



Título del Trabajo Fin de Máster:

***ANÁLISIS DEL ABASTECIMIENTO DE  
AGUA POTABLE DE SAGUNTO  
MODELO MATEMÁTICO Y PROPUESTA  
DE MEJORAS***

Intensificación:

***HIDRÁULICA URBANA***

Autor:

***LOZANO LÓPEZ JUAN ISMAEL***

Director/es:

***DR. GARCÍA SERRA-GARCÍA JORGE***

***DR. ARREGUI DE LA CRUZ FRANCISCO***

Fecha: **JULIO, 2014**

# **ÍNDICE GENERAL**

MEMORIA

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

PRESUPUESTOS

PLANOS

*Agradecimientos:*

*Me gustaría agradecer al grupo Aguas de Valencia la oportunidad de haber trabajado con ellos y la colaboración que me han brindado para realizar este trabajo. Ha sido una experiencia muy instructiva pero sobre todo ampliamente gratificante y agradable debido a todos los compañeros de Fuente del Jarro, Sagunto y Vara de Quart.*

*Debo hacer mención especial a los profesores del máster y muy especialmente a mis tutores Francisco Arregui y Jorge García-Serra sin cuya guía y apoyo este trabajo no hubiera sido el mismo.*

*Por último dar las gracias a mi familia y amigos por su constante apoyo en mis proyectos.*

# **ÍNDICE GENERAL**

MEMORIA

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

PRESUPUESTOS

PLANOS

*Agradecimientos:*

*Me gustaría agradecer al grupo Aguas de Valencia la oportunidad de haber trabajado con ellos y la colaboración que me han brindado para realizar este trabajo. Ha sido una experiencia muy instructiva pero sobre todo ampliamente gratificante y agradable debido a todos los compañeros de Fuente del Jarro, Sagunto y Vara de Quart.*

*Debo hacer mención especial a los profesores del máster y muy especialmente a mis tutores Francisco Arregui y Jorge García-Serra sin cuya guía y apoyo este trabajo no hubiera sido el mismo.*

*Por último dar las gracias a mi familia y amigos por su constante apoyo en mis proyectos.*

# **ÍNDICE GENERAL**

MEMORIA

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

PRESUPUESTOS

PLANOS

*Agradecimientos:*

*Me gustaría agradecer al grupo Aguas de Valencia la oportunidad de haber trabajado con ellos y la colaboración que me han brindado para realizar este trabajo. Ha sido una experiencia muy instructiva pero sobre todo ampliamente gratificante y agradable debido a todos los compañeros de Fuente del Jarro, Sagunto y Vara de Quart.*

*Debo hacer mención especial a los profesores del máster y muy especialmente a mis tutores Francisco Arregui y Jorge García-Serra sin cuya guía y apoyo este trabajo no hubiera sido el mismo.*

*Por último dar las gracias a mi familia y amigos por su constante apoyo en mis proyectos.*

# **ÍNDICE GENERAL**

MEMORIA

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

PRESUPUESTOS

PLANOS



*Agradecimientos:*

*Me gustaría agradecer al grupo Aguas de Valencia la oportunidad de haber trabajado con ellos y la colaboración que me han brindado para realizar este trabajo. Ha sido una experiencia muy instructiva pero sobre todo ampliamente gratificante y agradable debido a todos los compañeros de Fuente del Jarro, Sagunto y Vara de Quart.*

*Debo hacer mención especial a los profesores del máster y muy especialmente a mis tutores Francisco Arregui y Jorge García-Serra sin cuya guía y apoyo este trabajo no hubiera sido el mismo.*

*Por último dar las gracias a mi familia y amigos por su constante apoyo en mis proyectos.*



Título del Trabajo Fin de Máster:

**ANÁLISIS DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE SAGUNTO  
Modelo Matemático y Propuesta de Mejoras**

Autor: **LOZANO LÓPEZ JUAN ISMAEL**

Tipo	A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	<b>JORGE GARCÍA-SERRA GARCÍA</b>	Fecha de Lectura	<b>JULIO 2014</b>
Codirector1	<b>FRANCISCO ARREGUI DE LA</b>		
Codirector2	<b>CRUZ</b>		
Tutor			

**Resumen:**

*En este trabajo se ha analizado el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable de Sagunto con objeto de detectar posibles anomalías y buscar soluciones que mejoren el suministro tanto de Sagunto centro urbano como del Puerto de Sagunto, L'Almardà y los polígonos industriales.*

*Para ello se ha confeccionado el modelo matemático de la red en el que las fugas dependen de la presión y que constituye la herramienta fundamental para realizar el análisis del funcionamiento actual y simular posibles soluciones de mejora de la calidad del servicio.*

*Las propuestas planteadas además de mejorar la calidad del servicio pretenden optimizar la eficiencia hidráulica y energética, reduciendo el volumen de agua fugado en la red y la energía consumida en las impulsiones de la planta potabilizadora.*

*Finalmente se ha realizado una valoración económica de la inversión necesaria para implantar estas soluciones y del beneficio que traen aparejadas con el objeto de poder discriminar cuáles de ellas presentan mayor rentabilidad.*

**Palabras clave:**

**Modelo matemático, Abastecimiento de agua, Fugas, Energía**

**MEMORIA**



## **MEMORIA**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1 <i>Condicionantes</i> .....	3
1.2 <i>Objetivos</i> .....	4
1.3 <i>Metodología de trabajo</i> .....	4
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Medio natural</i> .....	5
2.2 <i>Medio socioeconómico</i> .....	6
2.3 <i>Demografía</i> .....	7
2.4 <i>Evolución de la superficie catastral urbana</i> .....	7
<b>3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED</b> .....	<b>9</b>
3.1 <i>Origen del agua</i> .....	9
3.2 <i>Redes hidráulicas y descripción general</i> .....	10
3.3 <i>Abonados</i> .....	11
3.4 <i>Materiales y Diámetros</i> .....	11
3.5 <i>Estación de Tratamiento de Aguas Potables</i> .....	13
3.6 <i>Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia</i> .....	16
3.7 <i>Red del Puerto de Sagunto</i> .....	20
3.8 <i>Red de Camí la Mar -Parc Sagunt</i> .....	26
3.9 <i>Red L'Almardà</i> .....	29
3.10 <i>Otras captaciones de agua</i> .....	30
3.11 <i>Medidores de Presión y Caudal</i> .....	31
<b>4. BALANCE HÍDRICO DEL ABASTECIMIENTO</b> .....	<b>33</b>
4.1 <i>Volúmenes anuales de agua inyectados</i> .....	33
4.2 <i>Volúmenes anuales de agua registrados</i> .....	35
4.3 <i>Rendimientos volumétricos generales</i> .....	36
4.4 <i>Rendimientos volumétricos en los macrosectores</i> .....	37
4.5 <i>Conclusiones</i> .....	38



<b>5. MODULACIÓN DE LA DEMANDA.....</b>	<b>39</b>
5.1 Zonas con curvas de modulación de la demanda propia .....	39
5.2 Días analizados.....	40
5.3 Fundamento teórico .....	41
5.4 Curvas de modulación de la demanda 2 de agosto de 2013 .....	42
5.5 Curvas de modulación de la demanda 25 de noviembre de 2013.....	44
5.6 Modulación para Camí la Mar y Parc Sagunt.....	46
<b>6. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>49</b>
6.1 Análisis de la red en condiciones normales de suministro.....	49
6.2 Análisis de la red en condiciones de emergencia ante rotura.....	66
6.3 Análisis de la red en condiciones de emergencia ante incendio.....	72
6.4 Conclusiones.....	76
<b>7. PROPUESTA DE MEJORAS.....</b>	<b>77</b>
7.1 Mejoras en la red de distribución.....	78
7.2 Mejoras en la red de traída - Modificación del sistema hidráulico.....	95
7.3 Renovación de red .....	100
<b>8. VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS OBTENIDOS CON LAS MEJORAS .....</b>	<b>103</b>
8.1 Reducción del volumen de fugas.....	103
8.2 Ahorro energético en las impulsiones .....	106
8.3 Otros beneficios no cuantificables.....	108
<b>9. VALORACIÓN DE LAS INVERSIONES INICIALES.....</b>	<b>109</b>
9.1 Resumen de Presupuestos.....	109
9.2 Inversión inicial para cada actuación.....	112
<b>10. COMPARACIÓN COSTE-BENEFICIO DE LAS DISTINTAS MEJORAS .....</b>	<b>113</b>
10.1 Coste-beneficio de las mejoras sobre las que se ha calculado el beneficio asociado.....	113
10.2 Coste-beneficio del resto de mejoras.....	114
<b>11. CONCLUSIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>12. REFERENCIAS.....</b>	<b>117</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

El objetivo de este trabajo es analizar el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua potable de Sagunto para detectar anomalías y buscar soluciones que mejoren el suministro tanto del núcleo urbano principal, como del Puerto de Sagunto, L'Almardà y los Polígonos Industriales.

Para ello se confeccionará 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.

Finalmente se realizará una valoración económica de las propuestas realizadas y del beneficio que pueden traer aparejadas.

### **1.1 Condicionantes**

Existen una serie de condicionantes que hacen que esta red sea compleja y que se han tenido en cuenta en la elaboración de este documento. Se pueden resaltar los siguientes:

- Diferentes núcleos de consumo con redes hidráulicas distintas y tipologías de consumo diversas. Podemos destacar Sagunto Centro Urbano, Puerto de Sagunto, L'Almardà y Polígonos Industriales Sepes, Ingruinsa, Camí La Mar y Parc Sagunt.
- Diferencia de cotas significativas entre los depósitos de cabecera y algunas zonas. Esto genera presiones elevadas y problemas de fugas y rendimientos volumétricos mejorables.
- Diferentes edades de las conducciones. Existen zonas muy antiguas donde las tuberías tienen edades avanzadas y otras zonas totalmente nuevas. Esto repercutirá en las fugas y en el mantenimiento y renovación de la red.
- Estado de conservación variable de los distintos depósitos y elementos de la red. Este será otro factor clave a la hora de definir el funcionamiento hidráulico tanto actual como futuro.
- Lugares que actualmente tienen poco consumo pero que en el futuro podrían tener actividad y por lo tanto mayor demanda de agua. Cuando se realice la propuesta de mejoras éstas deben ser lo suficientemente flexibles para adaptarse a otras condiciones de funcionamiento.
- Distintos gestores dentro de las mismas redes hidráulicas. Por una parte, Aguas de Sagunto (Grupo Aguas de Valencia) en toda la red de distribución y por otra, la Estación de Tratamiento de Aguas Potables del Camp de Morvedre (Grupo Aguas de Valencia), que gestiona la red hasta los depósitos de cabecera. Además hay que contar con varias administraciones como el Ayuntamiento de Sagunto o la Generalitat Valenciana.

## 1.2 Objetivos

Como se ha indicado, lo que se busca es conocer y caracterizar la red para posteriormente hacer un estudio detallado de los problemas y proponer soluciones factibles. De forma resumida podemos enumerar los siguientes objetivos:

- Conocimiento detallado del sistema de abastecimiento
- Confección de un modelo matemático que reproduzca de forma fiable el funcionamiento de la red, incluyendo una buena calibración del mismo.
- Identificar los problemas que existen o que pueden ocasionarse tanto en situación de servicio normal como de emergencia (roturas de conducciones, fallos en la producción e incendios).
- Estudio y análisis de diferentes alternativas de actuación para solucionar los problemas identificados.
- Diseño preliminar de las actuaciones e inversiones necesarias, así como un resumen de las características de las mismas. Como se ha comentado, reducir presiones y aumentar el rendimiento volumétrico y energético es algo esencial. Para ello se propondrá una sectorización adecuada y una posible modificación del sistema hidráulico.
- Valoración de las actuaciones a realizar con el fin de poder elaborar un plan de inversiones.
- Valoración de la mejora que supone adoptar las medidas propuestas.

## 1.3 Metodología de trabajo

Para poder elaborar este trabajo se han seguido los siguientes pasos:

- Recopilación de datos: Esqueleto del sistema de distribución, depósitos, bombas, válvulas, consumos por abonado y por calle, caudales inyectados por macrosectores...
- Conocimiento in situ de toda la red, tras numerosas visitas realizadas a Sagunto.
- Construcción y calibración del Modelo Matemático de la Red.
- 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.
- Valoración de los beneficios que traen aparejados las mejoras propuestas.
- Valoración de las soluciones adoptadas.
- Elaboración del presente documento y de los planos correspondientes.

## 2. ANTECEDENTES

Para el estudio de la red de abastecimiento de agua potable, es necesario conocer los condicionantes que existen en el municipio de Sagunto. En concreto, el estudio del medio natural, socioeconómico y sobre todo demográfico, condicionan el análisis de la red de agua potable.

### 2.1 Medio natural

La ciudad de Sagunto está situada al norte de la provincia de Valencia, siendo la cabecera de la Comarca del Camp de Morvedre.



Figura 2-1. Situación de la Provincia de Valencia en España

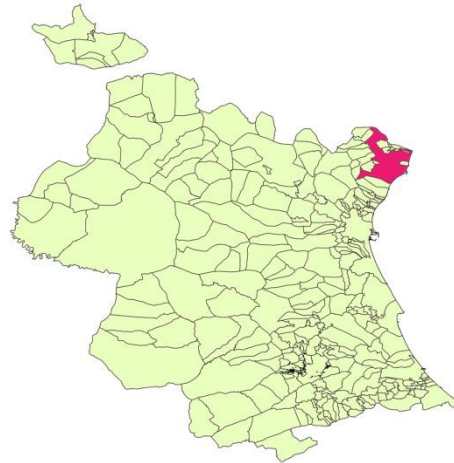


Figura 2-2. Situación del Término Municipal de Sagunto en la Provincia de Valencia

El término municipal de Sagunto es muy extenso con una superficie de 132 Km<sup>2</sup>. Limita al norte con Soneja, Alfondiguilla, Vall de Uxó, Almenara (provincia de Castellón) Algar de Palencia, Cuart de les Valls y Faura, al este con Canet de Berenguer y el Mar Mediterráneo, al sur con Puzol y Puig y al oeste con Petrés, Gilet, Albalat de Taronger, Estivella, Torres Torres, Alfara de Algimia, y todas ellas en la provincia de Valencia.

Sagunto tiene tres núcleos principales: el casco histórico o Sagunto-Ciudad, situado en la falda del Castillo y del Teatro Romano, el Puerto de Sagunto, a 5km del casco histórico y la zona turística-costera de L'Almardà.



Figura 2-3. Castillo de Sagunto



Figura 2-4. Puerto de Sagunto



Geográficamente, Sagunto posee su centro en el meridiano 0°16' de longitud oeste y en el paralelo 39°41' de latitud norte. Esta situación explica la existencia de un clima mediterráneo y una vegetación con características marcadamente mediterráneas. Esto también influye en las precipitaciones, que son escasas, estacionales y en ocasiones, torrenciales.

En cuanto a la orografía del terreno, se pueden diferenciar varias zonas. Por una parte ésta Sagunto-Ciudad, donde es más irregular, con cotas que oscilan entre 40-100 metros, por otra parte Sagunto-Puerto con cotas entre 0 y 40 metros. Por último, destacamos la zona de L'Almardà presenta cotas muy uniformes entre 0 y 5m.

En cuanto al aprovechamiento del suelo, se puede diferenciar entre cultivos de secano y de regadío. Respecto al secano, destacan algarrobos, olivos y almendros, mientras que de regadío destaca el naranjo y otros frutales.

## 2.2 Medio socioeconómico

Su economía está basada principalmente en el sector servicios, en la industria, en la exportación de agrario y en el comercio portuario. Existe también un aprovechamiento turístico de la zona, en especial de L'Almardà y parte del Puerto de Sagunto. Todo esto condicionará el tipo de consumo existente que habrá que contemplar en el Modelo Matemático y en las soluciones adoptadas.

**TRABAJADORES POR SECTOR DE ACTIVIDAD**

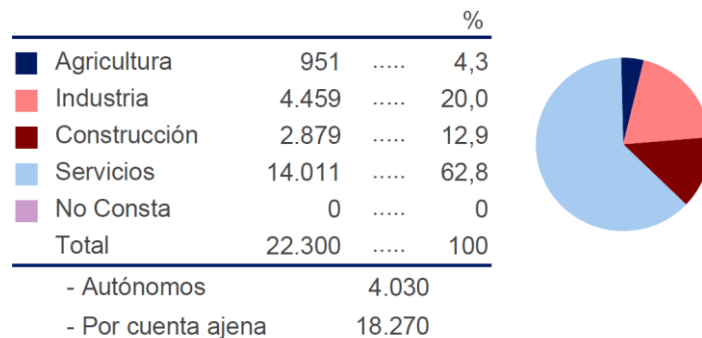


Figura 2-5. Trabajadores por sector de actividad - Ministerio de Economía/INE

Tradicionalmente Sagunto ha sido una zona industrial significativa donde estaban ubicados unos de los altos hornos más importantes de España. En la actualidad existen varios polígonos industriales con mayor o menor ocupación. Por una parte están Sepes e Ingruinsa, que se encuentran plenamente operativos y que forman parte de la red hidráulica del Puerto de Sagunto. Por otra parte se tiene a Camí La mar y Parc Sagunt que forman una red independiente y que tienen poca ocupación, aunque con consumos de agua destacables que se explicarán más adelante.

### 2.3 Demografía

Desde el punto de vista demográfico, la población de Sagunto ha sufrido un crecimiento hasta el año 2008. A partir de ahí prácticamente se ha estancado.

En la actualidad, la población total es de 65190 habitantes. El núcleo con mayor población es el Puerto de Sagunto, seguido de Sagunto Centro Urbano. En L'Almardà la mayor parte de la población es estacional de verano.

#### EVOLUCIÓN DE LA POBLACIÓN (Padrón)

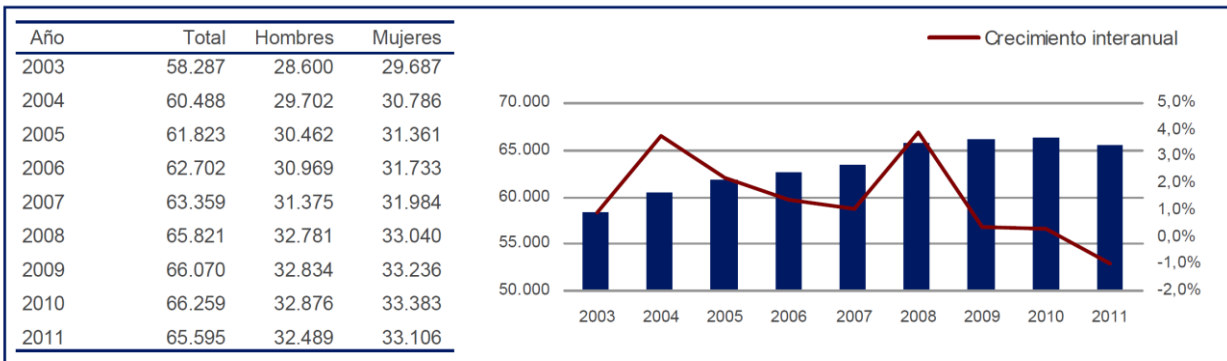


Figura 2-6. Evolución de la población - INE

### 2.4 Evolución de la superficie catastral urbana

Un aspecto muy importante a la hora de realizar el análisis de la red es conocer la evolución de la superficie urbana, que al fin y al cabo es a la que se la tiene que dotar de servicio de agua potable.

En la década pasada se produjo un incremento de esta superficie como consecuencia del desarrollo urbanístico tanto residencial como industrial. En los últimos se ha producido un estancamiento y no se prevé que en un futuro próximo siga creciendo ya que previamente se tiene que ocupar el terreno urbano sin utilizar.

#### SUPERFICIES CATASTRALES

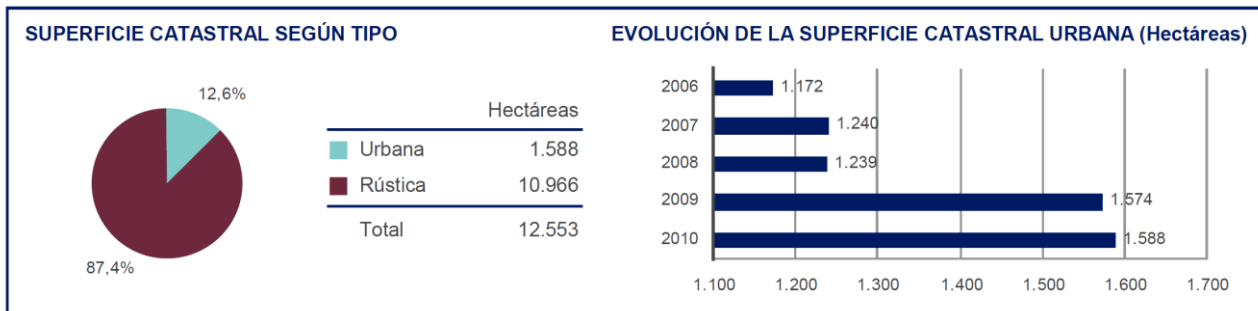


Figura 2-7. Superficies Catastrales - Dirección General del Catastro



### **3. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA RED**

#### **3.1 Origen del agua**

El abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Sagunto parte de la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) situada en el término municipal de Sagunto, en la ladera sur del Castillo de Sagunto. Esta planta potabilizadora es gestionada por la EPSAR (Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana) y el Grupo Aguas de Valencia.

A su vez, la ETAP recibe el agua desde el Embalse de Tous a través del “Canal Júcar-Turia” y la conducción Turia-Sagunto, hasta un depósito de 150000m<sup>3</sup>, situado junto a la ETAP, cuya explotación corresponde a la empresa Aguas del Júcar. Éste caudal inyectado a la ETAP es suministrado por la Confederación Hidrográfica del Júcar.



*Figura 3-1. Depósito de agua bruta a la entrada de la ETAP*

Existen otras captaciones dentro del término municipal que históricamente han sido utilizadas como fuente de agua potable, pero que en la actualidad presentan problemas de calidad, especialmente en referencia a la concentración de Nitratos, Sulfatos y Cloruros, según el R.D 140/2003. Actualmente algunas de ellas se utilizan para riegos o simplemente son una reserva ante situaciones excepcionales. Son los Pozos de la Pederera y Sabató. Se hablará de ellos de forma breve posteriormente.

También existe un Canal que podría llevar agua desde un manantial, pero que se encuentra en pésimas condiciones de conservación y no sirve para suministro de agua potable. Es el Canal de Soneja.

### 3.2 Redes hidráulicas y descripción general

Tal y como se encuentra configurado el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de Sagunto, se diferencian cuatro redes hidráulicas independientes entre sí. Son las siguientes:

- **Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia**
- **Red del Puerto de Sagunto (incluyendo también Polígonos Sepes e Ingruinsa)**
- **Red de Camí la Mar -Parc Sagunt**
- **Red L'Almardà (dividida en Almardà Norte y Almardà Sur)**

Merece la pena indicar que la Red de L'Almardà es totalmente independiente de las otras redes, que también son independientes entre sí, pero sólo por cómo se encuentra establecido el sistema. Una ligera modificación del mismo puede hacer que toda la conectividad cambie.

El funcionamiento del sistema es bastante complejo. Cabe recordar, como se ha dicho, que el corazón es la ETAP, en la que hay tres bombeos. El primero abastece a la Red de Sagunto Centro Urbano y NP, el segundo a la Red del Puerto de Sagunto y el tercero, de forma indirecta, a la Red de L'Almardà.

Existen varios depósitos en medio de las redes y que son los siguientes: Depósito Cota 75 (Red del Puerto de Sagunto y Red de Camí la Mar-Parc Sagunt), Depósito Cota 55 (Red del Puerto de Sagunto), Depósito Cota 110 (Red de Sagunto Centro Urbano y NP), Depósito Sepes (Red del Puerto de Sagunto) y Depósito Parc Sagunt (Red de Camí la Mar-Parc Sagunt). Cada uno de ellos tiene unas características y funciones distintas. Algunos de ellos son de compensación, otros de rotura de carga, otros de regulación, otros apenas tienen uso...

Además de los bombeos principales de la ETAP, existen otros dos bombeos que se encuentran en los depósitos de Sepes (Red del Puerto de Sagunto) y Parc Sagunt (Red de Camí la Mar-Parc Sagunt).

También hay colocadas dos válvulas reductoras de presión. La primera a la entrada de L'Almardà y la segunda a la entrada a Parc Sagunt.

Esta descripción de cómo es el abastecimiento es muy escueta, pero indica de forma sencilla cómo es la red de forma general. En los siguientes apartados todo se explicará en detalle. Se adjuntarán imágenes, figuras y planos que ayudarán a comprender de forma gráfica lo explicado en el texto. Se recuerda que también se puede consultar los Planos Generales donde hay diversos esquemas y mapas.

### 3.3 Abonados

La distribución del número total de abonados en las diferentes zonas de facturación de la red en el año 2013 es la siguiente:

Número de abonados	
Sagunto Centro Urbano	10,411
Puerto de Sagunto y Camí la Mar/Parc Sagunt	27,461
L'Almardà	1,579
<b>TOTAL</b>	<b>39,451</b>

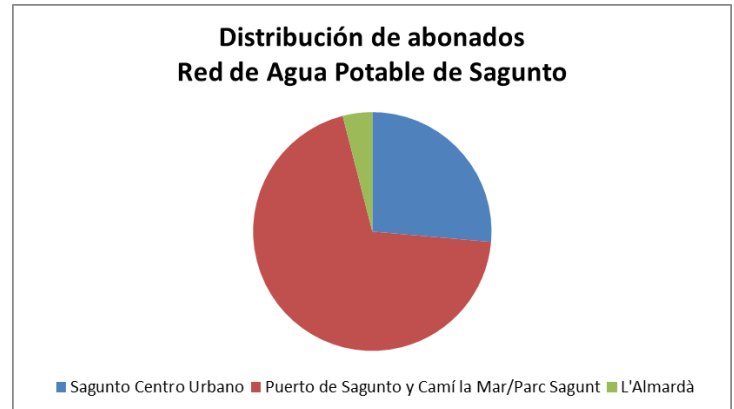


Figura 3-2. Distribución de abonados en la Red de Agua Potable de Sagunto en el año 2013

Si se comparan estos datos con los de años anteriores se observa que el número de abonados es constante. Este dato coincide con el estancamiento demográfico comentado en el capítulo anterior.

### 3.4 Materiales y Diámetros

La Red de Abastecimiento de Agua Potable es muy extensa y tiene una longitud total de 300,542km. La mayor parte está gestionada por Aguas de Sagunto y la restante por la Estación Potabilizadora de Agua Potable. El reparto final entre los gestores es el siguiente, en el que no se ha incluido la conducción que lleva el agua desde Ponera I hasta la entrada a L'Almardà y que es titularidad de la ETAP:

Tabla 3-1. Longitud de tubería gestionada por cada entidad

Gestión	Longitud (m)
ETAP	2,736
Aguas de Sagunto	297,805
<b>TOTAL</b>	<b>300,542</b>

También es interesante distinguir entre las tuberías que se encuentran operativas y aquellas que están cerradas o proyectadas a corto plazo (y que están también incluidas en el modelo, pero con estado cerrado).

Tabla 3-2. Longitud de tuberías operativas y cerradas/proyectadas

Estado	Longitud (m)
Operativas	271,282
Cerradas o proyectadas	29,260
<b>TOTAL</b>	<b>300,542</b>

➤ **Materiales**

En general, es una red muy heterogénea, debido a las diferentes épocas de construcción y las distintas tipologías de consumo existente (residencial, industrial, comercial, turístico...). Esto repercute en conducciones de diversos materiales, destacando Polietileno, Fibrocemento, Fundición y en menor medida, Hierro Fundido y PVC:

Material	Longitud (m)
Fundición	24,633
Fibrocemento	132,765
Hierro fundido	1,244
Polietileno	140,893
PVC	1,007
<b>TOTAL</b>	<b>300,542</b>

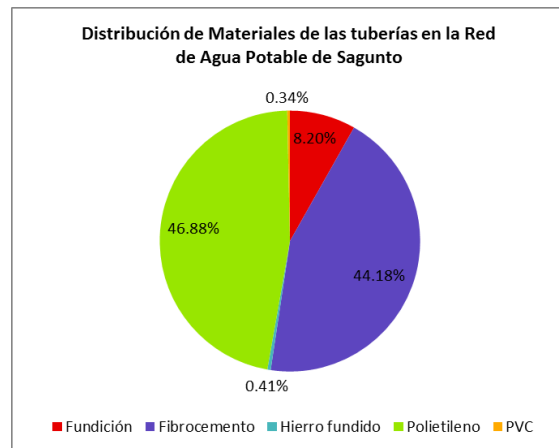


Figura 3-3. Distribución de los materiales de las tuberías

➤ **Diámetros**

En el Modelo Matemático que se ha creado para poder elaborar este análisis se ha incluido todas las conducciones existentes en la red. Esto incluye tuberías tanto tuberías arteriales como de distribución. Es por ello por lo que el rango de diámetros es muy variado. La distribución es la siguiente:

Diámetros (mm)	Longitud (m)
D < 100	147,357
100 < D < 150	66,402
150 < D < 300	49,444
D > 300	37,339
<b>TOTAL</b>	<b>300,542</b>

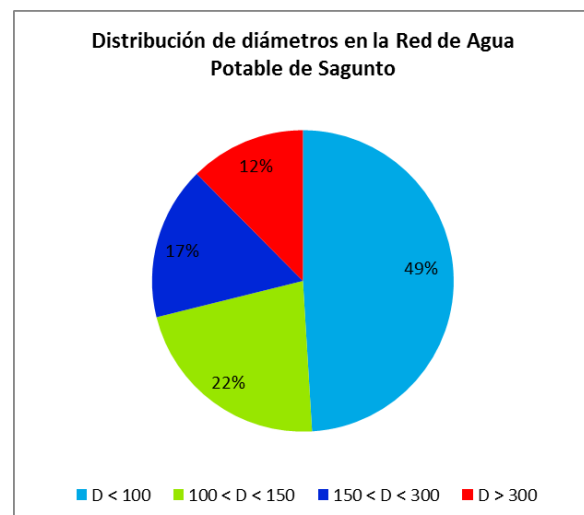


Figura 3-4. Distribución de los diámetros de las tuberías

### 3.5 Estación de Tratamiento de Aguas Potables

Es una estación potabilizadora que abastece a distintos núcleos, entre ellos Sagunto Centro Urbano, Norte Palancia, Puerto de Sagunto (incluyendo polígonos Sepes e Ingruinsa), L'Almardà y polígonos Camí la Mar y Parc Sagunt. Recibe agua bruta del río Júcar a través de una conducción y tiene una capacidad máxima de tratamiento de 400l/s. A efectos hidráulicos, la altura piezométrica del agua tratada es de 66m.

En la siguiente fotografía aérea se observa en el centro y en gris el depósito de agua bruta procedente de la conexión Turia-Sagunto. Justo a su derecha se puede ver la ETAP, con todas las instalaciones que la componen y que se explicarán más adelante. En la parte superior de la fotografía se encuentra el Depósito Cota 75 (del que también explicaremos sus características por ser fundamental a la hora de establecer el Modelo Matemático). En la parte inferior se observan unas balsas de riego que a su vez reciben el agua del lavado de filtros de la planta.

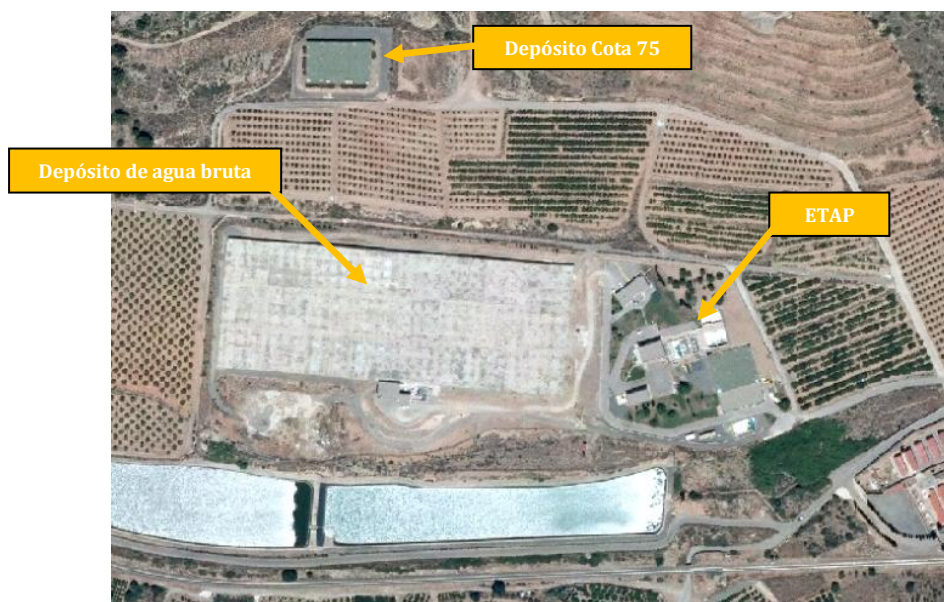


Figura 3-5. Vista aérea de la ETAP, Depósito de agua bruta y Depósito Cota 75

El esquema de funcionamiento de esta ETAP se distingue por contar con una línea de aguas, una línea de fangos y una estación de impulsión con tres grupos de bombeo.

A efectos del análisis que se va a proceder en este trabajo se va a estudiar cómo funcionan los bombeos hidráulicamente para intentar mejorar la eficiencia energética de la instalación con el consiguiente ahorro de costes.



### 3.5.1 Grupos de bombeo

- **1er grupo de bombeo a Depósito Cota 110 y red**  $\left\{ \begin{array}{l} H_{110 \text{ arranque}} = 1.80\text{m} \\ H_{110 \text{ paro}} = 2.85\text{m} \end{array} \right.$ 
  - 2 BVF: Depósito de compensación.
    - a. Alimentación a Sagunto Centro Ciudad
    - b. Alimentación a Norte Palancia
  
- **2º grupo de bombeo a Depósito Ponera I**
  - 3 BVF: Impulsan el agua al Depósito Ponera I (Depósito de regulación)
    - a. Alimentación a L'Almardà por gravedad
    - b. Alimentación a Camp de Morvedre mediante impulsiones y gravedad.
  
- **3er grupo de bombeo a Depósito Cota 75 y red**  $\left\{ \begin{array}{l} H_{75 \text{ arranque}} = 1.20\text{m} \\ H_{75 \text{ paro}} = 3.8\text{m} \end{array} \right.$ 
  - 3 BVF: Depósito de compensación.
    - a. Alimentación a Depósito Cota 55 → Red del Puerto de Sagunto
    - b. Alimentación a Canet
    - c. Alimentación a Camí la Mar-Parc Sagunt (derivación justo a la salida de las bombas, sin pasar por depósito Cota 75, aunque también influye)



Figura 3-6. Estación de bombeo con los 3 grupos de bombeo

En general, todas las bombas suministran más caudal del que necesitan los distintos puntos de consumo de los tres grupos de bombeo. Por ello sólo funciona una bomba de cada grupo. Se produce una rotación del uso para que todas entren en funcionamiento. Además hay unas válvulas neumáticas de mariposa que cierran automáticamente si se para el bombeo y unas válvulas de retención. Detrás de éstas hay unas válvulas de compuerta, una para cada impulsión. También se encuentran instalados dos calderines antiarriete a la salida de los bombeos a Cota 110 y Ponera I.

### 3.5.2 Depósito Cota 75

Tiene dos vasos comunicados con una capacidad total de 6000m<sup>3</sup>, una cota de solera de 75m y una altura máxima de la lámina de agua de 4m. Se llena con agua procedente del tercer grupo de bombeo por una tubería de fundición de diámetro 600mm. El agua entra y sale por la misma conducción, por lo que el depósito tiene una función de compensación. Además también es regulador. Como se ha comentado, abastece a la Red del Puerto de Sagunto (previo paso por Depósito Cota 55) y a Canet.



Figura 3-7. Depósito Cota 75

En la siguiente fotografía se observa el interior del arquetón ubicado en la intersección entre el camino de acceso al depósito y el camino de servicio de la ETAP, por donde van enterradas las conducciones. La conducción que tiene la misma dirección que el dado de hormigón es la que llena o vacía el depósito. La que se encuentra a la derecha es la que viene de la impulsión y sigue hacia el Depósito Cota 55 y la de menor diámetro es la que conduce al agua hasta Canet.



Figura 3-8. Conexiones a Depósito Cota 75, Canet y Cota 55 (Puerto de Sagunto)

### 3.6 Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Desde la ETAP el agua es bombeada mediante una tubería de fundición dúctil de  $\varnothing 350$  mm, que inyecta agua a:

- Tubería general de fibrocemento de  $\varnothing 300$  mm que suministra a Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia
- Depósito Cota 110, (sólo tiene operativo uno de los dos depósitos existentes, con una capacidad de  $2000\text{m}^3$ )

Este depósito actúa como depósito de compensación y se conecta a la red mediante dos tuberías, ambas de  $\varnothing 300\text{mm}$ . Mediante una de ellas, el depósito se llena o se vacía dependiendo de las presiones en la red y del arranque y paro de las bombas (de esta forma, actúa como depósito de compensación). Mediante la otra, se podría suministrar agua al Puerto de Sagunto y al Depósito Sepes (aunque se encuentra cortada a la entrada de Sagunto porque no es operativa tanto por fugas como por eficiencia energética).

Centrándonos en el abastecimiento de Sagunto, indicar que la conducción de  $\varnothing 300\text{mm}$  que llena o vacía el depósito, está conectada a una tubería de  $\varnothing 300\text{mm}$  que se bifurca en dos conducciones de  $\varnothing 300\text{mm}$  que abastecen a Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia.

La tubería de  $\varnothing 300\text{mm}$  que abastece al Sagunto Centro Urbano se divide en dos conducciones de  $\varnothing 200\text{mm}$  que reparten el agua por la red de distribución de todo el casco urbano.

La otra tubería de  $\varnothing 300\text{mm}$  que abastece a Norte Palancia distribuye en agua en esa zona mediante otras tuberías de inferior diámetro. Conecta con el Sagunto Centro Urbano mediante dos tuberías de  $\varnothing 300$  mm que cruzan los puentes “Bru y Vidal” y “Huertos Mallaeta”. Estas conexiones están cortadas, de forma que Norte Palancia es una zona sectorizada.

La red de distribución de Norte Palancia es más moderna y estructurada debido a que es una zona de urbanización reciente. La mayor parte de las tuberías son de polietileno PE110 y PE160.

La red de distribución de Sagunto Ciudad es más heterogénea debido a la antigüedad del sistema. Hay tuberías de diferentes materiales y diámetros, principalmente fibrocemento. Cuanto más cerca de la zona del Castillo, más mallada y poco estructurada es la red ya que es la zona más antigua.

Como se ha explicado, se recomienda mirar los Planos correspondientes a los esquemas de la red para que quede claro lo que se explica de forma escrita.

### 3.6.1 Depósito Cota 110

Situados en la Loma contigua al barrio del Clot del Moro existen dos depósitos semienterrados con un volumen de 2000 y 2000 m<sup>3</sup> repartido en dos vasos en cada depósito. Uno de los dos depósitos no se encuentra operativo debido al mal estado de conservación.

La cota de solera es de 110m y la altura máxima de la lámina de agua es de 4m. La alimentación original de estos depósitos se realizaba, por su parte superior, con el agua que llegaba procedente del Canal de Soneja y de los Pozo de Petrés y Sabató.



Figura 3-9. Depósito Cota 110 en funcionamiento

#### ➤ Entrada y salidas del depósito

Actualmente el depósito tiene función de compensación. La alimentación se produce por su parte inferior mediante una tubería de fundición de Ø300mm. A su vez, esta conducción también es de salida y tras una bifurcación alimenta a Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia. Que el depósito se llene o vacíe es función de la demanda y de si está en funcionamiento el bombeo correspondiente.

Ésta tubería se une a la conexión de Ø350mm procedente de la ETAP en un arquetón que está a los pies de la loma donde se encuentra el depósito (Avenida del Sants de la Pedra). La arqueta marca la divisoria de titularidad de éstas tuberías. Aguas arriba pertenece a la ETAP (verde claro) y aguas abajo a Aguas de Sagunto (verde oscuro)

Respecto al suministro del depósito a la población, en la misma arqueta a la salida de la tubería, se produce una bifurcación en dos tuberías de Ø300mm que abastecen a Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia, tal y como se ha comentado anteriormente.

Las siguientes fotografías hacen referencia al lugar por donde sube la tubería de entrada y salida del agua y al arquetón en el que se encuentra la bifurcación de esa misma tubería hacia Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia.



Figura 3-11. La tubería Ø300 de entrada y salida va por debajo de estas escaleras



Figura 3-10. Arquetón en el que se encuentra la bifurcación hacia Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Existe además otra tubería de Ø300mm que sale del Depósito Cota 110 y que podría alimentar al Depósito Sepes, atravesando Sagunto Ciudad pero sin abastecer en ningún momento a este núcleo de población y que está fuera de servicio. Las tuberías no operativas están en rojo discontinuo.

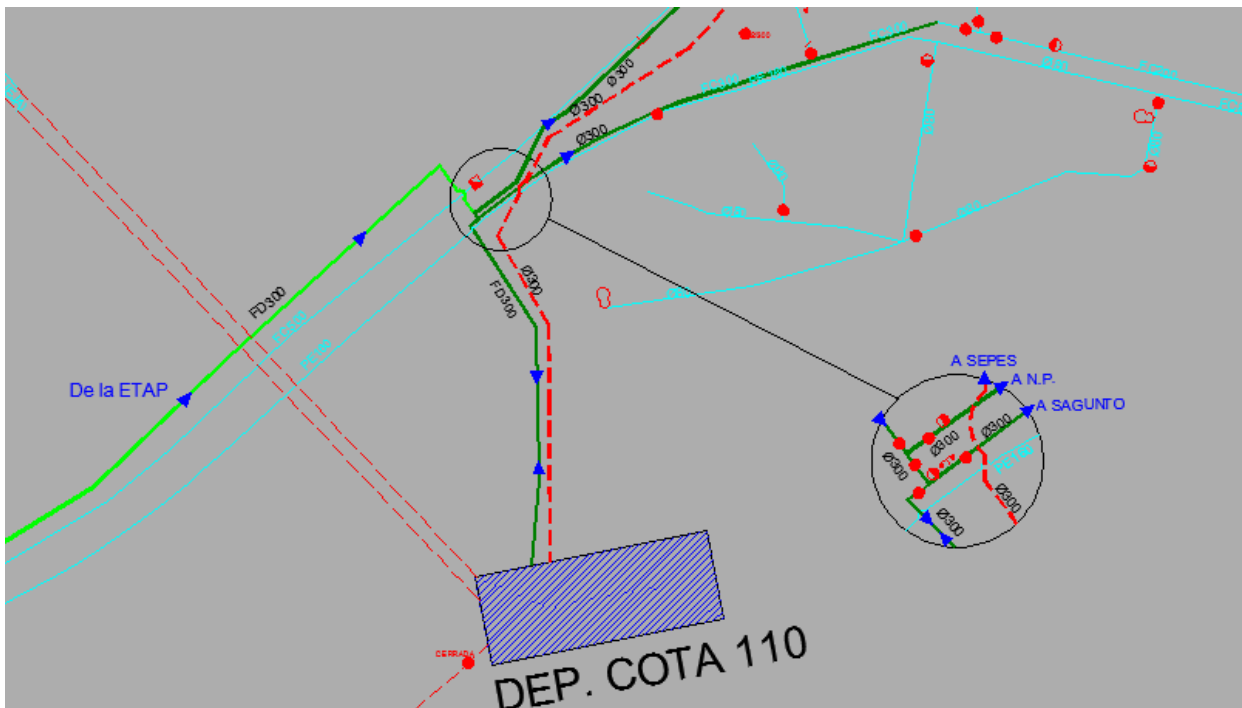


Figura 3-12. Detalle del plano de conexiones de entrada y salida del Depósito Cota 110

Por último, indicar que existe otra conexión entre el Depósito Cota 110 y el Depósito Cota 55 mediante una tubería de fundición de diámetro 300mm que se encuentra inutilizada ya que hay una válvula cerrada que corta el paso de agua entre ambos depósitos.



Figura 3-13. Tubería de conexión no operativa entre Depósitos Cota 110 y Cota 55

### 3.6.2 Presectorización de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Para caracterizar correctamente esta red es fundamental indicar cómo se encuentran cerradas ciertas válvulas de corte. Tal y como está hecha la configuración, se generan los siguientes sectores:

- **Sagunto Centro Urbano** → Tres sectores:
  - Sector 1: A menor cota y con mayores presiones
  - Sector 2: A cota intermedia y con presiones intermedias. También alimenta a “Fusión”
  - Sector 3: A cota superior y con presiones inferiores. Incluye al barrio Clot del Moro
- **Norte Palancia** → Único Macrosector

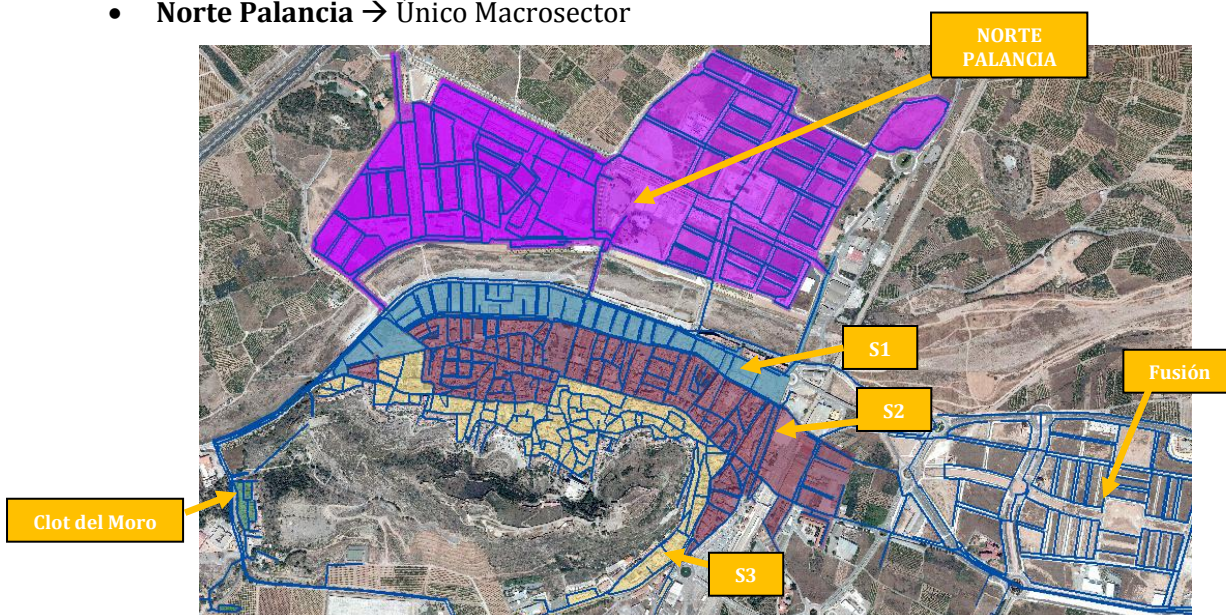


Figura 3-14. Presectorización hidráulica de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

### 3.7 Red del Puerto de Sagunto

Desde la ETAP el agua es bombeada por la estación de impulsión correspondiente hasta el Depósito Cota 75 y/o directamente al Depósito Cota 55, ya que como vimos, el Depósito Cota 75 tiene una función de compensación además de la de regulación.

El Depósito Cota 55 tiene una función de rotura de carga, teniendo en cuenta que la parte baja del Puerto de Sagunto está a cota 0m. Si el agua no perdiese presión en él, las presiones que se generarían serían aún más altas de las que ya hay.

Las tuberías que hay desde la ETAP hasta Depósito Cota 55 son de  $\varnothing 600\text{mm}$ . Antes de entrar a éste, la conducción pasa a ser de  $\varnothing 300\text{mm}$  y se llena por arriba. La salida es de  $\varnothing 500\text{mm}$ . Cómo funciona se explicará detalladamente en el siguiente apartado.

Esta conducción de  $\varnothing 500\text{mm}$  es la que supe de agua potable al Puerto de Sagunto. Atraviesa Sagunto Centro Urbano por la Avenida Sants de la Pedra (margen derecha del río Palancia), sigue por Avenida Abogado Fausto Caruana hasta que se interna en el Puerto de Sagunto. De ahí para arriba, no da agua más que a la acometida del Carrefour.

Ya en el Puerto de Sagunto, sigue por la Avenida Abogado Fausto Caruana y Avenida de la Hispanidad hasta Plaza Ramón de la Sota donde se divide en dos conducciones de  $\varnothing 300\text{mm}$  que reparten el agua. Tampoco da suministro excepto a una tubería de  $\varnothing 300\text{mm}$  a la altura del número 64 de la Avenida de la Hispanidad.

Ésta última conducción, aunque parece una más, es importantísima en el funcionamiento del sistema, ya que alimenta, por un lado, a la parte de arriba del Puerto de Sagunto y por otro a Polígono Sepes y al Depósito Sepes. El agua da la vuelta, se bifurca en dos tuberías de  $\varnothing 300\text{mm}$  y sube por ambas hasta estos lugares.

El Depósito Sepes es de regulación, se llena por arriba y sirve de apoyo al suministro en momentos de muy alta demanda del Puerto de Sagunto. Su funcionamiento se explicará más adelante, aunque en la realidad apenas entra en funcionamiento.

Es preciso destacar la existencia de dos zonas sectorizadas, que son Polígono Inguinsa y Urbanización Churruca.

En cuanto a materiales, la mayoría de las conducciones son de fibrocemento seguidas de las de polietileno. La tubería de  $\varnothing 500\text{mm}$  es casi toda de fundición hasta prácticamente donde se inicia la Avenida de la Hispanidad.

### 3.7.1 Depósito Cota 55

Situado en la Loma contigua al barrio del Clot del Moro a una cota de 55m se encuentra un depósito semienterrado de una capacidad de 1.500 m<sup>3</sup> con una altura máxima de lámina de agua de 4,25 m. Se trata de un depósito de rotura de carga, con el que evitamos valores de sobrepresión excesivos en el núcleo de El Puerto de Sagunto, debido al gran incremento de cotas entre éste y la ETAP.

El depósito se alimenta mediante una tubería de fundición dúctil de 600 mm procedente del bombeo correspondiente de la ETAP (y del Depósito Cota 75), de donde sale una derivación de 300 mm en cuyo extremo hay instalada una válvula hidráulica que regula la entrada de agua mediante una electroválvula. Del depósito sale una tubería de fundición dúctil de 500 mm que abastece al núcleo de población de Sagunto Puerto, al polígono industrial Sepes y al Depósito Sepes

Existe una conexión que posibilita el llenado de este depósito desde el de cota 110, a través de una tubería de fundición dúctil de 300 mm de diámetro. Actualmente está fuera de servicio.



Figura 3-15. Válvula hidráulica de entrada a Depósito Cota 55



Figura 3-16. Caseta de maniobra, tubería de llenado y Depósito Cota 55



➤ **Derivación de entrada y salida al depósito**

Cerca del Depósito Cota 55 y procedente de la tubería  $\varnothing 600\text{mm}$  existe una derivación de  $\varnothing 300\text{mm}$  hacia el depósito. Ésta no es accesible. La tubería de  $\varnothing 600\text{mm}$  es titularidad de la ETAP (azul celeste en el plano). A partir de la derivación de  $\varnothing 300\text{mm}$  es titularidad de Aguas de Sagunto (azul oscuro).

Un poco más debajo de esta derivación existe un arquetón en el que se encuentra la derivación de salida de  $\varnothing 500\text{mm}$  procedente del Depósito Cota 55.

La tubería en rojo discontinuo es la que une este depósito con Depósito Cota 110 y que no está operativa.

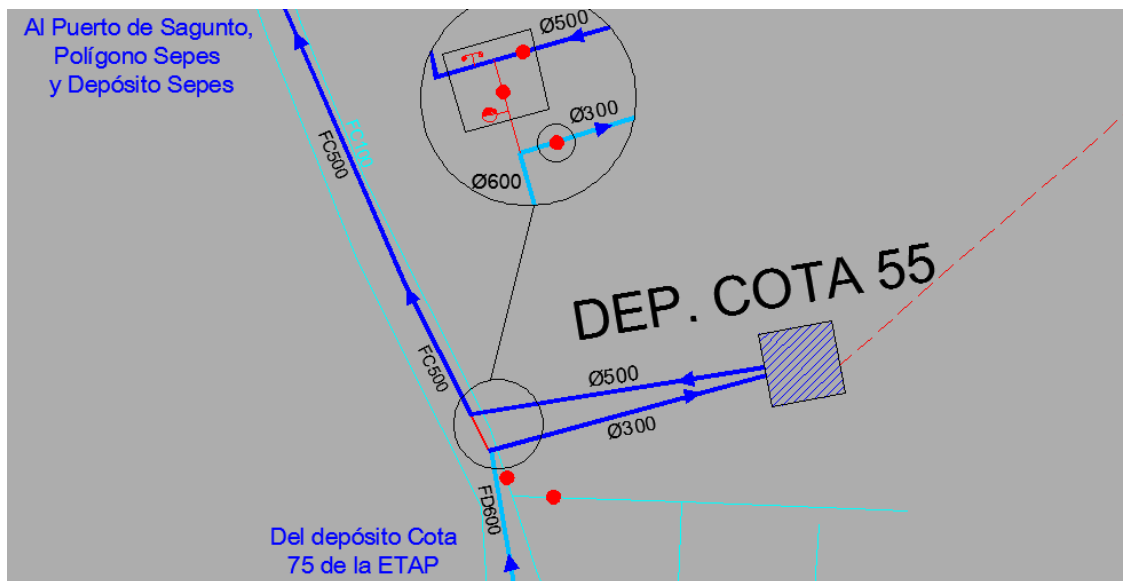


Figura 3-17. Detalle del plano de conexiones de entrada y salida del Depósito Cota 55

Como se comprueba en la fotografía, la tubería de  $\varnothing 600$  que procede del Depósito Cota 75 también entronca en la tubería de  $\varnothing 500\text{mm}$ , aunque el paso está cortado ya que hay una válvula permanentemente cerrada. De esta forma la tubería de  $\varnothing 500\text{mm}$  sólo se alimenta del Depósito Cota 55 (Color rojo continuo en el plano).



Figura 3-18. Vista del arquetón: Salida  $\varnothing 500$  y entronque de la tubería  $\varnothing 600$

### 3.7.2 Depósito y Bombeo Sepes

A poca distancia de la ciudad de Sagunto se encuentra el Polígono Industrial Sepes, y en éste existe un recinto vallado en el que encontramos las siguientes instalaciones: un depósito semienterrado, otro elevado, una sala de bombeo, un pozo, un centro de transformación, una caseta de obra civil donde están los cuadros de maniobras, y otra caseta donde encontramos el depósito de cloro.

Cuando la presión es suficiente, el agua que alimenta tanto al polígono industrial Sepes como al Puerto de Sagunto proviene directamente del depósito situado a cota 55m por la tubería de diámetro 500mm.

