



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

## **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE PERALEDA DE LA MATA (CÁCERES)**

[www.aqlara.com](http://www.aqlara.com)

FIRMADO:

SERGI LLÀCER SANSALONI  
RESPONSABLE DE OFICINA TÉCNICA Y TECNOLOGÍAS

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. CREACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA RED</b> .....	<b>3</b>
2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS.....	3
2.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	4
2.2.1. TOPOLOGÍA Y CARTOGRAFÍA DE LA RED .....	4
2.2.2. FUENTES DE SUMINISTRO .....	4
2.2.3. TUBERÍAS.....	5
2.2.4. BOMBAS O ESTACIONES DE BOMBEO .....	6
2.2.5. ELEMENTOS DE REGULACIÓN .....	6
2.2.6. DEPÓSITOS.....	6
2.2.7. PUNTOS DE CONSUMO .....	6
2.2.8. REGLAS DE CONTROL.....	7
2.3. SIMPLIFICACIONES DE LA RED .....	7
2.4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL.....	8
2.5. EVALUACIÓN Y REPARTO DEL CAUDAL DE FUGAS.....	9
2.6. CARGA HIDRÁULICA DEL MODELO .....	9
2.6.1. CARGA HIDRÁULICA DEL MODELO – ESCENARIO 1 .....	10
2.6.2. CARGA HIDRÁULICA DEL MODELO – ESCENARIO 2 .....	10
2.6.3. CARGA HIDRÁULICA DEL MODELO – ESCENARIO 3 .....	10
2.7. CALIBRACIÓN Y ACEPTACIÓN DEL MODELO .....	11
<b>3. RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO</b> .....	<b>12</b>
3.1. INTRODUCCIÓN .....	12
3.2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	12
3.2.1. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO 1 .....	12
3.2.2. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO 2 .....	16
3.2.3. RESULTADOS OBTENIDOS TRAS LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO 3 .....	24
<b>4. PROPUESTAS DE MEJORA</b> .....	<b>25</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>27</b>
5.1. CONDICIONES ESTÁTICAS DE SUMINISTRO (SITUACIONES DE BAJO CONSUMO).....	27
5.2. CONDICIONES DE SUMINISTRO ANTE SITUACIONES DE CONSUMO PUNTA .....	27
5.3. CONDICIONES DE SUMINISTRO ANTE SITUACIONES DE INCENDIOS .....	28

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

## 1. INTRODUCCIÓN

Un modelo matemático es un conjunto de ecuaciones que sirven de base para el cálculo hidráulico y la simulación de diversos estados que se producen en la red de distribución. Esta simulación tiene la ventaja de poder analizar la red sin tener que llegar a experimentar físicamente el estado del sistema representado. Del resultado de dichas simulaciones se extraen luego conclusiones que quedarán reflejadas en la planificación y gestión de red.

La experiencia adquirida ha demostrado la gran utilidad que supone la elaboración y aplicación de los modelos bien calibrados para la explotación de la red. Actualmente los modelos están siendo realizados para satisfacer un amplio rango de usos y necesidades en lo referente a la operación del sistema y también constituyen herramientas de apoyo en la planificación, diseño y explotación de todo tipo de modificaciones en el sistema de distribución de agua existente o en el proyecto de nuevos sistemas.

El objetivo de todo modelo matemático es reproducir mediante un computador, con la mayor exactitud posible, el comportamiento real del sistema físico que representa.

En el caso de una red hidráulica, el modelo reproducirá el comportamiento de las tuberías, depósitos, bombas y elementos de regulación de que consta la red, con un grado de detalle que dependerá de la utilización que vayamos a hacer de él.

Los Modelos Matemáticos de las Redes de Distribución de Agua Potable, se pueden clasificar bajo diferentes criterios:

- Según la aplicación del modelo:
  - Modelos de planificación: se utilizan para evaluar el rendimiento, impactos económicos del sistema, cambios en procedimiento operativos, comportamientos de los elementos, etc.
  - Modelos operacionales: se usan para predecir el comportamiento, ajustar presiones o caudales, modificar niveles, etc., con el objetivo de ayudar a tomar decisiones operacionales.
- Según el grado de detalle de construcción del modelo:
  - Modelos estratégicos o arteriales: incorporan sólo los componentes principales. Se usa como instrumento de planificación, diseño y protección, control de la red en tiempo real, selección y ubicación óptima de estaciones de medida y control, optimización global y diseño del sistema de control.
  - Modelos detallados: incorporan la práctica totalidad de los elementos permitiendo conseguir el máximo provecho en los aspectos de proyecto de detalle, regulación y mantenimiento.
- Según como intervenga la variable tiempo:
  - Modelos estáticos: en estos modelos se supone que los caudales demandados e inyectados a la red permanecen constantes, y se admite que no varían las condiciones de operación de la red.
  - Modelos dinámicos: se permite la variación temporal de los caudales demandados e inyectados, así como las condiciones de operación de la red.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

- Según las variables del sistema que sean de interés:
  - Modelos hidráulicos: los modelos hidráulicos determinan los caudales y las presiones en la red bajo unas determinadas condiciones iniciales y de contorno.
  - Modelos de calidad: determinan la variación temporal y espacial de un determinado parámetro de calidad, como la concentración de contaminantes o desinfectantes, el tiempo de permanencia o de retención en los depósitos.

En este caso, se optará por la realización de un único modelo de planificación, detallado, estático e hidráulico, al que se le aplicarán los cambios y cargas necesarios para poder analizar la respuesta de la red ante los distintos escenarios deseados.

Dadas las características de la red de distribución y demandas asociadas a esta, se han considerado los siguientes escenarios:

- Escenario 1. Comportamiento de la red ante la situación actual con consumo cero.
- Escenario 2. Comportamiento de la red ante la situación actual, patrón variable con máxima demanda.
- Escenario 3. Comportamiento de la red ante la situación actual de incendio.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

## 2. CREACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA RED

### 2.1. Consideraciones previas

En los epígrafes siguientes se detallan los pasos realizados, así como los datos empleados para la realización del modelo matemático de las redes de abastecimiento y distribución de agua potable del término municipal de Peraleda de la Mata.

Desde el punto de vista operativo, conviene reducir al máximo el número de modelos a crear, utilizando un único modelo a ser posible. Como ya se ha introducido en el apartado anterior, será necesaria la implementación de un modelo principal sobre el que se analizarán un total de 3 escenarios relativos a la situación actual.

Por otra parte, el objetivo de la modelación matemática es comprobar la respuesta de la red ante una situación crítica correspondiente a una situación de emergencia, tal como un incendio. Así pues, los modelos anteriormente mencionados serán cargados considerando una demanda por usuario y un caudal para los hidrantes en la situación actual.

**Al tratarse de una situación de incendio, que esta se dé el día de mayor consumo del año en el momento de mayor demanda resulta improbable, por lo que en este caso se procederá a la carga del modelo con el consumo de los hidrantes, junto con la demanda media de los usuarios del servicio.**

Los cálculos hidráulicos de la red de abastecimiento de agua potable se han realizado mediante el programa EPANET v2.2, software desarrollado por la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos, especializado en la simulación del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión. Todo ello se ha integrado en el entorno SIG de escritorio QGIS, utilizando la herramienta Giswater, lo que permite una gestión más ágil de la información y una representación más eficiente y precisa de los datos y resultados obtenidos.

Las pautas que se han seguido para la elaboración del modelo matemático han sido:

- Recopilación de la información.
- Migración de la red.
- Análisis de la demanda.
- Evaluación y reparto del caudal de fugas.
- Carga hidráulica del modelo.
- Calibración y aceptación del modelo.

A continuación, se describe detalladamente cada una de las fases.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

## 2.2. Recopilación de información

Una red puede estar constituida por tuberías, nodos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. EPANET permite seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, de la presión en los nodos de demanda, del nivel del agua en los depósitos y de la concentración de cualquier sustancia a través del sistema de distribución durante un período prolongado de simulación. Además de las concentraciones, permite también determinar los tiempos de permanencia del agua en la red y su procedencia desde los distintos puntos de la alimentación.

Un sistema de distribución, con cualquier nivel de complejidad, puede ser representado esquemáticamente, a efectos de análisis hidráulico, por un conjunto de nodos y líneas:

- **Nodos:** son puntos de la red en los cuales se unen dos o más líneas, o puntos en los cuales se efectúan entradas (nodos de aportación) o salidas (nodos de consumo) de caudales al sistema. Cualquier consumo o suministro de los nodos debe ser conocido a lo largo del período de simulación.
- **Líneas:** conjunto de elementos de la red conectados entre dos puntos, a los cuales se le puede asociar una ecuación constitutiva que permita caracterizar, con la mayor fidelidad posible, el comportamiento global de esos elementos, o sea, la relación entre el caudal circulante y la diferencia de alturas piezométricas entre los citados puntos. Dependiendo del grado de abstracción que hagamos de la red real y del rigor pretendido para el cálculo, tendremos más o menos líneas en el modelo.

La primera tarea ha sido la recopilación de toda la información existente relativa a las redes hidráulicas, los datos de partida necesarios han sido los siguientes:

### 2.2.1. Topología y cartografía de la red

Uno de los datos más importantes que se necesitan es la topología de la red que especifica qué elementos hay y cómo están interconectados, por qué calles discurren las conducciones, la localización de las acometidas, válvulas de regulación y en general cómo está dispuesto el entramado de la red.

A través de la Información facilitada por el Ayuntamiento de Peraleda de la Mata, se ha desarrollado por AQLARA el Sistema de Información Geográfica (GIS), por lo que la obtención de estos datos ha sido directa. Además, ha permitido disponer de cartografía actualizada mediante la descarga de servicios Web Map Service (WMS) como el de la Sede Electrónica del Catastro y modelos digitales del terreno del portal web del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### 2.2.2. Fuentes de suministro

Otro de los puntos a destacar son las fuentes de suministro que abastecen a cada uno de los sistemas, pues el modelo matemático requiere de algún punto de inyección de agua para que este funcione. Además, dependiendo del objetivo que persiga la simulación, resultará necesario implementar estas fuentes o no.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

En este caso, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Punto de suministro a través del Depósito de Peraleda de la Mata.

