

# Trabajo Fin de Máster

## *MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE CARCAIXENT (VALENCIA)*

**Intensificación:** *HIDRÁULICA URBANA*

**Autor:**

*VICTOR GARCIA ROVIRA*

**Tutor:**

*DR. JAVIER SORIANO OLIVARES*

**JUNIO, 2019**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**

## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

### Datos del proyecto

**Título del TFM en español:** MODELO MATEMÁTICO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE LA CIUDAD DE CARCAIXENT (VALENCIA).

**Alumno:** VICTOR GARCIA ROVIRA

**Tutor:** DR. JAVIER SORIANO OLIVARES

**Fecha de Lectura:** MAYO, 2019

### Resumen

EL PROPÓSITO DE ESTE TRABAJO ES ANALIZAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE CARCAIXENT, PARA PODER DETECTAR ANOMALÍAS Y BUSCAR SOLUCIONES QUE MEJOREN EL SUMINISTRO DEL NÚCLEO URBANO. PARA ELLO SE ELABORARÁ UN MODELO MATEMÁTICO DE LA RED, QUE SERVIRÁ DE HERRAMIENTA FUNDAMENTAL PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL Y SIMULAR POSIBLES SOLUCIONES DE MEJORA DE LA CALIDAD DEL SERVICIO.

LOS OBJETIVOS QUE SE PERSIGUEN SON:

- CONOCIMIENTO DETALLADO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA RED DE ABASTECIMIENTO.
- ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO QUE REFLEJE EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA.
- IDENTIFICAR LOS PROBLEMAS QUE EXISTEN O QUE PUEDEN OCASIONARSE TANTO EN SITUACIÓN DE SERVICIO NORMAL COMO EN SITUACIÓN DE EMERGENCIA (ROTURAS DE CONDUCCIONES, INCENDIOS...)
- ANÁLISIS DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA (VALORES DE PRESIÓN EN PUNTOS DE CONSUMO, CAUDALES, VELOCIDADES, PÉRDIDAS DE CARGA, ETC) PARA LA PROPUESTA DE SOLUCIONES QUE GARANTICEN VALORES DENTRO DE UN RANGO ÓPTIMO.
- ESTUDIO Y ANÁLISIS DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN PARA LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS Y MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA RED.

PARA LA ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE LA RED SE PARTE DE UN ARCHIVO CAD EN EL CUAL SE ENCUENTRAN DEFINIDOS Y DETALLADOS CADA UNO DE LOS TRAMOS DE LA RED, CON EL DIÁMETRO Y MATERIAL CORRESPONDIENTE, ASÍ COMO LOS NUDOS, DEPÓSITOS, VÁLVULAS E HIDRANTES EXISTENTES. A PARTIR DE ESTE ARCHIVO, MEDIANTE EL PROGRAMA INFORMÁTICO EPACAD, SE GENERA UN ARCHIVO .INP DE EPANET, CON EL CUAL SE PODRÁ CONTINUAR EL ESTUDIO DEL MODELO. PARA ELLO SE ASIGNA A CADA NUDO LA DEMANDA BASE, CURVA DE MODULACIÓN Y COTA CORRESPONDIENTES, Y A CADA TUBERÍA SU PERTINENTE DIÁMETRO Y RUGOSIDAD

UNA VEZ GENERADA LA RED SE PUEDE REALIZAR EL ANÁLISIS DE SU COMPORTAMIENTO, OBTENIENDO RESULTADOS DE VELOCIDADES, CAUDALES, PRESIONES, PÉRDIDAS DE CARGA, ETC QUE NOS DEFINIRÁN LAS ANOMALÍAS EXISTENTES ASÍ COMO LAS POSIBLES ACTUACIONES DE MEJORA QUE SE PODRÍAN APLICAR, CON EL OBJETIVO DE OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO, DISMINUIR LAS FUGAS, OBTENER UNA MEJOR DISTRIBUCIÓN DE LAS PRESIONES O INCLUSO LA MEJORA DE LA SECTORIZACIÓN ACTUAL.



## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer especialmente a mi tutor, Dr. Javier Soriano Olivares del Instituto Tecnológico del Agua (ITA) y profesor de la Universidad Politécnica de Valencia, por su apoyo y gran paciencia conmigo durante todo este tiempo, ya que ha sido un proceso largo, con idas y venidas pero que al final ha podido llegar a buen puerto y considero que gran parte del mérito es debido a él.

Gracias a la empresa “Aguas de Valencia” y en especial a Rafael Aranda Espí, el cual me ha facilitado toda la información necesaria utilizada para poder realizar este proyecto.

También querría agradecerle su paciencia a mi pareja (Anna), ya que fue la que más sufrió tanto durante el año que compaginé el Máster como el tiempo empleado en la elaboración de este trabajo y la que más me ha apoyado en todo momento. Asimismo, a mis padres (Manolo y Lola), mis hermanos (Carlos y Verónica) y mi abuela (Valentina) quienes me han apoyado y me han prestado su motivación para poder hacer frente a este trabajo.

A todos ellos, GRACIAS.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	4
1 INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Objetivos.....	9
1.2 Metodología de trabajo.....	10
1.3 Descripción de la población.....	10
1.3.1 Economía.....	11
1.3.2 Demografía.....	11
1.3.3 Climatología.....	12
2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA .....	14
2.1 Introducción.....	14
2.2 Captación.....	16
2.2.1 Pozo Font de la Parra.....	17
2.2.2 Pozo Calle Gandía.....	19
2.3 Almacenamiento.....	21
2.3.1 Depósito viejo.....	22
2.3.2 Depósito nuevo.....	24
2.3.3 Depósito de la Urbanización de los Amigos.....	26
2.4 Estaciones de tratamiento.....	28
2.4.1 Planta Filtros Carbón Activo.....	28
2.4.2 ETAP Alzira.....	30
2.5 Materiales y diámetros.....	32
2.5.1 Materiales.....	32
2.5.2 Diámetros.....	32
2.6 Puntos de entrega.....	33
2.7 Abonados.....	35
2.8 Sectorización.....	35
3 BALANCE HÍDRICO DEL ABASTECIMIENTO.....	37
3.1 Volúmenes de agua inyectados.....	37
3.2 Asignación de la demanda.....	39

3.3	Balance hídrico.....	41
3.4	Estimación de fugas .....	43
3.5	Modulación de la demanda .....	46
3.5.1	Días analizados .....	46
3.5.2	Datos detallados por sector: .....	50
3.5.3	Variación temporal .....	58
4	ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN .....	60
4.1	Aplicaciones del modelo .....	60
4.2	Datos de partida .....	60
4.3	Programas informáticos empleados.....	63
4.4	Preparación del esquema de la red .....	63
4.4.1	Recopilación de la información .....	64
4.4.2	Adecuación de la información CAD .....	65
4.4.3	Importación de la información mediante EpaCAD.....	66
4.4.4	Asignación de materiales y diámetros a las tuberías. ....	69
4.4.5	Asignación de cotas .....	71
4.4.6	Mapa de fondo .....	73
5	SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL.....	75
5.1	Análisis de la red en condiciones normales de suministro.....	75
5.1.1	Presiones mínimas.....	75
5.1.2	Presiones máximas .....	78
5.1.3	Velocidades mínimas.....	79
5.1.4	Velocidades máximas .....	81
5.1.5	Caudales máximos .....	82
5.1.6	Pérdidas de carga unitaria .....	84
5.2	Análisis de la red en condiciones de emergencia por rotura .....	87
5.2.1	Rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la red.....	87
5.2.2	Rotura de la conducción que abastece a la mitad inferior de la red .....	89
5.2.3	Rotura de una conducción en el sector 6.....	91
5.2.4	Rotura de una conducción en el sector 3.....	93



5.3	Situación en caso de incendio.....	94
5.3.1	Ubicación de los hidrantes .....	94
5.3.2	Comportamiento hidráulico ante incendio .....	96
5.4	Conclusiones .....	104
5.4.1	Funcionamiento en condiciones normales. ....	104
5.4.2	Funcionamiento en condiciones de emergencia.....	105
6	Propuestas de mejora.....	106
6.1	Sustitución de las tuberías de fibrocemento.....	106
6.2	Instalación de nuevos hidrantes de incendio .....	107
6.3	Mejoras a realizar en caso de rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la red .....	109
6.4	Mejoras a realizar en caso de incendio en el sector 13.....	111
7	CONCLUSIONES.....	114
9	REFERENCIAS .....	116
10	Anejos .....	117
10.1	Factor modulación en cada sector .....	117
10.2	Comportamiento hidráulico ante incendios .....	121
10.2.1	Hidrantes en el sector 2.....	121
10.2.2	Hidrantes en el sector 4.....	122
10.2.3	Hidrantes en el sector 5.....	124
10.2.4	Hidrantes en el sector 6.....	125
10.2.5	Hidrantes en el sector 10.....	127
10.2.6	Hidrantes en el sector 12.....	128
10.2.7	Hidrantes en el Sector 7 .....	130
10.2.8	Hidrantes en el Sector 8A.....	131
10.2.9	Hidrantes en el Sector 9 .....	133
10.2.10	Hidrantes en el Sector 11.....	135

## 1 INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural que a lo largo de la historia ha adoptado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. Sin embargo, la falta de lluvias y pérdida de reservas en los pantanos españoles ha provocado en más de una ocasión riesgos de interrupción del suministro de agua a sus habitantes, con las consecuencias negativas que esto puede implicar. Las innovaciones técnicas en el transporte y almacenamiento del recurso desde los puntos de captación hasta los de consumo se han ido sucediendo continuamente, siempre con el objetivo de garantizar de la manera más fiable posible la disponibilidad de agua, tanto para el consumo humano como para el uso industrial o agrícola.

Estudiar el funcionamiento de distribución de agua, la forma en que circula y en qué cantidad, ha representado continuamente una inquietud importante en el campo de la Hidráulica. Desde siempre, el uso imprescindible del agua y la necesidad de obtenerla, le ha dado al hombre motivos suficientes para buscarla y así, lograr su propia supervivencia. Por tal motivo y por naturaleza, nuestros antepasados solían asentarse al lado de ríos o lagos como muestra de que el agua representaba un recurso de gran necesidad para el desarrollo de sus actividades cotidianas. Sin embargo, las concentraciones humanas y los incrementos de consumos, obligaron a la gran mayoría de los administradores hidráulicos a realizar un cambio conceptual fundamental: se debían encontrar fuentes de agua e intentar conducir las hasta los usuarios. Con base en lo anterior, la gestión del agua centraba sus esfuerzos en un nuevo tema, la oferta del agua. De esta forma, los proyectos y obras se centraron en la obtención de nuevas fuentes de abastecimiento para poder satisfacer la demanda creciente del agua.

Con el crecimiento de población en las ciudades, nuevos retos se tuvieron que enfrentar. Por un lado, la necesidad de obtener numerosas fuentes de abastecimiento para dotar el servicio del agua potable a la población y, por otro lado, la sobreexplotación de los acuíferos mermaba la capacidad de producción de las fuentes que se encontraban en funcionamiento. Los altos costes de infraestructura, y las limitaciones de oferta de agua por cuestiones físicas y ecológicas, provocan la necesidad de llevar a cabo otro cambio conceptual en la gestión de los recursos hidráulicos: centrar los esfuerzos en la disminución de la demanda del agua mediante el desarrollo sostenible de las poblaciones. Partiendo de esto, surgen nuevos retos e inquietudes de interés mundial para mejorar la explotación de las redes de distribución, consiguiendo así aumentar los rendimientos de las mismas.

La preocupación sobre la cantidad y calidad del agua se hace más patente cada día. Además, con el paso del tiempo existen mayores necesidades de agua y menor cantidad de recursos disponibles de la calidad deseada. El desequilibrio entre oferta y demanda se acentúa poco a poco, haciéndose necesarias nuevas soluciones que resuelvan este desequilibrio.

La simulación hidráulica es una herramienta fundamental para la mejora del funcionamiento de un servicio de abastecimiento urbano de agua. Los modelos hidráulicos permiten conocer el funcionamiento actual, así como la respuesta de éste bajo diferentes condiciones de funcionamiento. En el presente trabajo se elabora el modelo de simulación de la instalación de suministro de agua de Carcaixent con la ayuda del programa EPANET, y se analiza las características operacionales actuales.

## 1.1 Objetivos

El objetivo de este trabajo de fin de máster es analizar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable de Carcaixent para detectar anomalías y buscar soluciones que mejoren el suministro del núcleo urbano.

Para ello se elabora en primer lugar el modelo matemático de la red, que servirá de herramienta fundamental para realizar el análisis del funcionamiento actual y simular posibles soluciones de mejora de la calidad del servicio. Éstas deben pasar por la mejora de la eficiencia global del sistema desde el punto de vista hidráulico y energético.

Los objetivos que se persiguen son:

- Conocimiento detallado de los elementos que conforman la red de abastecimiento.
- Elaboración de modelo matemático que refleje el funcionamiento del sistema.
- Análisis de las variables del sistema (valores de presión en puntos de consumo, caudales, velocidades, pérdidas de carga, etc.) para la propuesta de soluciones que garanticen valores dentro de un rango óptimo.
- Identificar los problemas que existen o que pueden ocasionarse tanto en situación de servicio normal como de emergencia (roturas de conducciones, incendios...).
- Estudio y análisis de diferentes alternativas de actuación para la resolución de los problemas encontrados y mejora del funcionamiento actual de la red.

## 1.2 Metodología de trabajo

Para la realización de este trabajo se han seguido los siguientes pasos:

- Recopilación de datos: Conjunto de elementos del sistema de distribución, depósitos, bombas, válvulas, caudales inyectados...
- Construcción y calibración del Modelo Matemático de la Red. Creación del modelo hidráulico con la ayuda del programa de simulación EPANET.
- Análisis del comportamiento de la red mediante el modelo matemático. Identificación de los posibles problemas tanto en situación normal como de emergencia.
- Definición de las diferentes actuaciones que permitan eliminar o subsanar los distintos problemas identificados.

## 1.3 Descripción de la población

La ciudad de Carcaixent se encuentra en el centro de la provincia de Valencia, dentro de la comarca “La Ribera Alta”.



Fig. 1 Situación población Carcaixent

La superficie del término municipal es de 5.939 hectáreas, y limita con los términos municipales de Alzira, Benimuslem, Alberic, Vila-nova de Castelló, La Pobla Llarga, Rafelguaraf, Xàtiva, Simat de Valldigna, y en un solo punto o vértice con Benifairó de Valldigna.

Aunque gran parte del término es completamente llano, existen sin embargo rebordes montañosos que dan al núcleo urbano la apariencia de estar encerrado entre montañas; son destacables la Sierra de las Agujas, que constituye las últimas estribaciones de la Sierra Mariola, perteneciente al Sistema Ibérico.

El núcleo de la población se encuentra a  $3^{\circ} 14' 11''$ , longitud este del Meridiano de Madrid y a  $39^{\circ} 7' 21''$ , latitud norte, con una altura de 20 metros sobre el nivel del mar.

Su estructura urbana es semejante a la de un rombo. La zona centro está formada por el núcleo antiguo y zona de ensanche, y alrededor de la misma se agrupan los barrios de Santa Bárbara, La Montanyeta, Les Barraques o Sant Antoni y Quatre Camins.

### 1.3.1 Economía

La agricultura era la actividad más importante hasta hace poco tiempo. Basada en el monocultivo y comercio de la naranja (desde el siglo XIX). Pero a partir de los 60 del pasado siglo, se produjo una crisis importante y la agricultura entró en un periodo de recesión. Actualmente se puede decir que se encuentra en una fase de transformación.

En lo que respecta a la industria, este sector secundario está dedicado mayoritariamente a la transformación de los cítricos. También existe la industria textil, fabricación de mobiliario auxiliar, etc.

Actualmente, más de dos tercios de la población activa trabajan en el sector servicios, sector que se ha visto incrementado por la creación del Centro Comercial *Ribera del Xúquer*, una gran superficie comercial que aumenta la disponibilidad de bienes de consumo que antes había que adquirir en otras zonas. No obstante, el nuevo centro comercial ha sido visto también como una amenaza para el comercio local.

### 1.3.2 Demografía

Desde el punto de vista demográfico, la población de Carcaixent ha sufrido un crecimiento hasta el año 2008 y a partir de este punto ha descendido. En la actualidad la población total es de 20.520 personas.

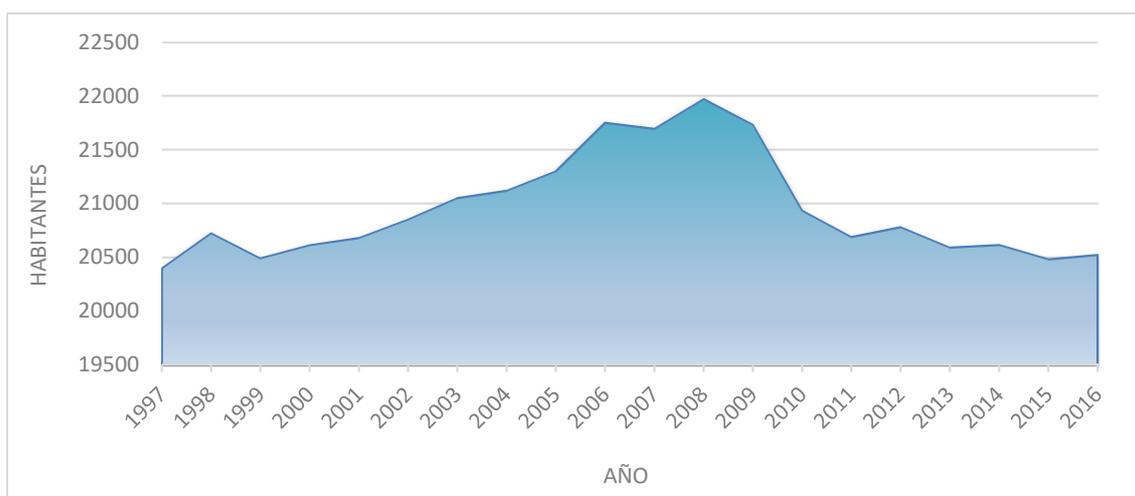


Fig. 2. Evolución de la demografía de Carcaixent.

### 1.3.3 Climatología

Carcaixent tiene un clima típicamente mediterráneo. Se ha procedido a estudiar los datos meteorológicos de los últimos años para tener un promedio coherente de la precipitación total además de temperaturas máximas, mínimas y medias. De la misma forma se ha procedido a evaluar los datos meteorológicos del año 2017 para poder ver las fluctuaciones de los mismos a lo largo de un año.

Año	Precipitación total (mm)	Temperatura mínima media (°C)	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura media (°C)
2006	434.9			
2007	876.8			
2008	567			
2009	894	3.9	30.7	14.8
2010	549.1	3.2	29.6	15.1
2011	500.5	5.4	31.8	16.5
2012	590.1	5.1	33.5	17.3
2013	432.2	5.8	31.2	17.3
2014	334.2	7.5	33.5	18.7
2015	647.4	6.7	34.5	18.3
2016	716.9	6.5	33.1	18.5
2017	373.8	6.9	33.5	18.9
Promedio	576.4	5.7	32.4	17.3

Tabla 1. Datos meteorológicos anuales.

Tiene inviernos templados y lluviosos debido a la característica suavizadora de temperatura que hace el mar. Los veranos son largos, secos y calurosos, con una media de temperaturas máximas de 32,4°C. Las precipitaciones presentan un elevado pico en otoño, siendo también éstas frecuentes en primavera.

En el ámbito de estudio las precipitaciones no resultan abundantes, marcando un valor medio anual de 576,4 mm, caracterizándose por su irregularidad, ya que se distingue por tener periodos de sequía intercalados con otros más húmedos.

Mes	Precipitación total (mm)	Temperatura mínima media (°C)	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura media (°C)
Enero	1,8	6,8	19,8	12,8
Febrero	4,5	6,2	20,5	13,0
Marzo	92,3	6,3	21,9	13,6
Abril	40,1	9,1	23,9	16,4
Mayo	17,1	11,9	27,2	19,4
Junio	2,9	15,9	32,5	24,3
Julio	0,1	18,9	34,2	26,6
Agosto	21,2	19,2	33,6	26,2
Septiembre	51,2	17,3	31,9	24,2
Octubre	15,1	15,1	27,2	20,3
Noviembre	105,1	7,8	20,6	13,6
Diciembre	365,4	7,2	16,9	11,4
Promedio	59,7	11,8	25,9	18,5

Tabla 2. Datos meteorológicos mensuales año 2017

## 2 DESCRIPCIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA

### 2.1 Introducción

Actualmente, el servicio de suministro de agua lo realiza el grupo Global Omnium/Aguas de Valencia. Dicha empresa gestiona los aspectos relacionados con la captación, tratamiento y distribución de agua potable en la ciudad de Valencia, así como en la mayoría de las poblaciones de su área metropolitana. Asimismo, también administra el Sistema Metropolitano de Abastecimiento que facilita el agua potable, en alta, a los municipios de diversas comarcas valencianas.

El abastecimiento de agua potable de la ciudad de Carcaixent parte de dos pozos, el Pozo de Font de la Parra y el Pozo de Calle Gandía, así como de una toma de agua del Sistema en Alta de la Ribera. Sin embargo, tras la actuación realizada para comenzar la captación desde el Sistema en Alta de la Ribera, el Pozo de la Calle Gandía ha dejado de utilizarse.

Existen tres depósitos en la red, el Depósito Viejo, el Depósito Nuevo y el Depósito de la Urbanización Los Amigos. El Depósito Viejo y el Depósito Nuevo se encuentran situados en serie y les llega el agua desde el Pozo Font de la Parra, el Pozo de la Calle Gandía y el Sistema en Alta de la Ribera. Ambos depósitos funcionan hidráulicamente como un único depósito, de manera que el agua llega primero al Depósito Viejo, y desde éste pasa por gravedad al Depósito Nuevo para a continuación distribuirse por gravedad a la población, excepto a la Urbanización Tiro de Pichón, a la que el agua llega mediante un grupo de presión que toma el agua de la tubería de distribución poco después de salir del Depósito Nuevo.

Al Depósito de la Urbanización de Los Amigos el agua le llega desde el Pozo Font de la Parra directamente, para posteriormente distribuirse por gravedad mediante un pequeño grupo de presión a la Urbanización denominada Los Amigos.

La siguiente imagen muestra los principales elementos de la red.

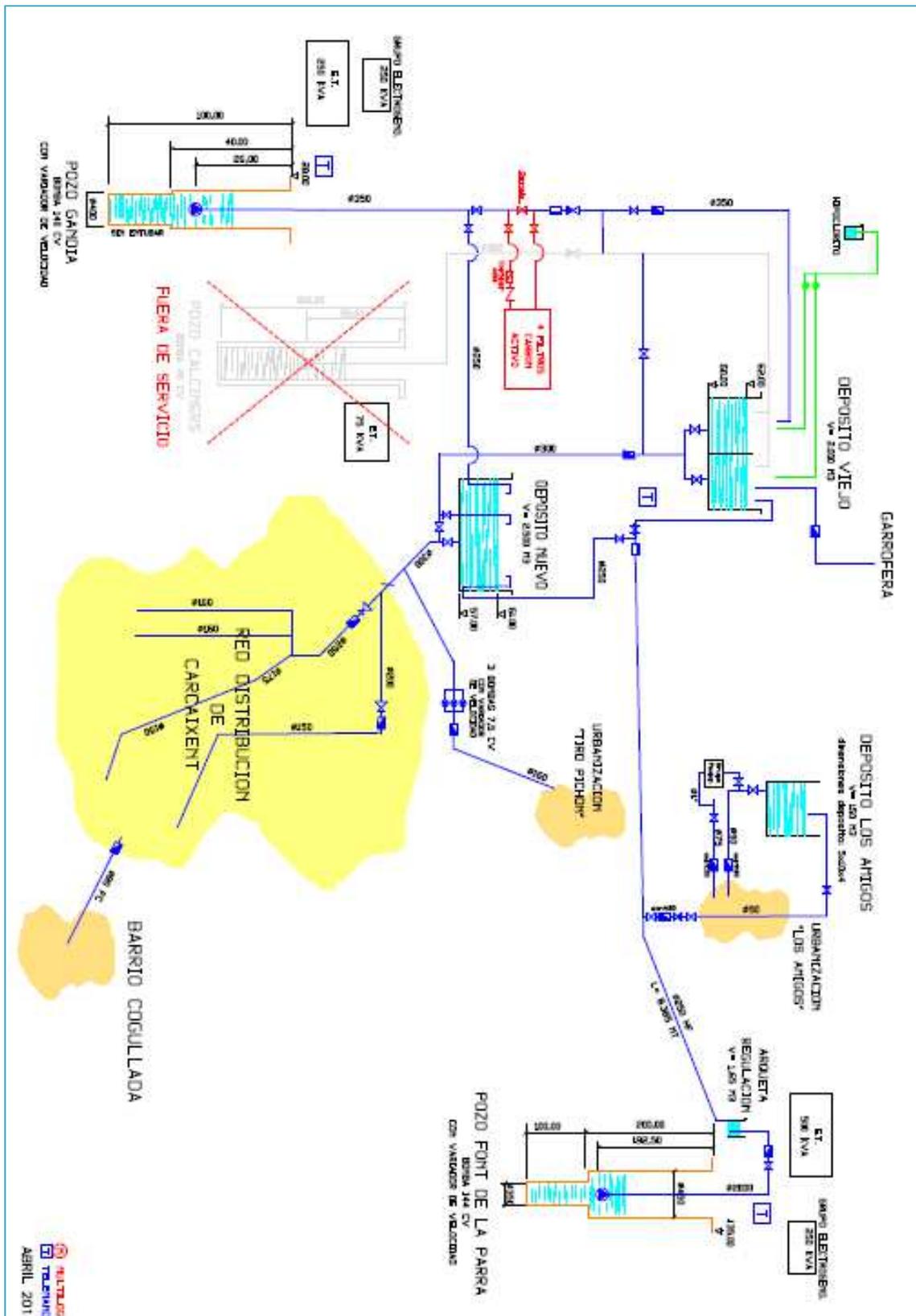


Fig. 3. Descripción de la red

La estructura de la red de suministro es mayoritariamente ramificada, distribuida en 14 sectores. La conducción que sale del Depósito Nuevo se bifurca a su vez en 2 conducciones, con cada una de ellas distribuyendo agua a una mitad de la población. Una vez llegan al primer sector correspondiente, el agua discurre por el sector hasta llegar al punto de salida del propio sector, el cual constituye el punto de entrada al sector siguiente y así sucesivamente discurrendo aguas abajo hasta el sector más alejado. Así mismo, cada sector tiene una estructura diferente, existiendo sectores más poblados que tienen estructura mallada y sectores menos poblados con estructuras ramificadas.

## 2.2 Captación

El abastecimiento de agua potable de la ciudad de Carcaixent parte de dos pozos, el Pozo de Font de la Parra y el Pozo de Calle Gandía, así como de una toma de agua del Sistema en Alta de la Ribera. El Pozo de Font de la Parra tiene un agua con un índice de nitratos muy bajo, mientras que el Pozo de la Calle Gandía tiene un alto índice de nitratos y plaguicidas, por lo que no se utiliza como captación habitual, quedando únicamente como captación de emergencia o para casos excepcionales.

En el año 2013 se realizó un estudio que demostraba que la cantidad de nitratos y plaguicidas en el agua de Carcaixent superaba los valores definidos por la OMS. En aquel momento, la ciudad de Carcaixent consumía 1.700.000 m<sup>3</sup> anuales de agua que procedían de los pozos mencionados anteriormente. El Pozo de la Font de la Parra aportaba 700.000 m<sup>3</sup> de agua de gran calidad, con una concentración de nitratos de 3 mg/l pero con un aforo insuficiente para las necesidades del municipio. El Pozo de la Calle Gandía era capaz de aportar grandes cantidades de agua, inyectando a la red 1.000.000 m<sup>3</sup> de agua de muy baja calidad, con un índice de nitratos de 103 mg/l y una contaminación por plaguicidas en aumento. En el año 2013, se construyó una planta de filtros de carbón activo para tratar el agua procedente del Pozo de la Calle Gandía, mediante la cual se eliminarían gran parte de los plaguicidas, pero la concentración de nitratos continuaba siendo muy alta.

Para reducir el nivel de los nitratos, las aguas procedentes de ambos abastecimientos se mezclaban en un gran depósito, de forma que se obtenía un agua con unos 65 mg/l de nitratos y restos de herbicidas por debajo de los mínimos establecidos.

Con el objetivo de eliminar el problema de los nitritos se redactó un proyecto de abastecimiento de agua a distintos municipios de la Ribera impulsado por la Consellería, el cual incluía una red de depósitos y conducciones que llevarían agua de calidad procedente del Júcar, tratada posteriormente en una planta potabilizadora y con un índice de nitratos de unos 7 mg/l.

En enero de 2014, se dispone de una toma de agua del Sistema en Alta de la Ribera, la cual proporciona agua del canal Júcar-Turia. Esta agua es tratada en una potabilizadora situada en el municipio de La Garrofera. Tras esta nueva actuación, el Pozo de la Calle Gandía dejó de utilizarse para el abastecimiento humano, ya que el volumen de agua que se captaba desde este pozo a la red pasó a captarse desde la nueva potabilizadora que recibía agua del canal Júcar-Turia.

A continuación, se detallan las principales características de los pozos:

### 2.2.1 Pozo Font de la Parra

Este pozo tiene un agua de buena calidad, libre de nitratos y plaguicidas. Además, se aprovecha la totalidad del agua disponible, ya que la bomba trabaja durante las 24 horas del día sin interrupción.

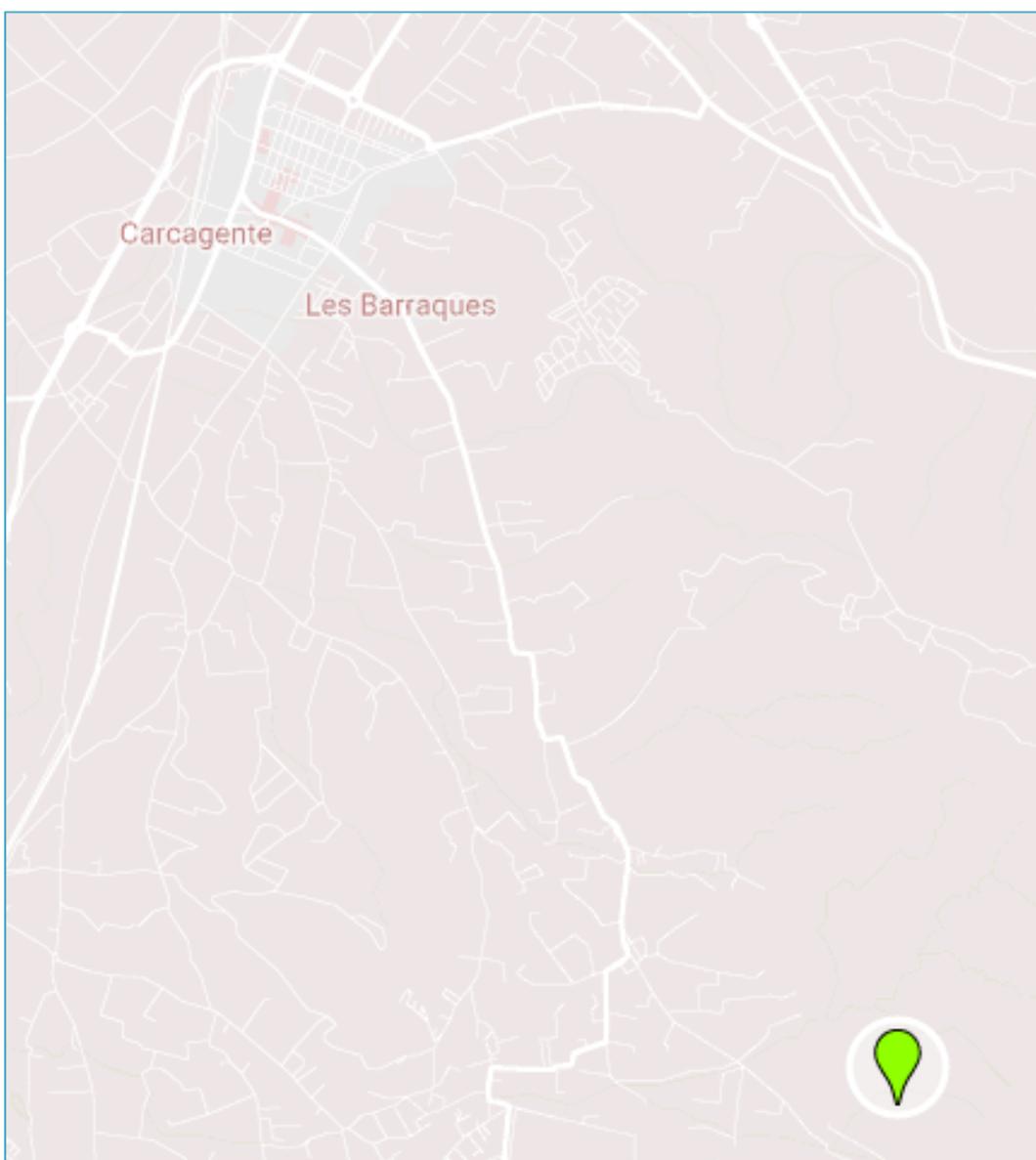
Datos perforación:

- Profundidad del pozo: 300 metros.
- Diámetro del pozo: 350-450 milímetros.
- Caudal aforo del pozo: 1.500 lpm.
- Coordenadas UTM: X (724649), Y (4327458), Z (135msn).
- Tipo: Sondeo entubado.
- Ubicación: Se encuentra ubicado en el paraje denominado “Font de la Parra” a unos 7 Km al S.E de la población de Carcaixent. Es una zona declarada de posibles focos de plaguicidas y zona de riesgo a contaminación por nitratos.
- Volumen de agua captada: 1.900 m<sup>3</sup>/día
- Arqueta regulación: Si, con un volumen de 1,65 m<sup>3</sup>.
- Protección: La captación se encuentra en un recinto cerrado y vallado perimetralmente.
- Señalización: El pozo se encuentra en un recinto señalado como punto de captación de agua para consumo humano.
- Lugar de destino del agua captada: Depósitos de Carcaixent y Depósito Los Amigos.
- Longitud y material de la conducción: 8.385 m. Fundición Dúctil.
- Existencia de tratamiento: No.

#### Datos equipo bombeo.

- Profundidad aspiración: 192 metros.
- Diámetro de la tubería de impulsión: 200 milímetros.
- Bomba: INDAR 252-6
- Potencia equipo: 144 CV
- Existe equipo reserva: Sí
- Existe contador de control: Sí
- Instalación telemandada: Sí

#### Detalle del emplazamiento del pozo:



*Fig. 4. Emplazamiento Pozo Font de la Parra*



*Fig. 5. Equipo bombeo Font de la Parra.*

### 2.2.2 Pozo Calle Gandía

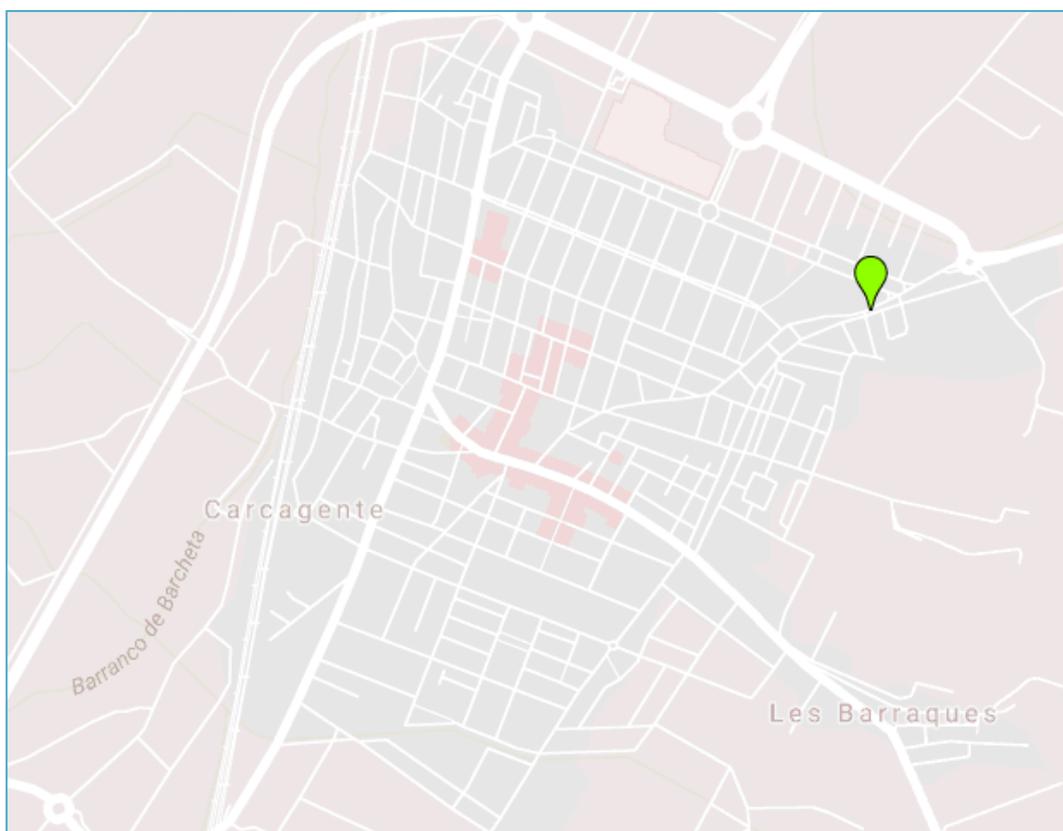
Este pozo se utiliza muy poco desde que se recibe agua del Sistema en Alta de la Ribera. Solamente se pone en marcha una hora a la semana por mantenimiento.

Datos de la perforación:

- Profundidad del pozo: 100 metros.
- Diámetro del pozo: 400 milímetros.
- Caudal aforo del pozo: 2.800 lpm.
- Coordenadas UTM: X (721553), Y (4333753), Z (28msn).
- Tipo: Sondeo entubado.
- Ubicación: Se encuentra ubicado dentro del núcleo urbano, al final de la Av. Gandía de Carcaixent. En zona declarada de posibles focos de plaguicidas y zona de riesgo a contaminación de nitratos.

- Volumen de agua captada: 0 m<sup>3</sup>/día. Actualmente la captación solamente se utiliza para casos extraordinarios. Se pone en marcha solo por mantenimiento.
- Protección: Recinto cerrado.
- Señalización: El pozo se encuentra en un recinto señalado como punto de captación de agua para consumo humano.
- Lugar de destino del agua captada: Depósitos de Carcaixent.
- Longitud y material de la conducción: 750 m. Acero y Fibrocemento
- Existencia de tratamiento: Sí. Filtros de carbón activo.

Detalle del emplazamiento del pozo:



*Fig. 6 Emplazamiento Pozo Calle Gandía*

Datos equipo bombeo.

- Profundidad aspiración: 100 metros.
- Diámetro de la tubería de impulsión: 350 milímetros.
- Bomba: INDAR 345-2
- Potencia equipo: 140 CV
- Existe equipo reserva: Sí

- Existe contador de control: Sí
- Instalación telemandada: Sí



*Fig. 7 Equipo bombeo Pozo Calle Gandía*

## 2.3 Almacenamiento

Carcaixent cuenta con tres depósitos: Depósito Viejo, Depósito Nuevo y Depósito de la Urbanización Los Amigos. Hay dos depósitos a los que llega el agua desde los pozos Font de la Parra y el Pozo de la Calle Gandía, el Depósito Viejo de 2.000 m<sup>3</sup> de capacidad y el Depósito Nuevo de 2.500 m<sup>3</sup> de capacidad, los cuales se encuentran situados en serie uno a continuación del otro en la misma parcela. Ambos depósitos funcionan hidráulicamente como un único depósito, de manera que el agua llega primero al Depósito Viejo, y desde éste pasa por gravedad al Depósito Nuevo para a continuación distribuirse por gravedad a la población, excepto a la Urbanización Tiro de Pichón, a la que el agua llega mediante un grupo de presión que toma el agua de la tubería de distribución poco después de salir del Depósito Nuevo.

Al depósito restante el agua le llega desde el Pozo Font de la Parra directamente, para posteriormente distribuirse por gravedad mediante un pequeño grupo de presión a la Urbanización denominada Los Amigos.

Actualmente el volumen medio de agua distribuida diariamente en la red de Carcaixent es de 3.500 m<sup>3</sup>, de los cuales 1.900 m<sup>3</sup> proceden del Pozo Font de la Parra y el resto, es decir, 1.600 m<sup>3</sup> proceden del Sistema en Alta de la Ribera.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, desde que se ha comenzado a utilizar el agua del Sistema en Alta de la Ribera se ha dejado de utilizar el Pozo de la Calle Gandía, el cual ha quedado como reserva para emergencias y actualmente sólo se pone en marcha una hora a la semana para mantenimiento del sistema y para que siga en servicio ante cualquier emergencia.

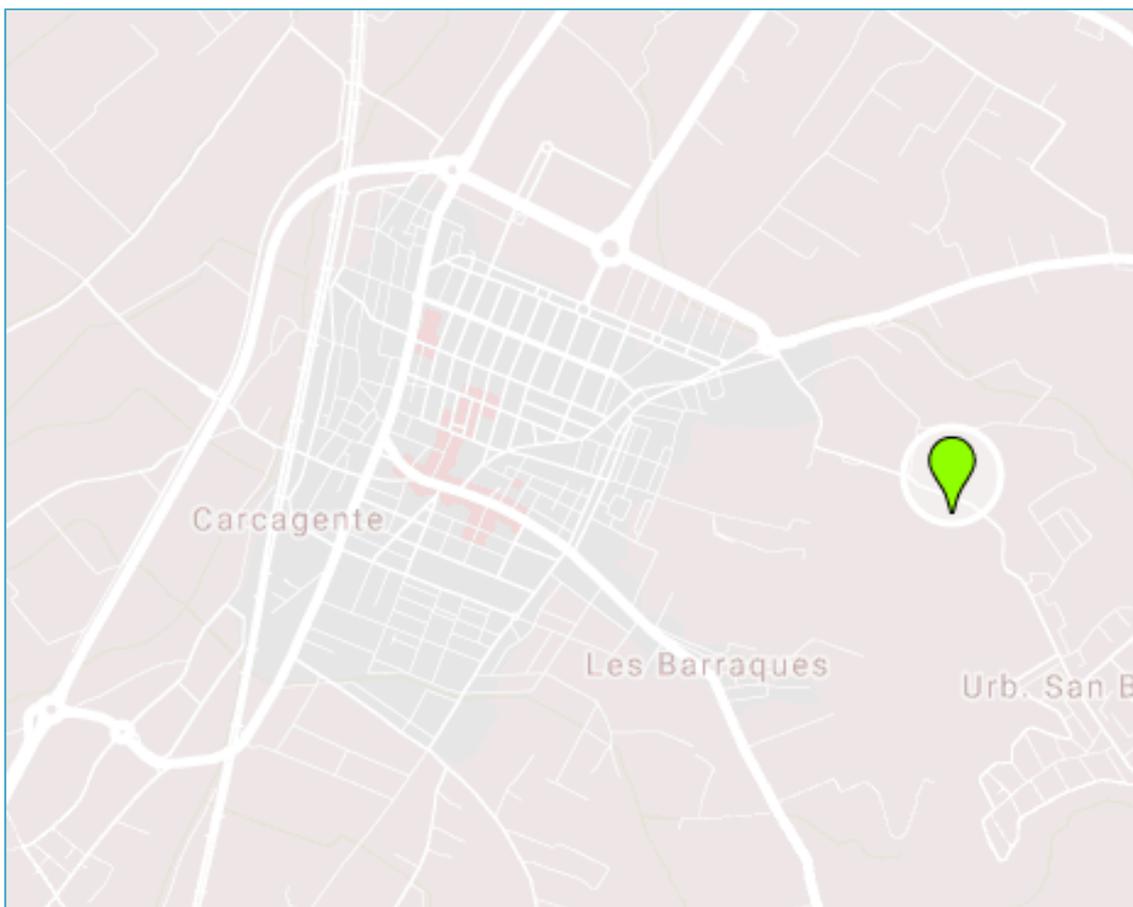
A continuación, se detallan las características particulares de los depósitos del sistema.

### 2.3.1 Depósito viejo

El Depósito Viejo recibe agua del Pozo Font de la Parra, del SAR y del Pozo de Gandía.

Datos situación:

- Ubicación: En la misma parcela donde se encuentran la Planta de Filtros y el Depósito Nuevo.
- Coordenadas: X (722131), Y (4333352), Z (62msn).
- Parcela vallada: Sí.
- Superficie de la parcela: 4.750 m<sup>2</sup>.
- Procedencia y destino del agua: El agua que llega al depósito procede de la compra de agua al Sistema en Alta de la Ribera, S.A.R., y de los Pozos Font de la Parra y Pozo Gandía (de este último solamente un pequeño aporte por mantenimiento), y el destino del agua es el Depósito Nuevo de Carcaixent.
- Señalización: Sí.



*Fig. 8 Emplazamiento Depósito Viejo*

#### Características del depósito:

- Tipo: Semienterrado.
- Función: Depósito de cabecera y regulación.
- Características: Este depósito tiene una capacidad de 2.000 m<sup>3</sup>; está compartimentado en dos vasos con sus desagües de fondo.
- Volumen de agua tratada: 3.500 m<sup>3</sup>/día
- Altura lámina agua: 2 m
- Existencia de tratamiento y punto de dosificación: Mediante dos bombas dosificadoras instaladas en el mismo depósito, en la entrada.
- Materiales de construcción: Hormigón.
- Sustancias empleadas: Hipoclorito sódico en solución acuosa con 150 gramos de cloro activo por litro, apto para el tratamiento de agua de consumo humano.
- Existe contador de control: Sí.
- Instalación telemandada: Sí.



*Fig. 9 Depósito Viejo*

### *2.3.2 Depósito nuevo*

El Depósito Nuevo es el que abastece a la población. Recibe el agua desde el Depósito Viejo.

Datos de la situación:

- Ubicación: En la misma parcela donde se encuentran la Planta de Filtros y el Depósito Nuevo.
- Coordenadas: X (722053), Y (4333366), Z (54msn).
- Parcela vallada: Sí.
- Superficie de la parcela: 4.750 m<sup>2</sup>
- Procedencia y destino del agua: El agua que llega al depósito nuevo procede del depósito viejo y su destino es la red de distribución de Carcaixent.
- Señalización: Sí.