Cuando la presión no es suficiente porque hay mucho consumo, es necesario un rebombeo que impulsa agua del Depósito Sepes e incrementa la presión hasta el umbral o consigna que establecida en red de 16mca. Ésta presión se mide a la salida del bombeo. De esta forma se asegura una presión mínima aceptable en el punto más desfavorable del Puerto de Sagunto. Esto no ocurre casi nunca.

Indicar que el tanto el depósito elevado como la bomba que lo llena sólo se utilizan para llenar cubas de agua para riego, por lo que no influyen hidráulicamente en la red.

#### ➤ Características del depósito

Es un depósito semienterrado con una cota de solera de 30m y un volumen de aproximadamente 10.000 m<sup>3</sup> que se reparten en tres módulos semienterrados contiguos (llamados Castellón, Sagunto y Valencia). La altura máxima de lámina de agua es de 2,6 m, de los que útiles son 1,7 m, ya que por debajo de los 0,9 m no es conveniente bombear.



Figura 3-19. Aspecto exterior del Depósito Sepes

La alimentación de este depósito se realiza por la parte superior, a través de una derivación de  $\varnothing 300\text{mm}$  de la tubería de  $\varnothing 500\text{ mm}$  de diámetro que llega desde del depósito de cota 55, aunque también podría llenarse mediante la tubería de fibrocemento de  $\varnothing 300\text{ mm}$  procedente de los depósitos de cota 110.

Este modo de llenar el depósito es el más lógico, ya que si se llenara con la tubería de  $\varnothing 300\text{mm}$  procedente de los depósitos de cota 110m se estaría malgastando energía. Se elevaría el agua hasta una cota muy elevada para que posteriormente esa energía se pierda en este depósito en el que inevitablemente se rompe carga.



Figura 3-20. Electrovalvula que regula la entrada al depósito

#### ➤ Equipos de bombeo

El equipo de bombeo existente para impulsar el agua y así elevar la presión en el Puerto de Sagunto está compuesto por 5 bombas.

La bomba número 1 consta de un variador de velocidad que le permite adaptarse a la presión requerida para ajustarse a la consigna horizontal de 16mca. Si es necesario se van sumando las bombas restantes de forma progresiva para adaptarse a la presión requerida.

La bomba número 1 (color verde) ha sido recientemente retocada en taller y es la que se encuentra en mejor estado. Es por ello que actúa durante más tiempo y es la que tiene acoplada el variador de velocidad de la marca Power Electronics.



Figura 3-21. Equipo de bombeo instalado

### 3.7.3 Presectorización del Puerto de Sagunto

La Red del Puerto de Sagunto es la más extensa de las cuatro que existen en este abastecimiento. Además, tiene un consumo de agua muy alto y diversos polígonos industriales. A esto hay que sumarle que apenas está sectorizada, ya que sólo existen dos sectores hidráulicamente independientes, que son:

- Polígono Industrial Ingruinsa
- Urbanización Churruca

En el caso de Ingruinsa, la sectorización es sencilla, porque se encuentra en un extremo de la red y muy necesaria, porque en ese lugar se encuentra ubicado el tercer mayor consumidor de toda la red, una fábrica de aire comprimido.

Respecto a Churruca la sectorización también es sencilla porque cerrando una válvula de corte, sólo existe una entrada de agua. Indicar que esta urbanización anteriormente se abastecía del agua de un pozo, y que más tarde fue conectada a la red común.

No existe más zonas sectorizadas y además hay muy pocas válvulas de corte cerradas en toda esta red.



Figura 3-22. Urbanización Churruca



Figura 3-23. Polígono Ingruinsa

### 3.8 Red de Camí la Mar -Parc Sagunt

Existe otra red de abastecimiento de agua potable que abastece a los Polígonos Industriales Camí La Mar y Parc Sagunt. Surge de la impulsión que también suministra agua al Depósito Cota 75, a la Red de Agua Potable del Puerto de Sagunto y a la Red de Agua Potable de Canet.

Esta conducción es de fundición y tiene diferentes diámetros que van decreciendo progresivamente desde la ETAP hasta Parc Sagunt, en función de las tomas que van cogiendo agua de ésta.

Es necesario indicar que estos polígonos apenas están en uso. Esto no quiere decir que los consumos carezcan de importancia, ya que aunque puntuales, al ser industrias, algunos de ellos son de gran entidad. Además existen grandes caudales de riego en algunas partes.

Desde el punto de vista hidráulico este modo de funcionamiento no es muy eficiente ya que por una parte se está elevando el agua desde la Altura piezométrica de 56 de la ETAP hasta la cota 75 del Depósito Cota 75 y por otra, con esa altura proporcionada por el grupo de bombeo, se está mandando agua hasta a cotas muy inferiores (Cotas entre 20 y 26 m para Camí La Mar y Cotas entre 4 y 10 m para Parc Sagunt).

#### 3.8.1 Polígono industrial Camí la Mar

Como se ha comentado, toda el agua que llega a este polígono proviene de la tubería de función ya comentada. Actualmente existen dos entradas, a cotas 20 y 26m. En un futuro cercano, este polígono se ampliará y tendrá otras dos entradas más. La Ortofoto de la zona junto con las conducciones es la siguiente:



Figura 3-24. Polígono Industrial Camí la Mar y conducciones existentes

### 3.8.2 Polígono industrial Parc Sagunt (VRP VS Depósito y Bombeo Parc Sagunt)

Este polígono es de nueva construcción y cuenta con 3 sistemas distintos de distribución de agua:

- Red y bombeo de agua potable
- Red y bombeo de agua industrial
- Red y bombeo de incendios

La idea de proyecto en la que se basó la construcción e instalación de las distintas redes contemplaba un uso de este polígono a pleno rendimiento, con muchísimas industrias. Cabe destacar que es el más grande de Europa. Esto suponía un uso conjunto de las todas las redes y bombeos. Actualmente hay instaladas muy pocas industrias, de forma que la infraestructura está sobredimensionada. Por ello no es necesario utilizar toda la instalación, ya que el consumo es mucho menor al de diseño.

#### ➤ Configuración de la instalación hasta 2013

Hasta el año 2013 incluido, la llegada de agua se producía desde la ETAP por la tubería de fundición ya comentada, el agua se derivaba al depósito de agua industrial (perdiéndose toda la energía) y de ahí se bombeaba a la Red de agua industrial (distribuyendo agua potable), manteniendo el grupo de bombeo industrial una presión constante de 35mca.

#### ➤ Configuración de la instalación actual 2014

En 2014 la configuración ha cambiado. El agua llega por la misma tubería de traída procedente de la ETAP y tiene dos formas de entrada:

- **Derivación directa mediante una válvula reductora de presión:** Reduce la presión hasta 35mca durante la mayor parte del día. Entre las 2:00 y 6:00 se cierra para que entre en funcionamiento el otro sistema de abastecimiento, el bombeo de agua potable y depósito (para que se renueve el agua). Es una válvula hidráulica de asiento en Y con doble pilotaje y controlador de tiempo.
- **Bombeo nocturno desde el Depósito de Agua Potable:** Se mantiene una presión constante de 31mca en un periodo de funcionamiento que va desde las 2:00 hasta las 6:00. Para que esto suceda, se indica al grupo de bombeo que se active cuando la presión baje de 24mca (cosa que sucede cuando la VRP se cierra en ese periodo de tiempo) y mantenga la presión en 31mca. El bombeo para cuando a las 6:00 se abre la válvula y la presión sube hasta 35mca.

El Depósito Parc Sagunt de agua potable tiene una capacidad total de 2400m<sup>3</sup>, una cota de solera de 6.5m y una altura máxima de agua de 4.3m. Las válvulas de llenado se abren cuando el nivel es de 3.5m y se cierran cuando llega a 4.15m. Es necesario indicar que no hay datos del funcionamiento de

esta red tras el cambio de sistema de forma que la calibración del modelo no se podrá llevar a cabo de una forma tan precisa como en las otras partes de la red donde sí que hay datos.

La siguiente fotografía es de la Válvula Reductora de Presión (VRP) justo después de ser instalada, a principios de 2014:



*Figura 3-25. Válvula Reductora de Presión a la entrada de Parc Sagunt tarada a 35mca durante el día*

Las dos fotografías sucesivas son de la estación de bombeo, que consta de cuatro bombas, tres de velocidad fija y una de velocidad variable y de la válvula de entrada al depósito, que se abre y cierra con un accionamiento neumático mediante aire comprimido que inyecta un compresor.



*Figura 3-27. Equipo de bombeo instalado*



*Figura 3-26. Válvula neumática de entrada al depósito*

### 3.9 Red L'Almardà

Como se dijo en la descripción general, esta red es totalmente independiente de las demás. El agua que la alimenta procede del Depósito Ponera I, habiendo sido impulsada previamente por el bombeo correspondiente de la ETAP hasta ese depósito.

El transporte desde Ponera I es por gravedad, previo paso de dos válvulas reductoras de presión de la ETAP, y otra válvula reductora de presión a la entrada de L'Almardà que marca el punto a partir del cual la instalación es gestionada por Aguas de Sagunto. La VRP se puede encontrar abierta, cosa que suele ocurrir en verano o tarada a una consigna fija, normalmente 35 o 38mca.

De la válvula reductora de presión sale una conducción de PE315 que enseguida se divide en dos conducciones de PE250 y FC200 que distribuyen el agua a L'Almardà Norte y L'Almardà Sur respectivamente. Posteriormente, la tubería PE250 pasa a ser PE200.

Tanto la distribución en L'Almardà Norte como en L'Almardà Sur se realiza en forma de peine, es decir, de la tubería principal surgen ramificaciones hacia las distintas urbanizaciones que son gestionadas por Aguas de Sagunto. Debido a este motivo, la sectorización de estas zonas es casi inmediata, sólo siendo necesario cerrar algunas válvulas de corte para que sólo exista una entrada por sector.



Figura 3-28. Válvula Reductora de Presión a la entrada de L'Almardà

Las urbanizaciones que existen en esta zona y gestionadas por Aguas de Sagunto son:

- **L'Almardà Norte:** D2, E1, E3, F1, F3, G2
- **L'Almardà Sur:** B3, B2, B1, A3, A1, A2

El material más empleado en esta zona es el Polietileno, habiendo algunos tramos de la tubería principal de fibrocemento y un uso marginal del PVC en A1 y A2.



### 3.10 Otras captaciones de agua

Como se comentó al principio de la descripción de la red, existen otras fuentes alternativas de suministro de agua. Son los Pozos de la Pedrera y Sabató y que en la actualidad no se utilizan porque sus aguas contienen niveles superiores a los permitidos respecto a nitratos según el RD 140/2003. En situaciones de emergencia podrían ser utilizadas para suministrar agua.

#### 3.10.1 Pozo de la Pedrera

A unos 4 km de la población de Sagunto y en la zona conocida como Partida Montíver, junto a una cantera, se encuentra el pozo La Pedrera que comenzó a funcionar en el 1982. Está compuesto por un sondeo y una caseta de obra civil en cuyo interior está el centro de transformación, el cuadro de maniobras y un variador.

Mediante el bombeo y una tubería de impulsión se podría llenar el Depósito Cota 110, ya que existe una conexión directa entre ambos. Actualmente el bombeo se está reparando.



Figura 3-29. Caseta de bombeo del Pozo de la Pedrera

#### 3.10.2 Pozo Sabató

El pozo está situado a unos 7 km de la población de Sagunto, en el "Camino Viejo de Teruel. Comenzó a funcionar en 1987. El caudal aforado es de unos 3.500 l/min y la profundidad del sondeo de 325 m.

Dentro del sondeo, a 230 metros de profundidad, está instalado el grupo sumergido que el agua a una arqueta a dos metros del sondeo por donde pasa el canal de Soneja. Con el agua de este pozo se riega el campo de fútbol.



Figura 3-30. Impulsión de Sabató

### 3.11 Medidores de Presión y Caudal

A lo largo de toda la red existen diversos puntos de control tanto de caudal como de presión y que serán fundamentales primero para estimar volúmenes inyectados y fugados, curvas de modulación del registrado y posteriormente para realizar una comparación/calibración de los resultados arrojados por el modelo con lo medido en la realidad.

Existen puntos de control tanto en la red gestionada por la ETAP como por la red gestionada por Aguas de Sagunto. Son los siguientes:

- ETAP
  - Caudalímetros:
    - A la salida de la impulsión a Depósito Cota 110
    - A la salida de la impulsión a Depósito Ponera I \*
    - En la tubería hacia a Depósito Cota 75
    - En la tubería hacia Parc Sagunt
    - En la tubería hacia Canet
  - Presiones:
    - A la salida de la impulsión a Depósito Cota 110
    - A la salida de la impulsión a Depósito Ponera I \*
    - A la salida de la impulsión a Depósito Cota 75
- Aguas de Sagunto
  - Caudalímetros y presiones:
    - En tubería hacia Sagunto Centro Urbano
    - En tubería hacia Norte Palancia
    - En tubería hacia el Puerto de Sagunto
    - A la salida del Bombeo Sepes \*
    - En la tubería de entrada al Polígono Inguinsa
    - A la entrada al Sector Churruca
    - Hacia L'Almardà Norte
    - Hacia L'Almardà Sur
    - En la entrada de varias urbanizaciones \*

Con el símbolo \* notamos los lugares que aunque tienen instalados equipos de medición, no han servido para realizar este estudio ya que los datos recogidos son de un periodo de tiempo corto, no han medido con exactitud, no se disponía de ellos o no era necesario su uso.



#### 4. BALANCE HÍDRICO DEL ABASTECIMIENTO

Cuando se realiza un análisis del abastecimiento de agua potable de una población basado en un Modelo Matemático, es básico 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 caudalímetros, tanto los generales gestionados por la ETAP como los de sectorización dentro de la red distribución gestionados por Aguas de Sagunto. Por otra parte, los volúmenes registrados se saben a partir de los datos de facturación. El rendimiento volumétrico se define como la relación entre volumen registrado y volumen inyectado (*Fuertes, V.S et al. 2002*).

*Si se desea conocer más detalles sobre el balance hídrico y la forma de asignación de las fugas se puede consultar los Capítulos 3 y 4 del Documento "Confeción del Modelo Matemático".*

Indicar que todos estos datos son del año 2013 ya que la carga hidráulica del sistema y la configuración inicial de la red que se ha calibrado es la de este año.

##### 4.1 Volúmenes anuales de agua inyectados

Este volumen de agua es inyectado a la red por la ETAP y por ello, los datos que se han utilizado para estimarlos son los que arrojan los caudalímetros generales de ésta y que ya vimos dónde se encontraban y que determinan las siguientes zonas: Sagunto Centro Urbano + Norte Palancia, Puerto de Sagunto, Camí la Mar y Parc Sagunt, L'Almardà (incluyendo Almardà Norte y Sur). Hacer notar que para el cálculo definitivo de las fugas también se utilizarán datos de los caudalímetros de sectorización, aumentando las zonas, para que la distribución del caudal fugado sea aún más exacta.

###### ➤ Sagunto Centro Urbano + Norte Palancia

Mes	Volumen inyectado (m <sup>3</sup> )
Enero	150,983
Febrero	130,129
Marzo	128,728
Abril	119,442
Mayo	134,453
Junio	131,596
Julio	141,456
Agosto	132,429
Septiembre	133,829
Octubre	135,972
Noviembre	130,411
Diciembre	125,315
<b>TOTAL</b>	<b>1,594,743</b>

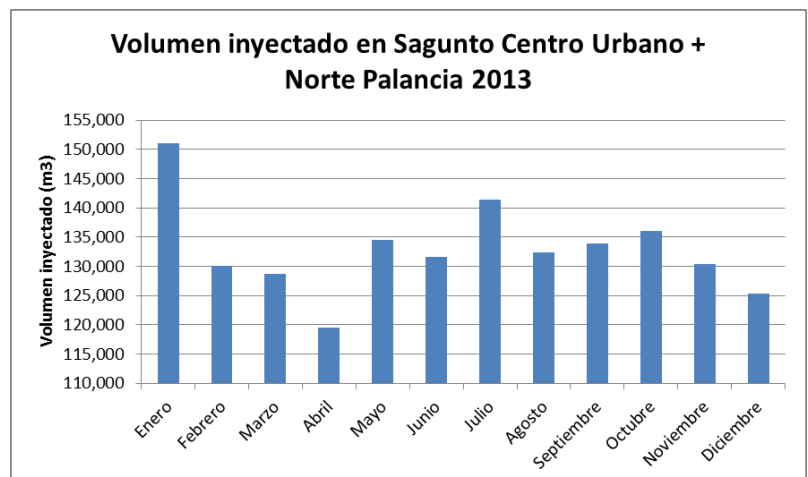


Figura 4-1. Volumen inyectado en Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia en 2013

➤ Puerto de Sagunto

Mes	Volumen inyectado (m <sup>3</sup> )
Enero	333,305
Febrero	308,104
Marzo	349,768
Abril	338,615
Mayo	345,826
Junio	355,165
Julio	392,319
Agosto	382,260
Septiembre	370,291
Octubre	378,180
Noviembre	333,494
Diciembre	319,736
<b>TOTAL</b>	<b>4,207,063</b>

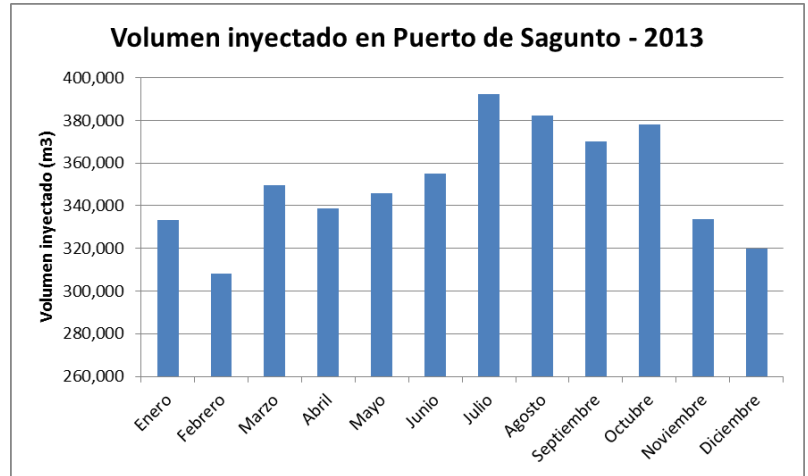


Figura 4-2. Volumen inyectado en el Puerto de Sagunto en 2013

➤ Camí la Mar y Parc Sagunt

Mes	Volumen inyectado (m <sup>3</sup> )
Enero	39,734
Febrero	32,706
Marzo	35,030
Abril	29,982
Mayo	28,923
Junio	22,775
Julio	17,840
Agosto	14,509
Septiembre	12,623
Octubre	17,810
Noviembre	34,295
Diciembre	45,152
<b>TOTAL</b>	<b>331,379</b>

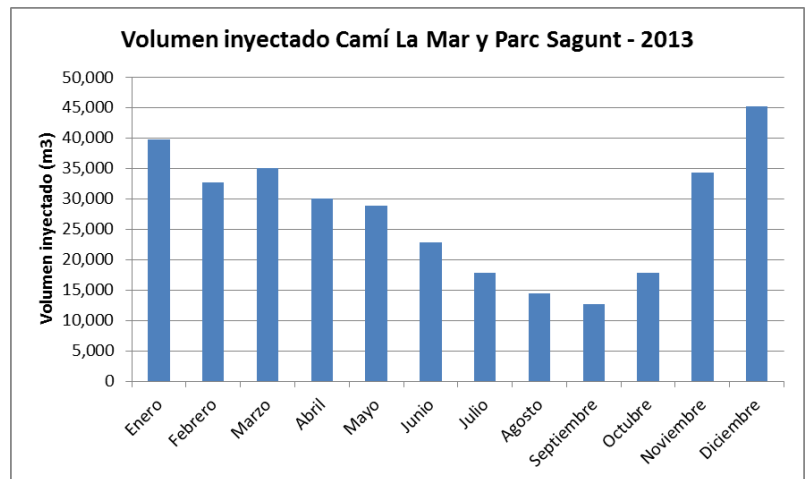


Figura 4-3. Volumen inyectado en Camí la Mar y Parc Sagunt en 2013

➤ L'Almardà

Mes	Volumen inyectado (m <sup>3</sup> )
Enero	17,397
Febrero	15,896
Marzo	18,297
Abril	18,086
Mayo	21,153
Junio	26,472
Julio	40,884
Agosto	41,529
Septiembre	25,952
Octubre	19,718
Noviembre	19,233
Diciembre	20,398
<b>TOTAL</b>	<b>285,015</b>

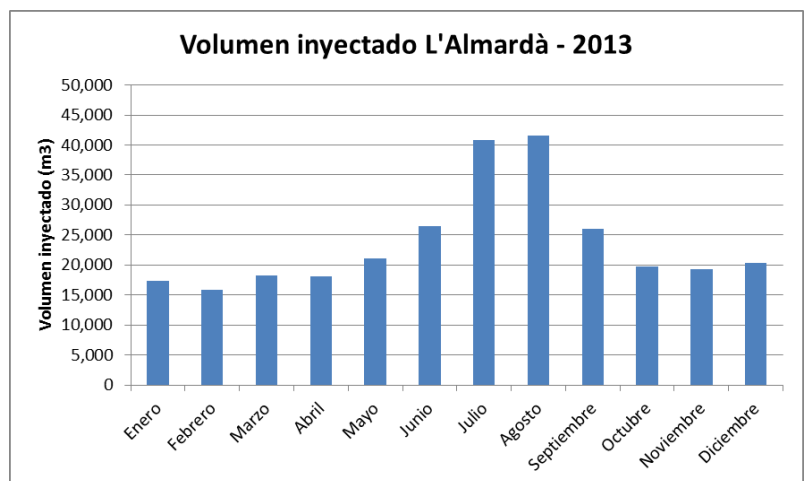


Figura 4-4. Volumen inyectado en L'Almardà en 2013

## 4.2 Volúmenes anuales de agua registrados

Para estimar estos volúmenes se cuenta con los datos de facturación. Existen consumos trimestrales (para consumidores normales) y mensuales (para grandes consumidores). En la hoja de cálculo se ha estimado el consumo anual por cada una de estas zonas, y para en el caso de L'Almardà también se ha estimado el consumo veraniego, que es más representativo por ser una zona turística.

Tabla 4-1. Volúmenes registrados anuales

AÑO 2013	Sagunto CU + NP	Puerto de Sagunto	Parc Sagunt - Camí La Mar	L'Almardà	TOTAL
<b>Total registrado (m3)</b>	918,725	2,824,767	252,100	163,833	4,159,425

Como se puede observar, tanto de los volúmenes inyectados como registrados, la red del Puerto de Sagunto es con diferencia, la que más agua consume, seguida por la red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia. En el Puerto de Sagunto se consume más en verano y en Sagunto es más constante durante todo el año.

El consumo de L'Almardà es relativamente pequeño, aunque muy estacional porque se da principalmente en época estival. Respecto a la red de Camí la Mar-Parc Sagunt, se observa que la época de mayor consumo es en invierno/primavera, que coincide con la temporada de la fabricación de zumo.

Del estudio de la facturación también es interesante conocer los grandes consumidores. Se pueden destacar cuatro, que son los siguientes:

Tabla 4-2. Grandes consumidores

CONSUMIDOR	LOCACALIZACIÓN	CALLE	CONSUMO (m <sup>3</sup> /año)
<b>Fábrica Zumos</b>	Parc Sagunt	Pollancar	240,941
<b>Flat Glass Ibérica y Pilkinson</b>	Polígono Sepes	Sagunto-Puerto	171,871
<b>Fábrica aire comprimido</b>	Polígono Ingruinsa	Acería	151,492
<b>Industrial en Sepes</b>	Polígono Sepes	Galileo Galilei, 65	105,398

No tiene sentido averiguar el consumo de agua por habitante y día, ya que existe un consumo industrial muy grande y en L'Almardà apenas vive nadie de forma continua, pero sí que se consume mucha agua en verano. Hacerlo sería desvirtuar este concepto, ya que el consumo de agua no es íntegramente residencial.

### 4.3 Rendimientos volumétricos generales

Tras conocer la distribución de volúmenes inyectados y registrados se está en disposición de averiguar los rendimientos volumétricos de cada una de las redes hidráulicas y del total de la red. La tabla resumen es la siguiente:

Tabla 4-3. Volúmenes inyectados, registrados, fugas y rendimientos

AÑO 2013	Sagunto CU + NP	Puerto de Sagunto	Parc Sagunt - Camí La Mar	L'Almardà	TOTAL
<b>Total inyectado (m<sup>3</sup>)</b>	1,594,743	4,207,063	331,379	285,015	6,418,200
<b>Total registrado (m<sup>3</sup>)</b>	918,725	2,824,767	252,100	163,833	4,159,425
<b>Volumen fugas (m<sup>3</sup>)</b>	676,018	1,382,296	79,279	121,182	2,258,775
<b>Rendimiento</b>	57.61%	67.14%	76.08%	57.48%	64.81%

En esta tabla se incluye el volumen de fugas que se le asignará al Modelo Matemático y que es la diferencia entre el volumen inyectado y el registrado. Evidentemente esta es una hipótesis, aunque en realidad ese sería un volumen incontrolado, del que forma parte el volumen de fugas. Como se ha comentado, esto se detalla en el documento "Confeción del Modelo Matemático".

La siguiente gráfica es la representación de la tabla anterior, donde se puede ver inmediatamente todo lo comentado:

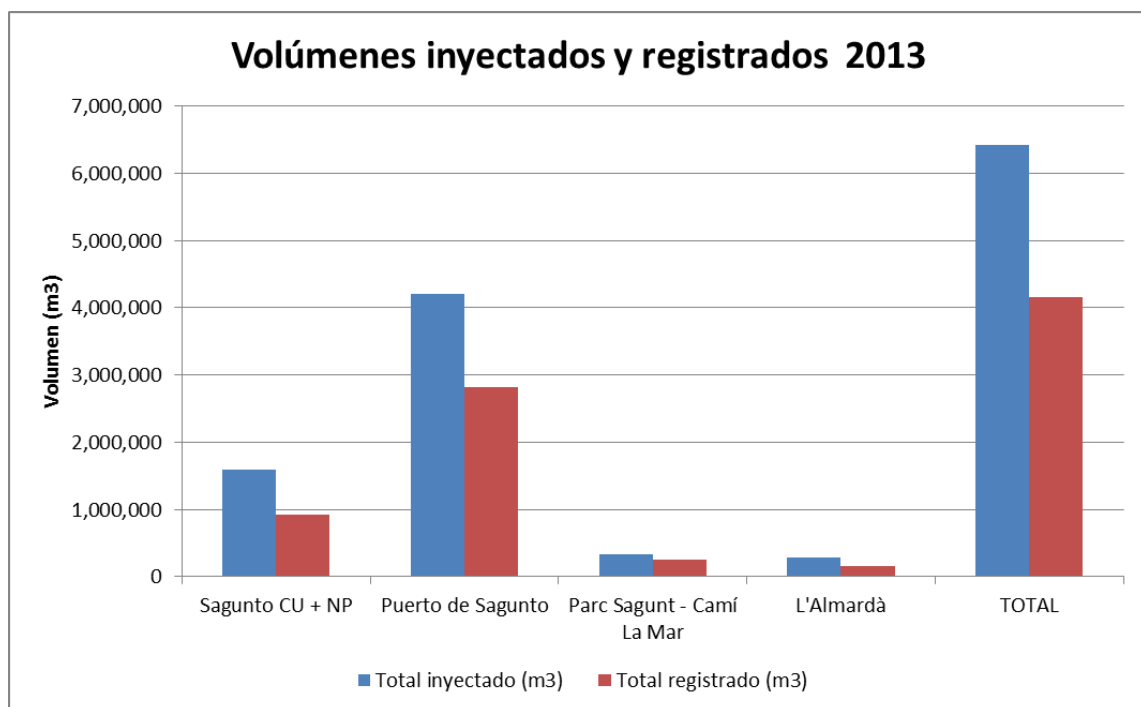


Figura 4-5. Volúmenes inyectados y registrados en 2013

También es interesante el comportamiento de la red de L'Almardà en verano (julio, agosto y septiembre), ya que es cuando se encuentra en máximo funcionamiento. Los datos son los siguientes:

Tabla 4-4. Volúmenes inyectados, facturados, fugas y rendimientos en verano en L'Almardà

VERANO 2013	ALMARDÀ
Volumen inyectado (verano) (m <sup>3</sup> )	108,365
Volumen facturado (verano) (m <sup>3</sup> )	78,576
Volumen fugas verano (m <sup>3</sup> )	29,789
Rendimiento en verano	72.51%

#### 4.4 Rendimientos volumétricos en los macrosectores

Si se tienen en cuenta los caudales inyectados en los macrosectores que hay dentro de las distintas redes hidráulicas el análisis es más completo. Para ello se tienen que emplear los datos arrojados por algunos caudalímetros gestionados por Aguas de Sagunto.

De esta forma distinguimos los siguientes macrosectores: Sagunto Centro Urbano, Norte Palancia, Puerto de Sagunto, Polígono Ingruinsa, Camí la Mar/Parc Sagunt, L'Almardà Norte, L'Almardà Sur. Además cada uno de ellos contará con una curva de modulación distinta.

Dentro de cada red, la suma de todos los volúmenes inyectados y registrados de cada sector coincidirá con el volumen inyectado y registrado de esa red hidráulica.

Indicar que la información de estos últimos caudalímetros no es tan precisa como la de los de la ETAP, de forma que se han tenido que hacer ciertas correlaciones para que todo coincida de forma lógica.

Tabla 4-5. Rendimientos volumétricos en los macrosectores

2013	Red Sagunto CU + NP		Red Puerto		Red Camí la Mar/Parc	Red Almardà (Verano)	
	Sagunto Centro Urbano	Norte Palancia	Puerto de Sagunto	Ingruinsa	Camí la Mar y Parc Sagunt	Almardà Norte	Almardà Sur
Q iny medio lps	44.7	5.87	125.78	7.64	10.51	5.65	8.14
Q reg medio lps	25.14	5.33	83.91	6.25	7.99	4.87	5.16
Q fugas medio lps	19.56	0.54	41.87	1.39	2.52	0.78	2.98
Rendimiento	56.24%	90.80%	66.71%	81.81%	76.08%	86.19%	63.39%

Cabe resaltar que estos datos son los que han sido utilizados para repartir las fugas y calcular las curvas de modulación del registrado. Son la base hidráulica del Modelo Matemático.



## 4.5 Conclusiones

A falta de un análisis más profundo, se puede ver que los rendimientos son mejorables, en especial en Sagunto Centro Urbano, Puerto de Sagunto y L'Almardà. Es lógico que en estas zonas haya más fugas ya que son más antiguas que el resto. De todas formas, tampoco son rendimientos excesivamente malos y con unas buenas soluciones que se adopten la mejora en la eficiencia hidráulica puede ser sustancial.

Si se analiza el rendimiento de los macrosectores hidráulicos anteriores la conclusión es prácticamente la misma. Se puede mejorar el rendimiento global si se actúa correctamente sobre las fugas. También se corrobora que las zonas de nueva construcción como Norte Palancia o los polígonos industriales tienen rendimientos mayores, como es lógico. Eso no significa que no haya que reducir presiones o sectorizar adecuadamente en estos lugares, ya que si no se actúa sobre ellos el deterioro puede ser muy rápido.

Todos los datos que se han incluido en este capítulo son la base hidráulica de las demandas y de las fugas. Hay que ser consciente de los errores que pueden contener, ya que ni los aparatos ni las personas son infalibles. Se ha sido muy minucioso y preciso a la hora de tratar toda esta información para que el modelo reproduzca de la mejor forma posible la realidad, con objeto de poder dar unas soluciones que sean válidas, factibles y reales.

## 5. MODULACIÓN DE LA DEMANDA

La carga de los consumos, sean registrados o no, es uno de los momentos más claves y delicados en la elaboración de un modelo matemático de una red. Formando parte de este proceso se encuentra la elaboración de las curvas de modulación de la demanda para los consumos registrados.

El caudal que es inyectado en Epanet tiene que coincidir lo máximo posible con el caudal inyectado en la realidad. En función de los datos con los que se cuente, existen diversas formas para conseguir esto. En el caso particular de la red de Sagunto, los numerosos caudalímetros existentes que toman medidas cada 15 minutos hacen que el nivel de aproximación que se pueda conseguir sea máximo.

*Cabe recordar que los consumos registrados han sido agregados al modelo a partir de los datos de facturación por calle y los consumos no registrados asimilables a fugas han sido repartidos con unos métodos que se explicarán en detalle en el Documento "Confeción del Modelo Matemático".*

### 5.1 Zonas con curvas de modulación de la demanda propia

Tal y como se ha generado el modelo, se ha optado por definir distintas zonas en las que se conocen los caudales de entrada cada 15 minutos. Se corresponden con los macrosectores hidráulicos (exceptuando Churruca). Son los siguientes:

- Sagunto Centro Urbano
- Norte Palancia
- Puerto de Sagunto (excluido Inguinsa)
- Polígono Inguinsa
- Almardà Norte
- Almardà Sur

Cada una de estas zonas tendrá una curva de modulación de la demanda diaria distinta y que puede ser calculada para cada día del año.

Cada cual tiene sus particularidades que salen a la luz tras el estudio de las curvas de modulación, que muestran cómo se distribuye el consumo. También se podrá apreciar la tipología del consumo, ya que hay zonas residenciales, industriales, turísticas...

**NOTA:** Para la *Red de Camí la Mar y Parc Sagunt* no se cuenta con caudalímetros de sectorización. El análisis será distinto, ajustando el caudal a condiciones punta, según los datos históricos de los bombes de Parc Sagunt.

## 5.2 Días analizados

Cuando se realiza el modelo se han de estudiar situaciones que sean representativas de la red, en diferentes condiciones. Esto se hace mediante curvas de modulación de la demanda de diferentes días.

Normalmente interesa estudiar una situación en un día de muy alto consumo porque es cuando la red se encontrará más estresada. En núcleos de población costeros esto suele ocurrir en verano. También interesa estudiar una situación de consumo normal para ver cómo se comporta en general la red. Para Sagunto esto ocurre en meses no estivales. También interesan los días entre semana y periodos con datos fiables.

Tras analizar la situación se ha optado por realizar las curvas de modulación de los días 2 de agosto de 2013 (viernes) y 25 de noviembre de 2013 (lunes), aunque se podría hacer para cualquier día.

### ➤ 2 de agosto de 2013

- Muy alto consumo en el Puerto de Sagunto
- Muy alto consumo en L'Almardà
- Consumo inferior al habitual en Sagunto Centro Urbano
- Consumo medio en Norte Palancia
- Consumo superior al habitual en Inguinsa
- Consumo inferior al habitual en Camí la Mar y Parc Sagunt

Esta situación es ideal para ver si existen presiones bajas tanto en el Puerto de Sagunto como en L'Almardà. También permite conocer si existe exceso de presión en Sagunto Centro Urbano.

### ➤ 25 de noviembre de 2013

- Consumo inferior al habitual en el Puerto de Sagunto
- Consumo muy inferior al habitual en L'Almardà
- Consumo superior al habitual en Sagunto Centro Urbano
- Consumo superior al habitual en Norte Palancia
- Consumo superior al habitual en Inguinsa
- Consumo superior al habitual en Camí la Mar y Parc Sagunt

Esta situación es ideal para comprobar el comportamiento de la red en un día cualquiera. Se puede analizar si hay problemas de presiones mínimas en zonas altas de Sagunto Centro Urbano y exceso de presión en la parte más baja del Puerto de Sagunto.

### 5.3 Fundamento teórico

El objetivo final es el de averiguar el coeficiente horario del consumo registrado para el día considerado en relación a la carga en régimen estacionario del modelo.

Para ello hay que averiguar el coeficiente horario del registrado de ese día y mayorarlo por un coeficiente que ajusta el caudal medio del modelo (que viene de la facturación y es el del modelo en régimen estacionario) con el caudal medio del día considerado. De esta forma, los caudales inyectados al modelo de Epanet coincidirán con los inyectados en la realidad en los puntos de entrada a los sectores o zonas de modulación.

$$K_h(t)_{\text{día considerado}} = K_{\text{día considerado}} \cdot k_h(t)_{\text{registrado ese día}}$$

Donde:

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

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

A su vez:

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

$$Q_{\text{reg}}(t) = Q_{\text{iny}}(t) - Q_{\text{fugas}}(\text{Cte})$$

*Este fundamento teórico está basado 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)).*

Recordemos que los caudales inyectados son datos de los caudalímetros y los caudales de fugas surgen de la diferencia entre los volúmenes inyectados y registrados, siendo, en principio, constantes. Esta hipótesis se ha mantenido incluso cuando se han incluido las fugas dependientes de las presiones mediante el uso de emisores en Epanet.

Para el caso particular de L'Almardà, el periodo con el que se cargó el modelo en régimen estacionario es el verano, de forma que el volumen registrado medio es el de ese periodo, no el anual.

Para averiguar la curva de modulación de Parc Sagunt se ha seguido un método parecido al anterior, pero algo simplificado ya que los datos existentes en esa zona son de la estación de bombeo que funcionaba hasta finales de 2013, no habiendo datos directos de caudalímetros tal y como funciona en la actualidad la instalación.

## 5.4 Curvas de modulación de la demanda 2 de agosto de 2013

### ➤ Sagunto Centro Urbano

$$K_{\text{día considerado}} = 0.866$$

Esta curva de modulación es normal, observándose que durante el día el consumo es bastante mayor que por la noche.

El mínimo se produce a las 4 de la madrugada y el máximo a partir de las 8 de la mañana.

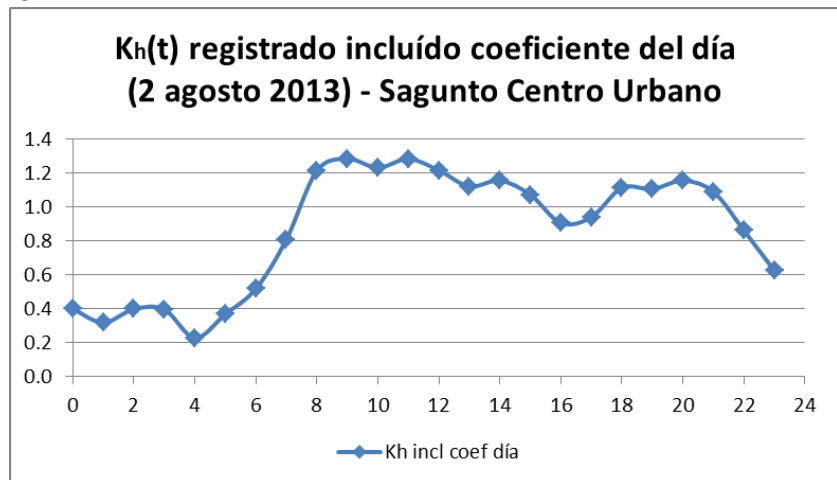


Figura 5-1.  $K_h(t)$  registrado para Sagunto Centro Urbano 2 agosto 2013

### ➤ Norte Palancia

$$K_{\text{día considerado}} = 1.042$$

El alto consumo nocturno que se observa en la gráfica corresponde a un riego programado que siempre se produce a esas horas.

Por lo demás, la curva de modulación es normal, teniendo máximos a las 7 de la mañana y a las 8 de la tarde.

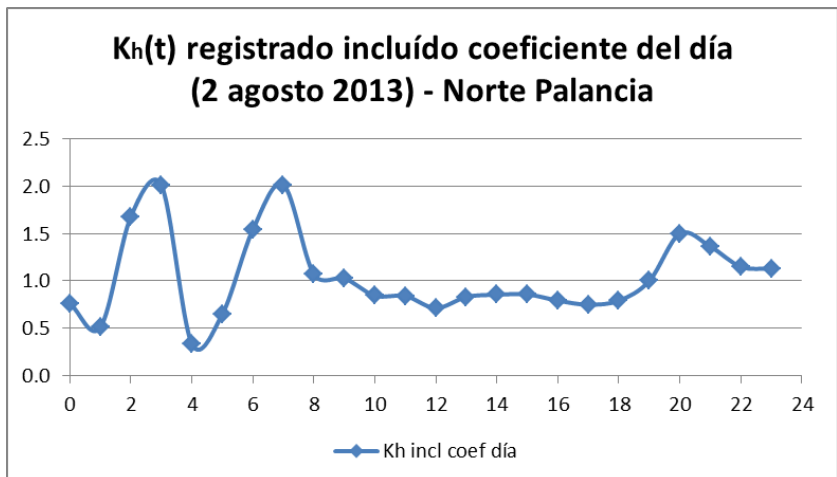


Figura 5-2.  $K_h(t)$  registrado para Norte Palancia 2 agosto 2013

### ➤ Puerto de Sagunto (excluido Ingruinsa)

$$K_{\text{día considerado}} = 1.165$$

La curva de modulación del Puerto de Sagunto es muy típica de poblaciones grandes, ya que no oscila mucho.

Se observa que por la noche el consumo es menor, siendo el mínimo a las 5 de la madrugada. Se ha excluido el consumo del Polígono Ingruinsa.

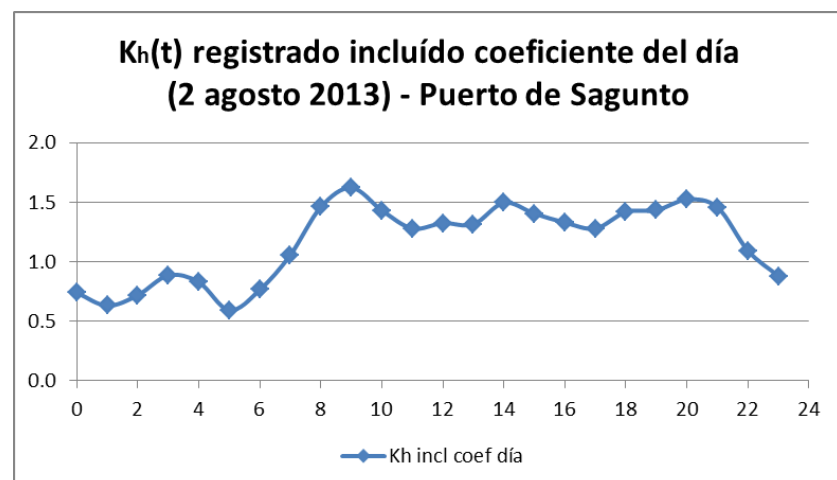


Figura 5-3.  $K_h(t)$  registrado para Puerto de Sagunto 2 agosto 2013

➤ **Polígono Inguinsa**

$K_{\text{día considerado}} = 1.465$

En este polígono industrial el agua consumida es prácticamente constante durante todo el día.

Esto no significa que haya una gran fuga, ya que el tercer mayor consumidor de toda la red (fábrica de aire comprimido) es quién está consumiendo de forma ininterrumpida.

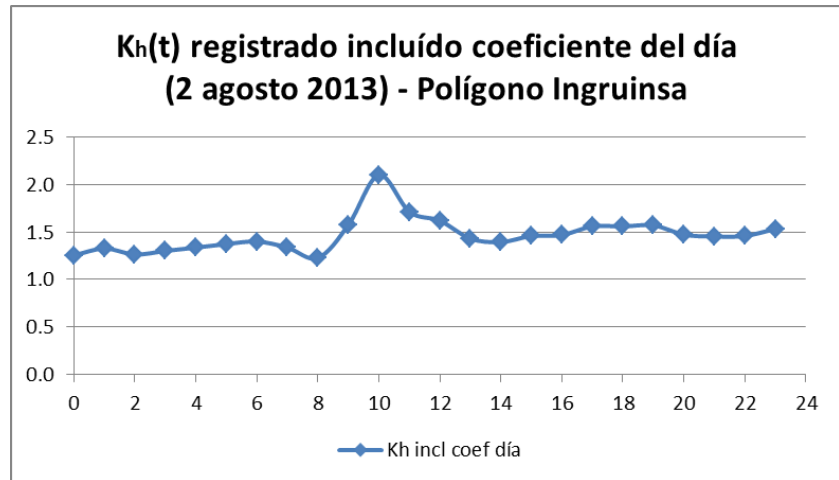


Figura 5-4.  $K_h(t)$  registrado para Polígono Inguinsa 2 agosto 2013

➤ **Almardà Norte**

$K_{\text{día considerado}} = 1.375$

En esta curva de modulación se aprecia que por la madrugada el consumo es mínimo.

A las 9 de la noche el consumo es punta, incluso más que a las 8 de la mañana. Esto se debe al consumo turístico de la zona.

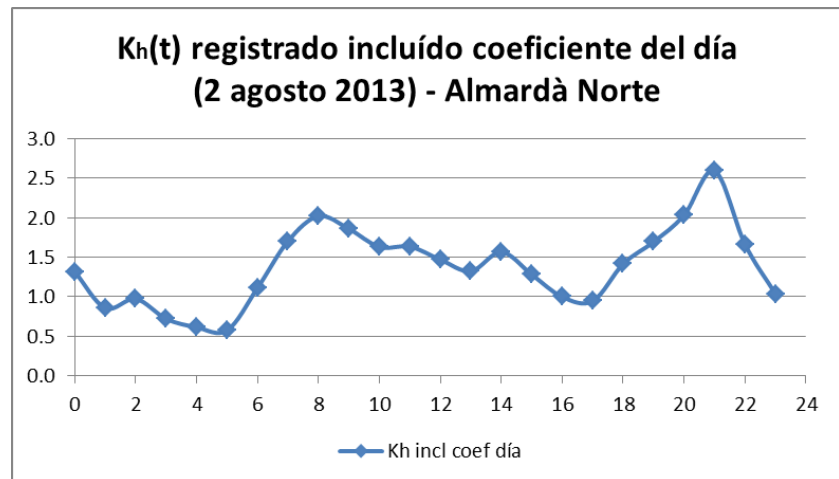


Figura 5-5.  $K_h(t)$  registrado para Almardà Norte 2 agosto 2013

➤ **Almardà Sur**

$K_{\text{día considerado}} = 0.925$

Que el consumo parezca algo inferior al normal no es más que la consecuencia de ajustar los datos de los caudalímetros de macro sectorización con los caudalímetros de la ETAP.

En cuanto a la curva de modulación, se observa un riego nocturno y el mayor consumo se produce a las 8 de la tarde.

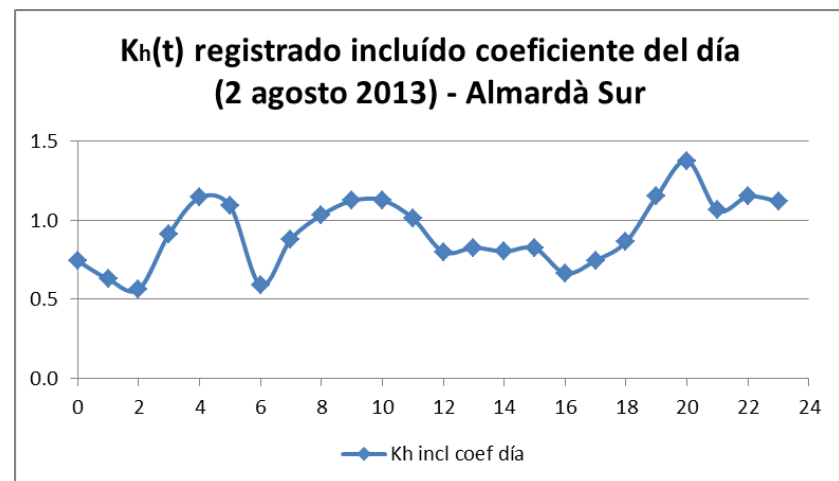


Figura 5-6.  $K_h(t)$  registrado para Almardà Sur 2 agosto 2013

## 5.5 Curvas de modulación de la demanda 25 de noviembre de 2013

### ➤ Sagunto Centro Urbano

$$K_{\text{día considerado}} = 1.007$$

En este día el consumo en Sagunto Centro Urbano es superior al habitual. Que K sea 1 es por la diferencia de estimación de los caudalímetros de la ETAP y los de sectorización.

La curva de modulación tiene las mismas características que para el 2 de agosto.

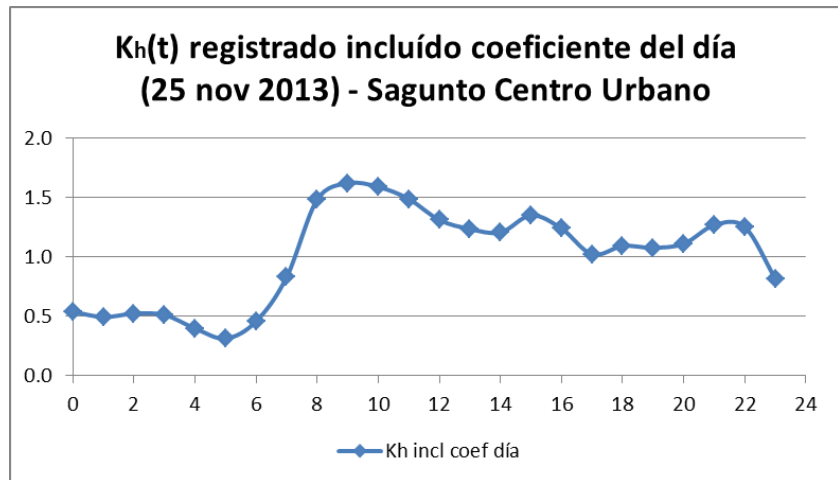


Figura 5-7. Kh(t) registrado para Sagunto Centro Urbano 25 noviembre 2013

### ➤ Norte Palancia

$$K_{\text{día considerado}} = 1.173$$

El consumo en Norte Palancia es superior a lo habitual.

En la curva de modulación se sigue observando el riego nocturno y los máximos a las 7 de la mañana y 9 o 10 de la noche.

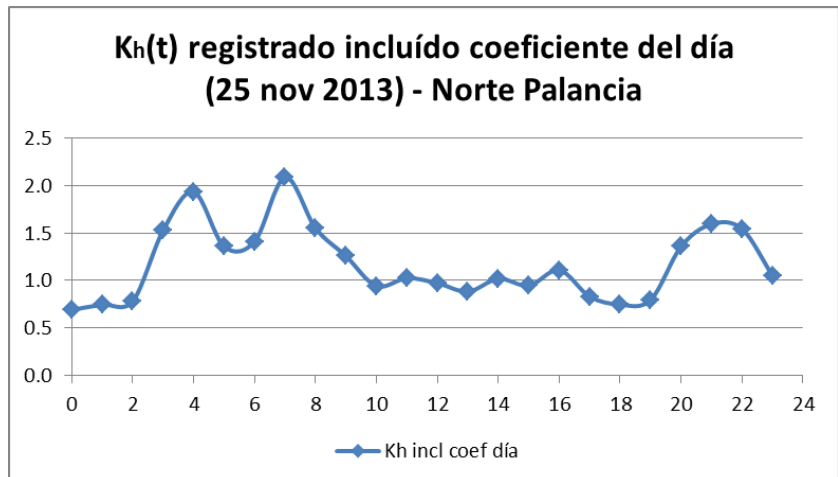


Figura 5-8. Kh(t) registrado para Norte Palancia 25 noviembre 2013

### ➤ Puerto de Sagunto (excluido Ingruinsa)

$$K_{\text{día considerado}} = 0.856$$

Para el día 2 de noviembre de 2013, el consumo en el Puerto de Sagunto es inferior a la media.

Se sigue manteniendo la forma de la curva de modulación vista para el 2 de agosto.

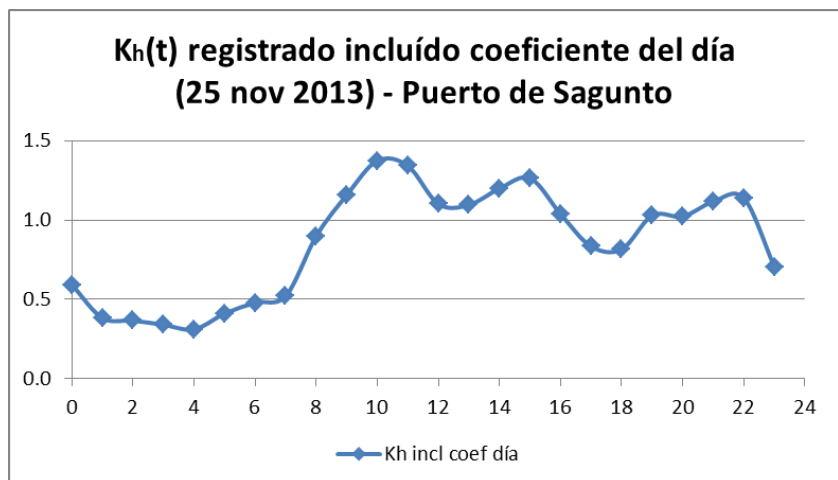


Figura 5-9. Kh(t) registrado para Puerto de Sagunto 25 noviembre 2013

➤ **Polígono Ingruinsa**

$K_{\text{día considerado}} = 1.173$

El consumo en Polígono Ingruinsa es constante durante todo el día debido a la empresa de aire comprimido.

La única diferencia con 2 de agosto es que el consumo general es menor, aunque sigue estando por encima de la media.

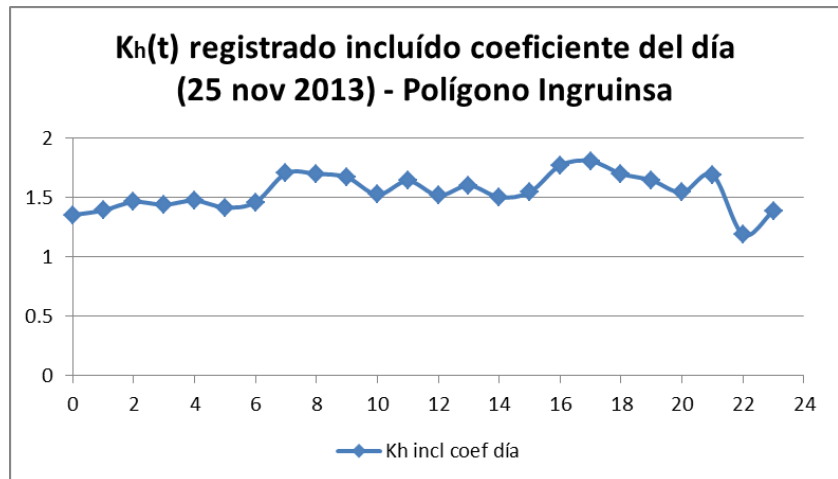


Figura 5-10.  $K_h(t)$  registrado para Polígono Ingruinsa 25 noviembre 2013

➤ **Almardà Norte**

$K_{\text{día considerado}} = 0.396$

El consumo es muy bajo, ya que no se encuentra en periodo estival.

El modelo no arrojará resultados que sirvan para mucho ya que la red apenas tiene uso.

Se aprecian riegos nocturnos y una curva poco definida, aunque con cierta lógica.