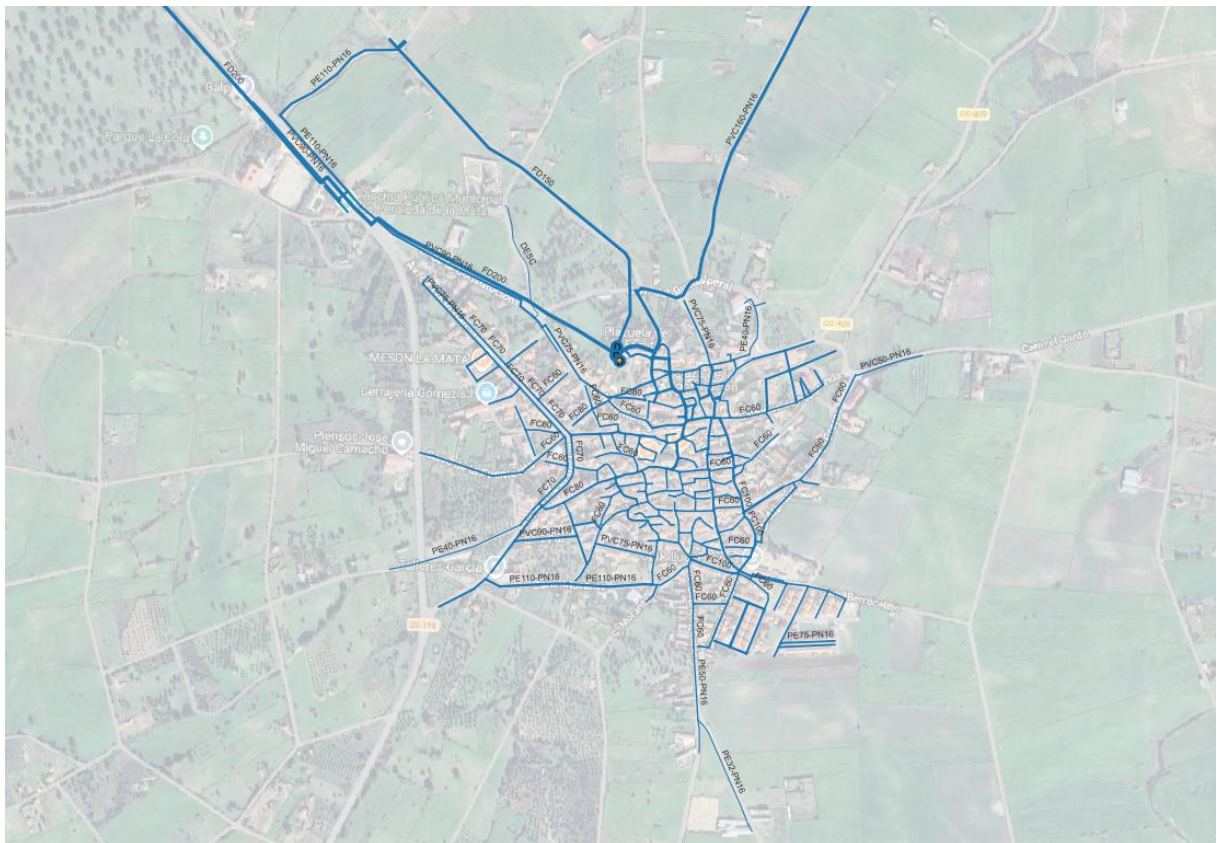
### 2.2.3. Tuberías

Para garantizar que los resultados que se deriven de la simulación matemática del modelo se correspondan con la realidad, deberemos conocer las características principales de las conducciones que configuran la red: diámetro, longitud, conectividad, pérdidas de carga, material, edad y estado de conservación.

Los parámetros de diámetro, longitud y conectividad se han obtenido de forma directa del GIS de la red, mientras que el resto de los parámetros relacionados principalmente con la rugosidad de la tubería, se les ha asignado un valor en función del material de las tuberías. Este parámetro será susceptible de posteriores modificaciones en la fase de calibración del modelo.

Por otra parte, cabe mencionar que la red actualmente se encuentra sectorizada.

Figura 1. Red de abastecimiento de Peraleda de la Mata



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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

#### **2.2.4. Bombas o estaciones de bombeo**

Para cada uno de los equipos de bombeo existentes en la red y con entidad suficiente para ser incorporados en el modelo, se deberá conocer su potencia, curva característica, curva de rendimiento, horas de funcionamiento, modo de operación, nivel de aspiración, etc.

Son muchos los parámetros que caracterizan el funcionamiento de un equipo de bombeo, aunque dependiendo del análisis a realizar serán necesarios sólo algunos de ellos. Por ello, se deberá determinar en cada caso la información necesaria.

#### **2.2.5. Elementos de regulación**

Otros elementos cuya introducción en el modelo resulta imprescindible para obtener valores aproximados a los reales son las válvulas de regulación. Deberemos conocer el tipo, su característica resistente, diámetro, evolución temporal de su consigna, material, edad, estado de conservación, etc.

#### **2.2.6. Depósitos**

Para realizar una correcta simulación deberá obtenerse la ubicación de los depósitos de la red, así como dimensiones, forma, cota de solera, niveles de máximo y mínimo, relación entre volumen y nivel del agua, dispositivos de regulación y medida existentes, material, estado de conservación, concentración de sustancias, etc.

Nuevamente, en función del tipo de análisis a realizar será imprescindible la introducción de unos u otros datos. No se contempla la implementación de elementos de almacenamiento en el modelo planteado.

#### **2.2.7. Puntos de consumo**

Para llevar a cabo una correcta caracterización de los puntos de consumo de la red, se debe recabar información referente a la cota la acometida del punto, caudal demandado, errores de contadores, tipo de abonado con su correspondiente curva de modulación de la demanda, conectividad de la red, niveles de fugas, tipo de suministro, etc.

En este caso, la metodología para la introducción de las demandas en la red se basa en el geoposicionamiento de la tabla de consumos a partir de las lecturas reales de los contadores, integrando los datos correspondientes a todos los trimestres del año 2025. Este proceso permite obtener una localización precisa de cada punto de consumo dentro del sistema, garantizando una correcta representación espacial de las demandas. Posteriormente, cada punto geoposicionado se vincula al tramo de red más próximo mediante la creación de un enlace (link), estableciendo así la relación directa entre los consumos registrados y la infraestructura de distribución asociada.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

### 2.2.8. Reglas de control

Las reglas de control son una serie de sentencias que permiten aplicar condiciones a la simulación, de forma que esta se aproxime al funcionamiento real de la red.

Estas reglas tienen sentido para el caso de simulaciones dinámicas o en periodo extendido, ya que son en estas donde las condiciones y parámetros de la simulación pueden variar a lo largo del tiempo.

En el caso objeto de estudio no se contempla la implementación de reglas de control, puesto que se trata de simulaciones de tipo estático.

### 2.3. Simplificaciones de la red

La simplificación de la red consiste esencialmente en la confección de un esquema simplificado del sistema que se desea representar, que constituirá la base topológica del modelo. Éste debe representar con suficiente precisión el conjunto de todas las líneas y su conexionado, y su nivel de simplificación depende tanto del número de líneas de que disponga la red real, así como del fin al que se destine el modelo: análisis, diseño, control en tiempo real, etc.

Una vez recopilada la información relativa a las redes, depósitos y demás elementos, para la elaboración de la simplificación de la red se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se ha eliminado el suministro a través de las captaciones.
- Se excluyen todas las acometidas en el modelo.

A continuación, se muestra un esquema de la red de abastecimiento:

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

Figura 2. Esquema de la red considerada en el modelo matemático.



## 2.4. Análisis de la demanda actual

Se resume en la siguiente tabla los valores obtenidos para la totalidad de la red extraídos a través de los **valores reales de consumo año 2025**:

Parámetro	Anual	Diario	Caudal medio
Volumen captado	180.590 m <sup>3</sup>	494,77 m <sup>3</sup>	20,62 m <sup>3</sup> /h
Volumen registrado	133.374 m <sup>3</sup>	365,41 m <sup>3</sup>	15,22 m <sup>3</sup> /h

A partir de los valores anteriores se observa que el rendimiento global del sistema se sitúa en torno al **74 %**, valor razonable para redes de abastecimiento urbanas existentes, aunque susceptible de mejora mediante actuaciones de renovación de conducciones, sectorización y control de fugas.

De la misma forma, y teniendo en cuenta que se obtendrá a partir del valor de la producción media sin aplicación de coeficientes de día de mayor consumo ni coeficiente punta, se resume en la siguiente tabla los valores obtenidos para el **escenario de simulación de situación actual de incendio**:

Parámetro	Valor total Peraleda de la Mata	Unidades
Caudal medio registrado ( $Q_m = Q_p$ )	15,22	m <sup>3</sup> /h
Caudal hidrantes	60	m <sup>3</sup> /h

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

En relación con lo anterior, y según la normativa de referencia, la **demanda de los hidrantes contra incendios resultará de 500 lpm por unidad** (1.000 lpm en núcleos consolidados a ser posible).

Para el cálculo de la red en el escenario de hidrantes contra incendios, se han realizado múltiples simulaciones considerando todas las combinaciones posibles de funcionamiento de los hidrantes. Este procedimiento permite analizar el comportamiento hidráulico de la red en las distintas situaciones de demanda simultánea, con el objetivo de identificar aquellos hidrantes que no cumplen las condiciones mínimas exigidas por la normativa vigente, tanto en términos de caudal disponible como de presión de servicio.