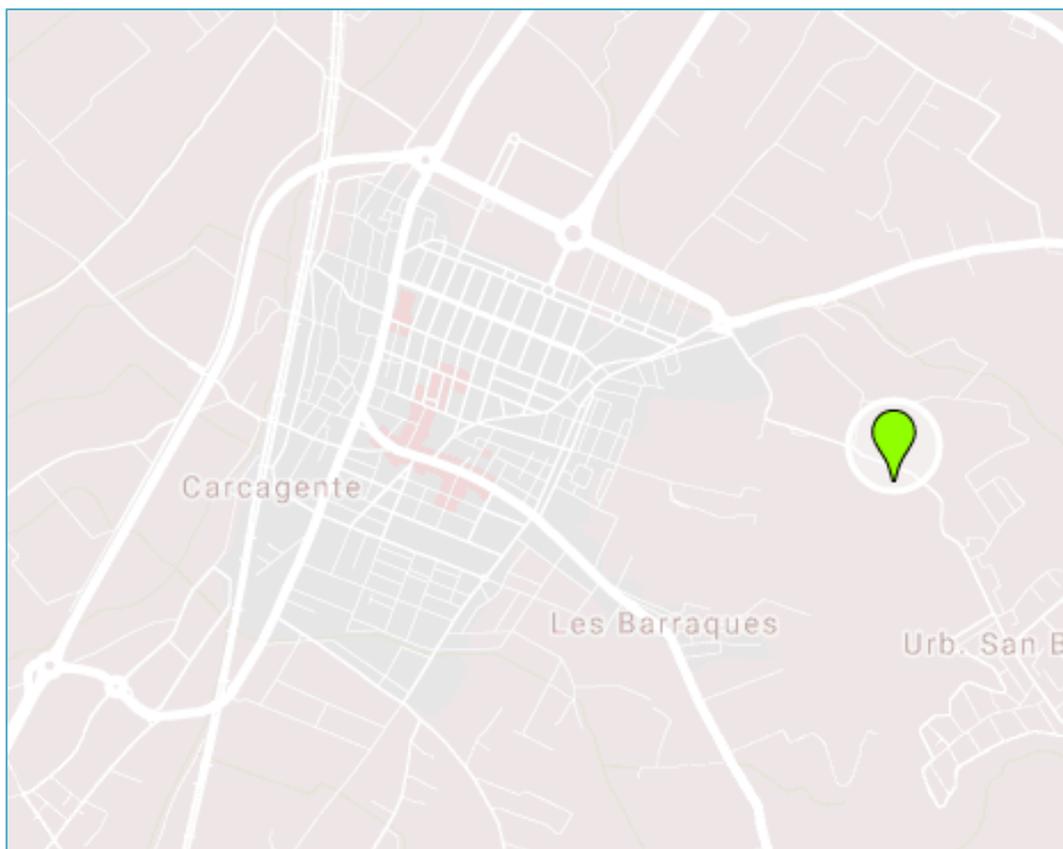


Fig. 10 Emplazamiento Depósito Nuevo

Características del depósito:

- Tipo: Semienterrado.
- Función: Depósito de cabecera y regulación.
- Características: Este depósito tiene una capacidad de 2.500 m<sup>3</sup>; no está compartimentado, por lo que se compone de un solo vaso con su desagüe de fondo.
- Volumen de agua tratada: 3.500 m<sup>3</sup>/día
- Altura lámina agua: 4 m
- Existencia de tratamiento y punto de dosificación: Sí. Hipoclorito sódico mediante una bomba dosificadora. Se utiliza solamente cuando se paran las bombas dosificadoras instaladas en el Depósito Viejo, por mantenimiento o limpieza.
- Materiales de construcción: Hormigón.
- Sustancias empleadas: Hipoclorito sódico en solución acuosa con 150 gramos de cloro activo por litro, apto para el tratamiento de agua de consumo humano.
- Existe contador de control: Sí.

- Instalación telemandada: Sí.



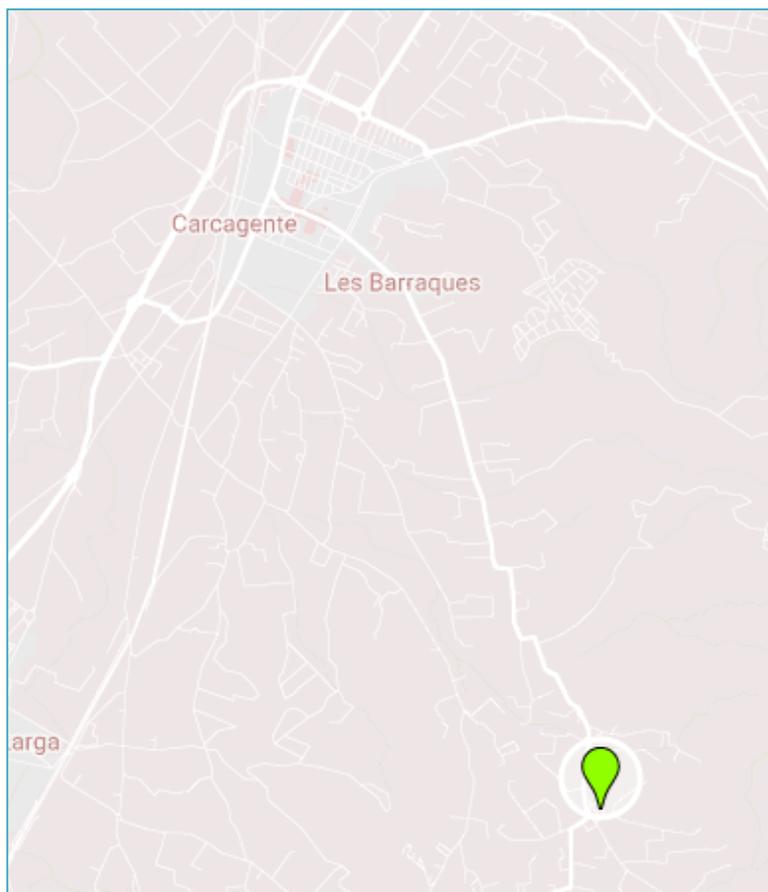
*Fig. 11 Depósito Nuevo*

### *2.3.3 Depósito de la Urbanización de los Amigos*

Este depósito recibe el agua del Pozo Font de la Parra.

Datos de la situación:

- Ubicación: En la parte más alta de la urbanización Los Amigos.
- Coordenadas: X (722970), Y (4328947), Z (97msn).
- Parcela vallada: Sí.
- Superficie de la parcela: 216 m<sup>2</sup>
- Procedencia y destino del agua: El agua llega desde el pozo Font de la Parra y su destino es la Red de distribución de la Urbanización Los Amigos.
- Señalización: Sí.



*Fig. 12 Emplazamiento Depósito de la Urbanización de los Amigos*

#### Características del depósito:

- Tipo: Semienterrado.
- Función: Depósito de cabecera y regulación.
- Características: Este depósito tiene una capacidad de 150 m<sup>3</sup>; no está compartimentado, por lo que se compone de un vaso con su desagüe de fondo.
- Volumen de agua tratada: 4,3 m<sup>3</sup>/día.
- Altura lámina agua: 2 m.
- Existencia de tratamiento y punto de dosificación: Sí. Hipoclorito sódico mediante una bomba dosificadora.
- Materiales de construcción: Hormigón.
- Sustancias empleadas: Hipoclorito sódico en solución acuosa con 150 gramos de cloro activo por litro, apto para el tratamiento de agua de consumo humano.
- Existe contador de control: Sí.
- Instalación telemandada: Sí.



*Fig. 13 Depósito de la Urbanización de los Amigos*

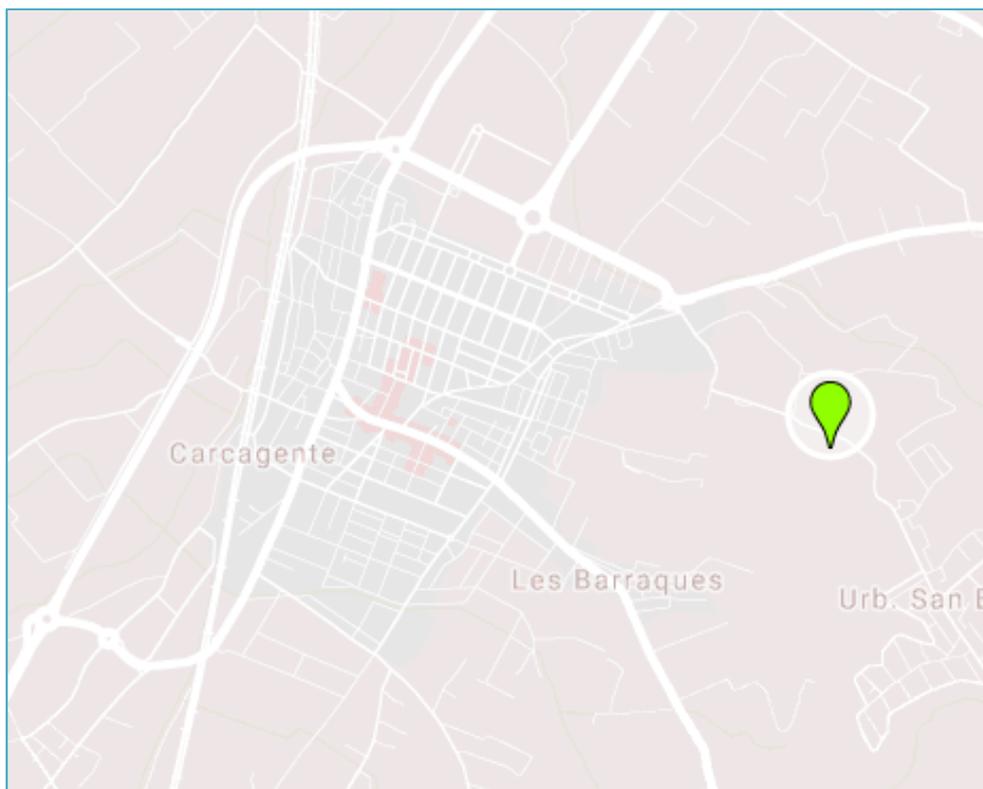
## 2.4 Estaciones de tratamiento

### 2.4.1 Planta Filtros Carbón Activo

Se trata de una planta diseñada para tratar el agua del Pozo Gandía. Esta planta se utiliza solamente una hora a la semana, junto con el Pozo Gandía, por mantenimiento.

Datos situación:

- Ubicación: Junto a los depósitos de Carcaixent.
- Coordenadas UTM: X (722097), Y (4333351), Z (58msn).
- Parcela vallada: Sí.
- Superficie de la parcela: 4750 m<sup>2</sup>.
- Procedencia y destino del agua: Agua procedente del pozo de Gandía con destino el depósito de Carcaixent para consumo de la población.
- Longitud y material de la conducción: 50 m. Fundición y PVC.



*Fig. 14 Emplazamiento Planta de Filtros de Carbón Activo*

Datos característicos de la estación:

- Proceso tratamiento: Filtración Carbón Activo
- Capacidad tratamiento: 4.800 m<sup>3</sup>/día.
- Principales parámetros a eliminar: Plaguicidas.
- Número de líneas de proceso: 1
- Volumen de agua tratada: 0 m<sup>3</sup>/día. Actualmente la planta solamente se utiliza solidariamente con el Pozo Gandía para casos extraordinarios. Se pone en marcha solo por mantenimiento.
- Existe contador de control: Sí.
- Instalación telemandada: No.



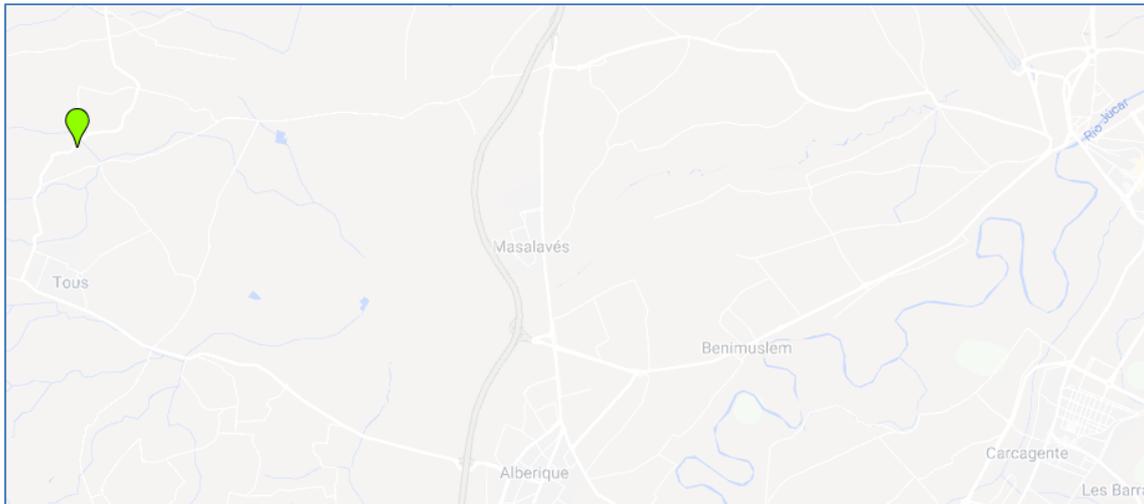
*Fig. 15 Planta de Filtros de Carbón Activo*

#### 2.4.2 ETAP Alzira

Se trata de una planta diseñada para tratar el agua procedente de la toma de agua del Sistema en Alta de la Ribera

Datos situación:

- Ubicación: Al oeste de la población de Carcaixent.
- Coordenadas UTM: X (708568), Y (4336486), Z (77msn).
- Parcela vallada: Sí.
- Procedencia y destino del agua: Agua procedente la toma de agua del Sistema en Alta de la Ribera con destino las poblaciones de la comarca de la Ribera.



*Fig. 16. Emplazamiento ETAP Alzira*

Datos característicos de la potabilizadora:

- Capacidad tratamiento: 86.400 m<sup>3</sup>/día.
- Tipo de tratamiento: Decantación, Filtración de arena, Línea de Fangos.



*Fig. 17 Potabilizadora de Alzira*

## 2.5 Materiales y diámetros

La red de abastecimiento de agua potable tiene una longitud aproximada de 78 km.

### 2.5.1 Materiales

En general es una red heterogénea, debido a las diferentes épocas de construcción. Esto repercute en conducciones de diversos materiales, pudiendo ser de PVC, Fibrocemento o Hierro Galvanizado.

Material	Longitud (m)
PVC	37.841,8
Fibrocemento	37.868,5
Hierro galvanizado	2.536,9

Tabla 3 Materiales de las tuberías de la red

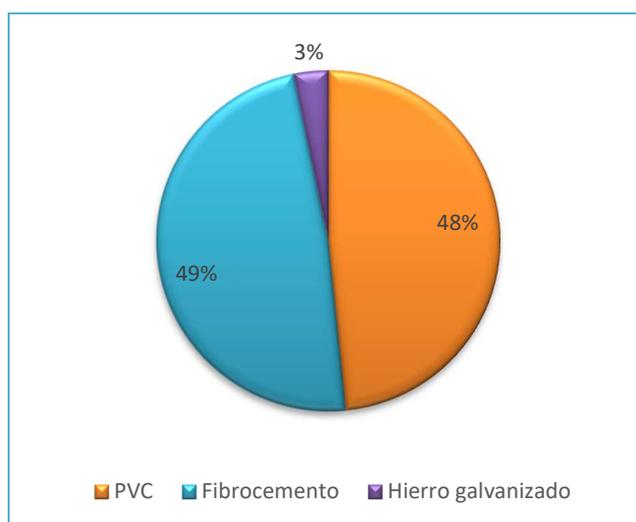


Fig. 18 Distribución de materiales de las tuberías de la red

### 2.5.2 Diámetros

El rango de diámetros existentes en la red es muy variado. La distribución es la siguiente:

Diámetro (mm)	Longitud (m)
$D < 100$	44.108,72
$100 \leq D \leq 150$	18.772,79
$D > 150$	15.365,67

Tabla 4 Diámetros de las tuberías de la red

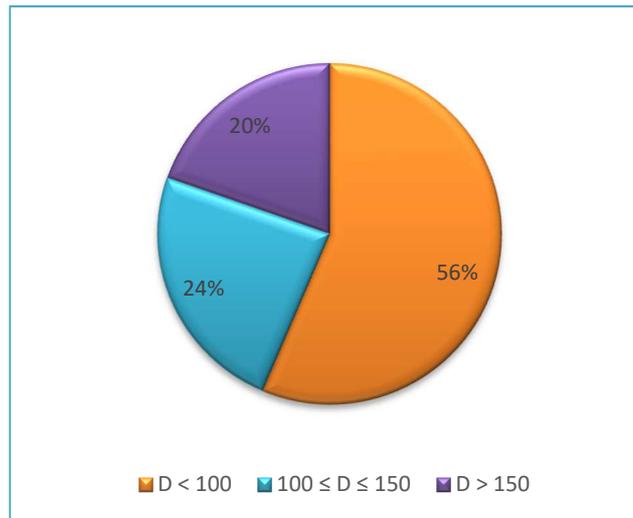
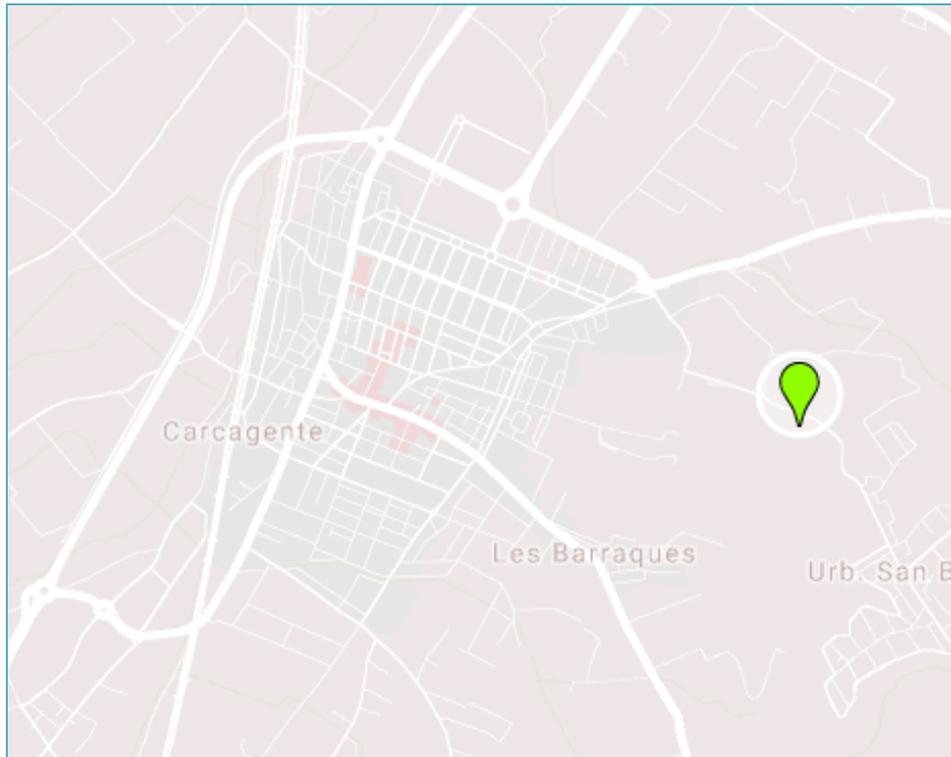


Fig. 19 Distribución de diámetros de las tuberías de la red

## 2.6 Puntos de entrega

Dado que el Gestor del Suministro en Alta de la Ribera y el Gestor del Abastecimiento de Carcaixent es el mismo (AGUAS DE VALENCIA, S.A.), no podemos considerar que exista un punto de entrega como tal. A pesar de esto, a continuación, se describen los datos del punto donde se realiza la entrega de dicha compra.

- Datos situación.
  - o Ubicación: Junto al Depósito Viejo
  - o Coordenadas: X (722119), Y (4333337), Z (61msn).
  - o Parcela vallada: Sí.
  - o Superficie de la parcela: 4.750 m<sup>2</sup>
  - o Señalización: Sí.
  - o Volumen de agua recibida: 1.600 m<sup>3</sup>/día
  - o Existe contador control: Sí.
  - o Instalación telemandada: Sí.



*Fig. 20 Emplazamiento punto de entrega*



*Fig. 21 Punto de entrega*

## 2.7 Abonados

La distribución del número total de abonados en las diferentes zonas de facturación de la red es el siguiente:

Zona de facturación	Número de abonados
Carcaixent	20.147
Cogullada	228
Urbanización Tiro Pichón	107
Urbanización Los Amigos	38

*Tabla 5 Distribución abonados*

## 2.8 Sectorización

La red de distribución de agua de Carcaixent se distribuye en 15 sectores. Tal y como se ha explicado anteriormente, la conducción que parte del Depósito Nuevo se bifurca aguas abajo en dos conducciones. Una de ellas abastece a la mitad superior de la población (sectores 1,2,3,4,5,6,8B,9) y la otra a la mitad inferior de la población (sectores 7,8B,10,11,12,13,14), siendo estas zonas son totalmente independientes entre sí. El agua llega por tanto al sector 4 y al sector 11 y a partir de éstos se va distribuyendo de sector a sector mediante una estructura ramificada, existiendo sólo 1 punto de entrada y 1 punto de salida de agua para cada sector. Sin embargo, existen válvulas de control que interconexionan sectores, de forma que abriéndolas se podría crear una estructura mallada para evitar posibles problemas de suministro causados por averías o anomalías en la red.

Dichos sectores son los siguientes:

- Sector 1: Decathlon
- Sector 2: Eroski-Piscina
- Sector 3: Santa Bárbara
- Sector 4: Joan XXIII
- Sector 5: Vidal Canet
- Sector 6: Mercat
- Sector 7: San Antonio
- Sector 8A: Jaume I

- Sector 8B: Echegaray
- Sector 9: Joanot Martorell
- Sector 10: Sanchis Guarner.
- Sector 11: Les Barraques
- Sector 12: Av. Germanies
- Sector 13: Gaianes
- Sector 14: Cogullada

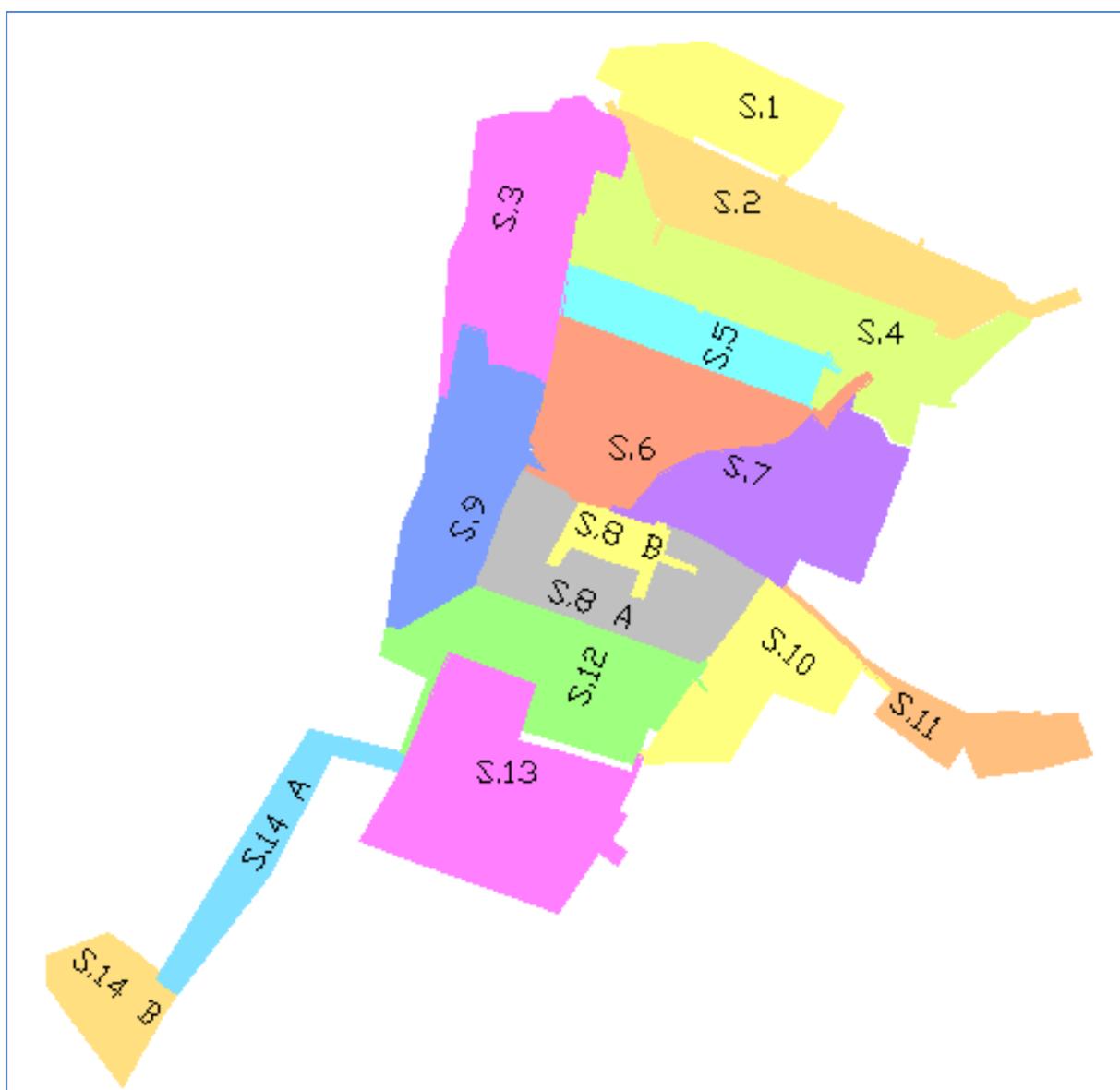


Fig. 22 Sectores de la red de distribución de Carcaixent

### 3 BALANCE HÍDRICO DEL ABASTECIMIENTO

Cuando se realiza un análisis del abastecimiento de agua potable de una población basado en un Modelo Matemático, resulta imprescindible establecer el balance hídrico del abastecimiento, que consiste en conocer los volúmenes de agua inyectados, volúmenes registrados, diferencia entre ambos y rendimientos volumétricos.

Por una parte, los volúmenes inyectados se conocen a partir de los datos que arrojan los contadores existentes. Por otra parte, los volúmenes registrados se obtienen a partir de los datos de facturación. El rendimiento volumétrico se definirá como la relación entre el volumen registrado y el volumen inyectado. En nuestro caso no se dispone de información acerca de los datos de facturación, por lo que no se podrá obtener el rendimiento volumétrico.

#### 3.1 Volúmenes de agua inyectados

A partir de los datos aportados por la empresa, se analiza el volumen anual de agua inyectado correspondiente al año 2016. Tal y como se ha indicado anteriormente se inyecta agua a la red desde dos puntos, el Pozo Font de la Parra y el sistema SAR

Mes	Volumen inyectado Pozo Font de la Parra (m3)	Volumen inyectado SAR (m3)	Volumen inyectado Total (m3)
Enero	57.240	51.741	108.981
Febrero	64.360	45.162	109.522
Marzo	48.870	77.368	126.238
Abril	59.490	81.394	140.884
Mayo	54.190	79.614	133.804
Junio	59.260	101.220	160.480
Julio	49.750	104.295	154.045
Agosto	53.280	112.621	165.901
Septiembre	58.270	114.911	173.181
Octubre	49.570	63.072	112.642
Noviembre	48.900	66.183	115.083
Diciembre	54.490	58.236	112.726
<b>TOTAL</b>	<b>600.430</b>	<b>955.817</b>	<b>1.613.487</b>
Promedio	54.806	79.651	134.457

Tabla 6 Volúmenes de agua mensuales inyectados en la red en 2016

Se puede apreciar como de media el volumen inyectado por el SAR es ligeramente superior que al inyectado desde el Pozo de la Font de la Parra.

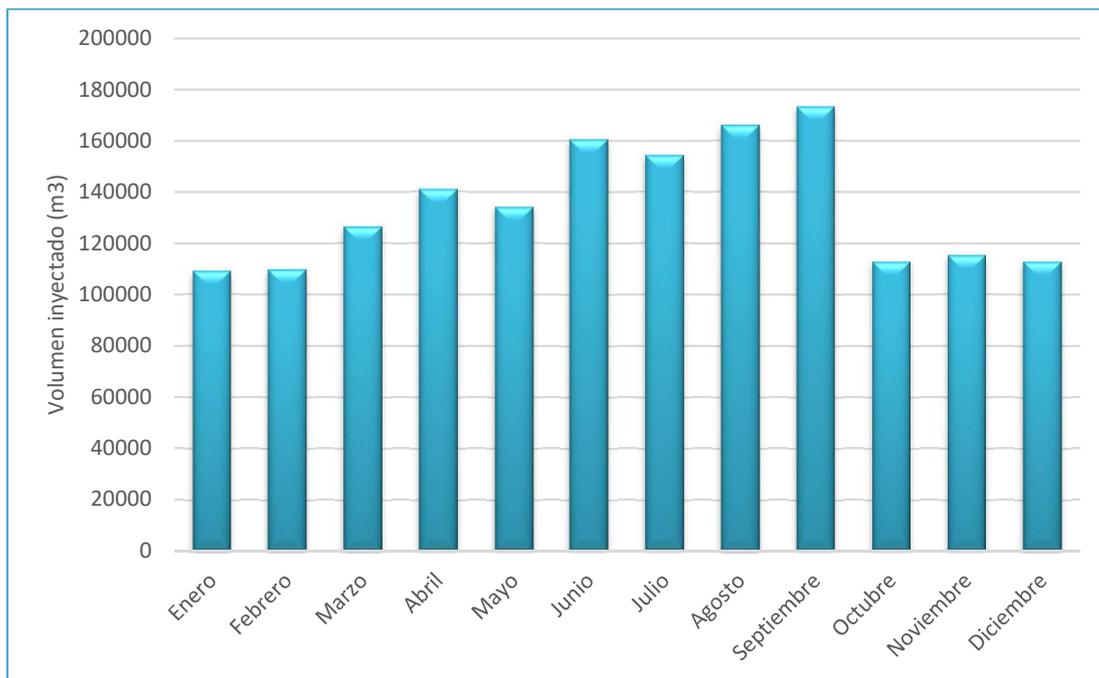


Fig. 23 Volúmenes de agua mensuales inyectados en la red en 2016

En verano el volumen inyectado es bastante superior que el resto de meses del año, siendo bastante estable en éstos últimos.

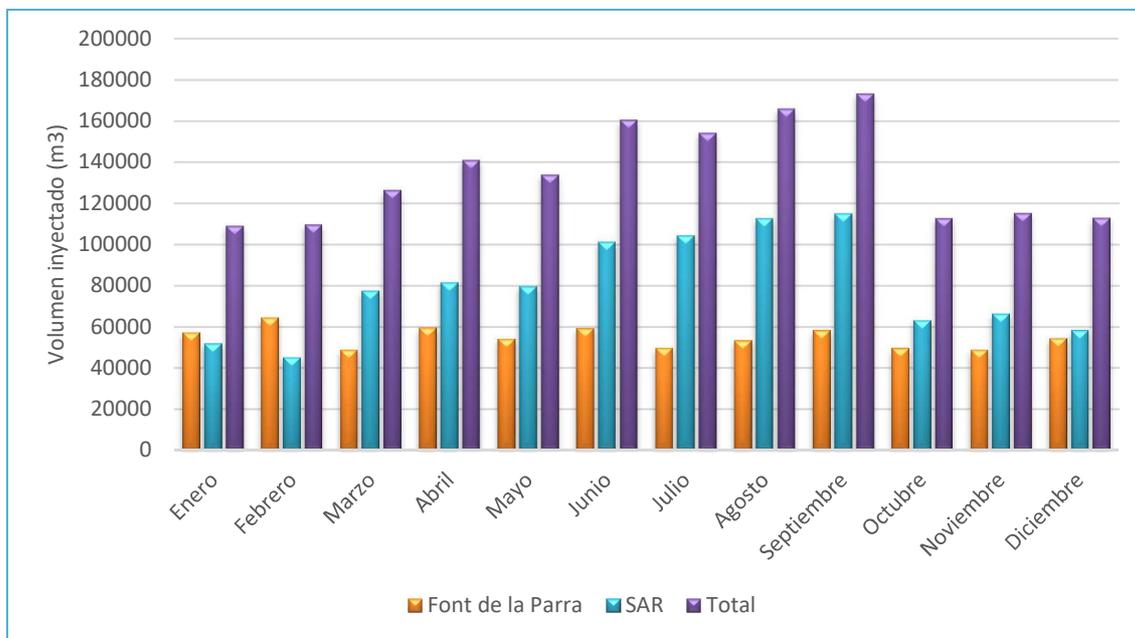


Fig. 24 Volúmenes de agua mensuales inyectados en la red en 2016 por puntos de entrada

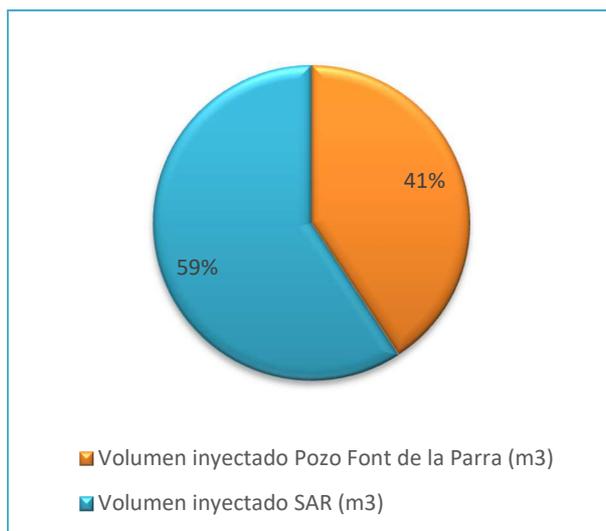


Fig. 25 Volúmenes de agua mensuales inyectados en la red en 2016 por puntos de entrada

Se observa como el volumen de agua inyectado desde el SAR es mayor que el inyectado desde el Pozo Font de la Parra, especialmente en los meses de verano.

### 3.2 Asignación de la demanda

Para proceder al cálculo de la demanda base se podrían utilizar los datos de los contadores que registran el caudal de entrada a cada sector. La empresa Aguas de Valencia ha facilitado los datos de caudal medidos en todos los contadores durante 30 días de verano (del 17 de julio al 15 de agosto) de 2017. En la siguiente tabla se puede observar un ejemplo de los datos disponibles para cada uno de los contadores.

SECTOR 6		
Fecha	Hora	Caudal
17-7-16	0:00	14,74
17-7-16	1:00	11,12
17-7-16	2:00	10,12
17-7-16	3:00	9,53
17-7-16	4:00	9,63
17-7-16	5:00	10,59
17-7-16	6:00	14,99
17-7-16	7:00	20,39
17-7-16	8:00	27,18
17-7-16	9:00	30,49
17-7-16	10:00	30,01
17-7-16	11:00	30,01
17-7-16	12:00	27,79

Tabla 7 Datos del contador del sector 6

Con la información de partida disponible, tenemos los datos de caudal de todos los sectores de la red en un periodo de 30 días por cada hora, por lo que se puede obtener un volumen inyectado medio para cada sector por día:  $V_{iny\_medio}$  (m<sup>3</sup>/día). De esta forma, para la obtención de la demanda base de cada uno de los nudos bastaría con que dividir este volumen inyectado medio obtenido por el número de nudos.

Sin embargo, este método se ha descartado ya que en este modelo se van a considerar fugas, y no es posible su cálculo con los datos de lectura de los contadores durante 30 días de verano del año 2016 y los datos de entrada de agua al sistema que conocemos, ya que temporalmente no coinciden unos con otros. Por lo tanto, los consumos de las viviendas se han definido considerando unos datos de población estimada en cada sector y una dotación asignada.

Para el cálculo de la población estimada existente en cada sector se ha empleado un índice poblacional, ya que el número de habitantes no se considera directamente proporcional al número de nudos de los sectores debido a las diferentes tipologías de edificios o áreas verdes de cada sector. Por lo tanto, el número de habitantes de cada sector se obtiene con el número de habitantes total de la población, el número de nudos total de la red, el índice poblacional (en función de la tipología de edificios en el sector) y el número de nudos de cada sector.

$$H_{sector} = \frac{N_{sector} * H_{total} * Ip}{N_{total}}$$

Donde:

- $H_{sector}$ : Número habitantes estimados de cada sector.
- $N_{sector}$ : Número de nudos de cada sector.
- $H_{total}$ : Número de habitantes totales de la población.
- $N_{total}$ : Número de nudos totales de la red.
- $Ip$ : Índice poblacional para cada sector.

Por lo que respecta a la dotación, se va a considerar una dotación estándar de 160 l/hab/día para toda la red, valor publicado por el INE (Instituto Nacional de Estadística) para la Comunidad Valenciana en 2016 (valor más actualizado según el INE), y que se considera un valor normal. Una vez obtenida la población estimada para cada sector y con el valor de la dotación estándar conocido, es posible el cálculo de la demanda base para cada sector. Los valores de demanda base que se asignan a cada sector están definidos en la siguiente tabla.

$$Demanda\ base\ (lps) = \frac{Dotación * H_{sector}}{N_{sector} * 86400}$$

Sector	Nudos	Índice poblacional	Población estimada	Dotación media estándar (l/hab/día)	Demanda base (l/s)
Sector 1	32	0,7	316	160	0,0183
Sector 2	108	0,7	1.067	160	0,0183
Sector 3	133	0,8	1.502	160	0,0209
Sector 4	132	0,9	1.677	160	0,0235
Sector 5	122	1,3	2.238	160	0,0340
Sector 6	184	1,3	3.376	160	0,0340
Sector 7	131	1,3	2.403	160	0,0340
Sector 8a	113	1,1	1.754	160	0,0287
Sector 8b	46	1,3	844	160	0,0340
Sector 9	114	1,2	1.931	160	0,0314
Sector 10	89	0,8	1.005	160	0,0209
Sector 11	32	0,7	316	160	0,0183
Sector 12	104	0,8	1.174	160	0,0209
Sector 13	82	0,6	694	160	0,0157
Sector 14	32	0,6	271	160	0,0157

Tabla 8 Cálculo de la demanda base para cada sector

### 3.3 Balance hídrico

El balance hídrico del sistema se puede definir como el equilibrio entre las entradas y salidas de agua en el mismo. La entrada de agua en el sistema es el volumen total de agua inyectado total, el cual se obtiene mediante la suma del volumen inyectado desde el Pozo Font de la Parra y desde el SAR. La principal salida de agua del sistema está constituida básicamente por los consumos de agua, tanto los consumos privados de las viviendas, así como los posibles consumos públicos de jardines, fuentes y edificios públicos. Sin embargo, existen otro tipo de salidas del sistema que hay que tener en cuenta, ya que en todas las redes se producen fugas, las cuales pueden llegar a representar un porcentaje significativo de consumo. Por lo tanto, para realizar el balance hídrico del sistema habría que restarle al Volumen total inyectado, todas las posibles salidas (consumos y fugas).

Mes	Volumen inyectado Total (m3)
Enero	108.981
Febrero	109.522
Marzo	126.238
Abril	140.884
Mayo	133.804
Junio	160.480
Julio	154.045
Agosto	165.901
Septiembre	173.181
Octubre	112.642
Noviembre	115.083
Diciembre	112.726
Promedio	134.457

Tabla 9 Volumen total inyectado en la red cada mes

Sin embargo, no se dispone de datos de consumo registrados en las viviendas, por lo que no es posible realizar un balance hídrico real del sistema. El único balance hídrico que se podría realizar sería considerando la dotación indicada anteriormente de 160 l/hab/día, con lo que se estimaría un volumen consumido total de la red de 98.496 m<sup>3</sup> en un periodo de 30 días (considerando un mes). El balance hídrico que se obtendría sería el siguiente:

Vinyectado/mes promedio (m3)	134.457
Vconsumido/mes promedio (m3)	98.496
Volumen fugas y robos/mes promedio (m3)	35.961
Rendimiento	73,25%

Tabla 10 Balance hídrico estimado

Con todo esto, se estima un rendimiento aproximado de la red de un 73,25 %, el cual puede parecer un valor cercano a la realidad, pero que como ya hemos indicado anteriormente, no tiene por qué corresponderse con la realidad, es simplemente una estimación.

### 3.4 Estimación de fugas

El cálculo de las fugas en este modelo se va a realizar mediante la diferencia entre el volumen de agua registrado por los contadores situados a la entrada de los sectores y el volumen de agua consumido en dichos sectores considerando la dotación media estándar de 160 l/hab/día. Se obtiene un valor promedio de volumen fugado de un 21%.

Sector	Población estimada	Volumen medio inyectado (l/día)	Dotación estimada (l/hab/día)	Dotación media estándar (l/hab/día)	Volumen fugado (l/hab/día)	Volumen fugado (%)
Sector 1	316	72.992	230,89	160	70,89	30,70%
Sector 2	1.067	245.592	230,19	160	70,19	30,49%
Sector 3	1.502	285.610	190,20	160	30,20	15,88%
Sector 4	1.677	354.230	211,28	160	51,28	24,27%
Sector 5	2.238	422.640	188,82	160	28,82	15,26%
Sector 6	3.376	585.690	173,50	160	13,50	7,78%
Sector 7	2.403	408.210	169,85	160	9,85	5,80%
Sector 8a	1.754	328.094	187,03	160	27,03	14,45%
Sector 8b	844	144.423	171,13	160	11,13	6,50%
Sector 9	1.931	329.518	170,68	160	10,68	6,26%
Sector 10	1.005	247.110	245,92	160	85,92	34,94%
Sector 11	316	65.340	206,69	160	46,69	22,59%
Sector 12	1.174	284.780	242,53	160	82,53	34,03%
Sector 13	694	165.235	237,97	160	77,97	32,76%
Sector 14	271	70.080	258,63	160	98,63	38,14%
<b>Promedio</b>						<b>21,32%</b>

Tabla 11 Cálculo del volumen fugado

El modo de representar las fugas existentes en la red consistirá en la definición de los emisores de la red. “Los emisores son dispositivos asociados a los nudos de caudal que permiten simular el flujo de salida a través de una tobera u orificio descargando a la atmósfera” (Lewis A, 2017). En la siguiente ecuación se representa, la variación del caudal de salida por un emisor en función de la presión existente en un nudo del modelo:

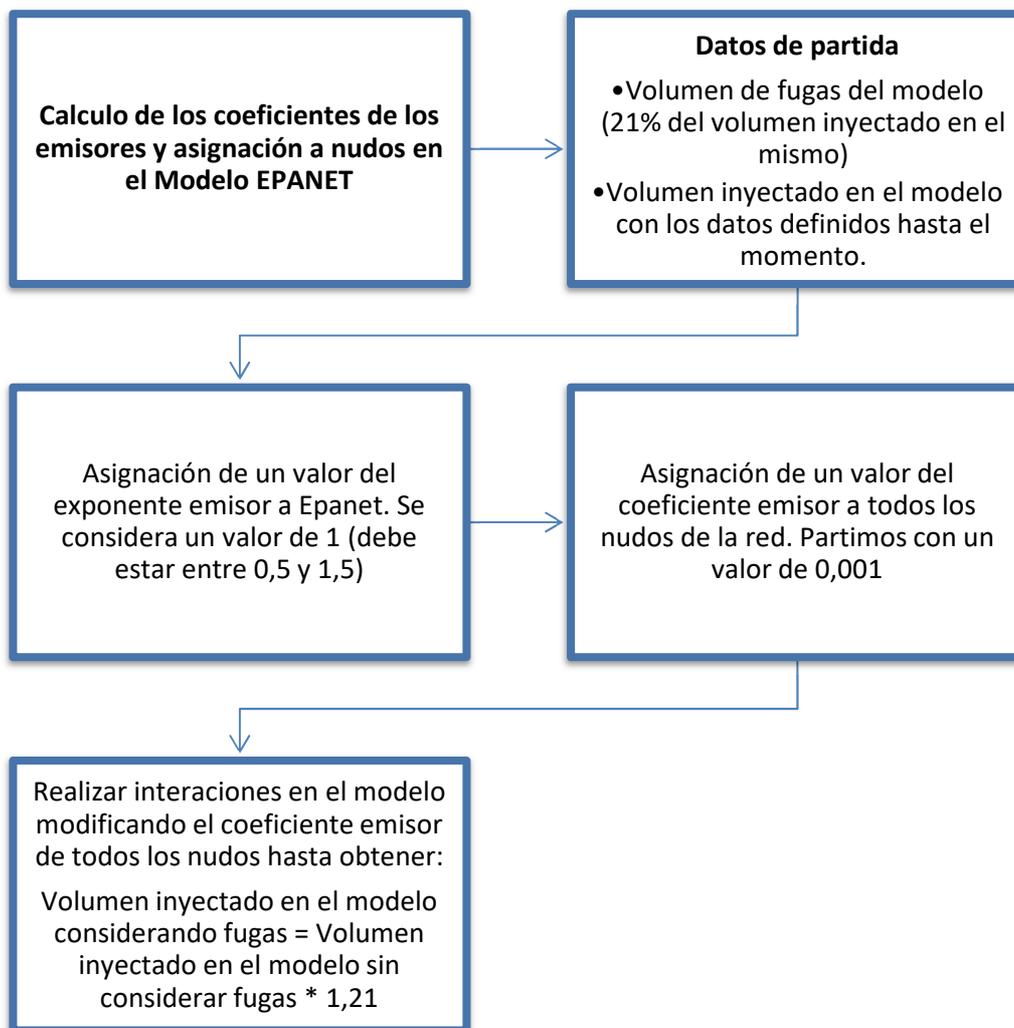
$$Q_{fuga} = K * p^{\gamma}$$

Donde:

- $Q_{fuga}$  = Caudal fugado (l/s),
- $p$  = presión (m),
- $K$  = coeficiente emisor ((l/s)/m),
- $\gamma$  = exponente emisor

Para tener en cuenta el volumen fugado en el modelo matemático habría que asignar a todos los nudos de la red un coeficiente emisor y un exponente emisor. El exponente emisor suele tener un rango de variación de 0,5 a 1,5, por lo que en nuestro caso vamos a considerar un valor medio de 1, el cual es el valor utilizado normalmente. Por lo que respecta al coeficiente emisor, habría que utilizar el modelo matemático para obtenerlo.

Una vez introducidos todos los datos necesarios en la red, el modelo matemático muestra un caudal inyectado en el modelo, el cual es menor que el caudal inyectado real en la red, ya que no se han considerado las fugas, simplemente una dotación de 160 l/hab/día. Por lo tanto, el objetivo consistiría en que el caudal inyectado en el modelo introduciendo el modelo de fugas, sea un 21% mayor que el obtenido sin considerar el volumen de fugas. Para ello estimaremos un valor inicial del coeficiente emisor de 0.001 y procederemos a realizar sucesivas iteraciones hasta conseguir que ambos caudales se igualen. En el siguiente diagrama de flujos se representa el proceso seguido.



Como disponemos de todos los datos necesarios para realizar el cálculo, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente se obtiene un coeficiente emisor de 0,000149. De esta forma, el caudal inyectado en la red del modelo aumentaría considerablemente.

En la siguiente tabla se muestra la diferencia de caudal inyectado en la red si consideramos las fugas o si no las consideramos. Se puede observar como el caudal medio inyectado ha subido desde los 35lps a 43lps.

Hora	Caudal (lps) sin considerar coeficiente emisor	Caudal (lps) con coeficiente emisor (K=0,000149)
0:00	26,26	33,77
1:00	21	28,59
2:00	17,74	25,37
3:00	19,06	26,67
4:00	20,09	27,69
5:00	22,29	29,88
6:00	26,33	33,87
7:00	32,69	40,13
8:00	39,15	46,47
9:00	45,37	52,58
10:00	47,58	54,73
11:00	47,59	54,75
12:00	45,2	52,4
13:00	44,72	51,91
14:00	43,59	50,82
15:00	38,92	46,24
16:00	34,46	41,85
17:00	34,77	42,17
18:00	38,83	46,15
19:00	39,45	46,75
20:00	40,8	48,06
21:00	44,1	51,3
22:00	40,85	48,12
23:00	33,31	40,72
<b>Promedio</b>	<b>35</b>	<b>43</b>

*Tabla 12 Comparativa caudal en el sistema inyectado con fugas y sin fugas*

### 3.5 Modulación de la demanda

Con el objetivo de realizar un estudio que se aproxime lo máximo posible a la realidad, se establecen curvas de modulación, las cuales determinan la fluctuación de los consumos alrededor de un valor medio calculado en la demanda base.