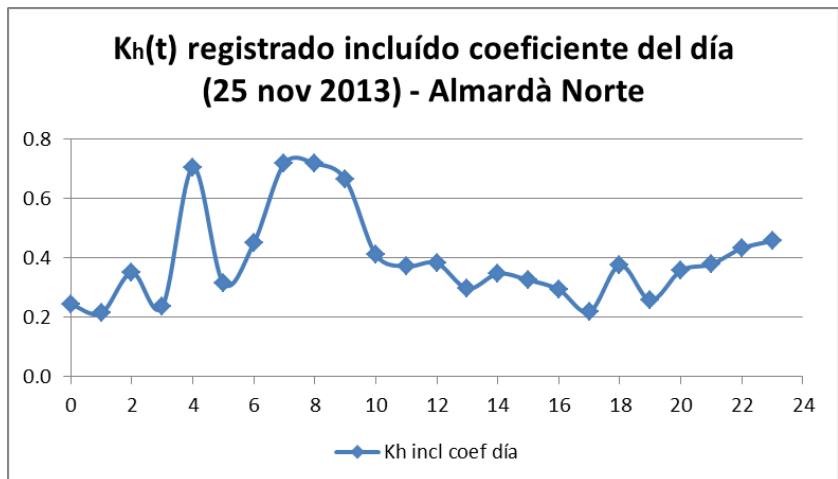


Figura 5-11.  $K_h(t)$  registrado para Almardà Norte 25 noviembre 2013

➤ **Almardà Sur**

$K_{\text{día considerado}} = 0.142$

El consumo es bajísimo, ya que no se encuentra en periodo estival.

El modelo no arrojará resultados que sirvan para mucho ya que la red apenas tiene uso.

Se aprecian riegos nocturnos, y una curva muy poco definida.

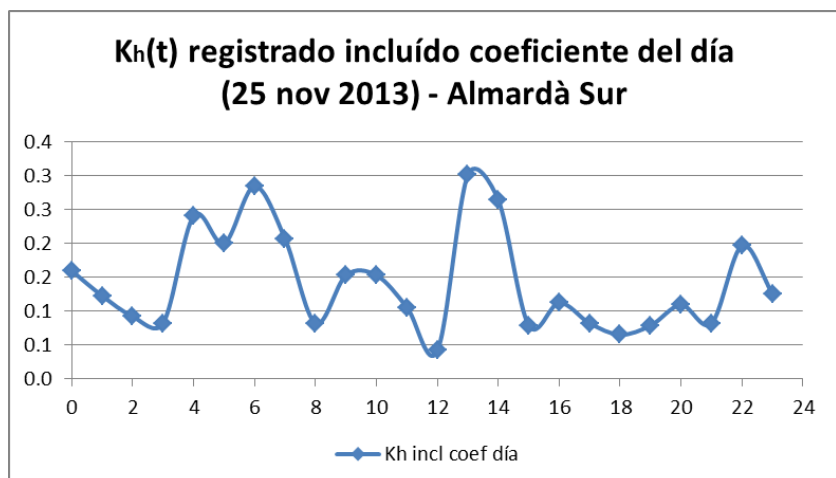


Figura 5-12.  $K_h(t)$  registrado para Almardà Sur 25 noviembre 2013



## 5.6 Modulación para Camí la Mar y Parc Sagunt

Como se ha comentado, la modulación para estos polígonos industriales es distinta porque no se cuenta con caudalímetros que midan continuamente el flujo de entrada.

### ➤ Parc Sagunt

Se ha tenido que recurrir a la información del histórico del bombeo de agua industrial, que hasta 2013 funcionaba como impulsión de agua potable. Se recuerda que estas bombas disponen de variador de velocidad, ajustándose a la consigna de presión prefijada y por lo tanto al consumo existente. Del estudio de los días 2 de agosto de 2013 y 25 de noviembre de 2013 podemos extraer

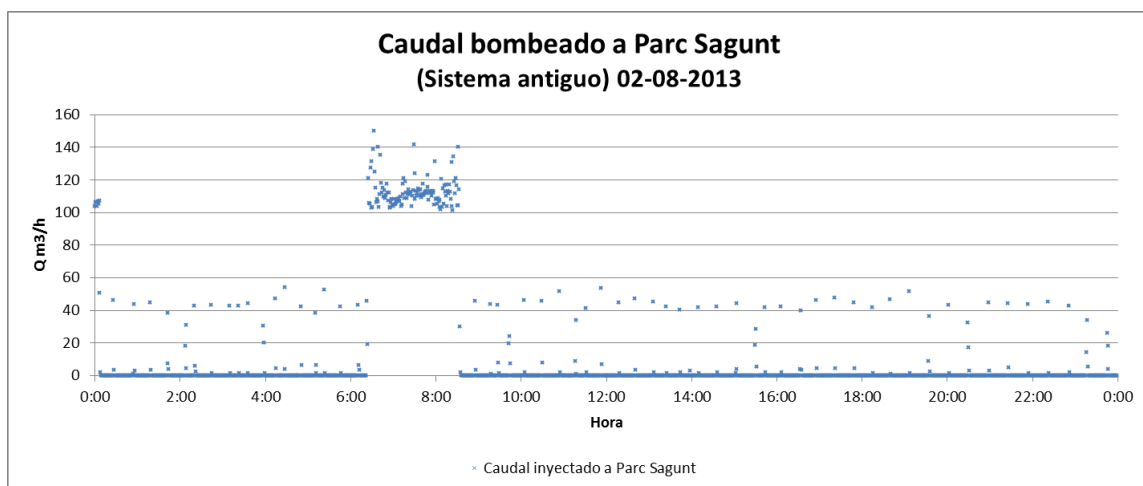


Figura 5-13. Caudal bombeado a Parc Sagunt 2 agosto 2013

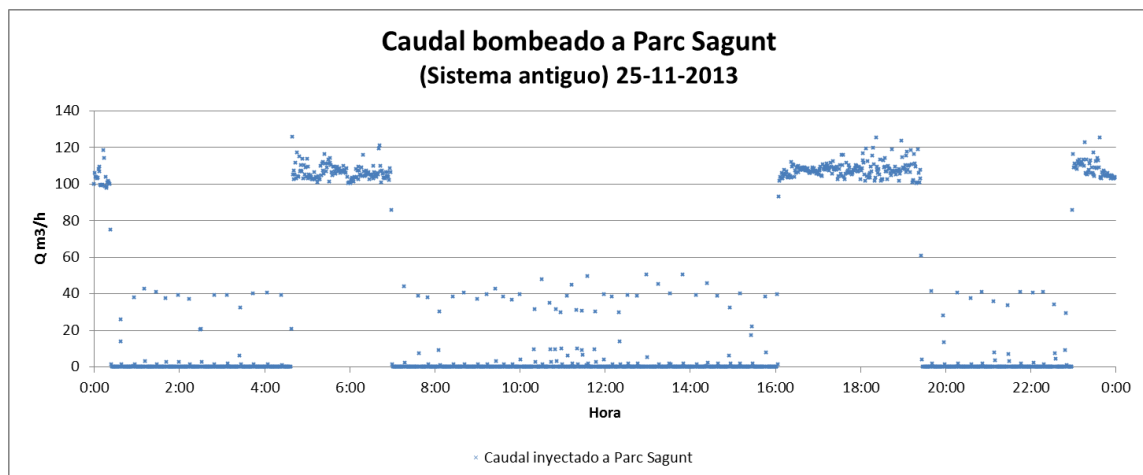


Figura 5-14. Caudal bombeado a Parc Sagunt 25 noviembre de 2013

Para otros días cercanos, las gráficas son parecidas pero sin seguir una curva de modulación diaria establecida. Esto ocurre porque el principal consumidor, la fábrica de zumos, dispone de aljibes, que son llenados cuando se necesita, sin seguir un patrón de tiempo que se repita. Debido a lo anterior no tiene sentido establecer una curva de modulación para un día determinado, sino que interesa conocer el caudal punta que se inyecta a la red.

Del análisis de los datos se observa que el caudal máximo inyectado es de unos 120m<sup>3</sup>/h. Estas son las condiciones de consumo punta. Matemáticamente:

$$Q_{reg\ punta} = K_P \cdot Q_{reg\ medio\ anual}$$

Por una parte:

$$Q_{iny\ medio\ anual} = 9.33\ lps$$

$$Q_{fugas} = Cte = 1.59\ lps$$

$$\rightarrow Q_{reg\ medio\ anual} = 7.74\ lps$$

Por otra:

$$Q_{iny\ punta} \approx 120\ lps$$

$$Q_{fugas} = Cte = 1.59\ lps$$

$$\rightarrow Q_{reg\ punta} = 31.71\ lps$$

Por lo tanto:

$$K_P \approx 4$$

Este valor es bastante lógico, teniendo en cuenta la poca diversidad de consumidores en Parc Sagunt y la presencia de aljibes en la fábrica de zumos.

➤ **Camí la Mar**

Para este polígono industrial no se tiene ningún dato de caudal de entrada. Siguiendo la misma idea que para Parc Sagunt y consultando en bibliografía especializada, se opta por establecer:

$$K_P \approx 3$$

**NOTA:** Todas estas suposiciones entran dentro más bien de la fase de diseño de una nueva red, que del análisis de una red existente, pero con los datos existentes es lo máximo que se puede hacer. Indicar que el Modelo Matemático está preparado para incluir una curva de modulación que haga variar el consumo cada hora.



## 6. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

A lo largo de este capítulo se va a estudiar desde distintos puntos de vista cómo se encuentra la red de abastecimiento de agua potable de Sagunto. A su vez distingue el funcionamiento en condiciones normales de suministro, en condiciones de emergencia ante rotura y en condiciones de emergencia ante incendio. Al final del capítulo se extraerán unas conclusiones que servirán para determinar las soluciones que sirvan para mejorar el funcionamiento de la red.

*Para realizar este análisis se ha utilizado el Modelo Matemático desarrollado en el Documento "Confección del Modelo Matemático". Además si se quiere conocer cómo es la red arterial y de distribución se puede consultar el capítulo "Descripción y funcionamiento de la red" de esta Memoria.*

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

El análisis se realizará para cada una de las cuatro redes hidráulicas independientes que son Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia, Puerto de Sagunto, L'Almardà y Camí la Mar/Parc Sagunt. En cada una de ellas se hará un estudio detallado de los siguientes parámetros:

#### ➤ Velocidad

La velocidad de circulación del agua en una tubería depende del caudal que circule y del diámetro de la misma.

Si es demasiado baja pueden presentarse problemas de calidad del agua, obstrucción de tuberías o infrutilización de las conducciones. Si es muy alta se puede generar mucha pérdida de carga, presiones insuficientes, ruidos/vibraciones y en caso de un fenómeno transitorio, sobrepresiones y roturas.

Respecto a la velocidad máxima permitida, si hacemos uso de la fórmula de Mougny (para presiones normales en redes de distribución) podemos establecer la siguiente tabla para velocidades máximas:

*Tabla 6-1. Velocidad máxima recomendada según Mougny*

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>600</b>
<b>Velocidad máxima recomendada (m/s)</b>	0.5	0.54	0.58	0.67	0.75	0.89	1	1.2

La AEAS propone como valores adecuados de velocidad los comprendidos entre 0.6 y 2.25m/s, estableciendo un valor mínimo de diseño de 0.3m/s. El caso que nos ocupa es el análisis de una red existente por lo que no es de extrañar que haya velocidades inferiores a las indicadas en zonas donde el consumo sea bajo.

- **Caudal** → En la entrada a los macrosectores coinciden con los inyectados por cómo se han confeccionado las curvas de modulación.
- **Pérdidas de carga unitaria**

Las pérdidas de carga son pérdidas de energía hidráulica debidas a la viscosidad del agua y al rozamiento de ésta contra las paredes internas. La pérdida de carga unitaria es la expresión de la pérdida de carga por unidad de longitud y normalmente se mide en mca/km.

Según la UNE-EN 805 no es recomendable sobrepasar los siguientes valores de acuerdo al diámetro de la tubería:

Tabla 6-2. Máxima pérdida unitaria recomendada por la UNE-EN 805

Diámetro (mm)	60	80	100	150	200	300	400	600
Pérdida de carga unitaria máxima (mca/km)	6.8	4.8	4.1	3.3	2.85	2.4	2.1	1.84

El estudio de este parámetro sirve para localizar cuellos de botella. En la práctica es aconsejable no superar 5mca/km aunque localmente se puede permitir si no se generan otros problemas.

- **Tiempo de permanencia**

Pese a que el modelo no está calibrado para ello, es muy interesante su análisis desde el punto de vista de la calidad.

En general no interesa sobrepasar un tiempo de permanencia del agua en la red de 24-48 horas aunque esto no es crítico porque existen rechloradores intermedios.

- **Presiones**

La presión de servicio disponible en cada punto de la red es función de la altura piezométrica. A esta hay que restarle la altura geométrica en el punto considerado y las pérdidas de carga.

La presión de servicio mínima que debe asegurar la red de distribución en las acometidas será la necesaria para abastecer directamente a las viviendas hasta una determinada altura.

En el caso de Sagunto Centro se puede establecer un valor de presión mínima de 20mca ya que los edificios no son muy altos. Para la parte de menor cota del Puerto de Sagunto la presión mínima debe ser 30mca ya que en esa zona los edificios tienen más plantas y muchos de ellos no disponen de grupos de presión.

El techo de presión máxima para este tipo de redes se fija entre los 50-60 mca, a partir del cual los riesgos de averías se incrementan considerablemente pudiendo ser causa de fugas excesivas y afectando a la calidad del servicio. Como se comprobará, en muchos lugares se sobrepasan estos valores.

### 6.1.1 Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Para esta zona vamos a estudiar lo que pasa el 25 de noviembre de 2013 en el que se da un consumo medio-alto en Sagunto Centro Urbano y alto en Norte Palancia.

#### ➤ Velocidades

A continuación se muestran las velocidades en las tuberías de la red del casco urbano en hora punta (9:00). Se observa como la velocidad de circulación del agua suele ser inferior a 1 m/s:

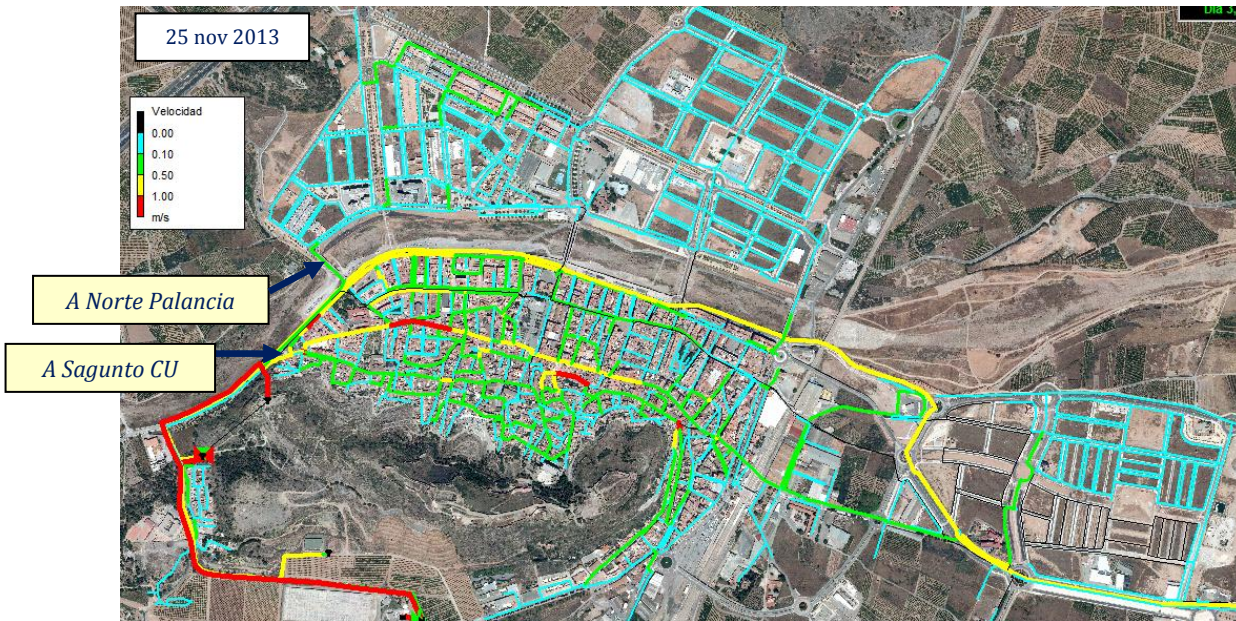


Figura 6-1. Velocidades en Sagunto Centro Urbano a las 9:00 del 25 de noviembre de 2013

Se comprueba que en general la velocidad del agua es baja, sobre todo en las zonas poco pobladas como Norte Palancia. Las tuberías en color negro corresponden a conducciones que están cortadas. Las velocidades son algo mayores dentro del casco urbano y en las tuberías arteriales ya que son las que transportan la mayor cantidad de agua.

#### Tubería que abastece a Sagunto Centro Urbano



Figura 6-2. Velocidad en la conducción que abastece a Sagunto Centro Urbano - 25 de noviembre de 2013

Esta conducción es principal y de las que más caudal transporta. Las velocidades son moderadas en la hora punta. A las 9:00 la velocidad es de 0.84m/s y a las 5:00 consumo es algo inferior a 0.4m/s.

### Tubería que abastece a Norte Palancia

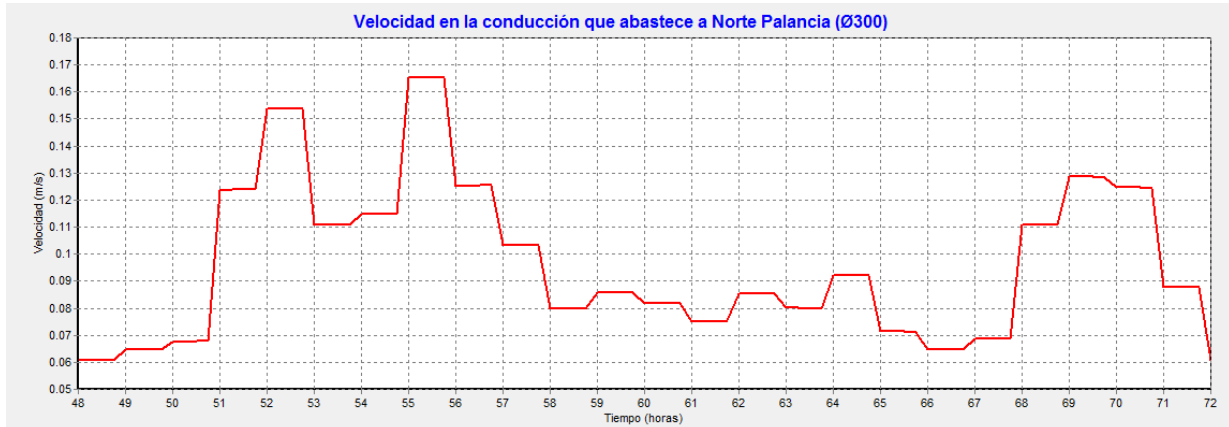


Figura 6-3. Velocidad en la conducción que abastece a Norte Palancia - 25 de noviembre de 2013

Pese a que la conducción es principal las velocidades son bajas en la hora punta y en un día con consumo superior al habitual. Esto se debe a que la conducción tiene un diámetro grande de 300mm y sin embargo proporciona agua a una zona nueva con poca ocupación como se ve en la Ortofoto. A las 8:00 la velocidad no alcanza los 0.17m/s y a 0:00 ronda los 0.06m/s.

#### ➤ Caudales

El análisis respecto a caudales indica prácticamente lo mismo que el de velocidades. Por las tuberías principales que son las de mayor diámetro circula mayor caudal y coinciden con las que tienen mayor velocidad. Para la hora punta tenemos:

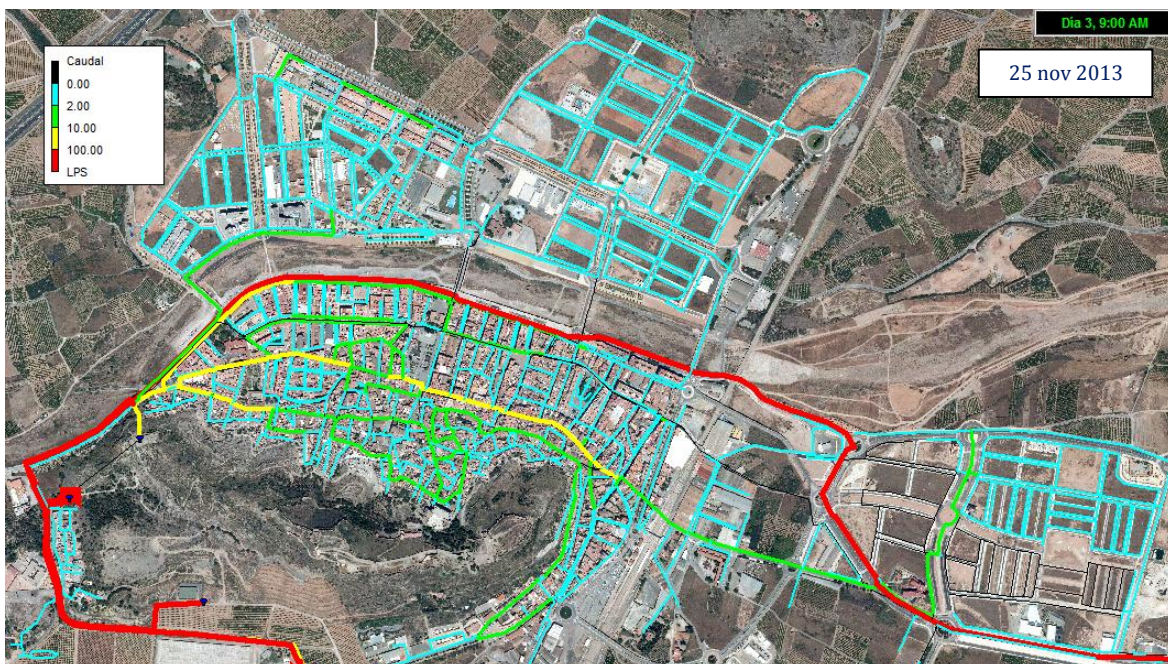


Figura 6-4. Caudales para Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia - 9:00 del 25 de noviembre de 2013

En color rojo se ve la tubería que lleva agua hasta el Puerto de Sagunto y que no pertenece a esta red. En colores distintos al azul se observan las tuberías que más caudal llevan pudiéndose observar incluso los tres sectores hidráulicos previos existentes en el casco urbano.

También es destacable y lógico que las tuberías de traída que llevan el agua hasta los depósitos trasieguen mucho caudal.

Los caudales inyectados tanto a Sagunto Centro Urbano como a Norte Palancia coinciden con los inyectados en la realidad por lo que se ha explicado en el Capítulo "Modulación de la demanda". Además pueden ser consultados en el Anexo "Confección del Modelo Matemático" en el Capítulo "Carga definitiva del modelo hidráulico".

### Tubería que abastece a Sagunto Centro Urbano

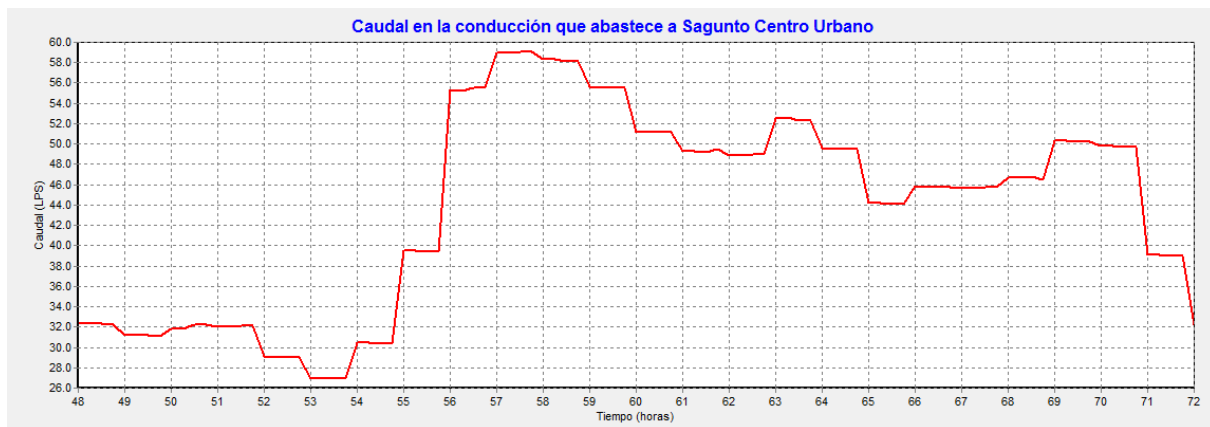


Figura 6-5. Caudal en la conducción que abastece a Sagunto Centro Urbano - 25 de noviembre de 2013

### Tubería que abastece a Norte Palancia

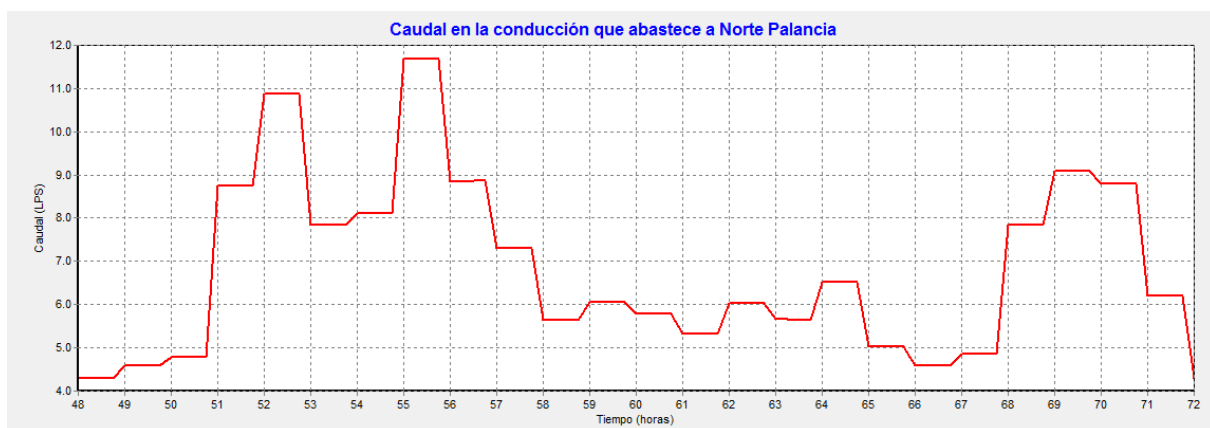


Figura 6-6. Caudal en la conducción que abastece a Norte Palancia - 25 de noviembre de 2013

El pico de caudal nocturno que se observa para Norte Palancia se corresponde con un riego programado. Por lo demás es una modulación normal en una zona donde hay pocas fugas por lo nueva que es la red.



➤ **Pérdida de carga unitaria**

Analizando este parámetro se puede distinguir tuberías que están actuando como cuellos de botella. Para la hora de mayor consumo tenemos:

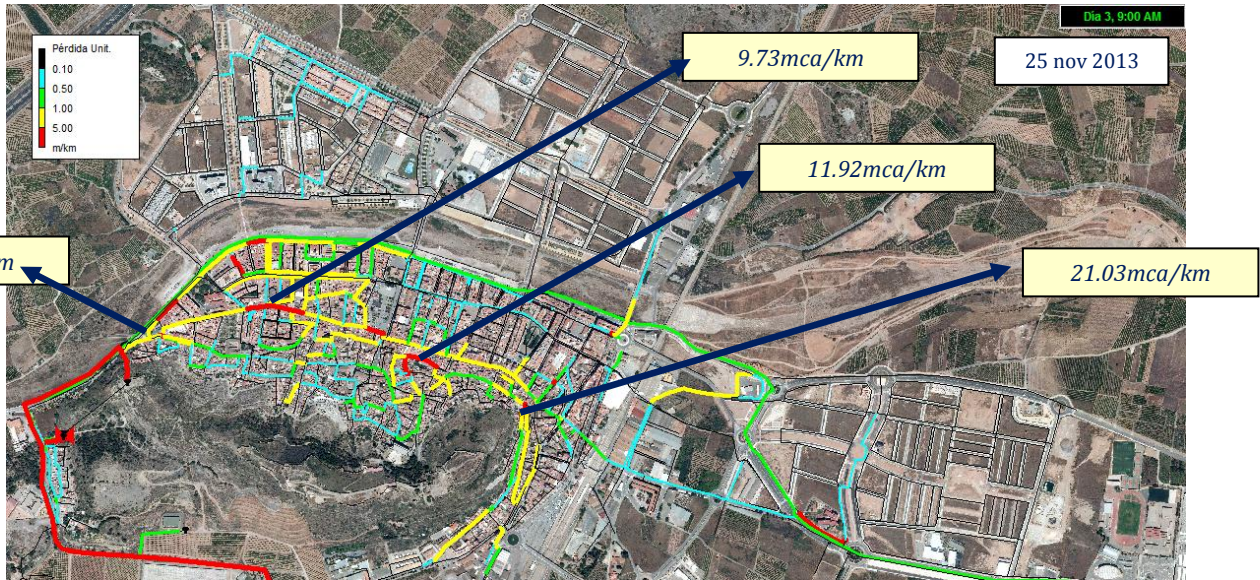


Figura 6-7. Pérdida de carga unitaria en Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia - 9:00 del 25 de noviembre de 2013

Observamos algunos tramos en el centro urbano que tienen una pérdida de carga unitaria superior a 5mca/km. Como esta red está prácticamente sectorizada y la presión es suficiente incluso en las zonas más altas no es un problema relevante.

➤ **Tiempo de permanencia**

La calidad siempre es algo que se debe analizar sobre todo si las velocidades del flujo son bajas como ocurre en muchas tuberías de distribución.

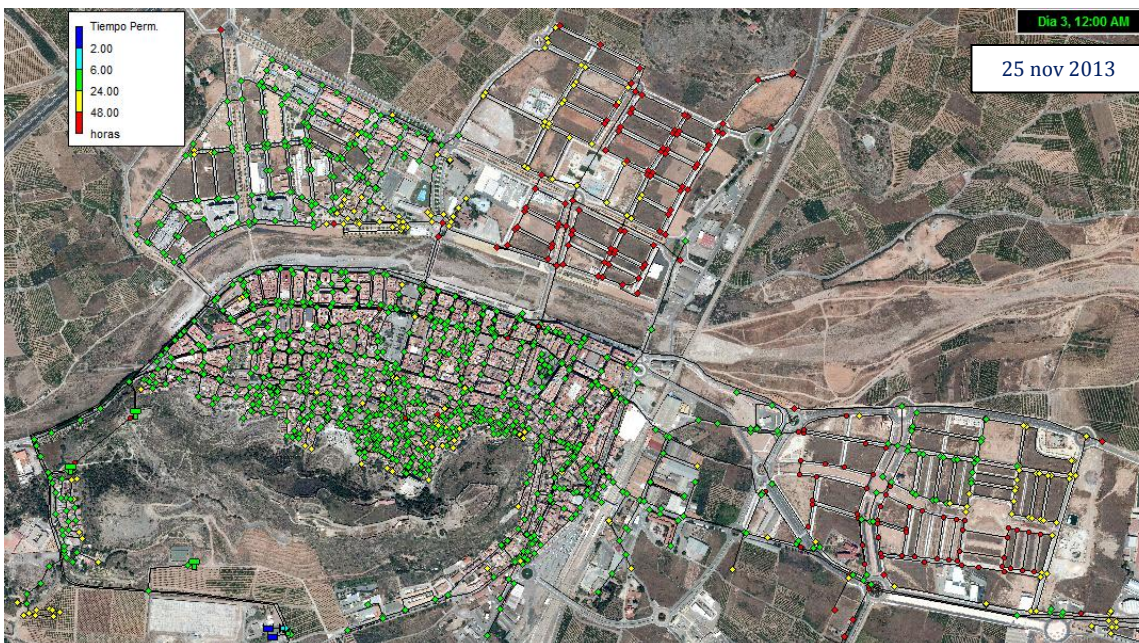


Figura 6-8. Tiempo de permanencia máximo para Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia - 25 de noviembre de 2013

El tiempo de permanencia no es ningún problema ya que los puntos en rojo o no tienen consumo o son urbanizaciones que aún no han sido recibidas.

Esto es una gran noticia porque esta zona ya está hidráulicamente sectorizada.

➤ **Presiones**

Este es el verdadero problema de esta red especialmente por las sobrepresiones aunque sin olvidar que hay zonas donde lo que preocupa es todo lo contrario. Cabe recordar que las fugas son proporcionales a las presiones elevadas a un exponente, lo que supone que reduciendo éstas se aumentará la eficiencia hidráulica. Del análisis del modelo obtenemos para la hora punta las presiones mínimas:

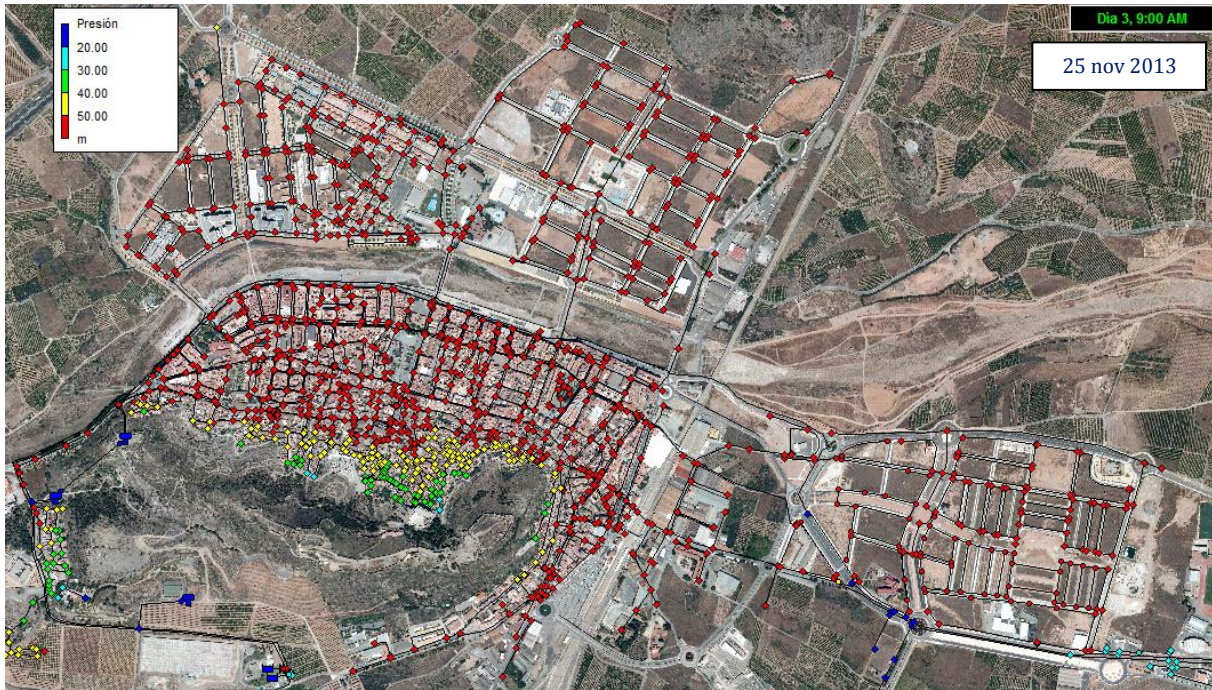


Figura 6-9. Presiones para Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia - 9:00 del 25 de noviembre de 2013

Este análisis es para la hora punta pero realmente no cambia mucho si se escoge otra hora. Se distinguen dos hechos:

- **Presiones excesivas en la mayor parte de red:** Se presentan presiones superiores a 60mca en muchísimos puntos. Esto es una situación inadmisibles que debe ser remediada.
- **Presiones que rondan el valor mínimo en zonas cercanas al Castillo:** En zonas con cotas altas las presiones que se dan son relativamente bajas de unos 25mca, incluso en momentos punta pueden llegar a 23.5mca en el punto crítico (punto azul)

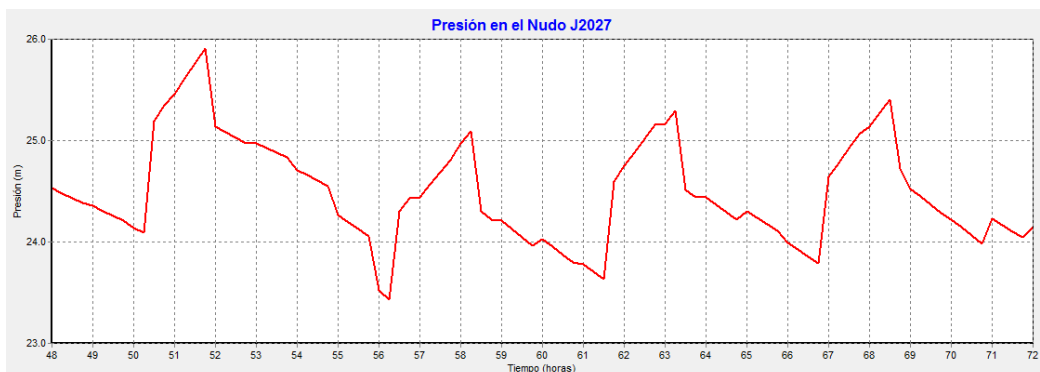


Figura 6-10. Presión en el nudo crítico cerca del Castillo - 25 de noviembre de 2013

Para el nudo crítico la presión es baja como se observa en la gráfica, en especial para la hora punta (9:00).

Los escalones que se distinguen se producen cuando el depósito oscila de nivel.

### 6.1.2 Puerto de Sagunto

Para esta zona vamos a estudiar lo que pasa el 2 de agosto de 2013 en el que se da uno de los consumos más altos de todo el año. También se estudiarán las presiones máximas para el 25 de noviembre de 2013 ya que ese es un día de consumo inferior al habitual y favorece dicha situación.

#### ➤ Velocidades

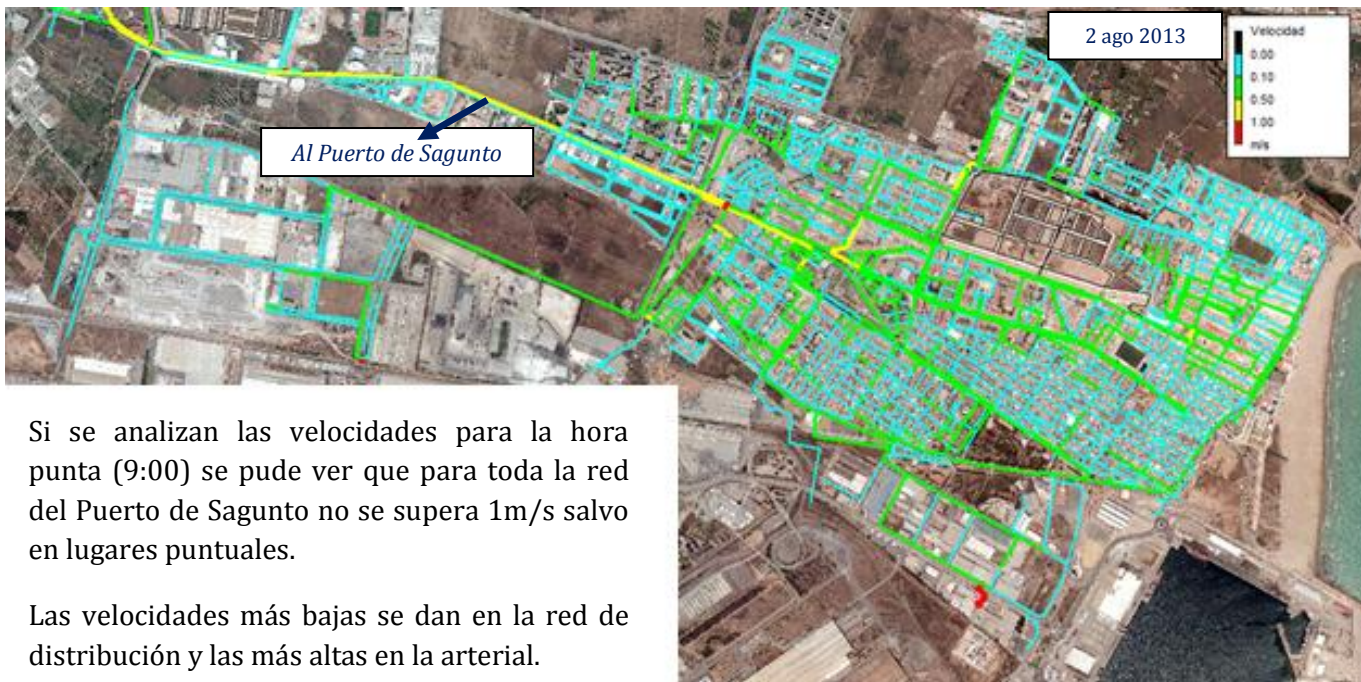


Figura 6-11. Velocidades para el Puerto de Sagunto - 9:00 del 2 de agosto de 2013

#### Tubería que abastece al Puerto de Sagunto

Quizá la conducción en la que más se puede apreciar la velocidad en el Ø500 procedente del Depósito Cota 55 que abastece toda esta red. Esto es lógico porque pese a su gran diámetro el caudal que transporta es muy elevado.

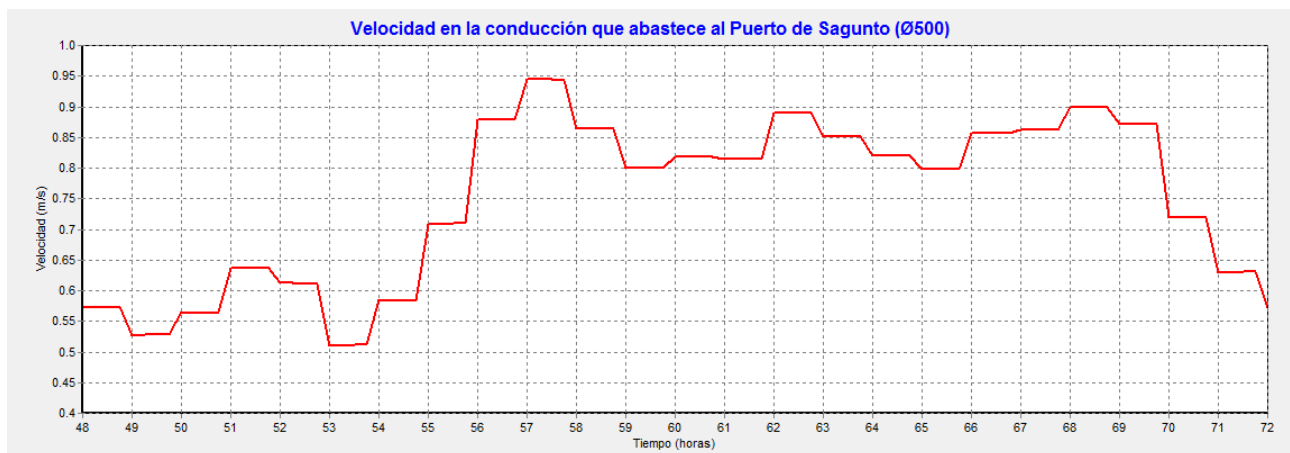
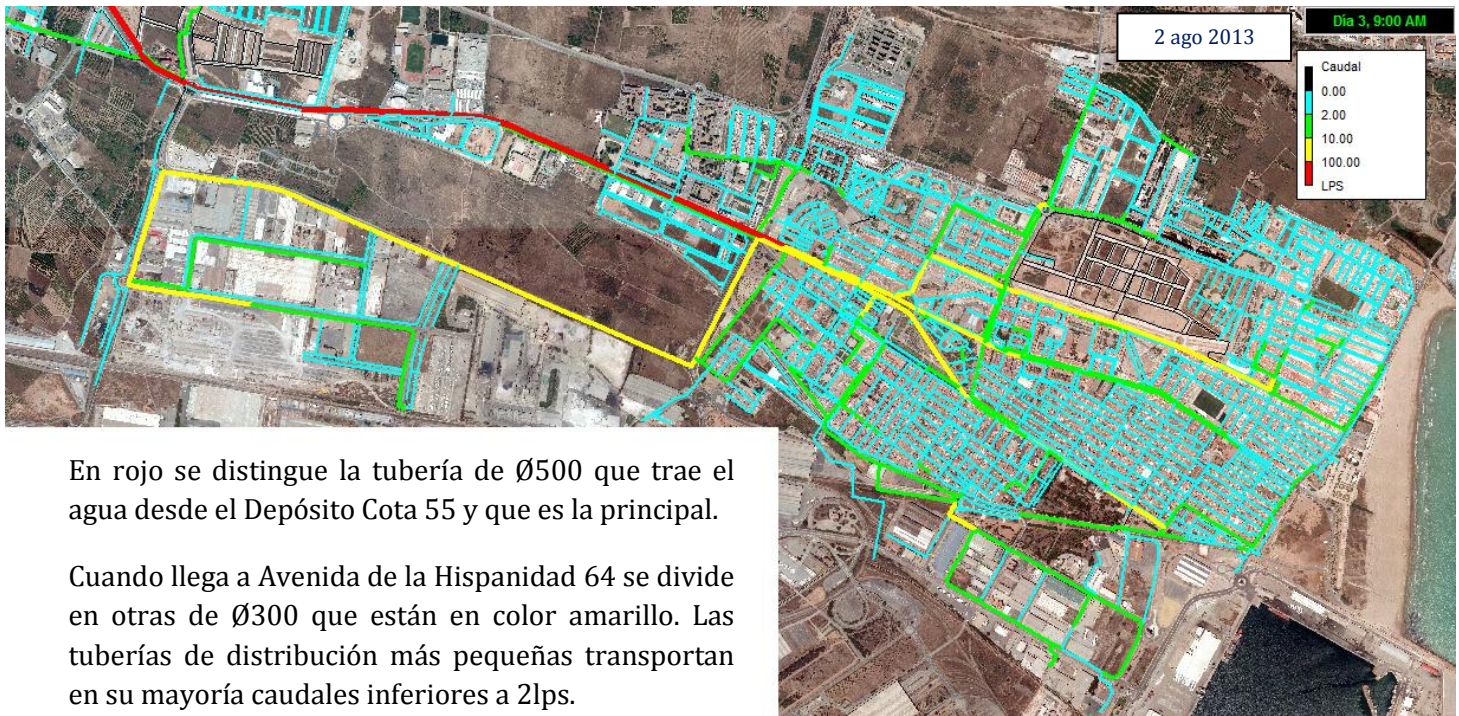


Figura 6-12. Velocidad en la conducción que abastece al Puerto de Sagunto - 2 de agosto de 2013

➤ **Caudales**

Para la hora punta que se produce a las 9:00 tenemos la siguiente distribución de caudales:



En rojo se distingue la tubería de Ø500 que trae el agua desde el Depósito Cota 55 y que es la principal.

Cuando llega a Avenida de la Hispanidad 64 se divide en otras de Ø300 que están en color amarillo. Las tuberías de distribución más pequeñas transportan en su mayoría caudales inferiores a 2lps.

Figura 6-13. Caudales para el Puerto de Sagunto - 9:00 del 2 de agosto de 2013

**Tubería que abastece al Puerto de Sagunto**

Al igual que para Sagunto Centro Urbano, esta distribución de caudales coincide exactamente con lo inyectado en la realidad porque así esa es una premisa básica de la realización del modelo.

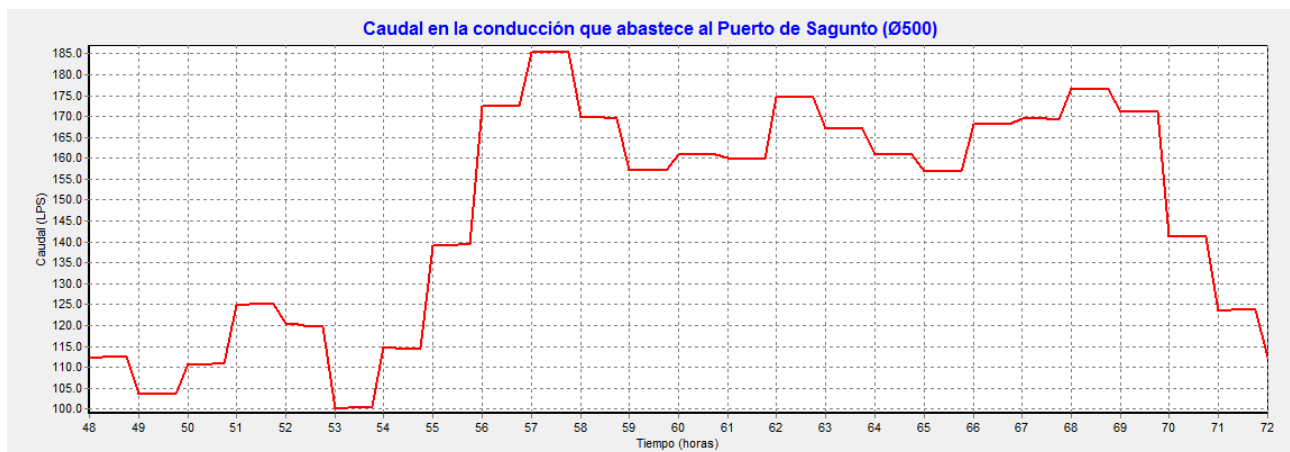
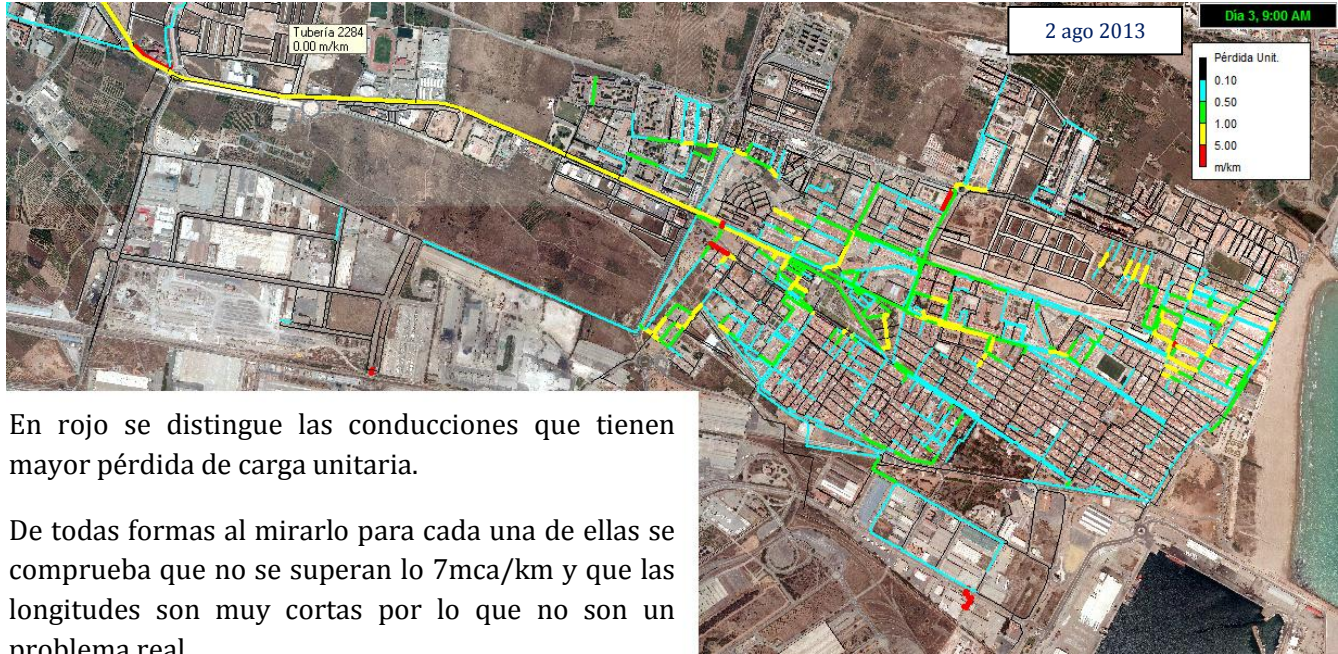


Figura 6-14. Caudal en la conducción que abastece al Puerto de Sagunto - 2 de agosto de 2013

Esta es la tubería de toda la red de abastecimiento que transporta más caudal y es crítica, porque cualquier avería puede afectar al suministro al Puerto de Sagunto. Afortunadamente se cuenta con Depósito Sepes ante situaciones de emergencia.

➤ **Pérdida de carga unitaria**

Analizando este parámetro se puede distinguir tuberías que están actuando como cuellos de botella. Para la hora de mayor consumo tenemos:



En rojo se distingue las conducciones que tienen mayor pérdida de carga unitaria.

De todas formas al mirarlo para cada una de ellas se comprueba que no se superan lo 7mca/km y que las longitudes son muy cortas por lo que no son un problema real.

Figura 6-15. Pérdida de carga unitaria para el Puerto de Sagunto - 9:00 del 2 de agosto de 2013

➤ **Tiempo de permanencia**

La calidad siempre debe analizarse sobre todo si las velocidades del flujo son bajas como ocurre en muchas tuberías de distribución.



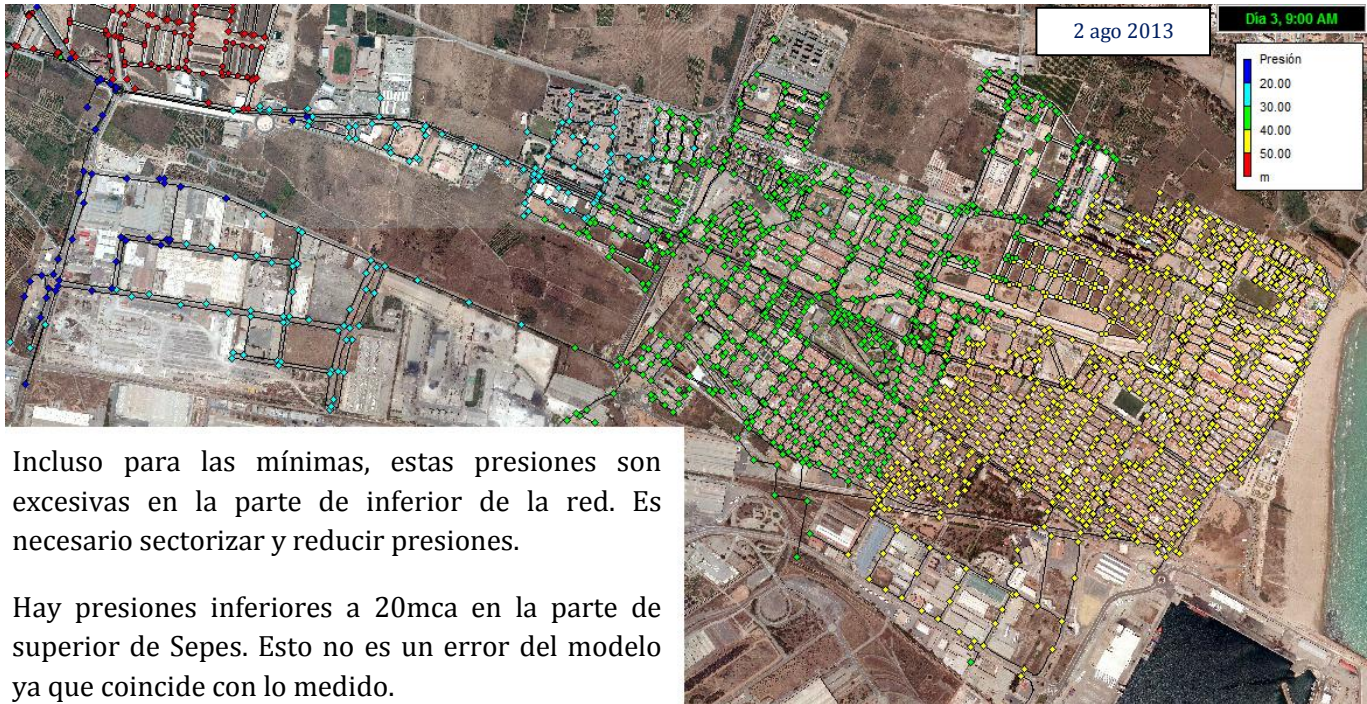
La calidad es muy buena según el tiempo de permanencia porque casi ningún nudo supera las 48 horas. Es algo lógico en una red tan mallada.