## 2.5. Evaluación y reparto del caudal de fugas

Para la estimación del caudal de fugas se parte del caudal medio registrado en el punto de control de la red. Dicho caudal se distribuye inicialmente en la red en función de la longitud de tubería asociada a cada nudo, de modo que cada elemento recibe una proporción del caudal registrado coherente con su peso dentro del sector.

A continuación, se aplica un proceso de ajuste hidráulico que calibra la intensidad de fuga asignada hasta que el caudal total extraído por el modelo coincide con el caudal medio registrado. Este ajuste garantiza que la representación hidráulica del volumen incontrolado sea compatible con el estado de presiones de la red.

Aunque parte del volumen incontrolado puede estar asociado a consumos no registrados u otras pérdidas no estructurales, a efectos de modelización se simplifica considerando la totalidad del caudal incontrolado como caudal de fuga.

## 2.6. Carga hidráulica del modelo

La realización de una modelización matemática para la simulación de las condiciones más desfavorables a las que puede estar sometido el sistema, requiere la asignación de las cargas consideradas a cada uno de los nudos del modelo.

En este caso, los modelos han sido cargados considerando consumos reales, geoposicionando cada demanda en la ubicación correspondiente y asociando consumo al 50% de la demanda total, a los nodos situados en los extremos al tramo asociado.

Antes de cargar el modelo se debe conocer el objetivo del mismo, de esta forma se determinará si es necesario conocer un único valor de demanda para cada uno de los nudos de consumo en el caso de modelos estáticos, o si por el contrario es necesario determinar una demanda base que se vea afectada por una curva de modulación horaria.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

### 2.6.1. Carga hidráulica del modelo – Escenario 1

A partir de la información facilitada por el Ayuntamiento de Peraleda de la Mata se elabora el Sistema de Información Geográfica (GIS), en el que se definen las características de la red: diámetros, materiales, longitudes, cotas y puntos de entronque con la red en alta, entre otros elementos necesarios para la modelización.

Una vez estructurada la red, se ejecuta un primer escenario correspondiente a una situación de demanda cero. Este escenario permite obtener la **presión máxima que puede alcanzar el sistema**, constituyendo la referencia inicial para la evaluación hidráulica del sector.

### 2.6.2. Carga hidráulica del modelo – Escenario 2

Para la carga de la demanda en condiciones de consumo punta, se ha empleado el siguiente procedimiento que servirá como buena aproximación de los caudales realmente circulantes en el caso que se den las condiciones más desfavorables:

- Cada uno de los sectores existentes se encontrará totalmente aislado de los sectores colindantes, mediante el sistema de válvulas de maniobra y cortes necesarios. En este caso, la maniobra de corte se representa cerrando la tubería de entrada de caudal en dicho sector.
- A su vez, el agua suministrada de entrada en cada sector se realiza por una única conducción, donde se ubica el contador sectorial correspondiente.
- Se asigna un patrón de consumo estimado, con una curva de modelación horaria, para representar de manera aproximada y realista la variación del consumo de agua a lo largo del día, reproduciendo el comportamiento horario de la demanda en la red. Mediante coeficientes de variación aplicados sobre una demanda base, el patrón permite simular los incrementos y disminuciones de consumo asociados a los hábitos reales de los usuarios, como los picos de demanda en horas punta y los mínimos durante la noche. De esta forma, el modelo hidráulico puede analizar con mayor precisión el funcionamiento de la red en condiciones dinámicas, evaluando presiones, caudales, velocidades y posibles situaciones críticas en diferentes franjas horarias.

### 2.6.3. Carga hidráulica del modelo – Escenario 3

En primer lugar, se desarrollarán los mismos pasos que en el segundo escenario, pero empleando en este caso valores medios de producción de agua en lugar de valores punta. Seguidamente, se asignará la demanda singular de los hidrantes sobre los nudos del modelo más próximos. En este caso, se asignará una demanda de 60 m<sup>3</sup>/h por hidrante, correspondiente al valor mínimo exigido según normativa vigente en materia de protección contra incendios.

Cabe destacar que, para el cálculo de la red en el escenario de hidrantes contra incendios, se han realizado múltiples simulaciones considerando todas las combinaciones posibles de funcionamiento de los hidrantes. Este procedimiento permite analizar el comportamiento hidráulico de la red en las distintas situaciones de demanda



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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

## 3. RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO

### 3.1. Introducción

En este apartado se presenta el análisis realizado, fruto de cada una de las simulaciones efectuadas para cada uno de los escenarios contemplados. Además, se adjuntan los informes de resultados obtenidos del propio software.

A continuación, se resume los distintos escenarios contemplados en la simulación como:

- Escenario 1. Comportamiento de la red ante la situación actual con consumo cero.
- Escenario 2. Comportamiento de la red ante la situación actual, patrón variable con máxima demanda.
- Escenario 3. Comportamiento de la red ante la situación actual de incendio.

Para cada uno de los escenarios contemplados se realiza un análisis, fruto de las simulaciones realizadas, donde se recogen los siguientes parámetros:

- Estado de presiones.
- Velocidades de circulación.
- Pérdida de carga.

### 3.2. Resultados obtenidos

#### 3.2.1. Resultados obtenidos tras la simulación del Escenario 1

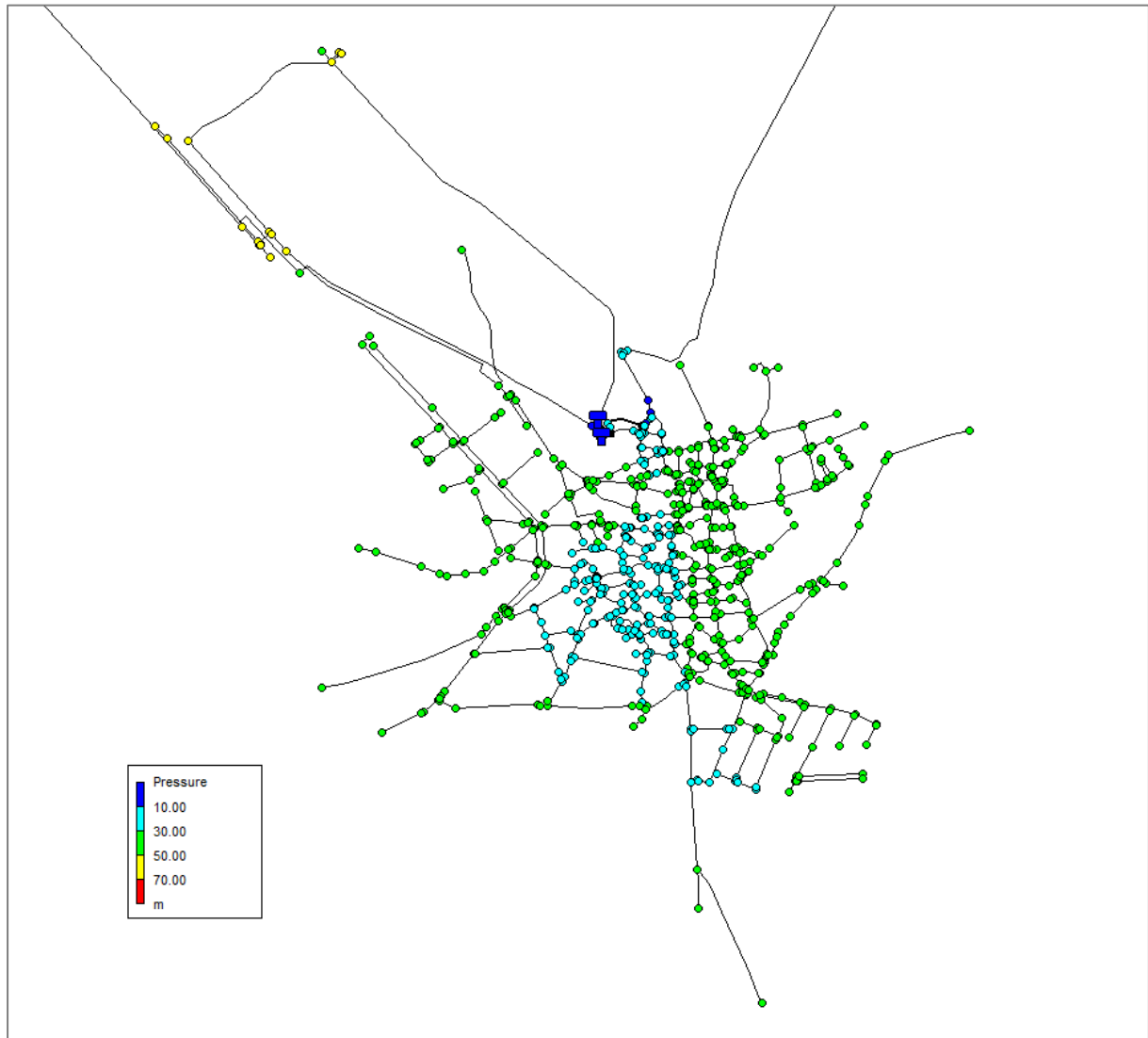
A continuación, se muestran las presiones obtenidas en el supuesto de que no exista ningún consumo en la red, ya que al no existir caudal las velocidades y pérdidas de carga serán nulas.

##### 3.2.1.1. Análisis del estado de presiones

Tras ejecutar la simulación del modelo se obtienen los resultados que se muestran en la siguiente ilustración:

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

Figura 4. Resultados obtenidos para el análisis de presiones del Escenario 1.



A la vista de los resultados representados para el municipio de Peraleda de la Mata, se observa que las presiones en la red presentan, en términos generales, valores adecuados, predominando presiones comprendidas entre 30 y 50 mca en la mayor parte del núcleo urbano. Las zonas centrales de la red muestran principalmente valores en torno a 10–30 mca, mientras que en amplios sectores periféricos se alcanzan presiones entre 30 y 50 mca.