Los consumos de los nudos de la red varían en función de las horas del día dependiendo de las diferentes necesidades de los usuarios a lo largo del día. Por lo que una vez se obtiene la demanda base, se calcula la demanda horaria mediante un coeficiente que reducirá o aumentará la demanda de agua en función de la hora del día, del día de la semana, del día del mes o incluso del mes del año.

#### 3.5.1 Días analizados

Se procede a analizar dos días de consumo. En primer lugar, el día de consumo más alto en el cual la red estará más estresada y posteriormente el día de menor consumo para comprobar si existe exceso de presión en la red.

Para poder determinar correctamente estos dos días, se calcula un coeficiente que tiene en cuenta el volumen registrado en cada uno de los días y lo compara con el volumen registrado medio, todo ello para cada uno de los sectores.

$$K_{\text{día considerado}} = \frac{V_{\text{registrado ese día}}(m^3/h)}{V_{\text{registrado medio}}(m^3/h)}$$

Mediante la fórmula arriba descrita se obtiene la tabla que se detalla a continuación. La tabla muestra que el día de mayor consumo es el 27 de julio y el de menor consumo el 15 de agosto, lo cual tiene sentido ya que es un día del mes de agosto en el que habría mucha gente de vacaciones y además es festivo.

Fecha	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8A
17-jul	1,08	1,09	1,02	1,00	0,96	1,23	1,03	0,94
18-jul	0,83	0,94	0,94	1,04	0,99	1,19	0,99	0,90
19-jul	1,00	1,10	0,93	0,95	1,00	1,21	1,01	0,88
20-jul	1,12	1,30	0,96	1,02	0,99	1,21	0,99	1,18
21-jul	1,07	1,01	1,02	0,94	0,99	1,24	1,03	1,15
22-jul	0,89	1,09	1,01	0,96	1,01	1,18	1,09	0,95
23-jul	0,77	0,62	0,93	0,85	0,98	1,18	0,99	0,74
24-jul	0,95	1,02	1,07	1,02	1,05	1,33	1,03	0,90
25-jul	0,83	0,97	1,00	1,07	0,98	1,29	1,01	0,88
26-jul	0,96	1,08	0,96	1,08	0,98	1,29	1,00	0,98
27-jul	1,00	1,17	1,04	1,08	0,99	1,20	1,07	1,19
28-jul	1,06	1,22	1,01	1,08	1,00	1,01	1,01	1,27
29-jul	1,01	1,00	0,99	1,08	1,01	0,96	1,05	1,33
30-jul	0,75	0,63	0,97	1,05	0,96	0,85	1,00	1,12
31-jul	0,93	0,93	1,03	1,15	1,03	0,97	1,10	1,27
01-ago	0,84	0,50	1,03	1,18	1,00	0,91	1,05	1,20
02-ago	0,70	0,86	0,92	1,01	1,15	0,86	0,94	0,95
03-ago	0,93	0,91	1,03	1,03	0,97	0,89	1,01	0,94
04-ago	1,29	1,07	1,03	1,07	0,99	0,87	1,00	1,12
05-ago	1,20	0,94	1,01	1,09	0,98	0,86	1,02	1,02
06-ago	1,00	0,54	0,85	0,92	0,87	0,75	0,98	0,98
07-ago	1,18	1,10	1,05	1,10	0,99	0,88	1,01	1,13

Tabla 13.1 Cálculo de los índices K para cada día y cada sector

Fecha	Sector 8B	Sector 9	Sector 10	Sector 11	Sector 12	Sector 13	Sector 14	Kdía
17-jul	1,01	1,00	1,00	1,08	1,06	1,20	0,87	1,04
18-jul	0,98	1,04	0,99	1,12	0,93	1,04	0,94	0,99
19-jul	0,99	0,96	0,82	1,19	1,03	0,94	0,84	0,99
20-jul	1,03	1,04	1,02	1,09	0,93	1,02	0,85	1,05
21-jul	1,08	0,94	1,02	1,11	1,02	1,09	0,86	1,04
22-jul	1,06	0,95	1,01	1,06	0,95	1,14	0,80	1,01
23-jul	0,97	0,86	0,77	1,08	0,96	1,13	0,82	0,91
24-jul	1,02	1,02	1,01	1,01	1,06	1,07	0,85	1,03
25-jul	1,01	1,07	1,06	1,03	0,96	1,05	1,03	1,02
26-jul	1,04	1,07	0,83	1,07	1,01	1,21	1,47	1,07
27-jul	1,02	1,08	1,04	1,00	0,93	1,13	2,10	1,14
28-jul	1,05	1,08	1,01	1,00	0,92	1,07	1,76	1,10
29-jul	1,03	1,08	1,00	1,13	0,92	1,01	0,91	1,03
30-jul	1,02	1,05	0,79	1,11	0,95	1,01	1,12	0,96
31-jul	1,06	1,14	1,02	1,03	1,01	1,00	0,98	1,04
01-ago	0,98	1,18	1,00	1,14	0,94	0,98	0,87	0,99
02-ago	0,94	1,00	0,77	1,12	0,89	0,82	0,94	0,92
03-ago	0,98	1,03	0,85	1,10	0,97	1,13	0,98	0,99
04-ago	1,04	1,06	1,15	0,84	1,09	0,89	1,02	1,03
05-ago	1,02	1,09	1,14	1,14	1,14	1,04	0,96	1,04
06-ago	0,91	0,93	0,88	0,96	1,19	0,89	0,84	0,90
07-ago	0,92	1,10	1,11	0,89	1,26	0,86	0,89	1,03
08-ago	0,94	1,11	1,09	0,78	1,22	0,83	0,87	1,00
09-ago	0,94	0,90	0,90	0,74	1,10	0,79	0,90	1,01
10-ago	0,97	0,85	1,15	0,78	0,87	0,79	0,86	0,99
11-ago	1,03	0,88	1,08	1,01	0,91	0,98	0,93	0,98
12-ago	1,05	0,87	1,08	0,97	0,91	1,04	0,85	0,98
13-ago	0,94	0,86	0,91	0,67	0,90	1,02	0,97	0,89
14-ago	1,00	0,91	1,14	0,80	0,96	0,94	0,99	0,96
15-ago	1,00	0,89	1,35	0,95	1,03	0,92	0,94	0,89

Tabla 14.2 Cálculo de los índices K para cada día y cada sector

Una vez determinados los días en los que se va a realizar el estudio, se calcula el coeficiente horario del caudal registrado para cada uno de los sectores y de los días definidos.

$$k_{h(t)\text{registrado ese día}} = \frac{Q_{reg}(t)(m^3/h)}{Q_{medio\ ese\ día}(m^3/h)}$$

La obtención de los coeficientes descritos y su significado está detallada en el Capítulo “Modelación matemática de redes” del curso “Evaluación y Control de Pérdidas de Agua”, escrito por Jorge García Serra y Vicente García Carrasco (Cabrera, E. et al. 2001). El valor del factor de modulación que se ha aplicado al modelo es el valor promedio de los dos días considerados.

Sector 1	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,54	1,16	0,85
1:00	0,52	0,96	0,74
2:00	0,49	0,83	0,66
3:00	1,19	0,81	1,00
4:00	1,81	0,80	1,30
5:00	3,30	0,81	2,06
6:00	3,02	0,90	1,96
7:00	2,05	0,97	1,51
8:00	0,61	0,98	0,80
9:00	0,64	0,98	0,81
10:00	0,67	1,07	0,87
11:00	0,68	1,11	0,90
12:00	0,68	1,05	0,86
13:00	0,70	1,00	0,85
14:00	0,66	1,16	0,91
15:00	0,70	1,21	0,96
16:00	0,70	1,08	0,89
17:00	0,87	1,00	0,94
18:00	0,72	0,98	0,85
19:00	0,80	0,95	0,87
20:00	0,76	1,05	0,90
21:00	0,66	1,06	0,86
22:00	0,63	1,06	0,84
23:00	0,61	1,00	0,80

Tabla 15 Cálculo del coeficiente  $K_{día}$  para cada sector y día considerados

### 3.5.2 Datos detallados por sector:

#### - Sector 1

La curva correspondiente al 27 de julio representa unos valores muy altos en las horas nocturnas, lo cual corresponde a un riego programado a esas horas, ya que es una zona industrial con gran superficie de áreas verdes. Por lo demás, la curva de modulación es muy estable a lo largo del día, con un ligero pico máximo a las 17 h de la tarde. El consumo en general se encuentra por debajo del valor medio ya que no existen viviendas en la zona.

Durante la noche del 15 de agosto el riego de la zona no se produjo, debido a que no se produce todas las noches. Sin embargo, los valores de consumo durante este día son ligeramente superiores que, durante el 27 de julio, especialmente durante las horas de la comida, debido seguramente a que al ser día festivo habría una gran afluencia de gente en los restaurantes del centro comercial. Valor máximo a las 16 h y valor mínimo a las 4 h.

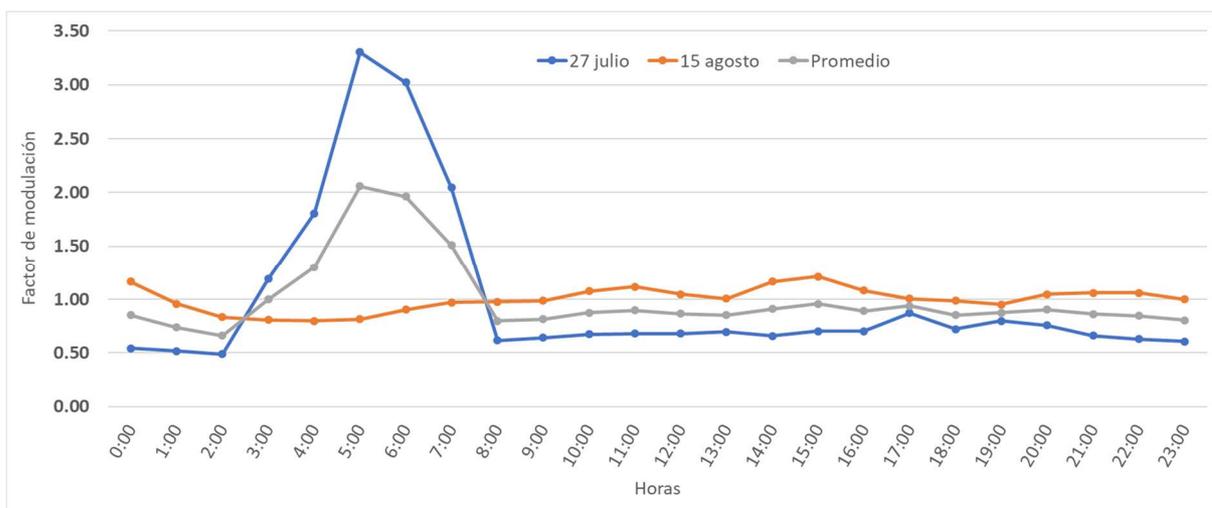


Fig. 26 Curva de modulación horaria del sector 1 los días 27 de julio y 15 de agosto

#### - Sector 2

La curva de modulación del sector 2 presenta del 27 de julio unos valores altos al igual que la anterior en horario nocturno, también debido a un riego programado, siendo un sector con gran superficie de jardines. El resto de la curva es normal, con un consumo bajo por la noche antes del riego programado cuando se produce el mínimo consumo. El máximo consumo aparte del riego programado se produce a las 11 h mientras que el valor mínimo a la 1 h.

Para el día 15 de agosto, en el caso del sector 2 sí que se produce de nuevo el riego nocturno. La curva es similar a la del día 27 de julio, pero con un mayor consumo durante la tarde debido a que al ser un día festivo la gente se encuentra en casa. Valor máximo aparte del riego a las 19h y valor mínimo a las 14h.

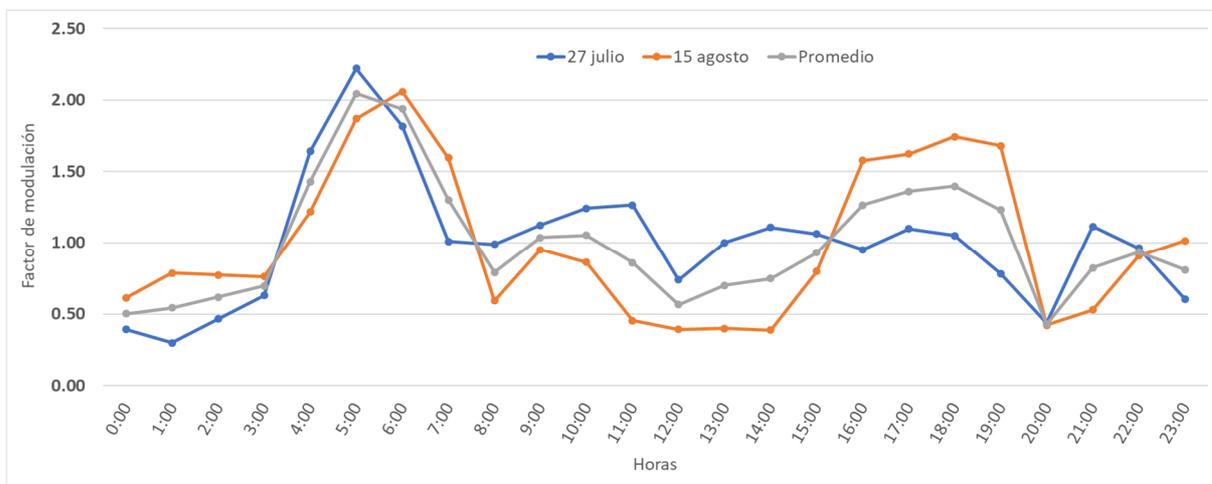


Fig. 27 Curva de modulación horaria del sector 2 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 3

La curva de modulación del día 27 de julio representa un consumo por el día bastante mayor que por la noche, con el mínimo a las 2h de la noche y el máximo a las 9h de la mañana. Existen un gran número de viviendas en la zona, lo que se aprecia claramente al tener un consumo más alto que el valor medio durante las horas del día. Por lo que respecta al 15 de agosto la curva de modulación es muy similar a la del 27 de julio, pero con valores superiores y más estables a la hora de la comida debido a que la gente se encuentra en casa. Valor máximo a las 12h y valor mínimo a las 2h.

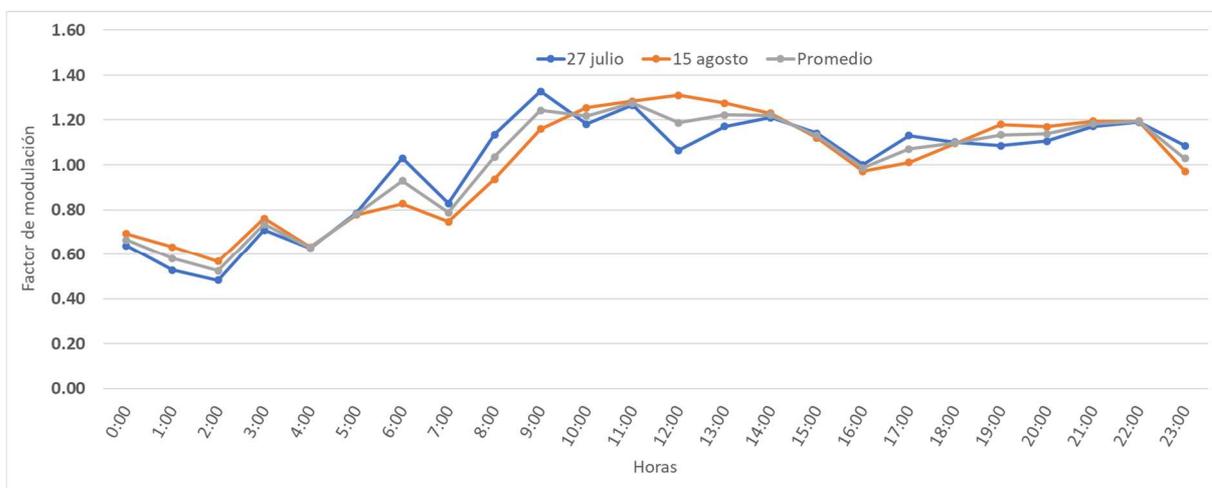


Fig. 28 Curva de modulación horaria del sector 3 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 4

Los valores nocturnos del sector 4 el 27 de julio también son muy inferiores a los valores diurnos. El valor máximo se representa a las 14h y el valor mínimo a las 3h de la mañana. Los valores a lo largo del día son mayores que el consumo medio. La curva del 15 de agosto es muy similar a la del 27 de julio, pero con valores inferiores al inicio del día, debido a que la gente no trabaja y se levanta más tarde. Valor máximo a las 12h y valor mínimo a las 2h.

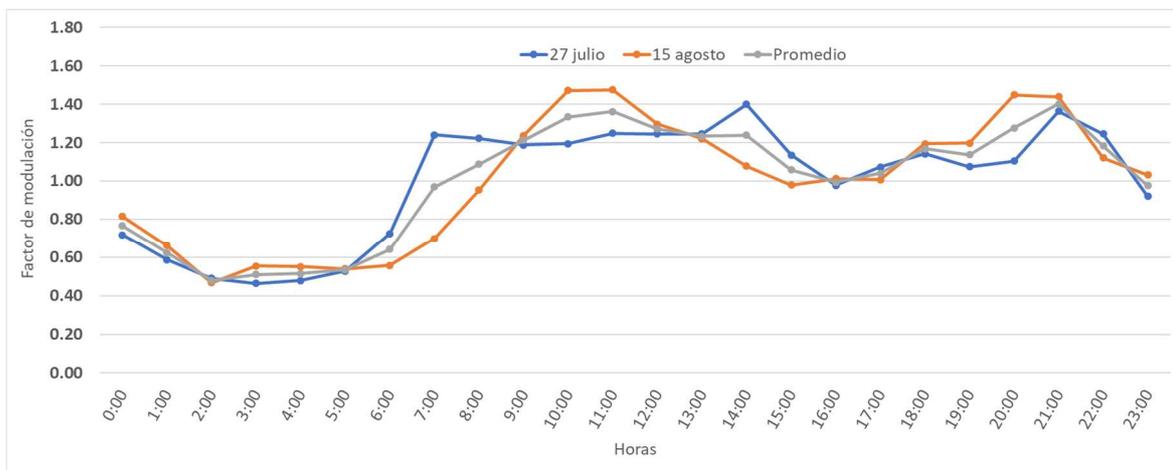


Fig. 29 Curva de modulación horaria del sector 4 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 5

Al igual que los sectores anteriores que se corresponden con zonas de gran número de viviendas, valores nocturnos muy inferiores a los diurnos. Valor máximo el 27 de julio a las 14h y valor mínimo a las 4h. En el caso del 15 de agosto, los valores de la curva de modulación son mayores que los obtenidos el día 27 de julio, aunque la forma de la curva sea similar. Valor máximo a las 11h y valor mínimo a las 4h.

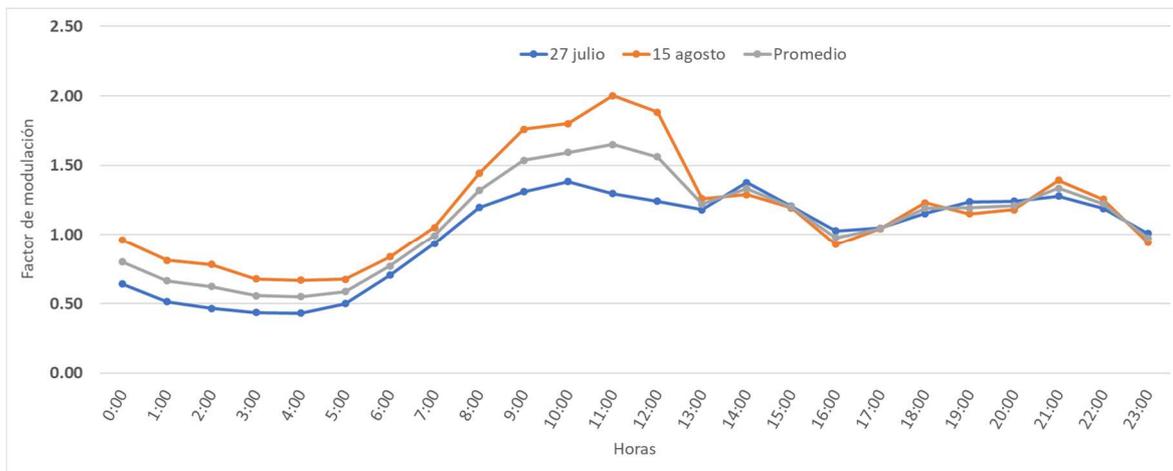


Fig. 30 Curva de modulación horaria del sector 5 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 6

El 27 de julio el consumo en las horas nocturnas es mucho menor que en las horas diurnas. Se produce un consumo más alto por la mañana que por la tarde, debido al horario comercial. Forma de la curva lógica. Valor máximo a las 9h y valor mínimo a las 4h. La curva de modulación del 15 de agosto es muy similar a la obtenida el 27 de julio. Valor máximo a las 12h y valor mínimo a las 4h.

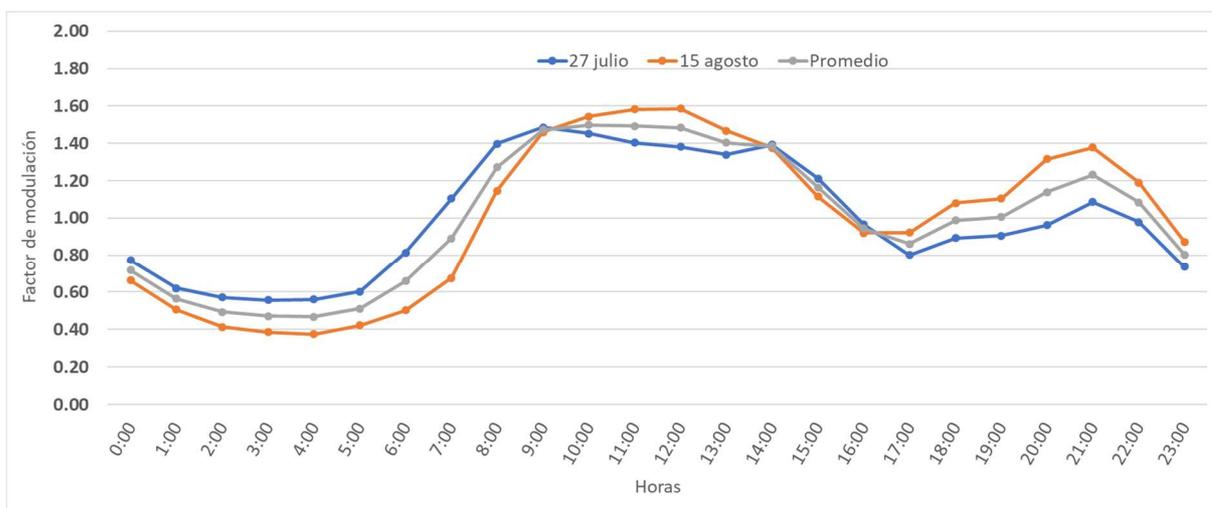


Fig. 31 Curva de modulación horaria del sector 6 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 7

El 27 de julio tiene valores nocturnos muy bajos, el consumo diurno es bastante lógico, obteniendo un máximo a las 10h y el valor mínimo a las 4h. La curva obtenida para el 15 de agosto es muy similar a la del 27 de julio para este sector, describiendo una forma lógica. Valor máximo a las 11h y valor mínimo a las 4h.

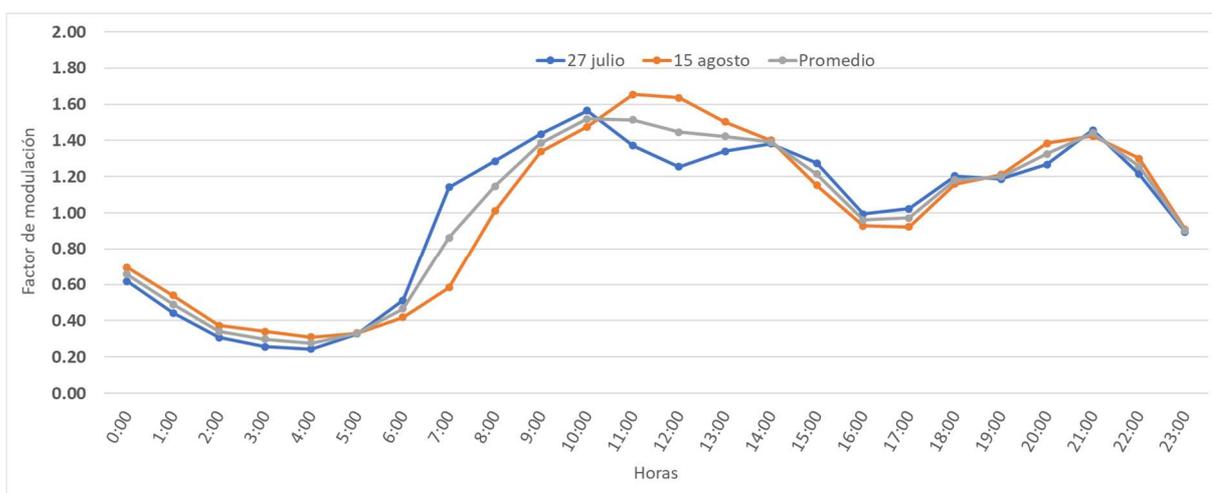


Fig. 32 Curva de modulación horaria del sector 7 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 8A

El 27 de julio se puede observar un consumo alto por la noche debido a un riego programado, ya que esta zona dispone de una gran superficie de jardines, el resto del día el consumo observado es muy estable. Consumo mínimo a las 2h y máximo a las 6h. Resultados de la curva de modulación para el 15 de agosto muy similares, con el riego nocturno claramente visible y un consumo durante el resto del día bastante estable y cerca del consumo medio diario.

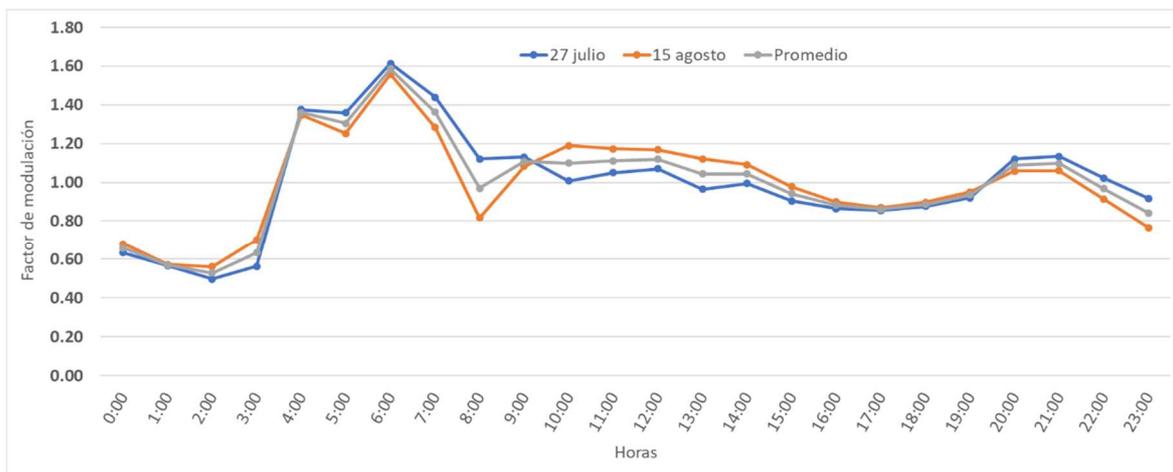


Fig. 33 Curva de modulación horaria del sector 8A los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 8B

La curva de modulación del 27 de julio representa una forma lógica, con valores nocturnos inferiores a los diurnos. Valor máximo a las 10h y valor mínimo a las 5h. El 15 de agosto obtenemos unos resultados muy similares al día 27 de julio, con valores inferiores justo después de la hora de comer debido a que al ser festivo la gente duerme a esas horas.

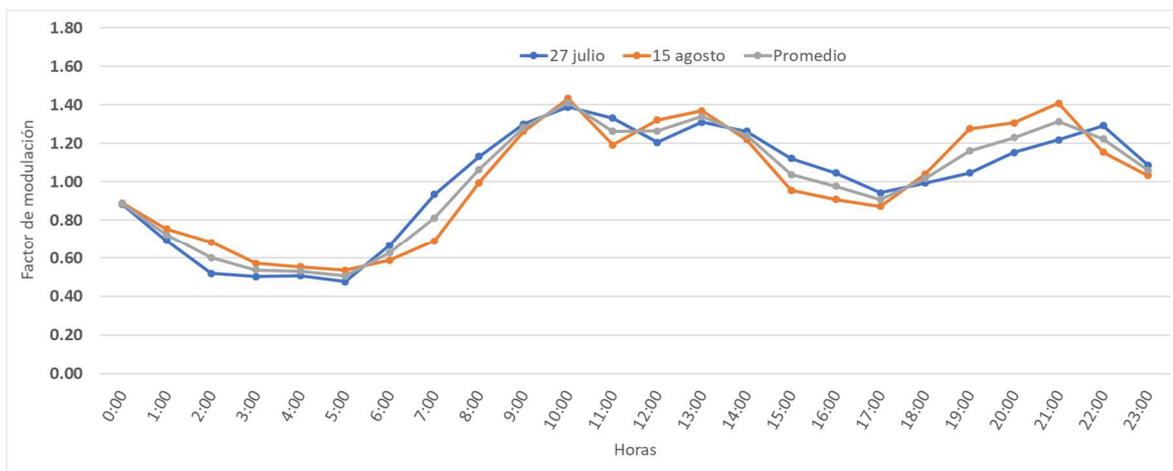


Fig. 34 Curva de modulación horaria del sector 8B los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 9

El sector 9 presenta una curva de modulación bastante lógica el 27 de julio, con un valor máximo a las 14h y un valor mínimo a las 2h. La forma de la curva de modulación del día 15 es similar a la del día 27 de julio, con una forma lógica que muestra un valor máximo a las 10h y un valor mínimo a las 5h.

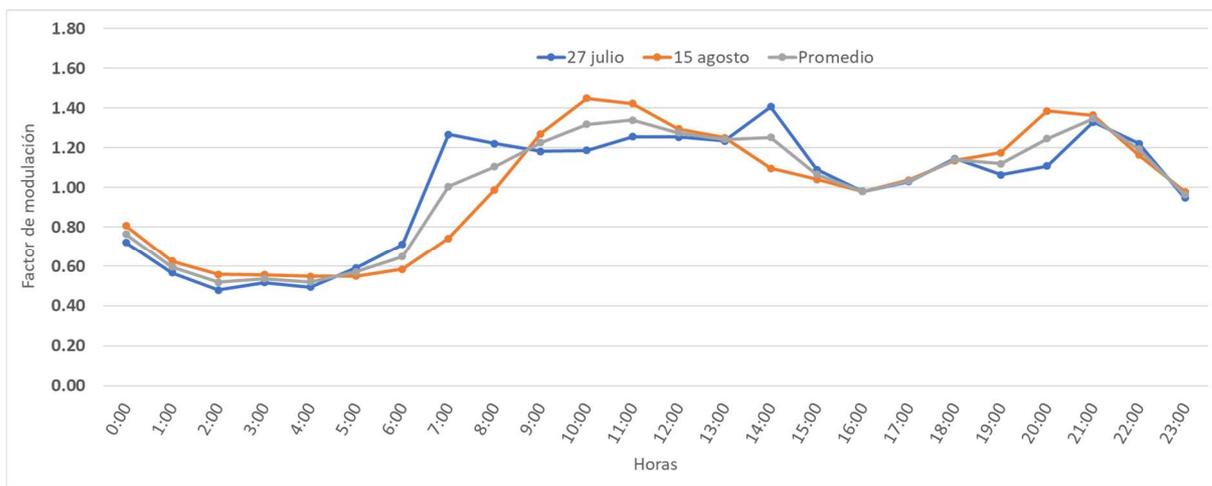


Fig. 35 Curva de modulación horaria del sector 9 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 10

En el sector 10 tiene una gran superficie de jardines y por lo tanto se observa un riego programado por la noche. Es un sector sin una gran cantidad de viviendas, lo cual se ve reflejado en la forma de la curva de modulación. El valor máximo el 27 de julio se presenta a las 4h durante el riego y el valor mínimo a las 2h. El día 15 de agosto presenta una curva de modulación muy similar a la del 27 de julio, con el riego nocturno y una forma incluso más estable debido a que es un día festivo.

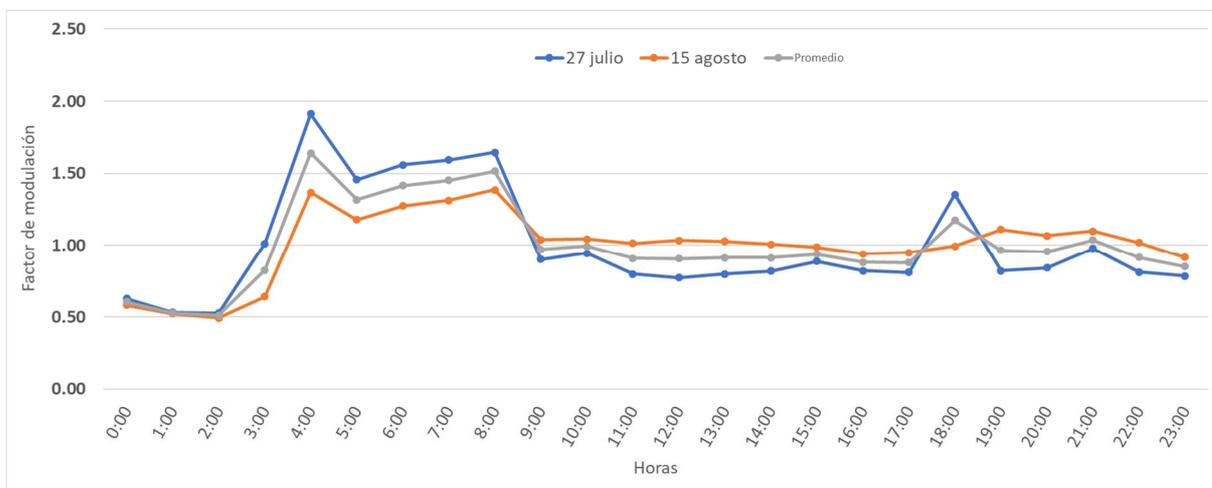


Fig. 36 Curva de modulación horaria del sector 10 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 11

La curva de modulación del 27 de julio presenta una forma lógica, pero con unos valores nocturnos muy bajos. El valor mínimo se presenta a las 5h y el máximo a las 20h. El día 15 de agosto presenta una curva muy similar a la anterior, con una forma lógica. El valor máximo se presenta a las 10h y el mínimo a las 2h.

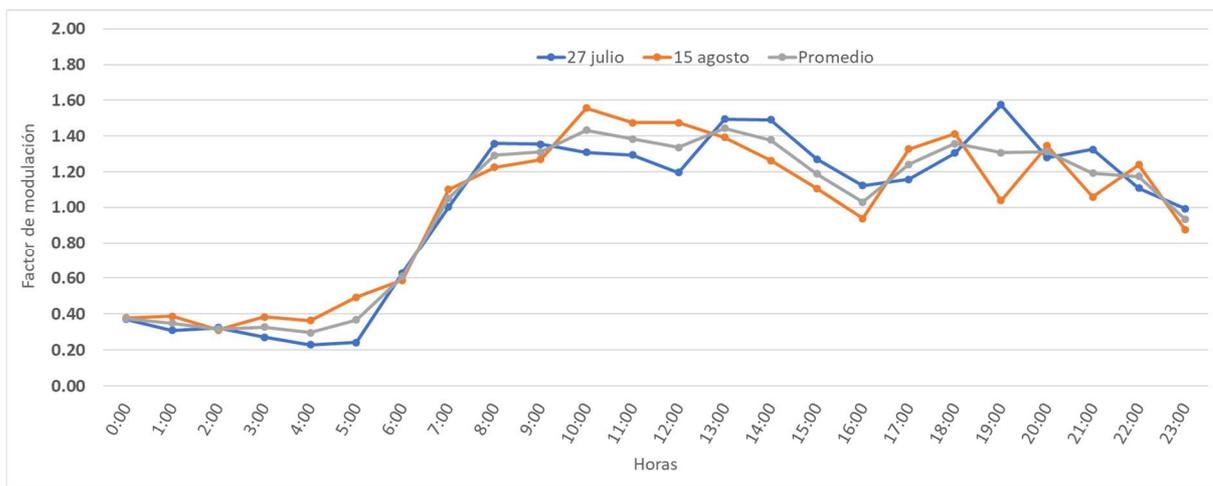


Fig. 37 Curva de modulación horaria del sector 11 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 12

Forma bastante lógica de la curva de modulación el 27 de julio con unos altibajos a lo largo de la mañana. Valor máximo a las 13h y valor mínimo a las 4h. El día 15 de agosto ya no se aprecian tanto los altibajos de la gráfica anterior, posiblemente al tratarse de un día festivo, la forma es normal, con un valor máximo a las 13h y un valor mínimo a las 5h.

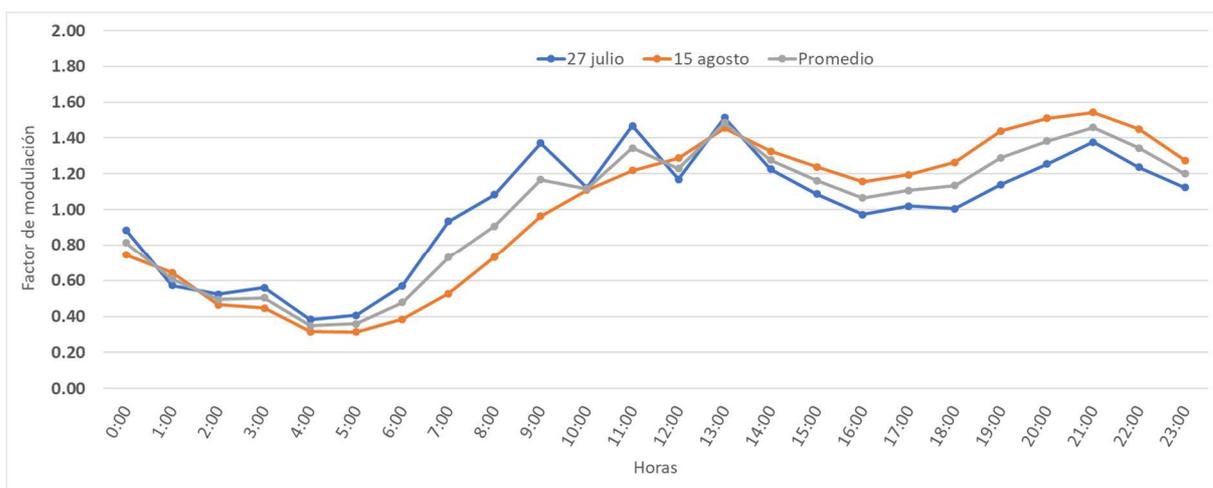


Fig. 38 Curva de modulación horaria del sector 12 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 13

En el sector 13 se encuentra situado el polideportivo municipal con el campo de fútbol de la ciudad, además de una gran superficie industrial. Ello provoca una curva bastante estable a lo largo del día a excepción de los picos del riego nocturno del campo y de la hora de finalización de los entrenamientos, sobre las 22-23h. El valor mínimo se encuentra justo antes del comienzo del riego nocturno a las 2h y el valor máximo a las 23h.

Por lo que respecta a la curva del día 15 de agosto, ya no se aprecian los picos al llegar la noche al ser un día festivo y estar cerrado el complejo, sin embargo, sigue existiendo el riego nocturno y el alto consumo de la noche anterior al finalizar los entrenamientos. El valor mínimo se produce a las 2h y el máximo a medianoche.

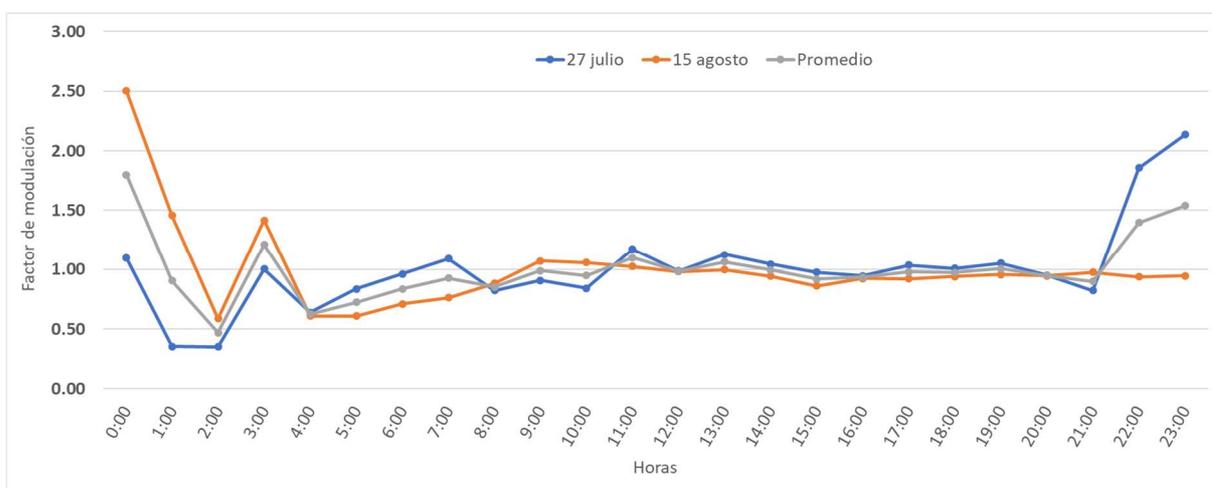


Fig. 39 Curva de modulación horaria del sector 13 los días 27 de julio y 15 de agosto

- Sector 14

El sector 14 corresponde a la pedanía de cogullada, por lo que durante las horas nocturnas y la mañana se obtiene un bajo consumo dado que no hay comercios y la gente se desplaza fuera para trabajar, aumentando el consumo a partir de mediodía cuando la gente vuelve del trabajo. El valor máximo se encuentra a las 18h y el mínimo a las 5h.

El 15 de agosto la curva cambia notablemente respecto a la del 27 de agosto debido a que es un día festivo y la gente no trabaja y se queda en casa. Muestra una forma lógica con un valor máximo a las 12h y un valor mínimo a las 5h.

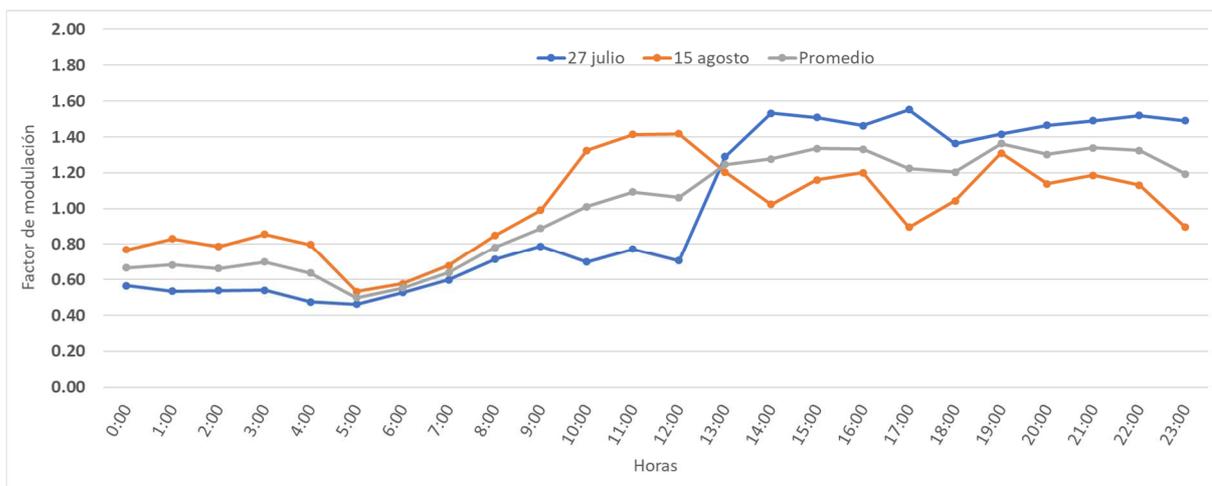


Fig. 40 Curva de modulación horaria del sector 14 los días 27 de julio y 15 de agosto

### 3.5.3 Variación temporal

Además de estudiar las diferentes curvas de modulación para los dos días mencionados en el apartado anterior, también es interesante poder establecer las diferencias que se pueden producir en un mismo sector en función de los días de la semana.

Para ello vamos a considerar el sector 6, ya que es el sector con mayor población y por ende con el mayor consumo medio.

Sector	Viny_medio (m3/día)
Sector 1	91,24
Sector 2	306,99
Sector 3	285,61
Sector 4	354,23
Sector 5	352,2
Sector 6	418,35
Sector 7	272,14
Sector 8a	252,38
Sector 8b	106,98
Sector 9	235,37
Sector 10	247,11
Sector 11	65,34
Sector 12	284,78
Sector 13	236,05
Sector 14	70,08

Tabla 16 Volumen inyectado medio por sector y por día

$$K(t)_{general} = \frac{Q_{reg.promedio}(t)(m^3/h)}{Q_{registrado promedio}(m^3/h)}$$

$$K(t)_{entre semana} = \frac{Q_{reg.promedio entre semana}(t)(m^3/h)}{Q_{registrado promedio entre semana}(m^3/h)}$$

$$K(t)_{fin de semana} = \frac{Q_{reg.promedio fin de semana}(t)(m^3/h)}{Q_{registrado promedio fin de semana}(m^3/h)}$$

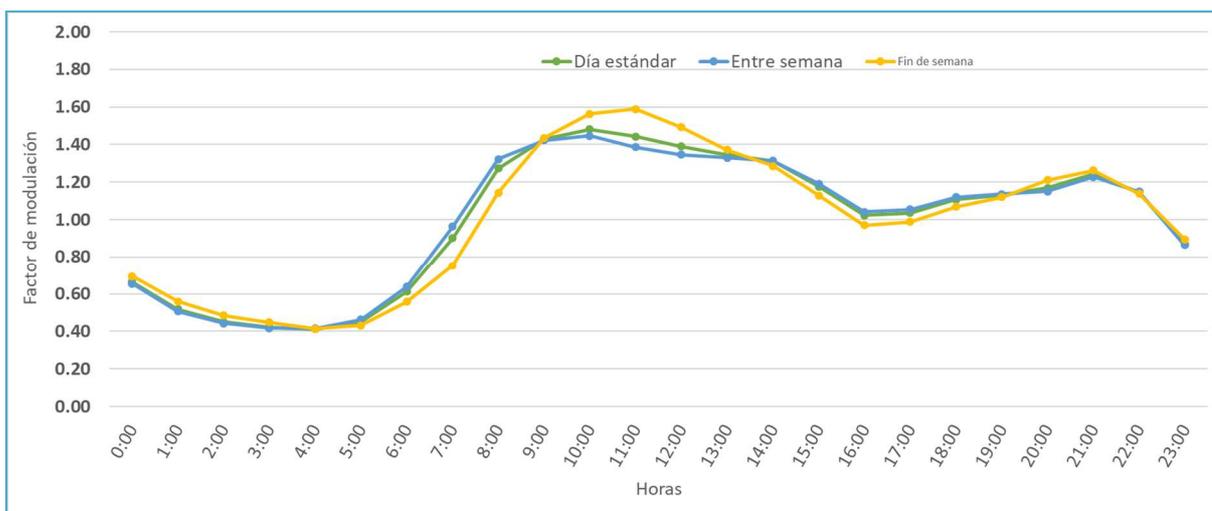


Fig. 41 Curva de modulación horaria del sector 6 para un día estándar

La curva de modulación de un día estándar tiene una forma lógica, con valores bajos durante la noche y valores por encima de la media durante el día. El valor máximo se presenta a las 10h y el mínimo a las 4h. La curva de modulación que representa los días entre semana es muy similar a la general, con la misma forma y los mismos puntos pico. Por lo que respecta al fin de semana, la curva sigue siendo bastante similar, presentando sólo una bajada más pronunciada a partir de las 11h, y con una subida matutina más retrasada en el tiempo respecto a las anteriores, lo que muestra como la gente se levanta más tarde y como descansa después de comer. El valor máximo se representa a las 11h y el mínimo a las 4h. No se considera que se representen cambios notables como para tenerlo en cuenta en el modelo.