Hay algunos puntos en rojo que en realidad no tienen consumo por lo que no hay que hacerles caso en este aspecto (nuevas urbanizaciones o construyéndose).

Figura 6-16. Tiempo de permanencia máximo para el Puerto de Sagunto - 2 de agosto de 2013

### ➤ Presiones

Para esta red también las presiones son el principal problema, algo lógico ya que la altura piezométrica inicial es la del Depósito Cota 55 y las zonas más bajas están al nivel del mar. Del análisis del modelo obtenemos para la hora punta las presiones mínimas:



Incluso para las mínimas, estas presiones son excesivas en la parte de inferior de la red. Es necesario sectorizar y reducir presiones.

Hay presiones inferiores a 20mca en la parte de superior de Sepes. Esto no es un error del modelo ya que coincide con lo medido.

Figura 6-17. Presiones para el Puerto de Sagunto - 9:00 del 2 de agosto de 2013

También podemos ver cómo son las presiones máximas que se dan en la hora de menor consumo, a las 5:00 ya que en este caso si hay bastante diferencia entre máximas y mínimas:



En cuanto a presiones máximas para este día se observa que son inadmisibles en la parte costera.

En Sepes las presiones son bajas pero no tanto como para la hora punta porque la pérdida de carga es menor al ser transportado menos caudal.

Figura 6-18. Presiones para el Puerto de Sagunto - 5:00 del 2 de agosto de 2013

Respecto a las presiones máximas para un día de bajo consumo como es el 25 de noviembre de 2013 de madrugada tenemos la siguiente situación:



Estas presiones son todavía mayores que para el caso anterior, lo que corrobora que las presiones son excesivas y hay que hacer algo con ellas.

Por otra parte se sigue observando que en el Polígono Sepes son todavía bajas.

Figura 6-19. Presiones para el Puerto de Sagunto - 4:30 del 25 de noviembre de 2013

Por último colocar las gráficas de presiones en tres puntos clave donde se puede comparar el modelo con la realidad. Para el 2 de agosto de 2013 se tiene:

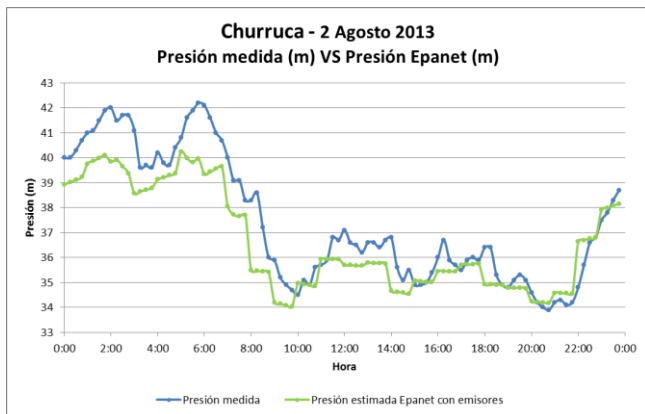


Figura 6-20. Presión medida VS Presión Epanet en Churruca

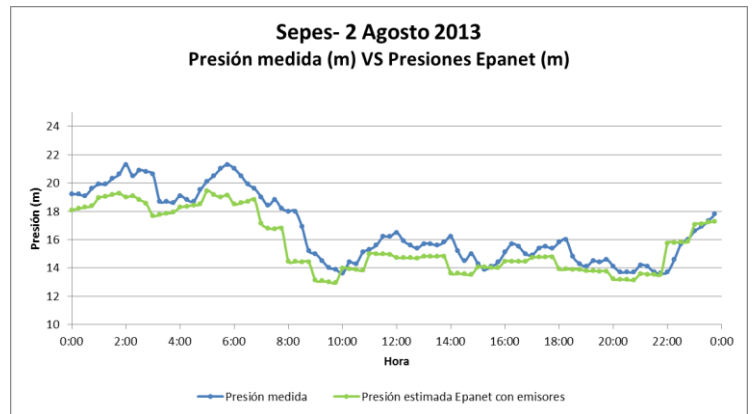


Figura 6-21. Presión medida VS Presión Epanet en Sepes

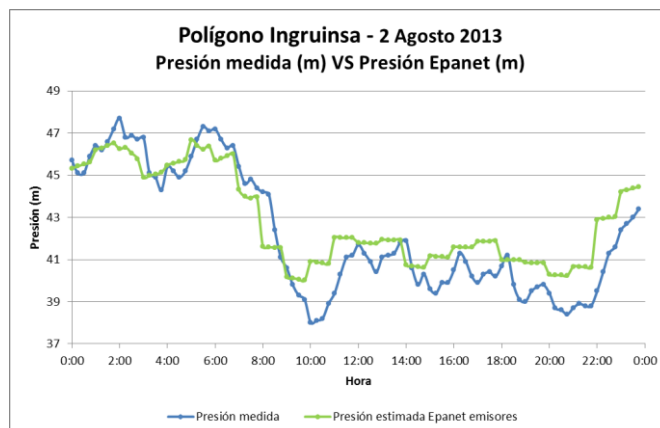


Figura 6-22. Presión medida VS Presión Epanet en Ingruinsa

### 6.1.3 L'Almardà

Para esta zona vamos a estudiar lo que pasa el 2 de agosto de 2013 en el que se da uno de los consumos más altos de todo el año.

#### ➤ Velocidades



En este caso el consumo punta se produce entre las 20:00 y las 22:00. Como se observa en la imagen de la izquierda las velocidades suelen ser inferiores a 0.5m/s.

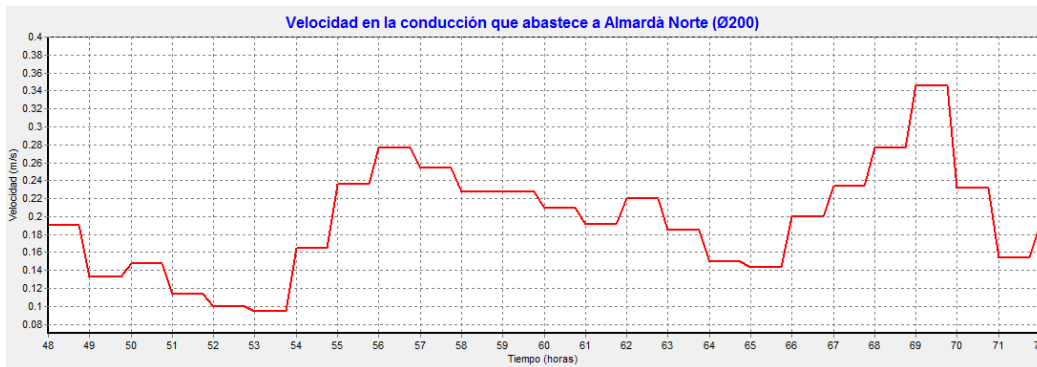
Fácilmente se distingue la tubería arterial de Ø200mm que lleva el agua hacia Almardà Norte o Almardà Sur por tener más velocidad que las tuberías de distribución de menor calibre.

Como en el resto de la red las velocidades en las tuberías de distribución se sitúan entre 0.1 y 0.5m/s.

Aunque no se adjunta en este estudio, fuera de la época estival las velocidades que se generan en el modelo son bajísimas debido al consumo casi testimonial de esta zona en esos momentos.

Figura 6-23. Velocidad en L'Almardà

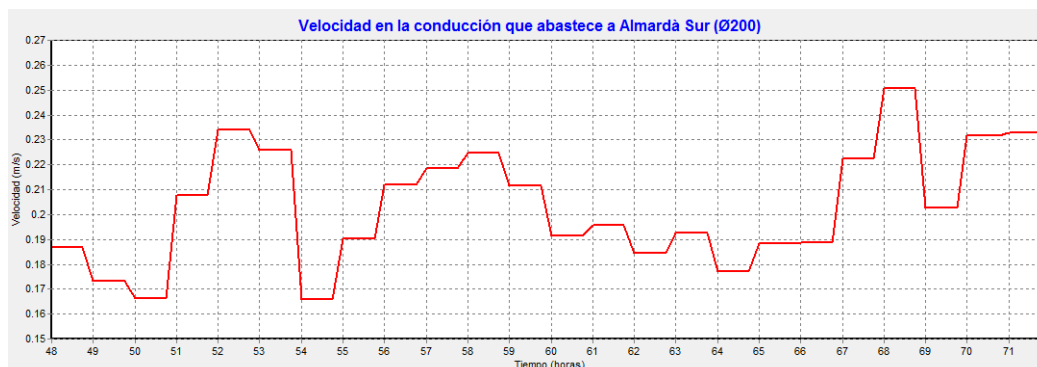
#### Tubería que abastece a Almardà Norte



En esta conducción la velocidad máxima se produce a las 22:00 y no se llegan a alcanzar 0.35m/s lo que indica la baja velocidad del agua. Esto es debido al diámetro que es bastante grande en relación al consumo, incluso en verano.

Figura 6-24. Velocidad en la conducción que abastece a Almardà Norte – 2 agosto de 2013

#### Tubería que abastece a Almardà Sur



Se puede decir lo mismo que para el caso anterior ya que no se superan 0.25m/s en la hora de mayor consumo, incluso aunque sea un día de verano.

Figura 6-25. Velocidad en la conducción que abastece a Almardà Sur – 2 agosto de 2013



➤ **Caudales**



Figura 6-26. Caudales en L'Almardà

Se puede decir lo mismo para los caudales que para las velocidades. La tubería de Ø200mm es la que distribuye todo el caudal hacia Almardà Norte y Almardà Sur por la forma de peine que tiene esta red. Existen otras tuberías principales que tienen caudales intermedios y luego están las más pequeñas de distribución que trasiegan poco caudal, pese a que es un día de consumo muy alto.

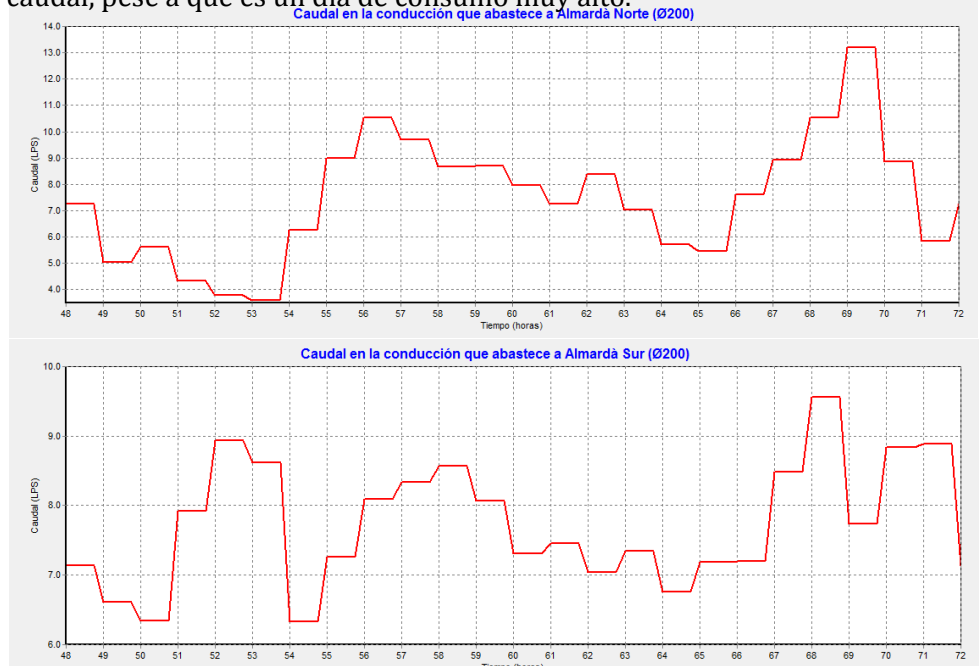


Figura 6-27. Caudales en las conducciones de entrada a Almardà Norte y Sur - 2 agosto de 2013

➤ **Pérdida de carga unitaria y tiempo de permanencia**

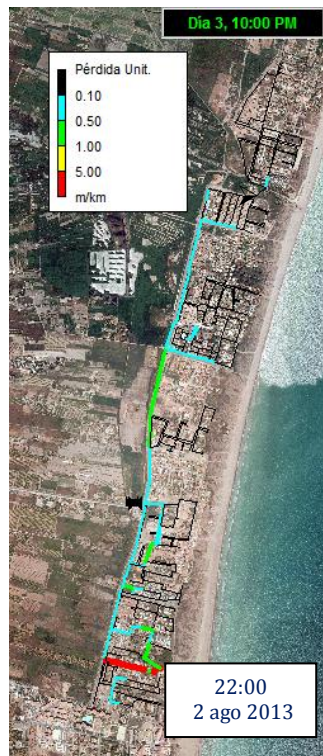


Figura 6-28. Pérdida unitaria en L'Almardà

La pérdida de carga unitaria en esta zona es muy poco significativa. Esto indica que la red podría mover un caudal mucho mayor y por lo tanto se encuentra sobredimensionada.

Esto también se verá en las presiones donde la presión de entrada es prácticamente la misma que en cualquier punto de la red.

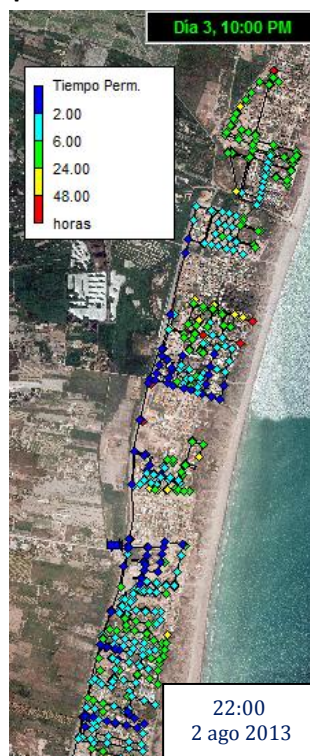


Figura 6-29. Tiempo de permanencia en L'Almardà

Para un consumo alto no hay problemas en cuanto a la calidad del agua porque se renueva constantemente como se puede comprobar.

Otra cosa es para cuando no es época veraniega en la que apenas hay consumo. Esto hay que tenerlo en cuenta a la hora de gestionar la red en esas épocas.

### ➤ Presiones

El problema para determinar las presiones en esta zona es que si la válvula reductora de presión está completamente abierta y no regula, las presiones a la entrada de L'Almardà dependen de lo que pasa aguas arriba y eso no entra dentro del ámbito de estudio de este análisis. Lo que se ha hecho ha sido poner las presiones de entrada que se registraron el día 2 de agosto de 2013 mediante una curva de modulación y que rondan las 40mca.

Para la hora punta podemos obtener las presiones mínimas que son:



Figura 6-30. Presiones en L'Almardà

Aunque los caudales son de los más altos del año por ser época veraniega, siguen siendo relativamente bajos para la tubería principal de Ø200 que reparte el agua en L'Almardà Norte y L'Almardà Sur.

Como se ha podido comprobar en el estudio de las pérdidas de carga unitarias apenas éstas son bajas y por ello es normal que apenas se pierda energía entra la entrada y los puntos más alejados.

Todo esto unido a que apenas hay diferencia de cotas hace que en esta red las presiones sean muy homogéneas y parecidas a las de entrada en una hora determinada. Para este caso las presiones varían entre 44 y 31mca. En simulaciones en las que la VRP sí que está actuando a 35mca en casi todos los puntos de la red se tiene esta presión.

Para el 2 de agosto de 2013 la presión a la entrada de L'Almardà es la siguiente:

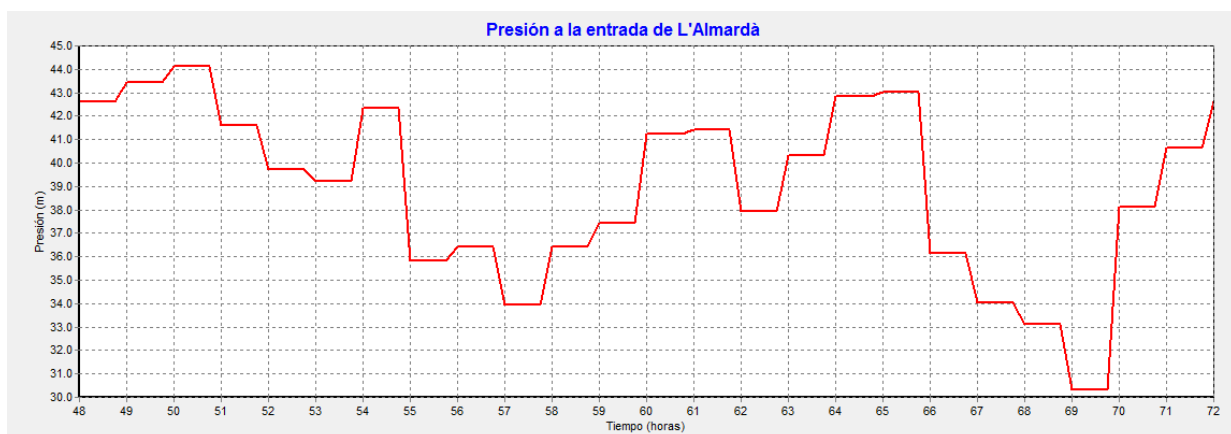


Figura 6-31. Presión a la entrada de L'Almardà - 2 agosto de 2013

### 6.1.4 Camí la Mar y Parc Sagunt

Como se ha explicado el análisis para esta zona se realiza para el caudal punta previsto en las condiciones actuales. El ajuste no puede ser tan preciso como para las otras partes del abastecimiento porque se desconocen los caudales inyectados cada 15 minutos.

#### ➤ Velocidades



Figura 6-32. Velocidad en Camí la Mar y Parc Sagunt en condiciones de máximo consumo

Las velocidades máximas que se pueden dar se producen en la tubería de traída procedente de la ETAP, especialmente cuando su diámetro se reduce a Ø250mm cuando ya se ha sobrepasado Camí la Mar siendo de unos 0.7m/s.

En cuanto a las tuberías de distribución sólo hay velocidades superiores a 0.1m/s cerca de las industrias que tienen consumo, especialmente la parte más cercana a la fábrica de zumos en Parc Sagunt.

Como se aprecia en la Ortofoto, estos polígonos industriales están prácticamente vacíos.

#### ➤ Caudales

Respecto a los caudales se sabe que serán máximos cuando la fábrica de zumos solicite agua ya que el resto de las demandas es prácticamente testimonial. Según lo que se ha comentado:

$$Q_{iny\ punta\ Camí\ la\ Mar} = 1.15\ lps$$

$$Q_{iny\ punta\ Camí\ la\ Mar} = 32.41\ lps$$

#### ➤ Pérdida de carga unitaria y tiempo de permanencia

Respecto a la pérdida de carga, si bien es cierto que es una zona con poca superficie utilizada los grandes consumos de la fábrica de zumos hacen que el agua se mueva. En cualquier caso en verano y en Camí la Mar se debería programar purgas periódicas.

Por otra parte la red está diseñada para trasegar caudales mayores por lo que la pérdida de carga unitaria es mínima.

➤ Presiones



Figura 6-33. Presión en Camí la Mar y Parc Sagunt en condiciones de máximo consumo

Respecto a las presiones, da prácticamente igual si el consumo es máximo o mínimo.

Para Parc Sagunt la presión a la entrada está tarada por la VRP a 35mca durante el día y por la noche el bombeo la mantiene a 31mca (en el modelo también modelizado por VRP). Como la red tiene muy pocas pérdidas porque tiene poca demanda salvo la fábrica de zumos, las presiones son muy parecidas a las de entrada.

En cuanto a Camí la Mar hay presiones bastante elevadas porque en esa zona no hay equipada ninguna VRP.

Indicar que para estas redes hay muchas tuberías que se encuentran cortadas o ni siquiera se han construido debido a la baja ocupación de estas zonas.

## 6.2 Análisis de la red en condiciones de emergencia ante rotura

Se trata de analizar cómo se comportaría la red en caso de rotura de alguna de las tuberías en cada una de las redes hidráulicas existentes. Como es de suponer, son situaciones hipotéticas de forma que no se pueden prever todos los casos y por ello sólo se estudia la rotura de las conducciones más importantes.

Si una zona sólo es alimentada por una conducción, ya sea porque es una tubería de traída o porque la red está sectorizada, una rotura grave puede dejar sin suministro a todos los usuarios que se encuentren aguas abajo. Ante esta situación se podría proporcionar agua a estas zonas abriendo válvulas para conectar redes hidráulicas o sectores que antes eran independientes, si existe la posibilidad. Si no, el problema se agrava hasta que se arregle la rotura.

En zonas no sectorizadas y en las cuales el agua puede venir por diversos caminos, las roturas no tienen tantos efectos negativos si la presión es suficiente.

### 6.2.1 Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Es necesario recordar que esta red ya está hidráulicamente sectorizada por lo que puede haber problemas si no se abren ciertas válvulas de corte ante una rotura.

#### ➤ Rotura de la conducción que sale del Depósito Cota 110 (Ø300)

Esta situación es problemática ya que si se bombea directamente a red desde la ETAP (recordemos que no hay acoplados variadores en las bombas) sin pasar por este depósito, puede haber suministro pero las presiones que se generarían son muy altas (en muchos puntos superiores a 70mca incluso para la hora de máximo consumo):

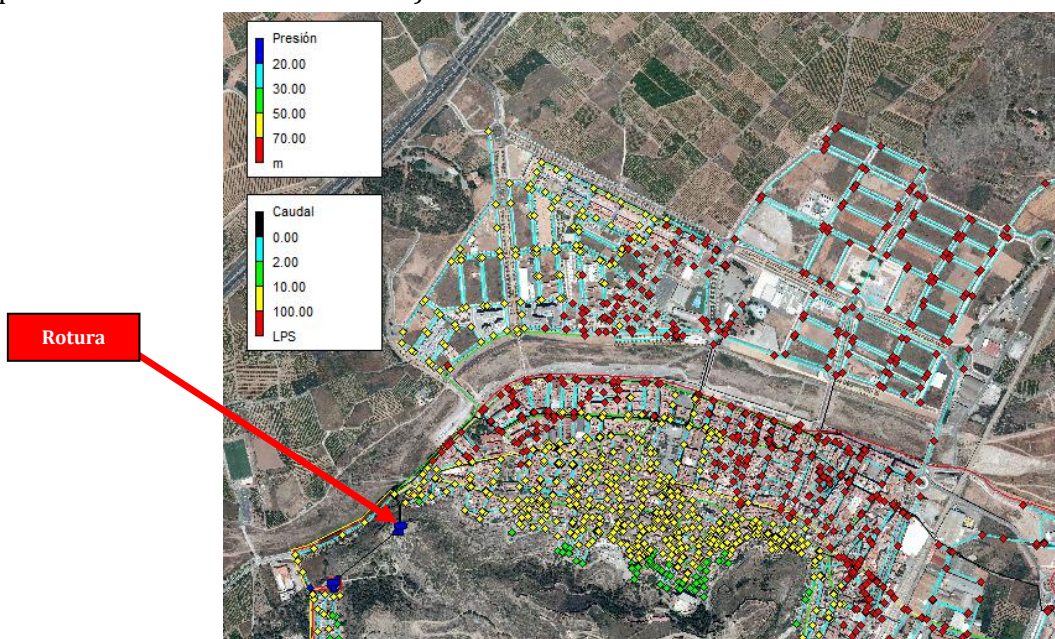


Figura 6-34. Rotura de la conducción que sale del Depósito Cota 110 (Ø300)

➤ **Rotura de la conducción que alimenta a Sagunto Centro Urbano (Ø300)**

Esta tubería se encuentra ubicada en la Calle Sants de la Pedra. Tal y como está configurada la red si esta tubería se rompe no puede haber suministro aguas en Sagunto Centro Urbano. La simulación muestra presiones negativas:

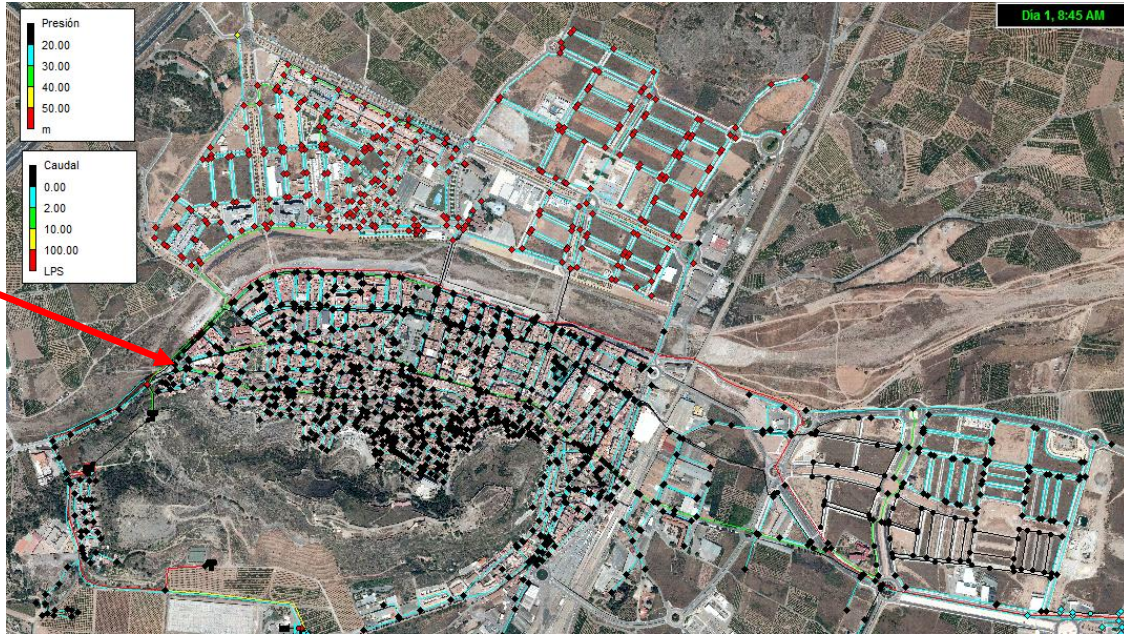


Figura 6-35. Rotura de la conducción que alimenta a Sagunto Centro Urbano (Ø300)

Esta situación se puede paliar en parte abriendo la válvula que está cortando la tubería que va sobre el puente de la calle Bru i Vidal (el que va a Mallaeta no conecta con esta red). Sólo se queda sin suministro la parte con más cota que pega al castillo:



Figura 6-36. Solución a la rotura de la conducción que alimenta a Sagunto Centro Urbano

**NOTA:** Esta situación puede ser mejorada si se abren las válvulas que están sectorizando Sagunto Centro Urbano.

➤ **Rotura de la conducción que alimenta a Norte Palancia (Ø300)**

Esta tubería también se encuentra en la Calle Sants de la Pedra y cruza por el primer puente que hay. La consecuencia de esta rotura es que Norte Palancia se queda sin suministro porque esa es la única entrada habilitada de agua:



Figura 6-37. Rotura de la conducción que alimenta a Norte Palancia (Ø300)

Si se toma la misma medida que para el caso anterior, poner operativa la tubería del puente que va a la calle Bru i Vidal, la situación se arregla totalmente:



Figura 6-38. Solución a la rotura de la conducción que alimenta a Norte Palancia

➤ **Rotura de las conducciones de entrada a los sectores 1,2 y 3**

Si se produjese la rotura de las tuberías de entrada a alguno de los tres sectores hidráulicos que hay en Sagunto Centro Urbano la consecuencia es que en la zona considerada no habría suministro porque es una subred independiente a las demás. La solución sería abrir las válvulas de corte cerradas de sectorización para permitir la interconexión de agua por otros lugares.

### 6.2.2 Puerto de Sagunto

Salvo la urbanización Churruca y Polígono Ingruinsa, esta red no se encuentra sectorizada, de forma que una rotura en una conducción no tiene por qué tener efectos muy adversos, salvo que sea muy principal.

➤ **Rotura de la conducción principal que abastece al Puerto de Sagunto (Ø500)**

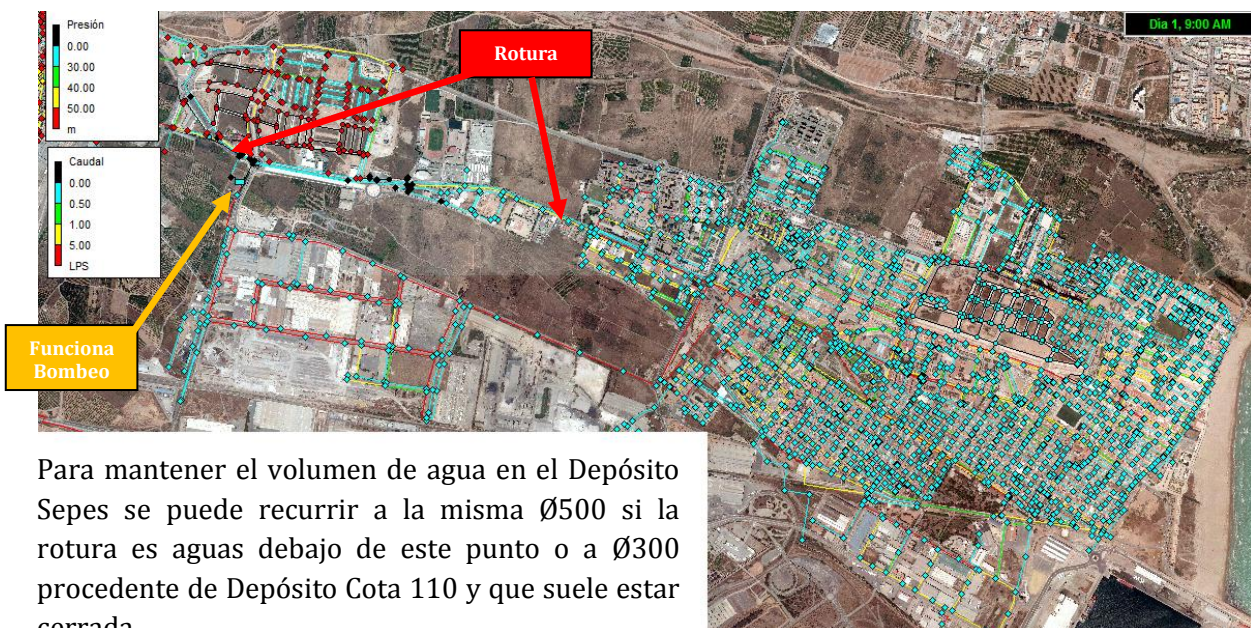
Esta es una situación grave puesto que todo el suministro al Puerto de Sagunto va por esta tubería. La modelación en Epanet indica que las presiones son negativas:



Si no se toma ninguna medida es seguro que el Puerto de Sagunto no tendría suministro si Ø500 sufre una rotura grave.

Figura 6-39. Rotura de la conducción principal que abastece al Puerto de Sagunto (Ø500)

Si se activa el Bombeo Sepes que mantiene 21mca a la salida y sin hacer nada más, la situación se puede solventar mientras haya reserva de agua para la hora de máximo consumo se tiene:



Para mantener el volumen de agua en el Depósito Sepes se puede recurrir a la misma Ø500 si la rotura es aguas debajo de este punto o a Ø300 procedente de Depósito Cota 110 y que suele estar cerrada.

Figura 6-40. Solución a la rotura de la conducción principal que abastece al Puerto de Sagunto



➤ **Rotura de la conducción en Avenida de la Ribera (Ø300)**

Dentro de la red del Puerto de Sagunto esta conducción también es muy destacable debido a que suministra a la parte norte de esta zona. Una rotura en esta tubería no tiene importancia con la configuración actual:

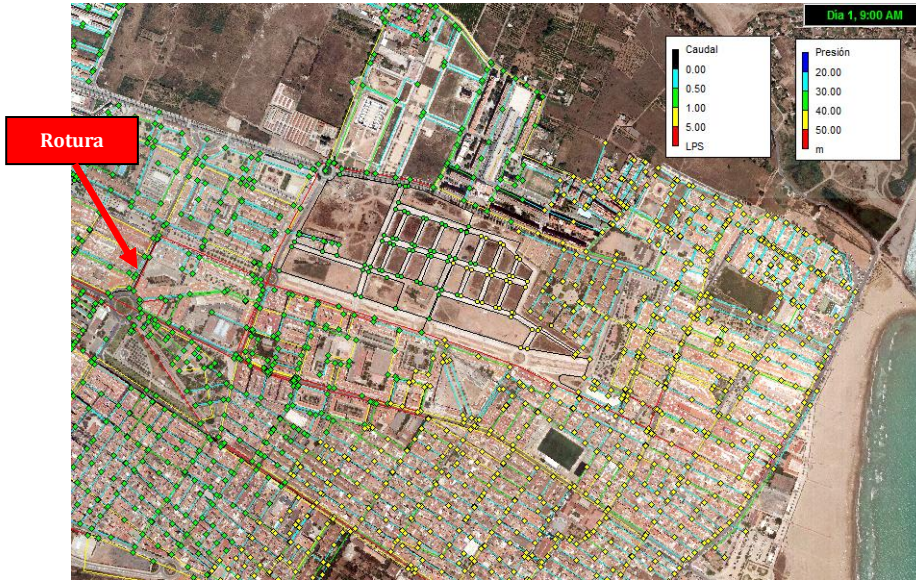


Figura 6-41. Rotura de la conducción en Avenida de la Ribera (Ø300)

**NOTA:**

Para el resto de conducciones que se encuentran dentro del casco urbano del Puerto de Sagunto pasa lo mismo, no hay problemas de suministro ante cualquier corte de alguna tubería porque el agua encuentra caminos alternativos.

➤ **Rotura en conducción que abastece a Polígono Sepes (Ø300)**

Se encuentra en la Calle Albert Einstein. Si la rotura se produce en algún punto donde no puede llegar el agua por otro sitio no habrá suministro a este polígono con la configuración actual.



Figura 6-42. Rotura de la conducción que abastece a Polígono Sepes (Ø300)

Para solucionarlo se pueden abrir las conexiones a las tuberías Ø500 y Ø300 cerca del Depósito Sepes para que el agua entre por ahí. De esta forma se solucionarían los problemas.

### 6.2.3 L'Almardà

Estudiar la rotura en esta red es fácil. Si se produce en la conducción Ø200 que lleva el agua hacia Almardà Norte o Almardà Sur, la zona que queda aguas abajo de la rotura se quedará sin suministro irremediablemente. Eso sucede porque la distribución en peine hace que realmente esta red sea ramificada.

Esta situación tampoco es excesivamente grave si se tiene en cuenta que esas urbanizaciones disponen de pozos propios de los que pueden tomar agua mientras la rotura es arreglada.

### 6.2.4 Camí la Mar y Parc Sagunt

Indicar que una rotura en la conducción de traída desde la ETAP hasta uno de estos dos polígonos puede suponer que lo que quede aguas abajo de ésta se quede sin suministro.

#### ➤ Camí la Mar

Lo anterior especialmente cierto para Camí la Mar ya que no dispone de ningún elemento regulador. Si la tubería que lleva el agua hasta allí se rompe no hay otra forma de suministro alternativo. De todas formas esta rotura es bastante improbable y si se produjese sería fácil detectarla porque se encuentra muy cerca de la ETAP. Además la ocupación de ese polígono es muy baja.

#### ➤ Parc Sagunt

Para Parc Sagunt existe una reserva de agua del Depósito de agua potable y en última instancia del Depósito de incendios y el de Agua industrial dependiendo de para qué se vaya a utilizar el agua.

Si la rotura se produce dentro de la red de distribución de agua potable del polígono, ésta no será muy grave porque se tiene una distribución mallada y se puede hacer que el agua llegue al destino por un camino diferente.

### 6.2.5 Fallo de producción en la ETAP

Si se produce algún problema en la ETAP y ésta no puede proporcionar agua la situación es crítica porque es el corazón del sistema.

Se podría proporcionar agua del Depósito Cota 75 y del Depósito Cota 110 mientras tuvieran agua pero cuando se acabase no habría suministro.

Llegado a este caso extremo, una alternativa sería utilizar los Pozos Pedrera y Sabató de los que ya se habló en el Capítulo "Descripción y funcionamiento de la red".

### 6.3 Análisis de la red en condiciones de emergencia ante incendio

El otro análisis de la red en condiciones de emergencia es el caso de incendio. La normativa que rige en este caso es NBE-CPI/96 y establece las siguientes directrices.

#### 6.3.1 Ubicación de los hidrantes

La Norma fija la distancia mínima que debe existir entre los hidrantes colocados en la red de la siguiente forma:

*“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”.*

También indica que debe haber hidrantes cerca de edificios públicos, hospitales, instalaciones deportivas, parkings... En resumen, que tiene que haber hidrantes repartidos por toda la red a una distancia inferior de 200m. Realizando un análisis espacial se observa que:

- Hay suficientes hidrantes en la mayor parte del sistema.
- Faltan hidrantes en Clot del Moro, Sagunto, Puerto de Sagunto, Polígono Sepes y Almardà.

#### ➤ Redes hidráulicas de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia y Puerto de Sagunto

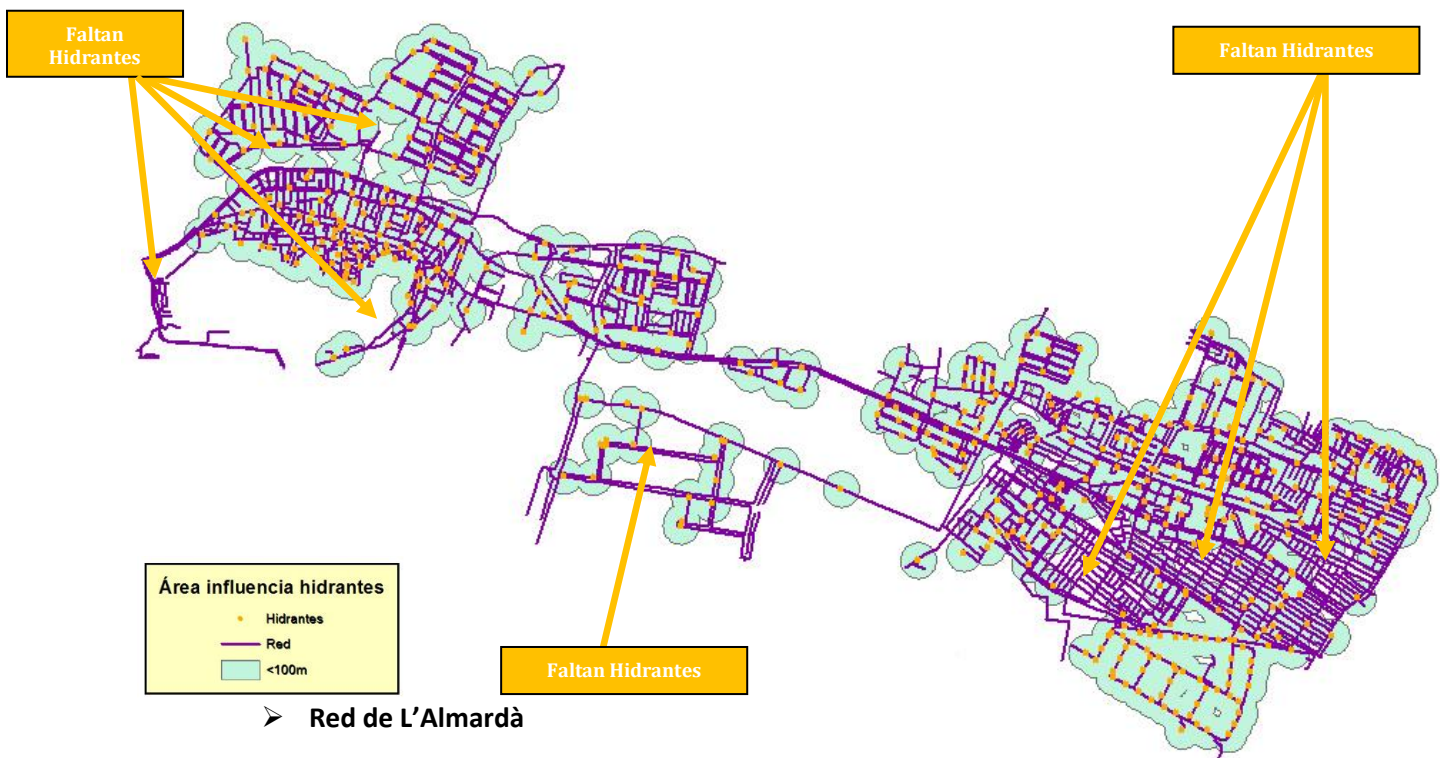


Figura 6-43. Área de influencia de los hidrantes existentes y lugares donde faltan hidrantes en Sagunto y Puerto de Sagunto

Para esta red faltan muy pocos hidrantes como se distinguen en la siguiente ilustración:

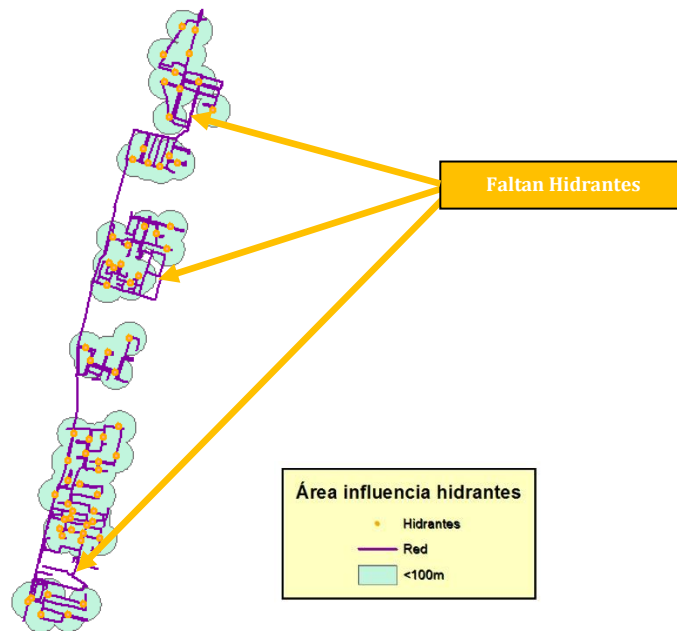


Figura 6-44. Área de influencia de los hidrantes existentes y lugares donde faltan hidrantes en L'Almardà

➤ **Red de Camí la Mar/Parc Sagunt**

Esta red tiene todos los hidrantes necesarios ya que como se observa las áreas de influencia de todos ellos se solapan:

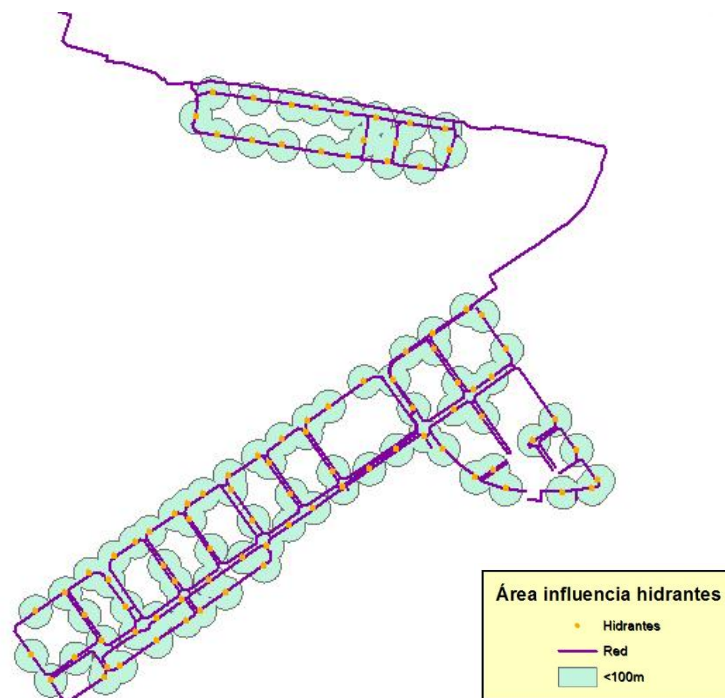


Figura 6-45. Área de influencia de los hidrantes existentes y lugares donde faltan hidrantes en Camí la Mar y Parc Sagunt

### 6.3.2 Comportamiento hidráulico ante incendio

Tal y como especifica la Norma, dos hidrantes consecutivos deberán de ser capaces de proporcionar un caudal de 16.6 l/s cada uno de ellos (o la mitad en caso de no cumplirse esta condición), no bajando nunca la presión de 10mca.

Para modelar esta situación se va a estudiar lo que pasa en los puntos más desfavorables de la red respecto a presiones mínimas.

➤ **Zona cercana al Castillo de Sagunto (Red hidráulica de Sagunto Centro Urbano)**

En la hora de máximo consumo, que se produce a las 9:00 las presiones en los hidrantes nunca bajan de 10mca por lo que la red funciona correctamente:



Figura 6-46. Comportamiento hidráulico ante incendio en la zona cercana al Castillo de Sagunto

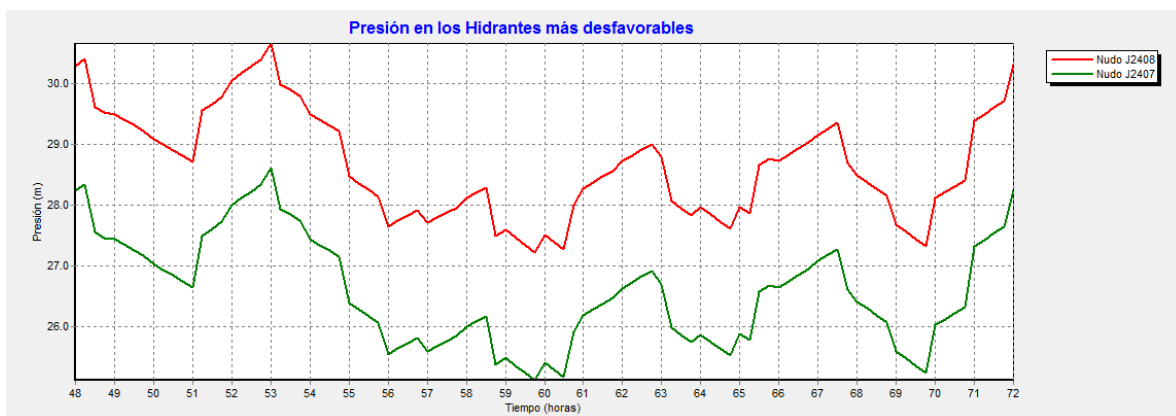


Figura 6-47. Presión en hidrantes cercanos en la zona más desfavorable cercana al Castillo

Como se observa las presiones mínimas rondan los 25mca. Además el suministro al resto de la población no se ve afectado porque el punto más crítico (que es único) tiene una presión mínima de 18mca, valor suficiente.

➤ **Zona cercana al Depósito Sepes (Red hidráulica del Puerto de Sagunto)**

Es la zona con menor presión de esta red. El siguiente análisis es para la situación de incendio en la que el bombeo de Sepes no actúa cuando la presión baja para la hora de máximo consumo:



Figura 6-48. Comportamiento hidráulico ante incendio en la zona cercana al Depósito Sepes



Figura 6-49. Presión en hidrantes cercanos en la zona más desfavorable cercana al Depósito Sepes

En este caso las presiones son puntualmente algo inferiores a 10mca en los hidrantes considerados durante un instante de tiempo, cosa que no tiene la mayor importancia.

**NOTA:** De todas formas lo normal es que si la presión baja más de lo normal el Bombeo Sepes se ponga en marcha y mantenga una presión a la salida de 21mca. Por lo tanto, bajo ninguna circunstancia esta situación es problemática.

➤ **Resto de zonas**

Tras analizar en Epanet las otras redes con mayores presiones estas condiciones, no se aprecia ningún otro problema. Se concluye que la red funciona bien bajo condiciones de incendio.

## 6.4 Conclusiones

Del análisis previo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

### ➤ **Funcionamiento en condiciones normales**

- Presiones excesivas en gran parte de la red, en especial en Sagunto Centro Urbano, Norte Palancia y parte baja del Puerto de Sagunto. Este es el problema principal que trae aparejado fugas y rendimientos volumétricos mejorables.
- Presiones bajas en zonas de cotas altas según la red considerada. Para Sagunto Centro Urbano el área cercana al Castillo y para el Puerto de Sagunto la parte superior del Polígono Sepes. Este problema es contrario al anterior y habrá que llegar a una solución válida para ambos.
- Existencia de pequeños tramos en los que la pérdida de carga es elevada y pueden ser cuellos de botella. Con esta configuración no constituyen un verdadero problema porque son de pequeña longitud y las presiones son más que suficientes.
- Velocidades relativamente bajas en las tuberías de distribución aunque esto no ocasiona problemas de calidad ya que el tiempo de permanencia del agua en la red es bajo.
- Suficiencia de la red en los polígonos Camí la Mar y Parc Sagunt debido a que son de nueva construcción, tienen buenas infraestructuras y una ocupación baja.
- Suficiencia de la red en L'Almardà ya que la tubería principal tiene un diámetro elevado para el caudal circulante. En verano la situación es algo más ajustada pero también funciona bien. A efectos prácticos la tipología de esta red es ramificada.
- Cuando se realizó el modelo se pudo comprobar que las mediciones de los caudalímetros no siempre son precisas, en especial para los caudalímetros de macrosectorización.
- En la Descripción de la Red se puso de manifiesto la existencia de tuberías susceptibles de sustitución como son las de fibrocemento y las de diámetro muy pequeño.
- Posibilidad de cambio en el funcionamiento general de las redes, sectorización y reducción de presiones.

### ➤ **Funcionamiento en condiciones de emergencia**

- En general buen funcionamiento ante rotura ya que existen configuraciones alternativas y la red es muy mallada.
- Buen funcionamiento ante incendio ya que se aseguran los caudales y presiones mínimas establecidos en la NBE-CPI/96.
- Faltan algunos hidrantes de incendios que tendrán que ser colocados para que se cumpla la condición de que la distancia máxima entre ellos sea de 200m.

## 7. PROPUESTA DE MEJORAS

Para solventar los problemas que se han puesto de manifiesto en el capítulo anterior se proponen diversas soluciones que buscan mejorar la eficiencia hidráulica, energética y de gestión de la red. Se pueden agrupar en medidas a corto plazo, medidas a medio-largo plazo y renovación de la red:

### ➤ **Mejoras en la red de distribución**

- ↑ Eficiencia hidráulica {
- Reducción de presiones mediante instalación de válvulas reductoras de presión. Disminución al mínimo de las presiones en las horas valle (incluido doble pilotaje)
  - Sectorización de las redes incluyendo caudalímetros y telegestión
  - Instalación de los hidrantes que faltan para cumplir la normativa de incendios
  - Comprobación/calibración del material hidráulico e instrumentación existente: Caudalímetros, válvulas, ventosas, medidores de presión...

- ↑ Gestión de la red ← • Implantación de un Sistema de Información Geográfica

### ➤ **Mejoras en la red de traída – Modificación del sistema hidráulico**

- ↑ Eficiencia energética {
- Bypass en la ETAP de la conducción Ø400 que alimenta a Camí la Mar-Parc Sagunt para evitar la impulsión a Depósito Cota 75 realizando suministro por gravedad
  - Nueva conducción Ø500 desde ETAP hasta tubería principal Ø500 que abastece al Puerto evitando la impulsión a Depósito Cota 75 realizando suministro por gravedad
  - Conexión de la red de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia a Depósito Cota 75. Suministro por gravedad a S1, S2, S5 y S6 y bombeo intermedio para S3 y S4

### **Renovación de la red**

- ↑ Eficiencia hidráulica ← • Renovación de tuberías de fibrocemento de bajo calibre

Como se observa existen numerosas medidas que pueden contribuir a mejorar cómo trabaja el sistema y su eficiencia.

Las mejoras en la red de distribución son más sencillas de llevar a cabo porque sus objetivos son más precisos y la gestión depende sólo de Aguas de Sagunto y del Ayuntamiento de Sagunto.

En cuanto a las mejoras de la red de traída presentan mayor complicación de ejecución ya que involucran a Aguas de Valencia, al Ayuntamiento de Sagunto, a la Estación Potabilizadora y a la Entidad de Saneamiento de la Generalitat Valenciana. Además algunas de ellas suponen un cambio drástico del funcionamiento de las distintas redes hidráulicas.



## 7.1 Mejoras en la red de distribución

### 7.1.1 Reducción de presiones mediante válvulas reductoras de presión

Uno de los problemas principales de este abastecimiento son las presiones excesivas en gran parte del sistema, en especial en Sagunto Centro Urbano, Norte Palancia y Puerto de Sagunto. Es un objetivo básico reducirlas para dar un servicio adecuado a los consumidores y aumentar el rendimiento volumétrico. Si no se modifica el sistema hidráulico la mejor forma para reducir presiones es incluir válvulas reductoras de presión (VRP) que limiten aguas abajo las presiones.

Las VRP incluidas en esta medida son totalmente compatibles con la sectorización que se propondrá en el siguiente apartado de forma que pueden colocarse en el sistema tanto si se realiza la sectorización propuesta como si no. Cabe recordar que para Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia la sectorización hidráulica está prácticamente terminada a falta de la instrumentación.

En la red de L'Almardà no hay que colocar ninguna VRP porque ya hay una a la entrada que funcionando correctamente limita las presiones a lo que se desee. Tampoco hay que colocar nada en la red de Camí la Mar/Parc Sagunt porque se reducirán presiones mediante un bypass en la ETAP que evite la presión adicional del bombeo al Depósito Cota 75.