Asimismo, se identifican algunos puntos concretos con presiones superiores a 50 mca, localizados principalmente en ramales situados al noroeste de la red y en determinados extremos aislados. Por el contrario, las presiones más bajas, inferiores a 30 mca, se concentran fundamentalmente en la zona central del núcleo urbano y en algunos sectores próximos al depósito o punto de alimentación principal. No se aprecian de forma significativa valores próximos a 70 mca, quedando las máximas presiones representadas limitadas a puntos muy localizados de la red.

Resulta importante considerar que los resultados obtenidos corresponden a la simulación de la red en condiciones de consumo nulo, situación en la que las pérdidas de carga en las conducciones son mínimas. Por tanto, las presiones reales durante las condiciones habituales de funcionamiento serán previsiblemente inferiores a las

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

representadas, dependiendo de la demanda instantánea y de las pérdidas de carga generadas en cada escenario de consumo.

Con respecto al análisis de los valores obtenidos, se muestra en la siguiente imagen el histograma de resultados:

Figura 5. Histograma de los resultados obtenidos para el análisis de presiones del Escenario 1.



El gráfico anterior confirma las afirmaciones realizadas y permite observar con claridad que la mayor parte de los nudos de la red presentan presiones comprendidas entre 30 y 40 mca, concentrándose especialmente en el intervalo de 30 a 35 mca. Asimismo, se aprecia una menor proporción de nudos con presiones superiores a 45 mca, mientras que los valores inferiores a 20 mca aparecen únicamente de forma puntual y aislada.

Se muestra en la siguiente tabla el porcentaje de nodos según el rango de presión en el que se encuentran:

Tabla 1. Porcentaje de nodos según rango de presión del Escenario 1.

Rangos de presión (mca)	Nº de nudos	Porcentaje (%)
(0-5)	8	1%
(5-10)	5	0%
(10-15)	2	0%
(15-20)	7	1%
(20-25)	28	3%
(25-30)	156	15%
(30-35)	367	36%
(35-40)	281	28%
(40-45)	104	10%
(45-50)	33	3%
(50-55)	22	2%
<b>Total</b>	<b>1013</b>	<b>100%</b>

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

Los resultados del análisis estático permiten evaluar el comportamiento hidráulico de la red en ausencia de consumo, situación en la que las pérdidas de carga en las conducciones son prácticamente nulas y las presiones vienen condicionadas fundamentalmente por la cota piezométrica de alimentación y la topografía del sistema. En estas condiciones, el histograma de presiones obtenido muestra una distribución claramente concentrada en valores intermedios-altos, predominando los nudos con presiones comprendidas entre 30 y 40 mca. En particular, el intervalo de 30 a 35 mca concentra el mayor número de nudos, con 367 elementos, seguido del intervalo de 35 a 40 mca, con 281 nudos. Asimismo, existe una presencia significativa de puntos con presiones entre 25 y 30 mca y entre 40 y 45 mca, mientras que los valores superiores a 50 mca aparecen únicamente de forma puntual, representando una proporción reducida de la red. Por el contrario, las presiones inferiores a 20 mca se localizan únicamente en un número muy limitado de nudos aislados.

Estos resultados ponen de manifiesto que la red trabaja, de forma generalizada, dentro de rangos de presión compatibles con los valores habitualmente recomendados para sistemas de abastecimiento, situándose la mayor parte de los nudos entre 25 y 45 mca, intervalo considerado adecuado para garantizar unas condiciones correctas de explotación, eficiencia y seguridad hidráulica. No obstante, se identifican algunos sectores concretos con presiones superiores a 50 mca que podrían requerir un análisis específico desde el punto de vista de la gestión hidráulica y la protección de la red.

Resulta especialmente relevante que este comportamiento se produce bajo condiciones estáticas, es decir, sin demandas circulando por la red. En escenarios reales de funcionamiento, las pérdidas de carga asociadas al consumo producirán una reducción parcial de las presiones, especialmente en los ramales más alejados o desfavorables hidráulicamente. Por tanto, las presiones obtenidas representan una situación máxima teórica de funcionamiento, siendo previsiblemente inferiores durante las condiciones habituales de explotación de la red.

Las presiones elevadas en una red de abastecimiento, implica diversas consecuencias operativas y estructurales:

- Incremento del riesgo de fugas y roturas debido al aumento de las solicitaciones mecánicas sobre conducciones y accesorios.
- Mayor sensibilidad del sistema al efecto presión–demanda, favoreciendo consumos no controlados.
- Sobreesfuerzo continuo sobre acometidas, válvulas, uniones y elementos sensibles, reduciendo su vida útil.
- Mayor vulnerabilidad frente a transitorios hidráulicos, ya que cualquier sobrepresión adicional puede superar con mayor facilidad los límites resistentes de la red.
- Un funcionamiento global alejado de los criterios habituales de eficiencia y control hidráulico.

En consecuencia, los resultados obtenidos indican que la red presenta, en términos generales, un comportamiento hidráulico adecuado desde el punto de vista de las presiones, manteniéndose la mayor parte de los nudos dentro

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

de los rangos habitualmente recomendados para sistemas de abastecimiento. Por ello, no se considera necesaria la implantación de medidas específicas de regulación o reducción de presión, al no identificarse problemas generalizados asociados a sobrepresiones en la red.

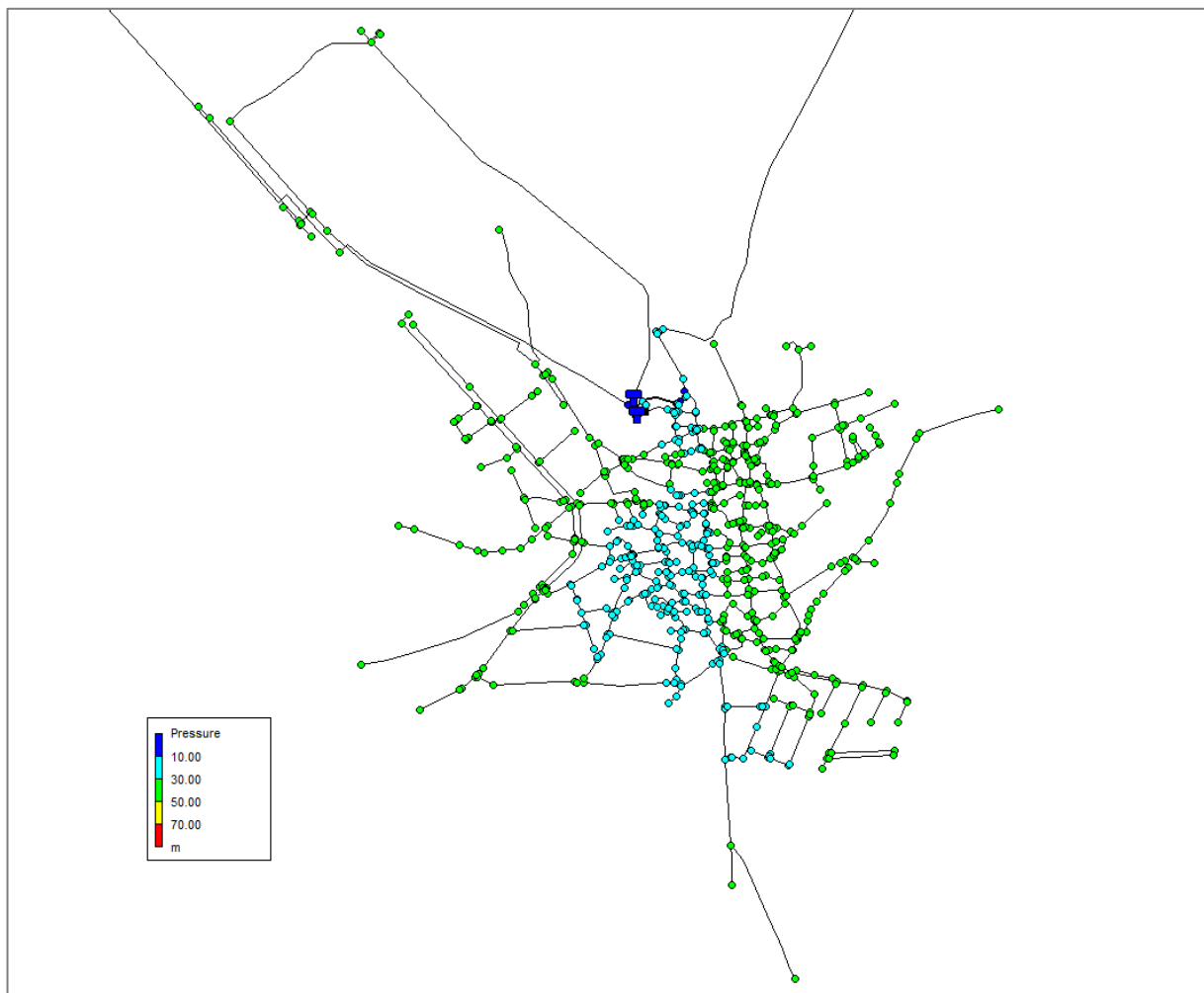
No obstante, se recomienda mantener un seguimiento periódico de las condiciones de funcionamiento hidráulico, especialmente ante posibles variaciones futuras de la demanda o modificaciones en la configuración de la red, con objeto de garantizar que las presiones continúen situándose dentro de valores adecuados de explotación y seguridad hidráulica.

## 3.2.2. Resultados obtenidos tras la simulación del Escenario 2

### 3.2.2.1. Análisis del estado de presiones

Tras ejecutar la simulación del modelo se obtienen los resultados que se muestran en la siguiente imagen:

Figura 6. Resultados obtenidos para el análisis de presiones del Escenario 2.