## 4 ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

El objetivo principal de este estudio es describir el comportamiento real de la red de abastecimiento de Carcaixent para determinar si el funcionamiento de la red es correcto y si existen deficiencias de servicio o averías, además de definir qué serie de medidas se pueden aplicar para mejorar la calidad del servicio y la eficiencia hidráulica y energética del sistema. Se definirá un modelo matemático para poder llevar a cabo el estudio.

### 4.1 Aplicaciones del modelo

Entre las aplicaciones del modelo se pueden destacar:

- Conocimiento del funcionamiento de la red.
- Detección de problemas singulares que no se detectan en condiciones normales.
- Utilidad en el diseño de una nueva red.
- Ayuda ante situaciones anómalas.
- Amplio análisis de la situación actual de la red, incluyendo datos en todos los puntos de la misma.
- Análisis de posibles cambios en la explotación de la red.
- Análisis de la red en condiciones de emergencia.
- Análisis del sistema de explotación óptima desde el punto de vista de la eficiencia energética e hidráulica.

### 4.2 Datos de partida

La elaboración del modelo exige la necesidad de disponer de una base de datos lo más completa posible de la red. Los datos de partida facilitados por la empresa Aguas de Valencia para poder proceder con el estudio son los siguientes:

- Red de abastecimiento en formato CAD.



Fig. 42 Red de abastecimiento en formato CAD

- Datos topográficos de la red.

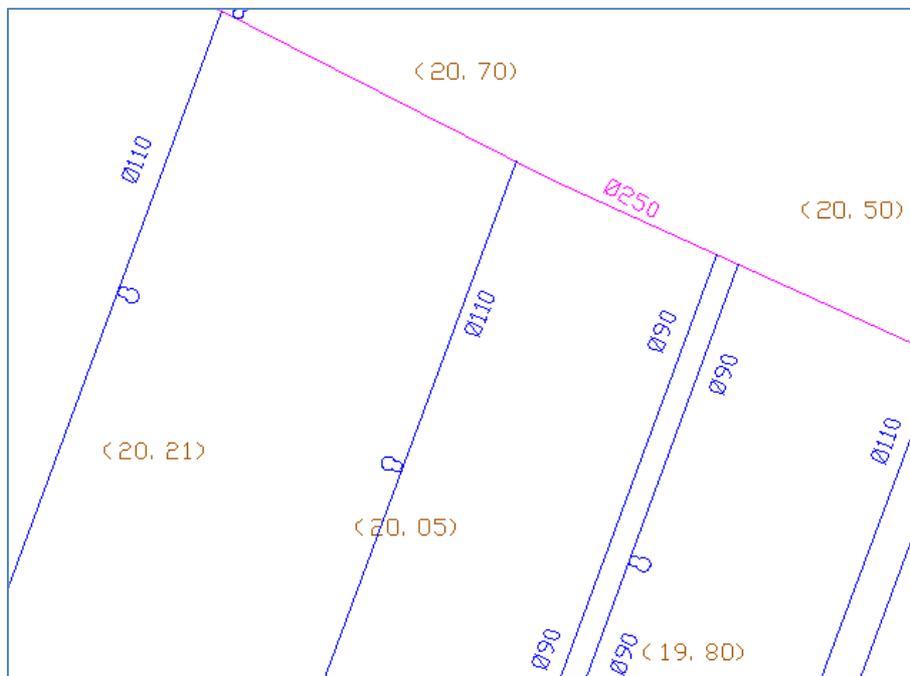


Fig. 43 Datos topográficos

- Volúmenes inyectados en la red.

Mes	Volumen inyectado Pozo Font de la Parra (m3)	Volumen inyectado SAR (m3)	Volumen inyectado Total (m3)
Enero	57.240	51.741	108.981
Febrero	64.360	45.162	109.522
Marzo	48.870	77.368	126.238
Abril	59.490	81.394	140.884
Mayo	54.190	79.614	133.804
Junio	59.260	101.220	160.480
Julio	49.750	104.295	154.045
Agosto	53.280	112.621	165.901
Septiembre	58.270	114.911	173.181
Octubre	49.570	63.072	112.642
Noviembre	48.900	66.183	115.083
Diciembre	54.490	58.236	112.726
Promedio	54.806	79.651	134.457

Tabla 17 Caudales inyectados en la red.

- Sectores en los que está dividida la red.

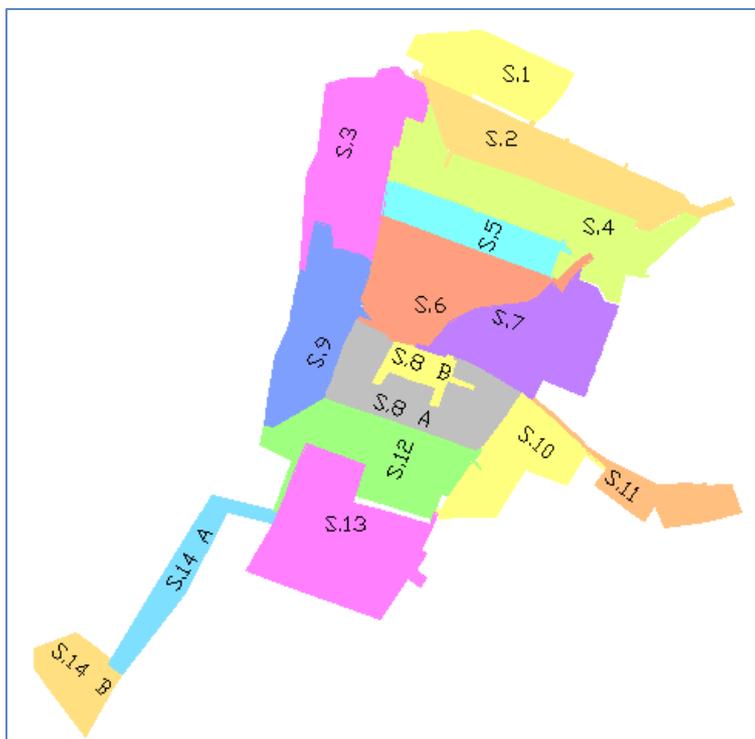


Fig. 44 Sectores de la red de distribución de Carcaixent

- Caudales inyectados en cada sector (ejemplo sector 6).

SECTOR 6		
Fecha	Hora	Caudal
17-7-16 0:00	0:00	14,74
17-7-16 1:00	1:00	11,12
17-7-16 2:00	2:00	10,12
17-7-16 3:00	3:00	9,53
17-7-16 4:00	4:00	9,63
17-7-16 5:00	5:00	10,59
17-7-16 6:00	6:00	14,99
17-7-16 7:00	7:00	20,39
17-7-16 8:00	8:00	27,18
17-7-16 9:00	9:00	30,49
17-7-16 10:00	10:00	30,01
17-7-16 11:00	11:00	30,01
17-7-16 12:00	12:00	27,79

Tabla 18 Caudales inyectados en sector 6

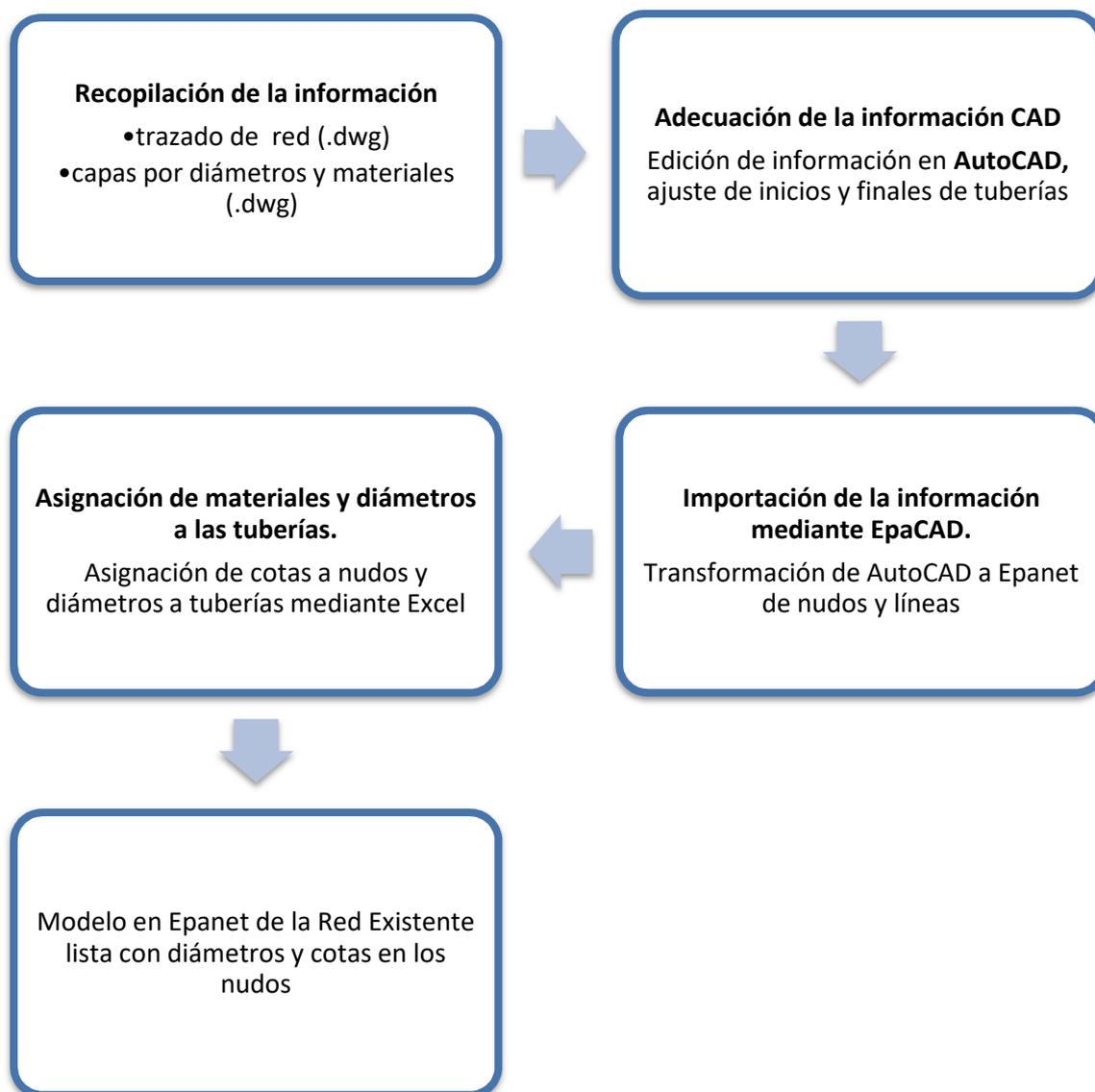
### 4.3 Programas informáticos empleados

Para la elaboración del modelo se han utilizado programas informáticos que nos han permitido depurar y procesar los datos de partida.

- Preparación del esquema de la red de distribución: AutoCAD (Autodesk), Microsoft Excel.
- Carga inicial del modelo hidráulico: Microsoft Excel, EpaCAD, Epanet.
- Carga definitiva del modelo hidráulico: Microsoft Excel, Epanet.

### 4.4 Preparación del esquema de la red

A continuación, se muestra un diagrama con las etapas seguidas para la elaboración del modelo matemático de Carcaixent.



#### 4.4.1 Recopilación de la información

Los datos de partida para la preparación del esquema de la red de distribución de la población de Carcaixent han sido proporcionados en formato digital CAD por Aguas de Valencia.

Las capas incluidas en el archivo CAD de la red contenían la siguiente información:

- Sectorización: Delimitación de cada uno de los sectores en los que se divide la red de distribución. En total existen 14 sectores.
- Redes de agua: Una capa para cada diámetro de tubería y cada material.
- Elementos de la red: Válvulas, ventosas, desagües, hidrantes.
- Topografía: Cotas del terreno.

#### 4.4.2 Adecuación de la información CAD

Para poder importar la red correctamente a Epanet desde Autocad, es necesario adecuar la información del archivo CAD.

El archivo CAD facilitado tiene una gran cantidad de fallos en su definición, con la mayor parte de los nudos de la red sin definir ya que los puntos de inicio y final de las capas de tuberías no coincidían unas con las otras, por lo que se han de ajustar las capas una a una, para que todos los nudos estén formados por un único punto de confluencia entre las líneas de las tuberías que llegan a ella.

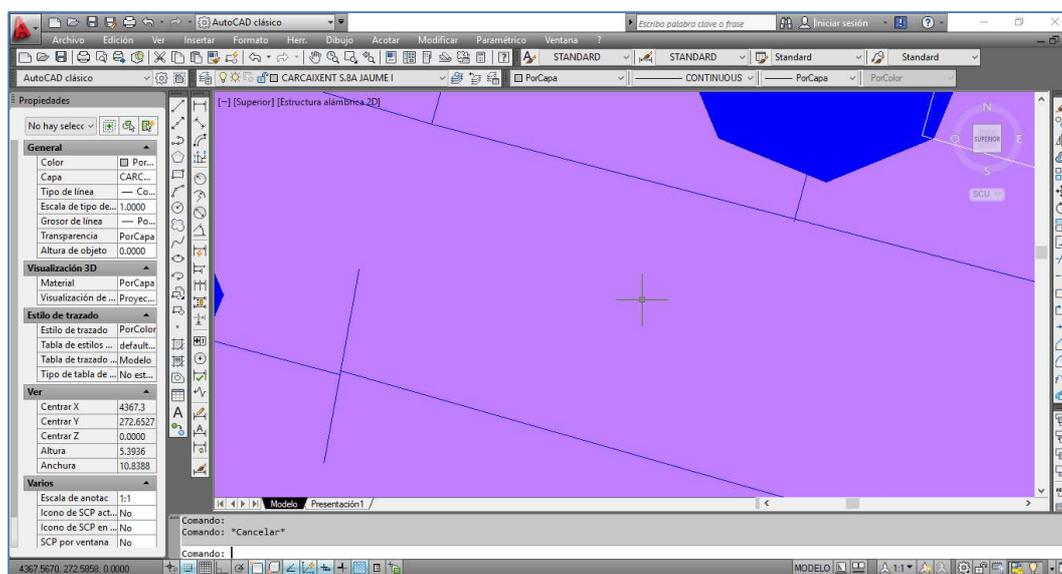


Fig. 45 Detalle nudo sin definir en plano de red de abastecimiento

Además, existe otra problemática, la cual consiste en que EpaCAD mide una línea o polilínea completa como si fuera una tubería, y en el caso de que haya alguna línea de intersección que corta a otra línea, pero no tiene ni el principio ni el final en la misma intersección entre líneas, el programa no detecta que exista un nudo en la intersección y por lo tanto no se crearía una conexión entre tuberías.

En las siguientes ilustraciones se puede observar el caso mencionado anteriormente. En la primera de ellas EpaCAD no generaría un nudo de intersección entre ellas y en la segunda sí que lo crearía.

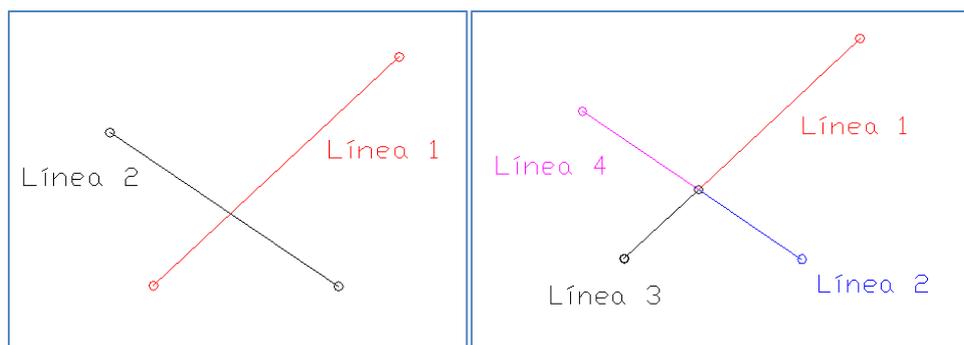


Fig. 46 Posibles errores de definición de nudos

En el caso de nuestro plano nos encontramos pues con una serie de fallos que se han tenido que solucionar mediante un trabajo pesado, ya que se tiene una gran cantidad de tramos de tubería y nudos mal dibujadas.

Para poder obtener una red correctamente definida, se crean nuevas capas para cada una de los diámetros y materiales de tuberías, mediante nuevas polilíneas que confluyan en los nudos existentes de la red, y poder así clasificar correctamente todas las tuberías de la red por diámetros y materiales. De esta forma se certifica a su vez la correcta conectividad de la red. Además, habrá que tener en cuenta también posibles pequeños tramos de tubería que quedan sin clasificar.

#### 4.4.3 Importación de la información mediante EpaCAD.

EpaCAD es un programa gratuito que permite convertir un fichero que contenga una red de AutoCAD, en un fichero interpretable por EPANET. EpaCAD es capaz de adquirir las coordenadas X Y del fichero de AutoCAD, además también adquiere la cota de elevación a la que se encuentran los diferentes nudos que forman la tubería. De esta forma, se obtienen las longitudes reales de las tuberías y, además, se puede mantener una referencia de la posición real de los elementos.



Fig. 47 Interfaz programa EpaCAD

Para importar una red de AutoCAD mediante EpaCAD se ha de crear un nuevo proyecto.

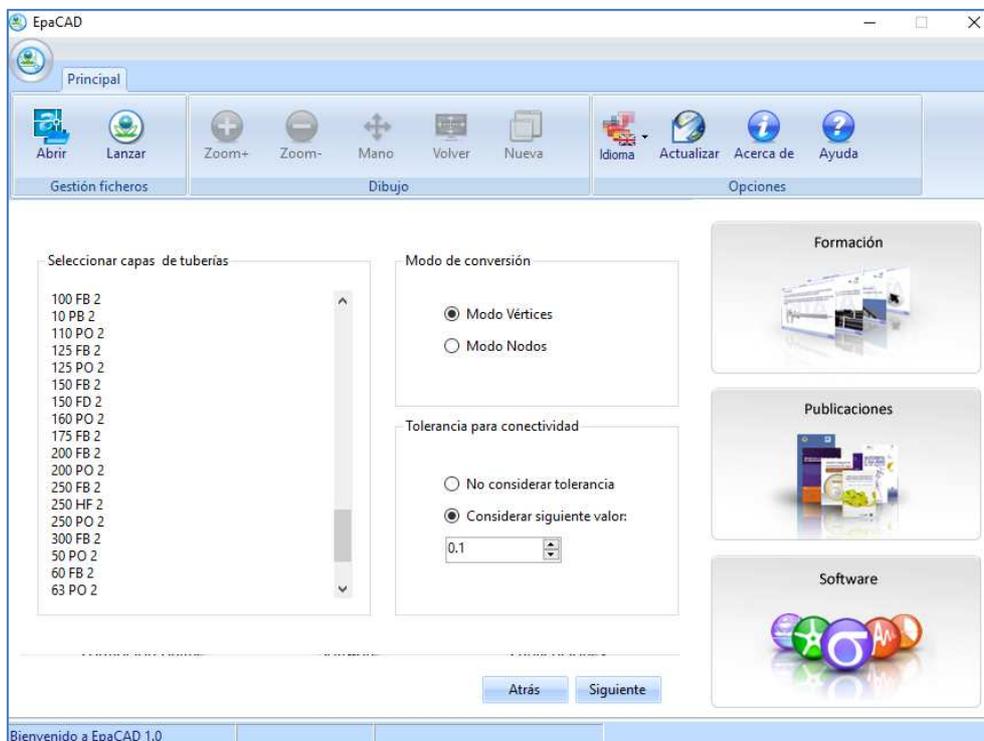


Fig. 48 Pantalla para importar red de EpaCAD

Al abrir un nuevo proyecto se pueden elegir una o varias capas del archivo CAD. El modo de conversión seleccionado será el modo vértices, en el cual la polilínea se transforma en una única tubería cuyo nudo inicial coincide con el primer extremo de la polilínea y el nudo final coincide con el extremo final de la polilínea. Además, se selecciona una tolerancia determinada para conectividad para evitar posibles errores de desconexión entre nudos por mala definición de la red en el archivo CAD.

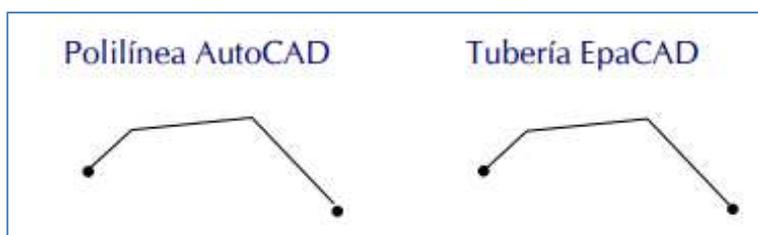


Fig. 49 Modos de conversión posibles de EpaCAD (Manual EpaCAD)

La forma de proceder para la correcta importación ha sido en dos fases para poder asignar posteriormente los materiales y diámetros correspondientes a cada tramo de tubería:

- Importación de la red incluyendo todas las capas de tuberías.

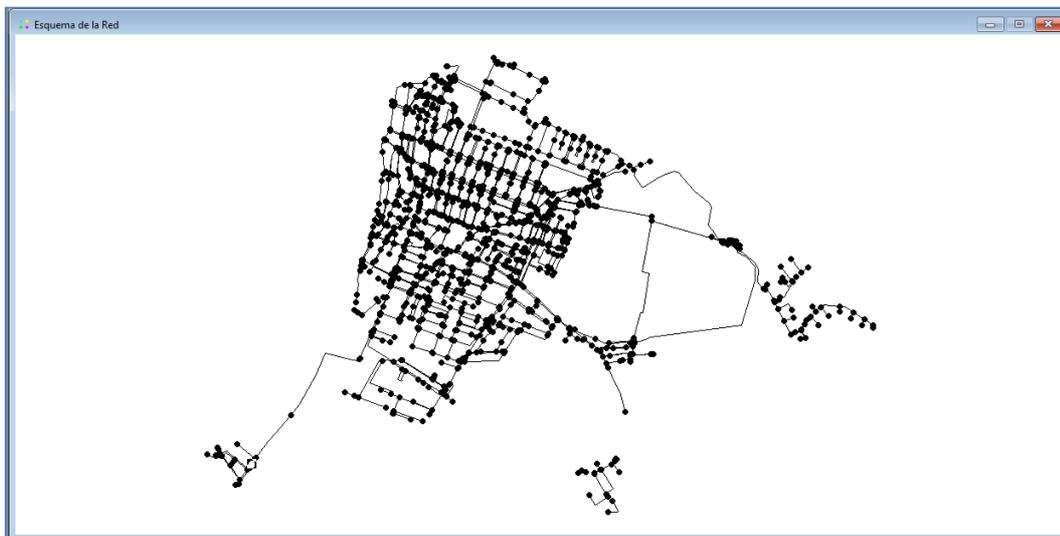


Fig. 50 Importación de la red completa de abastecimiento

- Importación de cada una de las capas de tuberías por separado.



*Fig. 51 Importación de cada una de las capas de tuberías*

#### *5.4.4 Asignación de materiales y diámetros a las tuberías.*

En el archivo CAD existen diferentes capas para las tuberías que forman la red de distribución en función del diámetro. Por lo tanto, hay que asignar a cada una de las tuberías del esquema de la red en Epanet el diámetro correspondiente, ya que mediante el software EpaCAD no se asigna.

Tal y como se indica en el apartado anterior se ha realizado una importación de AutoCAD a Epanet tanto de la red completa como de cada una de las capas de tuberías, por lo que tenemos 1 archivo de red de Epanet para cada uno de los tipos de tubería en función del diámetro.

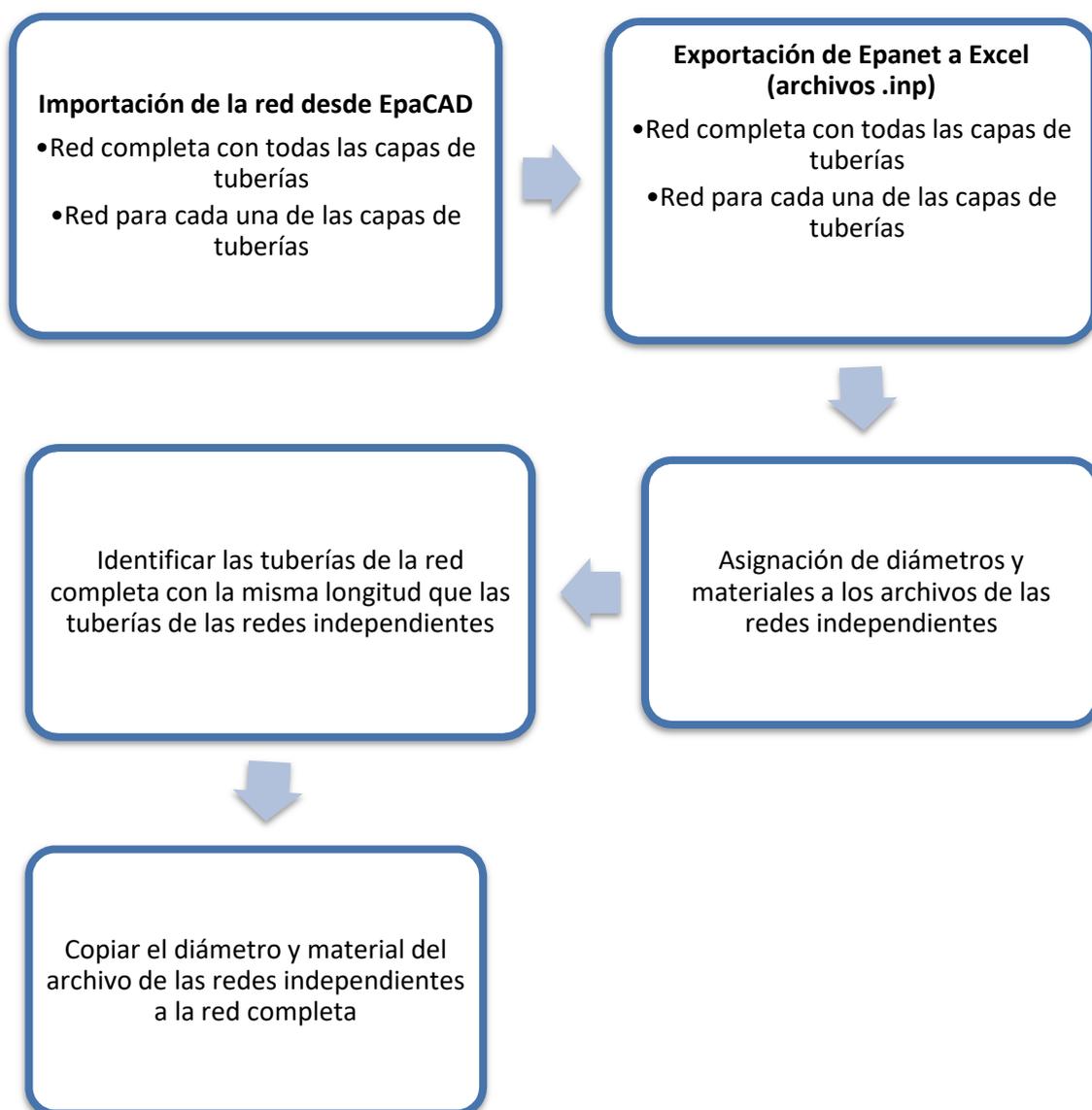
Para asignar el diámetro correspondiente a las tuberías del esquema de la red general se procede de la siguiente manera:

- Se genera el archivo .inp del esquema general de la red y se importa a Excel.
- Se genera el archivo .inp de cada una de los esquemas que se han creado para cada una de las capas de tuberías (una para cada diámetro y material) y se importa a Excel.

[TITLE]			
Red_15_09			
[JUNCTIONS]			
n1		0	
n2		0	
n3		0	
n4		0	
[PIPES]			
p1	n1	n2	853
p2	n2	n3	6.74
p3	n3	n4	7.48

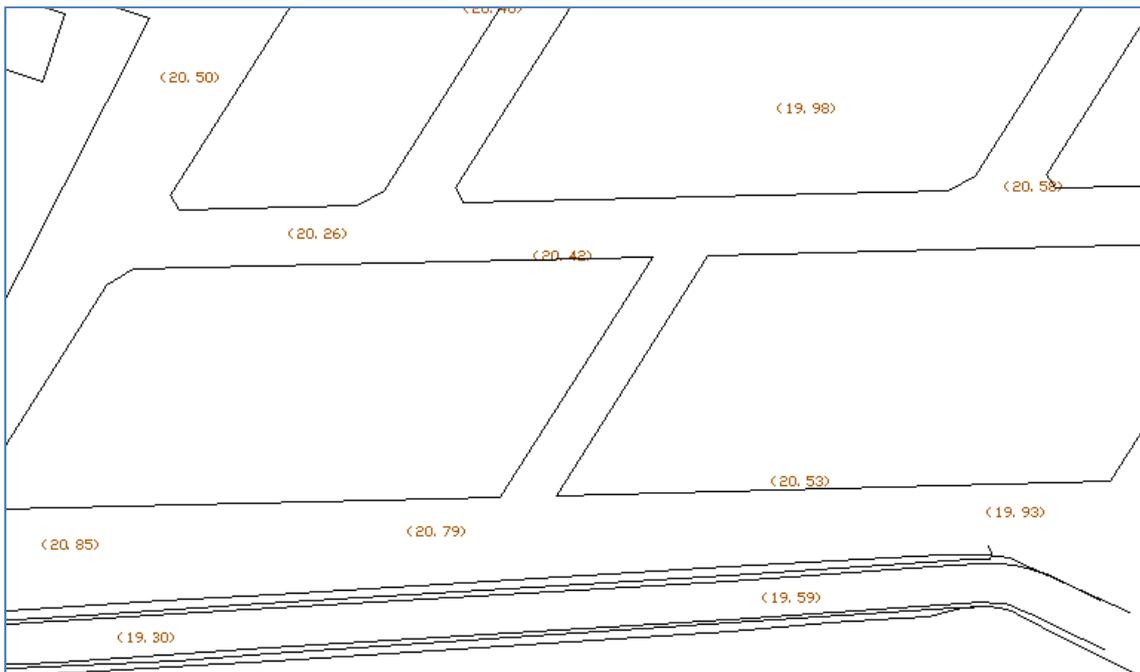
*Fig. 52 Importación a Excel de INP tubería Ø350 FB*

- En los archivos Excel de cada una de las capas se le asigna el diámetro correspondiente.
- Mediante la función de búsqueda de Excel se identifican las tuberías de los archivos Excel generados para cada una de las capas, cuya longitud coincida con la tubería correspondiente en el archivo Excel generado para el esquema general.
- Una vez localizada la tubería, se le asigna el diámetro y rugosidad correspondiente en el archivo Excel del esquema general. Esto se aplica para cada una de las tuberías que conforman la red de distribución.
- Cuando todas las tuberías tengan asignado el diámetro y rugosidad correctos, se vuelven a importar los datos a Epanet, de forma que la red estaría completamente definida.

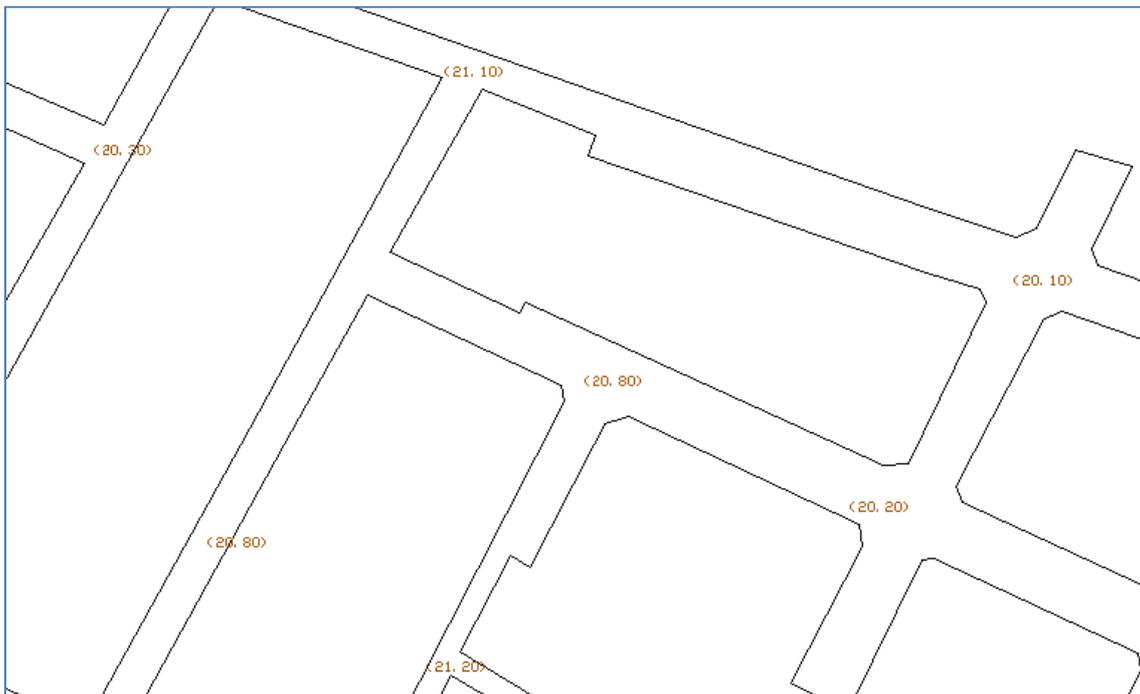


#### 4.4.5 Asignación de cotas

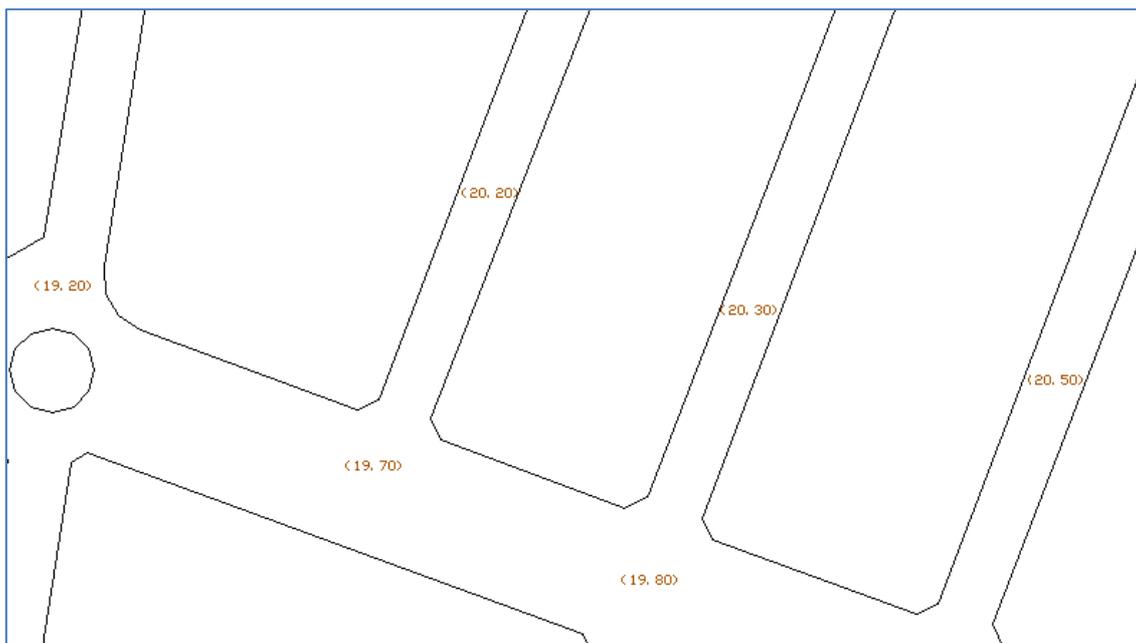
En el caso de la población de Carcaixent se considera que toda la red se encuentra a la cota de 20msnm ya que la planimetría de la población es muy llana, variando entre 19 y 21 metros tal y como se puede observar en varias capturas del archivo de Autocad en el cual están detalladas las cotas del terreno.



*Fig. 53 Detalles de cotas en plano AutoCAD*



*Fig. 54 Detalles de cotas en plano AutoCAD*

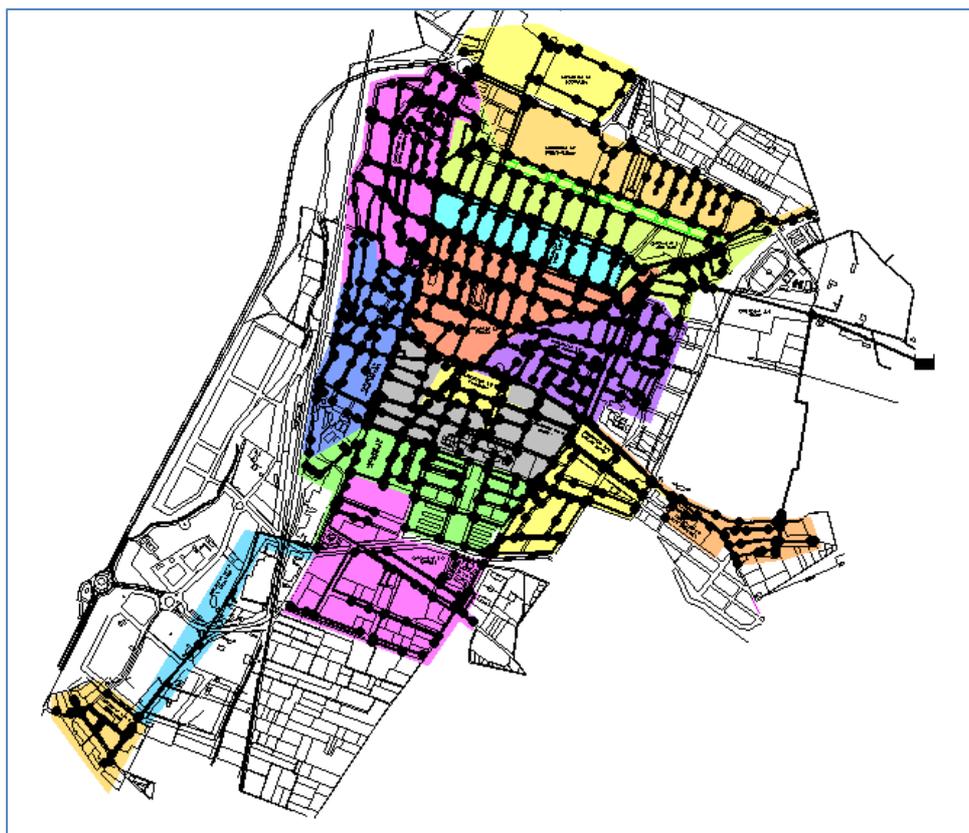


*Fig. 55 Detalles de cotas en plano AutoCAD*

#### 4.4.6 Mapa de fondo

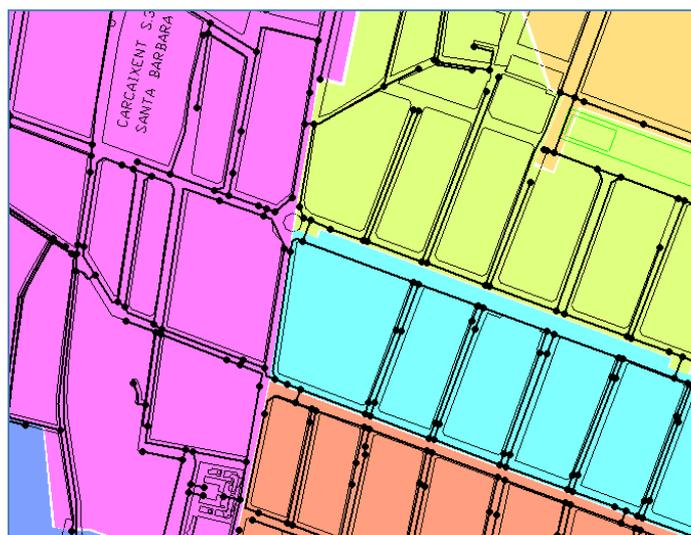
Para finalizar, una vez se ha importado la red correctamente, y se tienen definidas todas las tuberías, cotas, longitudes, materiales y diámetros, es conveniente incluir un mapa de fondo en la red para que los resultados obtenidos se puedan identificar con su punto de localización real.

Para ello se exporta el mapa de fondo con la información cartográfica, así como la definición de los sectores desde Autocad a EPANET. El resultado obtenido se observa en la siguiente ilustración.



*Fig. 56 Red EPANET con mapa de fondo*

Si nos acercamos en detalle a una zona concreta se puede comprobar que efectivamente los trazados de las tuberías definidos en EPANET se corresponden con los trazados reales de las calles de la población de Carcaixent.



*Fig. 57 Detalle de red con mapa de fondo*

## 5 SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ACTUAL

En este capítulo se va a proceder a estudiar cómo se comporta la red de abastecimiento de agua potable de Carcaixent. Para ello se va a distinguir su funcionamiento en condiciones normales de suministro en primer lugar, y posteriormente se simularán condiciones de emergencia por rotura e incluso en caso de incendio, de forma que se podrán obtener unas conclusiones completas sobre el estado de la red.

### 5.1 Análisis de la red en condiciones normales de suministro

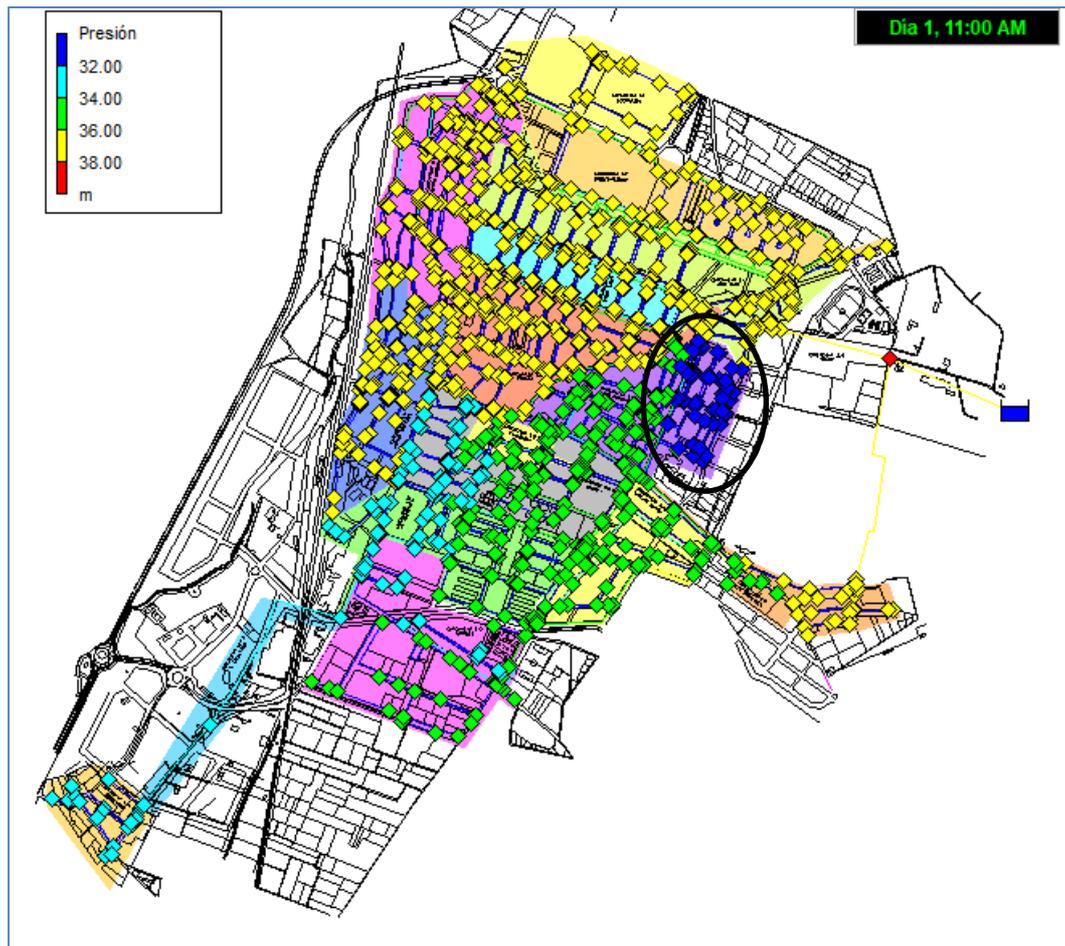
En el análisis de la red en condiciones normales de suministro se va a realizar un estudio detallado de presiones, velocidades, caudales y pérdidas de carga unitaria.

#### 5.1.1 Presiones mínimas

La presión de servicio mínima a garantizar por la red debe ser la necesaria para poder abastecer directamente a los usuarios hasta una altura determinada. En el caso de Carcaixent, prácticamente toda la población está conformada por viviendas unifamiliares o edificios que no son muy altos, por lo que una presión mínima de 20mca puede ser aceptable.

Dado que la red de distribución de Carcaixent es plana, no hay grandes diferencias de presión de un punto a otro. Las presiones mínimas que se detectan en la red se producen a las 11h en el sector 7, en el cual tenemos varios nudos con una presión entre 31 y 32 mca. Estos valores de presión se consideran aceptables ya que están bastante por encima de los 20mca mencionados en el párrafo anterior. En el caso de la curva de modulación del sector 7, el punto de mayor consumo se produce a las 11h, por lo que resulta lógico que se produzca la presión mínima a las 11h.

Los valores de presiones bajos que se originan en este sector son debidos a que el sector 7 es un sector ramificado, y las tuberías que abastecen a una parte del sector son muy pequeñas ( $\varnothing 60$  mm).



*Fig. 58 Presiones en la red a las 11h*

La distribución de presiones es bastante uniforme en prácticamente toda la red. Las zonas con menores presiones son el sector 7 por las tuberías infra dimensionadas mencionadas anteriormente.