Se propone la colocación de cuatro válvulas reductoras de presión:

- VRP a la entrada del Sector S1 de Sagunto Centro Urbano
  - VRP a la entrada del Sector S2 de Sagunto Centro Urbano
  - VRP a la entrada de Norte Palancia
  - VRP a la entrada del Puerto de Sagunto en rotonda entre Fausto Caruana, Avenida de la Hispanidad y CV-320
- } Red de Sagunto CU y Norte Palancia  
 } Red del Puerto de Sagunto

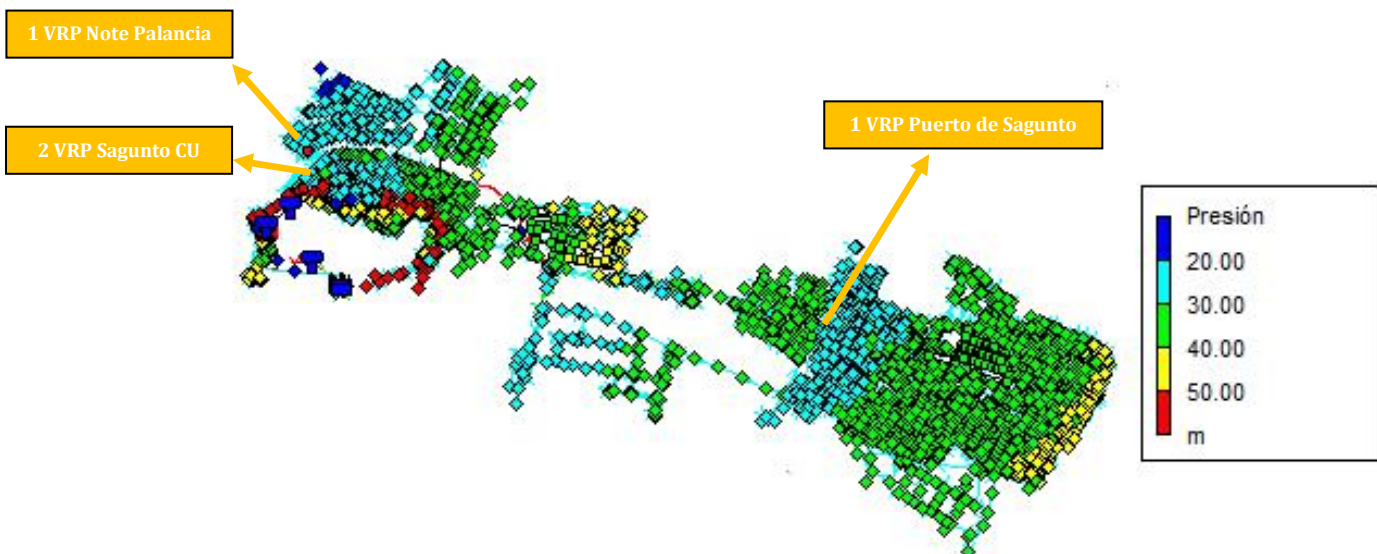


Figura 7-1. Presión en las redes de Sagunto Centro Urbano y Puerto de Sagunto  
 Sistema actual + Válvulas Reductoras de Presión – 2 agosto de 2013

➤ **Válvula reductora de presión en S1 de Sagunto Centro Urbano**

Se propone que esta válvula reductora de presión se encuentre situada en la rotonda que hay cerca da la Plaza Pedres Blaves y la Calle Gilet en la tubería Ø200 que alimenta a toda esta zona:



Figura 7-2. Emplazamiento de la VRP a la entrada de S1 en Sagunto Centro Urbano  
 Rotonda cercana a la Plaza Pedres Blaves

Tiene como objeto limitar las presiones que se dan en el sector S1 del casco urbano siendo éste el que presenta menor cota. Para que se reduzcan las presiones en todo S1, el sector debe estar aislado de las demás zonas para que la entrada de agua sólo se produzca por la válvula.

Se establece una presión de tarado alrededor de 25mca que asegura una presión mínima en la mayor parte del sector superior a 25mca y siempre mayor que 20mca. Estos valores cumplen con lo indicado en el PGOU y con la tipología de edificios e instalaciones interiores del centro urbano.

En la práctica es interesante contar con doble pilotaje y un programador horario que permita reducir esa consigna por la noche. Esto se debe a que en periodo nocturno el consumo es menor y las presiones suben al haber menos pérdida de carga.

De Epanet se pueden extraer los siguientes parámetros hidráulicos de dimensionamiento:

Tabla 7-1. Parámetros hidráulicos para la elección de la VRP

VRP	Ø tubería (mm)	P entrada máxima	P entrada mínima	P tarado	Q max	Q min
S1	200	59.5mca	57.5mca	25mca	15lps	3lps

Tras un estudio previo, se propone la siguiente válvula reductora de presión:

Tabla 7-2. Posible válvula seleccionada

Ø válvula (mm)	Ø válvula (")	Tipo	Apertura mínima	V max (m/s)	CAVITACIÓN
100	4	Apertura en V	20% > 10%	1.91 < 5	NO

➤ **Válvula reductora de presión en S2 de Sagunto Centro Urbano**

Se propone que esta válvula reductora de presión se encuentre situada en la Plaza Pedre Blaves por la zona cercana a la Calle Emilio Llopis, en la tubería Ø200 que alimenta a toda esta zona:



Figura 7-3. Emplazamiento de la VRP a la entrada de S2 en Sagunto Centro Urbano  
 Plaza Pedre Blaves/Calle Emilio Llopis

Tiene como objeto limitar las presiones que se dan en el sector S2 del casco urbano siendo éste el de cota intermedia. Para que se reduzcan las presiones en todo S2, el sector debe estar aislado de las demás zonas para que la entrada de agua sólo se produzca por la válvula.

Se establece una presión de tarado alrededor de 25mca que asegura una presión mínima en la mayor parte del sector superior a 25mca y siempre mayor que 20mca. Estos valores cumplen con lo indicado en el PGOU y con la tipología de edificios e instalaciones interiores del centro urbano.

En la práctica es interesante contar con doble pilotaje y un programador horario que permita reducir esa consigna por la noche. Esto se debe a que en periodo nocturno el consumo es menor y las presiones suben al haber menos pérdida de carga.

De Epanet se pueden extraer los siguientes parámetros hidráulicos de dimensionamiento:

Tabla 7-3. Parámetros hidráulicos para la elección de la VRP

VRP	Ø tubería (mm)	P <sub>entrada máxima</sub>	P <sub>entrada mínima</sub>	P <sub>tarado</sub>	Q <sub>max</sub>	Q <sub>min</sub>
S2	200	59.5mca	57mca	25mca	25lps	9lps

Tras un estudio previo, se propone la siguiente válvula reductora de presión:

Tabla 7-4. Posible válvula seleccionada

Ø válvula (mm)	Ø válvula (")	Tipo	Apertura mínima	V <sub>max</sub> (m/s)	CAVITACIÓN
150	6	Apertura en V	25% > 10%	1.45 < 5	NO

➤ **Válvula reductora de presión en Norte Palancia**

Se propone que esta válvula reductora de presión se encuentre situada en la primera rotonda de Norte Palancia, a la salida del primer puente, en la tubería de  $\varnothing 300$ :



Figura 7-4. Emplazamiento de la VRP a la entrada de Norte Palancia  
 Primera rotonda de Norte Palancia a la salida del primer puente

Tiene como objeto limitar las presiones que se dan en Norte Palancia. Para que sea efectiva la zona debe estar aislada de las demás de forma que la entrada de agua sólo se produzca por la válvula.

Se establece una presión de tarado alrededor de 25mca que asegura una presión mínima en la mayor parte del sector superior a 25mca y siempre mayor que 18mca. Estos valores cumplen con lo indicado en el PGOU y con la tipología de edificios e instalaciones interiores en Norte Palancia.

En la práctica es interesante contar con doble pilotaje y un programador horario que permita reducir esa consigna por la noche. Esto se debe a que en periodo nocturno el consumo es menor y las presiones suben al haber menos pérdida de carga.

De Epanet se pueden extraer los siguientes parámetros hidráulicos de dimensionamiento:

Tabla 7-5. Parámetros hidráulicos para la elección de la VRP

VRP	$\varnothing$ tubería (mm)	$P_{\text{entrada máxima}}$	$P_{\text{entrada mínima}}$	$P_{\text{tarado}}$	$Q_{\text{max}}$	$Q_{\text{min}}$
Norte Palancia	300	61mca	58mca	25mca	11.5lps	3.5lps

Tras un estudio previo, se propone la siguiente válvula reductora de presión:

Tabla 7-6. Posible válvula seleccionada

$\varnothing$ válvula (mm)	$\varnothing$ válvula (")	Tipo	Apertura mínima	$V_{\text{max}}$ (m/s)	CAVITACIÓN
100	4	Apertura en V	25% > 10%	1.52 < 5	NO

➤ **Válvula reductora de presión del Puerto de Sagunto**

Se propone que esta válvula reductora de presión se encuentre situada en la rotonda existente entre la Avenida Fausto Caruana, Avenida de la Hispanidad y CV-320 en la tubería de  $\varnothing 500$  que alimenta al Puerto de Sagunto:

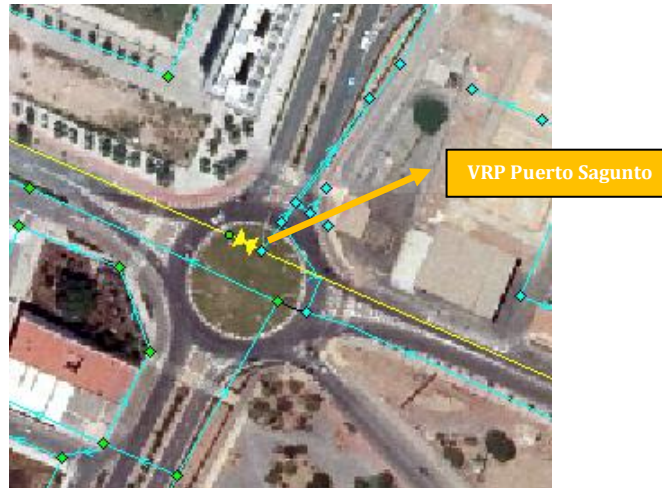


Figura 7-5. Emplazamiento de la VRP del Puerto de Sagunto  
Rotonda Fausto Caruana Avda. Hispanidad y CV-320

Busca reducir las presiones máximas que existen en el Puerto de Sagunto pero con el condicionante de que en la zona próxima a la playa no sean demasiado bajas porque hay edificios altos que no cuentan con grupos de presión y hay que garantizar el servicio.

Para que la reducción de presiones se realice de forma satisfactoria hay que aislar la red aguas abajo de la válvula respecto aguas arriba. La carretera CV-320 marca ese aislamiento. Para ello hay que:

- **Abrir conexión  $\varnothing 500$  que se dirige hacia el Polígono Sepes a la altura de la rotonda de Sepes** → El objetivo es el de alimentar a toda la zona que queda aguas arriba de CV-320 a partir de esta conducción que parte de  $\varnothing 500$  principal, atraviesa el Polígono Sepes y conecta con  $\varnothing 300$  en la rotonda donde estará ubicada la VRP.



Figura 7-6. Apertura de conexión al Polígono Sepes por  $\varnothing 500$   
Rotonda de Sepes

- **Cerrar conexiones de la red aguas arriba de CV-320 con aguas abajo** → El objetivo es que toda el agua que abastece a lo que queda por debajo de CV-320 pase por la válvula reductora de presión y no haya caminos alternativos por los que se pueda redirigir el flujo e incrementar la presión. Para ello hay que:
  - Cerrar Ø300 en Rotonda Fausto Caruana / Avda. Hispanidad y CV-320
  - Cerrar Ø150 en Rotonda Ronda Buenos Aires / Calle Ramón y Cajal
  - Cerrar PE250 en Ausias March / Calle Diputación



Figura 7-7. Cierre Ø300  
 Rotonda Fausto Caruana, Avda. Hispanidad y CV-320



Figura 7-8. Cierre Ø150  
 Ronda Buenos Aires y Calle Ramón y Cajal



Figura 7-9. Cierre PE250  
 Ausias March/Calle Diputación

Se establece una presión de tarado entorno a 25mca que garantiza disminuir de media 12mca la presión en la red del Puerto de Sagunto, sin bajar de 25mca en ningún lugar. Además se garantiza tener una presión superior a 35mca en toda la parte cercana a la playa. No se originarán problemas en edificios altos que no dispongan de grupos de presión.

Es interesante contar con doble pilotaje y un programador horario que permita reducir esa consigna por la noche. Esto se debe a que en periodo nocturno el consumo es menor y las presiones suben al haber menos pérdida de carga.

De Epanet y con la configuración de red que se ha explicado se pueden extraer los siguientes parámetros hidráulicos de dimensionamiento:

Tabla 7-7. Parámetros hidráulicos para la elección de la VRP

VRP	Ø tubería (mm)	P <sub>entrada máxima</sub>	P <sub>entrada mínima</sub>	P <sub>tarado</sub>	Q <sub>max</sub>	Q <sub>min</sub>
Puerto Sagunto	500	38mca	34mca	25mca	145lps	70lps

Tras un estudio previo, se propone la siguiente siguientes alternativas para reducir presiones:

Tabla 7-8. Posibles válvulas seleccionadas (alternativas)

Ø válvula (mm)	Ø válvula (")	Tipo	Apertura mínima	V <sub>max</sub> (m/s)	CAVITACIÓN
1 VRP Ø 400	1 VRP Ø 16"	Apertura en V	35% > 10%	1.15 < 5	NO
2 VRP en paralelo Ø300	2 VRP Ø 12"	Apertura en V	35% > 10%	1.02 < 5	NO

### 7.1.2 Sectorización

Para poder controlar adecuadamente el agua fugada en una red se suele recurrir a la sectorización que consiste en subdividirla en sectores más pequeños en los que se conocen los caudales entrantes. De esta forma se pueden comparar los caudales mínimos nocturnos todos los días y si se observa una tendencia creciente es posible que en ese sector haya un caudal incontrolado que suele ser una fuga o un robo.

Cuando con este método se intuye que hay una fuga en un sector un equipo de detección de fugas se desplaza a la zona para ubicarla mediante geófonos. Posteriormente será reparada.

Se han establecido un total de 37 sectores aunque la práctica, algunos de ellos se pueden unir en otros más grandes y reducir el número.

Las características que deben cumplir los sectores son:

- Respeten la topología de la red y de la ciudad.
- Respeten la orografía del terreno.
- Tengan en cuenta la sectorización previa existente.
- Tengan en cuenta la reducción de presiones planteada previamente.
- Sean homogéneos y se respeten los escalones de presión para que ésta sea lo más uniforme posible dentro de cada sector.
- Tengan una o dos entradas. En este caso se ha optado por una única entrada para evitar problemas de flujo inverso donde se colocará un contador tipo Woltman ( $\emptyset \leq 150$ ) lo que reducirá el sobrecoste en la inversión. No se prevé colocar caudalímetros electromagnéticos porque ya hay colocados varios en diferentes lugares comentados y con ello es suficiente.
- La longitud de tuberías en el sector no sea excesivamente grande y los equipos de detección de fugas puedan recorrerlos máximo en un par de días. Es deseable que no superen los 10km aunque se han diseñado sectores con mayores longitudes en los que el recorrido es fácil.
- El nivel de presiones sea muy parecido después de sectorizar. La reducción de presiones no debe hacerse en las tuberías sino en las válvulas reductoras de presión. Para ello es útil comprobar los tramos que tienen una pérdida de carga unitaria mayor de 5m/km. El servicio no puede verse comprometido porque se sectorice. No superar una velocidad de 1.5m/s.
- Repartir equitativamente el caudal entre las distintas conducciones principales para que la red no se encuentre sobrecargada en algunas zonas.
- Es necesario comprobar que el tiempo de permanencia en los sectores sea adecuado y no supere en general las 48 horas.

➤ **Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia**

Comentar que esta red ya está prácticamente sectorizada a falta de operar algunas válvulas y la instrumentación. Se proponen 6 sectores:

Tabla 7-9. Sectores propuestos para Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Sector	Localización	Entrada	Calle Entrada	Ø <sub>tubería</sub> (mm)	Longitud (m)
S1	Sagunto CU	J1611	Plaza Pedres Blaves/Gilet 83	200	6,896
S2	Sagunto CU	J1607	Plaza Pedres Blaves /Gilet 75	200	13,627
S3	Sagunto CU	J4464	Gilet, 73	200	11,026
S4	Clot del Moro y PE160	J2279	Gilet, 87 Donde comienza PE160	160	2,971
S5	Norte Palancia	J126	Alcalde Blasco	300	12,410
S6	Norte Palancia	J5609	Pianista Mario	300	13,386

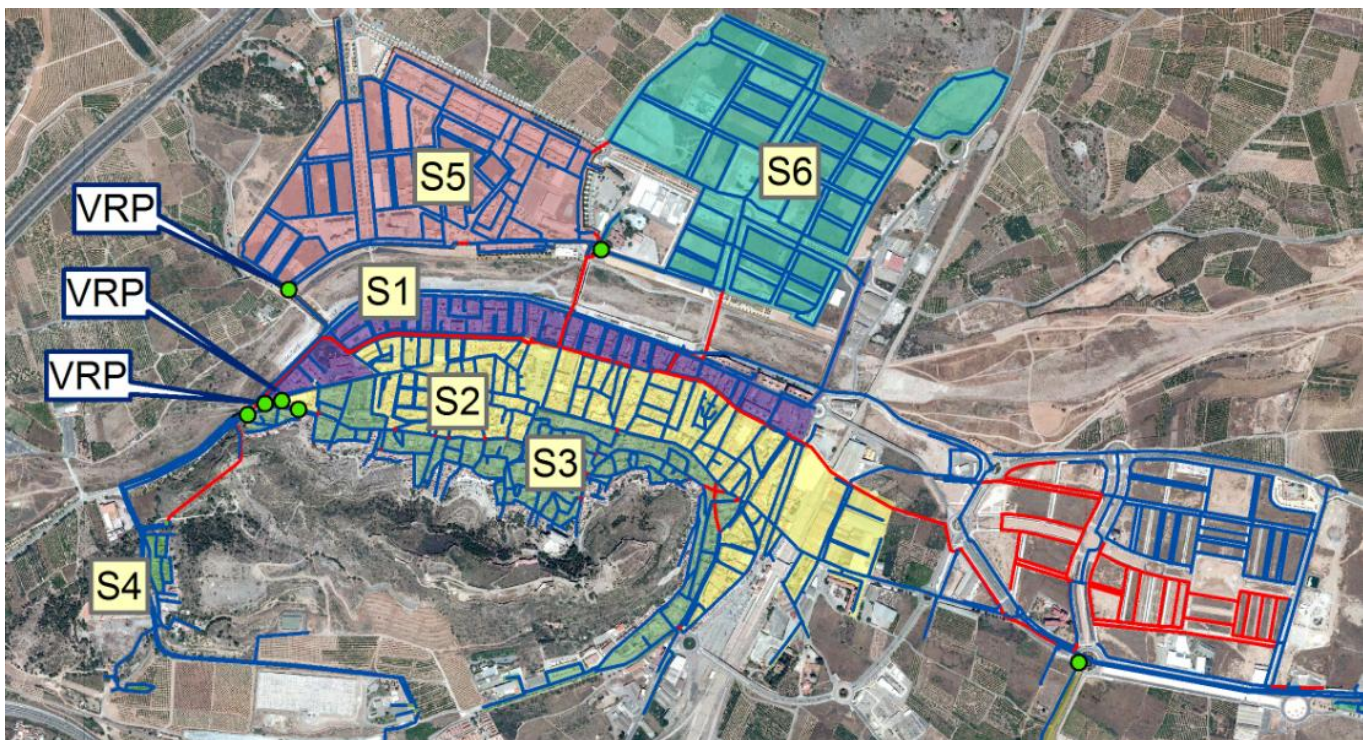


Figura 7-10. Sectores propuestos para la red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia  
 (Rojo conducciones cortadas o proyectadas)

Los sectores S1, S2 y S3 se encuentran ubicados en el casco urbano y tienen conducciones de entrada Ø200 situadas en las calles Sants de la Pedra, Emilio Llopis y Gilet respectivamente. Esta forma de sectorizar respeta los escalones de presión que se generan por el incremento de cotas conforme la zona está más próxima al Castillo de Sagunto.

El sector S3 se encuentra más arriba y es el que menores presiones tiene. Según el sistema de funcionamiento actual impone que el Depósito Cota 110 esté a una cota tan elevada haciendo que en



el resto de la población las presiones sean muy elevadas si no se colocan válvulas reductoras de presión tal y como hemos visto.

Hay sectores que se alimentan de otros, de forma que el caudal que se registre a la entrada del sector inicial aguas arriba contabilizará el agua de ese sector y la de los de aguas abajo:

- S2 además alimenta a las conducciones operativas en “Fusión”
- S3 además alimenta a S4
- S5 además alimenta a S6

S4 se encuentra en el barrio de Clot del Moro y se alimenta por una tubería PE160/FC100 que parte de la Calle Cristo Rey. También presenta una pequeña parte con cotas muy elevadas que requieren una altura piezométrica en cabecera elevada originándose el mismo problema que para S3.

Los sectores S5 y S6 se encuentran en Norte Palancia. En la actualidad conforman un único sector pero cerrando adecuadamente las válvulas de corte se pueden dividir. Esto es necesario porque aunque la ocupación es baja la longitud total de tuberías es muy elevada y no es operativo tener un único Macrosector que sume más de 25km.

La red que no está incluida en la sectorización es la urbanización “Fusión” y aún no está en operativa. Tal y cómo está conectada ahora formaría parte de la red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia aunque esto puede no ser definitivo. Las tuberías que sí están conectadas y que aparecen en azul se alimentan del agua procedente de S2.

Para los distintos sectores se tienen los siguientes caudales de entrada:

Tabla 7-10. Caudales de entrada medios y máximos en los sectores de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia  
25 de noviembre de 2013

Sector	Q medio (lps) Sin VRP	Q máximo (lps) Sin VRP	Q medio (lps) Con VRP	Q máximo (lps) Con VRP
S1	10.87	15.74	9.17	14.08
S2	23.16	30.41	17.36	24.81
S3	8.89	11.69	8.89	11.69
S4	0.59	0.71	0.59	0.71
S5	6.75	11.69	6.38	11.32
S6	1.40	2.21	1.18	2.00

El caudal de entrada a S2 es elevado porque ese sector tiene una elevada longitud de tubería y además alimenta a las conducciones operativas de “Fusión”.

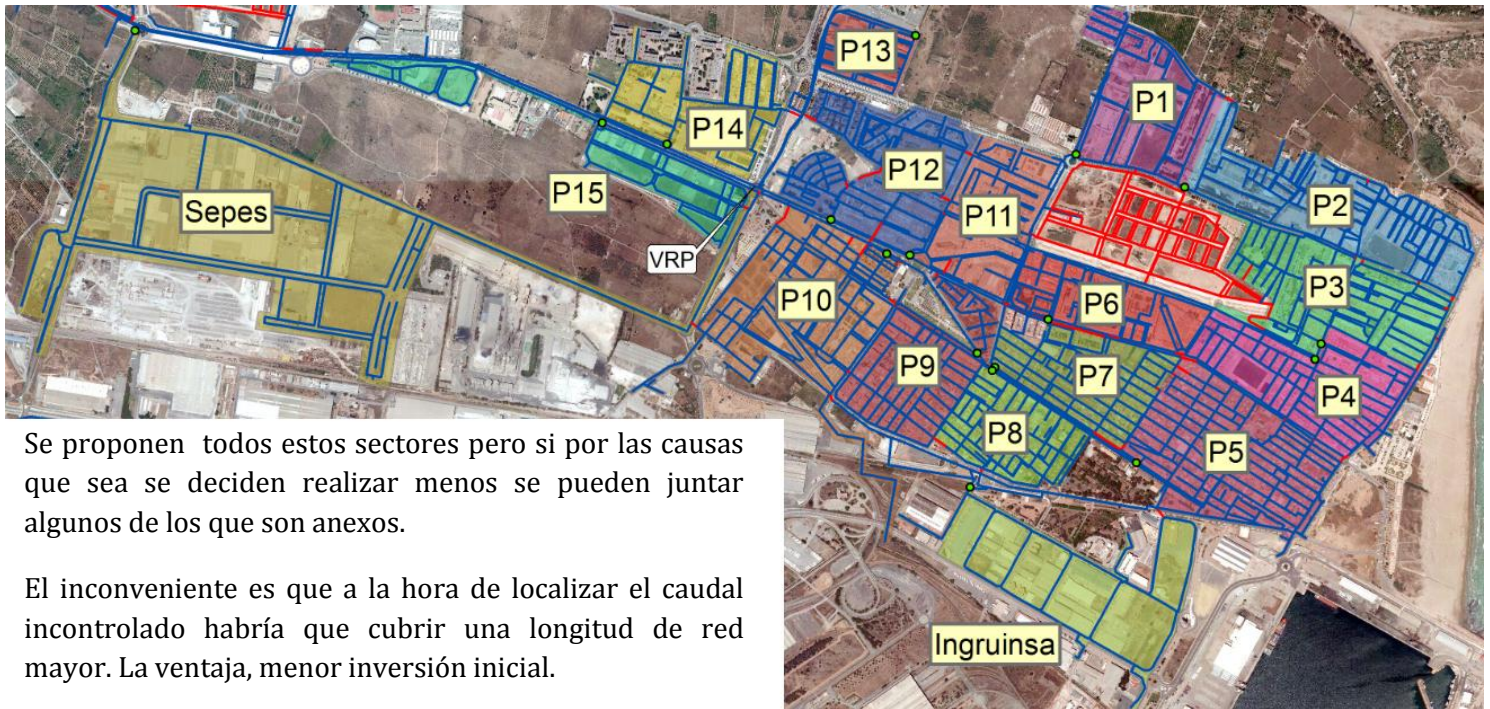
Los caudales de entrada a los sectores S5 y S6 son bajos porque Norte Palancia tiene muchas zonas que aún no están ocupadas.

➤ Puerto de Sagunto

Exceptuando Polígono Inguinsa, Polígono Sepes y Urbanización Churruca esta red no está sectorizada. Se proponen 17 sectores:

Tabla 7-11. Sectores propuestos para la red del Puerto de Sagunto

Sector	Localización	Entrada	Calle entrada	Ø <sub>tubería</sub> (mm)	Longitud (m)
P1	Puerto	J4935	Sierra Javalambre, 1	150	6,160
P2	Puerto	J5087	Venta Penagal, 1	150	10,988
P3	Puerto	J901	Plaza Mare Nostrum	150	8,805
P4	Puerto	J900	Virgen del Carmen, 35	100	7,970
P5	Puerto	J4369	Avd. Nou Octubre, 38	300	11,374
P6	Puerto	J5121	Camp Morvedre, 108	104	4,667
P7	Puerto	J5040	Avd. Nou Octubre, 118	141	6,236
P8	Puerto	J5039	Avd. Nou Octubre, 53	141	6,023
P9	Puerto	J5022	Nou Octubre/Fleming	150	7,039
P10	Puerto	J1337	Avd. Hispanidad, 18	220.4	11,151
P11	Puerto	J1088	Avd. Hispanidad, 6	300	5,408
P12	Puerto	J6145	Avd. Hispanidad, 46	200	7,965
P13	Puerto	J4813	José Doñate	300	3,546
P14	Puerto	J4784	Fausto Caruana, 22	150	4,865
P15	Puerto	J1499	Fausto Caruana, 25	150	5,783
Inguinsa	Polígono	J5155	Talleres	200	4,029
Sepes	Polígono	J189	Avd. Hispanidad, 74	300	11,952



Se proponen todos estos sectores pero si por las causas que sea se deciden realizar menos se pueden juntar algunos de los que son anexos.

El inconveniente es que a la hora de localizar el caudal incontrolado habría que cubrir una longitud de red mayor. La ventaja, menor inversión inicial.

Figura 7-11. Sectores propuestos para la red del Puerto de Sagunto (Rojo conducciones cortadas o proyectadas)

Cabe destacar que la urbanización Churruca ya no es un sector en sí mismo, sino que forma parte de P12. La instrumentación existente puede ser aprovechada en otro sector.

Hay sectores que se alimentan de otros, de forma que el caudal que se registre a la entrada del sector inicial aguas arriba contabilizará el agua de ese sector y la de los de aguas abajo:

- P1 además alimenta a P2
- P5 además alimenta a Inguinsa
- P11 además alimenta a P4 y P3
- Sepes además alimenta a P14 y P15

Las entradas de agua a las diferentes zonas se han propuesto para que los caudales se repartan homogéneamente en las conducciones principales y que no se sobrecarguen. Esto se puede comprobar haciendo un análisis de la pérdida de carga unitaria en el que no se superan 5mca/km.

El sistema sigue funcionando a la perfección en cuanto a todos los parámetros analizados. Las presiones se mantienen, las velocidades son correctas y el tiempo de permanencia es adecuado.

La red que aparece en rojo es la urbanización “Sup 2 Est” y que aún no está operativa. Cuando lo esté constituirá un sector independiente.

Con esta configuración para los distintos sectores se tienen los siguientes caudales de entrada:

Tabla 7-12. Caudales de entrada medios y máximos en los sectores del Puerto de Sagunto  
2 agosto de 2013

Sector	Entrada	Q medio (lps)	Q máximo (lps)	Q medio (lps)	Q máximo (lps)
		Sin VRP	Sin VRP	Con VRP	Con VRP
P1	J4935	12.46	14.72	11.18	13.76
P2	J5087	8.56	10.17	7.74	9.55
P3	J901	12.05	15.49	11.37	14.97
P4	J900	10.89	13.94	10.25	13.45
P5	J4369	23.70	29.25	22.29	28.11
P6	J5121	7.21	9.40	6.82	9.11
P7	J5040	6.21	7.69	5.69	7.30
P8	J5039	9.32	7.94	5.85	7.58
P9	J5022	7.59	9.63	7.04	9.21
P10	J1337	10.77	13.62	9.89	12.96
P11	J1088	29.36	37.48	27.50	36.06
P12	J6145	8.81	11.34	8.20	10.88
P13	J4813	1.16	1.21	0.90	1.01
P14	J4784	7.68	10.27	7.71	10.30
P15	J1499	2.11	2.56	2.14	2.58
Inguinsa	J5155	10.42	14.22	10.08	13.95
Sepes	J189	27.49	36.21	27.65	36.35

➤ **Camí la Mar y Parc Sagunt**

Aquí no se propone una sectorización tan al detalle, sólo controlar los caudales de entrada en los dos polígonos industriales porque la ocupación es baja y la red es nueva con rendimientos muy buenos. Los sectores son los siguientes:

Tabla 7-13. Sectores propuestos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt

Sector	Entrada	$\varnothing_{\text{tubería}}$ (mm)	Longitud (m)
Camí la Mar	J90	141	4,092
Parc Sagunt	J5428	250	16,182



Figura 7-12. Sectores propuestos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt  
 (Rojo conducciones cortadas o proyectadas)

Según la estimación que se propuso a la hora de modular la demanda de estas zonas los caudales de entrada son los siguientes:

Tabla 7-14. Caudales estimados de entrada medios y máximos para Camí la Mar y Parc Sagunt

Sector	Entrada	Q medio (lps)	Q máximo (lps)
Camí la Mar	J90	0.40	1.15
Parc Sagunt	J5428	8.10	32.40

No obstante cabe recordar que estas infraestructuras están dimensionadas y construidas para poder trasegar caudales considerablemente mayores.

➤ **L'Almardà**

Esta red en parte ya está sectorizada porque se conocen los caudales entrantes en L'Almardà Sur, L'Almardà Norte y algunas urbanizaciones.

Tabla 7-15. Macrosectores existentes de L'Almardà

Sector	Entrada	Calle Entrada	Ø <sub>tubería</sub> (mm)	Longitud (m)
L'A Sur	J5453	Abajo Avd. Palmera	200	10,300
L'A Norte	J5474	Arriba Avd. Palmera	220.4	16,025

Para mejorar lo existente se pueden establecer 12 sectores hidráulicos para cada una de las urbanizaciones gestionadas por Aguas de Sagunto:

Tabla 7-16. Sectores propuestos para la red de L'Almardà

Sector	Localización	Entrada	Calle Entrada	Ø (mm)	Longitud (m)
A2	L'A Sur	J5507	Europa / Tomello	150	1,355
<b>A1 (Gato Montés)</b>	L'A Sur	J5503	Europa / Tamarindos	150	2,361
A3	L'A Sur	J5492	Europa / Muntanyars	150	1,106
B1	L'A Sur	J5486	Gavines	141	1,086
B2	L'A Sur	J5481	Europa / Rajada	96.8	1,107
B3	L'A Sur	J2801	Europa / Palmera	141	2,258
D2	L'A Norte	J5513	Europa / Torrent	141	2,316
<b>E1 (Corinto)</b>	L'A Norte	J5538	Europa / Corinto	141	2,648
E3	L'A Norte	J2643	Pasado Calle Cuenca	96.8	2,541
F1	L'A Norte	J5570	Europa / Salinas	96.8	1,901
F3	L'A Norte	J5580	Teuladí	96.8	2,334
G2	L'A Norte	J5596	Inicio Cisne	200	2,111



En este caso los sectores tienen una longitud de tubería total menor que la habitual. Esto es justificable porque ya está configurada sectorialmente y en general sólo existe una entrada por urbanización y la red es dispersa. Los caudales entrantes para el día 2 de agosto de 2013 son:

Tabla 7-17. Sectores propuestos para la red de L'Almardà

Sector	Entrada	Q medio (lps)	Q máximo (lps)
A2	J5507	1.50	1.99
<b>A1 (Gato Montés)</b>	J5503	2.64	3.52
A3	J5492	0.93	1.18
B1	J5486	1.35	1.57
B2	J5481	0.56	0.63
B3	J2801	0.84	0.91
D2	J5513	0.96	1.68
<b>E1 (Corinto)</b>	J5538	2.62	4.81
E3	J2643	0.38	0.58
F1	J5570	1.25	2.26
F3	J5580	1.32	2.36
G2	J5596	0.81	1.40

Figura 7-13. Sectores propuestos L'Almardà

➤ **Contadores y telegestión de la sectorización**

Además de sectorizar hidráulicamente hay que dotar a la infraestructura del material hidráulico y la instrumentación necesarios para poder controlar telemáticamente la información.

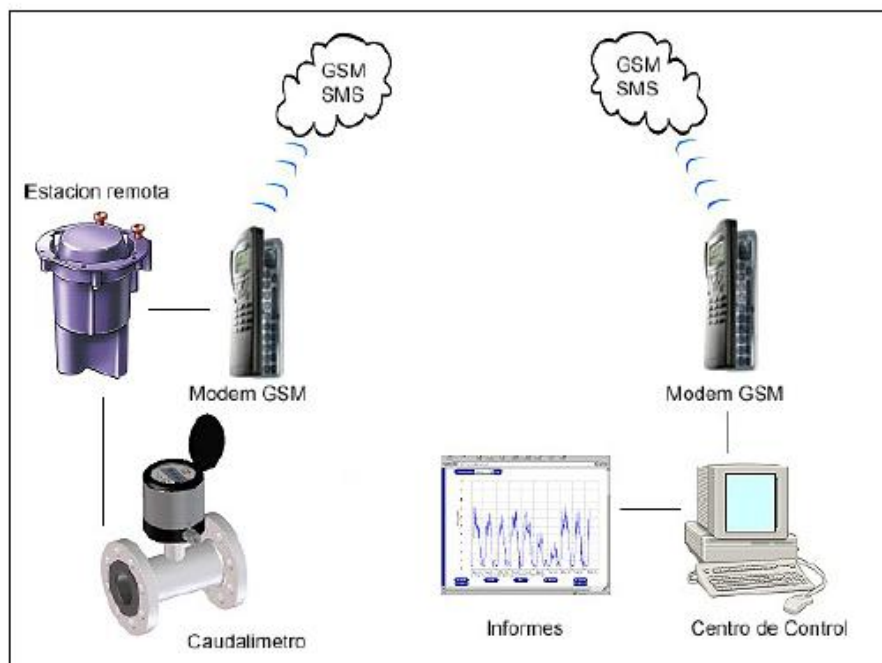
Como mínimo, para poder medir a la entrada de cada sector debe haber:

- Contador tipo Woltman
- Contador de impulsos
- Manómetro y transductor de presión
- Elementos accesorios

Para que se pueda llevar a cabo la telegestión se tendrán que instalar:

- Equipos registradores (data-loggers) que almacenen la información y que funcionen de forma autónoma
- Tecnología GSM para realizar el envío de la información, permitiendo una lectura remota y la emisión de alarmas en el caso de cualquier anomalía en la red

El sistema enviará los datos a vía GSM a los distintos centros de control de la red de Aguas de Valencia.



*Funcionamiento de la telegestión de la sectorización*

### 7.1.3 Instalación de hidrantes de incendio

En el análisis de la situación actual se ha comentado que en general el sistema responde bien ante condiciones de incendio y existen muchos hidrantes en la mayor parte de la red. No obstante para cumplir con la normativa vigente es necesario colocar más en algunos lugares como Clot del Moro, Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia, Puerto de Sagunto, Polígono Sepes y L'Almardà.

#### ➤ Sagunto Centro Urbano, Norte Palancia y Clot del Moro

En esta zona la mayor parte de los hidrantes están instalados a excepción del barrio de Clot del Moro que no cuenta con ninguno y algunas zonas aisladas del casco urbano y Norte Palancia. Se propone la colocación de total de 9 hidrantes de incendio:

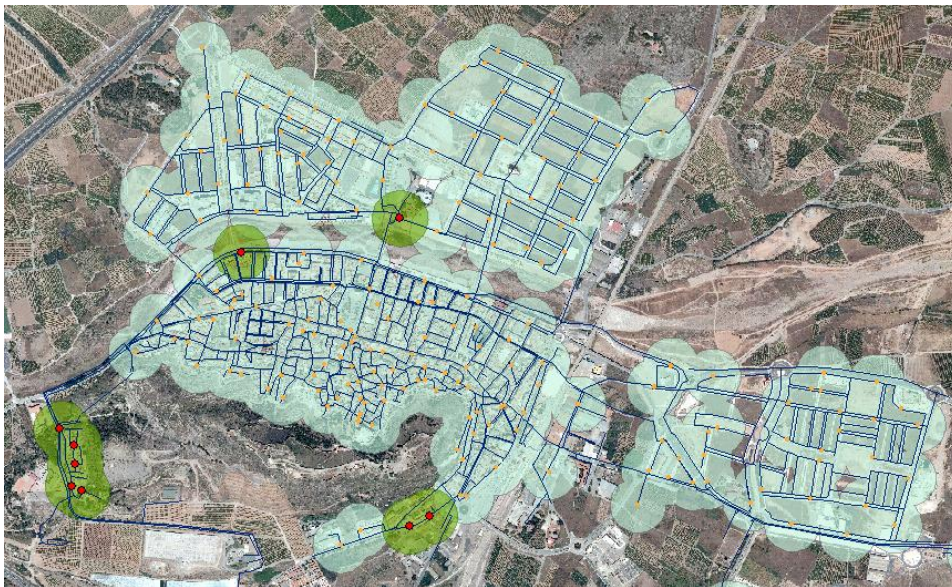


Figura 7-14. Hidrantes propuestos en Sagunto Centro Urbano y Clot del Moro (color rojo)

#### ➤ Polígono Sepes

Una de las zonas que tiene menos hidrantes instalados en relación a la longitud de red es el Polígono Sepes. Se propone la instalación de 18 hidrantes de incendio:



Figura 7-15. Hidrantes propuestos en Polígono Sepes (color rojo)

➤ **Puerto de Sagunto**

Por lo general en el Puerto de Sagunto hay instalados hidrantes suficientes pero hay algunas zonas en las que es necesario la colocación de algunos de ellos, especialmente en la zona sur y costera. Se propone la colocación de 31 hidrantes de incendios:

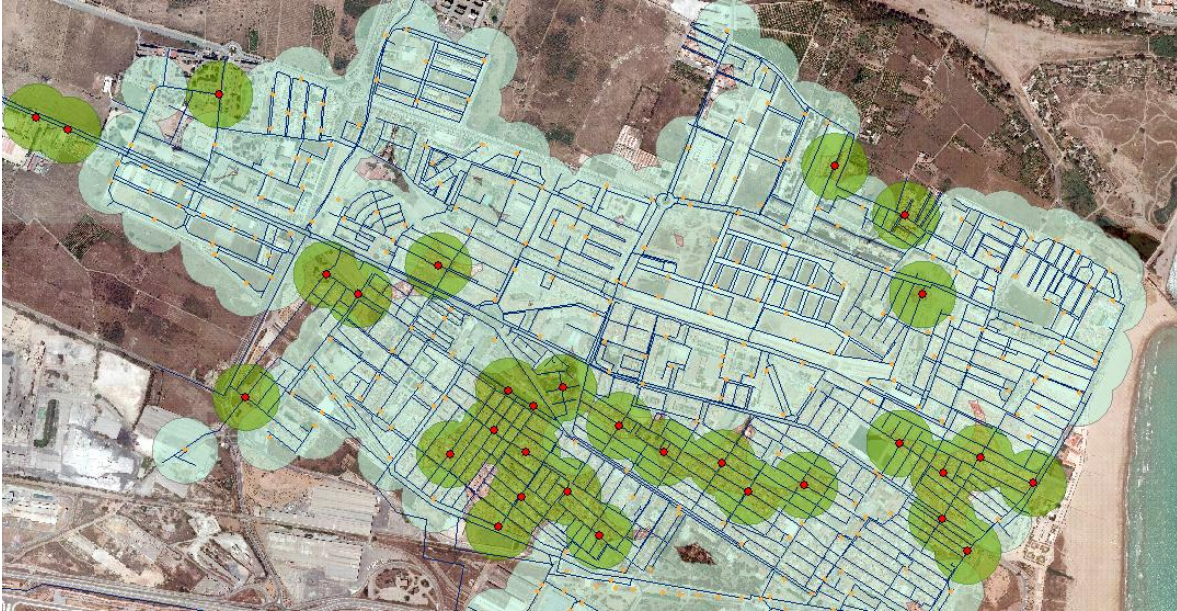


Figura 7-16. Hidrantes propuesto en el Puerto de Sagunto

➤ **L'Almardà**

Esta red también tiene un número alto de hidrantes pero para mejorarla y adecuarse a la normativa se establece colocar 9 hidrantes de incendio, 3 en L'Almardà Sur y 6 en la Almardà Norte:



Figura 7-18. Hidrantes propuestos en L'Almardà Sur



Figura 7-17. Hidrantes propuestos en L'Almardà Norte



#### **7.1.4 Comprobación/calibración del material hidráulico e instrumentación**

Esta es una medida que parece obvia y no lo es, básica y de muy bajo coste. Consiste en comprobar periódicamente que todo el material hidráulico e instrumentación funciona como es debido. De esta forma se evitarán incongruencias y se garantizará que la red se comporta como se espera. Para ello se propone la comprobación/calibración de:

- Caudalímetros / Contadores generales de macrosectorización
- Caudalímetros / Contadores generales de la ETAP
- Válvulas reductoras de presión (actualmente las existentes, en Parc Sagunt y L'Almardà)
- Válvulas de descarga a depósitos en especial las que tienen riesgo de cavitación como es el caso de la válvula de entrada a Depósito Cota 55
- Medidores de presión
- Válvulas de control de llenado
- Equipos de bombeo aunque no tengan un uso continuo
- Ventosas, ya que son básicas en funcionamiento normal y de emergencia
- Desagües
- Equipos de medición de cloro
- En general cualquier elemento mecánico, hidráulico, eléctrico, electrónico... que afecte al funcionamiento de la red y que sea susceptible de fallo

#### **7.1.5 Implantación de un Sistema de Información Geográfica**

Otra medida interesante y que puede mejorar la gestión de la red consiste en la implantación de un Sistema de Información Geográfico. No sólo debe indicar en detalle la ubicación de todos los elementos de la red sino que además debe ser una base de datos georreferenciada que permita consultar la información requerida.

Es muy importante que se realice un levantamiento topográfico de las zonas en las que el desconocimiento de la red es evidente. Un primer paso es comprobar el modelo matemático que se ha creado con la Ortofoto superpuesta.

También es fundamental ubicar espacialmente todas las acometidas y relacionarlas con los usuarios que están asociados a ellas. De esta forma se puede incorporar directamente los datos de la facturación (caudales registrados) al Modelo Matemático haciendo que la precisión de éste sea la máxima, de una forma muy sencilla y rápida.

## 7.2 Mejoras en la red de traída - Modificación del sistema hidráulico

### 7.2.1 Bypass en la ETAP de la conducción Ø400 que alimenta a Camí la Mar-Parc Sagunt

Una de las primeras conclusiones a las que se llegó cuando se analizó el funcionamiento de la red es que para abastecer a los polígonos industriales Camí la Mar y Parc Sagunt no es necesario impulsar el agua hasta el Depósito Cota 75. Existe una diferencia de cota más que suficiente para que el transporte se produzca por gravedad.

Se propone realizar un bypass en la ETAP que conecte la tubería Ø400 a la galería de agua filtrada, evitando pasar por el bombeo al Depósito Cota 75 y que abastece al Puerto de Sagunto y a Canet. De esta forma, de una tacada se cumplen dos objetivos:

- **Reducir presiones en Camí la Mar y Parc Sagunt:** Esto es más que evidente al reducir la altura piezométrica en cabecera de 78mca a 56mca. Se evita la presión adicional del bombeo cuando está funcionando y la altura piezométrica que marca el nivel del Depósito cuando no. Para Parc Sagunt esta mejora es inocua porque las presiones máximas ya se están controlando por una válvula reductora de presión, pero para la tubería de traída y para la red de Camí la Mar esta mejora reduce las presiones unos 22mca.
- **Reducir el volumen de agua a impulsar:** Esto se traduce en que el número de horas que estará activo el bombeo es menor porque el caudal que elevan las bombas es el prácticamente el mismo y el volumen que tiene que ser elevado al depósito es inferior, lo que supone un ahorro energético. También servirá para conectar por gravedad la nueva conducción Ø500.

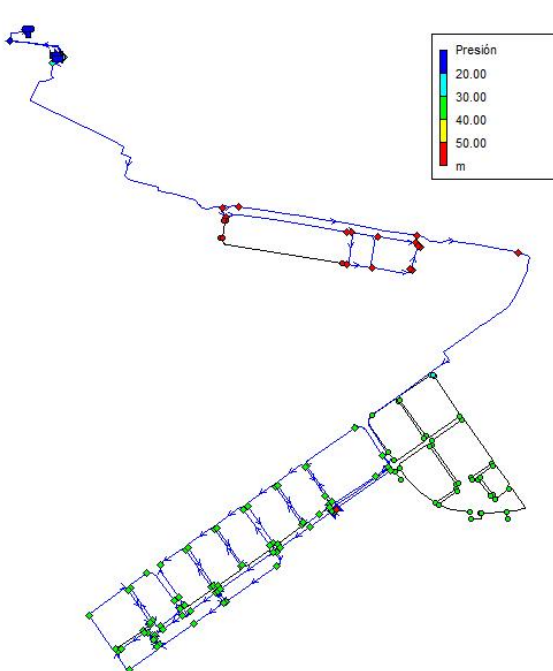


Figura 7-19. Presiones en Camí la Mar y Parc Sagunt en la situación actual

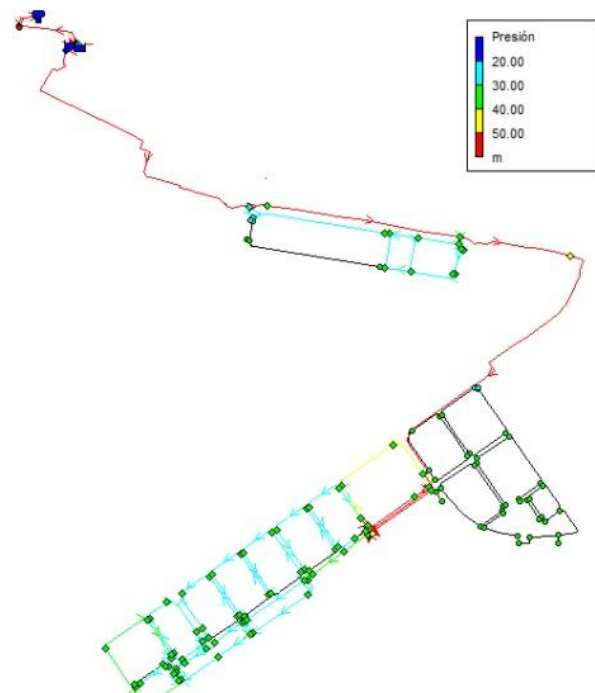


Figura 7-20. Presiones en Camí la Mar y Parc Sagunt tras el bypass planteado

### 7.2.2 Nueva conducción Ø500 desde ETAP hasta tubería principal Ø500 que abastece al Puerto

En el futuro está prevista la construcción de una nueva conducción Ø400 que transportará agua desde la salida de la impulsión a Depósito Cota 75 hasta nuevas urbanizaciones que en su mayoría aún no están construidas y que se encuentran entre Sagunto y el Puerto de Sagunto. Para mejorar el rendimiento energético de la ETAP y el funcionamiento hidráulico de la red se plantea la idea de modificar ligeramente la conducción mencionada.

La mejora que se propone en este estudio consiste en una tubería de fundición Ø500 en lugar de la de Ø400, que conecte la ETAP con la conducción principal Ø500 que abastece al Puerto de Sagunto en la rotonda entre Avda. Abogado Fausto Caruana y Avda. del Cabanyal. En este caso la tubería tomará el agua directamente de la galería de agua filtrada de la ETAP y no de la salida de la impulsión y tendrá una longitud de 1900m.

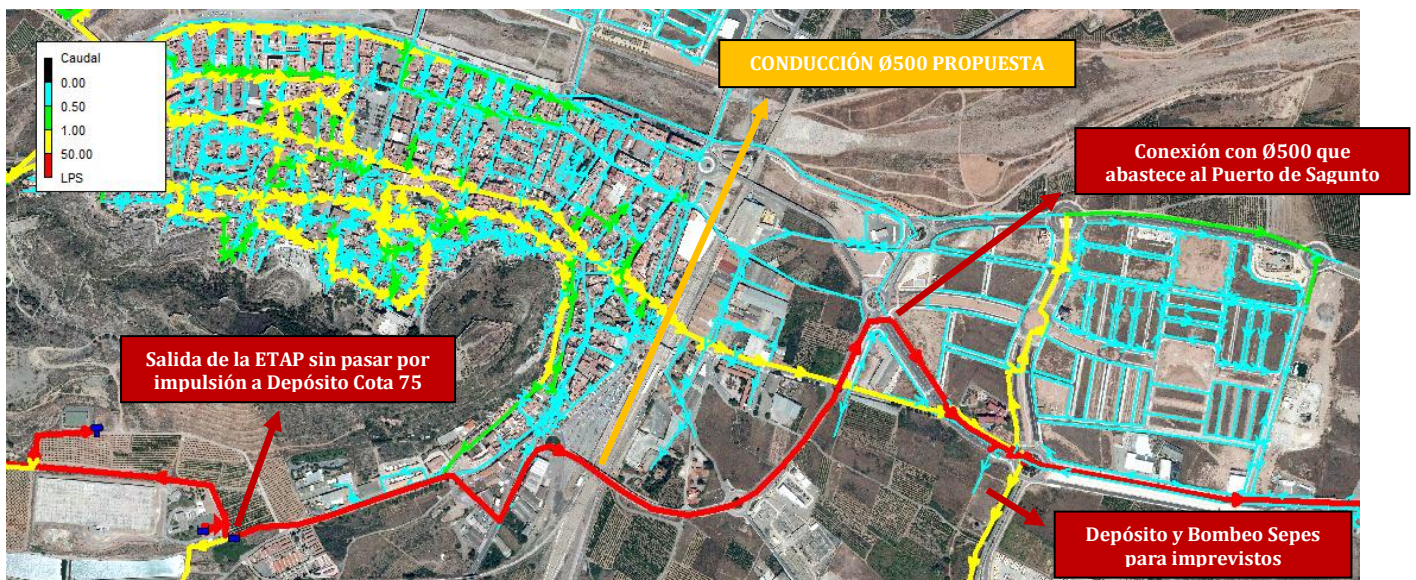


Figura 7-21. Nueva conducción de fundición Ø500 desde ETAP hasta tubería principal Ø500 que abastece al Puerto de Sagunto

La tubería propuesta se inicia en la ETAP aprovechando el bypass propuesto para Camí la Mar – Parc Sagunt. Sigue por la Calle Camino de Liria, Calle San Antonio, Avda. País Valencià, Rotonda de Manolito. Después cruza el puente sobre las vías del tren y continúa por Avda. Emtrambasagües, Avda del Cabanyal hasta conectar con la conducción Ø500 que alimenta al Puerto de Sagunto.

Hoy por hoy no se propone continuar la tubería más allá de la rotonda existente entre Avda. Abogado Fausto Caruana y Avda. del Cabanyal. Esto es debido a que las nuevas urbanizaciones entre Sagunto y el Puerto de Sagunto a las que debería llevar el agua no están construidas ni se van a construir a corto-medio plazo.

Si se dispone de esta conducción es posible alimentar al Puerto de Sagunto a través de ella directamente por gravedad. Hidráulicamente no cambia casi nada porque se tienen 56mca de altura piezométrica en cabecera, valor muy próximo a la altura piezométrica que impone el Depósito Cota 55 con el sistema actual.

**Con esto se consiguen varias ventajas:**

- No hay que elevar nada de agua que sea destinada al Puerto de Sagunto al Depósito Cota 75. El coste energético para la ETAP se reduciría drásticamente ya que el volumen de agua que consume el Puerto de Sagunto es con mucha diferencia el mayor de todos. Si a esto se le añade que el agua que va hacia Camí la Mar y Parc Sagunt también va por gravedad (propuesta anterior), la impulsión a Depósito Cota 75 sólo se realizará para el agua que consume Canet.
- La tubería original Ø500 que sale de Depósito Cota 75, va a Depósito Cota 55, atraviesa Sagunto y conecta en la rotonda con la nueva conducción puede estar cerrada o ser utilizada para otro fin. Si finalmente se necesitan 75mca de altura piezométrica en cabecera para estas nuevas urbanizaciones se puede evitar la rotura de carga en Depósito Cota 55 haciendo pasar el agua directamente por la conducción y obviar el bypass al depósito. Donde fuese necesario se podría hacer la conexión de las nuevas zonas a esta tubería.
- El Depósito Cota 75 se puede utilizar para otros fines como por ejemplo la regulación de Sagunto Centro Urbano como veremos en la siguiente propuesta.

**De todas formas si se lleva a cabo esta propuesta hay que tener en cuenta los siguientes condicionantes:**

- La potabilizadora tiene que ser capaz de poder hacer frente con suficiencia al caudal punta que pueda ser demandado por el Puerto de Sagunto. En principio esto es así, pero los condicionantes de explotación de esta instalación son muy complejos donde prima la seguridad antes que el beneficio económico.
- El Depósito y Bombeo Sepes tienen que estar plenamente operativos. Si se produce algún fallo de producción en la ETAP tienen que ser capaces de suministrar el volumen y presión requeridos por los usuarios, tanto para condiciones normales como para situaciones de emergencia.
- Se plantea que el diámetro de la tubería sea de Ø500 en lugar de Ø400 para que prime el principio de que aguas arriba debe haber mayores diámetros y la tubería sea teleférica. Las simulaciones con Ø400 generaban pérdidas de carga que hacen que en la zona alta del Polígono Sepes la presión sea más baja de lo que es ahora. Con Ø500 esto no ocurre.

### 7.2.3 Conexión de red de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia a Depósito Cota 75

Esta última medida de modificación del sistema hidráulico busca mejorar el funcionamiento de la red de forma que el suministro a Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia se produzca desde el Depósito Cota 75. Para realizarlo hay que conectar la conducción de salida de Depósito Cota 75 a la tubería  $\varnothing 300$  que abastece a esta red y dejar fuera de servicio la tubería que llena Depósito Cota 110

Para los sectores S1, S2, S5 y S6 el abastecimiento puede realizarse por gravedad. Al reducirse la altura piezométrica en cabecera por utilizar el Depósito Cota 75 en lugar del Depósito Cota 110 la reducción de presiones es automática y se producen los mismos efectos que si se colocan las válvulas reductoras de presión, por lo que no habría que colocarlas.

Para los sectores S3 y S4 habría que colocar un rebombeo intermedio con variador de velocidad que proporcione la presión adicional necesaria para garantizar una presión mínima similar a la que hay en la actualidad. Los puntos críticos que marcarán la altura de bombeo son los que se encuentran más lejanos y a mayor cota.