Tras ejecutar el escenario de caudal punta, los resultados obtenidos muestran que la red mantiene, en términos generales, un comportamiento hidráulico adecuado, observándose una distribución de presiones relativamente

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

homogénea en la mayor parte del núcleo urbano. La representación gráfica adjunta permite comprobar que predominan claramente las presiones comprendidas entre 25 y 40 mca, concentrándose especialmente los valores entre 30 y 35 mca en buena parte de la red.

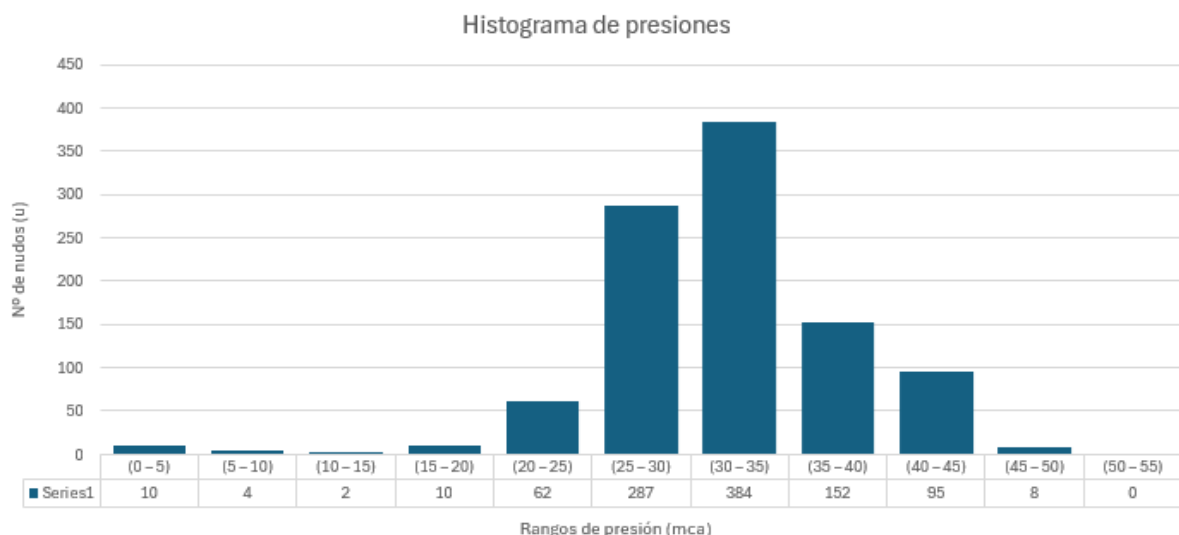
Las presiones más reducidas, comprendidas entre 10 y 30 mca, se localizan principalmente en la zona central del núcleo urbano y en determinados ramales interiores, donde el incremento de pérdidas de carga asociado a la demanda produce una disminución moderada de los niveles piezométricos. No obstante, estos valores continúan situándose, en términos generales, dentro de rangos compatibles con un funcionamiento adecuado del sistema.

Asimismo, se identifican algunos sectores periféricos y extremos de red con presiones ligeramente superiores, próximas a 40–50 mca, especialmente en ramales situados al noroeste y en determinadas zonas alejadas del núcleo central. Sin embargo, no se observan de forma significativa presiones superiores a 50 mca ni situaciones generalizadas de sobrepresión en la red.

En conjunto, los resultados ponen de manifiesto que el funcionamiento en condiciones de máxima demanda produce una reducción moderada y coherente de las presiones respecto al escenario estático, manteniéndose la práctica totalidad de los nudos dentro de los rangos habitualmente recomendados para una explotación hidráulica eficiente y segura. Por tanto, el comportamiento global de la red puede considerarse satisfactorio incluso bajo condiciones de caudal punta, sin identificarse problemas relevantes de déficit o exceso de presión.

Con respecto al análisis de los valores obtenidos, se muestra en la siguiente figura el histograma de resultados, confirmando las afirmaciones realizadas:

Figura 7. Histograma de los resultados obtenidos para el análisis de presiones del Escenario 2.



El gráfico anterior confirma las afirmaciones realizadas y permite observar con claridad que la mayor parte de los nudos de la red presentan presiones comprendidas entre 25 y 40 mca, concentrándose especialmente en el intervalo de 30 a 35 mca.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

Se muestra en la siguiente tabla el porcentaje de nodos según el rango de presión en el que se encuentran:

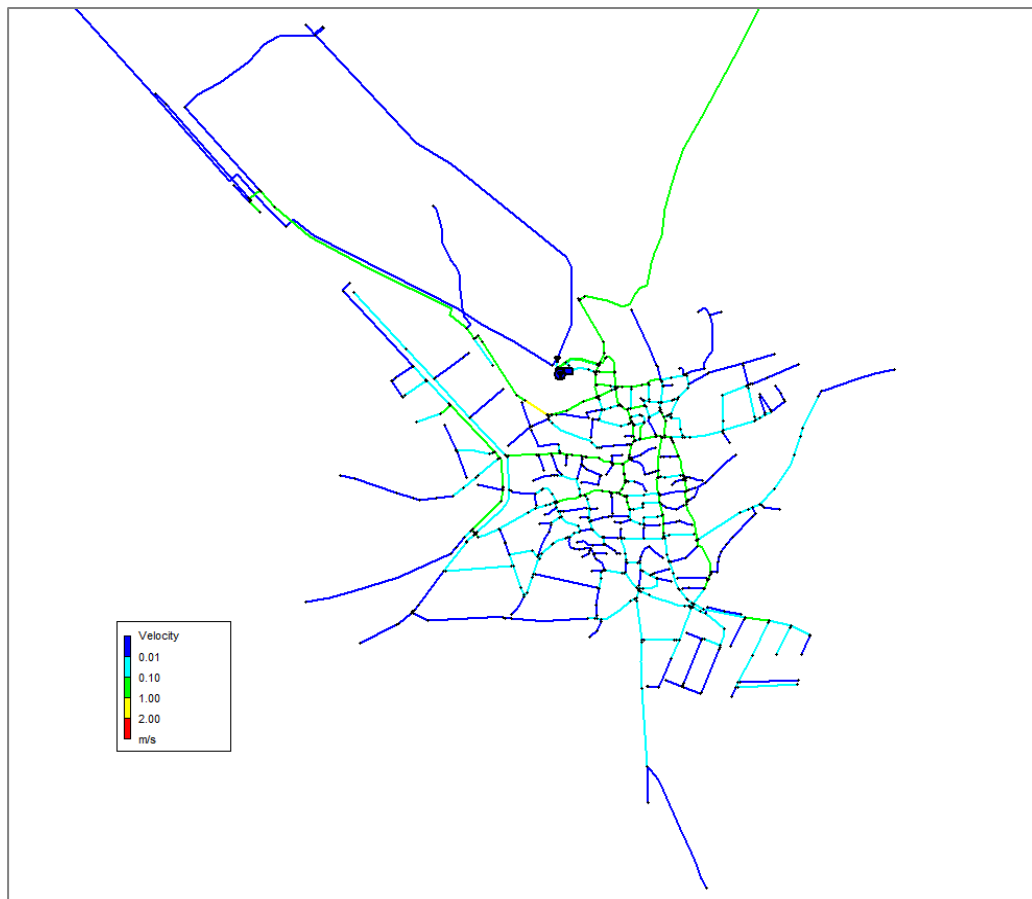
Tabla 2. Porcentaje de nodos según rango de presión del Escenario 2.

Rangos de presión (mca)	Nº de nudos	Porcentaje (%)
(0 – 5)	10	1%
(5 – 10)	4	0%
(10 – 15)	2	0%
(15 – 20)	10	1%
(20 – 25)	62	6%
(25 – 30)	287	28%
(30 – 35)	384	38%
(35 – 40)	152	15%
(40 – 45)	95	9%
(45 – 50)	8	1%
(50 – 55)	0	0%
<b>Total</b>	<b>1013</b>	<b>100%</b>

### 3.2.2.2. Análisis de las velocidades de circulación

Por lo que respecta a las velocidades de circulación de agua por la red, se presenta a continuación los resultados obtenidos tras la simulación:

Figura 8. Resultados obtenidos para el análisis de velocidades del Escenario 2.



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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

Las velocidades obtenidas en el escenario analizado son predominantemente bajas en la mayor parte de la red, observándose un claro predominio de valores inferiores a 0,10 m/s en numerosos tramos, especialmente en ramales secundarios y extremos de red. La representación hidráulica muestra que gran parte de las conducciones aparecen en tonos azules, asociados a velocidades muy reducidas, mientras que las velocidades moderadas, comprendidas aproximadamente entre 0,10 y 0,50 m/s, se concentran únicamente en algunos ejes principales y conducciones estructurantes de la red.