Centrándonos más concretamente en el nudo en el que tenemos la mínima presión obtenemos los siguientes resultados:

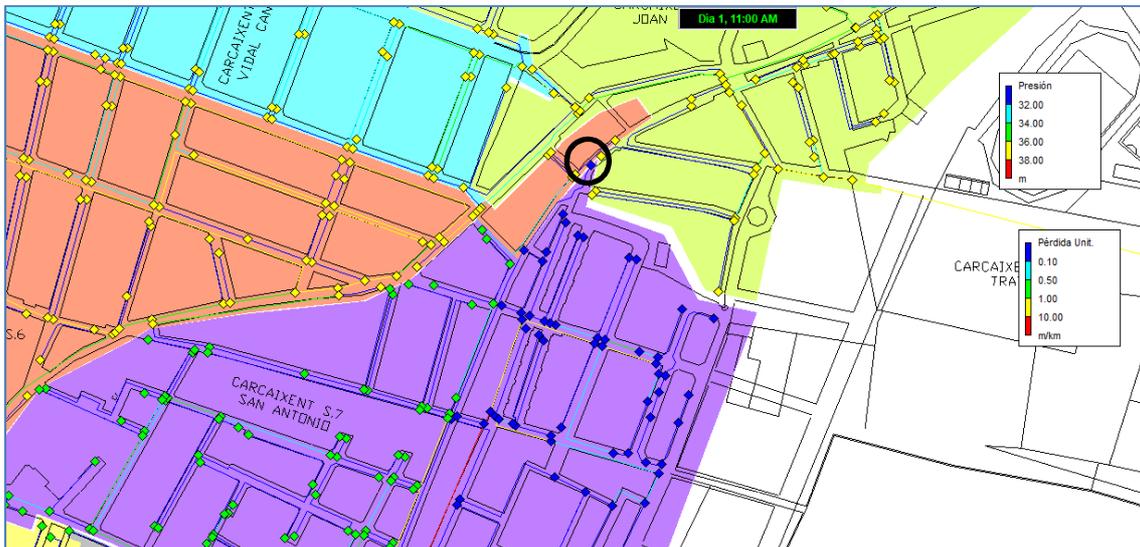


Fig. 59 Detalle de nudo con presión mínima

Se puede observar como la parte del sector con presiones bajas se sitúa a la derecha, justo la parte que es abastecida por las tuberías de 60mm. Mientras que la parte izquierda del sector, que es abastecida por tuberías de 100mm, no muestra estos valores de presiones más bajos.



Fig. 60 Evolución de la presión en el nudo 1454

La evolución de las presiones sigue una gráfica totalmente inversa a la curva de modulación del sector.

### 5.1.2 Presiones máximas

En el caso de tener presiones máximas muy altas, se corre el riesgo de producirse averías y además el volumen fugado puede incrementar considerablemente, por lo que es conveniente controlar las presiones máximas de la red y no sobrepasar los 50-60mca.

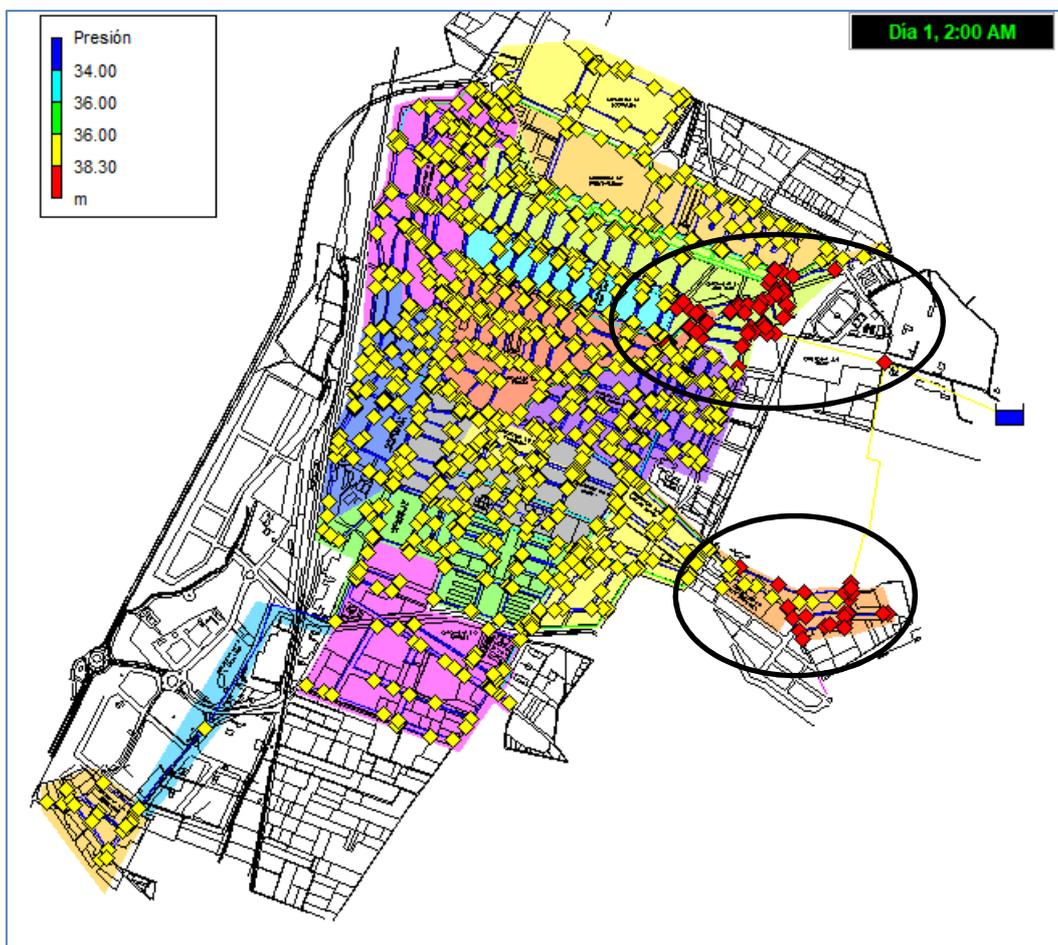


Fig. 61 Presiones en la red a las 2h

Los resultados obtenidos en la red de Carcaixent muestran unos valores de presiones máximas en los puntos más cercanos al suministro, y siempre por debajo de los 40mca, por lo que no van a suponer ningún problema para el comportamiento de la red. Estos picos de presión se producen a las 2h, momento en el cual el consumo es mínimo.

Para poder analizar el comportamiento del nudo con la mayor presión de la red se muestra la evolución temporal de la presión.

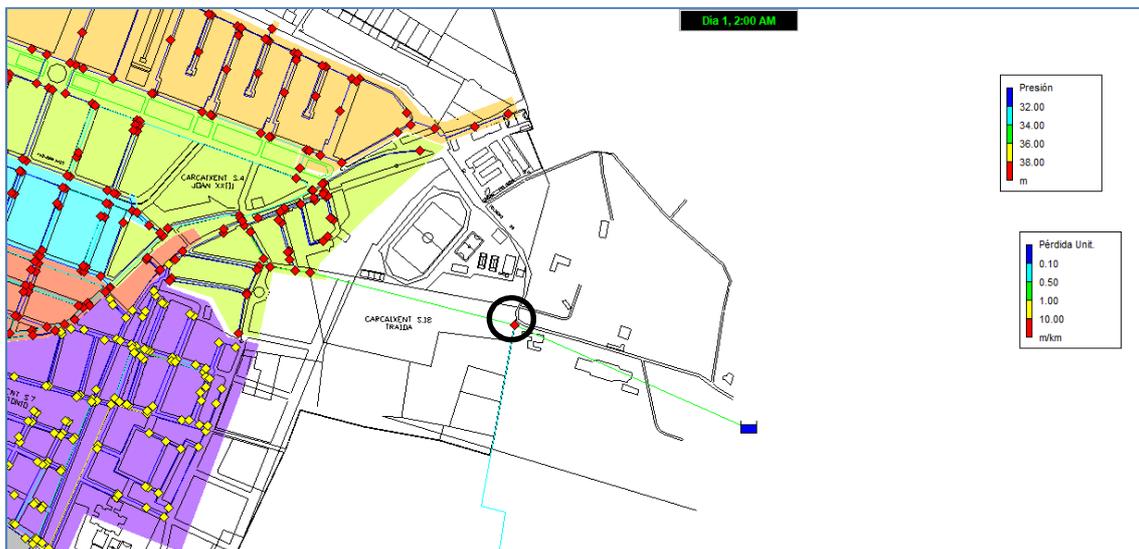


Fig. 62 Detalle de la ubicación del nudo con presión máxima



Fig. 63 Evolución de la presión en el nudo 1445

A la vista de los resultados obtenidos, queda patente que la distribución de presiones en la red es muy uniforme, debido a la topografía del municipio, y sin grandes variaciones en el tiempo.

### 5.1.3 Velocidades mínimas

En el caso de tener velocidades demasiado bajas, se pueden producir problemas de calidad del agua, principalmente por deposiciones y pérdida de desinfectante, por lo que es conveniente intentar conseguir unas velocidades mínimas de 0,3m/s. En la red, a la hora de menor consumo (2h), se obtienen unas velocidades muy bajas, del rango de 0,2m/s, por lo que existe un problema de infrautilización de las conducciones.

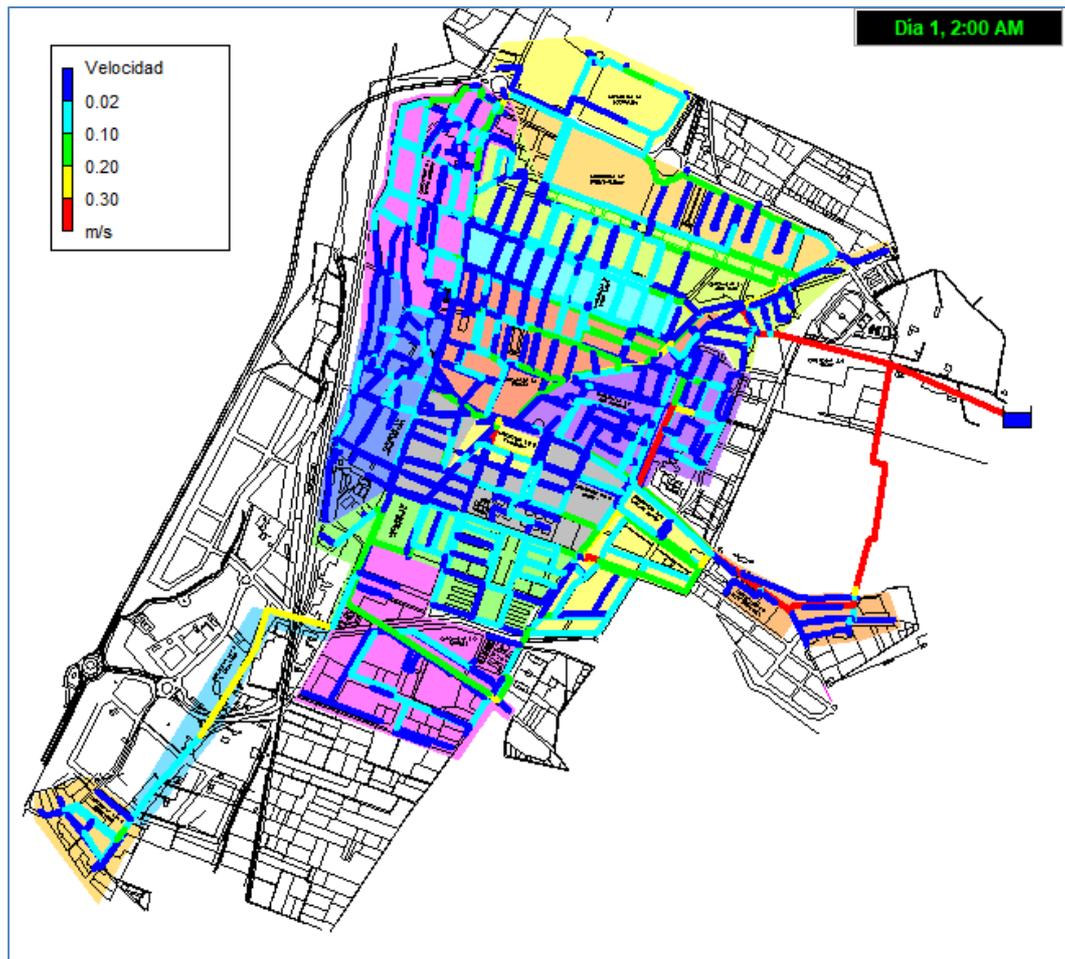


Fig. 64 Velocidades en la red a las 2h

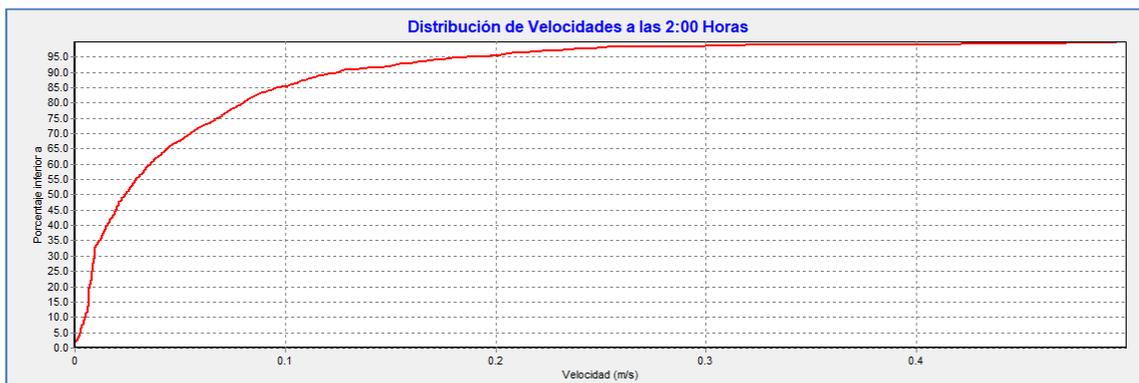


Fig. 65 Distribución de velocidades en la red a las 2h

Se puede afirmar a la vista de los resultados que las velocidades son muy bajas en prácticamente todos los sectores, estando el 95% de las tuberías por debajo de los 0,2m/s a las 2h. Sin embargo, se trata de un situación normal en redes similares.

### 5.1.4 Velocidades máximas

Unas velocidades muy altas en las tuberías pueden provocar grandes pérdidas de carga, presiones bajas, ruidos, vibraciones e incluso sobrepresiones y roturas en caso de transitorios. En la red de Carcaixent, se obtiene una velocidad máxima de 0,88 m/s en la tubería de abastecimiento, justo en el momento del día de mayor consumo.

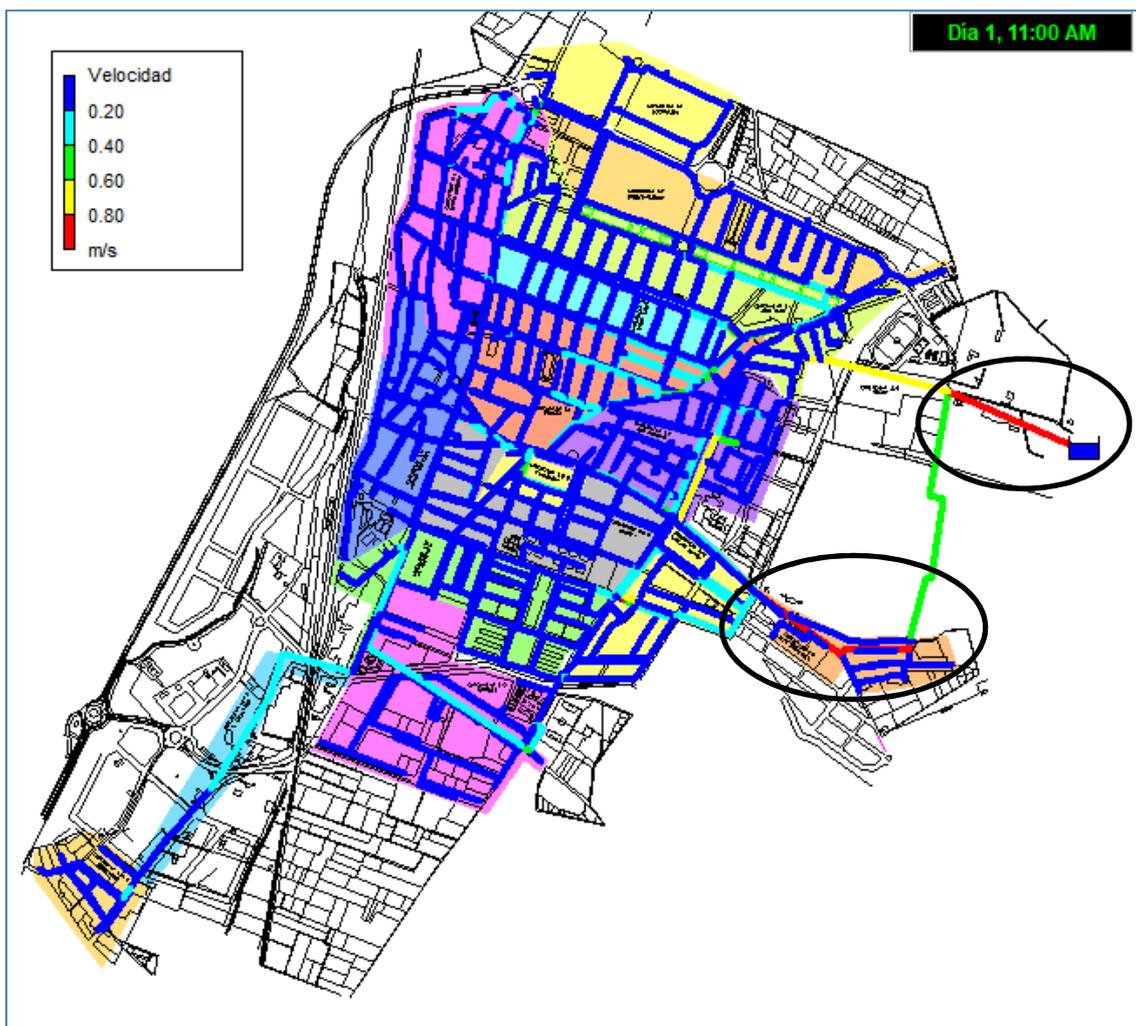


Fig. 66 Velocidades en la red a las 11h

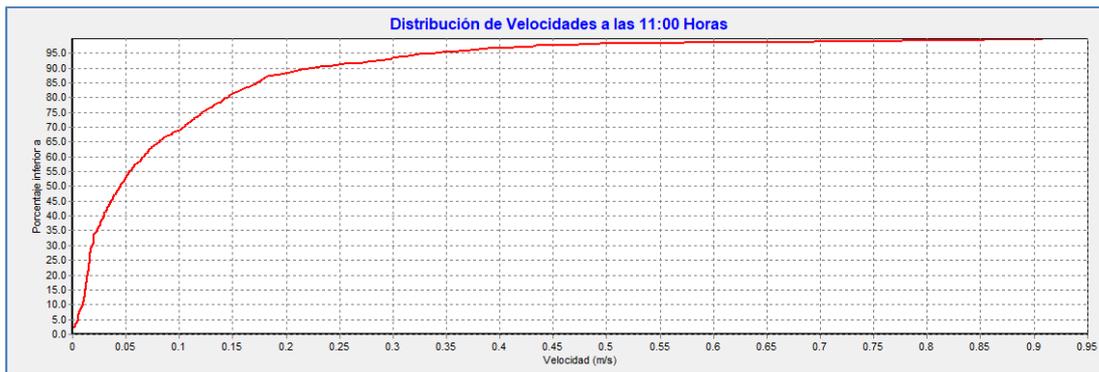


Fig. 67 Distribución de velocidades en la red a las 11h

Incluso en el momento del día de mayor consumo se obtienen unas velocidades bajas en prácticamente toda la red, con valores por debajo de 0,35m/s en el 95% de las conducciones.



Fig. 68 Evolución de la velocidad en la línea que abastece a la población de Carcaixent

La evolución de la velocidad de la conducción que sale del depósito y abastece a la población de Carcaixent muestra como no se obtienen grandes velocidades, y varía además en función del consumo de la red.

### 5.1.5 Caudales máximos

Es importante identificar las tuberías por las que está circulando el mayor % del caudal inyectado a la red, de forma que se puede conocer si las tuberías están sobrecargadas.

En el momento de mayor consumo se puede observar como las tuberías con mayor caudal son las que abastecen a la población, las cuales son las de mayor diámetro también. Estos resultados son lógicos y normales.

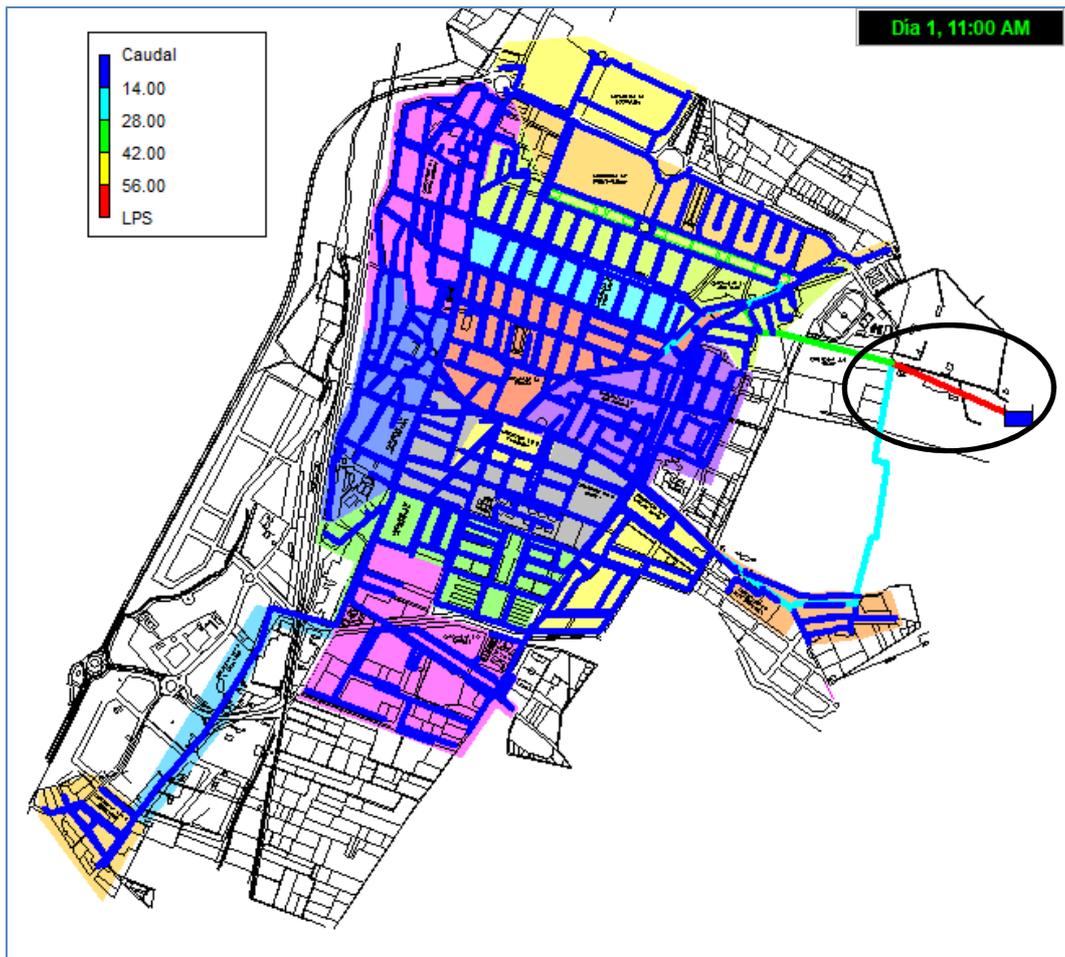


Fig. 69 Caudales en la red a las 11h



Fig. 70 Evolución del caudal en la línea que abastece a la población de Carcaixent

### 5.1.6 Pérdidas de carga unitaria

Las pérdidas de carga constituyen pérdidas de la energía hidráulica, las cuales son debidas al rozamiento del agua contra las paredes internas y a la viscosidad del agua. El estudio de este valor es útil para identificar cuellos de botella en la red. En la práctica se aconseja unas pérdidas de carga máximas próximas a 5 mca/km, sin embargo, se pueden permitir valores superiores localmente si no se generan mayores problemas.

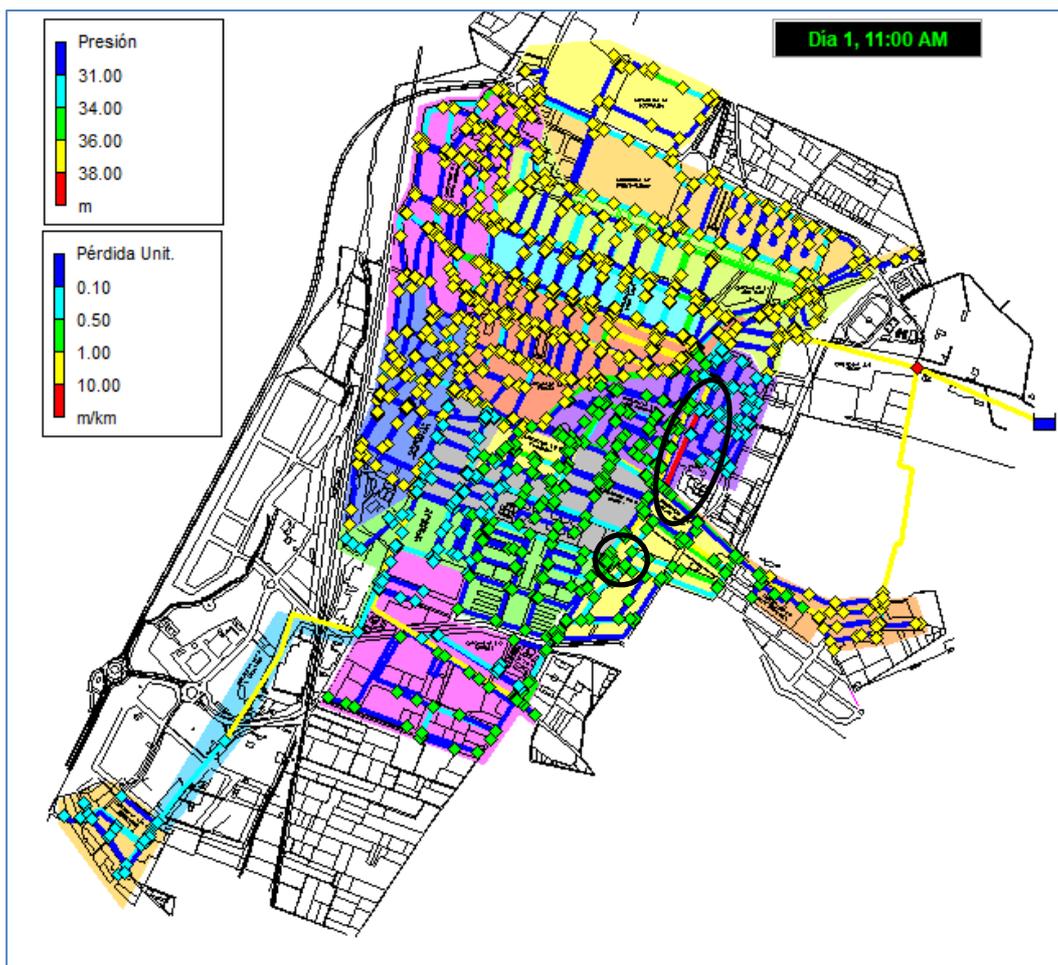


Fig. 71 Pérdidas de carga unitaria en la red a las 11h

En nuestro caso nos encontramos con 2 tramos que presentan unas pérdidas de carga unitarias por encima de los 10 mca/km. Los valores de pérdida de carga que se obtienen no son excesivamente altos, sin embargo, es posible que estén generando problemas aguas abajo en caso de producirse alguna situación de emergencia.



Fig. 72 Identificación de la tubería con pérdida de carga unitaria alta en el sector 7

En el caso del tramo del sector 7, puede ser que el cuello de botella esté provocando unas presiones inferiores en los puntos de la red aguas abajo del mismo. Todo ello provocado por el diámetro infra dimensionado de la tubería que representa el cuello de botella y abastece a un gran número de nudos. En la evolución de la pérdida unitaria se observa como toma valores altos justo en los puntos de picos de consumo.



Fig. 73 Evolución de la pérdida de carga unitaria en la línea 1174

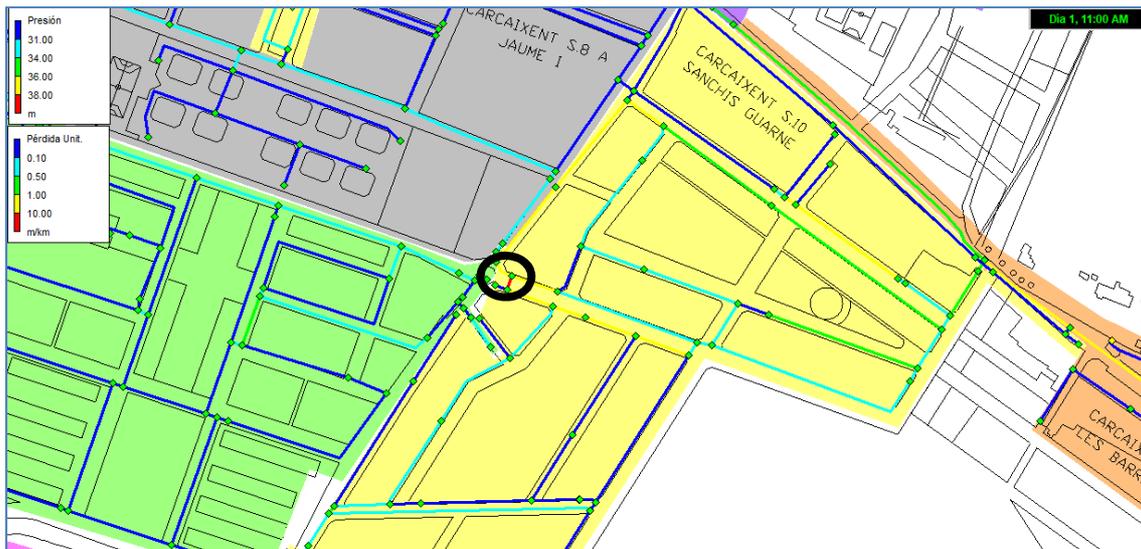


Fig. 74 Identificación de la tubería con pérdida de carga unitaria alta en el sector 10

Por el contrario, en el caso del sector 10 no representa ningún problema ya que este sector presenta una estructura mallada y a la derecha de la tubería problemática existe otra conducción de diámetro 250 mm que tiene capacidad de abastecer al resto de nudos.



Fig. 75 Evolución de la pérdida de carga unitaria en la línea 157

A la vista de la distribución de las pérdidas de carga unitarias existentes en la red en el momento de mayor consumo, se puede observar como la gran mayoría de la red no presenta problemas.

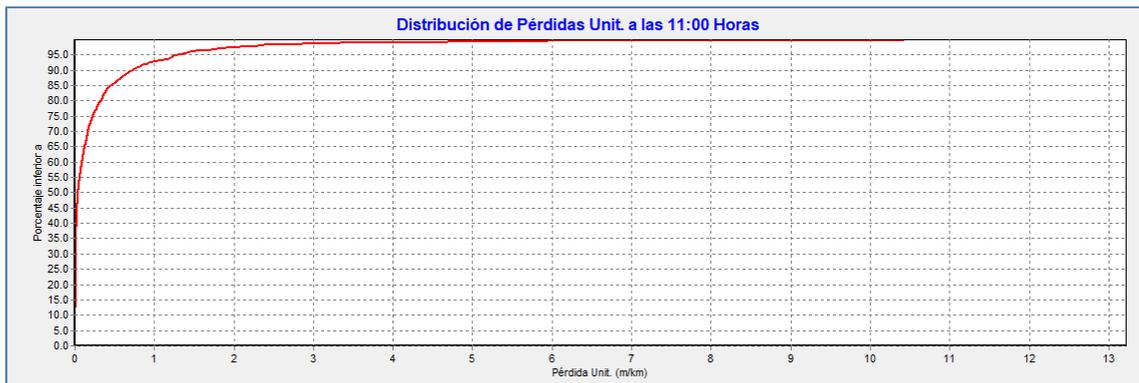


Fig. 76 Distribución de pérdidas de carga unitarias en la red a las 11h

## 5.2 Análisis de la red en condiciones de emergencia por rotura

En este apartado se pretende analizar el comportamiento de la red en caso de producirse una rotura o incluso un corte programado de alguna de las tuberías de la red de abastecimiento. Suponen simplemente casos hipotéticos, ya que no se puede saber si alguna tubería se romperá en algún momento, sin embargo, se va a analizar la rotura de algunas tuberías que podrían provocar problemas en caso de rotura.

La red de distribución de Carcaixent está dividida en 2. La tubería que sale del depósito de abastecimiento se divide en 2, las cuales distribuyen el agua a 2 zonas muy diferenciadas y que no están interconectadas entre sí en condiciones normales, ya que existen válvulas de control que las conectan pero que sólo se abren en caso de emergencia, como puede ser el caso presentado a continuación. Por lo tanto, se van a proceder a analizar los casos en que la rotura se produzca en las tuberías que abastecen a las 2 zonas de la red de distribución.

### 5.2.1 Rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la red

En el caso de producirse la rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la red, se obtienen presiones negativas en todos los nudos de la red aguas abajo, ya que como se ha mencionado en el punto anterior no pueden llegar a tener suministro desde otro punto a no ser que se actúe sobre las válvulas de control existentes que pueden conectar sectores entre sí.

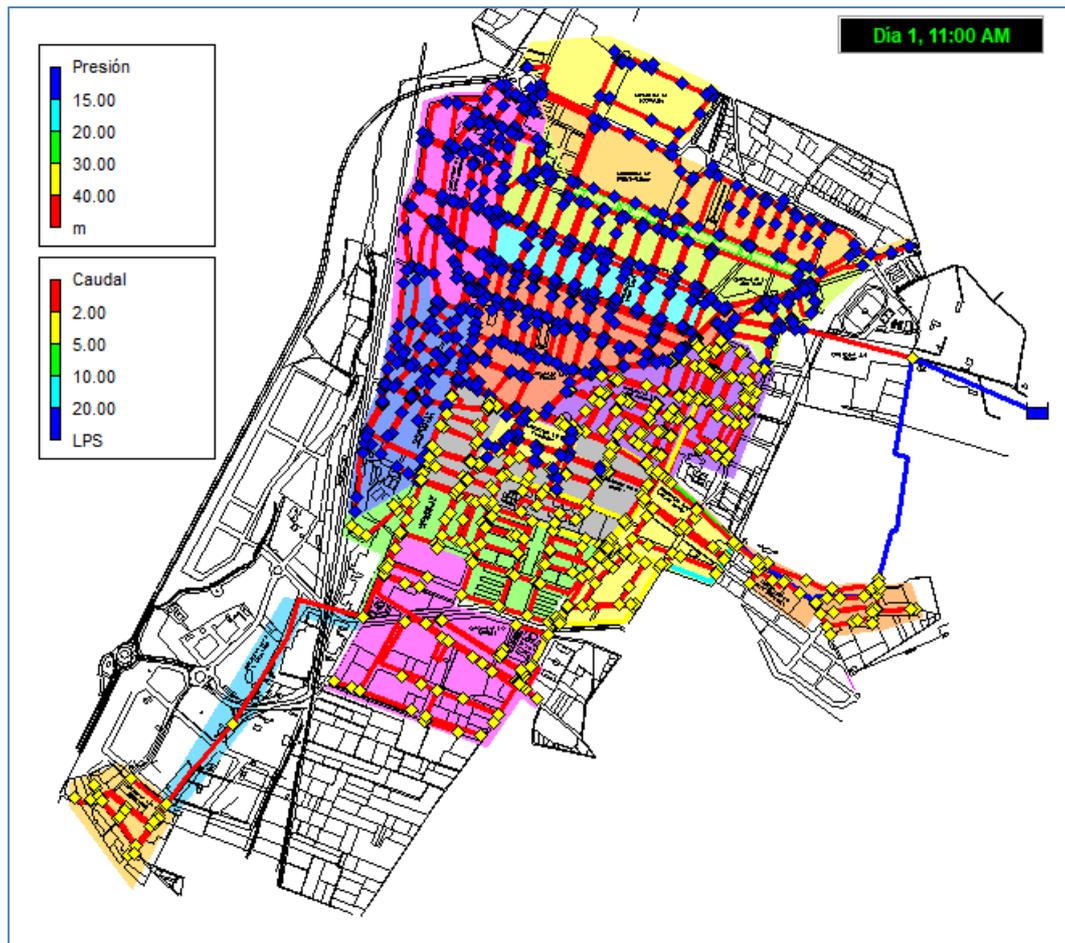


Fig. 77 Estado de la red en caso de rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la población

Para intentar garantizar el abastecimiento de esta zona se procede a abrir todas las válvulas de control existentes que pueden conectar la mitad inferior de la mitad superior (2 válvulas que conectan el sector 7 con el sector 6, y 2 válvulas que conectan el sector 8A con el sector 8B).

Sin embargo, ni procediendo a abrir estas válvulas se puede obtener unas condiciones de suministro, con valores de presión negativos en la mayoría de nudos de la mitad superior en el momento de mayor consumo.

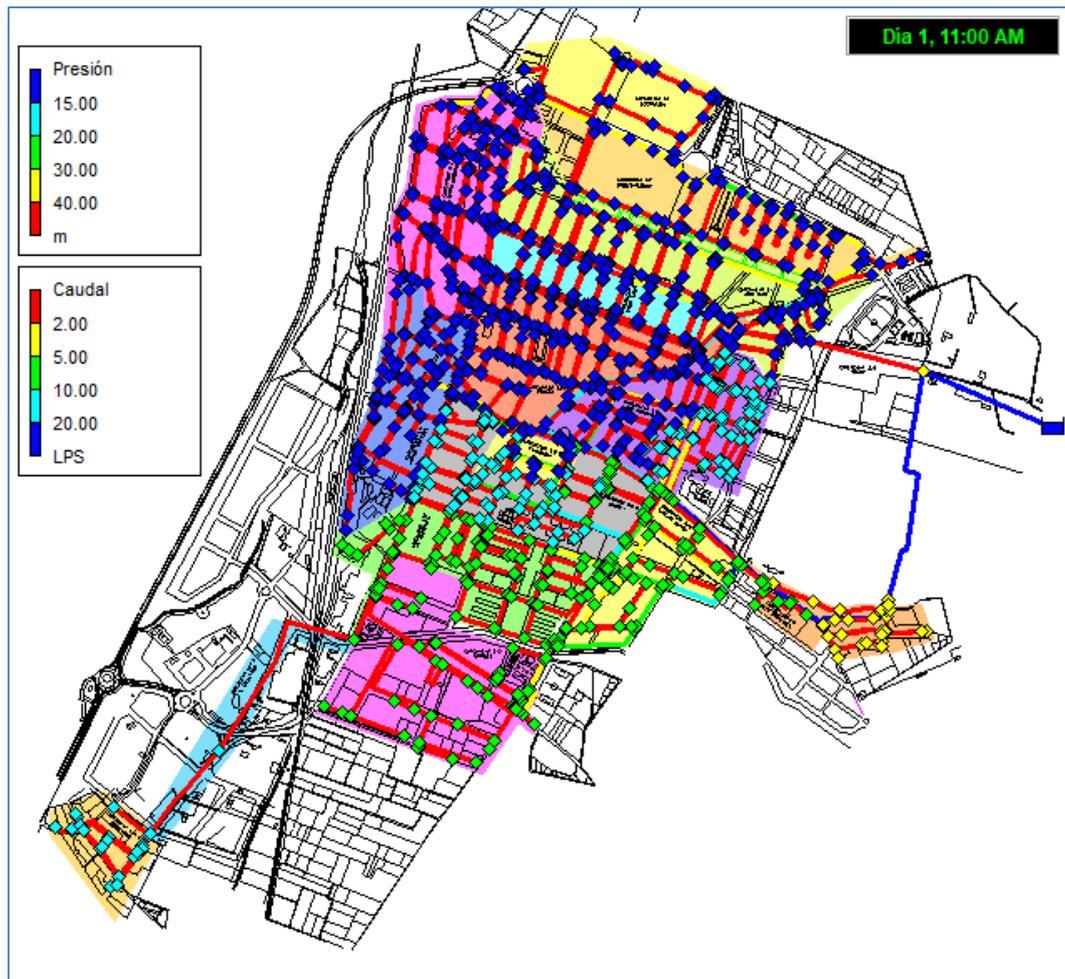
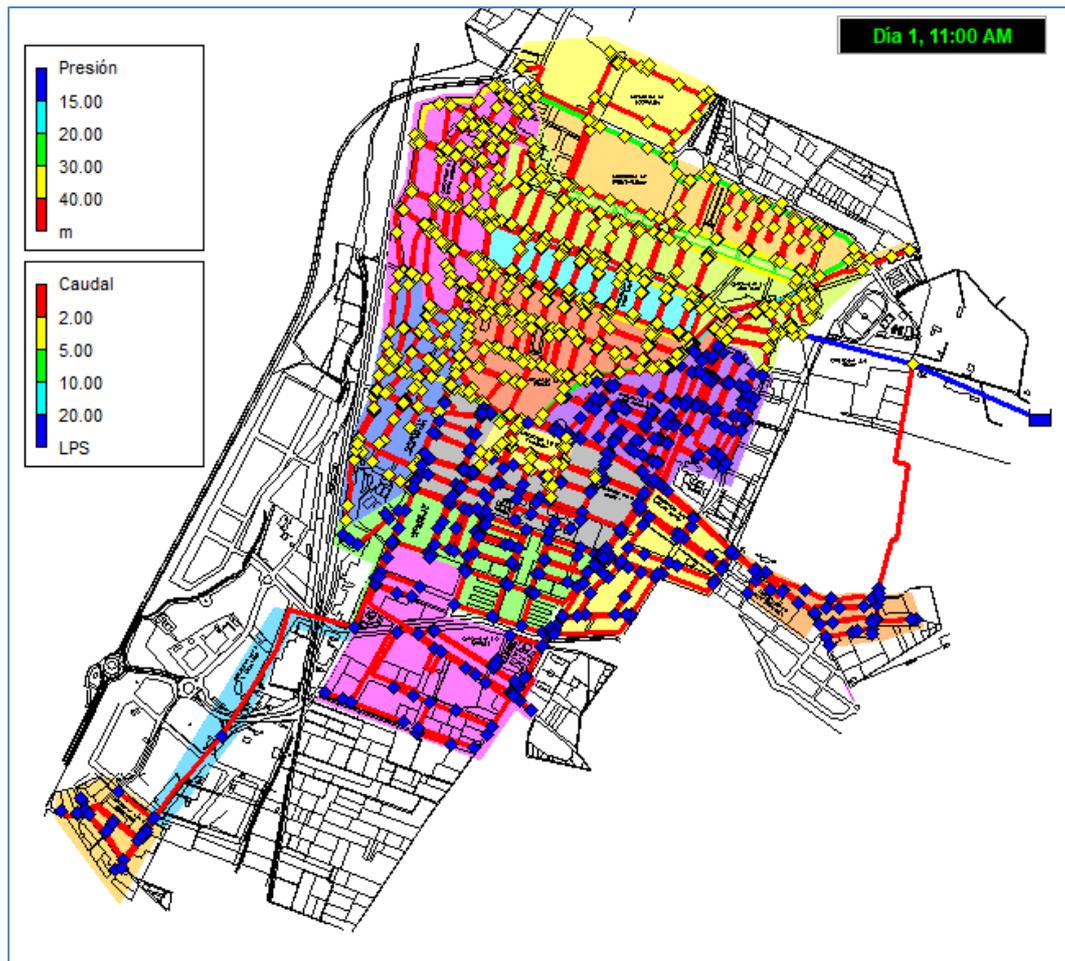


Fig. 78 Estado de la red en caso de rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la población con las válvulas de control abiertas

### 5.2.2 Rotura de la conducción que abastece a la mitad inferior de la red

En el caso de producirse la rotura de la conducción que abastece a la mitad inferior de la red, también se obtienen presiones negativas en todos los nudos de la red aguas abajo.



*Fig. 79 Estado de la red en caso de rotura de la conducción que abastece a la mitad inferior de la población*

Si en este caso abrimos las válvulas de control que conectan el sector 7 con el sector 6 y el sector 8A con el sector 8B, sí que se obtienen unas condiciones de suministro óptimas, con presiones por encima de los 15mca.

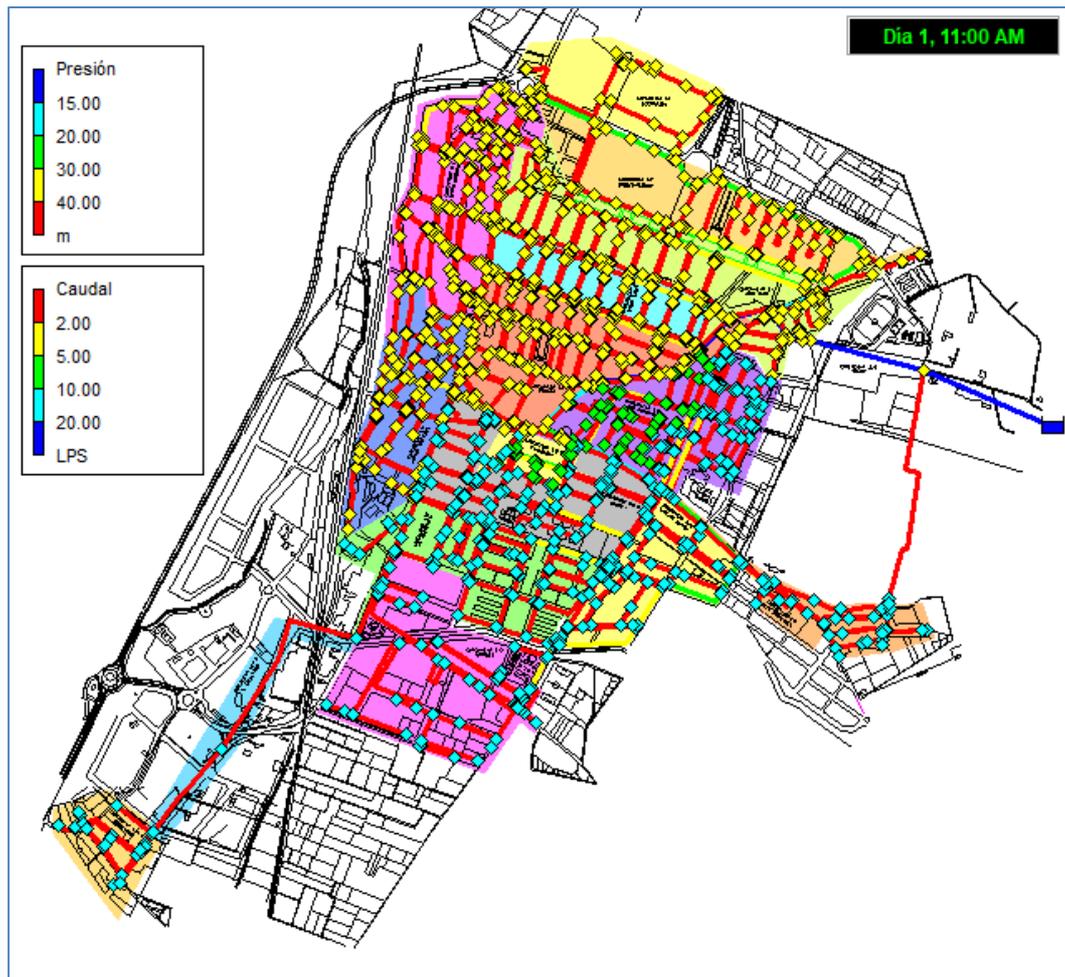


Fig. 80 Estado de la red en caso de rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la población con las válvulas de control abiertas

### 5.2.3 Rotura de una conducción en el sector 6

Se procede a analizar el comportamiento de la red en el caso de que se produzca una rotura en el sector 6. La tubería elegida es una de las que más caudal trasiega en el momento de mayor consumo (a las 11h).