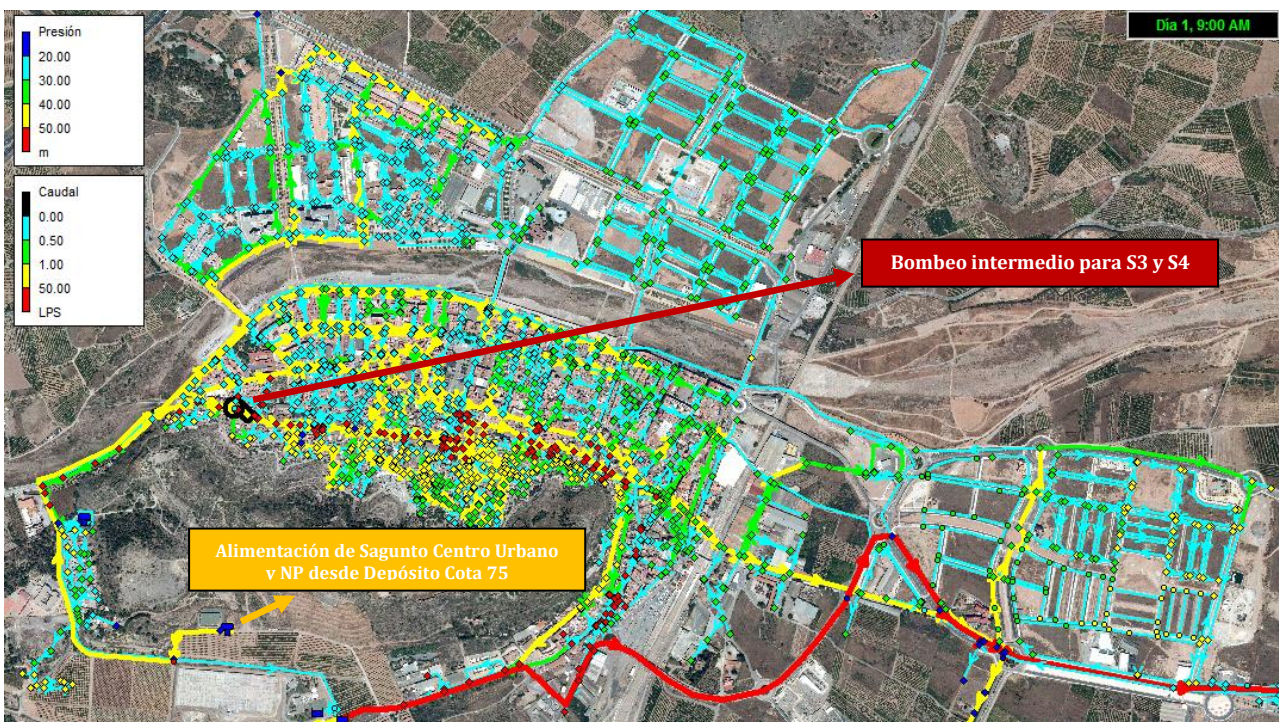


Figura 7-22. Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia conectada a Depósito Cota 75 - Rebombeo para S4 y S5

En la imagen anterior se observa como las presiones se han reducido y son prácticamente las mismas que las que se conseguían con las válvulas reductoras de presión. También se puede ver dónde está colocada la bomba, al inicio del sector S3 en la Calle Gilet 73.

Las presiones mínimas que se deben conseguir con este bombeo intermedio deben rondar los 20mca. Es interesante colocar un variador de velocidad. Según el análisis en Epanet y estableciendo cierto margen, la bomba que se instale debería proporcionar para la situación de mayor consumo:

Tabla 7-18. Valores de caudal y altura máximos para establecer la bomba adecuada

Q(lps)	H(m)
15	35

**Las ventajas que se obtienen con esta posible modificación son:**

- Supresión de la impulsión al Depósito Cota 110 ya que se eleva a Depósito Cota 75. Esto supone una reducción del coste energético por parte de la ETAP puesto que el desnivel geométrico que hay que salvar es menor.
- Aunque hay que introducir un rebombeo intermedio para S3 y S4 el caudal que hay que elevar es mucho menor que el que se eleva hasta Depósito Cota 110 en la actualidad. Esta forma de operar la red es energéticamente más eficiente.
- Supresión del Depósito Cota 110 para agua potable. Esta es otra ventaja manifiesta por el estado de conservación de este depósito y el mantenimiento que requiere.
- Reducción de presiones en gran parte de la red sin tener que usar válvulas reductoras de presión con todas las ventajas que ello conlleva.

**En cualquier caso esta propuesta puede ser delicada de llevar a cabo por las siguientes razones:**

- Es complicado colocar un rebombeo intermedio en el casco urbano. Por un lado requiere construir unas instalaciones en una zona urbanizada, habitada y de difícil acceso, con la complicación de obra civil e instalaciones que eso conlleva. Además genera unos gastos energéticos que tendría que asumir Aguas de Sagunto y que no son comparables a la economía de escala que pueda tener la potabilizadora.
- Si bien reduce las presiones en la misma medida que las válvulas reductoras de presión, si se requiriese aumentar esas presiones no se puede porque la altura piezométrica en cabecera la marcará Depósito Cota 75 y esta es fija. Con esta medida no existe un margen de maniobra para incrementar presiones.
- Se tendría que conectar la conducción Ø300 que abastece a Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia con el Depósito. Para ello habría que realizar obra en el arquetón de hormigón armado donde están las conexiones con Depósito Cota 55 y Canet además de un nuevo arquetón para esta conexión.

### 7.3 Renovación de red

La red de distribución de Sagunto está formada principalmente por tuberías de fibrocemento con unos diámetros comprendidos entre 40 y 100mm. Estas tuberías son de bastante edad por lo que es conveniente realizar su sustitución ya que:

- Son conducciones de diámetros no normalizados y que presentan problemas en cuanto a piezas y componentes de cara a eventuales reparaciones
- Son conducciones de mucha edad cuyo nivel de fugas y roturas puede ser elevado

Se plantea una renovación basada en los diferentes sectores de la red de agua potable. Una vez sectorizada la red se estudiará el rendimiento de cada sector, y el orden de ejecución dependerá del valor que presenten, renovándose en primer lugar aquellos sectores con menor rendimiento.

Las tuberías susceptibles de cambio serán sustituidas por conducciones de polietileno de alta densidad de diámetro exterior 110mm. Además se estimará la obra civil necesaria y elementos hidráulicos como acometidas, ventosas, desagües y válvulas de corte.

#### ➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Tabla 7-19. Renovación de tuberías de Fibrocemento  $\varnothing \leq 100\text{mm}$  en Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

Sector	Localización	Longitud total (m)	Reposición PE 110	Longitud (m) (Fibrocemento $\varnothing \leq 100\text{mm}$ )
S1	Sagunto CU	6,896	46.69%	3,220
S2	Sagunto CU	13,627	53.01%	7,223
S3	Sagunto CU	11,026	44.06%	4,858
S4	Clot del Moro	1,371	91.90%	1,260
S5	Norte Palancia	12,410	5.09%	6,32
S6	Norte Palancia	13,386	0.25%	33

Como se comprueba la mayor parte de las tuberías de fibrocemento susceptibles de ser renovadas se encuentran dentro del casco urbano donde la red es más antigua que en Norte Palancia.

#### ➤ Red del Puerto de Sagunto

Tabla 7-20. Renovación de red de Fibrocemento  $\varnothing \leq 100\text{mm}$  en el Puerto de Sagunto

Sector	Localización	Longitud total (m)	Reposición PE 110	Longitud (m) (Fibrocemento $\varnothing \leq 100\text{mm}$ )
P1	Puerto	6,160	24.68%	1,520
P2	Puerto	10,988	40.70%	4,472
P3	Puerto	8,805	48.93%	4,308
P4	Puerto	7,970	72.08%	5,745
P5	Puerto	11,374	64.98%	7,391
P6	Puerto	4,667	41.61%	1,942

<b>P7</b>	Puerto	6,236	83.21%	5,189
<b>P8</b>	Puerto	6,023	69.70%	4,198
<b>P9</b>	Puerto	7,039	78.62%	5,534
<b>P10</b>	Puerto	11,151	39.89%	4,448
<b>P11</b>	Puerto	5,408	13.63%	737
<b>P12</b>	Puerto	7,965	56.84%	4,527
<b>P13</b>	Puerto	3,546	0.00%	0
<b>P14</b>	Puerto	4,865	28.59%	1,391
<b>P15</b>	Puerto	5,783	23.60%	1,365
<b>Ingruinsa</b>	Polígono	4,029	15.86%	639
<b>Sepes</b>	Polígono	11,952	15.88%	1,898

En general en casi todas las zonas del Puerto de Sagunto hay que renovar la red, aunque existen sectores como Ingruinsa y Sepes que tienen poco fibrocemento instalado o P13 que no tiene.

➤ **Red de Camí la Mar y Parc Sagunt**

Tabla 7-21. Renovación de red de Fibrocemento  $\varnothing \leq 100\text{mm}$  en Camí la Mar y Parc Sagunt

Sector	Localización	Longitud total (m)	Reposición PE 110	Longitud (m) (Fibrocemento $\varnothing \leq 100\text{mm}$ )
<b>Camí la Mar</b>	Polígono	4,092	0.00%	0
<b>Parc Sagunt</b>	Polígono	16,182	0.00%	0

Como estos polígonos industriales son de nueva construcción no existe fibrocemento instalado por lo que en principio no hay que renovar tuberías a no ser que se produzcan fugas.

➤ **Red de L'Almardà**

Tabla 7-22. Renovación de red de Fibrocemento  $\varnothing \leq 100\text{mm}$  en L'Almardà

Sector	Localización	Longitud total (m)	Reposición PE 110	Longitud (m) (Fibrocemento $\varnothing \leq 100\text{mm}$ )
<b>A2</b>	L'A Sur	1,355	95.42%	1,293
<b>A1</b>	L'A Sur	2,361	0.00%	0
<b>A3</b>	L'A Sur	1,106	61.21%	677
<b>B1</b>	L'A Sur	1,086	51.10%	555
<b>B2</b>	L'A Sur	1,107	0.00%	0
<b>B3</b>	L'A Sur	2,258	0.00%	0
<b>D2</b>	L'A Norte	2,316	0.00%	0
<b>E1</b>	L'A Norte	2,648	0.00%	0
<b>E3</b>	L'A Norte	2,541	0.00%	0
<b>F1</b>	L'A Norte	1,901	0.00%	0
<b>F3</b>	L'A Norte	2,334	0.00%	0
<b>G2</b>	L'A Norte	2,111	41.45%	875

La reposición se centrará en las otras urbanizaciones que no tienen fibrocemento instalado.





## 8. VALORACIÓN DE LOS BENEFICIOS OBTENIDOS CON LAS MEJORAS

### 8.1 Reducción del volumen de fugas

Debido a que se cuenta con un modelo matemático que estima los caudales fugados en función de la presión en cada nodo, se puede realizar una predicción de cómo se van a reducir los volúmenes de agua fugados cuando la presión se reduzca por la instalación de las diferentes válvulas reductoras de presión propuestas y el bypass en la conducción Ø400 de la ETAP.

#### 8.1.1 Reducción del volumen de fugas debido a VRP

##### ➤ 2 de agosto de 2013

Tabla 8-1. Estimación de los rendimientos volumétricos tras instalar la VRP - 2 agosto de 2013

	Sagunto Centro Urbano	Norte Palancia	Puerto de Sagunto (incluido Ingruinsa)	Polígono Ingruinsa
<b>Rendimiento actual</b>	54%	90%	71%	87%
<b>Rendimiento con VRP</b>	66%	95%	75%	90%
<b>Δ Rendimiento</b>	+12%	+5%	+4%	+3%

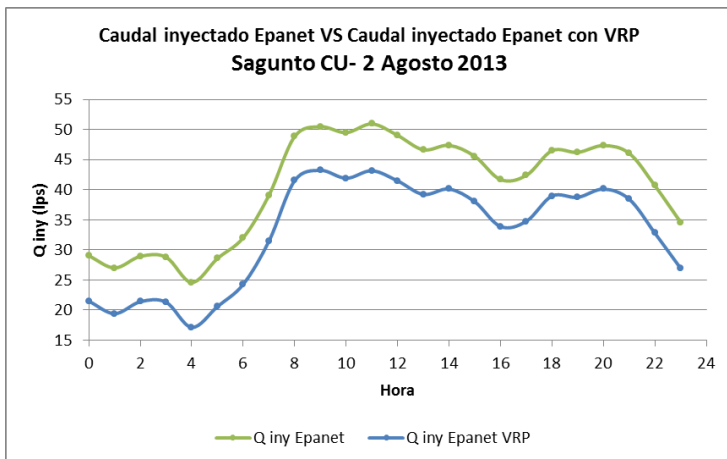


Figura 8-1. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Sagunto Centro Urbano 2 de agosto de 2013

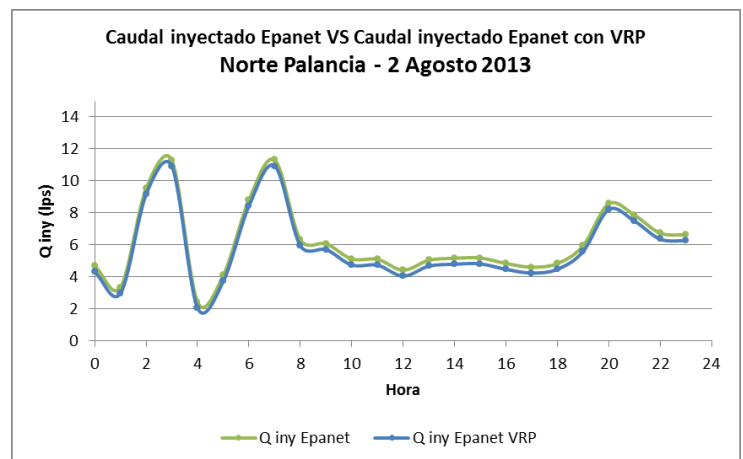


Figura 8-2. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Norte Palancia 2 de agosto de 2013

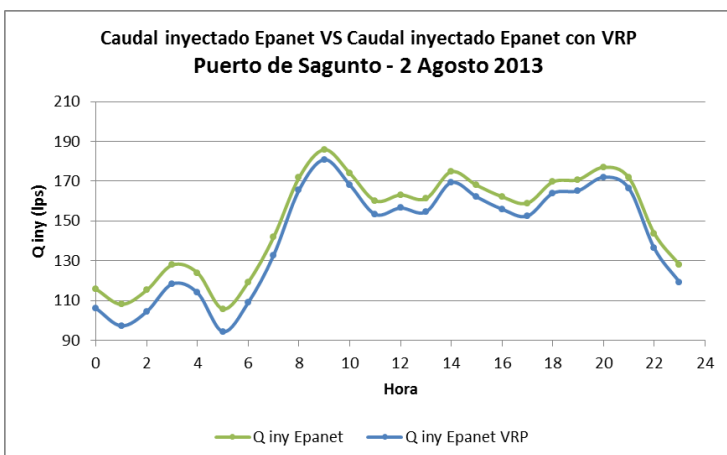


Figura 8-4. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Puerto de Sagunto 2 de agosto de 2013

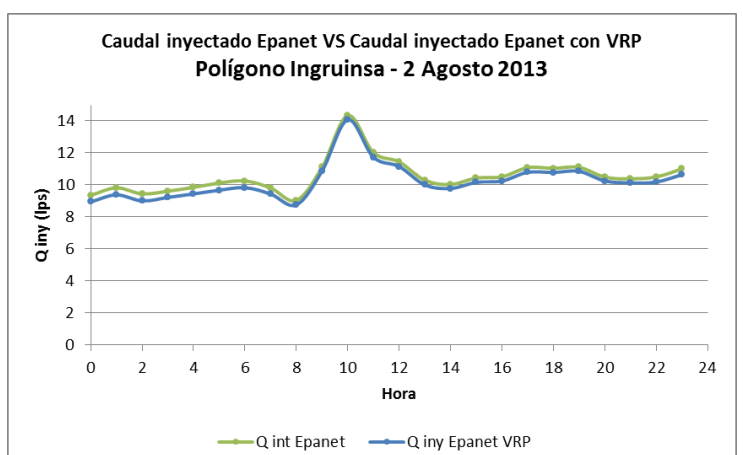


Figura 8-3. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Polígono Ingruinsa 2 de agosto de 2013

➤ **25 de noviembre de 2013**

Tabla 8-2. Estimación de los rendimientos volumétricos tras instalar la VRP - 25 de noviembre de 2013

	Sagunto Centro Urbano	Norte Palancia	Puerto de Sagunto (incluido Ingruinsa)	Polígono Ingruinsa
<b>Rendimiento actual</b>	57%	91%	66%	87%
<b>Rendimiento con VRP</b>	69%	96%	71%	90%
<b>Δ Rendimiento</b>	+12%	+5%	+5%	+3%

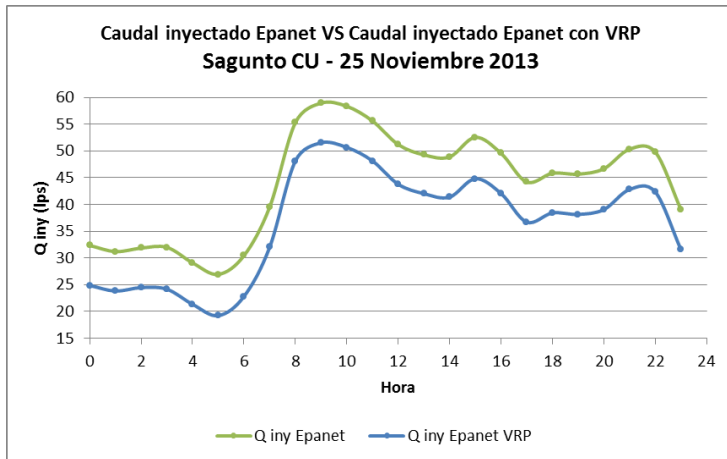


Figura 8-5. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Sagunto Centro Urbano 25 de noviembre de 2013

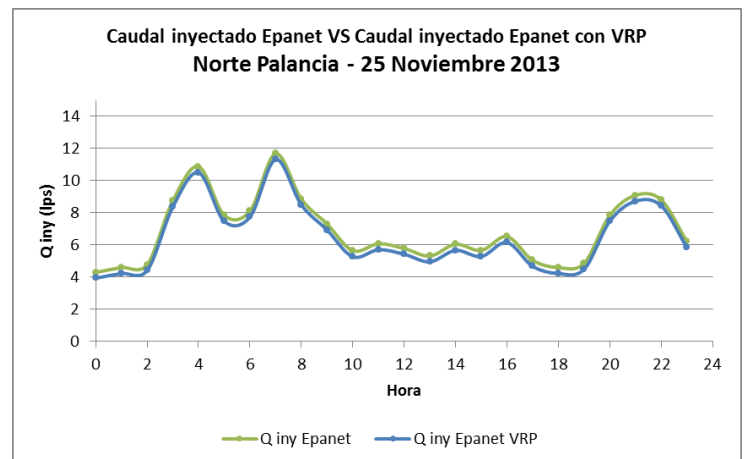


Figura 8-6. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Norte Palancia 25 de noviembre de 2013

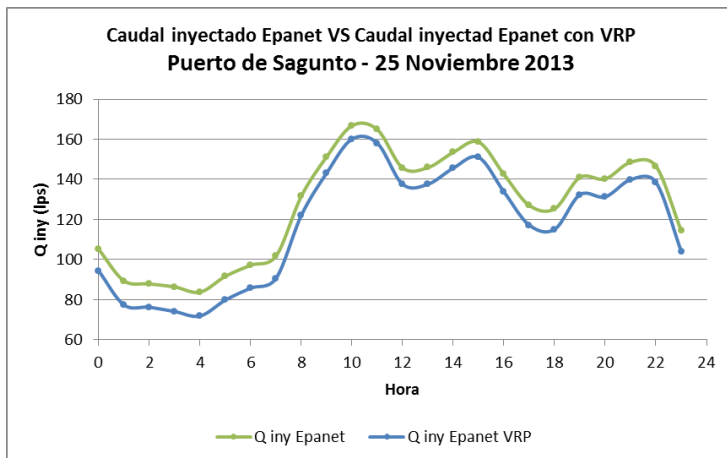


Figura 8-8. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Puerto de Sagunto 25 de noviembre de 2013

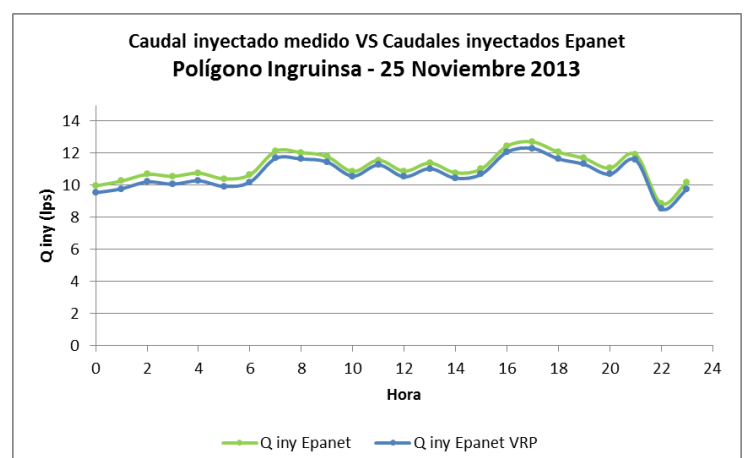


Figura 8-7. Comparación del caudal inyectado antes y después de incluir VRP - Polígono Ingruinsa 25 de noviembre de 2013

### 8.1.2 Reducción del volumen de fugas debido al Bypass en la ETAP

➤ **Camí la Mar-Parc Sagunt**

Tabla 8-3. Estimación de rendimientos volumétricos tras instalar bypass en la ETAP en un día medio

<b>Camí la Mar/Parc Sagunt</b>	
<b>Rendimiento actual</b>	76%
<b>Rendimiento con VRP</b>	81%
<b>Δ Rendimiento</b>	+5%

### 8.1.3 Valoración económica del ahorro anual de agua

Es conveniente estimar un orden de magnitud del beneficio económico o ahorro que trae consigo la reducción del volumen de agua inyectado. Al compararlo con el coste de la inversión se podrá determinar si la medida es interesante de llevar a cabo o no.

Para las diferentes zonas donde se han reducido presiones y por tanto fugas se pueden obtener los siguientes valores medios anuales:

Tabla 8-4. Valoración económica del ahorro anual de agua tras reducir presiones en diferentes zonas

	Sagunto CU	Norte Palancia	Puerto de Sagunto (con Ingruinsa)	Parc Sagunt - Camí La Mar
<b>Reducción por</b>	VRP	VRP	VRP	Bypass ETAP
<b>Δ Rendimiento</b>	+12.00%	+5.00%	+4.50%	+5.00%
<b>Rendimiento (%)</b>	56.24%	90.80%	67.14%	76.08%
<b>Nuevo rendimiento (%)</b>	68.24%	95.80%	71.64%	81.08%
<b>V registrado (m<sup>3</sup>)</b>	792,815	168,087	2,824,767	251,973
<b>V inyectado (m<sup>3</sup>)</b>	1,409,659	185,116	4,207,063	331,443
<b>Nuevo V inyectado (m<sup>3</sup>)</b>	1,161,804	175,456	3,943,003	310,770
<b>Precio unitario (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.40	0.40	0.40	0.40
<b>Ahorro (m<sup>3</sup>/año)</b>	-247,855 m <sup>3</sup> /año	-9,660 m <sup>3</sup> /año	-264,060 m <sup>3</sup> /año	-20,673 m <sup>3</sup> /año
<b>Ahorro (€/año)</b>	<b>-99,142 €/año</b>	<b>-3,864 €/año</b>	<b>-105,624 €/año</b>	<b>-8,269 €/año</b>

Pese a que estos resultados deben contemplarse como un orden de magnitud y que el modelo estima que el consumo no varía con la presión, se observa que reducir presiones en Sagunto Centro Urbano y Puerto de Sagunto supone un ahorro más que considerable tanto de agua como de dinero.

Para Norte Palancia y Camí la Mar/Parc Sagunt el beneficio económico directo es menos notable ya que actualmente tienen un excelente rendimiento. Lo importante en estos casos es que se garantizará que los rendimientos sigan siendo buenos en el futuro y la red no se deteriore rápidamente.

Tabla 8-5. Valoración económica del ahorro anual de agua tras reducir presiones en toda la red

<b>Resumen general del ahorro de agua para toda la red de Sagunto</b>	
<b>V inyectado total (m<sup>3</sup>)</b>	6,418,297
<b>Nuevo V inyectado total (m<sup>3</sup>)</b>	5,876,048
<b>V registrado (m<sup>3</sup>)</b>	4,159,425
<b>Precio unitario (€/m<sup>3</sup>)</b>	0.4
<b>Rendimiento actual</b>	64.81%
<b>Nuevo rendimiento</b>	70.79%
<b>Δ Rendimiento global</b>	+6.00%
<b>Ahorro (m<sup>3</sup>/año)</b>	-542,249 m <sup>3</sup> /año
<b>Ahorro (€/año)</b>	<b>-216,900 €/año</b>

## 8.2 Ahorro energético en las impulsiones

Otro de los objetivos que se planteó para establecer las propuestas de mejora fue la de intentar reducir el coste energético de los bombeos de la ETAP que impulsan agua a la red. Para determinar este ahorro se ha tenido que conocer el coste de la energía con el sistema actual para posteriormente compararlo con lo que se ahorraría con las modificaciones propuestas del sistema hidráulico.

### 8.2.1 Costes energéticos de impulsión con el sistema actual

Para conocer el coste energético anual de las impulsiones a los Depósitos Cota 75 y Cota 110 disponemos de datos reales proporcionados por la planta potabilizadora:

Tabla 8-6. Estimación de los costes energéticos anuales de impulsión con el sistema actual

	Impulsión a Depósito Cota 110	Impulsión a Depósito Cota 75
<b>V inyectado (m<sup>3</sup>)</b>	1,594,743	5,254,793
<b>H bombeo (m)</b>	69	25
<b>Q bombeo (m<sup>3</sup>/h)</b>	525	1110
<b>Rendimiento total</b>	0.53	0.61
<b>Potencia consumida (Kw)</b>	160	125
<b>t bombeo (horas/día)</b>	≈ 8	≈ 12
<b>Energía por unidad de volumen (Kw.hora/m<sup>3</sup>)</b>	0.277	0.104
<b>Energía anual (Kw.hora)</b>	441,743	546,798
<b>Precio unitario (€/Kw.hora)</b>	0.105	0.105
<b>Coste energía total (€/año)</b>	<b>46,400 €/año</b>	<b>57,380 €/año</b>
<b>COSTE TOTAL DE LA ENERGÍA ETAP (€/año)</b>	<b>103,780 €/año</b>	

Resulta interesante conocer qué cantidad de agua impulsada a los Depósitos va a cada red y cuál es su correspondiente coste energético. De los datos proporcionados por la planta potabilizadora se extrae:

Tabla 8-7. Agua suministrada a cada red y costes energéticos anuales para la impulsión a Depósito Cota 75

	V inyectado (m <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)	Coste energía ETAP (€/año)
<b>Camí la Mar/Parc Sagunt</b>	331,379	6,30%	3,615 €/año
<b>Puerto de Sagunto</b>	4,207,063	80,00%	45,904 €/año
<b>Canet</b>	416,351	13,70%	7,861 €/año
<b>TOTAL</b>	5,254,793	100%	57,380 €/año

Tabla 8-8. Agua suministrada a cada red y costes energéticos anuales para la impulsión a Depósito Cota 110

	V inyectado (m <sup>3</sup> /año)	Porcentaje (%)	Coste energía ETAP (€/año)
<b>Sagunto CU + Norte Palancia</b>	1,594,743	100%	46,400 €/año

Estimando que los caudales bombeados son constantes ya que el punto de funcionamiento apenas variará se puede hacer una estimación directa del ahorro energético para las nuevas propuestas.

### 8.2.2 Coste energético con posible suministro a Camí la Mar/Parc Sagunt y Puerto de Sagunto por gravedad

Tabla 8-9. Estimación de los costes energéticos anuales de impulsión con suministro por gravedad a Camí la Mar/Parc Sagunt y Puerto de Sagunto

Mejora propuesta	Forma de suministro	Ahorro energía para ETAP (€/año)	Coste total de la energía ETAP (€/año)
(0) Situación actual	(0) Situación actual	*	103,780 €/año
(1) =Bypass en la ETAP de la conducción Ø400 que alimenta a Camí la Mar-Parc Sagunt	(1) = Suministro a Camí la Mar/Parc Sagunt por gravedad	-3,615 €/año	100,165 €/año
(2) = (1) + Nueva conducción Ø500 desde ETAP hasta tubería principal Ø500 que abastece al Puerto	(2) = (1) + Suministro Puerto de Sagunto por gravedad	-49,520 €/año	54,261 €/año

### 8.2.3 Coste energético con posible suministro a Sagunto desde Depósito Cota 75

Se evitarán los costes de impulsión a Depósito Cota 110 pero habrá que adicionar lo que se consuma en elevar éste de agua hasta Depósito Cota 75. Además habrá que conocer el coste energético del rebombado a S3 y que el suministro a Camí la Mar/Parc Sagunt y Puerto de Sagunto es por gravedad.

#### ➤ Coste de la impulsión a Depósito Cota 75

Tabla 8-10. Agua suministrada a cada red y costes energéticos anuales para la impulsión a Depósito Cota 75

	V inyectado (m <sup>3</sup> )	(%) respecto a lo actualmente impulsado a este depósito	Coste energía (€/año)
Sagunto CU + Norte Palancia	1,594,743	30%	25,075 €/año
Canet	416,351	13,70%	7,861 €/año
<b>TOTAL (€/AÑO)</b>	<b>2,011,094</b>	<b>43.70%</b>	<b>32,936 €/año</b>

#### ➤ Coste energético del rebombado a S3

Tabla 8-11. Estimación de los costes energéticos anuales del posible rebombado a S3 en Sagunto

Rebombado a S3	
Q inyectado (l/s)	15
H bombeo (m)	35
Rendimiento total	0.60
Potencia consumida (Kw)	8.6Kw
t bombeo (horas/día)	24
Energía anual (Kw.hora)	75,500
Precio unitario (€/€/Kw.hora)	0.105
<b>Coste energía anual (€/año)</b>	<b>+8,000 €/año</b>

Tabla 8-12. Estimación de los costes energéticos anuales de impulsión con suministro a Sagunto CU y NP con Depósito Cota 75

Mejora propuesta	Forma de suministro	Coste energía adicional para Aguas de Sagunto (€/año)	Ahorro energía para ETAP (€/año)	Coste total de la energía ETAP (€/año)
(3) = (2) + Conexión de red de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia a Depósito Cota 75	(3) = (2) + Suministro a Sagunto con Depósito Cota 75	+8,000 €/año	-78,844 €/año	32.936 €/año

### 8.2.4 Valoración económica del ahorro anual de energía para cada propuesta

Teniendo en cuenta los datos anteriores se puede elaborar una tabla resumen con la valoración económica del ahorro de energía y los costes energéticos anuales para cada alternativa.

Tabla 8-13. Estimación de los costes energéticos anuales de impulsión para las diferentes alternativas propuestas

Mejora propuesta	Forma de suministro	Coste energía adicional para Aguas de Sagunto (€/año)	Ahorro energía para ETAP (€/año)	Coste total de la energía ETAP (€/año)
(0) = Situación actual	(0) = Situación actual	*	*	103,780 €/año
(1) = Bypass en la ETAP de la conducción Ø400 que alimenta a Camí la Mar-Parc Sagunt	(1) = Suministro a Camí la Mar/Parc Sagunt por gravedad	*	-3,615 €/año	100,165 €/año
(2) = (1) + Nueva conducción Ø500 desde ETAP hasta tubería principal Ø500 que abastece al Puerto	(2) = (1) + Suministro Puerto de Sagunto por gravedad	*	-49,520 €/año	54,261 €/año
(3) = (2) + Conexión de red de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia a Depósito Cota 75	(3) = (2) + Suministro a Sagunto con Depósito Cota 75	+8,000 €/año	-78,844 €/año	32.936 €/año

Lo anterior sólo hace referencia al coste energético directo, no a otros factores como el coste del término de potencia, inversiones necesarias, mantenimiento, inconvenientes técnicos.

### 8.3 Otros beneficios no cuantificables

En este capítulo se ha hecho referencia a los beneficios económicos que se pueden cuantificar directamente. Esto no quiere decir que el resto de mejoras no repercutan positivamente en la mejora de la rentabilidad económica sino que la valoración de ésta sólo se podrá llevar a cabo cuando las medidas estén implantadas. Podemos destacar los siguientes beneficios no cuantificables:

- **Disminución del volumen de fugas cuando se sectorice y telegestione la red:** Al estar la red subdividida en sectores manejables se podrán acotar las zonas con mayores fugas. Además la telegestión contribuirá a detectar y corregir fugas de forma casi inmediata.
- **Ahorro energético cuando se reduzca el volumen inyectado:** Cuando las fugas disminuyan por la reducción de la presión, la renovación de red o la sectorización propuesta habrá que elevar menos agua a los depósitos y eso repercutirá positivamente en la reducción del coste de bombeo y en general de los costes de producción de agua.
- **Mejora de la gestión de la red con el nuevo Sistema de Información Geográfica:** Contar con la red perfectamente georreferenciada e inventariada reducirá los tiempos de actuación y errores a la hora de operar la red. Esto también se traduce en ahorro económico.
- **Otros beneficios que no son económicos:** Aquí se pueden englobar muchas cosas. Por ejemplo operar con presiones en un rango correcto será beneficioso para las instalaciones interiores. En el caso de situaciones de incendio tener suficientes hidrantes es una mejora sustancial. Todas las medidas propuestas mejorarían el funcionamiento de la red.

## 9. VALORACIÓN DE LAS INVERSIONES INICIALES

### 9.1 Resumen de Presupuestos

#### ➤ Resumen del Presupuesto de Sectorización y Válvulas Reductoras de Presión

<b>SECTORIZACIÓN DE SAGUNTO.....</b>		<b>132,582.24</b>
-S1	-Sector S1 + VRP Ø150 y bypass .....	28,369.06
-S2	-Sector S2 + VRP Ø150 y bypass .....	28,369.06
-S3	-Sector S3 .....	19,527.91
-S4	-Sector S4 .....	18,556.28
-S5	-Sector S5 + VRP Ø150 y bypass .....	23,300.54
-S6	-Sector S6 .....	14,459.39
<b>SECTORIZACIÓN DEL PUERTO DE SAGUNTO .....</b>		<b>290,461.94</b>
-P INGRUINSA	-Sector Ingruinsa (ya sectorizado).....	0.00
-P SEPEs	-Sector Sepes .....	13,600.83
-P01	-Sector P1 .....	16,128.02
-P02	-Sector P2 .....	17,342.15
-P03	-Sector P3 .....	16,128.02
-P04	-Sector P4 .....	17,342.15
-P05	-Sector P5 .....	19,527.91
-P06	-Sector P6 .....	17,342.15
-P07	-Sector P7 .....	17,342.15
-P08	-Sector P8 .....	17,342.15
-P09	-Sector P9 .....	17,342.15
-P10	-Sector P10 .....	17,099.65
-P11	-Sector P11 .....	15,885.52
-P12	-Sector P12 .....	17,099.65
-P13	-Sector P13 .....	15,026.96
-P14	-Sector P14 .....	15,026.96
-P15	-Sector P15 .....	15,885.52
-VRP	-VRP Puerto de Sagunto Ø400 .....	25,000.00
<b>SECTORIZACIÓN CAMÍ LA MAR Y PARC SAGUNT.....</b>		<b>22,348.05</b>
-CAMÍ	-Sector Camí la Mar.....	10,742.35
-PARC	-Sector Parc Sagunt .....	11,605.70
<b>SECTORIZACIÓN ALMARDÀ NORTE Y SUR.....</b>		<b>96,487.52</b>
-A NORTE	-Sector Almadà Norte (ya sectorizado).....	0.00
-A SUR	-Sector Almadà Sur (ya sectorizado) .....	0.00
-A1	-Sector A1 (Gato Montés).....	11,116.73
-A2	-Sector A2 .....	11,116.73
-B1	-Sector B1 .....	11,116.73
-B2	-Sector B2 .....	10,404.12
-B3	-Sector B3 .....	10,404.12
-CORINTO	-Urbanización Corinto (Ya sectorizada) .....	0.00
-D2	-Sector D2 .....	10,404.12
-F1	-Sector F1 .....	10,404.12
-F3	-Sector F3 .....	10,404.12
-G2	-Sector G2.....	11,116.73
<b>CONTROL EN CENTRAL Y AYUNTAMIENTO .....</b>		<b>8,941.90</b>
-5.1 INSTRUMEN	-INSTRUMENTACIÓN .....	7,353.94
-5.2 MONTAJE	-MONTAJE Y PROGRAMACIÓN .....	1,587.96
<b>SEGURIDAD Y SALUD .....</b>		<b>29,150.00</b>
	<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>579,971.65 €</b>
	13.00 % Gastos generales .....	75,396.31
	6.00 % Beneficio industrial .....	34,798.30
	<b>SUMA DE G.G. y B.I.</b>	<b>110,194.61</b>
	21.00 % I.V.A. ....	144,934.91
	<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>835,101.17 €</b>
	<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>835,101.17 €</b>

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de OCHOCIENTOS TREINTA Y CINCO MIL CIENTO UN EUROS con DIECISIETE CÉNTIMOS





➤ **Resumen del Presupuesto de Instalación de Hidrantes de Incendio**

HIDRANTES INCENDIO SAGUNTO.....	10,253.79
HIDRANTES INCENDIO PUERTO DE SAGUNTO.....	55,826.19
HIDRANTES INCENDIO CAMÍ LA MAR/PARC SAGUNT.....	0.00
HIDRANTES INCENDIO ALMARDÀ.....	10,253.79
5SEGURIDAD Y SALUD.....	3,800.00
<hr/>	
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>80,133.77 €</b>
13.00 % Gastos generales.....	10,417.39
6.00 % Beneficio industrial.....	4,808.03
<hr/>	
SUMA DE G.G. y B.I.	15,225.42
16.00 % I.V.A.....	15,257.47
<hr/>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>110,616.66 €</b>
<hr/>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>110,616.66 €</b>

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de CIENTO DIEZ MIL SEISCIENTOS DIECISEIS EUROS con SESENTA Y SEIS CÉNTIMOS

➤ **Resumen del Presupuesto de Renovación Integral de Red de Fibrocemento de bajo calibre**

RENOVACIÓN RED SAGUNTO.....	2,185,118.10
RENOVACIÓN RED PUERTO DE SAGUNTO.....	7,015,312.40
RENOVACIÓN RED CAMÍ LA MAR/PARC SAGUNT.....	0.00
RENOVACIÓN RED ALMARDÀ.....	431,290.00
SEGURIDAD Y SALUD.....	480,000.00
<hr/>	
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>10,111,720.50 €</b>
13.00 % Gastos generales.....	1,314,523.67
6.00 % Beneficio industrial.....	606,703.23
<hr/>	
SUMA DE G.G. y B.I.	1,921,226.90
16.00 % I.V.A.....	1,925,271.58
<hr/>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>13,958,218.98 €</b>
<hr/>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>13,958,218.98 €</b>

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de TRECE MILLONES NOVECIENTOS CINCUENTA Y OCHO MIL DOSCIENTOS DIECIOCHO EUROS con NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS



➤ **Resumen del Presupuesto de Nueva Tubería Ø500 y Bypass ETAP**

ACTUACIONES PREVIAS .....			<b>30,000.00</b>
CONDUCCIÓN Ø500 .....			<b>851,175.64</b>
-2.1	-Canalizaciones .....	694,675.64	
-2.2	-Piezas y accesorios .....	90,000.00	
-2.3	-Bypass ETAP .....	60,000.00	
-2.4	-Cruces especiales .....	6,500.00	
REPOSICIONES .....			<b>72,500.00</b>
CONTROL DE CALIDAD .....			<b>12,500.00</b>
GESTIÓN DE RESIDUOS .....			<b>40,000.00</b>
SEGURIDAD Y SALUD .....			<b>50,000.00</b>
			<hr/>
		<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>1,056,175.64 €</b>
	13.00 % Gastos generales .....	137,302.83	
	6.00 % Beneficio industrial .....	63,370.54	
			<hr/>
		SUMA DE G.G. y B.I.	200,673.37
	21.00 % I.V.A. ....		263,938.29
			<hr/>
		<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>1,520,787.30 €</b>
			<hr/>
		<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>1,520,787.30 €</b>

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de UN MILLÓN QUINIENTOS VEINTE MIL SETECIENTOS OCHENTA Y SIETE EUROS con TREINTA CÉNTIMOS

➤ **Resumen del Presupuesto de Conexión de la Red de Sagunto a Depósito Cota 75 y Rebombeo a S3**

REBOMBEO INTERMEDIO PARA EL SECTOR S3 EN SAGUNTO CENTRO .....			<b>50,000.00</b>
CONEXIÓN DE LA RED DE SAGUNTO A DEPÓSITO COTA 75 .....			<b>12,500.00</b>
SEGURIDAD Y SALUD .....			<b>2,500.00</b>
			<hr/>
		<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>	<b>65,000.00</b>
	13.00 % Gastos generales .....	8,450.00	
	6.00 % Beneficio industrial .....	3,900.00	
			<hr/>
		SUMA DE G.G. y B.I.	12,350.00
	21.00 % I.V.A. ....		16,243.50
			<hr/>
		<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>	<b>93,593.50 €</b>
			<hr/>
		<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>93,593.50 €</b>

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de NOVENTA Y TRES MIL QUINIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS con CINCUENTA CÉNTIMOS

## 9.2 Inversión inicial para cada actuación

De los anteriores presupuestos se puede extraer una valoración de las inversiones iniciales para las diferentes actuaciones generales:

Tabla 9-1. Inversión inicial para cada actuación general

Actuación propuesta	Inversión inicial (€)
Sectorización completa e Instalación de Válvulas Reductoras de Presión	835,101.17 €
Instalación de Hidrantes de Incendio	110,616.66 €
Renovación Integral de Red de Fibrocemento de bajo calibre $\varnothing \leq 110\text{mm}$	13,958,218.98 €
Nueva conducción fundición $\varnothing 500\text{mm}$ y Bypass ETAP	1,520,787.30 €
Conexión de Red de Sagunto a Depósito Cota 75 y Rebombéo a S3	93,593,50 €

Se ha intentado que la estimación de estas inversiones sea lo más precisa posible realizando un presupuesto pormenorizado basado en presupuestos reales. En algunos casos, además de incluir lo estrictamente necesario se han adicionado elementos que pudieran ser requeridos en la ejecución como por ejemplo válvulas de corte en la sectorización que a priori no se necesitan.

Para presupuestar la Nueva conducción de fundición  $\varnothing 500$  y el Bypass en la ETAP se ha utilizado como base el presupuesto existente del proyecto de la tubería  $\varnothing 400$  adaptando las nuevas mediciones e incrementando algunos precios unitarios. En el caso de no conocer exactamente lo que cuesta algo se han incluido partidas alzadas en concordancia con la estimación de los tutores y de Aguas de Valencia.

Como se observa en la Tabla 9-1 dentro de cada uno de estas inversiones se incluye la valoración de varias mejoras propuestas. Para poder realizar una comparativa con los beneficios calculados en el Capítulo 8 de esta Memoria es necesario realizar una descomposición de la inversión de algunas de estas actuaciones:

Tabla 9-2. Inversión inicial para las mejoras sobre las que se ha calculado el beneficio directo asociado

Mejora propuesta	Inversión inicial de la mejora (€)
Instalación de las 4 VRP y Sectorización selectiva de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia (S1, S2, S3 y S5)	179,363 €
Bypass en la ETAP de la conducción $\varnothing 400$ que alimenta a Camí la Mar-Parc Sagunt	86,394 €
Nueva conducción $\varnothing 500$ desde ETAP hasta tubería principal $\varnothing 500$ que abastece al Puerto	1,434,393 €
Conexión de red de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia a Depósito Cota 75	93,593 €

## 10. COMPARACIÓN COSTE-BENEFICIO DE LAS DISTINTAS MEJORAS

### 10.1 Coste-beneficio de las mejoras sobre las que se ha calculado el beneficio asociado

Tabla 10-1. Comparación coste-beneficio de las distintas mejoras sobre las que se ha calculado el beneficio directo asociado

Mejora propuesta	Comentarios	Inversión inicial de la mejora (€)	Inversión inicial acumulada (€)	Coste energía adicional para Aguas de Sagunto (€/año)	Ahorro energía para ETAP (€/año)	Ahorro de agua anual para Aguas de Sagunto (€/año)
(1) = Instalación de las 4 VRP y Sectorización selectiva de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia (S1, S2, S3 y S5)	Instalación de las 4 VRP y la mínima sectorización necesaria para su correcto funcionamiento	179,363 €	179,363 €	*	*	-208,630 €/año
(2) = (1) + Bypass en la ETAP de la conducción Ø400 que alimenta a Camí la Mar-Parc Sagunt	Bypass en ETAP para suministro por gravedad a Camí la Mar y Parc Sagunt	86,394 €	265,757 €	*	-3,615 €/año	-216,900 €/año
(3) = (2) + Nueva conducción Ø500 desde ETAP hasta tubería principal Ø500 que abastece al Puerto	Conducción conectada a Bypass de la opción anterior para suministro por gravedad al Puerto	1,434,393 €	1,700,150 €	*	-49,520 €/año	-216,900 €/año
(4) = (3) + Conexión de red de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia a Depósito Cota 75	Suministro por gravedad a Red de Sagunto desde Depósito Cota 75 + rebombeo a S3.	93,593 €	1,793.743 €	+8,000 €/año	-78,844 €/año	≈ -215,000 € /año (muy parecido al ahorro de las opciones anteriores porque las presiones son similares)

La inversión inicial de la mejora se refiere a lo que costaría implantar una propuesta determinada de forma aislada. La inversión inicial acumulada hace referencia al coste de implantar esa mejora más el coste de implantación de otras previas que también son necesarias para su correcto funcionamiento.

De la Tabla 10-1 interesa comparar por un lado los Costes (Inversión inicial acumulada y Coste de energía adicional para Aguas de Sagunto) con el Beneficio o Ahorro. Estos valores deben servir como un orden de magnitud y por ello no se ha hecho un análisis de rentabilidad más profundo. Queda claro que todas las mejoras son rentables, especialmente la instalación de las cuatro válvulas reductoras de presión y la sectorización selectiva.

Instalar el Bypass y la nueva conducción Ø500 parece a priori menos interesante pero hay que recordar que ya está prevista la construcción de la tubería Ø400. Debido a que la tubería propuesta tiene una longitud inferior a la mitad de la original se produce un ahorro en la construcción superior al millón de euros y al evitar la impulsión el ahorro energético también es notable.

El suministro a la red de Sagunto desde Depósito Cota 75 más rebombeo al sector S3 es la opción energéticamente más optimizada pero como se comentó es un sistema rígido que no permite incrementar presiones tal y como podría hacerse con las válvulas reductoras de presión y Depósito Cota 110.

## 10.2 Coste-beneficio del resto de mejoras

En este caso se trata de hacer un resumen del coste-beneficio del resto de mejoras sobre las que no se puede estimar directamente el beneficio económico pero que también presentan aspectos positivos.

Tabla 10-2. Comparación Coste-Beneficio del resto de mejoras

Mejora propuesta	Comentarios	Inversión inicial (€)	Beneficio
<b>Sectorización completa de Sagunto centro urbano, Norte Palancia, Puerto de Sagunto, Polígonos Industriales y L'Almardà + 4 VRP</b>	Complemento a la sectorización selectiva e instalación de 4 VRP visto en el apartado 10.1	835,101.17 €	Además del ahorro de agua visto en el apartado 10.1 la eficiencia hidráulica puede ser aumentada aún más si telemáticamente se controla la red completamente sectorizada mejorando sustancialmente el rendimiento volumétrico y la gestión
<b>Instalación de hidrantes de incendios</b>	Instalación de hidrantes de incendios adicionales para el total cumplimiento de la normativa	110,616.66 €	Con esta medida se asegura el total cumplimiento de la normativa de incendios en las zonas en las que menos hidrantes hay con una inversión inicial no muy elevada
<b>Renovación Integral de Red de Fibrocemento de bajo calibre Ø ≤ 110mm</b>	Renovación integral para toda la red de abastecimiento de fibrocemento de bajo calibre	13,958,218.98 €	En la realidad no habrá que hacer una inversión tan elevada ya que se procederá a renovar las conducciones de los sectores con peor rendimiento y esto se verá después llevar a cabo la sectorización completa de la red. Después de esto el rendimiento volumétrico y la calidad del servicio pueden aumentar aún más
<b>Comprobación/calibración del material hidráulico e instrumentación</b>	Comprobación periódica de que todo el material hidráulico e instrumentación funcionan correctamente	Bajo coste (Lo puede hacer personal de Aguas de Valencia)	Con esta medida se asegura que todo el material hidráulico e instrumentación trabajan sin ningún tipo de error o incongruencia lo que puede suponer una mejora del funcionamiento de la red y un ahorro económico destacado
<b>Implantación de un Sistema de Información Geográfica</b>	Implantación de una buena base de datos georreferenciada de la red y los elementos componentes	Depende del nivel de detalle requerido (Lo puede hacer personal de Aguas de Valencia)	Disponer de un Sistema de Información Geográfica con información real, actualizada y que permita su consulta no sólo por los técnicos en la central sino por los equipos de trabajo es fundamental para que la gestión sea óptima

La sectorización completa que se propuso en el Capítulo 7 “Propuesta de Mejoras” complementa la sectorización selectiva y reducción de presiones comentadas anteriormente. La inversión inicial es destacable pero el beneficio que se obtendría podría ser cuantioso ya que todavía hay margen de mejora respecto al rendimiento volumétrico. No obstante se recuerda que la sectorización debe llevarse a cabo paso a paso.

La renovación de red está presupuestada para la sustitución de todas las tuberías de bajo calibre de fibrocemento. Cuando se lleve a cabo la sectorización se tendrá que hacer una estimación de cuáles son los sectores que tienen más fugas y en ese momento se valorará si interesa o no renovar red.

Las demás mejoras también presentan beneficios de diverso tipo, estando expuestos en la Tabla 10-2.

## 11. CONCLUSIONES

Para finalizar este trabajo resulta interesante plasmar varias conclusiones tanto de esta Memoria como del Documento “Confección del Modelo Matemático”.

Se podría comenzar recordando que la red de abastecimiento de agua potable de Sagunto es muy compleja, no sólo por su gran extensión sino también por los elementos, componentes y la configuración hidráulica que posee. Existen cuatro redes independientes para Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia, Puerto de Sagunto, Camí la Mar/Parc Sagunt y L’Almardà.

La elevada diferencia de cotas entre los depósitos de cabecera y las zonas de menor altitud genera en estos lugares presiones excesivas. Este hecho combinado con que en las principales redes los rendimientos volumétricos no son buenos, pone de manifiesto que existe un amplio margen de mejora para reducir volúmenes de agua fugados.

Un punto clave de este sistema es la planta potabilizadora, que en condiciones normales actúa como única fuente de suministro para toda la población. En ella hay tres impulsiones que elevan el agua a los depósitos de cabecera o directamente la impulsan a diversas redes, entre ellas la red objeto de este estudio. De un primer análisis del rendimiento y consumo energético se concluye que esta instalación también puede mejorar su funcionamiento incrementando la eficiencia.

Para ejecutar un buen análisis del sistema y proponer mejoras acordes con los problemas existentes se ha creado un modelo matemático capaz de reproducir el comportamiento de la red con suficiente precisión para diversas situaciones de consumo. En éste, las fugas son dependientes de la presión por lo que el modelo es capaz de estimar la modificación del caudal inyectado si las condiciones de presión varían. Esto será muy útil a la hora de estimar si la reducción de presiones es rentable para disminuir volúmenes fugados y aumentar el rendimiento volumétrico.

El funcionamiento del modelo es correcto aunque podría ser mejorado si se llevara a cabo una calibración más fina consistente en mejorar el reparto de caudales y posiblemente variar la rugosidad absoluta o diámetro interior de algunas conducciones. Para ello habría que disponer de más tiempo y recursos disponibles, sobre todo más puntos de medida de presión y caudal y más registros históricos de mediciones. En cualquier caso la exactitud alcanzada es más que suficiente para poder llevar a cabo un análisis de la red y propuesta de mejoras satisfactorias.

Respecto al análisis en condiciones normales de suministro, se observa que existen presiones muy altas, superiores a 50 mca en gran parte de la red, en especial en Sagunto Centro Urbano, Norte Palancia y parte baja del Puerto de Sagunto. Este problema es complejo porque hay zonas a mayor altitud que presentan presiones bajas que rondan los 20 mca siendo este problema opuesto al anterior, por lo que habrá que llegar a una solución de compromiso válida para ambos casos.

La sectorización existente está limitada a varios macrosectores y a algunas zonas aisladas como Urbanización Churruca y Polígono Ingruinsa, no siendo suficientemente operativa para acotar las posibles fugas presentadas. Para el casco urbano de Sagunto sí que existe una presectorización hidráulica muy interesante, escalonada según las cotas en tres zonas para que las presiones puedan ser homogéneas. No obstante, falta instrumentación, material hidráulico y telegestión.

Con relación a L'Almardà y nuevos polígonos industriales como Camí la Mar o Parc Sagunt, se constata que la red tiene suficiente margen de maniobra para dar servicio a los usuarios actuales y futuros.

El análisis para condiciones de emergencia muestra que en general la red se comporta bien ante la extracción de caudales a través de los hidrantes de protección contra incendios. No obstante, para cumplir con la normativa es necesaria la instalación de algunos hidrantes. El comportamiento ante puesta fuera de servicio de conducciones para realizar reparaciones también es correcto. Ello es debido a que la red es muy mallada y se pueden encontrar numerosos caminos alternativos de suministro.

Por todo ello y con ayuda del modelo matemático se han estudiado y planteado diferentes propuestas de mejora que, además de mejorar la calidad del servicio y de gestión, pretenden optimizar la eficiencia hidráulica y energética, reduciendo el volumen de agua fugado en la red y la energía consumida en las impulsiones de la planta potabilizadora. Son las siguientes:

- Mejora de la red de distribución
  - Reducción de presiones mediante 4 VRP y sectorización selectiva
  - Sectorización de la red incluyendo telegestión
  - Instalación de hidrantes de incendio necesarios
  - Comprobación/Calibración del material hidráulico e instrumentación
  - Implantación de un Sistema de Información Geográfica
  - Renovación de la red de fibrocemento de bajo calibre  $\varnothing \leq 100\text{mm}$
- Modificaciones del sistema hidráulico para mejorar la red de traída
  - Suministro por gravedad a Camí la Mar/Parc Sagunt
  - Suministro por gravedad al Puerto de Sagunto por gravedad
  - Suministro por gravedad a Sagunto centro desde Depósito Cota 75 + Rebombeo a S3

Por último se ha realizado una valoración económica de la inversión necesaria para implantar estas soluciones y del beneficio que traen aparejadas con objeto de discernir cuáles son más provechosas.