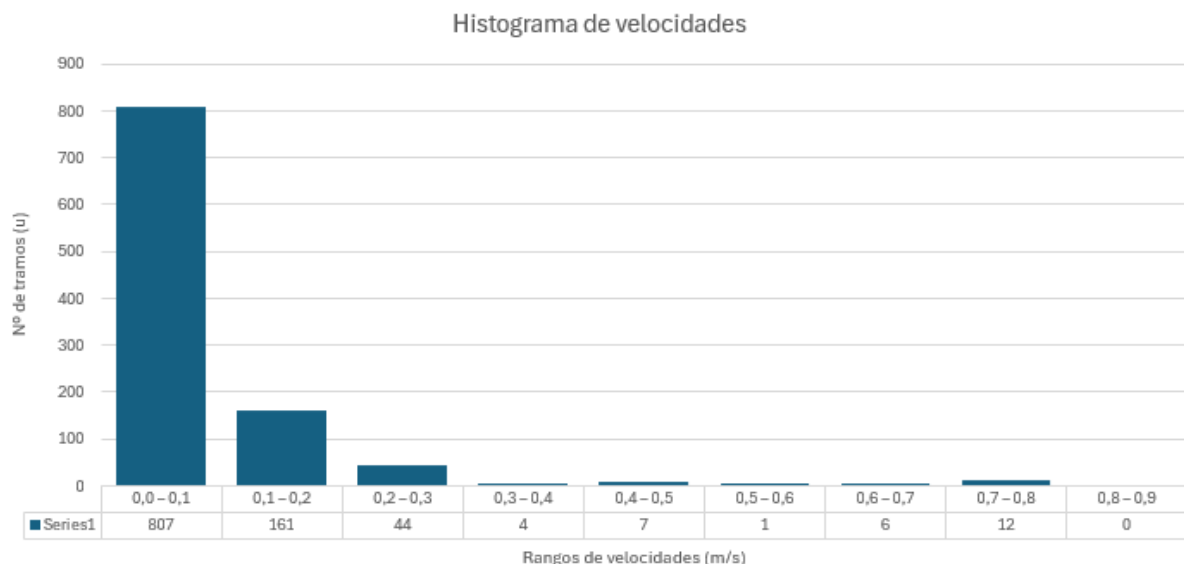
Los valores más elevados, próximos o superiores a 1,0 m/s, aparecen de forma muy localizada y puntual en determinados tramos principales, asociados previsiblemente a mayores demandas o concentraciones de caudal. Asimismo, aunque se identifican algunos puntos aislados con velocidades cercanas a 2,0 m/s, éstos no representan el comportamiento general del sistema y se limitan a conducciones concretas de carácter singular.

Este comportamiento hidráulico pone de manifiesto que la red presenta una circulación interna limitada en buena parte de las conducciones, especialmente en zonas periféricas y ramales secundarios. Desde el punto de vista operativo, esta situación puede favorecer fenómenos de envejecimiento del agua, pérdida de calidad, sedimentación y acumulación de depósitos en el interior de las tuberías, además de reducir la capacidad de autolimpieza de la red y dificultar una adecuada renovación del agua en los puntos con menor circulación.

En términos generales, las velocidades observadas se sitúan por debajo de los rangos habitualmente recomendados para redes de distribución, donde suelen considerarse adecuados valores comprendidos entre 0,5 y 1,0 m/s para garantizar unas condiciones óptimas de funcionamiento hidráulico, conservación de la calidad del agua y mantenimiento de las conducciones.

Se muestra a continuación el histograma correspondiente a los resultados obtenidos:

Figura 9. Histograma de resultados obtenidos para el análisis de velocidades del Escenario 2.



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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

En el gráfico anterior, se puede observar como la gran mayoría de las conducciones presenta velocidades de circulación reducidas. Incluso por debajo de los 0,5 m/s.

*Tabla 3. Resumen de velocidades para el Escenario 2.*

Rangos de velocidades (m/s)	Nº de tramos	Porcentaje (%)
0,0 – 0,1	807	77%
0,1 – 0,2	161	15%
0,2 – 0,3	44	4%
0,3 – 0,4	4	0%
0,4 – 0,5	7	1%
0,5 – 0,6	1	0%
0,6 – 0,7	6	1%
0,7 – 0,8	12	1%
0,8 – 0,9	0	0%
> 1,00	10	1%
<b>Total</b>	<b>1052</b>	<b>100%</b>

El análisis del régimen de velocidades bajo condiciones de caudal punta pone de manifiesto que la red continúa presentando, de forma generalizada, velocidades de circulación reducidas, aunque con una ligera mejora en determinados ejes principales respecto a configuraciones anteriores. De acuerdo con los resultados obtenidos, aproximadamente el 77 % de los tramos presenta velocidades inferiores a 0,10 m/s, mientras que cerca del 92 % se sitúa por debajo de 0,20 m/s. Por encima de este valor, el número de conducciones disminuye considerablemente, siendo muy reducidos los tramos que alcanzan velocidades superiores a 0,50 m/s.

Los valores más elevados aparecen únicamente de forma puntual en determinadas conducciones principales y ramales estructurantes de la red, donde se alcanzan velocidades comprendidas entre 0,6 y 1,0 m/s. No obstante, estos casos representan un porcentaje muy reducido del total y no modifican el comportamiento global del sistema, caracterizado por una circulación interna limitada en gran parte de las conducciones.

Estos resultados confirman que la red dispone de una dinámica hidráulica reducida incluso en condiciones de máxima demanda, circunstancia que favorece fenómenos de sedimentación, envejecimiento del agua y posible deterioro de la calidad, especialmente en ramales secundarios, extremos de red y sectores con consumos bajos. Asimismo, la escasa circulación observada dificulta la capacidad de autolimpieza de las conducciones y aumenta la probabilidad de aparición de depósitos, turbidez o problemas asociados a la baja renovación del agua.

Para reducir la presencia de velocidades tan bajas y garantizar una adecuada renovación del agua en la red, resulta recomendable implementar medidas orientadas a incrementar la circulación en los sectores más desfavorables. Entre las actuaciones más relevantes pueden destacarse:

- La sectorización operativa de la red, orientada a dirigir los caudales por trayectorias más eficientes y minimizar la existencia de zonas muertas o de baja renovación.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

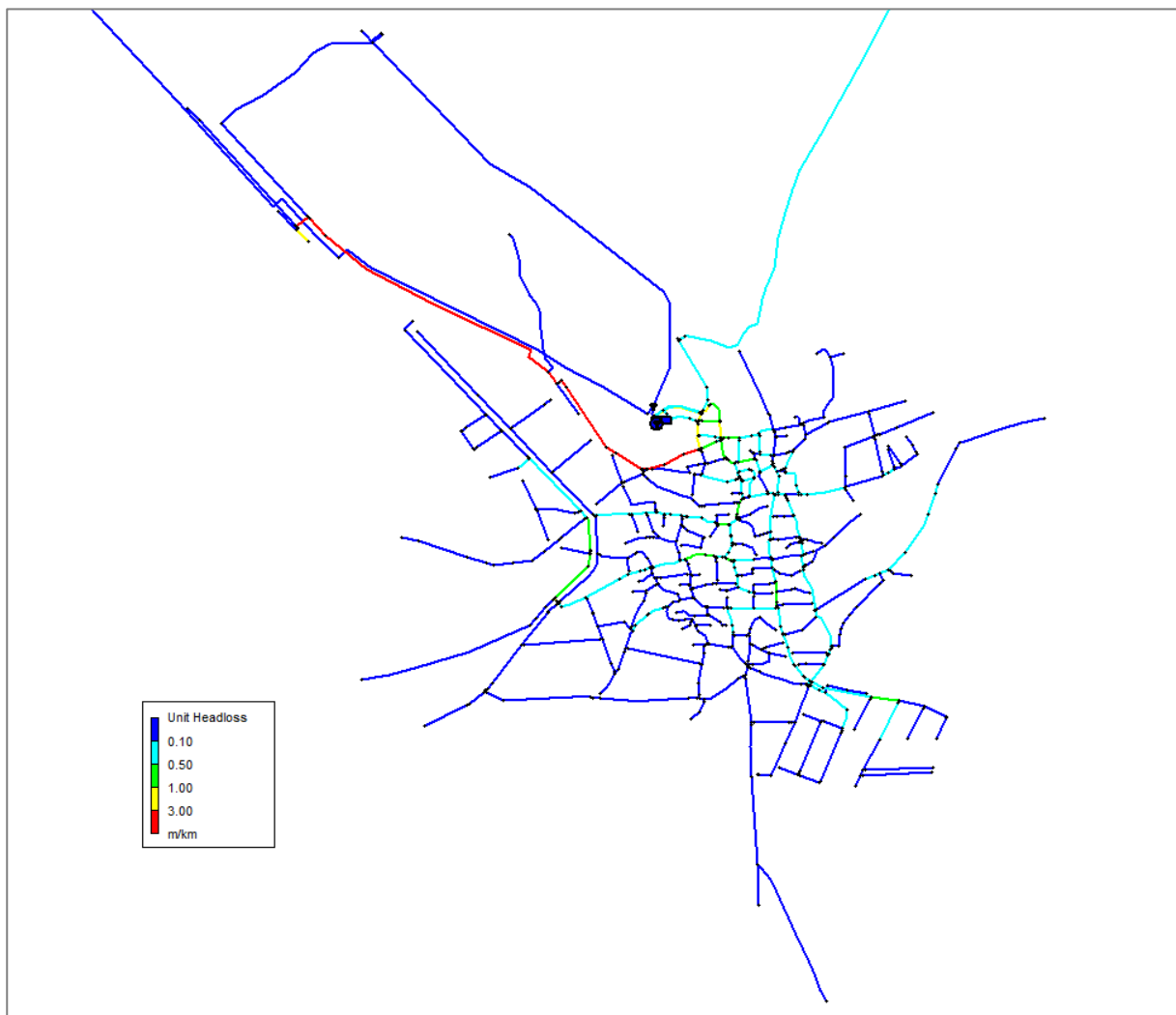
- La ejecución periódica de lavados unidireccionales mediante apertura controlada de hidrantes, con objeto de alcanzar velocidades de arrastre superiores a 1,5–2,0 m/s durante las maniobras de limpieza.
- La revisión de la configuración hidráulica y del estado operativo de válvulas y elementos de regulación, con el fin de optimizar el reparto de caudales y mejorar la circulación interna.
- El establecimiento de programas periódicos de purga y renovación en sectores periféricos o con bajos consumos, donde las velocidades obtenidas resultan especialmente reducidas.

En conjunto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto la necesidad de mejorar la movilidad del agua en determinados sectores de la red para minimizar la acumulación de sedimentos, favorecer la renovación hidráulica y garantizar unas condiciones adecuadas de calidad y explotación del sistema de distribución.