Fig. 81 Localización de tubería en la que se provoca la rotura en el sector 6

El resultado obtenido muestra como la rotura de la tubería indicada no provocaría ninguna anomalía en la red, ya que todos los nudos continuarían teniendo unos valores de presiones y caudales óptimos.

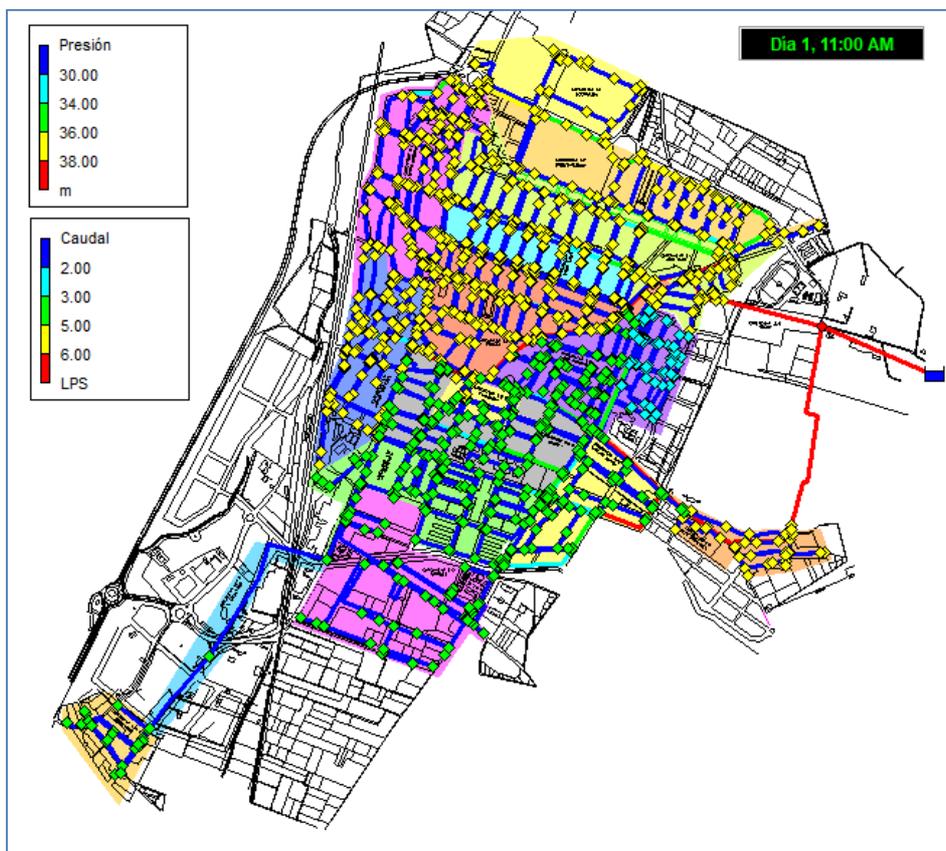


Fig. 82 Estado de la red en el caso de rotura de tubería en el sector 6

### 5.2.4 Rotura de una conducción en el sector 3

A la vista de los buenos resultados obtenidos al analizar la rotura de una tubería en el sector 6, se procede a la rotura de una tubería en el sector 3, con el objetivo de comprobar si efectivamente la red no es sensible a este tipo de roturas dentro de los sectores. La tubería elegida es una de las que mayor caudal trasiega en el sector 3 a las 11h.

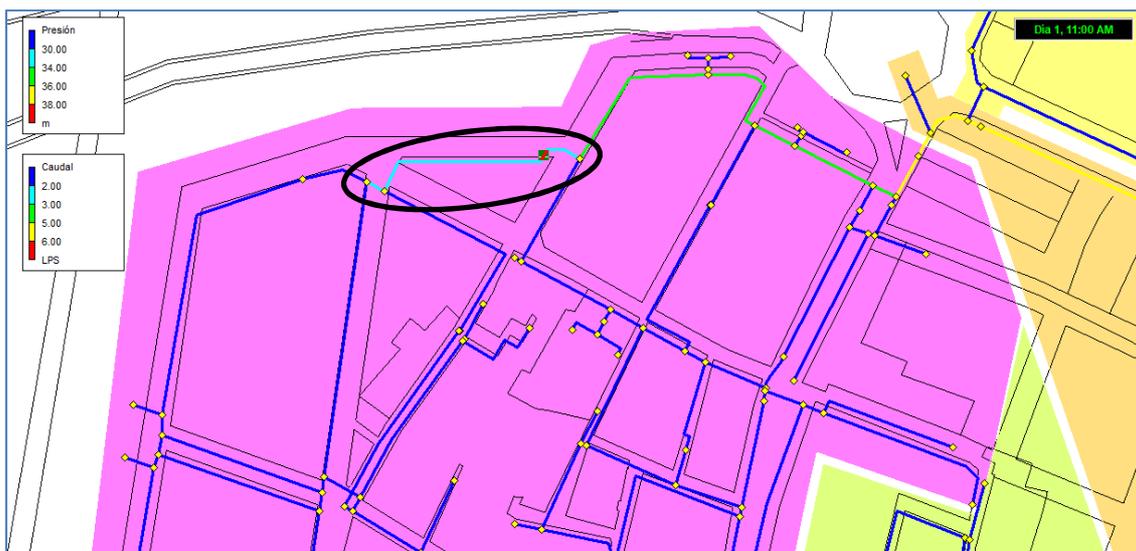


Fig. 83 Localización de la tubería en la que se provoca la rotura en el sector 3

Al igual que en el sector 6, los resultados obtenidos presentan unas condiciones óptimas de suministro en toda la red, por la que la rotura no afectaría al comportamiento de la red.

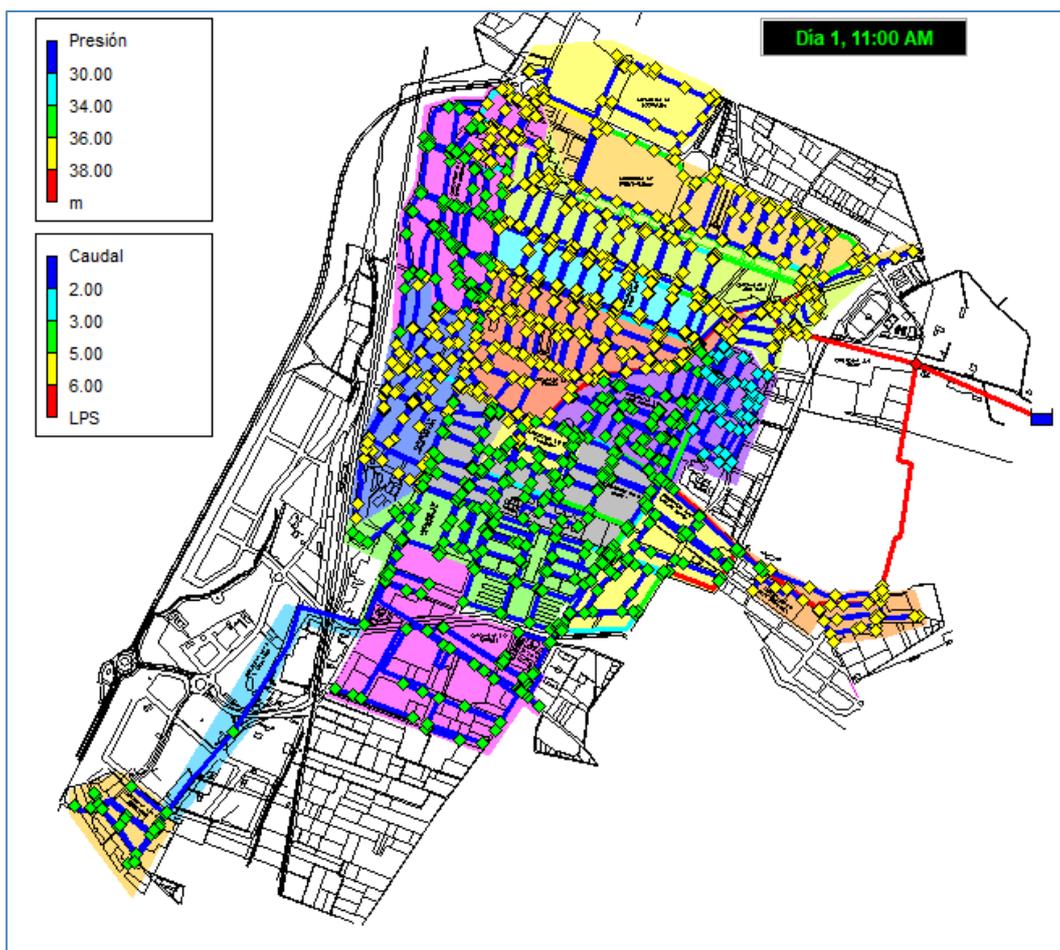


Fig. 84 Estado de la red en el caso de rotura de tubería en el sector 3

### 5.3 Situación en caso de incendio

La normativa que rige las condiciones necesarias en caso de incendio es la NBE-CPI/96 y establece unas determinadas directrices en relación a la ubicación de los hidrantes y al comportamiento hidráulico de la red en caso de incendio.

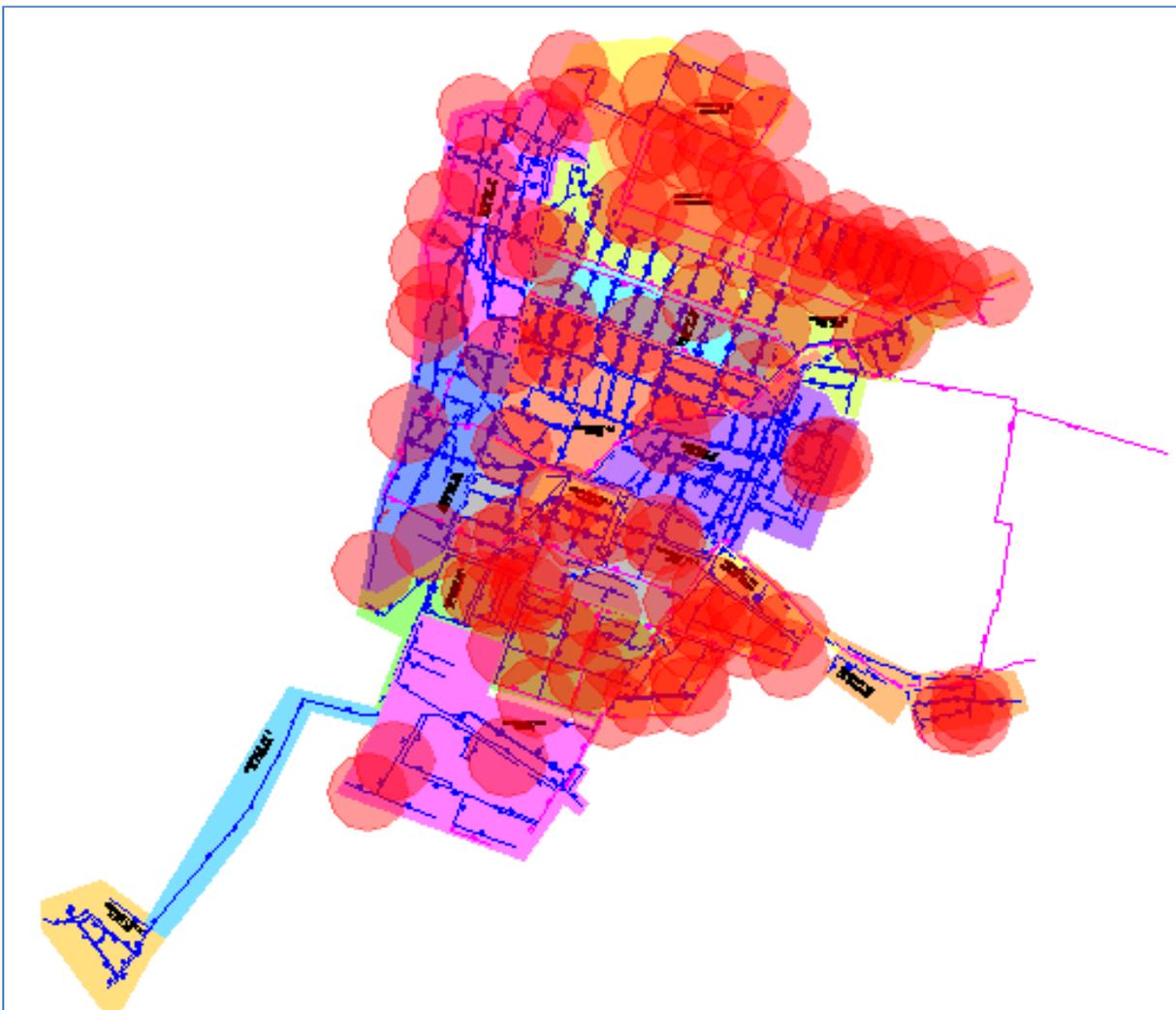
#### 5.3.1 Ubicación de los hidrantes

La normativa indica que los hidrantes deben estar situados en lugares accesibles con facilidad, además de que tienen que situarse fuera del espacio de circulación y de estacionamiento de vehículos, además de estar señalizados. La norma UNE 23 033 indica sobre la distancia entre hidrantes:

“Los hidrantes deben estar situados en lugares fácilmente accesibles, fuera del espacio destinado a la circulación y estacionamiento de vehículos, debidamente señalizados

conforme a la Norma UNE 23 033 y distribuidos de tal manera que la distancia entre ellos medida por espacios públicos no sea mayor que 200 metros”.

Además, la normativa también exige que debe haber hidrantes cercanos a edificios públicos, hospitales, parkings... Aplicando los condicionantes mencionados se obtienen los siguientes resultados:



*Fig. 85 Ubicación y área cubierta por los hidrantes existentes en la red*

A la vista de los resultados queda patente que la cantidad de hidrantes existentes es insuficiente, ya que quedan muchas zonas sin cubrir, por lo que sería necesaria la instalación de más hidrantes para poder cumplir los requisitos indicados en la normativa.

### 5.3.2 Comportamiento hidráulico ante incendio

Por lo que respecta al comportamiento hidráulico de la red ante un incendio, la normativa UNE 23 033 indica que:

“La red hidráulica que abastece a los hidrantes debe permitir el funcionamiento simultáneo de dos hidrantes consecutivos durante dos horas, cada uno de ellos con un caudal de 1.000 l/min (16,6 l/s) y una presión mínima de 10 mca. (metros columna de agua) En núcleos urbanos consolidados en los que no se pudiera garantizar el caudal de abastecimiento de agua, puede aceptarse que éste sea de 500 l/min (8,3 l/s), pero la presión se mantendrá en 10 mca.” Por lo tanto, se procede a simular el comportamiento de cada uno de los sectores en caso de incendio.

#### 5.3.2.1 Hidrantes en el Sector 1

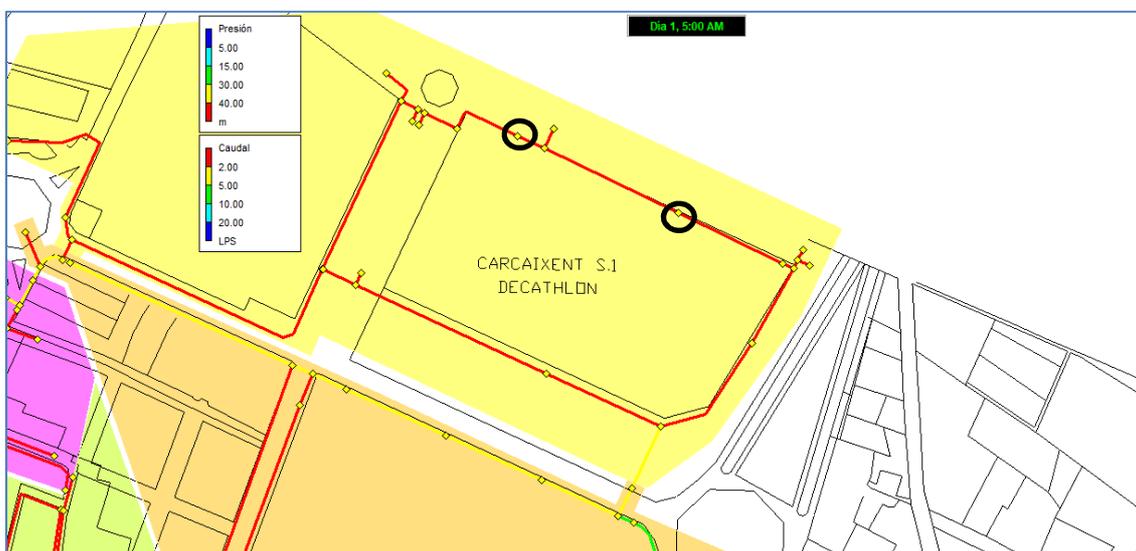


Fig. 86 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 1

Prácticamente todos los nudos del sector presentan unas presiones similares, por lo que simplemente se procede al análisis seleccionando 2 hidrantes consecutivos y cuya conducción es la de menor dimensión del sector ( $\varnothing 110\text{mm}$ ).

Como se puede observar en la siguiente gráfica, considerando un caudal de 16,6 l/s la presión se sitúa por encima de los 18mca en los hidrantes en todo momento.

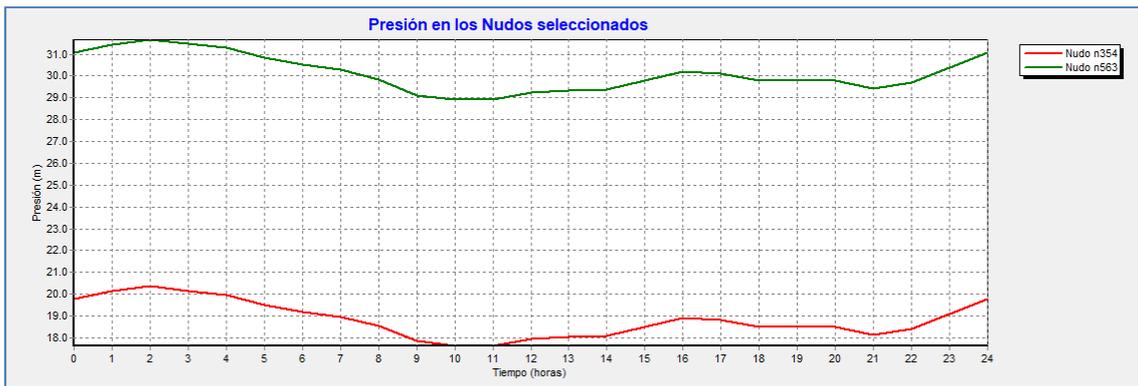


Fig. 87 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 1 con caudal 16,6 l/s

Si observamos el estado de la red completa, se tienen presiones mayores de 18mca en toda la red, por lo que el resultado es válido.

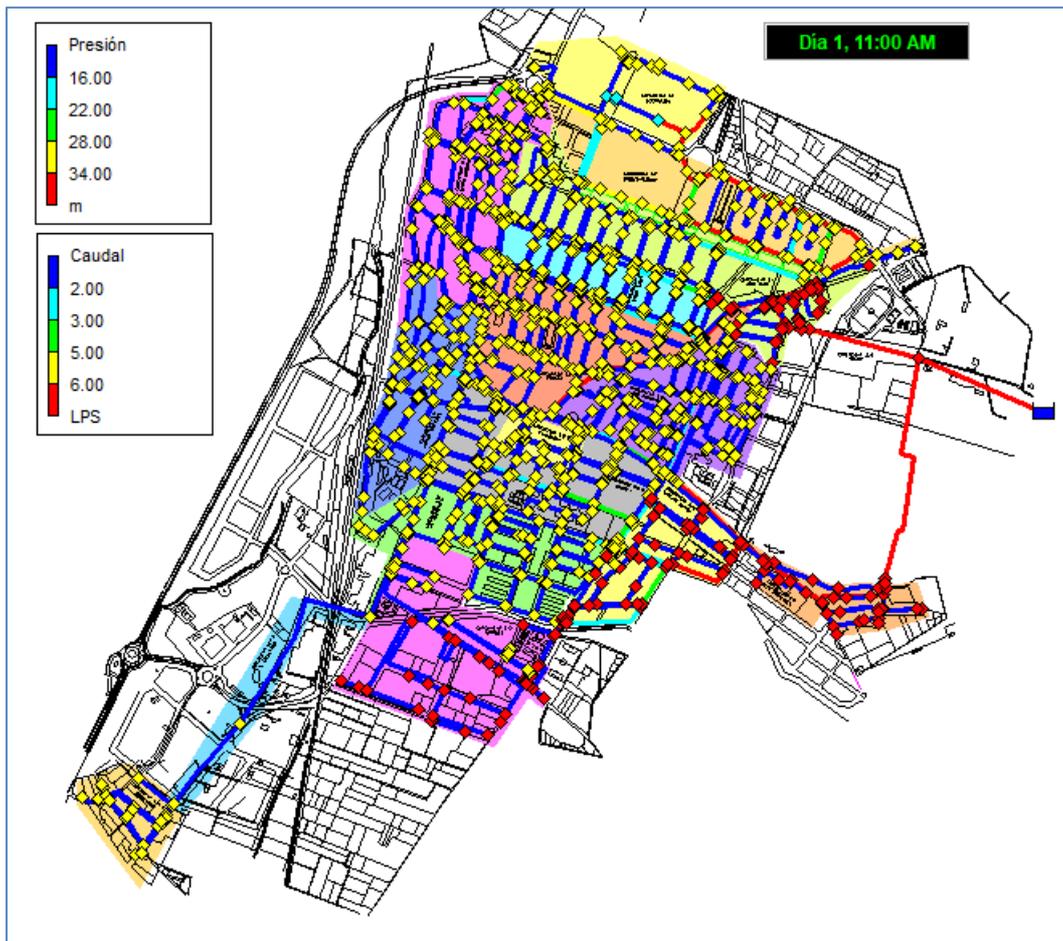


Fig. 88 Estado de la red en caso de incendio en el sector 1 a las 5h

Se han realizado simulaciones también en los sectores 2, 4, 5, 6, 10 y 12 obteniendo resultados similares considerando un caudal de incendio de 16,6 l/s, los cuales se muestran en el anejo 10.2.

### 5.3.2.2 Hidrantes en el Sector 3



Fig. 89 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 3

Los hidrantes considerados para realizar el estudio son los situados al final del sector, el cual presenta una red ramificada y que, además, presentan las presiones más bajas. El resultado obtenido al aplicar un caudal de 16,6l/s no es bueno, ya que las presiones de los nudos llegan incluso a ser negativas.

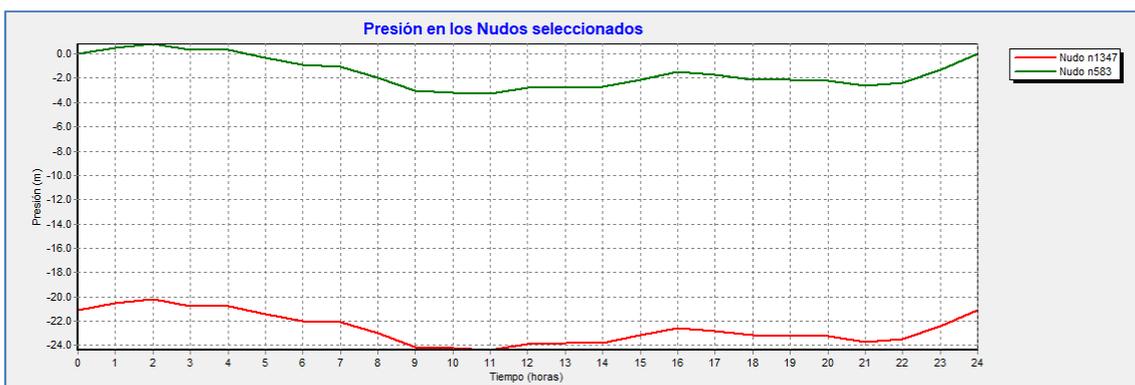


Fig. 90 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 3 con caudal 16,6 l/s

Sin embargo, si se aplica un caudal de 8,3l/s sí que se obtienen unos valores de presión válidos. Por lo que, dado que la norma acepta este valor de caudal para núcleos urbanos consolidados, tomaremos los resultados como aceptables.



Fig. 91 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 3 con caudal 8,3l/s

Los resultados del estado de toda la red dejan constancia de que el comportamiento de la red también es óptimo.

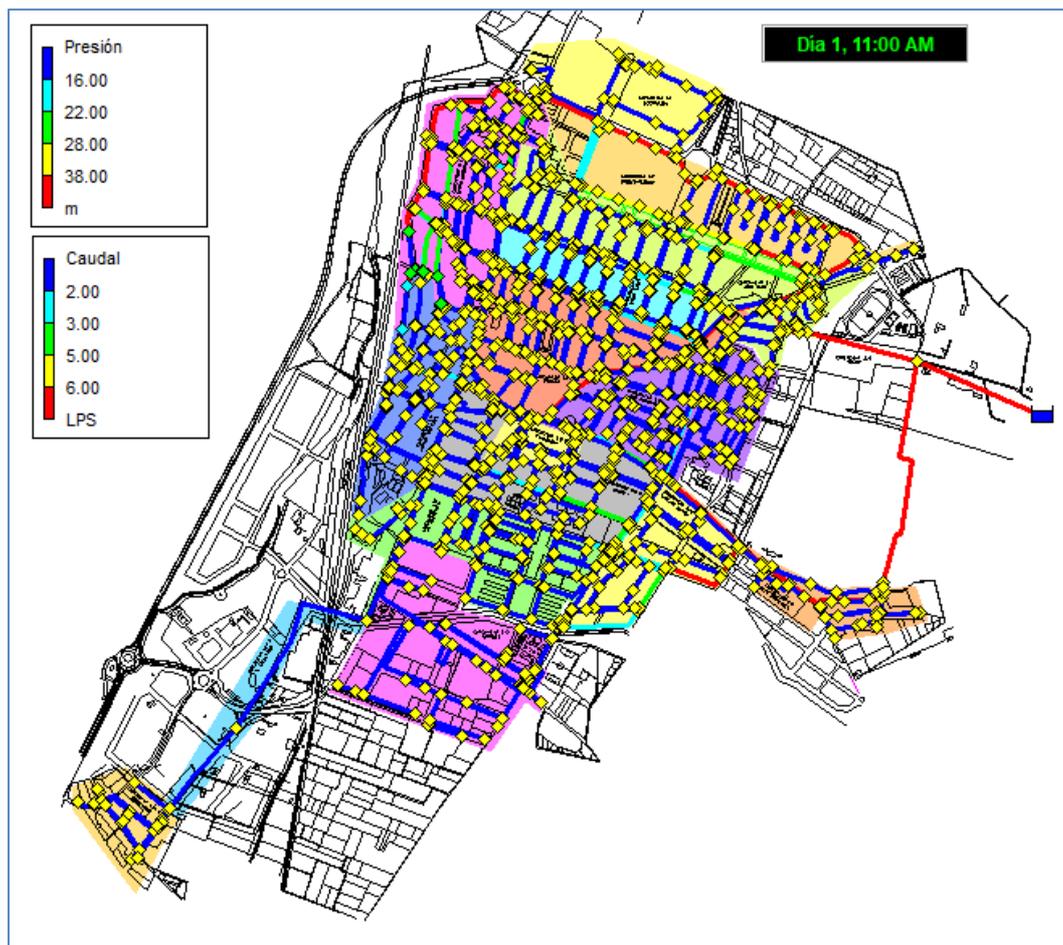


Fig. 92 Estado de la red en caso de incendio en el sector 3 a las 11h

En los sectores 7, 8A, 9 y 11 también se da el caso de obtener resultados que no son válidos al considerar un caudal de 16,6 l/s, pero si en cambio se considera un caudal de

8,3 l/s sí que son óptimos, con presiones en los hidrantes por encima de los 10mca y en el resto de la red siempre superando los 15mca. Estos resultados se muestran en el Anejo 10.2

### 5.3.2.3 Hidrantes en el Sector 8B

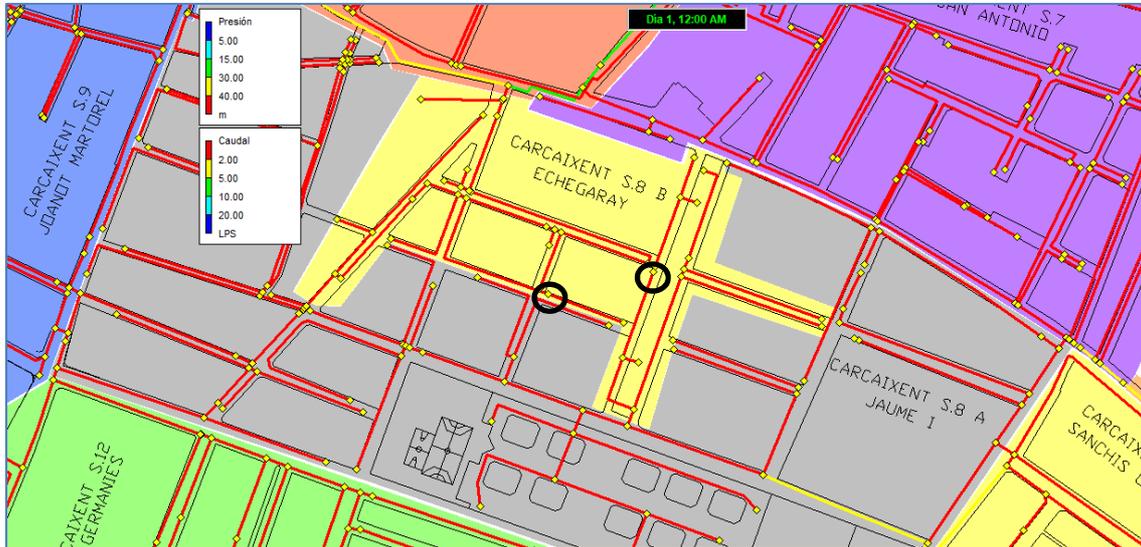


Fig. 93 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 8B

En el sector 8B no existen prácticamente hidrantes, por lo que se seleccionan los 2 hidrantes que se encuentran situados más próximos de los 3 existentes. Al considerar un caudal de 16,6 l/s obtenemos unas presiones en los hidrantes negativas.

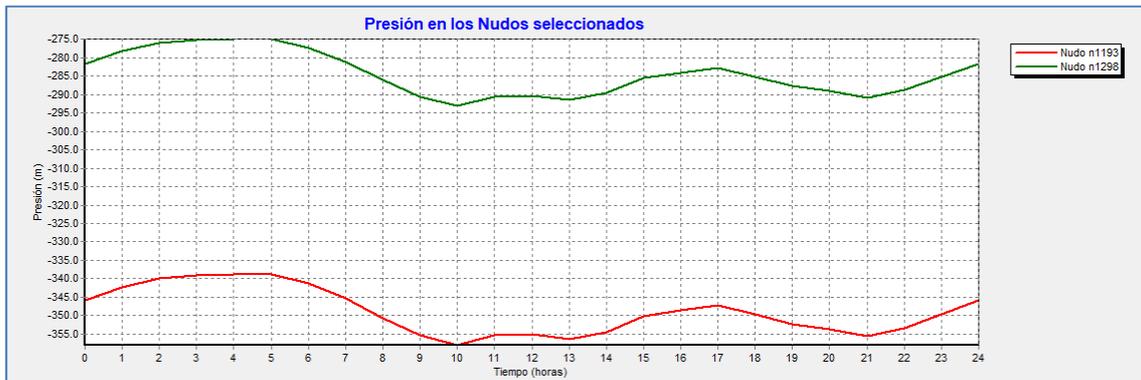


Fig. 94 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 8B con caudal 16,6 l/s

Si se considera un caudal de 8,3 l/s seguimos obteniendo resultados de presiones negativas, de forma que sería necesario tomar alguna medida más para poder obtener resultados óptimos.

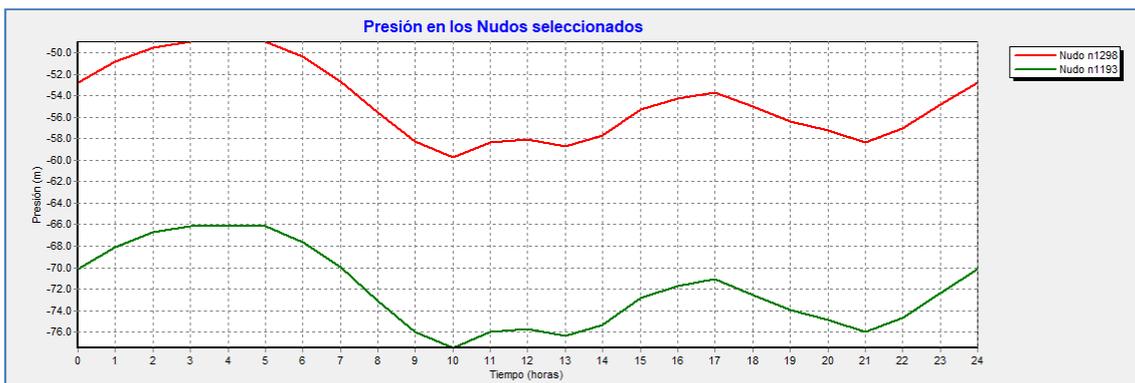


Fig. 95 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 8B con caudal 8,3 l/s

La medida que se podría tomar sería la apertura de las válvulas de control existentes entre el sector 8A y el sector 8B. Los resultados de las presiones obtenidas en los hidrantes considerando un caudal de 8,3 l/s muestran un resultado óptimo, situándose por encima de los 10mca.

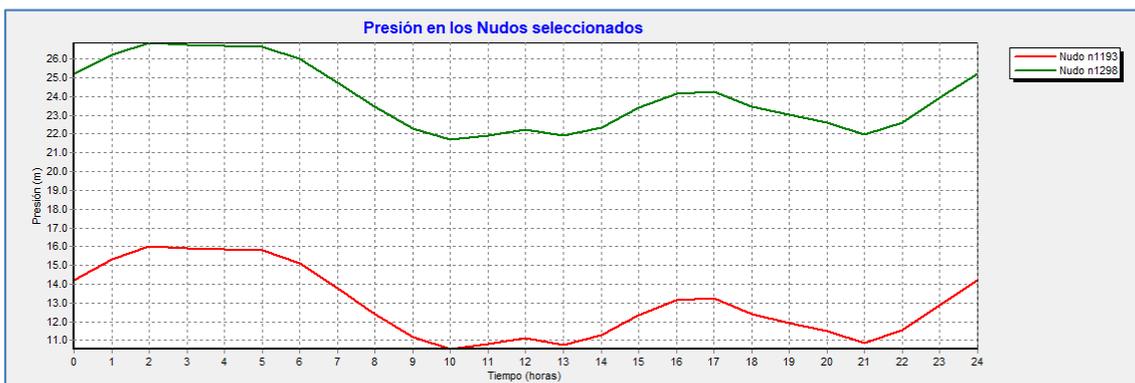


Fig. 96 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 8B con caudal 8,3 l/s y las válvulas de control abiertas

Se representa en la siguiente figura el estado de la red completa a las 11h para observar si existen anomalías, pero se puede ver como toda la red tiene un comportamiento óptimo.

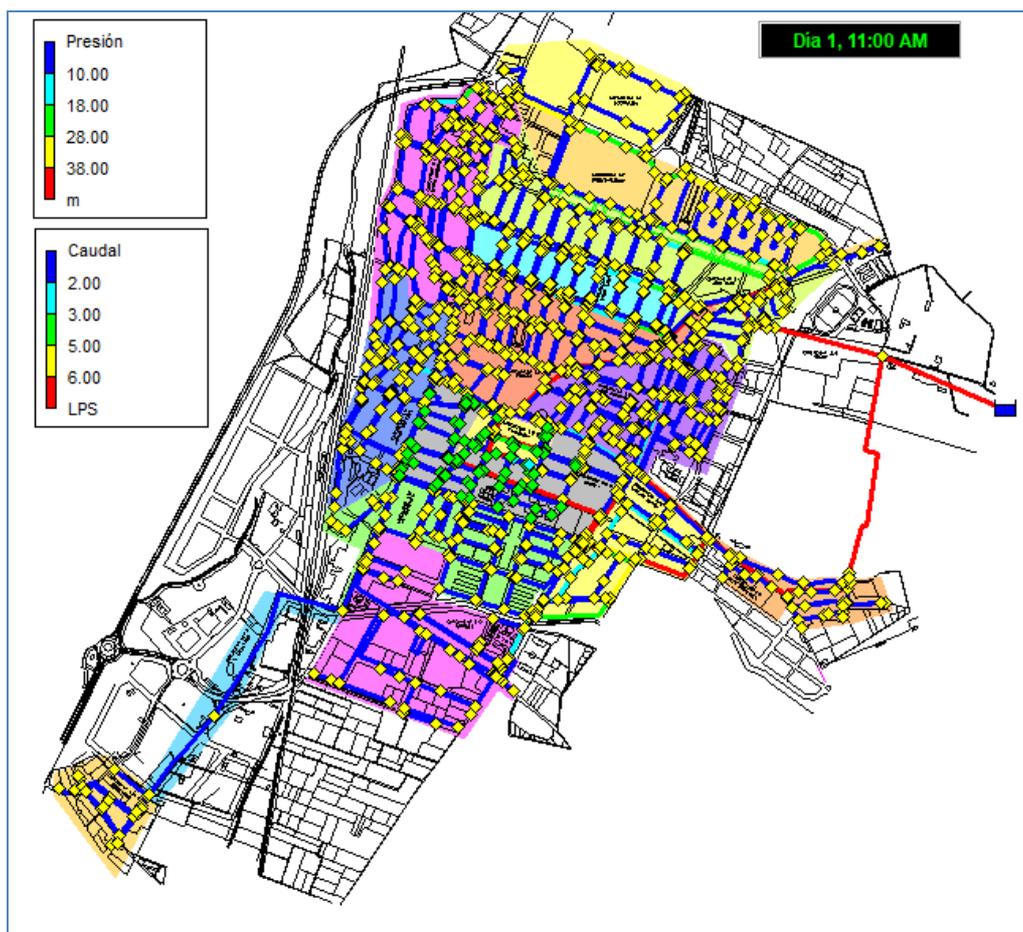


Fig. 97 Estado de la red en caso de incendio en el sector 8B a las 11h con caudal 8,3 l/s y las válvulas de control abiertas

#### 5.3.2.4 Hidrantes en el Sector 13

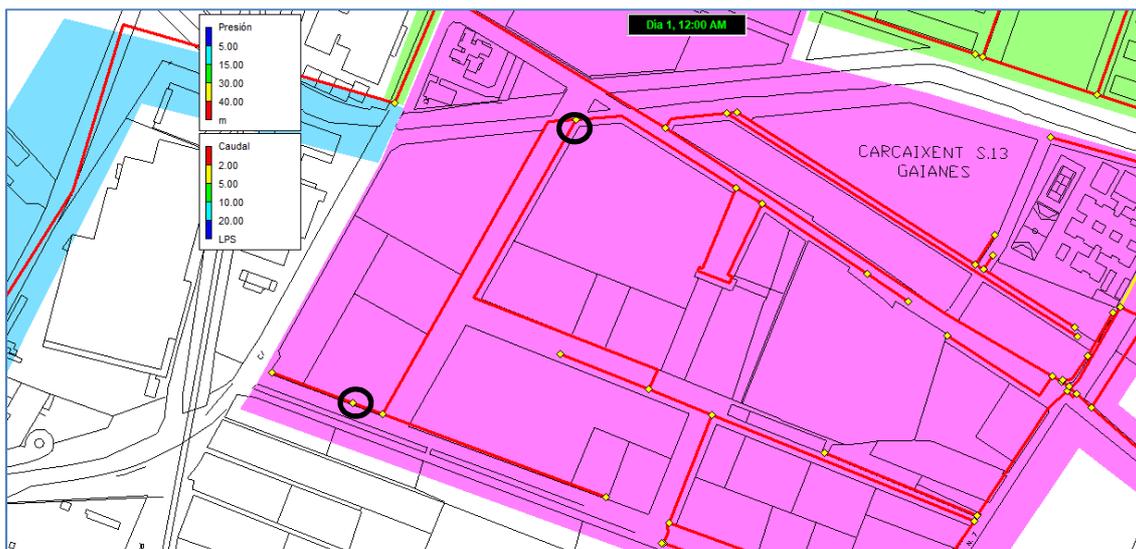


Fig. 98 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 13

En el caso del sector 13 tampoco se disponen actualmente de gran cantidad de hidrantes, por lo que se escogen 2 hidrantes situados en serie al final de la red. Los valores de presión obtenidos al aplicar el caudal de 16,6 l/s son negativos.

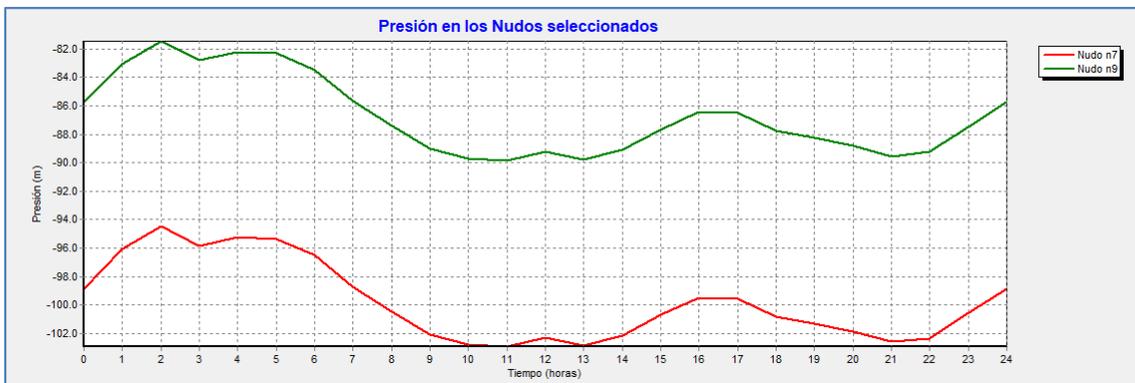


Fig. 99 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 13 con caudal 16,6 l/s

Si se considera un caudal de 8,3 l/s en los hidrantes, los valores de presiones siguen siendo muy bajos, e incluso negativos, por lo que los resultados no son aceptables.

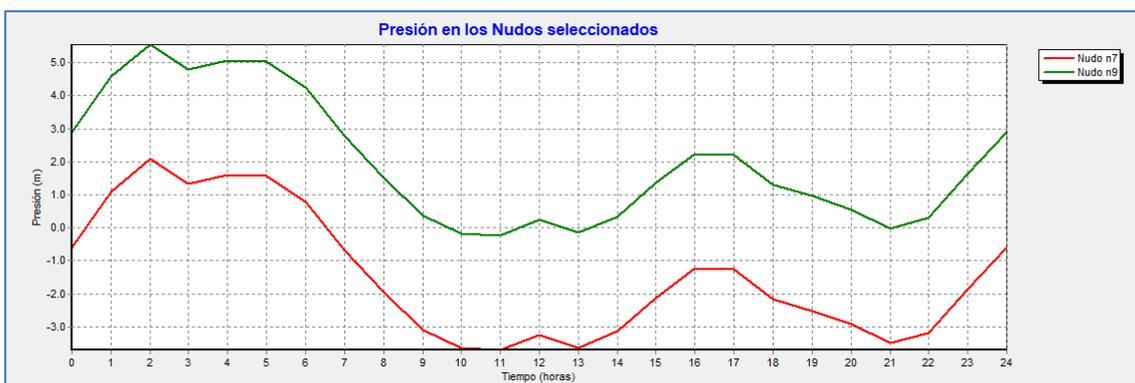


Fig. 100 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 13 con caudal 8,3 l/s

Si se representa el estado de la red completa también se puede ver como el comportamiento del sector 13 no es bueno, ni considerando un caudal de 8,3 l/s, por lo que se considera necesaria la implementación de alguna mejora para solventar el posible problema.

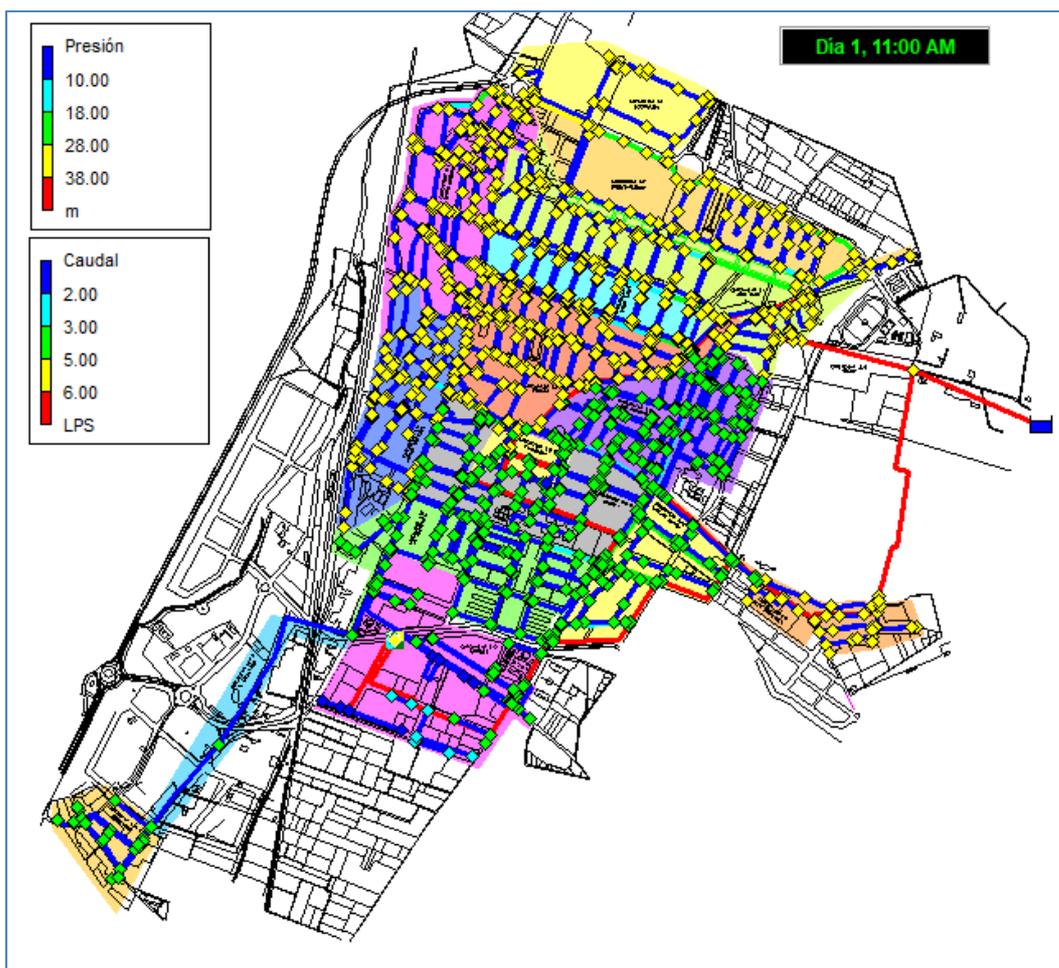


Fig. 101 Estado de la red en caso de incendio en el sector 13 a las 11h

## 5.4 Conclusiones

### 5.4.1 Funcionamiento en condiciones normales.

- Presiones aceptables, tanto mínimas como máximas en toda la red.
- Velocidades bajas en gran parte de la red. A la hora de menor consumo (02:00h) el 95% de las conducciones presentan unas velocidades inferiores a 0,2m/s. A la hora de mayor consumo (11:00h) el 95% de las conducciones presentan unas velocidades inferiores a 0,35m/s.
- Existencia de 2 tramos con una pérdida de carga elevada y que podrían ser cuellos de botella.
- Existen tuberías susceptibles de sustitución como podrían ser las de fibrocemento.