En general todas estas propuestas pueden optimizar cómo trabaja el sistema incrementando la eficiencia hidráulica, energética y de gestión. Esto se traducirá en un beneficio para los usuarios que verán mejorada la calidad del servicio y en segundo plano para la empresa gestora Aguas de Valencia, que podrá obtener más rentabilidad de la explotación haciendo ésta más viable.

## 12. REFERENCIAS

### BIBLIOGRAFÍA

Bartolín, H.J. y Martínez Alzamora, F. (2006). *GISRed v2.0. Extensión de Arcview 3.2a para la confección y el mantenimiento actualizado de modelos de redes de distribución de agua a presión. Manual de usuario*. Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Cabrera, E., Espert, V., Arregui, F., García-Serra, J., García Carrasco, V. (2001). *Evaluación y control de pérdidas de agua en redes urbanas. Curso de fugas y modelación matemática de redes*. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Cabrera, E., Espert, V., García-Serra, J., Martínez, F., Andrés, M. y García, M. (1996). *Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Fuertes, V.S., García-Serra, J., Iglesias, P.L., López, G., Martínez, F.J. y Pérez, R. (2002). *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua*. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Grupo REDHISP (2013). *Curso de Hidráulica básica para operadores*. Grupo de Redes Hidráulicas y Sistemas a Presión. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Iglesias, P.L. y Martínez Solano, F.J. (2012). *Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante Epanet 2 vE*. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).

### NORMATIVAS

Ayuntamiento de Sagunto. Oficina técnica de urbanismo. *Plan General de Ordenación Urbana*. Sagunto (España).

Ministerio de Obras Públicas (1996). *Real Decreto 2177/1996 de 4 de octubre de 1996 (Derogado). Norma básica de la edificación NBE CPI 96. Condiciones de protección contra incendios en los edificios. BOE de 29 de octubre de 2006*.

Ministerio de Sanidad y Consumo (2003). *Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE 21 de febrero de 2003*.

### OTRAS REFERENCIAS

Presentación sobre ITA fugas: Cobacho, R., Arregui, F., Soriano, J. y Cabrera Jr, E. *Including leakage in network models: an application to calibrate leak-valves with Epanet*. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Apuntes del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).



# CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO



## **CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
1.1 <i>Aplicaciones del modelo</i> .....	3
1.2 <i>Programas informáticos utilizados</i> .....	4
<b>2. PREPARACIÓN DEL ESQUELETO DE LA RED</b> .....	<b>5</b>
2.1 <i>Recopilación de información</i> .....	5
2.2 <i>Esqueletización de la red: De CAD a GISRed</i> .....	6
2.3 <i>Comprobación de la conectividad</i> .....	11
2.4 <i>Interpolación de cotas</i> .....	13
2.5 <i>Ortofoto</i> .....	16
2.6 <i>Tuberías sin servicio y válvulas cerradas</i> .....	17
2.7 <i>Comprobación final de errores y conectividad</i> .....	18
<b>3. CARGA INICIAL DEL MODELO HIDRÁULICO</b> .....	<b>19</b>
3.1 <i>Introducción</i> .....	19
3.2 <i>Asignación de consumos registrados</i> .....	19
3.3 <i>Primer análisis en Epanet</i> .....	24
3.4 <i>Asignación inicial de consumos no registrados – Método de las fugas constantes dependientes de la longitud de tubería incidente en cada nodo</i> .....	25
3.5 <i>Introducción de elementos hidráulicos y controles en Epanet</i> .....	30
3.6 <i>Curvas de modulación horaria del consumo registrado</i> .....	33
3.7 <i>Calibración de caudales y presiones – 2 agosto de 2013</i> .....	35
<b>4. CARGA DEFINITIVA DEL MODELO HIDRÁULICO</b> .....	<b>39</b>
4.1 <i>Asignación definitiva de consumos no registrados – Método de las fugas dependientes de la presión y de la longitud de tubería incidente en cada nodo</i> .....	39
4.2 <i>Calibración de caudales y presiones - 2 agosto de 2013</i> .....	40
4.3 <i>Calibración de caudales y presiones – 25 de noviembre de 2013</i> .....	44
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>47</b>
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	<b>49</b>



## **1. INTRODUCCIÓN**

En este documento, que forma parte del Análisis del Abastecimiento de Agua Potable de Sagunto, se desarrolla cómo se ha realizado el modelo matemático de detalle de la red de agua potable de Sagunto.

Como se indicó en la Memoria, lo que se busca al elaborar estudio es establecer una serie de medidas e inversiones que mejoren, por una parte, la calidad del servicio y por otra, aumenten la eficiencia energética e hidráulica del sistema. El modelo matemático se crea para ayudar a encontrar estas soluciones.

Resaltar que este modelo matemático es de detalle, ya que incluye la mayor cantidad de información posible respecto al esqueleto de la red y a la carga hidráulica del modelo. No es posible llegar hasta el nivel de las acometidas ya que Aguas de Valencia aún no las tiene recogidas en su sistema de información geográfica.

Destacar también que el análisis que se realiza es dinámico durante las 24 horas de los días seleccionados. Esto permite estudiar cómo se realiza la regulación de los depósitos y bombas, variaciones de consumo y presiones, funcionamiento de las distintas válvulas reductoras de presión en función de la programación existente...

### **1.1 Aplicaciones del modelo**

Las utilidades y aplicaciones de este modelo son varias, destacando:

- Conocimiento exhaustivo de cómo funciona la red
- Determinación de problemas singulares que pasan desapercibidos durante la explotación
- Puede servir de entrenamiento a los operadores antes situaciones anómalas
- Es una herramienta muy útil en el proceso de diseño de redes nuevas
- Análisis de la situación actual del sistema con datos en todos los puntos de la red, desde el punto de vista hidráulico y de la calidad
- Análisis de la situación para condiciones de emergencia
- Permite realizar cambios en la explotación de la red sin ningún tipo de riesgo real
- Permite establecer la mejor sectorización posible
- Permite establecer el mejor sistema de explotación de la red para mejorar la eficiencia hidráulica y energética

Todas estas aplicaciones constituyen una ventaja sustancial en la gestión del sistema, siempre y cuando el modelo esté bien construido y sea fidedigno.

## 1.2 Programas informáticos utilizados

Antes de comenzar a explicar cómo se ha realizado el modelo es preceptivo indicar qué programas y aplicaciones informáticas han sido utilizados.

Según la estructuración de cómo se ha creado el modelo matemático se tiene:

- **Preparación del esqueleto de la red:** AutoCAD (Autodesk), Extensión GISRed de Arcview (ESRI), ArcGis (ESRI), Microsoft Excel y Base de datos de Open Office.
- **Carga inicial del modelo hidráulico:** Hasta asignación de consumos registrados GISRED. Posteriormente Microsoft Excel, Base de datos Open Office, Microsoft Access y Epanet.
- **Carga definitiva del modelo hidráulico:** Microsoft Excel, Base de datos Open Office, Microsoft Access y Epanet.

Además de estos programas, para realizar el resto del trabajo se han utilizado otros programas como Microsoft Word, Adobe Photoshop y Presto.

De todas las herramientas y programas informáticos citados cabe destacar la extensión GISRed versión 2.0 para Arcview 3.2, desarrollada por Hugo J Bartolín Ayala y Fernando Martínez Alzamora, del Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

Esta extensión permite crear un modelo hidráulico de una red de abastecimiento a partir de la información vectorial existente, cargar consumos y finalmente pueda ser exportada a Epanet

También ha resultado muy útil el manual de esta extensión desarrollado por los mismos autores. (*Bartolín, H.J. y Martínez Alzamora, F. 2006*).

La versión de Epanet utilizada es Epanet V2.0, traducida al castellano por Fernando Martínez Alzamora con la financiación de Aguas de Valencia. Uno de los aspectos positivos de esta versión es que es totalmente compatible con GISRed.

Aunque la asignación de fugas también podría haberse hecho con GISRed se ha preferido realizar una asignación no automática con Microsoft Excel para que ésta sea más correcta. Esto será explicado en este documento.

Además de las referencias incluidas en este documento cabe destacar el libro "Análisis y diseño de redes de distribución de agua" (*Iglesias, P.L. y Martínez Solano, F.J. (2012)*), que ha sido muy útil a la hora de configurar la red en Epanet y todo el fundamento teórico indicado por D. Jorge García-Serra.

## **2. PREPARACIÓN DEL ESQUELETO DE LA RED**

### **2.1 Recopilación de información**

La información de partida de esta red de abastecimiento de agua potable ha sido proporcionada tanto en papel como en formato digital CAD por Aguas de Sagunto y Aguas de Valencia.

➤ **Información contenida en las capas CAD**

#### **REDES DE AGUA**

- Red de agua potable general
- Red de agua potable Parc Sagunt
- Red proyectada
- Red de riego
- Red de incendios
  - Inguinsa
  - Parc Sagunt
- Red de agua industrial
  - Camí la Mar
  - Inguinsa (y riego)
  - Parc Sagunt
- Red privada Almardà
- Red traída potable Parc Sagunt
- Red abandonada

#### **ELEMENTOS DE LA RED**

- Válvulas → Hay información sobre si están cerradas, en funcionamiento, reductoras...
- Ventosas
- Desagües
- Hidrantes

A efectos prácticos, para este modelo sólo se ha tenido en cuenta la red de agua potable y las redes de traída desde la ETAP hasta las distintas redes hidráulicas.

Existe información en CAD sobre materiales y diámetros, pero no está categorizada y no permite hacer consultas en base de datos. No se dispone de un sistema de información geográfica y ha tenido que crearse personalmente a partir de todos estos datos, mediante la extensión GISRed de Arcview. Es un paso previo y necesario para poder obtener finalmente el modelo matemático de la red en Epanet.

## 2.2 Esqueletización de la red: De CAD a GISRed

### 2.2.1 Adecuación de la información CAD

Para que la red pueda ser importada correctamente a GISRed es necesario adecuar la información contenida en el documento CAD.

Habrà que clasificar por diámetros y materiales todas las tuberías de la red de abastecimiento. Esto se hace mediante la generación de capas con nombre de diámetros y tuberías.

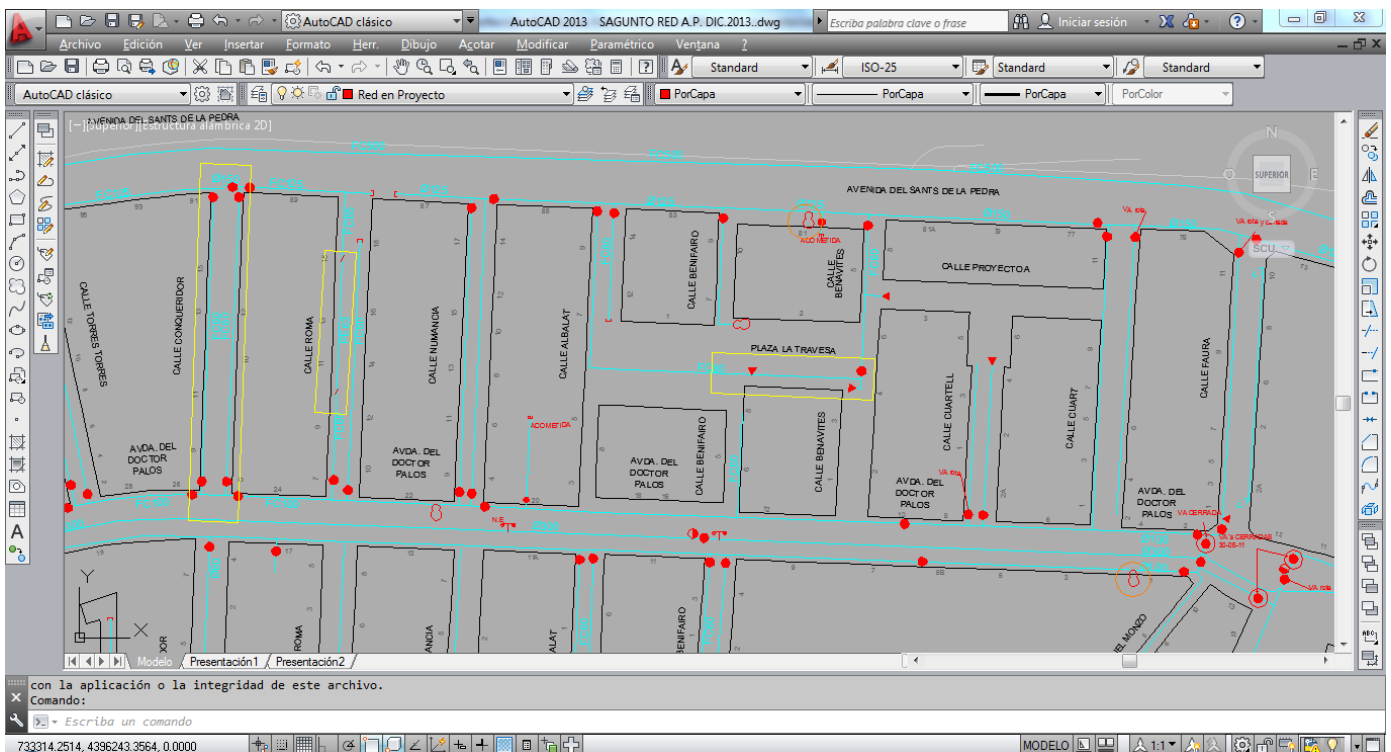


Figura 2-1. Ventada de AutoCAD con las tuberías sin reclasificar

Se tiene que prestar especial atención a la conectividad de la red. Hay un número muy alto de conexiones que parecen correctas y luego son inconexas. Otro de los errores más frecuentes que se pueden cometer es olvidar pequeños trozos de tuberías que no sean reclasificados.

De todas formas, en GISRED habrá que comprobar la conectividad de la red mediante una herramienta específica ya que al pasar la información a ese programa mucho de lo conectado en CAD será inconexo.

Las tuberías que no se conocen con precisión las agrupamos en una capa llamada “desconocidas” para que puedan ser editadas después en GISRed cuando se conozcan sus características.

## 2.2.2 Importación de la información a GISRed

GISRed es una extensión desarrollada conjuntamente por la UPV y Aguas de Valencia para Arcview. Permite editar, preparar y modelizar una red procedente de distintos formatos (entre ellos CAD). Por último permite exportar la red a Epanet para que el modelo pueda ser ejecutado.

### ➤ Creación del proyecto en GISRed

Lo primero que hay que hacer es cargar las extensiones GISRed v 2.0 y CadReader. Lo siguiente es crear un proyecto en GISRed. Lo guardamos en c:\ para que la ruta sea más corta y no haya problemas. La secuencia de comando es GISRed → New:

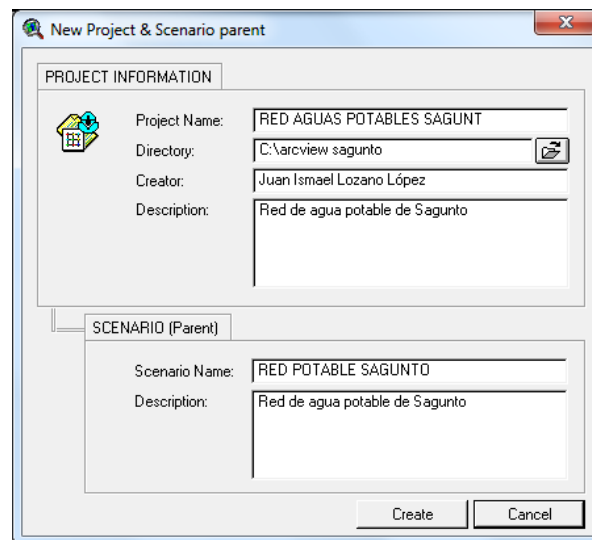


Figura 2-2. Creación del nuevo proyecto de GISRed

El siguiente paso consiste en añadir el archivo CAD que hemos editado. La vista queda así:

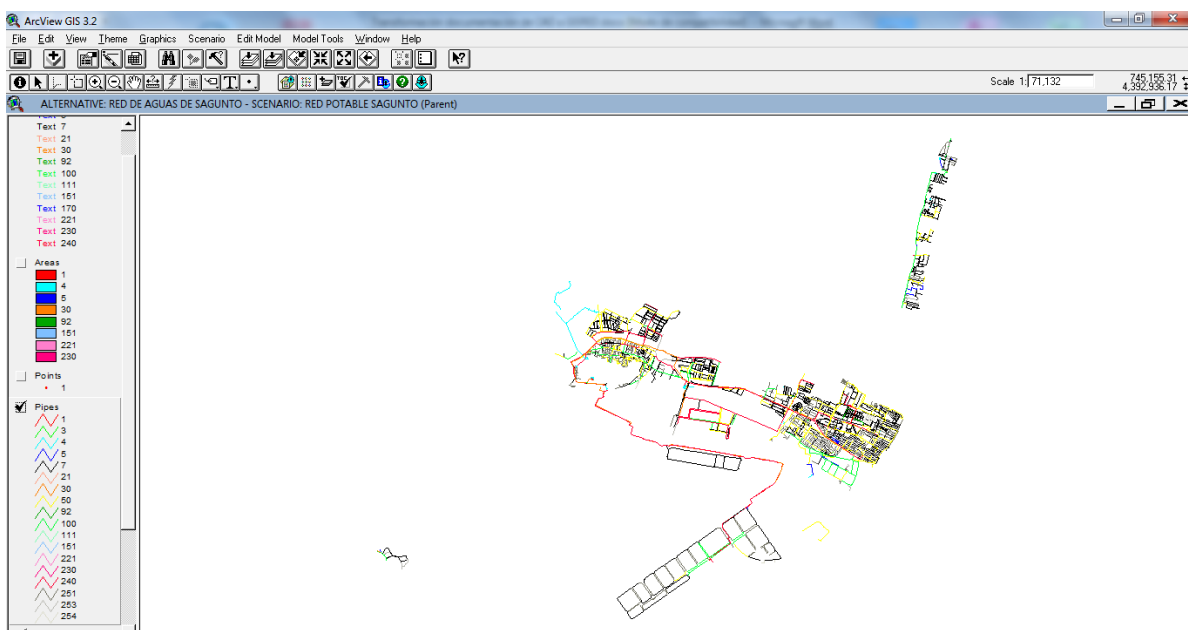


Figura 2-3. Vista de GISRed tras añadir el archivo CAD



➤ **Importación de la red de agua potable**

Teniendo seleccionada la capa “LINKS OF RED POTABLE” (con sólo las capas deseadas), se inicia la importación mediante “Import Network” → Cad Layer:

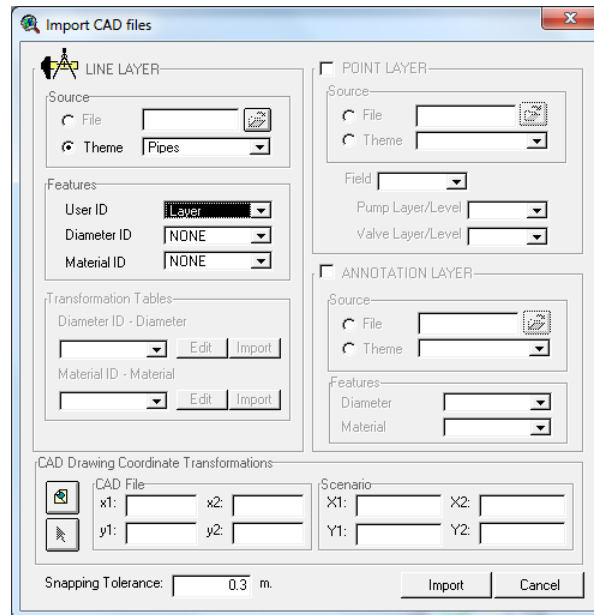


Figura 2-4. Ventana de importación desde CAD

El aspecto de la red tras ser importada a formato GISRed es el siguiente:

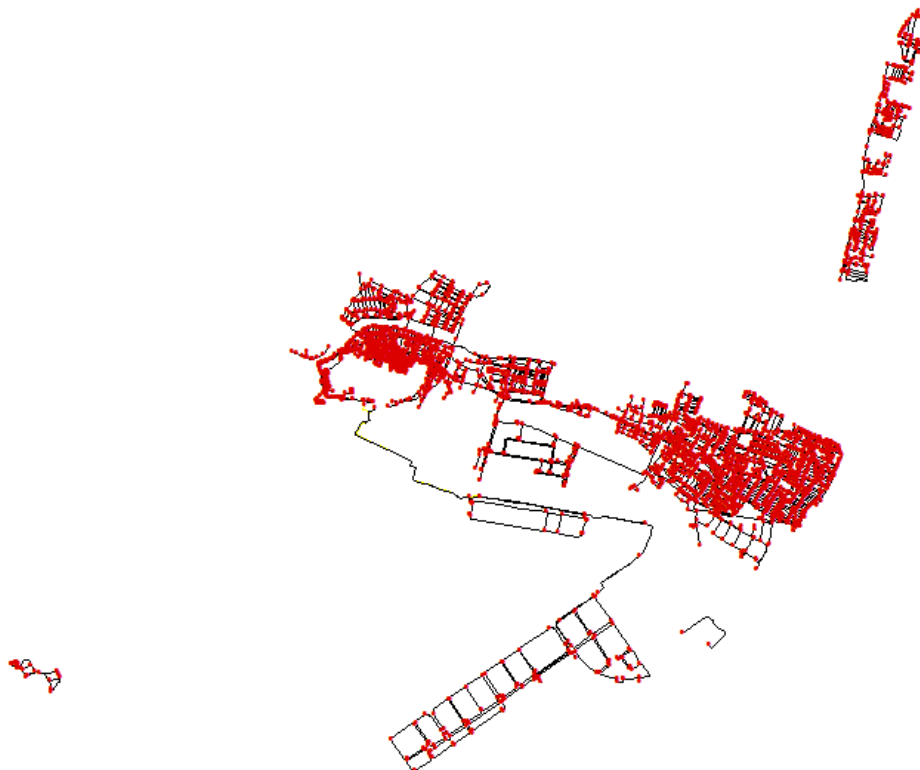


Figura 2-5. Red importada en GISRed

### 2.2.3 Asignación de materiales y diámetros a las tuberías

Se han agrupado en diferentes capas de CAD las tuberías por diámetros y materiales. Ahora hay que asignar esas capas que están en la tabla “Attributes of LINKS of RED POTABLE SAGUNTO” a la red recientemente importada Para ello hay que ir a “Tables” y añadir a “mpipes1” la tabla “Attributes of LINKS of RED POTABLE SAGUNTO” mediante la herramienta “Join”.

Como se puede comprobar, existen el mismo número de tuberías en las dos tablas y además están en el mismo orden. Es muy sencillo asociar una tabla a la otra.

Para asociarla procedemos de la siguiente manera:

1. Ponemos en paralelo las dos tablas. A la izquierda “mpipes1” y a la derecha “Attributes of LINKS of RED POTABLE SAGUNTO”.
2. Seleccionamos la cabecera de la columna “IDpipe” (mpipes1) que será la llave de la asociación.
3. Seleccionamos la cabecera de la columna IDPolyline (Attributes...), que será la otra llave de la asociación.
4. Dejamos resaltada en primer lugar la tabla “mpipes1”.
5. Pinchamos en el botón “Join”.

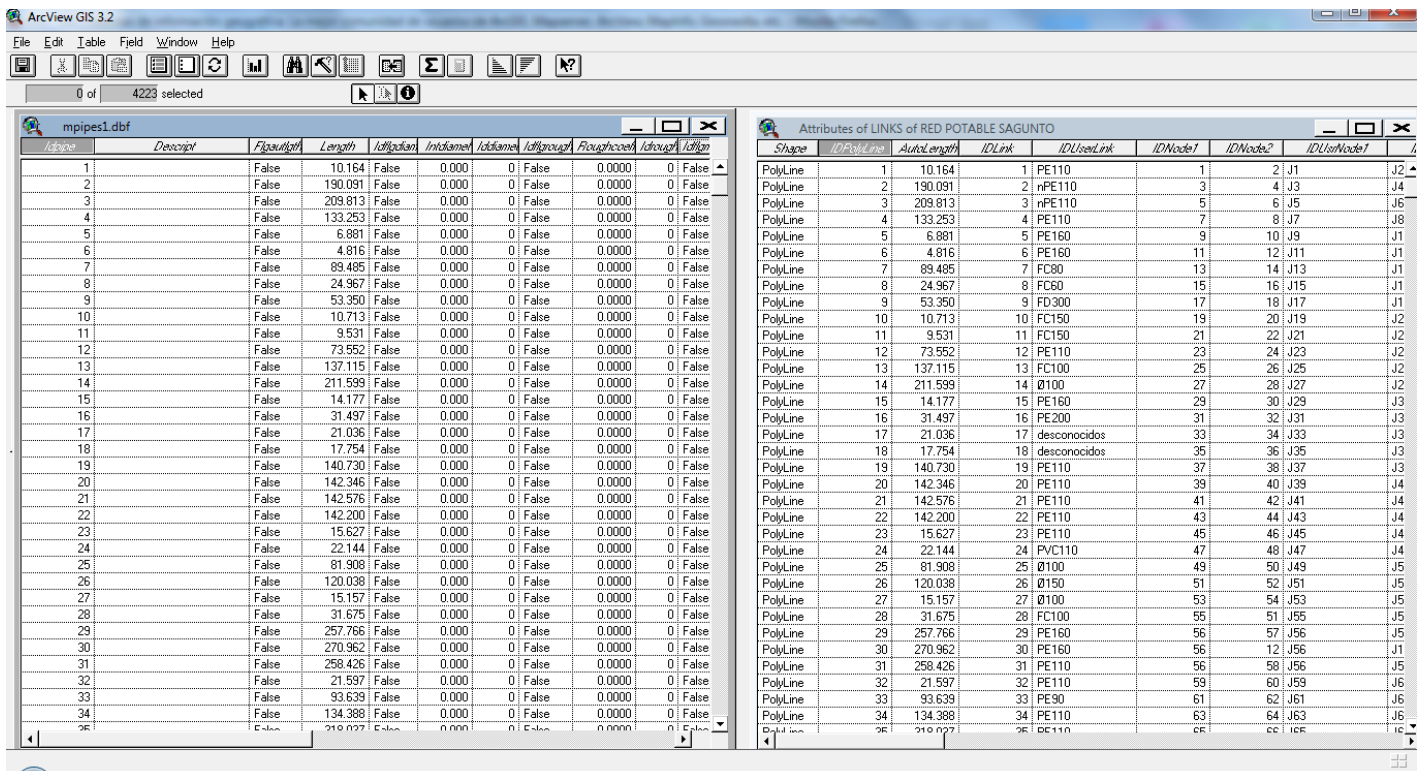


Figura 2-6. Aspecto de las dos tablas antes de hacer la unión

Después de hacer esto las dos tablas se han unido en “mpipes1”. La asociación está hecha. Lo único restante es asignar los diámetros a la columna de “IntDiam” y materiales a “Mat”.

A la hora de asignar los diámetros tendremos que adaptar los diámetros nominales que tenemos a los diámetros interiores, que es lo que interesa hidráulicamente. En el caso de materiales no plásticos el diámetro nominal y el interior coincidirán mientras que para los plásticos habrá que asignarlo, ya que el diámetro indicado es el externo.

Para la asignación es necesario iniciar la edición mediante Tables → Start Editing. Vamos seleccionando las diferentes capas que hemos realizado y con la calculadora se le asigna el diámetro y el material a esa selección. Procediendo de esta manera vamos rellenando las características de todas las tuberías. Una ilustración de esto es la siguiente:

Idpipe	Descript	Length	Inndiamet	Iddiamet	Roughcoeff	Mlosscoeff	Mat	Age	Bulkcoeff	Wallcoeff	Newrough	Autolength	IDLink	IDUsedLink	IDMode1	IDMode2	IDUseMode1
5		6.881	141.000	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	6.881	5	PE160	9	10	J9
6		4.816	141.000	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	4.816	6	PE160	11	12	J11
7		89.485	80.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	89.485	7	FC80	13	14	J13
8		24.967	60.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	24.967	8	FC60	15	16	J15
9		53.350	300.000	0	0.0000	0.000	Fundición	0	0.000	0.000	0.0000	53.350	9	FD300	17	18	J17
10		10.713	150.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	10.713	10	FC150	19	20	J19
11		9.531	150.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	9.531	11	FC150	21	22	J21
12		73.552	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	73.552	12	PE110	23	24	J23
13		137.115	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	137.115	13	desconocidos	25	26	J25
14		211.599	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	211.599	14	Ø100	27	28	J27
15		14.177	141.000	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	14.177	15	PE160	29	30	J29
16		31.497	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	31.497	16	PE200	31	32	J31
17		21.036	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	21.036	17	desconocidos	33	34	J33
18		17.754	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	17.754	18	desconocidos	35	36	J35
19		140.730	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	140.730	19	PE110	37	38	J37
20		142.346	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	142.346	20	PE110	39	40	J39
21		142.576	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	142.576	21	PE110	41	42	J41
22		142.200	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	142.200	22	PE110	43	44	J43
23		15.627	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	15.627	23	PE110	45	46	J45
24		22.144	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	22.144	24	PVC110	47	48	J47
25		81.908	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	81.908	25	Ø100	49	50	J49
26		120.038	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	120.038	26	Ø150	51	52	J51
27		15.157	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	15.157	27	Ø100	53	54	J53
28		31.675	100.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	31.675	28	FC100	55	56	J55
29		257.766	141.000	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	257.766	29	PE160	56	57	J56
30		270.962	141.000	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	270.962	30	PE160	56	58	J56
31		258.426	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	258.426	31	PE110	56	58	J56
32		21.597	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	21.597	32	PE110	59	60	J59
33		93.639	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	93.639	33	PE90	61	62	J61
34		134.388	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	134.388	34	PE110	63	64	J63
35		318.037	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	318.037	35	PE110	65	66	J65
36		350.105	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	350.105	36	PE110	67	68	J67
37		127.332	141.000	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	127.332	37	PE160	69	70	J69
38		104.007	141.000	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	104.007	38	PE160	71	72	J71
39		233.759	96.800	0	0.0000	0.000	Polietileno	0	0.000	0.000	0.0000	233.759	39	PE110	70	73	J70
40		9.156	100.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	9.156	40	FC100	74	76	J74

Figura 2-7. Asignación de materiales y diámetros en "mpipes1"

Para comprobar que esto que hemos hecho está bien y los materiales y diámetros han sido bien asignados podemos ir a la vista de GISRed e ir comprobando aleatoriamente diversas tuberías. De esta forma podemos ver si coinciden las leyendas con la información de Arcview.

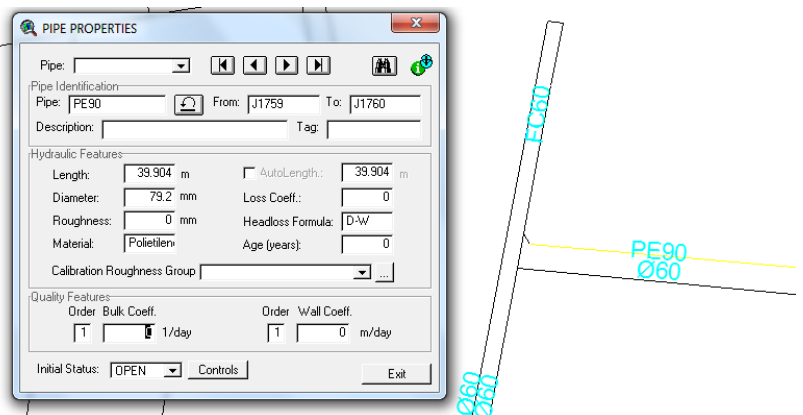


Figura 2-8. Propiedades de una tubería

## 2.3 Comprobación de la conectividad

Tras haber realizado todos los pasos previos es obligatorio comprobar la conectividad de todos los nodos de la red ya que desafortunadamente muchos de ellos quedan desconectados. Aunque se haya sido muy sistemático en CAD, GISRed separa uniones que están bien hechas.

Como paso previo a la comprobación de la conectividad de todos los nodos de la red se puede analizar la conectividad general de todo el sistema mediante la herramienta Model Tools → Connectivity:

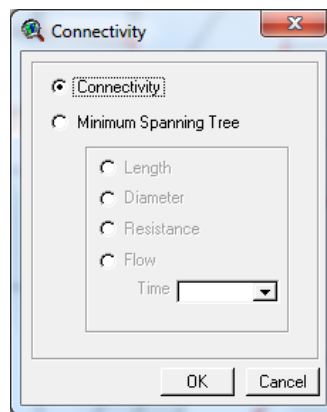


Figura 2-9. Comprobación de la conectividad del modelo

En la siguiente captura de pantalla se ve la red con diferentes colores. Si todos los puntos son alimentados desde un mismo punto y forman una malla única, el color debe ser el mismo para todas las tuberías. Como no lo es indica que la red es inconexa. De todas formas, aunque tuviera todo el mismo color eso no supone que todos los nodos están bien conectados ya que el agua podría llegar por otro camino alternativo.

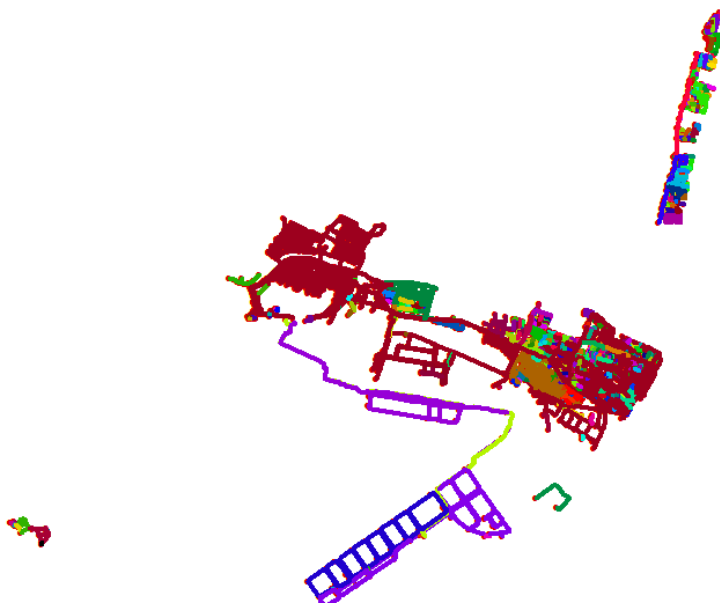


Figura 2-10. Conectividad inicial de la red

### 2.3.1 Edición de las conexiones

Para comprobar y editar las conexiones tenemos que utilizar la herramienta “Editings Tools”. Se pueden editar nodos o líneas (“NODES of RED POTABLE SAGUNTO” O “LINKS of RED POTABLE SAGUNTO”).

Lo más usual es editar nodos. Para ello seleccionamos la capa “NODES of RED POTABLE SAGUNTO” y le damos a “Editings Tools”. El menú es el siguiente:

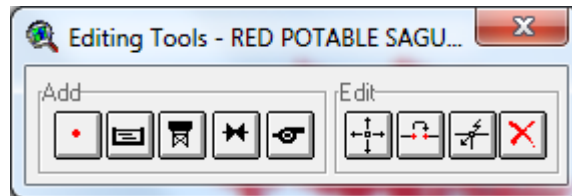


Figura 2-11. Herramientas de edición de las conexiones

Mediante esas herramientas podemos ver si un nodo está bien conectado y si no lo está, añadir otro y conectar tuberías. También se pueden eliminar, crear embalses, depósitos, válvulas, bombas...

En la siguiente captura de pantalla que surge tras aplicar la herramienta “connectivity” se observan dos zonas que no están bien conectadas al resto de la red. Con los comandos explicados en esta hoja la conectividad arreglaría quedando todo del mismo color.

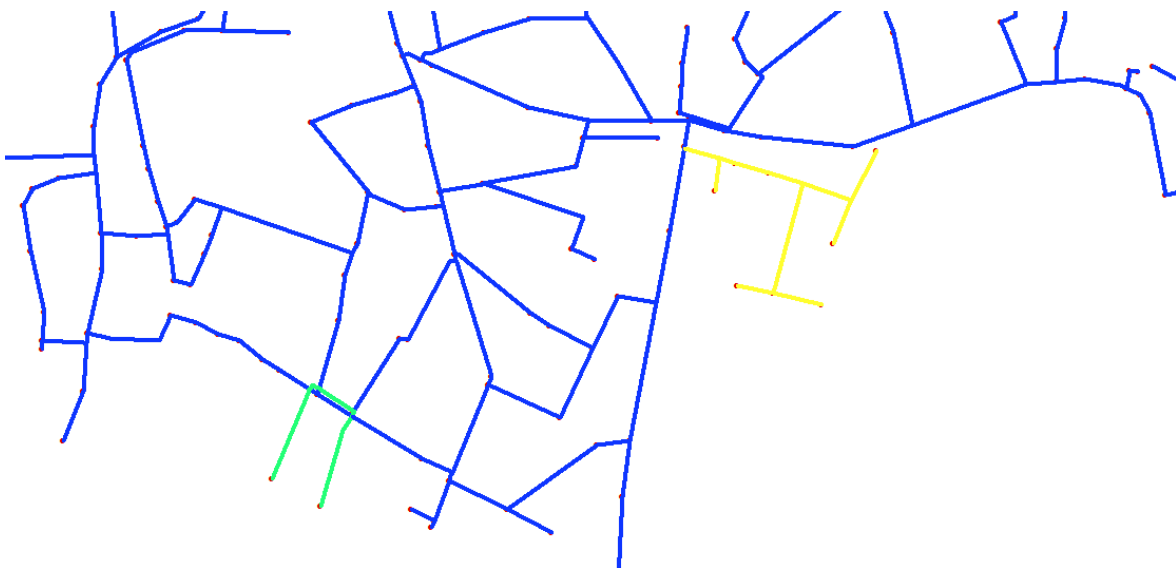


Figura 2-12. Zonas no conectadas a la red que deben ser conectadas

## 2.4 Interpolación de cotas

Uno de los pasos más importantes y que suele estar menos depurado en la elaboración de un modelo matemático de una red de agua potable es la interpolación de cotas en los nudos.

Existen multitud de fuentes de información de dónde poder sacar estos datos así como diferentes métodos de interpolación con distintos programas. En este caso se ha optado por sacar la información del MDT-05 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que da información extremadamente precisa de la superficie del terreno. El máximo error que puede llegar a introducir es de 20cm. No incluye las elevaciones de los edificios, árboles, líneas aéreas...



Figura 2-13. Página del Instituto Geográfico Nacional con la descarga de esta información

Debido a que Sagunto cae justo entre la intersección de tres hojas topográficas, hay que descargar las hojas 668,669 y 696:



Figura 2-14. Hojas guía del IGN

### 2.4.1 Creación del GRID de cotas para la zona de trabajo

Como se ha venido comentando, el programa utilizado para crear el esqueleto de la red, asignar cotas y demandas es GISRed Arcview. Para realizar la interpolación de Cotas es necesario disponer de un GRID o Raster que tenga datos de cota en cada punto de la zona de estudio.

Para realizar una manipulación previa de estos datos y creación del GRID se ha utilizado ArcGIS. La razón es porque es más moderno, más fácil de utilizar y más fiable.

Comentar brevemente que el sistema de referencia que utiliza Aguas de Valencia es ETRS 1950 zona 30 mientras que las del Instituto Geográfico Nacional son ETRS 1989 zona 30. Por ello es necesaria una transformación de coordenadas.

Después de esto, hay que recortar la zona de trabajo ya que no tiene sentido tener un raster que abarque una extensión más amplia. Finalmente se unen los tres rasters correspondientes a cada una de las hojas topográficas.

Siguiendo todos estos pasos se consigue obtener el GRID, que utilizaremos en GISRed. Para hacernos una idea de las cotas podemos generar un Mapa de sombras como el siguiente:

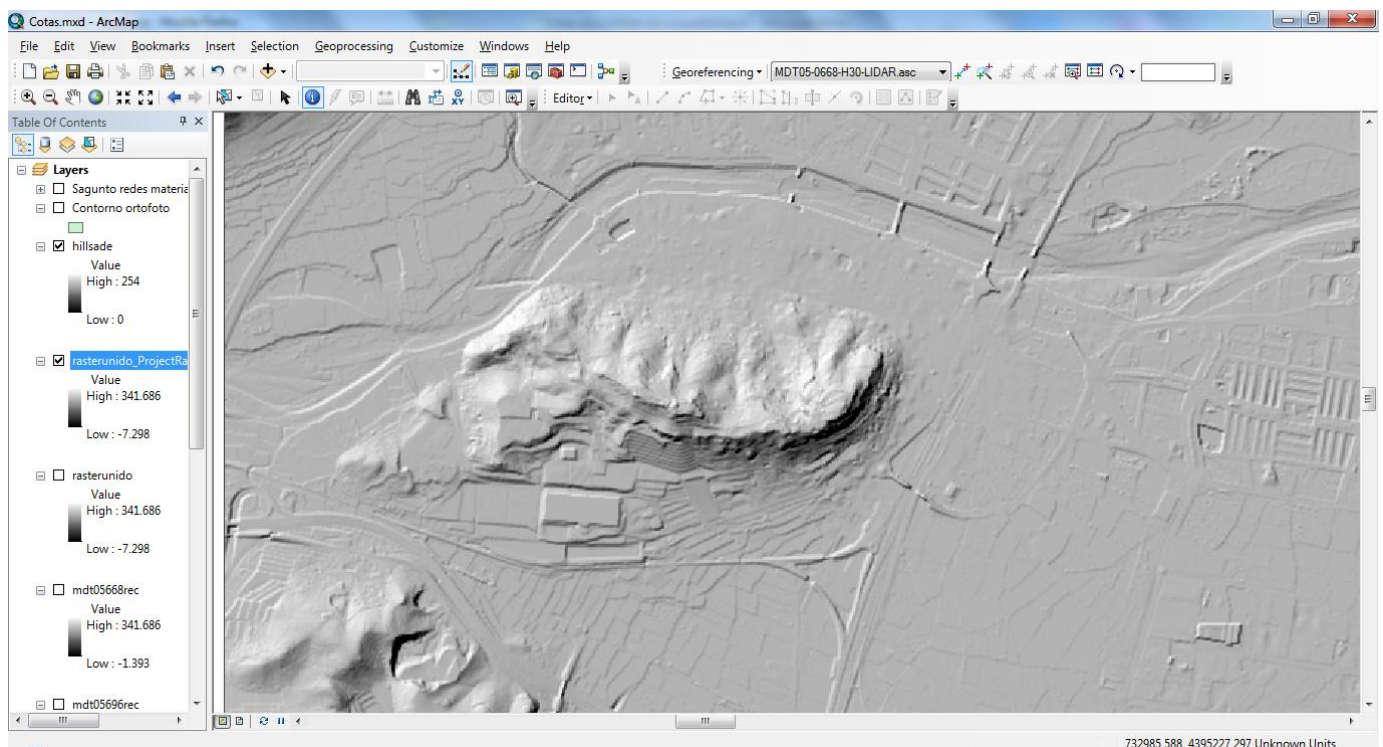


Figura 2-15. Hillsade de Sagunto Centro Urbano y Castillo de Sagunto

## 2.4.2 Interpolación de Cotas en GISRed

Tras la elaboración del GRID de cotas en ArcGis, se prosigue con la interpolación en GISRed. Para ello, se abre el proyecto y se añade el tema GRID. La vista es la siguiente:

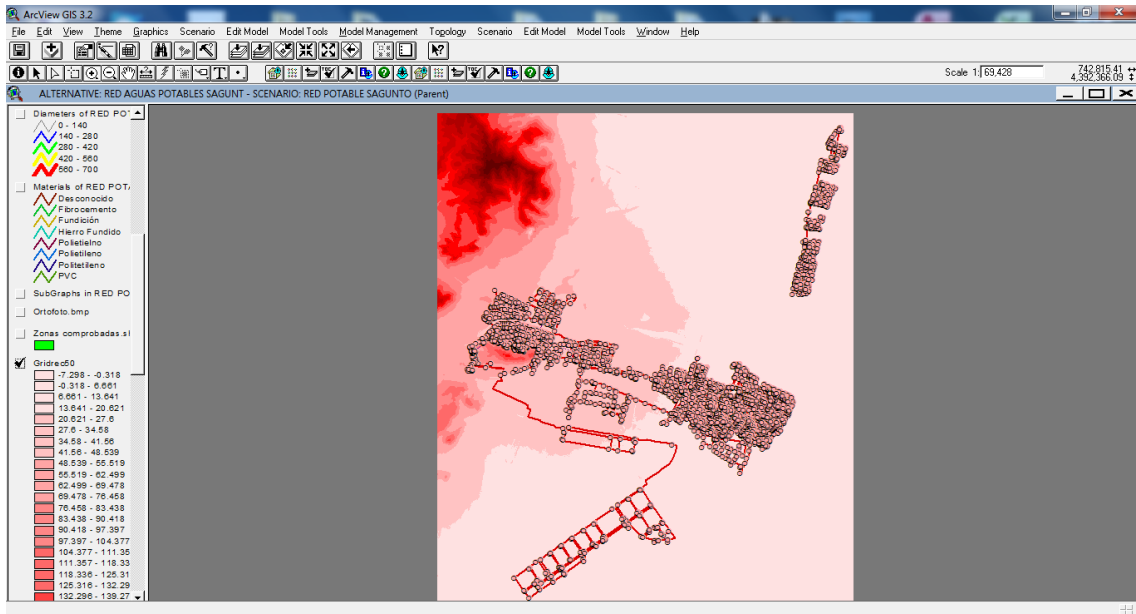


Figura 2-16. Red de abastecimiento de agua potable de Sagunto y GRID de Cotas

Tras comprobar que todo está correctamente, se puede proceder a la interpolación mediante el menú Model tools → Elevation interpolation:

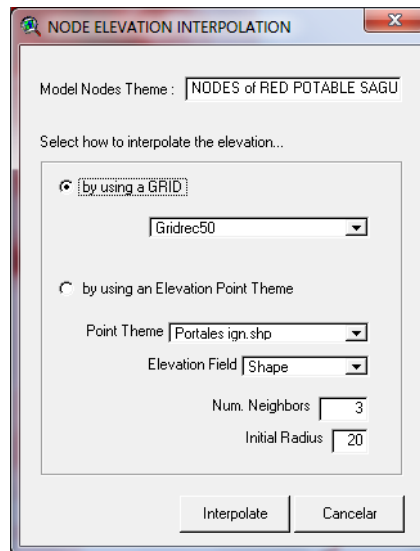


Figura 2-17. Ventana de interpolación de Cotas

De esta manera todos los nodos de la red tienen asociada una cota con una precisión muy alta, que será la utilizada por Epanet para hacer los cálculos hidráulicos.



## 2.5 Ortofoto

Una fuente de información fundamental a la hora de elaborar un modelo matemático es disponer de una ortofoto actual con la que contrastar la realidad con el modelo. Con ella se pueden distinguir zonas habitadas, parcelas en uso, nuevas urbanizaciones e incluso se puede comprobar si las tuberías procedentes de los ficheros CAD están ubicadas correctamente.

La fuente de información de la Ortofoto es la misma que para la de las cotas, el Instituto Geográfico Nacional IGN, en su página de descargas antes comentada. Indicar que se han tenido que descargar las hojas 696 y 698.

La manipulación de la Ortofoto descargada se ha realizado en ArcGis, siendo necesario un recorte previo, un cambio de sistema de coordenadas (igual que para las cotas), una unión de las dos partes correspondientes a las dos hojas cartográficas y por último la exportación a formato \*.bmp georreferenciado.

La imagen final tiene una resolución muy buena, que permite estudiar en detalle la superficie de Sagunto, pese a que la definición ha sido reducida para que pueda ser manipulada con más facilidad.

Para finalizar, indicar que esta foto se puede importar al proyecto GISRed y cuando se haya creado, al fichero de Epanet, ya que se encuentra en el mismo sistema de referencia que la red.

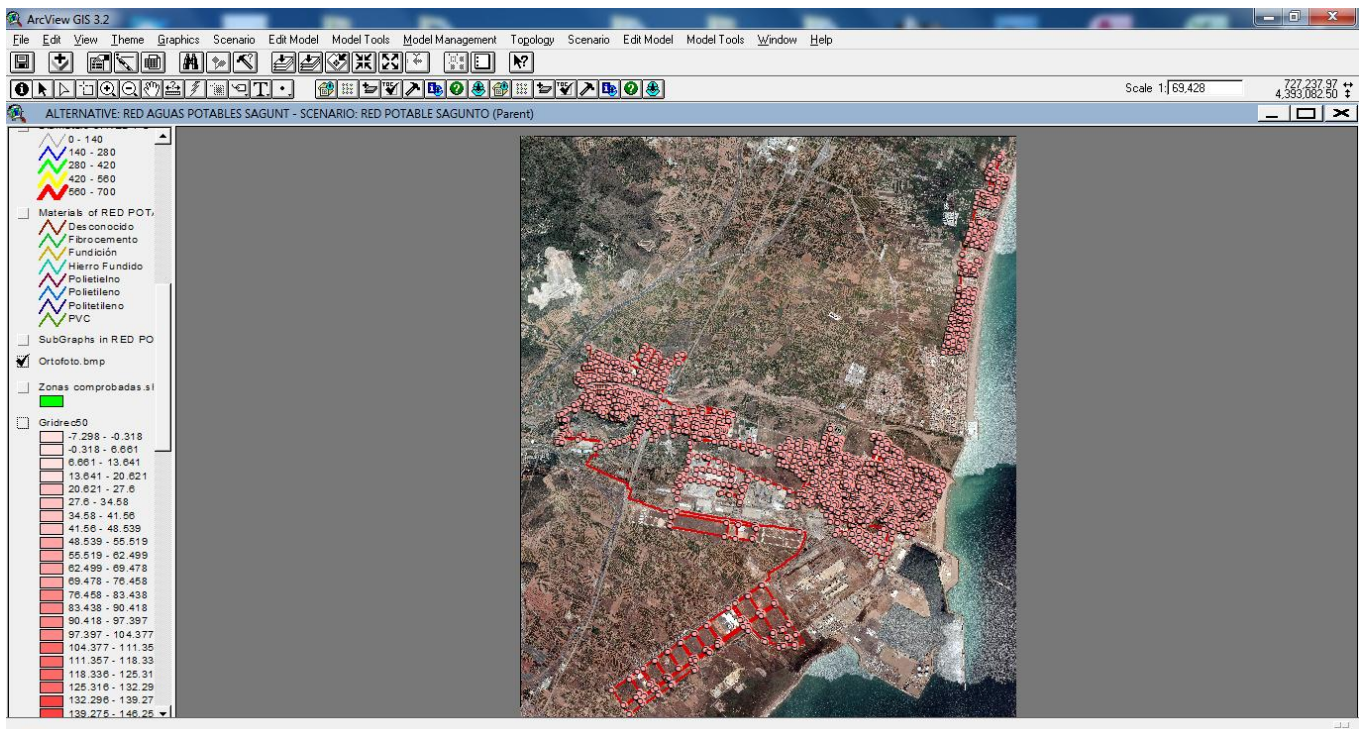


Figura 2-18. Vista en GISRed de la red y la Ortofoto de Máxima actualidad

## 2.6 Tuberías sin servicio y válvulas cerradas

Otro paso muy importante a la hora de que el modelo funcione lo mejor posible y pareciéndose a la realidad es saber dónde se encuentran las válvulas de seccionamiento cerradas y tuberías que no están servicio. Este proceso será desarrollado tanto en la fase de diseño de GISRed, como posteriormente en Epanet.

Lo primero que hay que hacer es cerrar las conexiones principales que no están conectadas (y que están incluidas en el esquema principal). Éste es el caso de la tubería Ø300 que conecta el Depósito Cota 110 con el Depósito Sepes, o las tuberías también de Ø300 que conectan Norte de Palancia con la red de Sagunto Centro Ciudad y la mencionada tubería Ø300.

Lo siguiente es comparar las tuberías y válvulas cortadas en el AutoCAD original, con la red en GISRed, para conexiones secundarias:

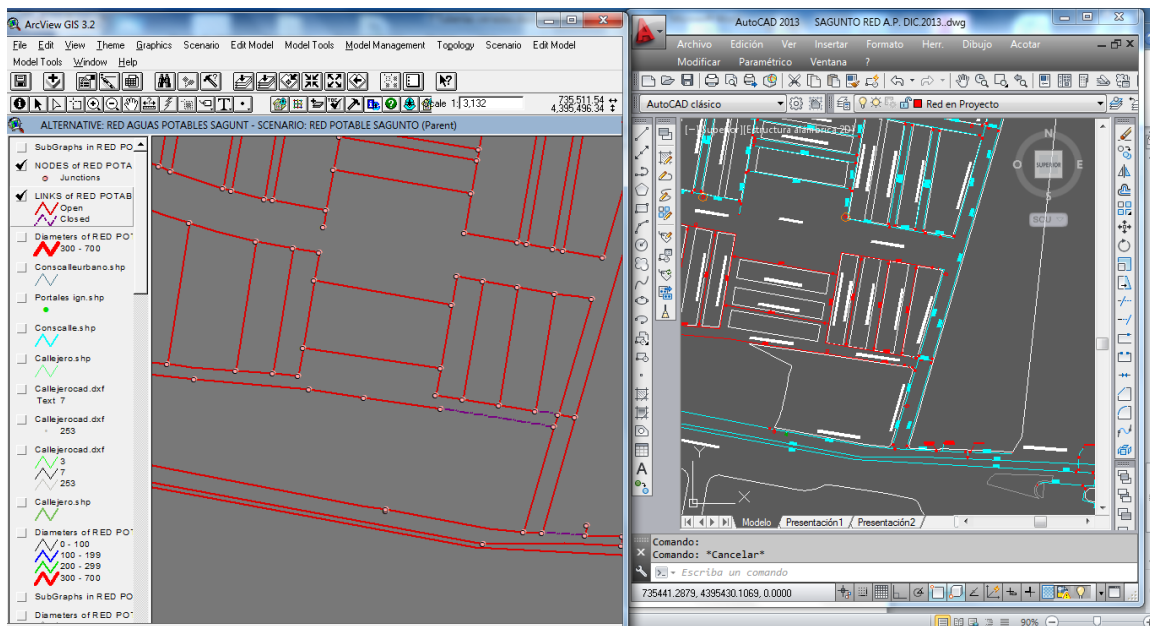


Figura 2-19. Desconexión de conducciones por las que no circula el agua

Para poder modificar el estado de la tubería (open/closed) es necesario editar las propiedades hidráulicas de éstas. Es muy importante que posteriormente no se asigne demanda a nudos que se encuentren en tuberías cerradas.

Es preceptivo indicar que durante la realización del modelo las condiciones de funcionamiento de la red han variado numerosas veces, en especial en el Polígono Industrial Parc Sagunt. La configuración del modelo matemático incluye la versión final del sistema de explotación.

## 2.7 Comprobación final de errores y conectividad

Antes de cargar los consumos registrados y exportar a Epanet es indispensable hacer una comprobación final de las tuberías y nodos del sistema.