### 3.2.2.3. Análisis de la pérdida de carga

Por lo que respecta a las pérdidas de carga en la red de distribución, los resultados obtenidos tras la simulación son los siguientes:

Figura 10. Resultados obtenidos para el análisis de las pérdidas unitarias del Escenario 2.



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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

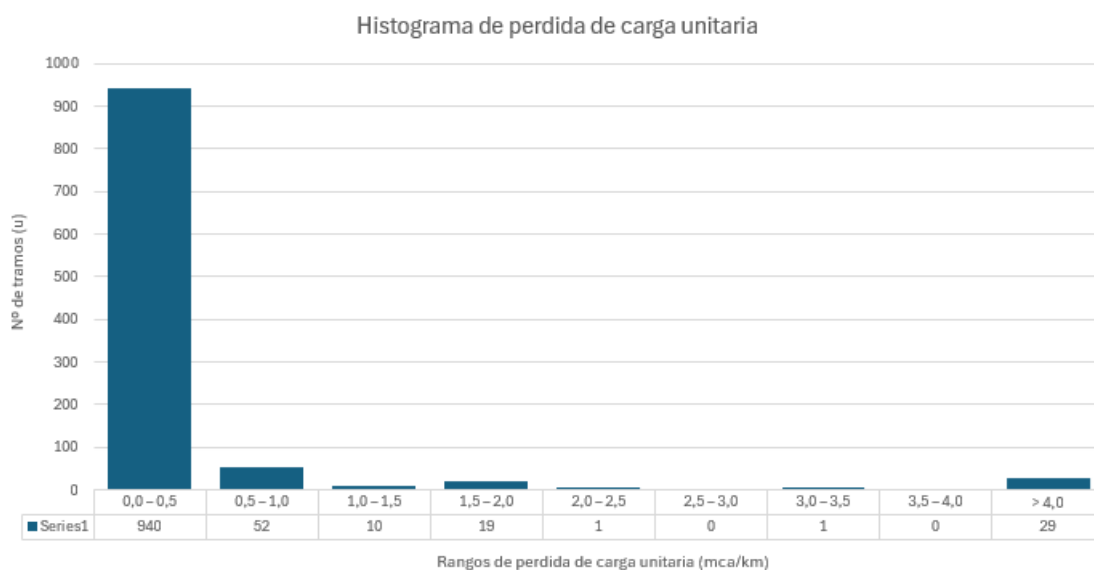
La representación de la pérdida de carga unitaria en la red, expresada en m/km, muestra que la mayor parte de las conducciones continúa presentando valores bajos o moderados, predominando claramente los tramos con pérdidas inferiores a 0,5 m/km, representados en tonos azules y cian. Este comportamiento resulta coherente con las bajas velocidades de circulación observadas en gran parte de la red y con el predominio de caudales reducidos en numerosos ramales secundarios y conducciones periféricas.

No obstante, se identifican determinados ejes estructurantes con pérdidas unitarias significativamente más elevadas, comprendidas entre 1 y 3 m/km, e incluso superiores en algunos tramos puntuales representados en tonos rojos. Estas pérdidas se concentran principalmente en el eje principal de alimentación situado en la zona occidental y en determinadas conducciones de conexión próximas al núcleo urbano, donde se produce una mayor concentración de caudal y un incremento apreciable de las velocidades de circulación.

En cualquier caso, las pérdidas observadas responden al comportamiento hidráulico esperado en función de la combinación entre caudal circulante, diámetro, rugosidad y longitud de las conducciones, sin que ello implique necesariamente situaciones de funcionamiento anómalo o deficiencias estructurales en la red. De hecho, la localización de las mayores pérdidas coincide con los tramos que asumen una mayor función de transporte dentro del sistema de distribución. En conjunto, los resultados obtenidos indican que la pérdida de carga unitaria se mantiene dentro de rangos compatibles con el funcionamiento hidráulico modelado. Asimismo, la disipación progresiva de energía a lo largo de determinados ejes de la red contribuye parcialmente a amortiguar las elevadas presiones existentes en algunos sectores, favoreciendo una distribución piezométrica coherente con la topografía y con el régimen de circulación del sistema.

Se acude al gráfico de frecuencia siguiente para conocer la distribución de valores en la red:

Figura 11. Histograma de los resultados obtenidos para el análisis de pérdidas unitarias del Escenario 2.



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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

De acuerdo con el histograma, la mayor parte de las conducciones presenta pérdidas unitarias comprendidas entre 0 y 1 m/km, lo que confirma la baja demanda energética del sistema en este escenario y respalda la interpretación obtenida a partir de la representación cartográfica.

*Tabla 4. Resumen de pérdidas unitarias para el Escenario 2.*

Rangos de pérdida de carga unitaria (mca/km)	Nº de tramos	Porcentaje (%)
0,0 – 0,5	940	89%
0,5 – 1,0	52	5%
1,0 – 1,5	10	1%
1,5 – 2,0	19	2%
2,0 – 2,5	1	0%
2,5 – 3,0	0	0%
3,0 – 3,5	1	0%
3,5 – 4,0	0	0%
> 4,0	29	3%
<b>Total</b>	<b>1052</b>	<b>100%</b>

La distribución de las pérdidas de carga unitarias confirma que la red trabaja, en términos generales, con niveles de fricción reducidos. De acuerdo con los resultados obtenidos, aproximadamente el 89 % de las conducciones presenta pérdidas inferiores a 0,5 m/km, mientras que la mediana se sitúa en valores prácticamente nulos (0,01 m/km), lo que pone de manifiesto que una parte muy importante de la red opera con pérdidas lineales muy bajas. Asimismo, el 75 % de los tramos presenta pérdidas inferiores a 0,16 m/km, evidenciando un régimen hidráulico caracterizado por bajas velocidades y reducida disipación de energía en gran parte del sistema.

Los tramos con pérdidas más elevadas aparecen de forma muy localizada y representan un porcentaje reducido del total de conducciones. Los valores superiores a 1 m/km se concentran principalmente en determinados ejes principales y conducciones estructurantes donde se canalizan mayores caudales, mientras que las pérdidas extremas, superiores a 5 m/km, corresponden únicamente a un número muy reducido de tramos singulares asociados a los itinerarios principales de transporte hidráulico. En particular, los valores máximos observados, próximos a 20 m/km, aparecen de forma puntual y no resultan representativos del comportamiento hidráulico global de la red.

En conjunto, estos resultados son coherentes con las bajas velocidades obtenidas en el modelo hidráulico y ponen de manifiesto que la red presenta, en gran parte de sus conducciones, un comportamiento poco exigido desde el punto de vista energético. La reducida pérdida de carga lineal contribuye a mantener niveles de presión relativamente elevados en amplios sectores del sistema, especialmente en aquellas zonas donde la demanda y la circulación de caudal son limitadas. No obstante, las pérdidas localmente elevadas observadas en determinados ejes principales reflejan la concentración del transporte de caudal en conducciones estratégicas derivada de la nueva configuración hidráulica y del mallado implementado en la red.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

### 3.2.3. Resultados obtenidos tras la simulación del Escenario 3

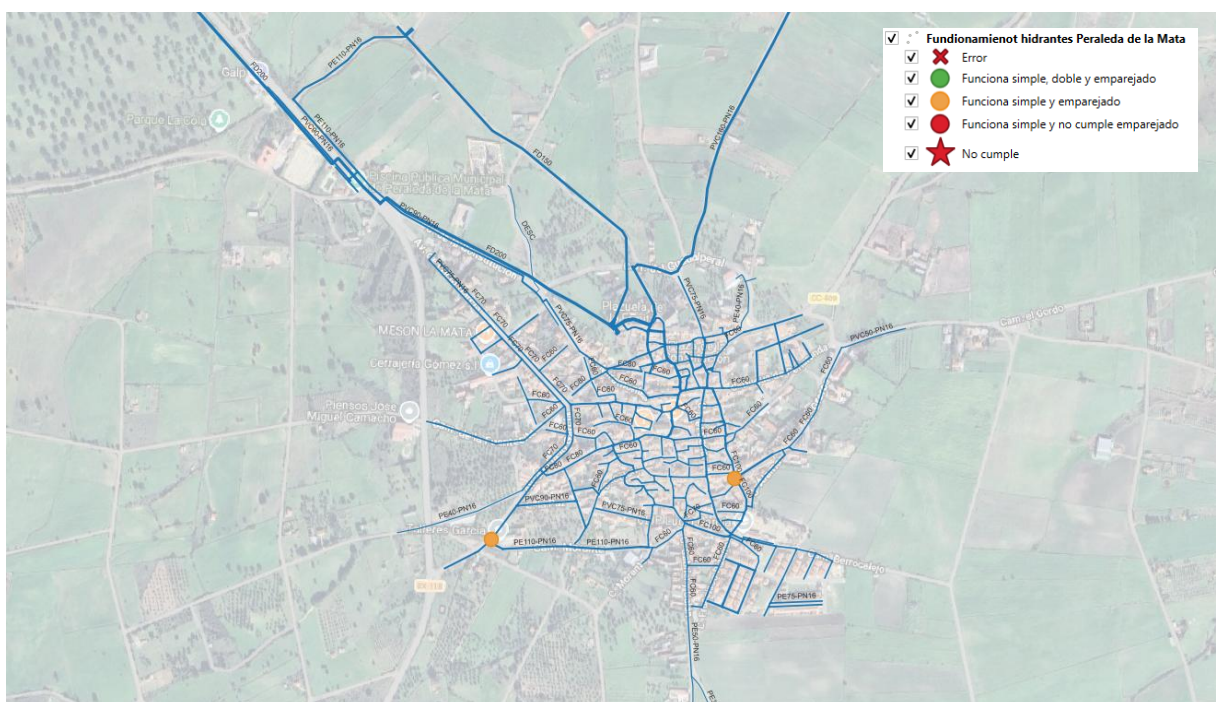
El análisis hidráulico realizado sobre la red de abastecimiento del municipio de Peraleda de la Mata en escenario de funcionamiento de hidrantes contra incendios actual pone de manifiesto importantes limitaciones tanto desde el punto de vista hidráulico como desde el punto de vista de cobertura territorial. Para la evaluación se han simulado diferentes combinaciones de funcionamiento simultáneo de hidrantes, verificando en cada caso el cumplimiento de las condiciones mínimas exigidas por la normativa en términos de presión y caudal disponible.

