones verticales continuas (llamadas registros radar o radargramas) del subsuelo, similares en apariencia e interpretación a una sección sísmica. Las operaciones de campo con GPR son sencillas y la adquisición de datos es muy rápida. Estas mediciones se realizan desplazando las antenas del georradar en vehículos, plataformas o manualmente.

De lo anteriormente expuesto, se puede deducir que en los registros obtenidos mediante la técnica GPR existen tres variables que nos conducen a obtener la ubicación planimétrica y altimétrica de los objetos que se encuentran en el subsuelo.

Una vez detectada la tubería, se puede ir siguiendo hasta localizar el punto exacto donde se encuentra la fuga, convirtiéndose en un instrumento de detección rápida y eficaz fugas in "situ" en tiempo real, sin necesidad de realizar catas y no requiriendo una preparación de la zona de estudio a priori.

10. SENSIBILIZACIÓN DE LA COMUNIDAD

La mejora de la eficiencia del sistema de abastecimiento y la reducción del volumen de agua no registrada no dependen exclusivamente de las actuaciones técnicas realizadas sobre la red de distribución, sino también de la colaboración de la población usuaria del servicio. En este sentido, el presente Plan de evaluación de fugas estructurales incorpora actuaciones específicas orientadas a reforzar la sensibilización de la comunidad y su implicación en la detección temprana de incidencias relacionadas con el uso del agua.

Las acciones previstas se orientan principalmente a mejorar la comunicación entre el servicio de abastecimiento y los usuarios, facilitando información clara y práctica que permita identificar consumos anómalos y posibles fugas, tanto en la red pública como en las instalaciones interiores. De este modo, se contribuye a reducir los tiempos de detección de incidencias y a mejorar la eficiencia global del sistema.

Entre las actuaciones contempladas se incluye la difusión de información dirigida a los abonados sobre los principales indicios de la existencia de fugas interiores, las causas más habituales de incrementos no justificados del consumo y las medidas básicas que pueden adoptarse para su detección temprana. Asimismo, se promoverán buenas prácticas de uso del agua orientadas a prevenir pérdidas y consumos innecesarios.

De forma complementaria, se habilitarán y reforzarán canales de comunicación directa con el servicio de abastecimiento, que permitan a la ciudadanía notificar de manera ágil la detección de fugas visibles, anomalías en vía pública o cualquier otra incidencia relacionada con el funcionamiento de la red.

La información aportada por los usuarios será considerada como un elemento adicional de apoyo a las labores técnicas de detección de fugas, permitiendo una respuesta más rápida y eficaz. A su vez, se prevé la comunicación periódica de las actuaciones realizadas y de los resultados obtenidos en el marco del plan, reforzando la transparencia en la gestión del servicio y favoreciendo una mayor implicación de la ciudadanía en los objetivos de eficiencia y sostenibilidad del abastecimiento.

Como complemento a las medidas anteriores, el sistema de telelectura incorporará funcionalidades avanzadas de alerta, incluyendo alarmas de fuga en los contadores, que permitirán detectar consumos continuos o anómalos, así como alarmas de ausencia de consumo. Estas últimas estarán especialmente orientadas a la protección de personas mayores o dependientes, de modo que, ante una interrupción prolongada de consumo, se pueda generar un aviso al tutor legal o persona responsable previamente designada.

Las actuaciones de sensibilización se conciben como un complemento a las medidas técnicas de control hidráulico, sectorización, detección de fugas, mantenimiento preventivo y monitorización continua, contribuyendo de forma directa a la reducción de volumen de agua no registrada y a la mejora del rendimiento técnico del sistema.