#### 5.4.2 *Funcionamiento en condiciones de emergencia.*

- En caso de rotura de la conducción de abastecimiento a la mitad inferior no existiría problema ya que se puede garantizar unas condiciones de suministro aceptable mediante el empleo de las válvulas de control existentes, pero en el caso de rotura de la conducción de abastecimiento a la mitad superior se puede generar un gran problema de abastecimiento ya que los usuarios se podrían quedar sin servicio debido a que la red es ramificada.
- En caso de rotura de alguna conducción situada en la estructura de los sectores el comportamiento de la red es aceptable, no presenta mayores problemas.
- Existe un defecto en el número de hidrantes disponibles. Sería necesaria la instalación de nuevos hidrantes para cumplir la condición de distancia máxima entre ellos de 200m.
- En caso de incendio en alguno de los sectores de la red, el funcionamiento de la misma es aceptable en prácticamente todos los casos, excepto en caso de producirse en el sector 13. Sería necesaria la modificación de ciertos elementos para poder garantizar un buen funcionamiento.

## 6 PROPUESTAS DE MEJORA

En todas las redes es posible realizar cambios para así mejorar la gestión de la red, y en nuestro caso, a la vista de los resultados mostrados en el apartado anterior, se pueden definir una serie de mejoras para buscar mejorar la eficiencia hidráulica, energética y de gestión de la red.

### 6.1 Sustitución de las tuberías de fibrocemento

Prácticamente la mitad de la red de distribución de Carcaixent está formada por tuberías de fibrocemento, con diámetros que van desde los 60 mm hasta los 350 mm. La sustitución de estas tuberías sería conveniente dado que:

- Representan conducciones con diámetros no normalizados, por lo que en cuanto a componentes y piezas de sustitución o reparación pueden presentar problemas.
- Son conducciones de gran antigüedad y pueden presentar un nivel de fugas y roturas elevado.
- 

Material	Longitud (m)
PVC	37.841,78
Fibrocemento	37.868,46
Hierro galvanizado	2.536,94

Tabla 19 Materiales de las tuberías de la red

En total hay unos 37,87 km de tubería de fibrocemento que conforman el 49% de las tuberías de la red de Carcaixent, por lo que atajar el problema a corto plazo es muy complicado.

Las tuberías de fibrocemento se encuentran presentes en prácticamente todos los sectores de la red. Por lo que una posible solución para proceder a su sustitución podría consistir en establecer un plazo de ejecución de 10 años, e ir sustituyendo cada año las tuberías de un sector o dos sectores concretos.



*Fig. 102 Identificación de las tuberías de fibrocemento existentes en la red (en color rojo)*

## 6.2 Instalación de nuevos hidrantes de incendio

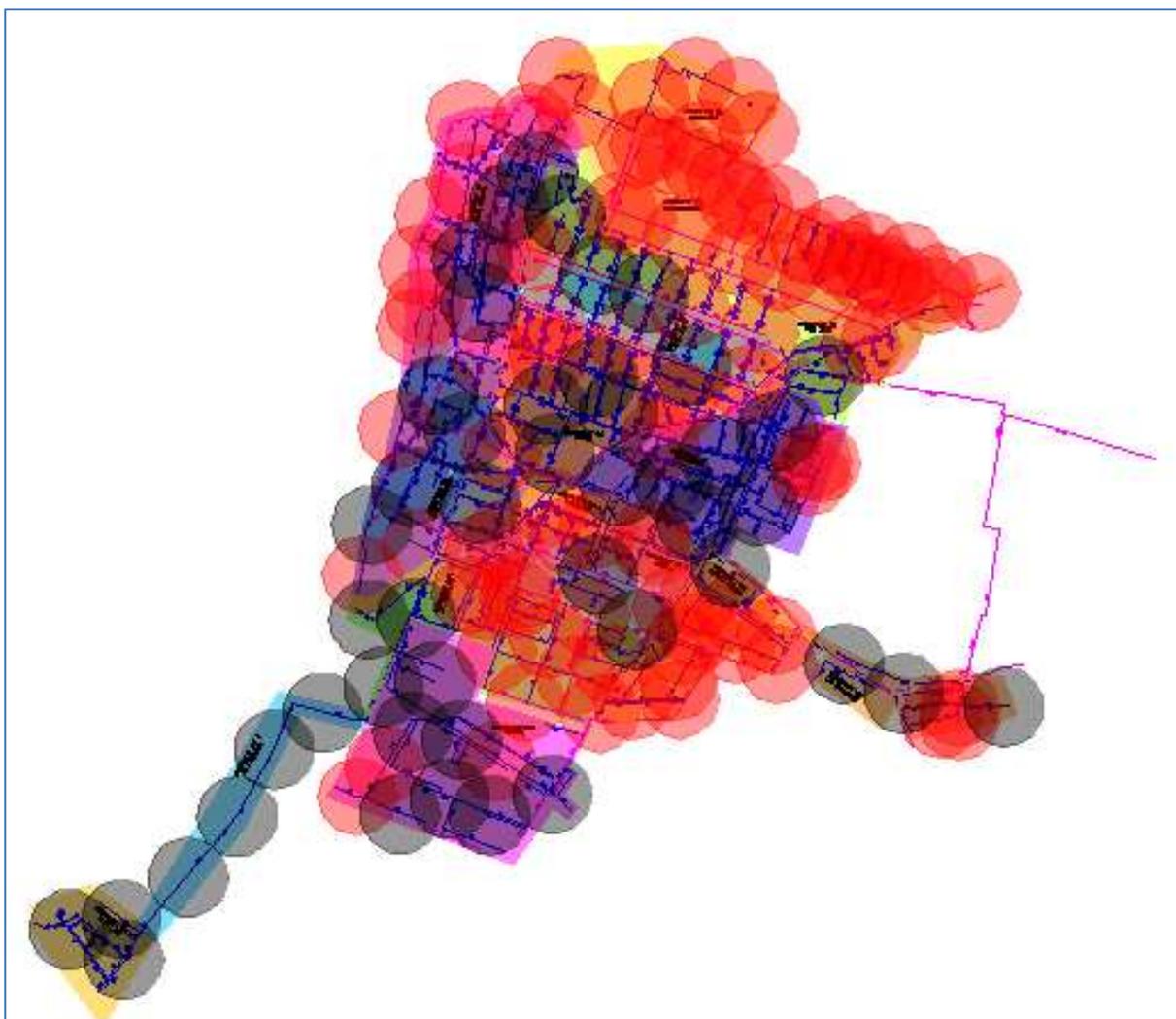
En el análisis de la situación actual, se ha podido comprobar como la actual disposición de hidrantes es insuficiente, siendo necesaria la instalación de nuevos hidrantes en la red para así poder cumplir con la normativa vigente. En la imagen siguiente se indican los hidrantes que harían falta instalar.

En total se propone la instalación del siguiente número de hidrantes:

Sector	Nº hidrantes a instalar
Sector 1	0
Sector 2	0
Sector 3	4
Sector 4	4
Sector 5	1
Sector 6	4
Sector 7	6
Sector 8A	0
Sector 8B	2
Sector 9	4
Sector 10	1
Sector 11	3
Sector 12	4
Sector 13	7
Sector 14	7

*Tabla 20 Número de hidrantes a instalar*

En la siguiente figura se simula la instalación de los nuevos hidrantes en cada sector, con lo que se comprueba como todos los tramos de la red quedarían correctamente cubiertos con las áreas de influencia de los hidrantes instalados.



*Fig. 103 Ubicación y área cubierta por los hidrantes existentes y los nuevos hidrantes en la red*

### **6.3 Mejoras a realizar en caso de rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la red**

En el apartado 6.2.2 se ha mostrado la problemática que existiría en caso de producirse la rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la población, ya que con las válvulas de control existentes no es posible garantizar unas condiciones de suministro óptimas para los nudos situados al norte de la población.

Una de las causas es que en la mitad superior de la población el consumo es mucho más alto que en la mitad inferior y, por tanto, el diseño de las conducciones de la mitad inferior no está capacitado para poder canalizar el agua en condiciones suficientemente buenas a los nudos de la mitad superior.

Una solución para poder garantizar una presión mínima de 15mca en todos los nudos de la mitad superior de la red en el punto de mayor consumo (a las 11h) consistiría en cambiar toda la conducción que está marcada en negro en la figura adjunta. La razón de elegir esa conducción es debido a que toma el agua de la tubería que viene directamente del depósito de abastecimiento y va directamente al sector 6 (situado en la mitad superior de la red) en caso de estar la válvula de control abierta. Además, la tubería a la que desemboca es una tubería arterial del sector 6, con diámetros muy grandes a su vez.



*Fig. 104 Identificación de la nueva conducción de polietileno*

Por lo tanto, la posible solución propuesta consistiría en la sustitución de todo el tramo de tubería marcado que actualmente es de toda de fibrocemento y de diámetros 175 mm en su inicio y 100 mm en su final por una nueva tubería de polietileno de alta densidad toda ella con un diámetro exterior de 225 mm. En total se sustituirían 0,4km de tubería de fibrocemento de diámetro 100 mm y 0,8 km de tubería de fibrocemento

de diámetro 175mm. Además, estas tuberías estarían contempladas en las tuberías a sustituir indicadas en el apartado anterior.

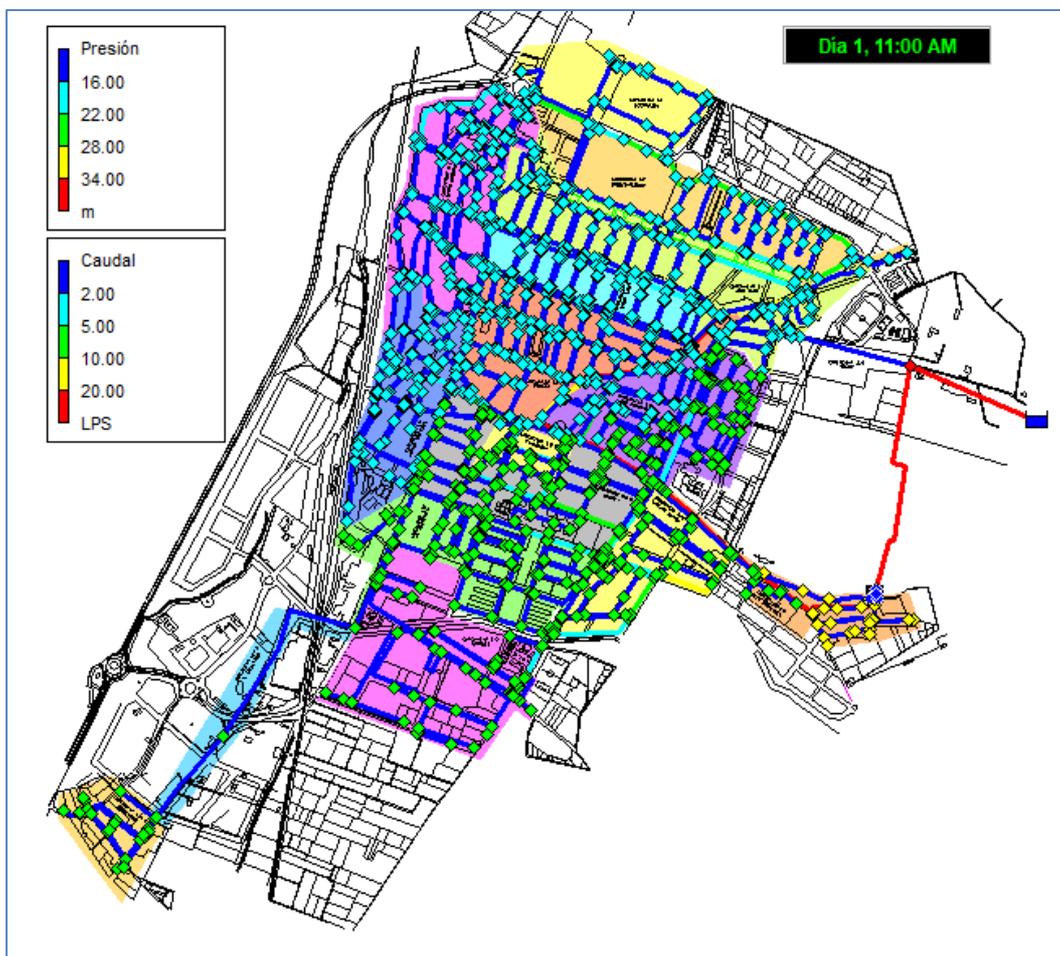


Fig. 105 Estado de la red en caso de rotura de la conducción que abastece a la mitad superior de la población con la nueva conducción de polietileno

#### 6.4 Mejoras a realizar en caso de incendio en el sector 13

En el apartado 6.3.2.4 se ha analizado el comportamiento de la red en caso de producirse un incendio en el sector 13, obteniendo unos valores de presión en los hidrantes que se encuentran por debajo de los 10mca requeridos por la normativa. Por lo tanto, se considera necesaria la implementación de una mejora para evitar este problema y aumentar la presión existente en los hidrantes en el caso de producirse un incendio, considerando un caudal a suministrar de 8,3 l/s.

Analizando la zona de la red afectada, se puede observar como el sector 13 es un sector con estructura ramificada, con la mayoría de tuberías de fibrocemento, las cuales se

propone sustituir, y con unas conducciones existentes aguas arriba de la posición de los hidrantes con diámetros de 100mm. Por lo tanto, la solución pasaría por sustituir parte de estas tuberías por nuevas tuberías de polietileno de alta densidad y un mayor diámetro.

En la siguiente figura se definen las tuberías que sería necesario sustituir por nuevas tuberías de polietileno de alta densidad de diámetro 150mm para poder mejorar el comportamiento de la red.

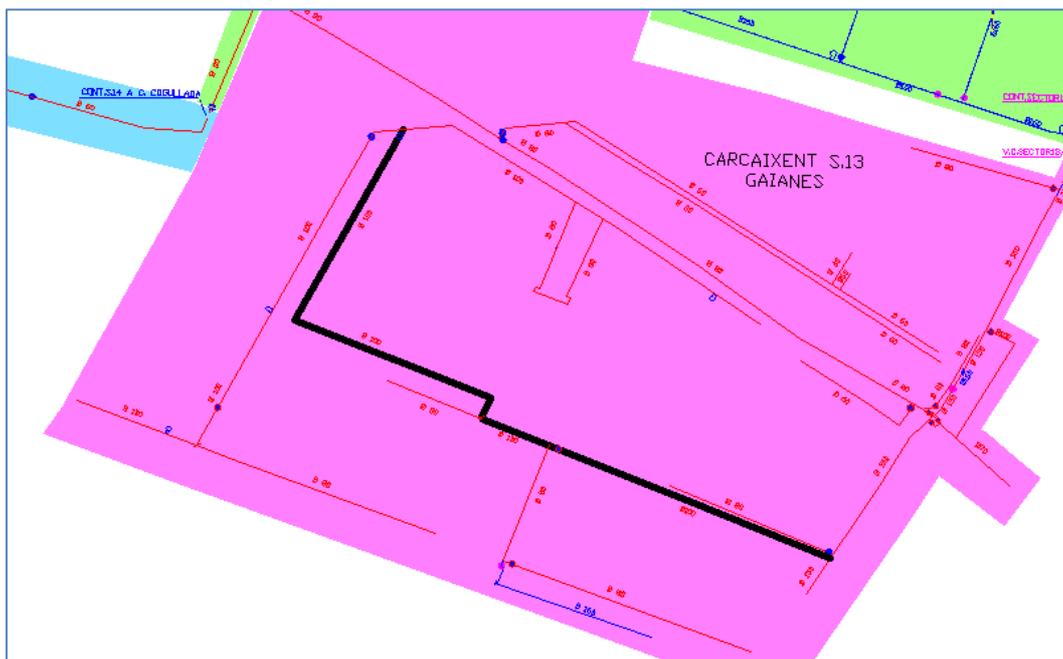


Fig. 106 Identificación de las tuberías a sustituir en el sector 13

Si representamos la curva de evolución de las presiones a lo largo del día se observa como estamos por encima de los 20mca en todo momento en los hidrantes.

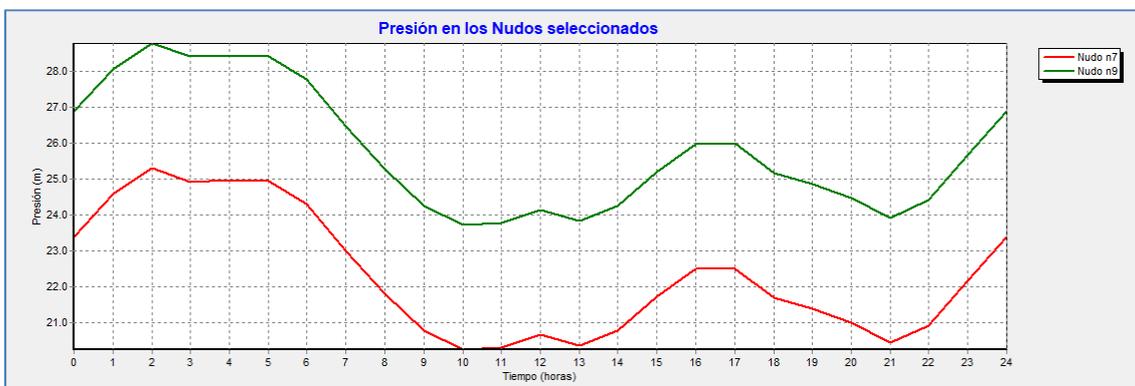
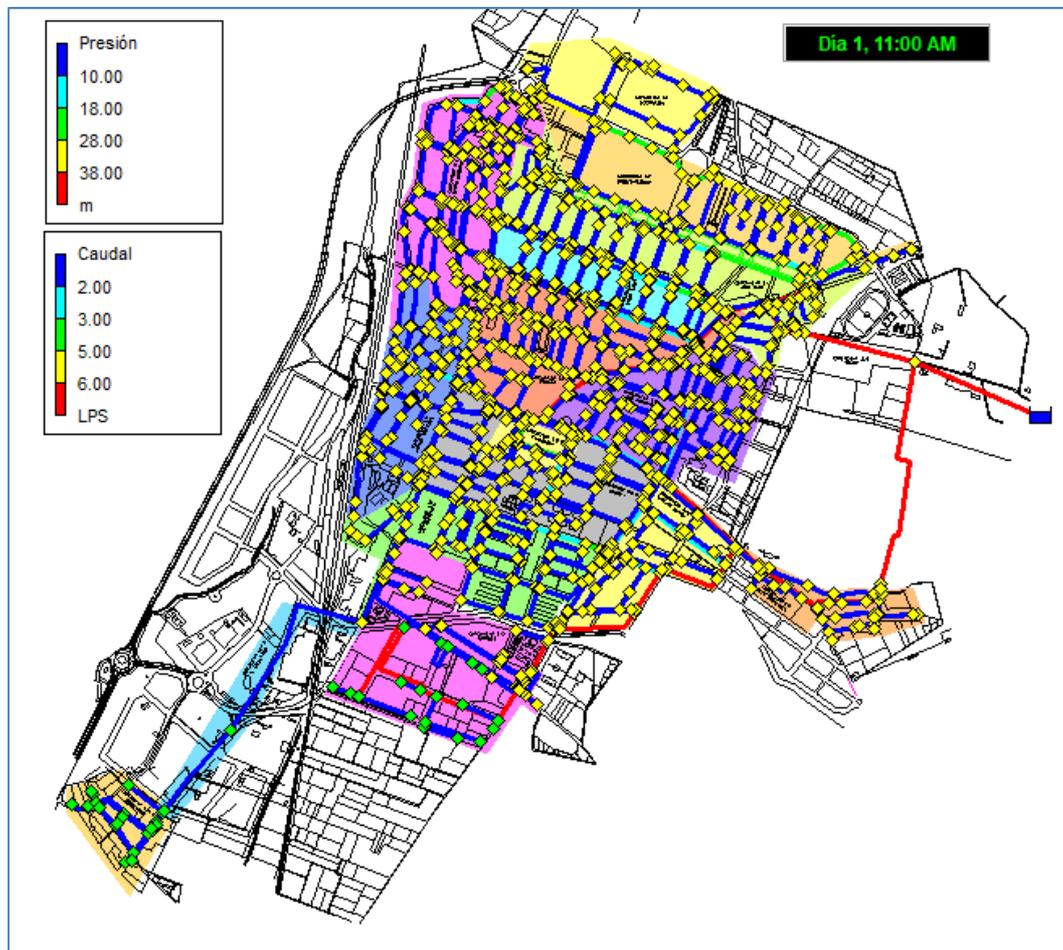


Fig. 107 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 13 con caudal 8,3 l/s con la mejora propuesta

Finalmente, se muestra el estado de la red al aplicar esta solución a las 11h en caso de producirse un incendio en el sector 13. Los resultados muestran como el comportamiento de la red ahora es óptimo.



*Fig. 108 Estado de la red en caso de incendio en el sector 13 a las 11h con la mejora propuesta*

## 7 CONCLUSIONES

Para finalizar se van a describir las conclusiones obtenidas del presente trabajo, tanto las que incumben a la red de abastecimiento de agua potable de Carcaixent, como del modelo matemático definido.

En este trabajo se ha procedido a elaborar el modelo matemático de la red de Carcaixent, para lo cual se ha recopilado la mayor información posible de la zona (situación geográfica, economía, demografía, climatología). Por lo que respecta a los datos de la red de abastecimiento, la empresa responsable del suministro nos ha facilitado todos los datos que tenía disponibles (planos de la red, elementos existentes en la red, descripción de las tuberías, cotas del terreno, caudales inyectados en la red, caudales registrados en los sectores).

Sin embargo, debido a que parte de la información disponible acerca de la red ha sido algo escasa o sin correspondencia temporal entre datos, en algunos puntos del modelo se ha tenido que optar por estimaciones, las cuales se han basado en estudios existentes. Debido a ello, una vez se ha creado el modelo no es posible realizar una buena calibración del mismo.

La elevación del municipio de Carcaixent es bastante plana, por lo que en prácticamente toda la red se han obtenido unas presiones homogéneas, resultado que nos garantiza una alta calidad del servicio. Además, el disponer de dos puntos de abastecimiento (El Pozo de la Font de la Parra y el sistema SAR), constituye otro factor más para poder disponer de una mayor calidad del servicio, ya que la red no cuenta con interrupciones del suministro.

Por lo que respecta al modelo, a la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que tanto los datos de presión como de velocidades son coherentes, aunque los bajos valores de velocidades en las tuberías indican que la red ha sido sobredimensionada. Los caudales obtenidos también presentan valores razonables. En cuanto a las pérdidas de carga unitarias, existen 2 tramos con una pérdida de carga unitaria elevada, pero que no representan ningún tramo problemático para la red, como muestran los resultados obtenidos.

Se han analizado además situaciones de rotura de varias conducciones. Al estar la red dividida en 2 zonas muy delimitadas e interconexionadas con válvulas de control se han simulado situaciones de rotura de las tuberías de abastecimiento a cada una de estas zonas, pero abriendo las válvulas de control, para comprobar si existiría algún problema en el suministro. En el caso de rotura de la tubería que abastece a la mitad superior de la red sí que existirían problemas de suministro, lo cual se podría evitar sustituyendo un

tramo de la tubería de distribución. El resto de roturas provocadas no presenta problema alguno en el comportamiento de la red.

Al estudiar la distribución de los hidrantes de la red, queda patente que es escasa, ya que se han definido varias zonas en las cuales se deberían instalar nuevos hidrantes al no tener la red completamente cubierta. Sin embargo, el comportamiento de la red al considerar hidrantes en funcionamiento es bastante estable, presentando problemas simplemente en el sector 13, en el cual sería necesaria una actuación de mejora para poder obtener un comportamiento óptimo de la red.

Se puede afirmar que la red de distribución de agua del municipio de Carcaixent tiene un comportamiento bastante bueno, con algunas mejoras que aplicar, como son las definidas en el punto anterior (sustitución de las tuberías de fibrocemento, instalación de nuevos hidrantes, sustitución de varias tuberías por otras de mayor tamaño para evitar problemas en caso de rotura o incendio). Además, mediante el actual trabajo se ha obtenido una herramienta muy útil para poder ayudar con la gestión de la red de abastecimiento de agua del municipio de Carcaixent.

## 9 REFERENCIAS

- AEAS, Suministro de agua potable y saneamiento en España (2016). XIV Encuesta Nacional. Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento
- CHJ (Cuenca Hidrográfica del Júcar). “Hidrología” en Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente
- Mauleón Marín, Cristina (2015). “¿Cómo está distribuida el agua del planeta?” en Abengoa Water.
- Google Earth.
- INE “Estadística sobre el Suministro y Saneamiento del Agua Año 2016”, notas de prensa.
- Jorge García Sierra y Vicente García Carrasco (Cabrera, E. et al. 2001). “Evaluación y Control de Pérdidas de Agua”
- Lewis A, R. (2017). *Epanet 2 Manual del Usuario*. Valencia.
- Norma Básica de la Edificación – Condiciones de Protección contra Incendios NBE-CPI/96

## 10 ANEJOS

### 10.1 Factor modulación en cada sector

Sector 1	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,54	1,16	0,85
1:00	0,52	0,96	0,74
2:00	0,49	0,83	0,66
3:00	1,19	0,81	1
4:00	1,81	0,8	1,3
5:00	3,3	0,81	2,06
6:00	3,02	0,9	1,96
7:00	2,05	0,97	1,51
8:00	0,61	0,98	0,8
9:00	0,64	0,98	0,81
10:00	0,67	1,07	0,87
11:00	0,68	1,11	0,9
12:00	0,68	1,05	0,86
13:00	0,7	1	0,85
14:00	0,66	1,16	0,91
15:00	0,7	1,21	0,96
16:00	0,7	1,08	0,89
17:00	0,87	1	0,94
18:00	0,72	0,98	0,85
19:00	0,8	0,95	0,87
20:00	0,76	1,05	0,9
21:00	0,66	1,06	0,86
22:00	0,63	1,06	0,84
23:00	0,61	1	0,8

Tabla 21 Factor modulación sector 1

Sector 2	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,39	0,61	0,5
1:00	0,3	0,79	0,54
2:00	0,46	0,77	0,62
3:00	0,63	0,76	0,69
4:00	1,64	1,22	1,43
5:00	2,22	1,87	2,05
6:00	1,82	2,06	1,94
7:00	1,01	1,6	1,3
8:00	0,99	0,59	0,79
9:00	1,12	0,95	1,04
10:00	1,24	0,86	1,05
11:00	1,26	0,45	0,86
12:00	0,74	0,39	0,57
13:00	1	0,4	0,7
14:00	1,11	0,39	0,75
15:00	1,06	0,8	0,93
16:00	0,95	1,58	1,26
17:00	1,1	1,62	1,36
18:00	1,05	1,74	1,4
19:00	0,78	1,68	1,23
20:00	0,44	0,42	0,43
21:00	1,11	0,53	0,82
22:00	0,96	0,91	0,93
23:00	0,6	1,01	0,81

Tabla 22 Factor modulación sector 2

Sector 3	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,64	0,69	0,67
1:00	0,53	0,63	0,58
2:00	0,48	0,57	0,52
3:00	0,71	0,76	0,74
4:00	0,63	0,63	0,63
5:00	0,78	0,78	0,78
6:00	1,03	0,83	0,93
7:00	0,83	0,75	0,79
8:00	1,14	0,94	1,04
9:00	1,33	1,16	1,24
10:00	1,18	1,25	1,22
11:00	1,27	1,28	1,28
12:00	1,07	1,31	1,19
13:00	1,17	1,27	1,22
14:00	1,21	1,23	1,22
15:00	1,14	1,12	1,13
16:00	1	0,97	0,99
17:00	1,13	1,01	1,07
18:00	1,1	1,1	1,1
19:00	1,09	1,18	1,13
20:00	1,11	1,17	1,14
21:00	1,17	1,2	1,18
22:00	1,19	1,2	1,19
23:00	1,09	0,97	1,03

Tabla 23 Factor modulación sector 3

Sector 4	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,72	0,81	0,77
1:00	0,59	0,66	0,62
2:00	0,49	0,47	0,48
3:00	0,46	0,55	0,51
4:00	0,48	0,55	0,51
5:00	0,53	0,54	0,53
6:00	0,72	0,56	0,64
7:00	1,24	0,7	0,97
8:00	1,22	0,95	1,09
9:00	1,19	1,24	1,21
10:00	1,19	1,47	1,33
11:00	1,25	1,47	1,36
12:00	1,25	1,3	1,27
13:00	1,25	1,22	1,23
14:00	1,4	1,08	1,24
15:00	1,14	0,98	1,06
16:00	0,98	1,01	0,99
17:00	1,07	1,01	1,04
18:00	1,14	1,19	1,17
19:00	1,07	1,2	1,14
20:00	1,1	1,45	1,28
21:00	1,36	1,44	1,4
22:00	1,24	1,12	1,18
23:00	0,92	1,03	0,98

Tabla 24 Factor modulación sector 4

Sector 5	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,64	0,96	0,8
1:00	0,51	0,81	0,66
2:00	0,46	0,78	0,62
3:00	0,43	0,68	0,56
4:00	0,43	0,67	0,55
5:00	0,5	0,67	0,59
6:00	0,7	0,84	0,77
7:00	0,93	1,05	0,99
8:00	1,2	1,44	1,32
9:00	1,31	1,76	1,54
10:00	1,38	1,8	1,59
11:00	1,3	2	1,65
12:00	1,24	1,88	1,56
13:00	1,18	1,26	1,22
14:00	1,38	1,29	1,33
15:00	1,21	1,2	1,2
16:00	1,03	0,93	0,98
17:00	1,05	1,04	1,05
18:00	1,15	1,23	1,19
19:00	1,24	1,15	1,19
20:00	1,24	1,18	1,21
21:00	1,28	1,39	1,34
22:00	1,19	1,26	1,22
23:00	1,01	0,94	0,98

Tabla 25 Factor modulación sector 5

Sector 7	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,62	0,69	0,66
1:00	0,44	0,54	0,49
2:00	0,31	0,37	0,34
3:00	0,26	0,34	0,3
4:00	0,24	0,31	0,28
5:00	0,33	0,33	0,33
6:00	0,51	0,42	0,47
7:00	1,14	0,58	0,86
8:00	1,28	1,01	1,15
9:00	1,43	1,34	1,39
10:00	1,56	1,47	1,52
11:00	1,37	1,65	1,51
12:00	1,25	1,64	1,45
13:00	1,34	1,5	1,42
14:00	1,38	1,4	1,39
15:00	1,27	1,15	1,21
16:00	0,99	0,93	0,96
17:00	1,02	0,92	0,97
18:00	1,2	1,16	1,18
19:00	1,19	1,21	1,2
20:00	1,27	1,38	1,32
21:00	1,46	1,42	1,44
22:00	1,21	1,3	1,26
23:00	0,9	0,91	0,9

Tabla 27 Factor modulación sector 7

Sector 6	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,77	0,66	0,72
1:00	0,62	0,51	0,56
2:00	0,57	0,41	0,49
3:00	0,56	0,39	0,47
4:00	0,56	0,37	0,47
5:00	0,6	0,42	0,51
6:00	0,81	0,5	0,66
7:00	1,1	0,68	0,89
8:00	1,4	1,15	1,27
9:00	1,49	1,46	1,47
10:00	1,45	1,54	1,5
11:00	1,4	1,58	1,49
12:00	1,38	1,59	1,48
13:00	1,34	1,47	1,4
14:00	1,39	1,38	1,38
15:00	1,21	1,12	1,16
16:00	0,97	0,92	0,94
17:00	0,8	0,92	0,86
18:00	0,89	1,08	0,99
19:00	0,91	1,1	1
20:00	0,96	1,32	1,14
21:00	1,09	1,38	1,23
22:00	0,98	1,19	1,08
23:00	0,74	0,87	0,8

Tabla 26 Factor modulación sector 6

Sector 8A	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,63	0,68	0,66
1:00	0,57	0,57	0,57
2:00	0,5	0,56	0,53
3:00	0,56	0,7	0,63
4:00	1,37	1,35	1,36
5:00	1,36	1,25	1,31
6:00	1,61	1,56	1,59
7:00	1,44	1,28	1,36
8:00	1,12	0,82	0,97
9:00	1,13	1,08	1,11
10:00	1,01	1,19	1,1
11:00	1,05	1,17	1,11
12:00	1,07	1,17	1,12
13:00	0,96	1,12	1,04
14:00	1	1,09	1,04
15:00	0,9	0,98	0,94
16:00	0,86	0,9	0,88
17:00	0,85	0,87	0,86
18:00	0,88	0,9	0,89
19:00	0,92	0,95	0,94
20:00	1,12	1,06	1,09
21:00	1,13	1,06	1,1
22:00	1,02	0,91	0,97
23:00	0,92	0,77	0,84

Tabla 28 Factor modulación sector 8A

Sector 8B	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,88	0,89	0,89
1:00	0,69	0,75	0,72
2:00	0,52	0,68	0,6
3:00	0,5	0,57	0,54
4:00	0,51	0,55	0,53
5:00	0,48	0,53	0,51
6:00	0,67	0,59	0,63
7:00	0,93	0,69	0,81
8:00	1,13	0,99	1,06
9:00	1,3	1,26	1,28
10:00	1,39	1,43	1,41
11:00	1,33	1,19	1,26
12:00	1,2	1,32	1,26
13:00	1,31	1,37	1,34
14:00	1,26	1,22	1,24
15:00	1,12	0,96	1,04
16:00	1,04	0,91	0,98
17:00	0,94	0,87	0,91
18:00	0,99	1,04	1,02
19:00	1,04	1,28	1,16
20:00	1,15	1,31	1,23
21:00	1,22	1,41	1,31
22:00	1,29	1,15	1,22
23:00	1,09	1,03	1,06

Tabla 29 Factor modulación sector 8B

Sector 10	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,63	0,58	0,6
1:00	0,53	0,52	0,53
2:00	0,53	0,49	0,51
3:00	1,01	0,64	0,83
4:00	1,91	1,37	1,64
5:00	1,46	1,18	1,32
6:00	1,56	1,28	1,42
7:00	1,59	1,31	1,45
8:00	1,65	1,39	1,52
9:00	0,9	1,04	0,97
10:00	0,94	1,04	0,99
11:00	0,8	1,01	0,91
12:00	0,77	1,04	0,9
13:00	0,8	1,03	0,91
14:00	0,82	1,01	0,91
15:00	0,89	0,99	0,94
16:00	0,82	0,94	0,88
17:00	0,81	0,95	0,88
18:00	1,35	0,99	1,17
19:00	0,82	1,11	0,97
20:00	0,84	1,07	0,95
21:00	0,98	1,1	1,04
22:00	0,81	1,02	0,91
23:00	0,78	0,92	0,85

Tabla 31 Factor modulación sector 10

Sector 9	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,72	0,81	0,76
1:00	0,57	0,63	0,6
2:00	0,48	0,56	0,52
3:00	0,52	0,56	0,54
4:00	0,49	0,55	0,52
5:00	0,59	0,55	0,57
6:00	0,71	0,58	0,65
7:00	1,27	0,74	1
8:00	1,22	0,99	1,1
9:00	1,18	1,27	1,23
10:00	1,19	1,45	1,32
11:00	1,26	1,42	1,34
12:00	1,25	1,3	1,27
13:00	1,23	1,25	1,24
14:00	1,41	1,1	1,25
15:00	1,09	1,04	1,07
16:00	0,98	0,98	0,98
17:00	1,03	1,04	1,03
18:00	1,15	1,14	1,14
19:00	1,06	1,17	1,12
20:00	1,11	1,39	1,25
21:00	1,33	1,36	1,35
22:00	1,22	1,16	1,19
23:00	0,95	0,98	0,96

Tabla 30 Factor modulación sector 9

Sector 11	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,37	0,38	0,37
1:00	0,31	0,39	0,35
2:00	0,32	0,31	0,32
3:00	0,27	0,38	0,33
4:00	0,23	0,36	0,3
5:00	0,24	0,49	0,37
6:00	0,63	0,59	0,61
7:00	1	1,1	1,05
8:00	1,36	1,23	1,29
9:00	1,35	1,27	1,31
10:00	1,31	1,56	1,43
11:00	1,29	1,47	1,38
12:00	1,2	1,47	1,34
13:00	1,49	1,39	1,44
14:00	1,49	1,26	1,38
15:00	1,27	1,11	1,19
16:00	1,12	0,94	1,03
17:00	1,16	1,33	1,24
18:00	1,3	1,41	1,36
19:00	1,57	1,04	1,31
20:00	1,28	1,35	1,31
21:00	1,33	1,06	1,19
22:00	1,11	1,24	1,17
23:00	0,99	0,88	0,93

Tabla 32 Factor modulación sector 11

Sector 12	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,88	0,74	0,81
1:00	0,57	0,64	0,61
2:00	0,52	0,46	0,49
3:00	0,56	0,45	0,5
4:00	0,38	0,31	0,35
5:00	0,41	0,31	0,36
6:00	0,57	0,38	0,48
7:00	0,93	0,53	0,73
8:00	1,08	0,73	0,91
9:00	1,37	0,96	1,17
10:00	1,12	1,11	1,12
11:00	1,47	1,22	1,34
12:00	1,17	1,29	1,23
13:00	1,51	1,46	1,49
14:00	1,23	1,33	1,28
15:00	1,09	1,24	1,16
16:00	0,97	1,16	1,06
17:00	1,02	1,19	1,11
18:00	1	1,26	1,13
19:00	1,14	1,44	1,29
20:00	1,25	1,51	1,38
21:00	1,38	1,54	1,46
22:00	1,24	1,45	1,34
23:00	1,12	1,28	1,2

Tabla 33 Factor modulación sector 12

Sector 14	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	0,56	0,77	0,67
1:00	0,53	0,83	0,68
2:00	0,54	0,79	0,66
3:00	0,54	0,86	0,7
4:00	0,47	0,8	0,64
5:00	0,46	0,53	0,5
6:00	0,53	0,58	0,55
7:00	0,6	0,68	0,64
8:00	0,71	0,85	0,78
9:00	0,79	0,99	0,89
10:00	0,7	1,32	1,01
11:00	0,77	1,41	1,09
12:00	0,71	1,42	1,06
13:00	1,29	1,2	1,25
14:00	1,53	1,02	1,28
15:00	1,51	1,16	1,33
16:00	1,46	1,2	1,33
17:00	1,55	0,9	1,22
18:00	1,36	1,04	1,2
19:00	1,42	1,31	1,36
20:00	1,46	1,14	1,3
21:00	1,49	1,19	1,34
22:00	1,52	1,13	1,32
23:00	1,49	0,9	1,19

Tabla 35 Factor modulación sector 14

Sector 13	Kh(t) 27 julio	Kh(t) 15 agosto	Kh(t) Promedio
0:00	1,09	2,5	1,8
1:00	0,35	1,46	0,91
2:00	0,35	0,59	0,47
3:00	1	1,42	1,21
4:00	0,64	0,61	0,62
5:00	0,84	0,61	0,72
6:00	0,96	0,71	0,83
7:00	1,09	0,76	0,93
8:00	0,82	0,88	0,85
9:00	0,91	1,07	0,99
10:00	0,84	1,06	0,95
11:00	1,17	1,03	1,1
12:00	0,98	0,98	0,98
13:00	1,13	1	1,06
14:00	1,04	0,94	0,99
15:00	0,97	0,86	0,92
16:00	0,95	0,92	0,93
17:00	1,03	0,92	0,98
18:00	1,01	0,94	0,97
19:00	1,05	0,96	1
20:00	0,95	0,94	0,95
21:00	0,82	0,97	0,9
22:00	1,85	0,94	1,4
23:00	2,14	0,94	1,54

Tabla 34 Factor modulación sector 13

## 10.2 Comportamiento hidráulico ante incendios

### 10.2.1 Hidrantes en el sector 2

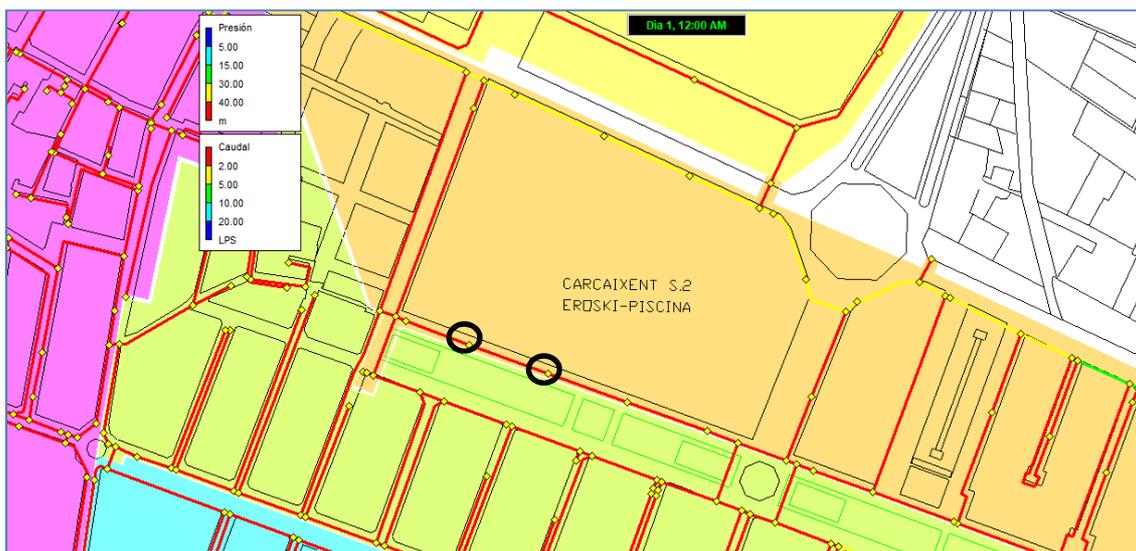


Fig. 109 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 2



Fig. 110 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 2 con caudal 16,6 l/s

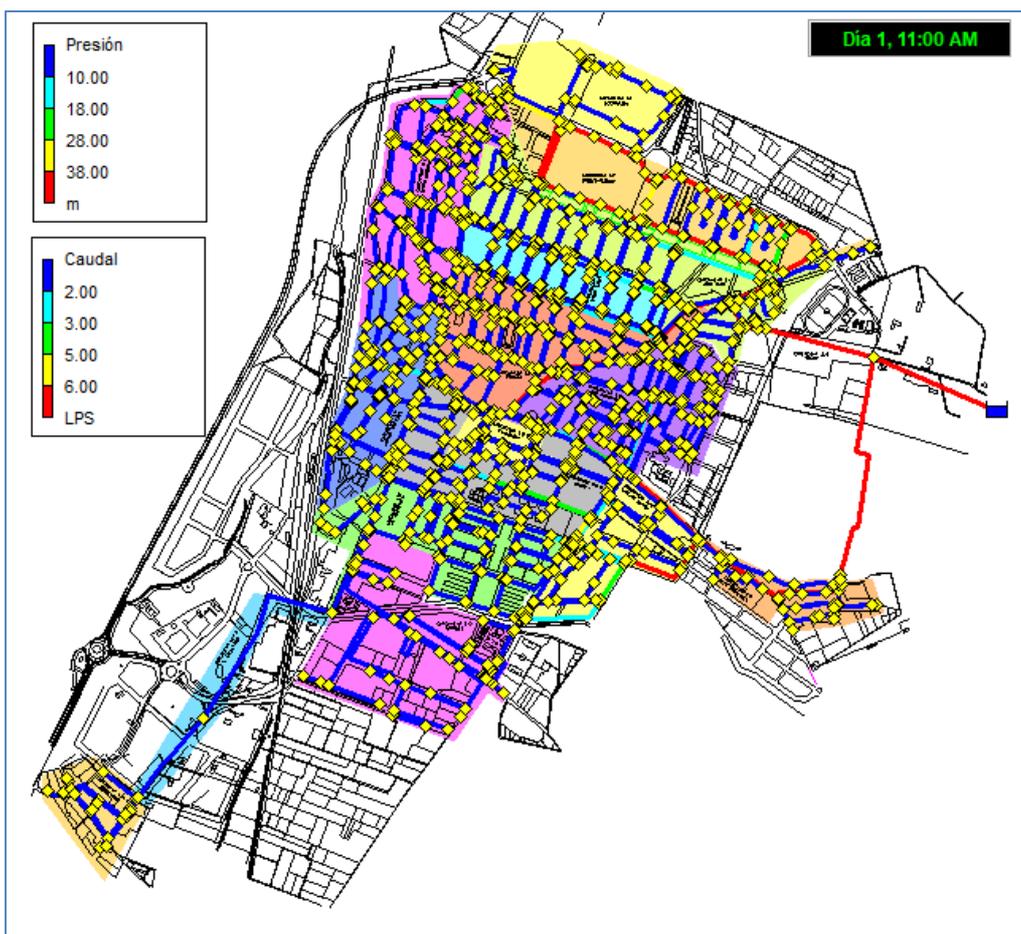


Fig. 111 Estado de la red en caso de incendio en el sector 2 a las 11h

### 10.2.2 Hidrantes en el sector 4



Fig. 112 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 4



Fig. 113 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 4 con caudal 16,6 l/s