Los resultados obtenidos muestran que los únicos dos hidrantes existentes en la red, cumple adecuadamente las condiciones requeridas de funcionamiento, representados en color naranja en la figura adjunta.

Por otro lado, tal y como se aprecia claramente en la imagen adjunta, la cobertura de hidrantes contra incendios en el municipio de Peraleda de la Mata resulta claramente insuficiente. La distribución espacial de los hidrantes existentes no garantiza una cobertura homogénea del núcleo urbano ni de las periferias o diseminadas, existiendo amplias áreas del municipio sin puntos de suministro próximos para uso contra incendios. Esta situación supone una limitación importante desde el punto de vista de la protección frente a incendios y pone de manifiesto la necesidad de ampliar y reforzar la red de hidrantes existente.

En consecuencia, los resultados obtenidos justifican la necesidad de plantear actuaciones de mejora orientadas tanto al refuerzo hidráulico de la red como a la ampliación de la cobertura de hidrantes, incluyendo la instalación de nuevos puntos contra incendios en sectores deficientemente cubiertos, el aumento de capacidad en determinados ramales principales.

Figura 12. Funcionamiento de hidrantes objeto de estudio para el Escenario 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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

## 4. PROPUESTAS DE MEJORA

A partir de los resultados obtenidos en el modelo hidráulico, se plantean una serie de actuaciones orientadas a corregir y minimizar las limitaciones detectadas en la red de abastecimiento, principalmente relacionadas con la existencia de bajas velocidades de circulación, escasa renovación del agua en determinados sectores, presencia de extremos de red con reducida dinámica hidráulica y limitaciones puntuales en el funcionamiento de hidrantes contra incendios. A continuación se detalla cada una de ellas:

- **Mallado de determinados ramales terminales y extremos de red**, especialmente en aquellas zonas donde el modelo hidráulico ha identificado velocidades reducidas y baja circulación de caudal. La creación de conexiones entre conducciones próximas permitiría generar recorridos alternativos de circulación, reducir zonas muertas y mejorar la renovación hidráulica del sistema. Además, el mallado incrementa la redundancia de la red y mejora la capacidad de respuesta ante averías, maniobras o situaciones de emergencia.
- **Refuerzo de determinadas conducciones principales**, especialmente en aquellos ejes donde se concentran las mayores pérdidas de carga o donde se producen mayores demandas hidráulicas durante escenarios de consumo punta o funcionamiento contra incendios. Estas actuaciones permitirían mejorar la capacidad de transporte de caudal y reducir las pérdidas unitarias en los tramos más solicitados.
- **Ampliación y mejora de la red de hidrantes**, incorporando nuevos puntos contra incendios en aquellas zonas que actualmente presentan una cobertura insuficiente o una excesiva distancia entre hidrantes. Paralelamente, sería recomendable revisar las condiciones hidráulicas de los sectores donde el funcionamiento simultáneo de hidrantes genera limitaciones de presión o caudal.
- **Sectorización hidráulica y la configuración de válvulas**, favoreciendo trayectorias de circulación más eficientes y mejorando el reparto de caudales entre sectores. La revisión del estado y funcionamiento de válvulas de seccionamiento y regulación permitiría además aumentar la flexibilidad operativa del sistema.
- Implantación de un **programa periódico de purgas y lavados unidireccionales**, especialmente en ramales terminales y zonas de baja renovación hidráulica. Estas operaciones permitirían incrementar temporalmente las velocidades de circulación, favoreciendo la eliminación de sedimentos y mejorando la calidad del agua distribuida.
- Desarrollar un **programa progresivo de renovación de conducciones**, priorizando aquellos tramos con menor capacidad hidráulica, mayores pérdidas localizadas o materiales más antiguos. Estas actuaciones contribuirían a mejorar el comportamiento hidráulico global de la red y reducirían la vulnerabilidad frente a fugas o roturas.
- Implantar un **sistema de seguimiento y control hidráulico de la red**, mediante campañas periódicas de medición de presiones y caudales, que permita validar el comportamiento real del sistema, actualizar el

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

modelo hidráulico y anticipar posibles necesidades futuras de mejora asociadas al crecimiento urbano o a variaciones de la demanda.

En conjunto, las actuaciones propuestas permitirían mejorar significativamente la circulación y renovación del agua, optimizar el comportamiento hidráulico de la red, aumentar la fiabilidad del abastecimiento y reforzar la capacidad operativa del sistema frente a situaciones de máxima demanda o emergencias contra incendios.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. Condiciones estáticas de suministro (Situaciones de bajo consumo)

Los resultados obtenidos en el escenario estático ponen de manifiesto que la red de abastecimiento del municipio de Peraleda de la Mata presenta, en términos generales, un comportamiento hidráulico adecuado desde el punto de vista de las presiones. La mayor parte de los nudos se sitúa dentro de rangos comprendidos entre 25 y 45 mca, considerados compatibles con unas condiciones normales de explotación y funcionamiento de redes de abastecimiento.

El análisis realizado en ausencia de consumo confirma que las pérdidas de carga son prácticamente nulas y que las presiones vienen condicionadas fundamentalmente por la topografía y la cota piezométrica de alimentación del sistema. En estas condiciones, predominan claramente los valores comprendidos entre 30 y 40 mca, mientras que las presiones superiores a 50 mca aparecen únicamente de forma puntual y localizada en determinados extremos de la red.

En consecuencia, no se identifican problemas generalizados de sobrepresión ni situaciones críticas de déficit de presión en condiciones estáticas. No obstante, se recomienda mantener un seguimiento periódico de la evolución hidráulica de la red y de las posibles modificaciones futuras de demanda, con objeto de garantizar que las condiciones de funcionamiento continúen manteniéndose dentro de rangos adecuados de seguridad y explotación.

### 5.2. Condiciones de suministro ante situaciones de consumo punta

El análisis correspondiente al escenario de máxima demanda muestra que la red mantiene un comportamiento globalmente estable desde el punto de vista de las presiones, manteniéndose la mayor parte de los nudos dentro de valores adecuados de servicio. Aunque se produce una reducción generalizada de las presiones respecto al escenario estático como consecuencia del incremento de pérdidas de carga, la red continúa trabajando mayoritariamente dentro de rangos compatibles con un funcionamiento hidráulico correcto.

No obstante, el estudio de velocidades y pérdidas de carga pone de manifiesto que la red presenta una dinámica hidráulica reducida incluso en condiciones de caudal punta. Más del 80 % de las conducciones presenta velocidades inferiores a 0,10 m/s y prácticamente la totalidad de la red trabaja por debajo de 0,50 m/s, lo que evidencia una escasa circulación interna y una reducida capacidad de renovación del agua en numerosos sectores.

Como consecuencia, existe una elevada probabilidad de aparición de fenómenos asociados a bajas velocidades, tales como sedimentación, envejecimiento del agua, acumulación de depósitos y posibles problemas de calidad en ramales secundarios y extremos de red. Del mismo modo, las pérdidas de carga unitarias obtenidas son bajas en la mayor parte de las conducciones, confirmando un régimen hidráulico poco exigido desde el punto de vista energético.

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. **ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO PARA LA SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.**

En este contexto, se considera recomendable implementar medidas de mejora operativa orientadas a incrementar la circulación y favorecer la renovación hidráulica del sistema. Entre las actuaciones recomendadas destacan la ejecución de programas periódicos de purga y lavado, la optimización de maniobras de explotación, la revisión de válvulas y elementos de regulación y, en caso necesario, la sectorización hidráulica orientada a minimizar zonas muertas o de baja circulación.

### 5.3. Condiciones de suministro ante situaciones de incendios

El análisis realizado en escenario de incendio pone de manifiesto que la red presenta limitaciones parciales tanto desde el punto de vista hidráulico como desde el punto de vista de cobertura territorial de hidrantes. Los resultados obtenidos muestran un comportamiento heterogéneo de los hidrantes analizados, existiendo puntos que funcionan adecuadamente únicamente de forma individual y otros que presentan limitaciones cuando operan de manera simultánea o emparejada.

Las restricciones observadas están relacionadas principalmente con la capacidad hidráulica disponible en determinados ramales, la configuración de la red y la limitada capacidad de transporte en algunos sectores periféricos y conducciones secundarias. Aunque no se identifican situaciones críticas generalizadas, la red no garantiza de forma homogénea unas condiciones óptimas de presión y caudal en todos los escenarios simultáneos de incendio considerados.

Asimismo, la distribución espacial de hidrantes existente en el municipio presenta una cobertura limitada y poco uniforme, observándose amplias áreas del núcleo urbano y zonas periféricas con escasa proximidad a puntos de suministro contraincendios. Esta circunstancia condiciona la capacidad de respuesta ante emergencias y pone de manifiesto la conveniencia de ampliar progresivamente la infraestructura de hidrantes existente.

En consecuencia, se considera recomendable plantear actuaciones de mejora orientadas tanto al refuerzo hidráulico de determinados ramales estratégicos como a la ampliación de la cobertura contraincendios del municipio. Entre las posibles actuaciones destacan la instalación de nuevos hidrantes en zonas deficientemente cubiertas, la mejora de la capacidad de transporte en conducciones principales y la optimización de la configuración hidráulica de la red para mejorar las condiciones de suministro en situaciones de emergencia.