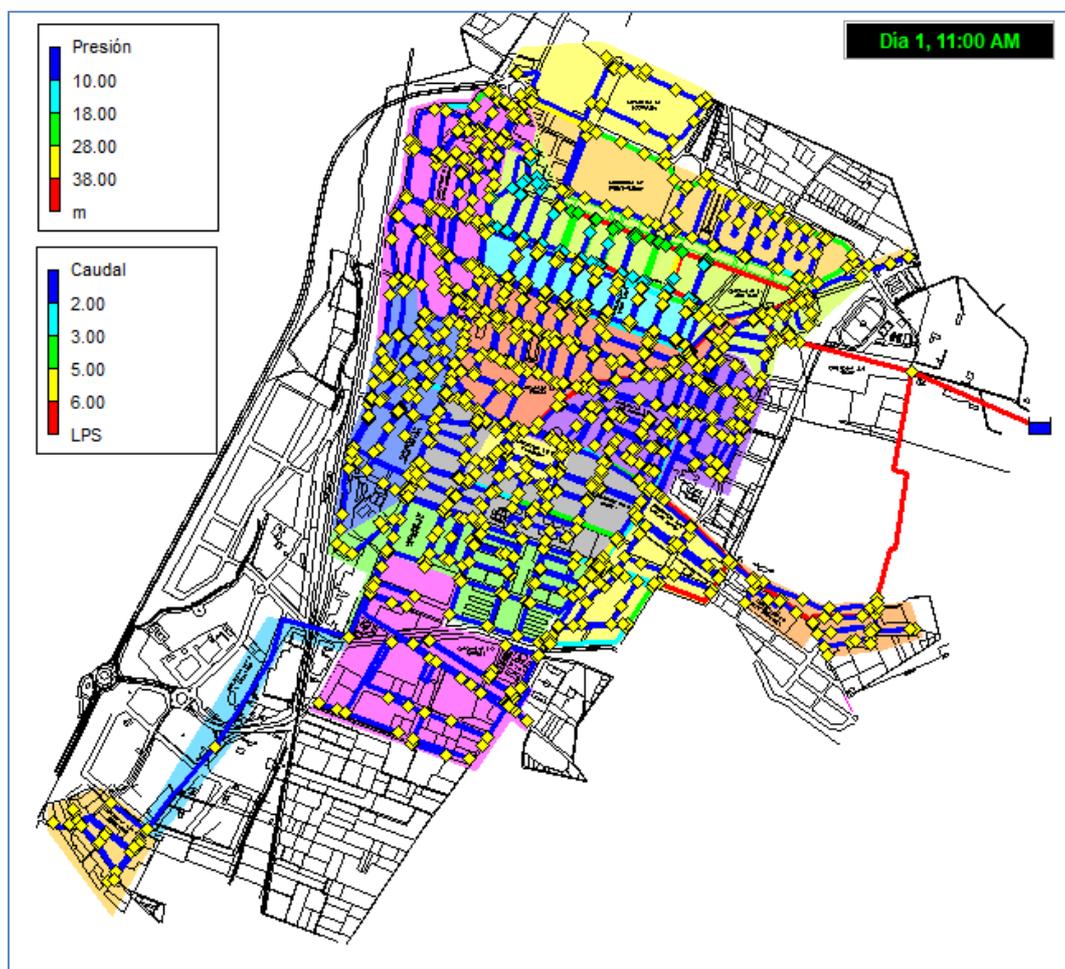


Fig. 114 Estado de la red en caso de incendio en el sector 4 a las 11h

### 10.2.3 Hidrantes en el sector 5



Fig. 115 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 5

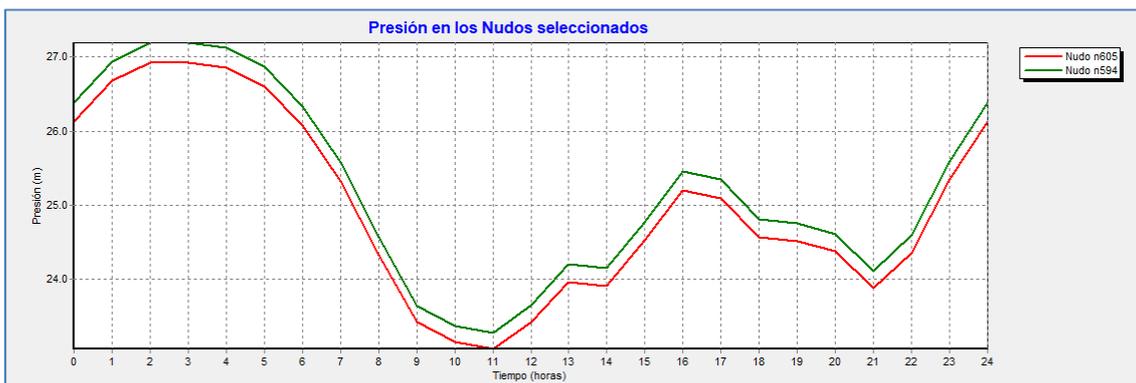


Fig. 116 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 5 con caudal 16,6 l/s

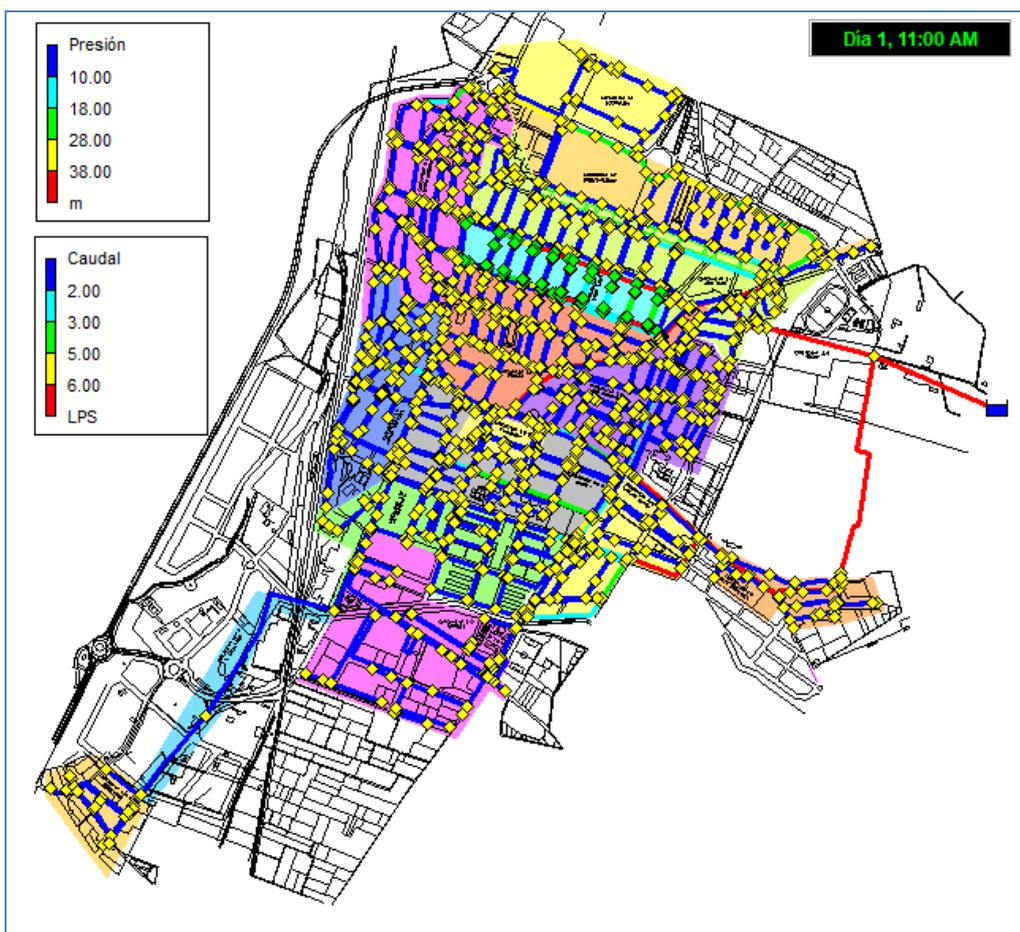


Fig. 117 Estado de la red en caso de incendio en el sector 5 a las 11h

#### 10.2.4 Hidrantes en el sector 6



Fig. 118 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 6

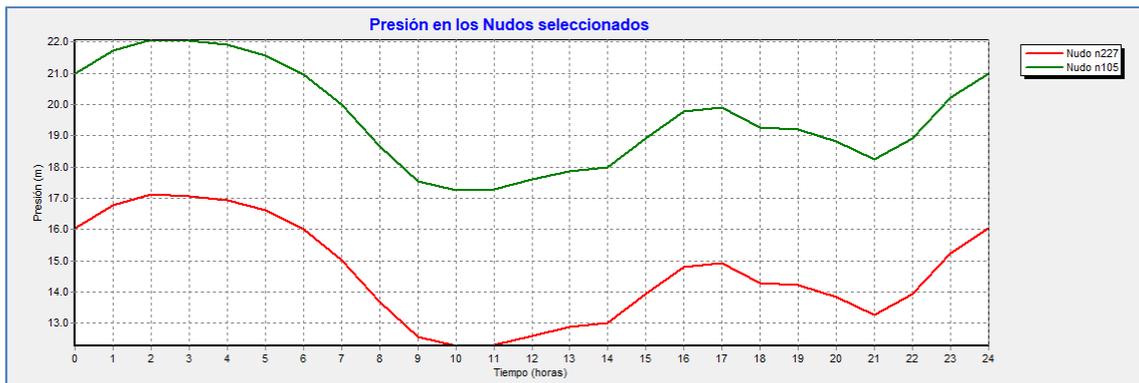


Fig. 119 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 6 con caudal 16,6 l/s

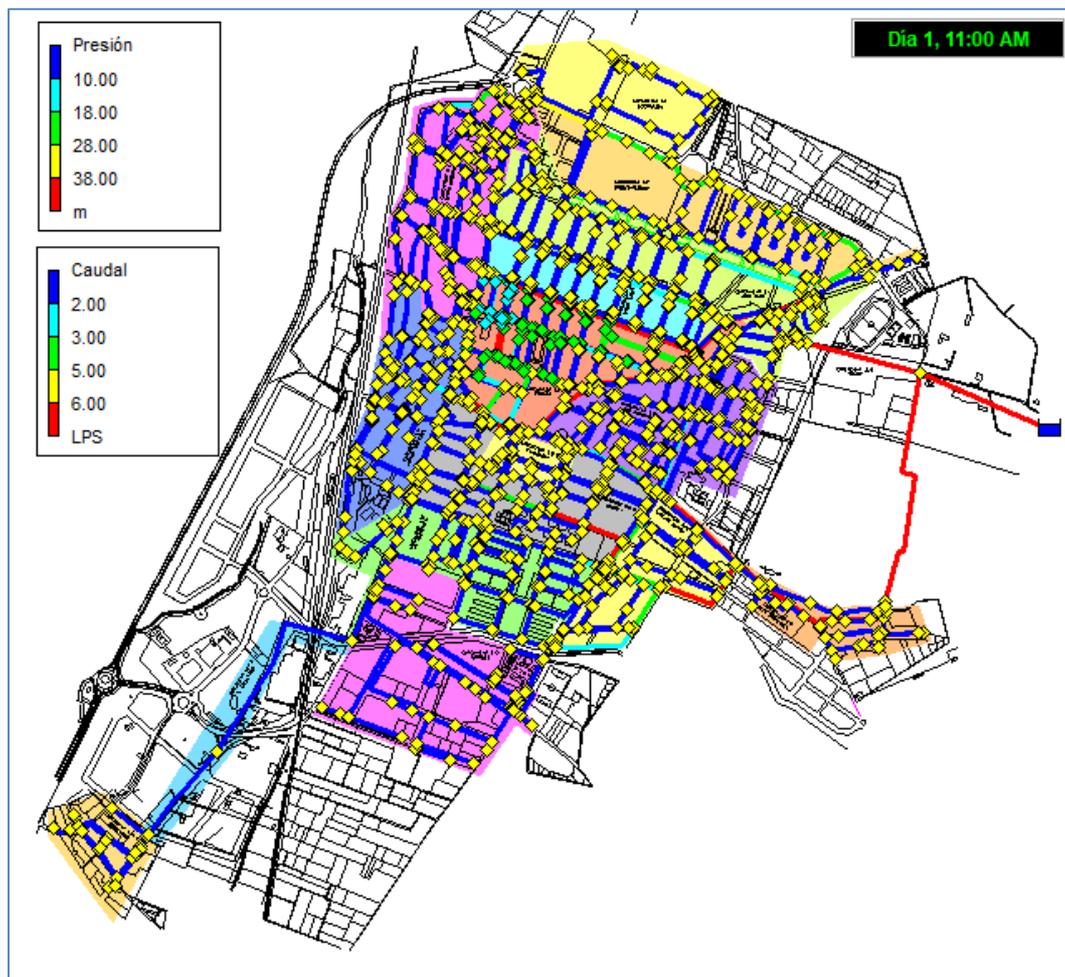


Fig. 120 Estado de la red en caso de incendio en el sector 6 a las 11h

### 10.2.5 Hidrantes en el sector 10

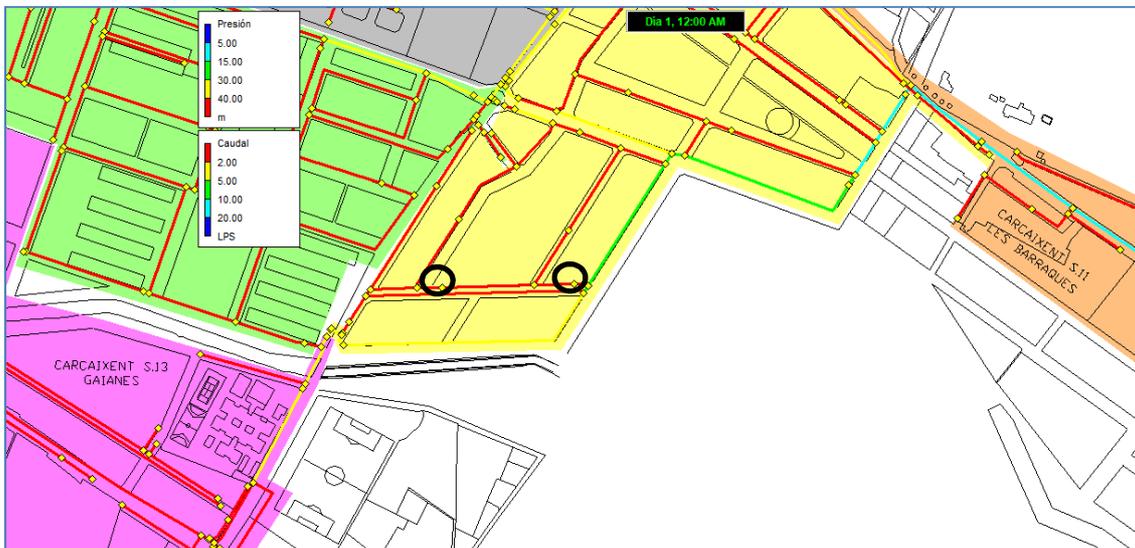


Fig. 121 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 10

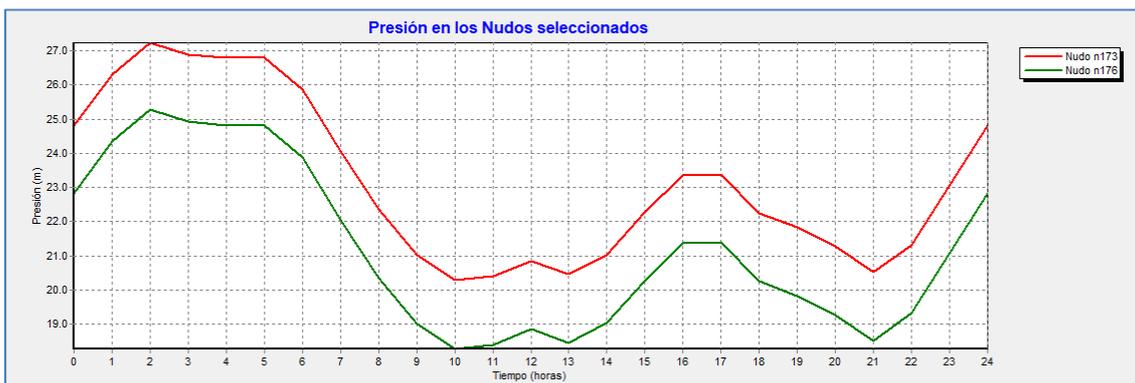


Fig. 122 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 10 con caudal 16,6 l/s

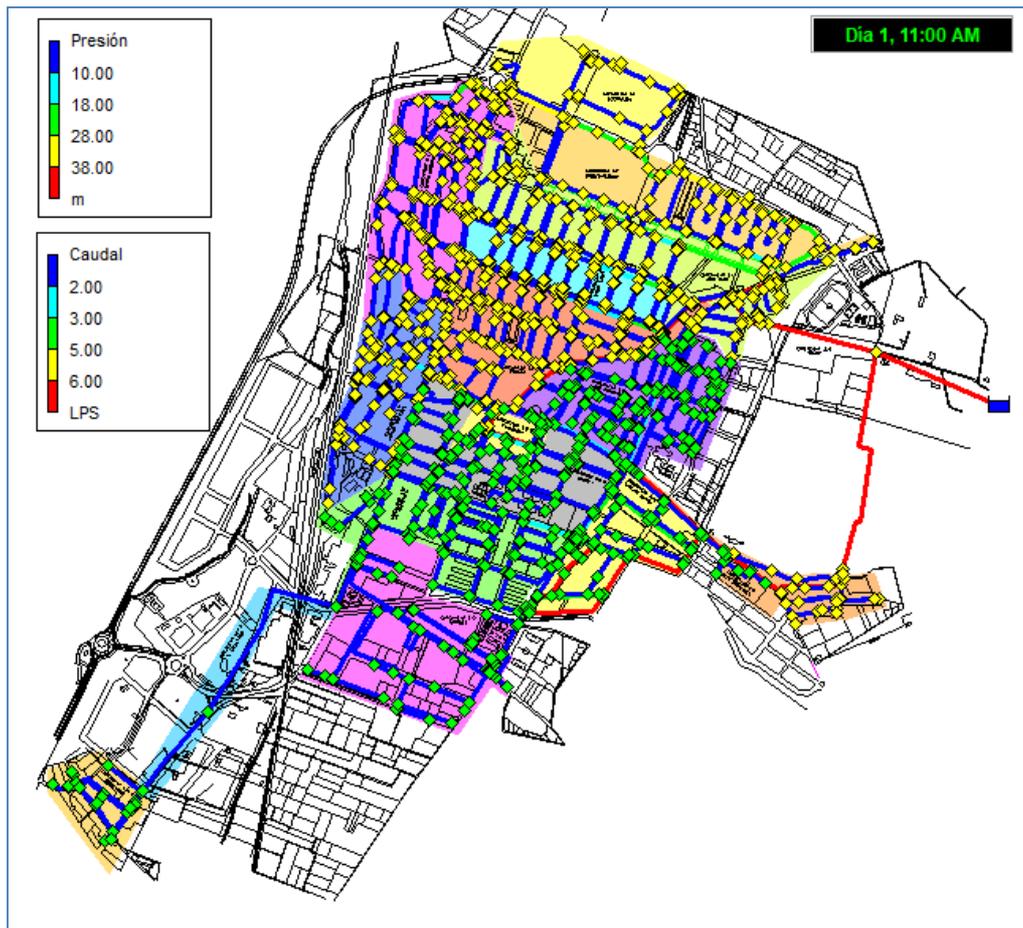


Fig. 123 Estado de la red en caso de incendio en el sector 10 a las 11h

### 10.2.6 Hidrantes en el sector 12



Fig. 124 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 12

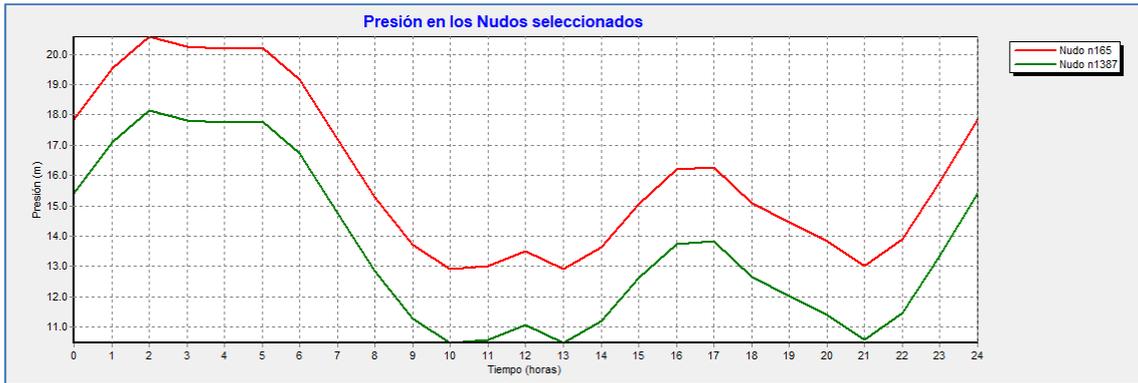


Fig. 125 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 12 con caudal 16,6 l/s

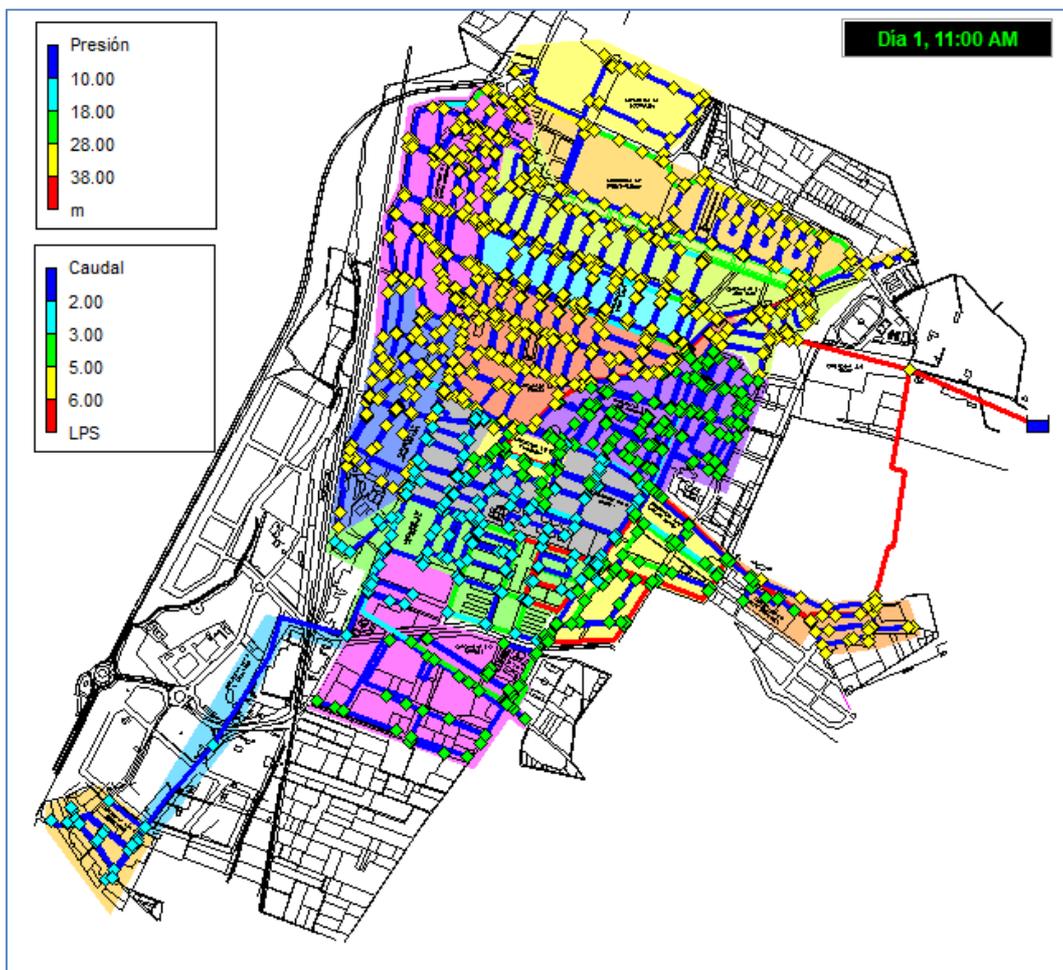


Fig. 126 Estado de la red en caso de incendio en el sector 12 a las 11h

### 10.2.7 Hidrantes en el Sector 7



Fig. 127 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 7

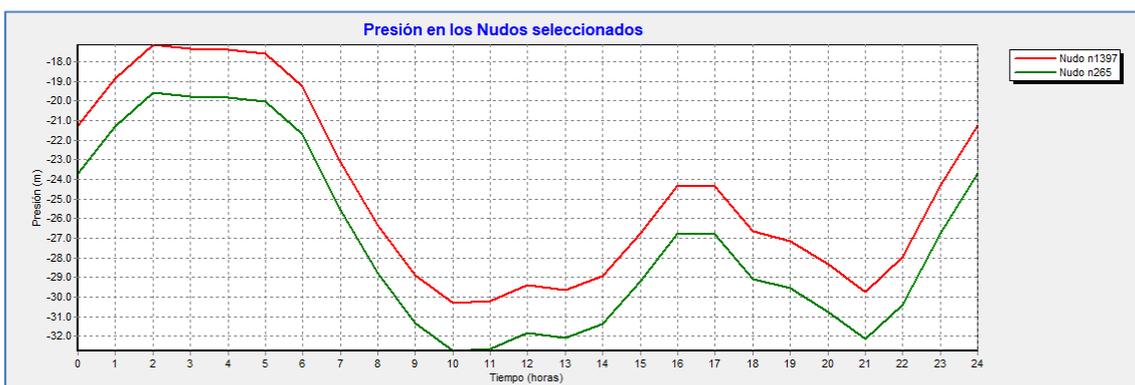


Fig. 128 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 7 con caudal 16,6 l/s

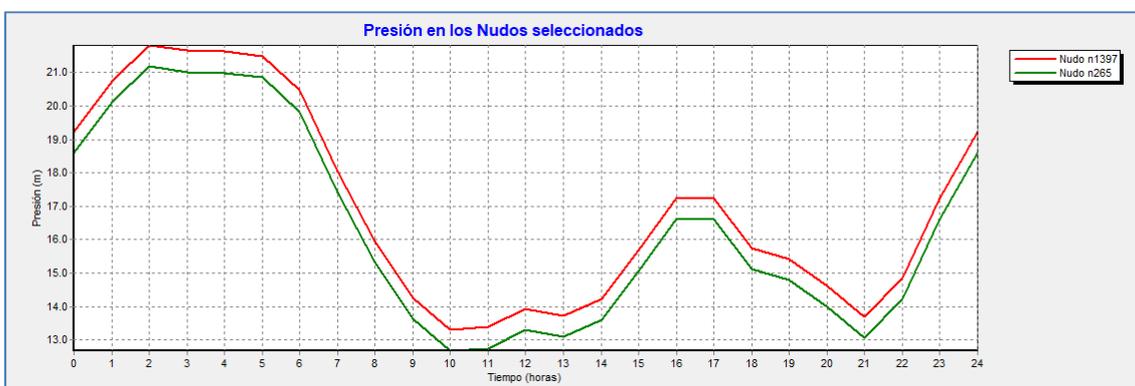


Fig. 129 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 7 con caudal 8,3 l/s

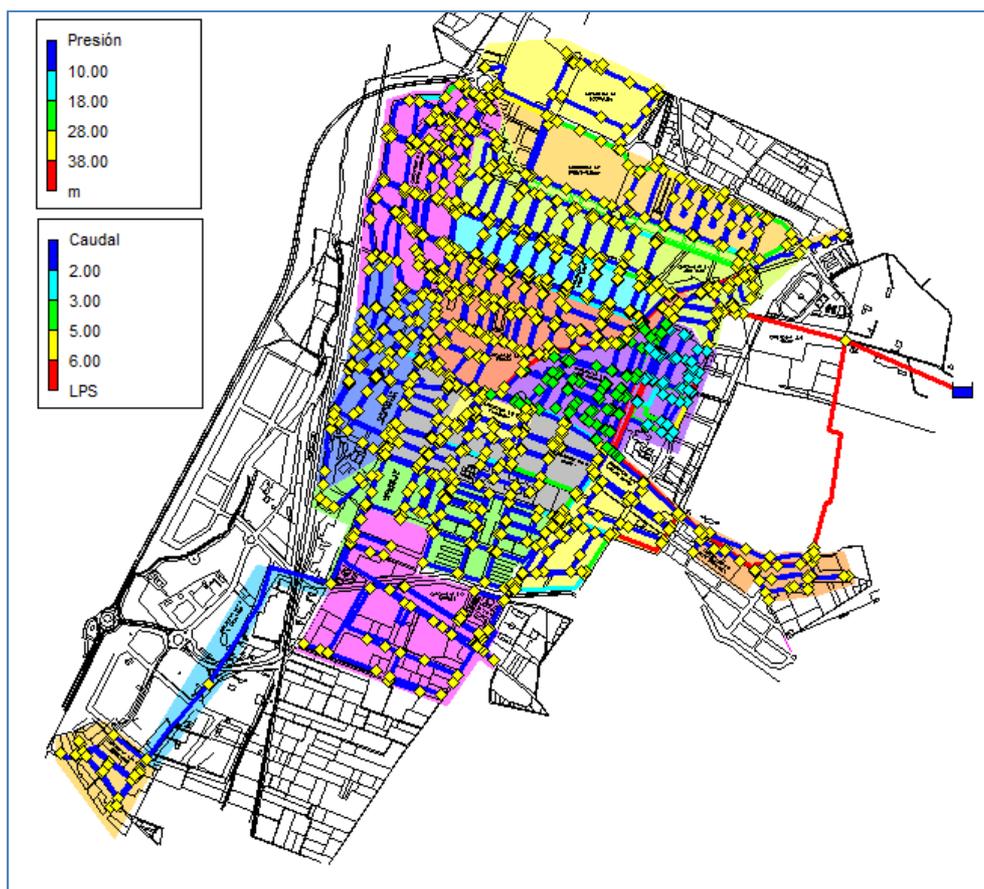


Fig. 130 Estado de la red en caso de incendio en el sector 7 a las 11h

### 10.2.8 Hidrantes en el Sector 8A



Fig. 131 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 8A

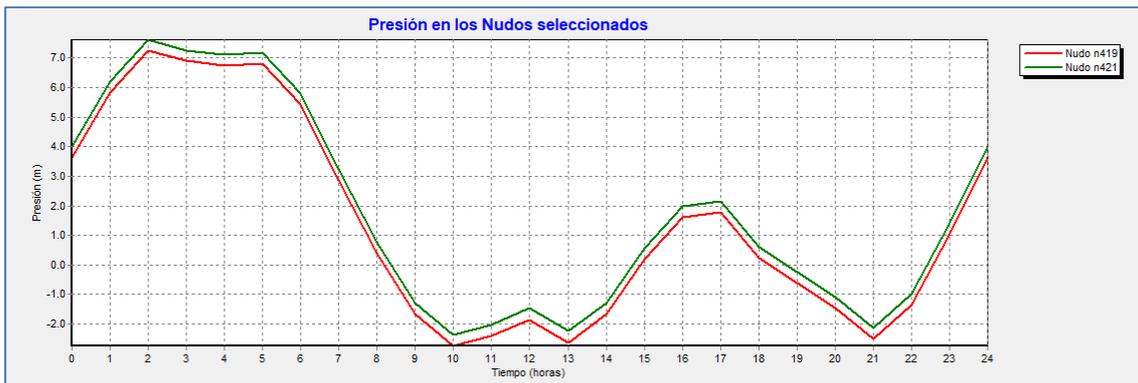


Fig. 132 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 8A con caudal 16,6 l/s

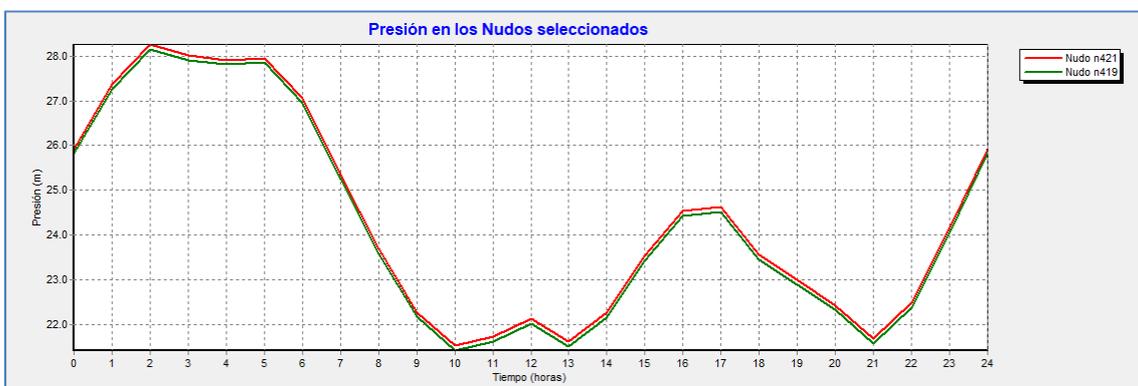


Fig. 133 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 8A con caudal 8,3 l/s

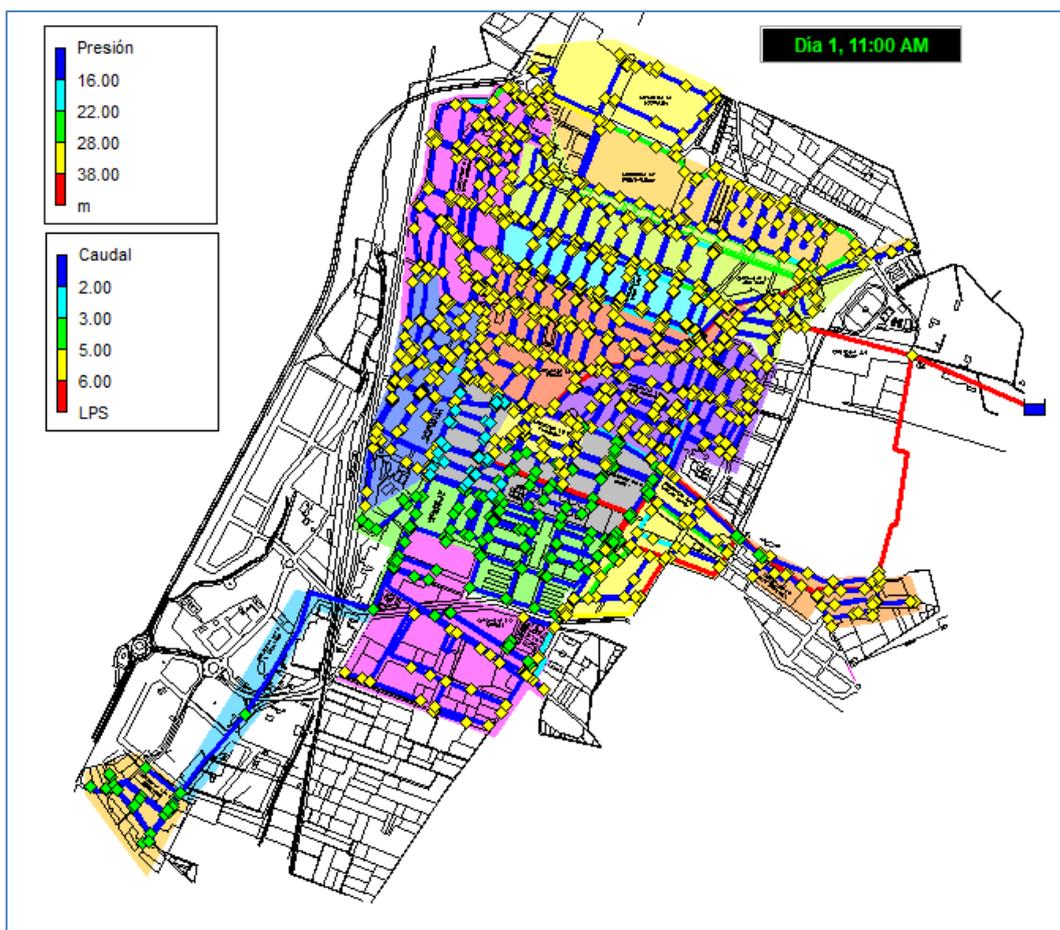


Fig. 134 Estado de la red en caso de incendio en el sector 8A a las 11h

### 10.2.9 Hidrantes en el Sector 9

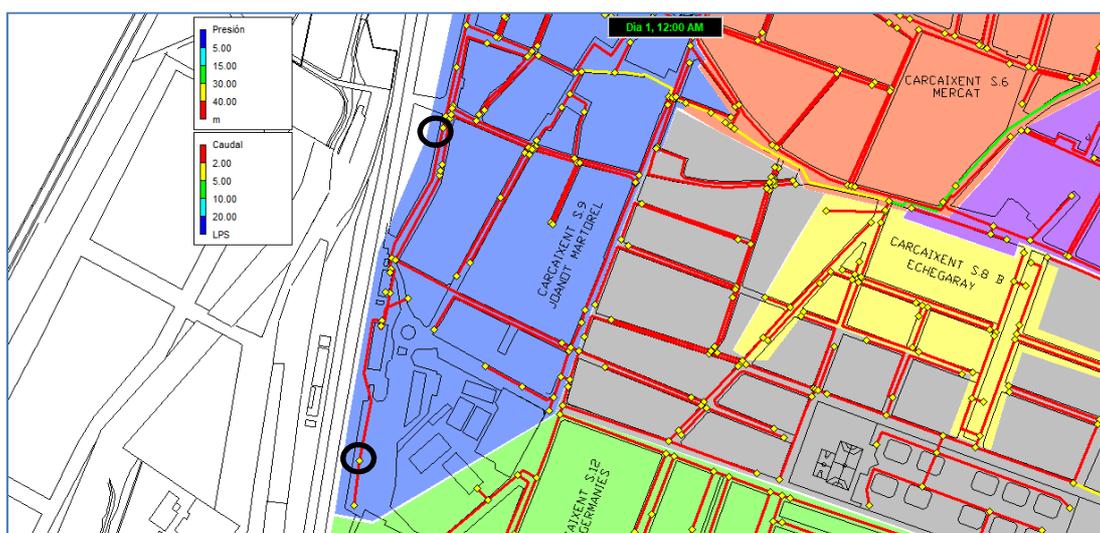


Fig. 135 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 9



Fig. 136 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 9 con caudal 16,6 l/s

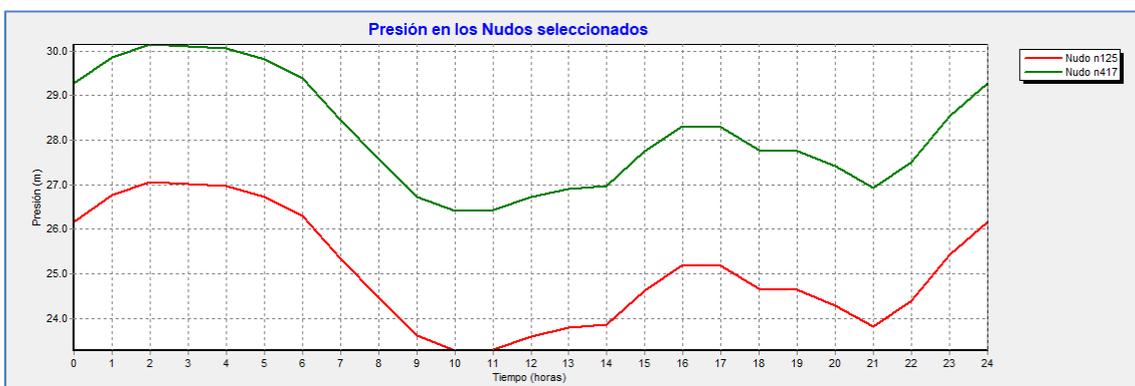


Fig. 137 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 9 con caudal 8,3 l/s

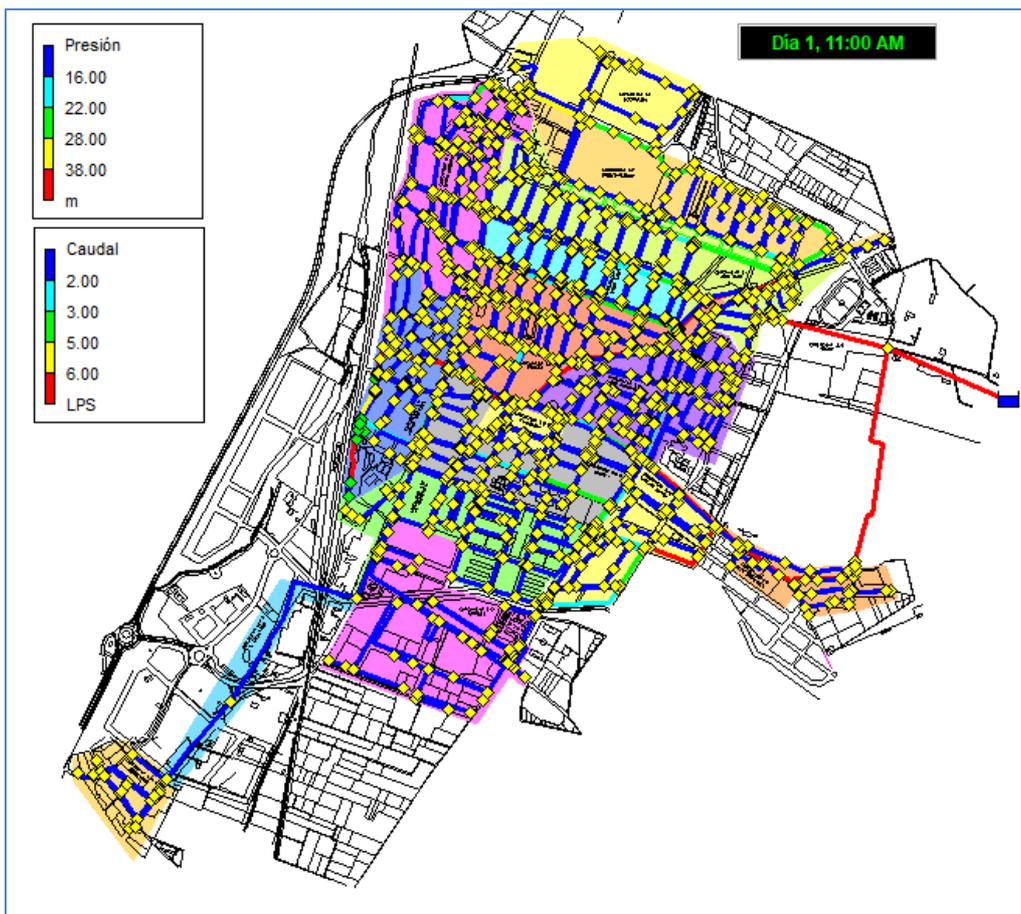


Fig. 138 Estado de la red en caso de incendio en el sector 9 a las 11h

### 10.2.10 Hidrantes en el Sector 11



Fig. 139 Ubicación de los hidrantes considerados en el sector 11

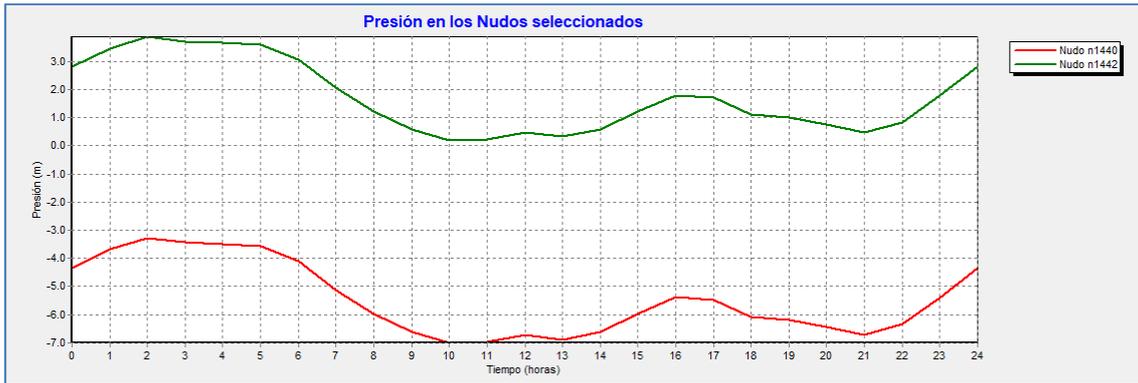


Fig. 140 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 11 con caudal 16,6 l/s



Fig. 141 Evolución de la presión en los nudos donde se ubican los hidrantes en el sector 11 con caudal 8,3 l/s

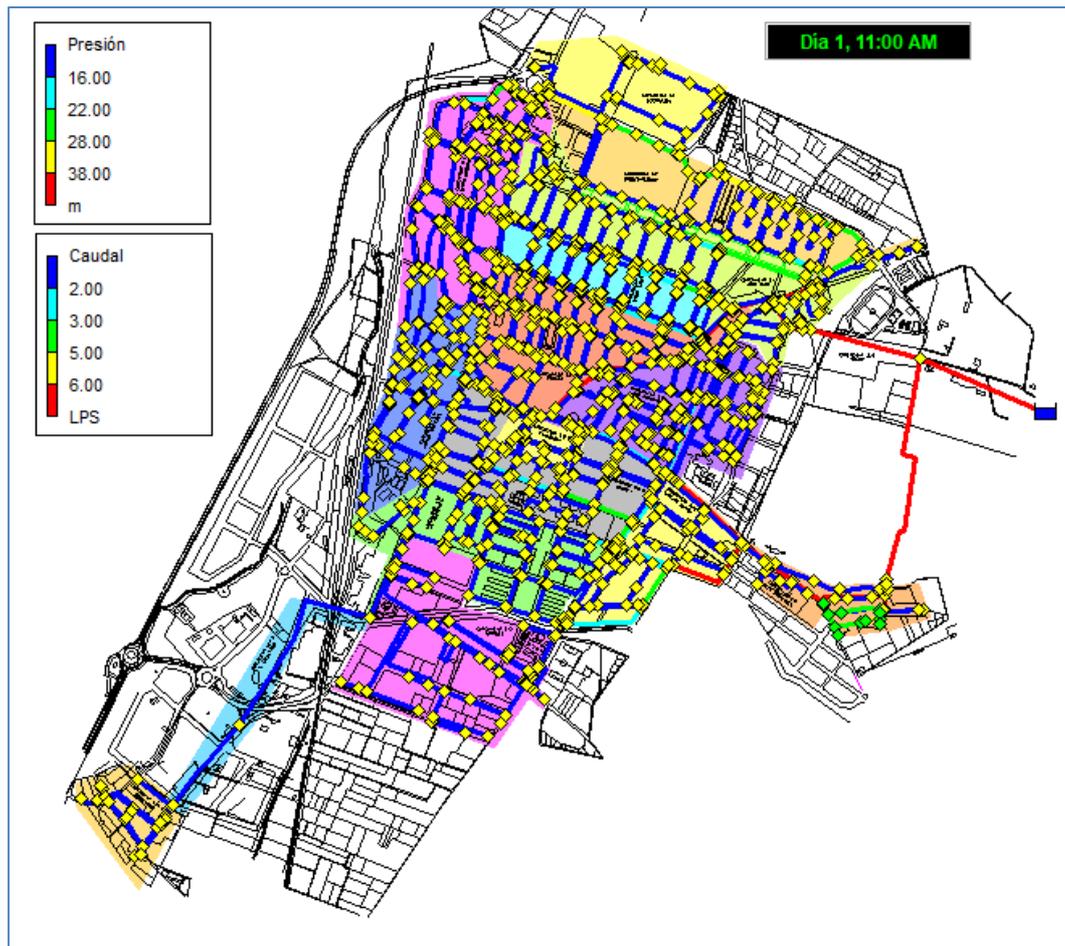


Fig. 142 Estado de la red en caso de incendio en el sector 11 a las 11h