Lo primero es comprobar la conectividad, que como hemos indicado en repetidas ocasiones es un objetivo primordial. En la siguiente captura de pantalla podemos observar que toda la red es conexas, distinguiendo las cuatro redes hidráulicas independientes:

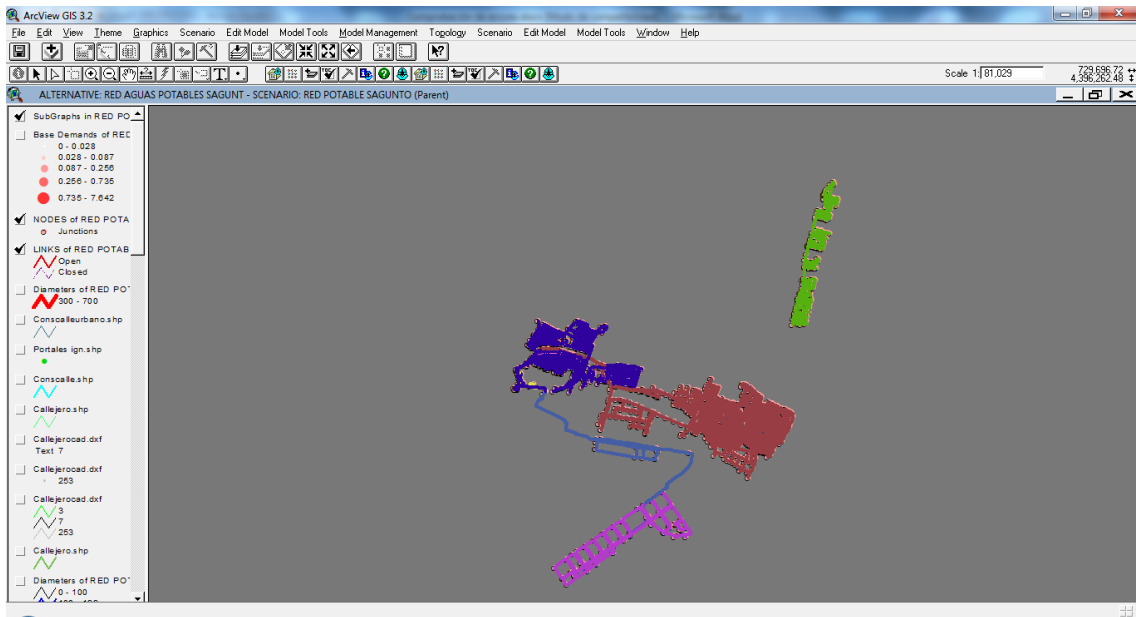


Figura 2-20. Conectividad correcta de la red

Lo siguiente es comprobar los errores en las líneas y nodos. Para ello vamos al menú: Edit Model → Data verification → Links and node verification options, y marcamos todas las opciones. Tras un proceso de depuración de los distintos errores se consigue que no haya errores:

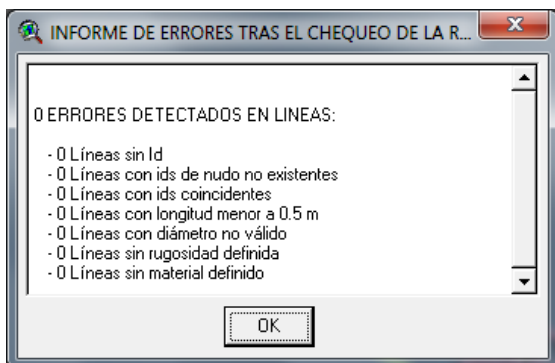


Figura 2-21. Informe de errores en las líneas

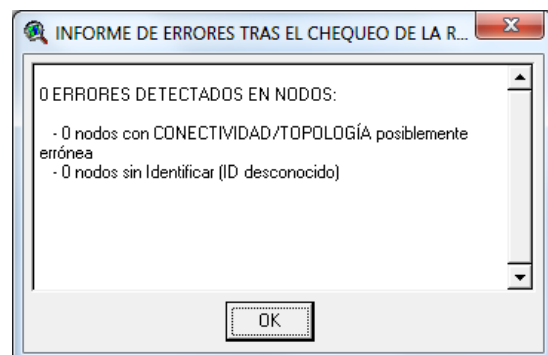


Figura 2-22. Informe de errores en los nodos

### 3. CARGA INICIAL DEL MODELO HIDRÁULICO

#### 3.1 Introducción

Después de haber creado el esqueleto de la red hay que proceder a realizar la carga hidráulica del modelo consistente en asignar los consumos registrados, caudales fugados, curvas de modulación y distintos elementos hidráulicos para que el modelo en Epanet funcione.

Esta carga del modelo se va a dividir en dos apartados:

- **Carga inicial del modelo:** Incluye la asignación de consumos registrados, fugas constantes ponderadas por longitud de incidencia, curvas de modulación e introducción de elementos hidráulicos. Se desarrollará durante el Capítulo 3 de este documento.
- **Carga definitiva del modelo:** Modifica a la anterior en la asignación definitiva de los consumos no facturados o fugas al incluir emisores que además de tener en cuenta las longitudes de incidencia hacen depender las fugas de las presiones. Se desarrollará en el Capítulo 4 de este documento.

#### 3.2 Asignación de consumos registrados

##### 3.2.1 Asignación por número de policía

Lo ideal para incorporar los datos de demanda de los usuarios sería disponer de la ubicación de las acometidas para poder hacer una asignación a los nodos de consumo por proximidad. Existe la posibilidad de utilizar los números de policía como acometidas, cruzando la información procedente del catastro con la de facturación. El problema es que no existe relación para todos los consumos debido a que el catastro es del año 2007 y por ello no se ha empleado este método.

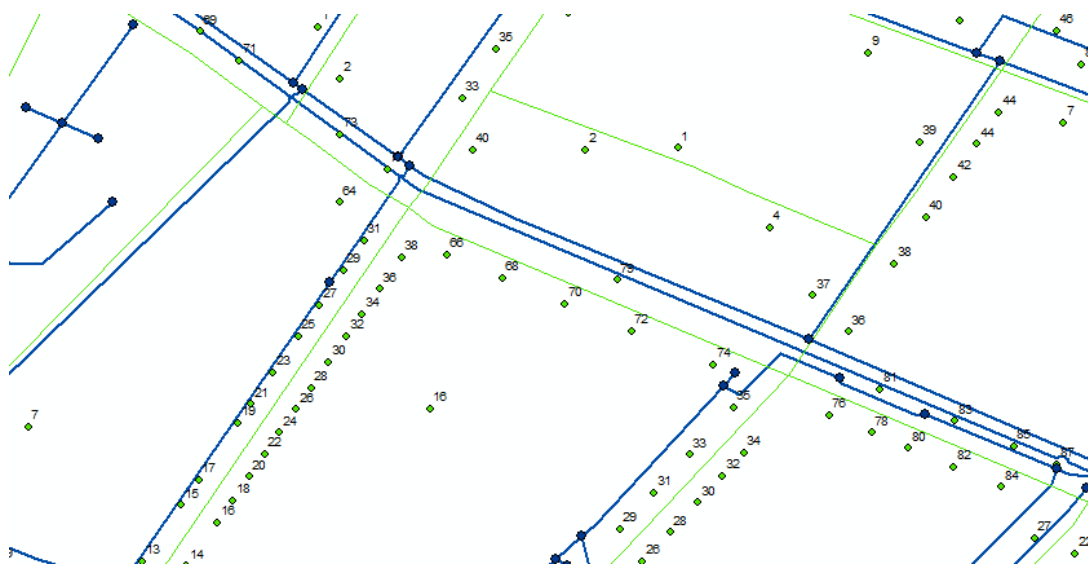


Figura 3-1. Detalle de la red, números de policía y nodos de consumo

### 3.2.2 Asignación por calle

Otra forma más práctica aunque algo menos precisa es la de asignar a cada calle un consumo total y que GISRed asigne automáticamente caudales a los nodos más próximos. Para llevar a cabo esta asignación es necesario disponer por un lado del callejero y por otro de la facturación por calle en Excel, existiendo una correspondencia directa e inequívoca.

➤ **Creación del callejero de consumos**

Se ha aprovechado parte de un callejero existente de un modelo matemático anterior aunque ha sido necesaria una revisión total y creación de nuevas calles en zonas que no habían sido incluidas.



Figura 3-2. Callejero en CAD (color negro) y Callejero creado (color rojo) para la asignación de los consumos

Es muy importante que las líneas del callejero que posteriormente incorporarán la información de consumos facturados pasen cerca de los nodos de consumo para que la asignación automática que realizará GISRed se haga bien.

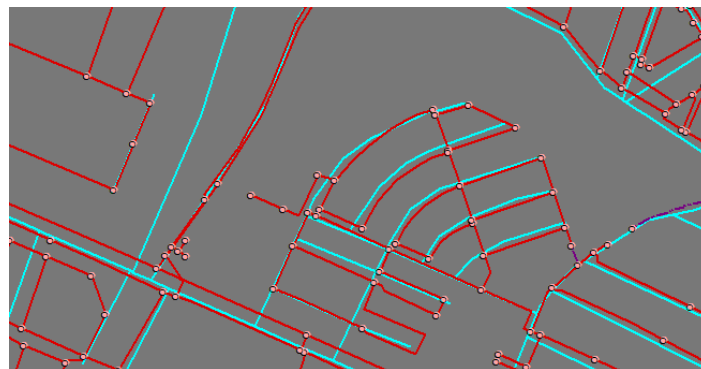


Figura 3-3. Conducciones (rojo), Nodos del sistema (rosa) y Callejero con datos de consumo (azul)

Para que el callejero tenga incorporada la información de consumos facturados es necesario establecer la conexión con la hoja Excel que almacena estos datos. Esto se realiza mediante la herramienta “join” ya explicada, siendo la clave de la asociación “IDStreet”. Todo se almacenará en una nueva capa a la que llamaremos conscalleshp:

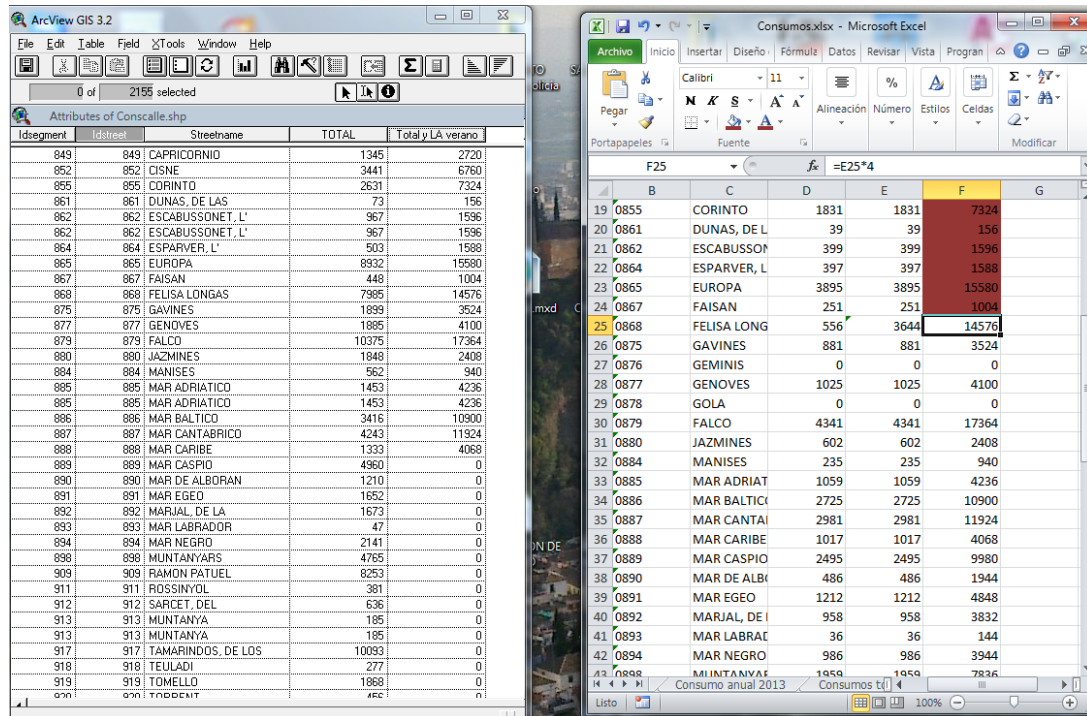


Figura 3-4. Tabla de Información del Callejero (izquierda) y Tabla de Consumos por Calle (derecha)

➤ **Volumen de agua registrado a considerar para el cálculo del caudal medio**

Cuando se cargan las demandas el caudal que se asigne a cada nodo tiene que ser representativo del consumo y acercarse lo máximo al funcionamiento real en condiciones de demanda.

En el caso de zonas con poca estacionalidad, el volumen de agua facturada a considerar es el anual, pero para zonas con consumo muy estacional, hay que considerar el periodo con mayor consumo. Esto es lo que ocurre en L'Almardà, que concentra la demanda de agua en el trimestre veraniego.

Tabla 3-1. Caudales registrados considerados para establecer las demandas del modelo

2013	Red Sagunto CU + NP		Red Puerto		Red Camí la Mar/Parc	Red Almardà (Verano)	
	Sagunto Centro Urbano	Norte Palancia	Puerto de Sagunto	Ingruinsa	Camí la Mar y Parc Sagunt	Almardà Norte	Almardà Sur
<b>Q registrado medio (lps)</b>	25.14	5.33	83.91	6.25	7.99	4.87	5.16

$$Q_{\text{medio facturado}} = 138.65 \text{ lps}$$

➤ **Nodos de No Consumo – Nodos de Consumo**

Antes de realizar cualquier asignación de demandas hay que distinguir qué nodos de la red no tendrán asignado consumo de agua. Los criterios adoptados son los siguientes:

- Nodos que se encuentren en tuberías de diámetro mayor a 300mm fuera de los polígonos industriales
- Nodos en conexiones con los depósitos
- Nodos en conexiones con los bombeos
- Nodos en zonas no construidas y sin riego (observado en la Ortofoto)
- Nodos en tuberías cortadas o sin servicio

Teniendo localizados estos nodos es sencillo seleccionar los restantes, obteniendo los nodos que sí que tendrán un consumo asignado.

En la captura de pantalla de la derecha se observan en amarillo los nodos que finalmente tienen asignados consumos facturados.

Como se puede apreciar, hay grandes zonas que no tienen consumo, destacando gran parte de los Polígonos industriales Parc Sagunt y Camí la Mar, además de las tuberías de diámetros mayores.

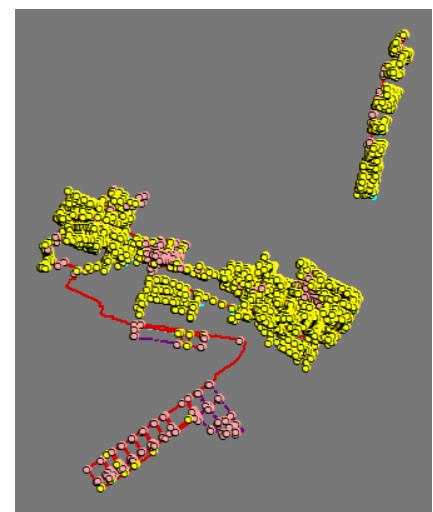


Figura 3-5. Nodos de consumo

➤ **Grandes consumidores**

El principal inconveniente de este método reside en que en puntos dispersos y grandes consumidores la asignación puede llegar a ser menos precisa. Para solucionar lo anterior hay que distinguir dónde se encuentran los grandes consumidores y los consumos dispersos, asignando manualmente estas demandas

Los grandes consumidores considerados de forma individual son:

Tabla 3-2. Grandes consumidores asignados individualmente

CONSUMIDOR	LOCACALIZACIÓN	CALLE	CONSUMO (m <sup>3</sup> /año)
Fábrica Zumos	Parc Sagunt	Pollancar	240,941
Flat Glass Ibérica y Pilkinson	Polígono Sepes	Sagunto-Puerto	171,871
Fábrica aire comprimido	Polígono Inguinsa	Acería	151,492
Industrial en Sepes	Polígono Sepes	Galileo Galilei, 65	105,398

➤ **Asignación del resto de consumidores**

Aprovechando todo lo explicado previamente, es momento de cargar las demandas restantes. Para ello se seleccionan los nodos de consumo y se sigue la siguiente secuencia de comandos: Model Tools → Demand allocation → Spatial allocation (by points, lines or polygons):

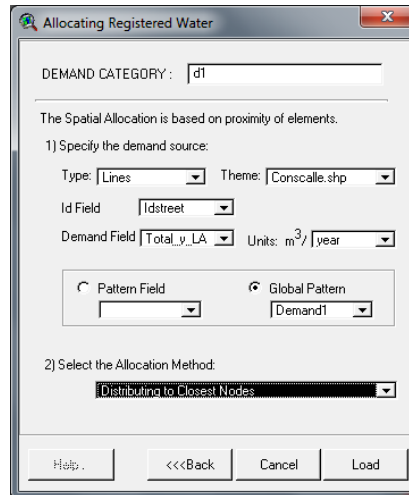


Figura 3-6. Herramienta de asignación de consumos registrados

Previo a esto se ha tenido que generar una curva de modulación cualquiera y que se ha llamado “Demand1” en el editor de patrones.

➤ **No asignación de volumen de fugas**

Las fugas se incluirán fuera de GISRed modificando el archivo \*.inp de Epanet por lo que hay que indicarle al programa que no asigne ningún caudal en este apartado. Esto se hace en Model Tools → Unaccounted for water, asignado un porcentaje de fugas muy cercano a 0%.

➤ **Estadísticas del consumo asignado**

Para comprobar que la asignación de consumos se ha llevado a cabo de forma satisfactoria, se puede recurrir a analizar estadísticamente la información de los consumos asignados al modelo mediante Model Tools → Demand Statistics.

**En este momento se está en disposición de exportar a Epanet (Export to Epanet).**

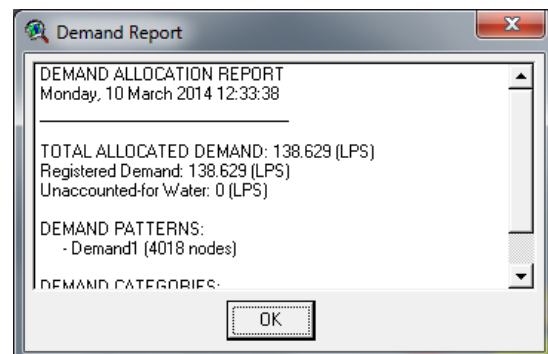


Figura 3-7. Estadísticas del consumo asignado



### 3.3 Primer análisis en Epanet

Tras la exportación de GISRed a Epanet hay que comprobar que la red funciona correctamente y que el flujo sigue el camino esperado, siendo esto algo crítico para el buen funcionamiento del modelo.

Se procederá a situar embalses con la misma altura piezométrica que los depósitos de cabecera y se lleva a cabo un análisis en régimen estacionario estableciendo una curva de modulación constante e igual a uno para las demandas.

En caso de no querer analizar la red de alta de la ETAP y cuál es la evolución temporal de los depósitos, es aconsejable incluir embalses en lugar de depósitos, lo que resultaría suficiente para la modelación.

De igual forma se separan las distintas redes para poder depurar los errores más fácilmente, aunque a posteriori todas las redes estarán incluidas en el mismo archivo para mayor comodidad.

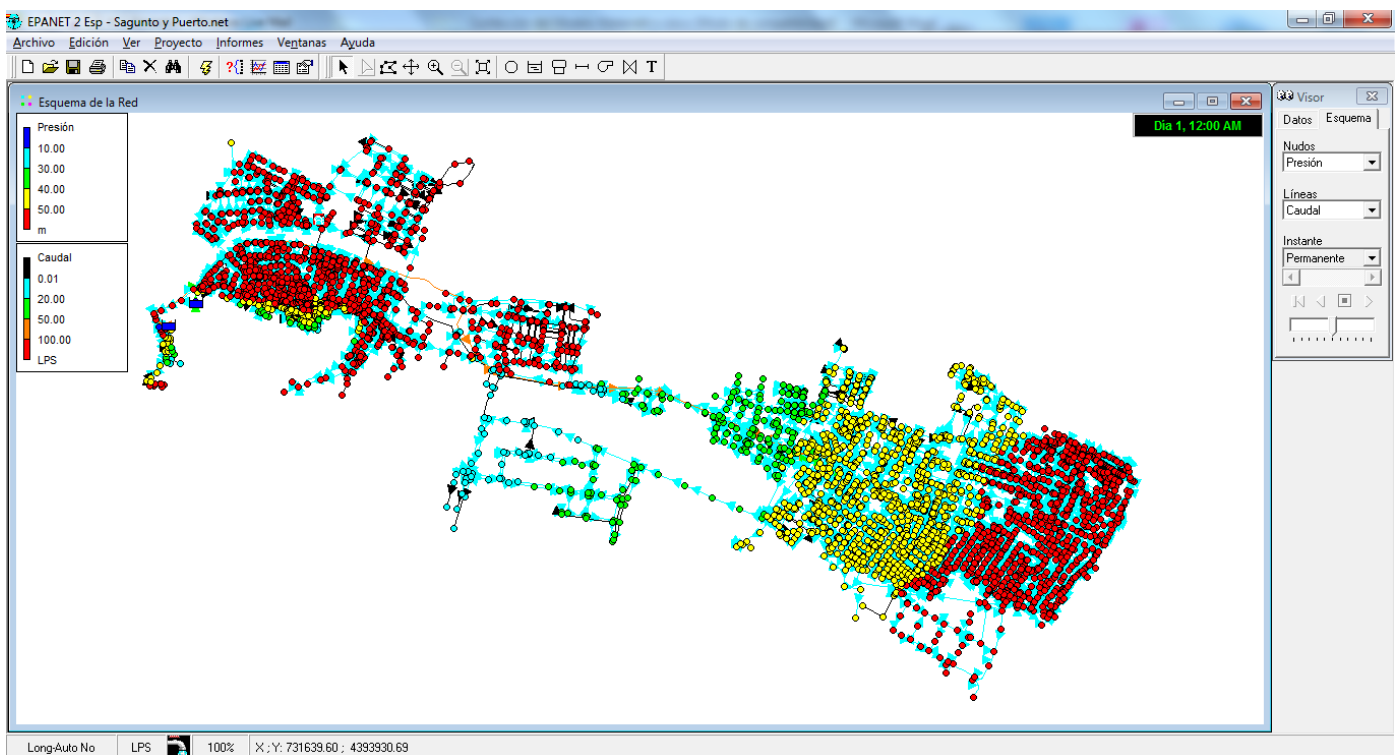


Figura 3-8. Primer análisis en Epanet de las redes de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia y Puerto de Sagunto

En la figura 3-8 se observan las redes hidráulicas de Sagunto y del Puerto de Sagunto. Se comprueba que el funcionamiento general es correcto, apreciándose que las presiones mostradas en el modelo dan unos resultados de presión mayores que en los datos de presión obtenidos por la empresa para las comparativas. Este resultado es lógico, pues todavía no se han incluido las fugas en el modelo y por tanto las pérdidas de carga resultarían menores, al haber caudales circulantes inferiores a los reales.

### 3.4 Asignación inicial de consumos no registrados – Método de las fugas constantes dependientes de la longitud de tubería incidente en cada nodo

Uno de los puntos más controvertidos y con diferentes teorías sobre su implementación es la asignación de las fugas.

Un error recurrente a la hora de asignar las fugas es incrementar la demanda hasta que el caudal inyectado del modelo coincida con el caudal registrado de inyección del abastecimiento.

En términos absolutos esto es cierto, sin embargo, al hacerlo de este modo el caudal de fugas seguirá la curva de modulación del consumo, situación que no se ajusta a la realidad. No es correcto que las fugas sean proporcionales al consumo ya que se obtendría un caudal mayor del real (*Iglesias, P.L. y Martínez Solano, F.J. (2012)*).

El volumen incontrolado se corresponde con la diferencia entre volúmenes inyectados y volúmenes registrados. A su vez, el volumen incontrolado se divide entre incontrolado consumido e incontrolado fugado. Esto lo podemos ver en Figura 3-9:

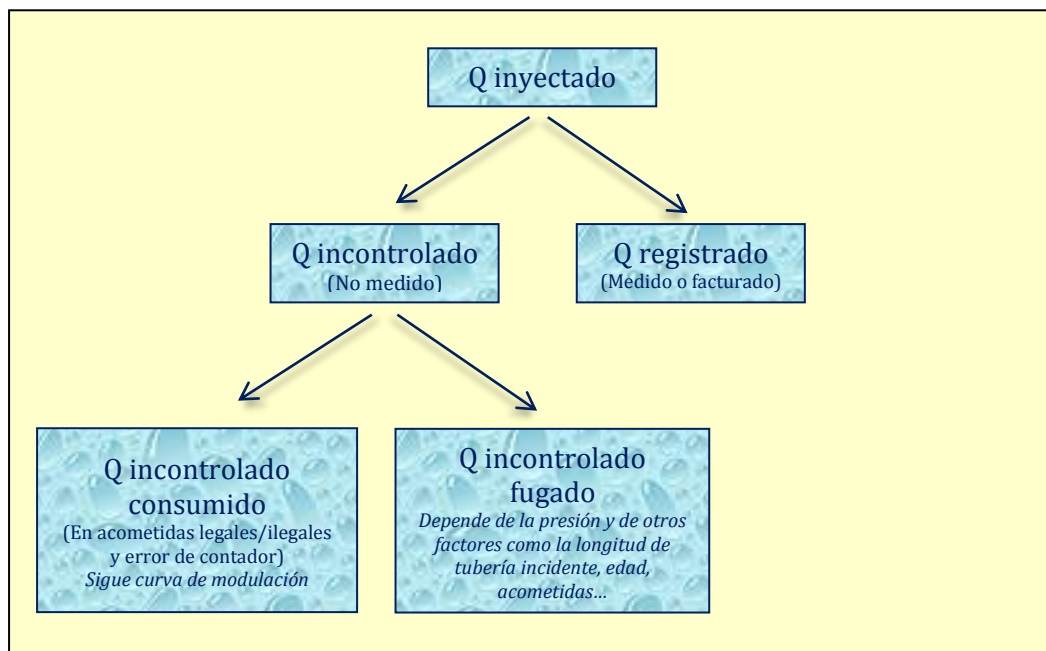


Figura 3-9. Balance hídrico

A efectos prácticos se ha considerado la hipótesis de que todo ese volumen incontrolado se corresponde con el volumen fugado. Se plantean dos formas de asignar las fugas:

- **Caudal de fugas constante:** A cada nodo se le asigna unas fugas proporcionales a las longitudes de tuberías que le llegan. Se calcula multiplicando esas longitudes por un caudal unitario de fuga por metro. Es lo que se va a hacer en la carga inicial que nos ocupa.
- **Caudal de fugas dependiente de la presión:** Incorporando emisores. Lo que se hará en la carga definitiva del modelo hidráulico, aprovechando el método anterior.

➤ **Caudales de fuga constantes por macrosector**

Debido a la macrosectorización existente se disponen datos de caudales de fuga y rendimientos volumétricos en diferentes zonas. Son los siguientes:

Tabla 3-3. Rendimientos y caudales de fuga medios en los macrosectores

2013	Red Sagunto CU + NP		Red Puerto		Red Camí la Mar/Parc	Red Almardà (Verano)	
	Sagunto Centro Urbano	Norte Palancia	Puerto de Sagunto	Ingruinsa	Camí la Mar y Parc Sagunt	Almardà Norte	Almardà Sur
Q iny medio lps	44.7	5.87	125.78	7.64	10.51	5.65	8.14
Q reg medio lps	25.14	5.33	83.91	6.25	7.99	4.87	5.16
Q fugas medio lps	<b>19.56</b>	<b>0.54</b>	<b>41.87</b>	<b>1.39</b>	<b>2.52</b>	<b>0.78</b>	<b>2.98</b>
Rendimiento	<b>56.24%</b>	<b>90.80%</b>	<b>66.71%</b>	<b>81.81%</b>	<b>76.08%</b>	<b>86.19%</b>	<b>63.39%</b>

➤ **Longitud de tuberías incidentes a cada nodo**

Se trata de calcular para cada nodo la longitud total de tubería que tiene influencia sobre él. Se considera que esa longitud es la mitad de la longitud de cada tubería que llega a este nodo. La otra mitad será asignada al otro nodo extremo.

Esto se ve más claro con un ejemplo. Escogemos el nodo J1, al que le llegan tres tuberías:

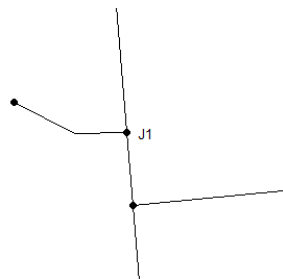


Figura 3-10. Tuberías incidentes en el Nodo J1

Es lógico pensar que el caudal fugado será proporcional a la suma de las semisumas de las longitudes de las tuberías que le llegan, en este caso:

$$L_{proporcional\ al\ caudal\ fugado} = \frac{6.159}{2} + \frac{139.026}{2} + \frac{10.164}{2} = 77.6745m$$

Para todos los nudos a los que se les asigne fugas se deberá hacer lo mismo. Como esto manualmente es imposible, hay que recurrir a Excel para solucionarlo.

➤ **Asignación de fugas constantes en Excel**

El caudal de fuga para cada nodo se corresponde con la siguiente expresión:

$$Q_{f_i} = \frac{L_i}{L_T} \cdot Q_{f_{total}}$$

Donde:

*i = Nodo considerado*

*L<sub>i</sub> = Longitud total de tubería incidente en cada nudo*

*L<sub>T</sub> = Longitud total de tuberías en el sector considerado*

*Q<sub>f<sub>total</sub></sub>* = Caudal de fugas total en el sector considerado

*Este fundamento teórico está basado 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)).*

Esta asignación de fugas hay que hacerla de forma individualizada para cada uno de los macrosectores hidráulicos considerados:

- **Sagunto Centro Urbano**
- **Norte Palancia**
- **Puerto de Sagunto (excluido Inguinsa)**
- **Polígono Inguinsa**
- **Camí la Mar y Parc Sagunt**
- **L'Almardà Norte**
- **L'Almardà Sur**

De esta forma se obtendrá un caudal de fuga para cada nudo en cada uno de estos macrosectores componentes de la red.

Todos los nodos que no se encuentren en tuberías cerradas bien sea por válvulas de seccionamiento o porque no estén en servicio tendrán asignado un caudal fugado.

Como se verá en el siguiente capítulo, esta primera carga hidráulica servirá de base para la carga definitiva en la que las fugas se harán dependientes de la presión.

Dividiendo el volumen fugado (m<sup>3</sup>) entre la longitud total de tuberías abiertas en cada macrosector podemos obtener el caudal unitario de fugas. Multiplicando este valor por la longitud incidente en cada nudo tendremos el caudal fugado en cada nudo.

Tabla 3-4. Caudal unitario de fugas en Sagunto Centro Urbano

Volumen fugas (m <sup>3</sup> )	616965
Q total fugas (lps)	19.56384
Q unitario fugas (lps/m)	0.000423414

Realizando este proceso para todos los macrosectores se obtiene una tabla con los caudales fugados para cada nudo:

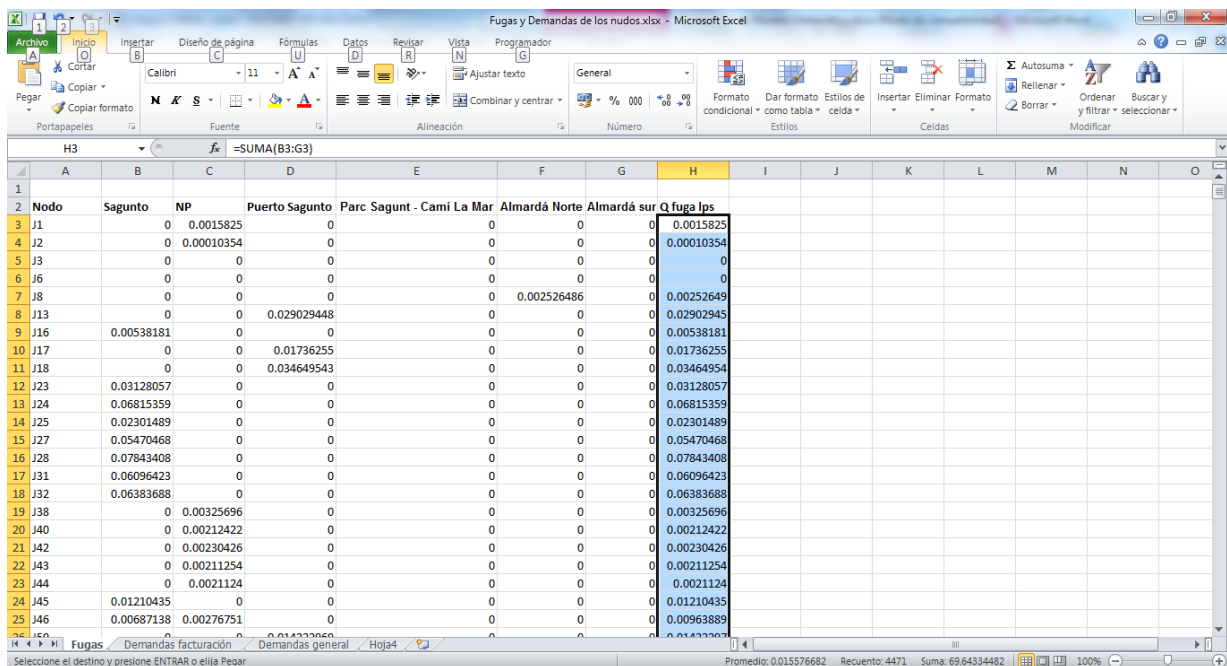


Figura 3-11. Hoja de cálculo de caudales de fuga constantes para cada nudo del modelo

➤ **Inclusión de los caudales fugados en Epanet**

Para que Epanet tenga incluidos estos nuevos caudales (que no son otra cosa que demandas constantes) habrá que incluir esta tabla en el archivo \*.inp. Lo primero que hay que hacer es agregar una nueva curva de modulación constante e igual a 1 para las 24 horas del día. En la captura de pantalla de la derecha podemos observarla.

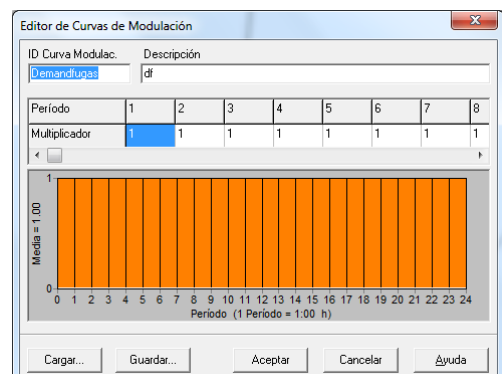


Figura 3-12. Curva de modulación constante para caudales fugados

Posteriormente se agregan las fugas en la zona [DEMANDS] del archivo \*.inp, junto con las demandas procedentes de la facturación. De esta forma habrá dos demandas para cada nodo:

```
[DEMANDS]
; ID Nudo           Demanda Base      Curva Modulaci3n      Tipo Demanda
J1                 0.030242          CMNortePalancia      ; Registrada
J1                 0.0015825         Demandfugas          ; df
J2                 0.030242          CMNortePalancia      ; Registrada
J2                 0.000103538      Demandfugas          ; df
J3                 0                 Demandfugas          ; Registrada
J3                 0                 Demandfugas          ; df
```

Figura 3-13. Caudales de fuga y demandas registradas para los nodos J1, J2 y J3

En la anterior captura de pantalla se observa lo que se acaba de comentar. Tambi3n se ve que las demandas del consumo registrado tienen propia curva de modulaci3n (dependiente de cada sector y que se ha explicado en la Memoria) y las fugas la suya.

El nodo J3 no tiene asignado fugas ni demandas ya que se encuentra en una tubería fuera de servicio.

Dentro de Epanet se pueden consultar las propiedades de cualquier nodo, por ejemplo J1. En la ventana de la izquierda se puede ver entre otras cosas que existen dos tipos de demanda. Si queremos m3s informaci3n sobre esto, se entra dentro de ese men3 y se comprueba que lo que se introdujo en el archivo \*.inp es lo que est3 cargado.

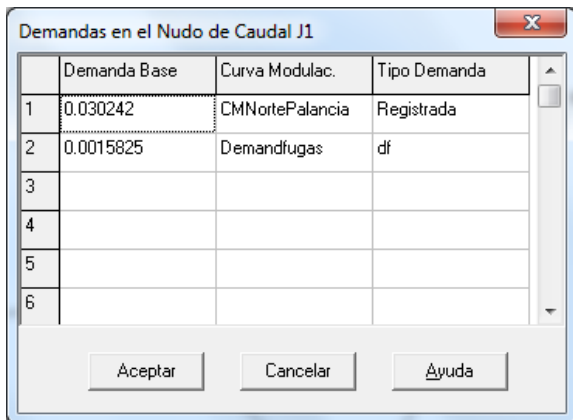


Figura 3-14. Demandas asignadas a J1

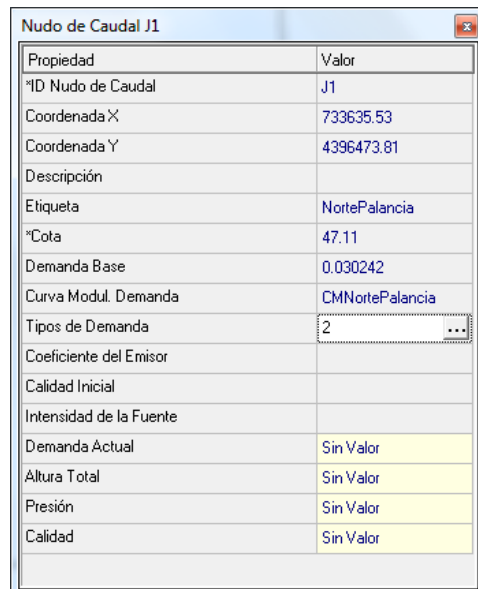


Figura 3-15. Propiedades de J1 - Se aprecia la existencia de dos tipos de demanda

### 3.5 Introducción de elementos hidráulicos y controles en Epanet

La red se encuentra con una carga hidráulica correcta y se ha comprobado que en rasgos generales funciona bien. Es por ello por lo que se pueden incluir diversos elementos hidráulicos que existen en la realidad y que mejorarán el modelo matemático. Son los grupos de bombeo, depósitos y válvulas reductoras de presión.

*Todos estos elementos han sido explicados en la Memoria en el capítulo “Descripción y Funcionamiento de la Red”. Si existe cualquier duda o se requiere más información consúltese.*

#### ➤ Estaciones de bombeo en la ETAP

Sólo se modelizan las impulsiones a Depósito Cota 110 y Depósito Cota 75 ya que la impulsión a Depósito Ponera I se sale del ámbito de estudio de este trabajo.

Debido a que no existe información fiable sobre las curvas de las bombas se ha optado por modelar mediante embalses que mantienen una altura piezométrica casi constante cuando las bombas están funcionando. De los datos reales de la ETAP se tiene que cuando las bombas están funcionando:

$$\frac{P}{\gamma} \text{ a la salida de Impulsión a 110} \approx 69.5 \text{ mca} ; Q_{110} \approx 550 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{P}{\gamma} \text{ a la salida de Impulsión a 75} \approx 25.5 \text{ mca} ; Q_{75} \approx 1150 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los controles de arranque y paro se realizan sobre las tuberías que salen de los embalses. También se incluyen válvulas de retención para evitar el flujo de retorno cuando el sistema de bombeo está parado.

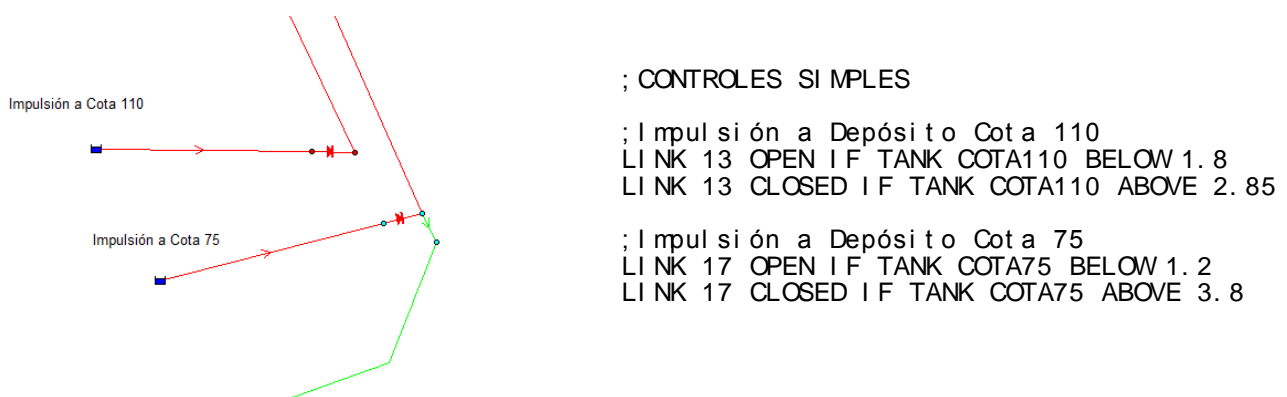


Figura 3-16. Impulsiones de la ETAP modelizadas

➤ **Depósito Cota 75**

Es un depósito de compensación por lo que el agua entra y sale por la misma conducción. Le llega agua cuando la impulsión correspondiente está activada.

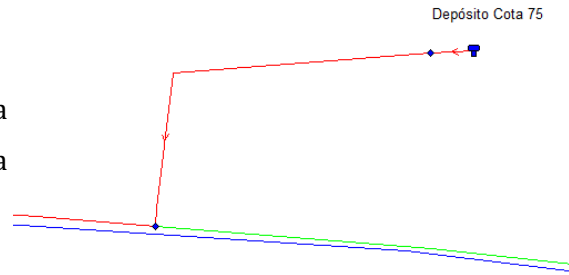


Figura 3-17. Depósito Cota 75

➤ **Depósito Cota 55**

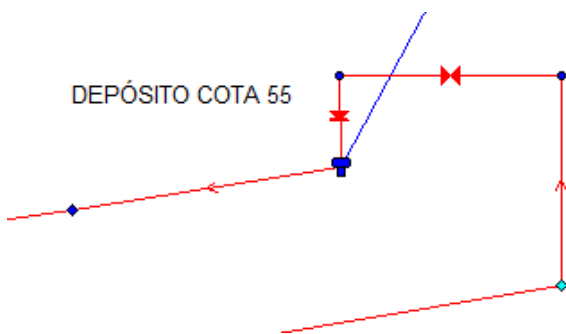
Es un depósito de rotura de carga en el que el agua entra a presión atmosférica y sale por otra conducción por gravedad.

Para simular correctamente el funcionamiento se ha tenido que recurrir a incluir una válvula de sostenedora de presión que hace las veces de válvula de boya con una consigna de 0mca. También se ha colocado una válvula de retención.

Se ha ajustado el coeficiente de pérdidas menores para que el caudal entrante a este depósito sea el mismo que en la realidad. Este caudal se ha obtenido al estudiar la variación de nivel del depósito realizando una cubicación, sabiendo el caudal saliente.

$$Q_{\text{entrada a Cota 55}_i} = Q_{\text{puerto } i-1} + S \cdot \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta t}$$

$$Q_{\text{entrada a Cota 55}} \approx 160 \text{ lps}$$



; CONTROLES SI MPLES

; LI enado Depósi to Cota 55

LI NK 30 CLOSED I F TANK COTA55 ABOVE 3. 5

LI NK 30 OPEN I F TANK COTA55 BELOW 2. 8

Figura 3-18. Depósito Cota 55

➤ **Depósito Cota 110**

Es un depósito de compensación por lo que el agua entra y sale por la misma conducción. Le llega agua cuando la impulsión correspondiente está activada.

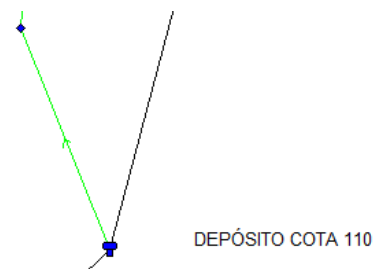


Figura 3-19. Depósito Cota 110



➤ **Estación de bombeo y Depósito Sepes**

No se han incluido en el modelo debido a que tras consultar los datos de presiones y caudales estas instalaciones no entran en funcionamiento nunca. Tal y como está configurado el sistema, la presión de consigna fijada para que se arranquen las bombas nunca se alcanza. Sólo funcionan cuando manualmente se activan para que no se agarroten.

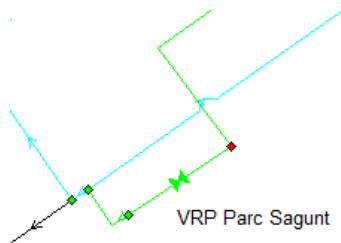
Si fuese necesario, incluir tanto el depósito como la estación de bombeo no tiene ningún problema porque sus características están recogidas en la Memoria. Lo que sí es problemático es reproducir el funcionamiento del variador. Epanet no puede representar bombas de velocidad variable y cómo se activan y paran. Habría que recurrir a programación o alguna solución con embalses.

➤ **Estación de bombeo y Depósito Parc Sagunt**

No se ha incluido directamente debido a la complicación de modelar las bombas de velocidad variable. Lo que se ha hecho es simular el comportamiento que tiene de mantener una presión de 31mca por la noche mediante controles en la VRP.

➤ **Válvula reductora de presión de Parc Sagunt**

Por el día reduce la presión a 35mca mientras que por la noche está cerrada. En el modelo, en vez de poner una consigna nocturna de 0mca se asigna una de 31mca para modelar las BVV.



; CONTROLES SIMPLES  
 ; Consigna 31mca por la noche en Parc Sagunt  
 ; En vez de poner depósito, se modela sólo con VRP  
 LINK 18 31 AT CLOCKTIME 2  
 LINK 18 35 AT CLOCKTIME 6

Figura 3-20. Válvula reductora de presión en Parc Sagunt

➤ **Válvula reductora de presión en L'Almardà**

Se encuentra tarada a una presión de 35mca pero muchas veces en verano se está totalmente abierta, de forma que la presión a la entrada de esta zona depende también de lo que ocurre aguas arriba. Para modelar esta situación se ha incluido una curva de modulación de altura del embalse que establece las condiciones de contorno de presión en ese punto.

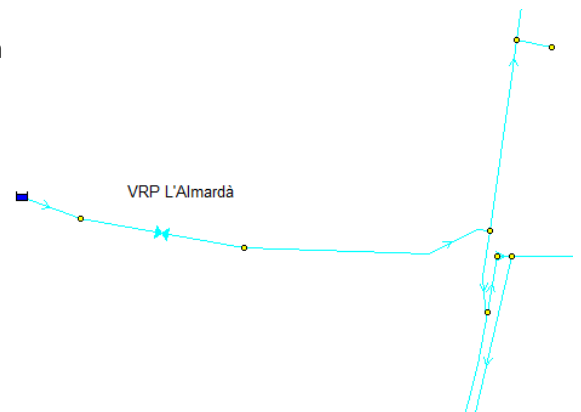


Figura 3-21. Válvula reductora de presión en L'Almardà

### 3.6 Curvas de modulación horaria del consumo registrado

Se generan en Excel tal y como se ha descrito en el documento de la Memoria en el capítulo "Modulación de la demanda". Si existe cualquier duda o se requiere más información consúltese.

En este punto sólo se van a colocar las gráficas de las curvas en la forma en que están implementadas en Epanet para los días y los macrosectores estudiados.

Recordemos que se los días de estudio son el 2 de agosto de 2013 (viernes) y el 25 de noviembre de 2013 (lunes). Tanto Camí la Mar como Parc Sagunt tienen curvas de modulación distintas porque no se dispone de datos de caudales instantáneos como se tienen para las otras zonas.

➤ **2 de agosto de 2013**

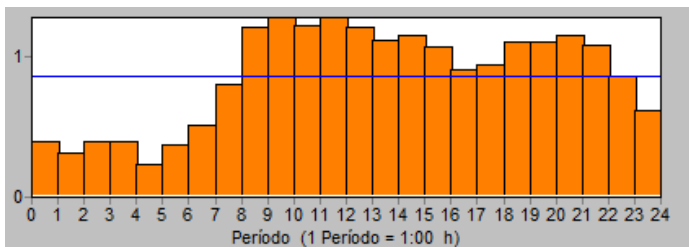


Figura 3-22. Curva Modulación Sagunto Centro Urbano

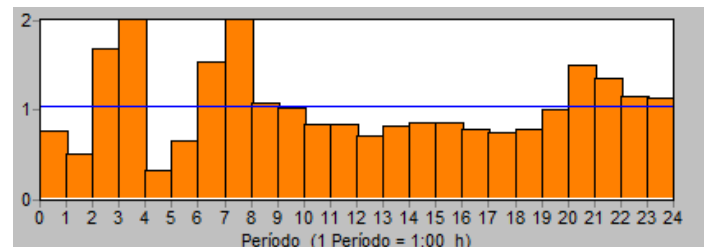


Figura 3-23. Curva Modulación Norte Palancia

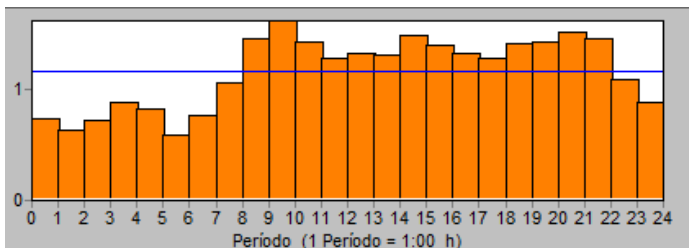


Figura 3-24. Curva Modulación Puerto de Sagunto (excluido Inguinsa)

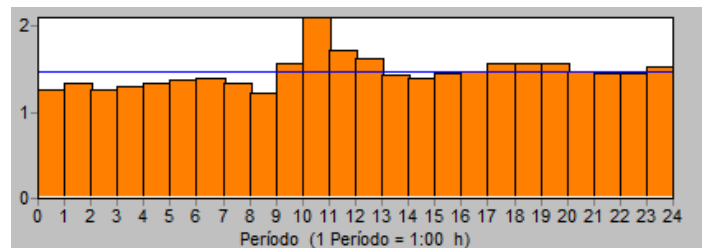


Figura 3-25. Curva Modulación Polígono Inguinsa

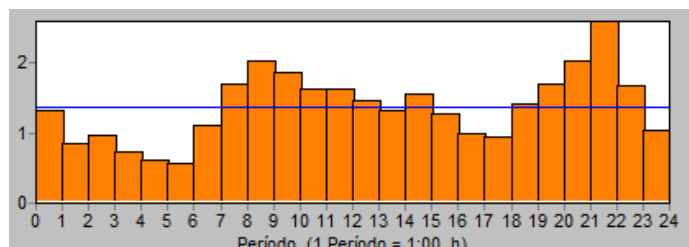


Figura 3-26. Curva Modulación Almardà Norte

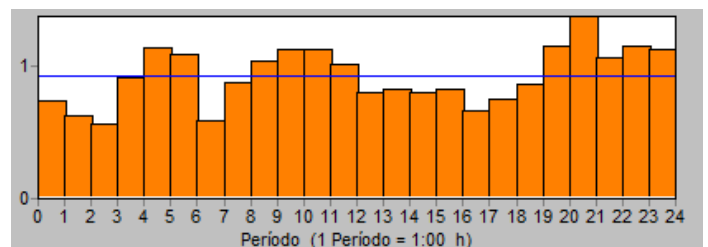


Figura 3-27. Curva Modulación Almardà Sur

➤ 25 de noviembre de 2013

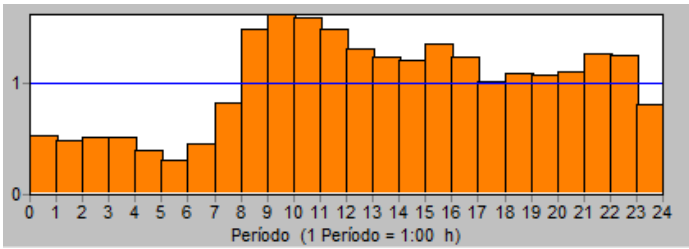


Figura 3-28. Curva Modulación Sagunto Centro Urbano

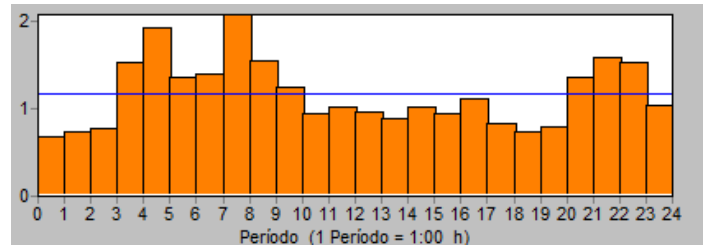


Figura 3-29. Curva Modulación Norte Palancia

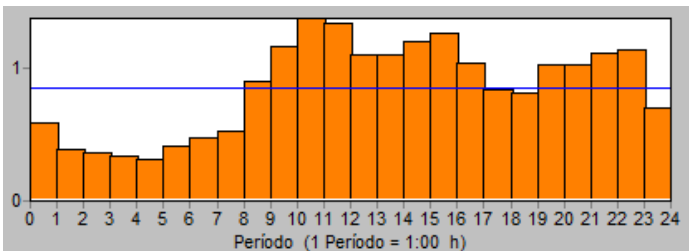


Figura 3-30. Curva Modulación Puerto de Sagunto (excluido Inguinsa)

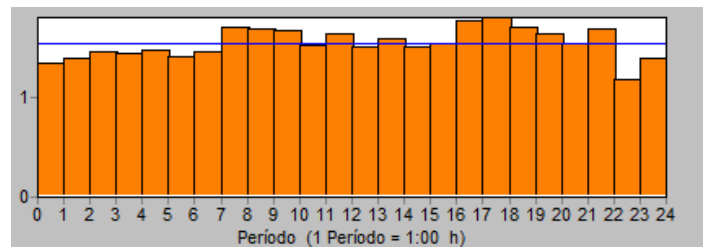


Figura 3-31. Curva Modulación Polígono Inguinsa

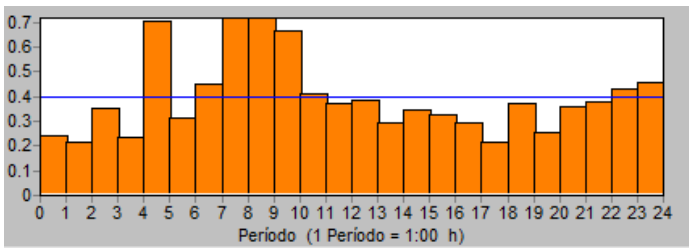


Figura 3-32. Curva Modulación Almadà Norte

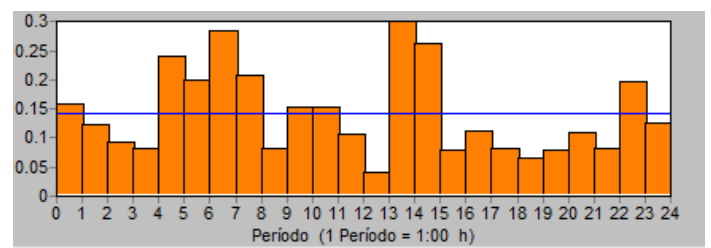


Figura 3-33. Curva Modulación Almadà Sur

➤ Camí la Mar y Parc Sagunt

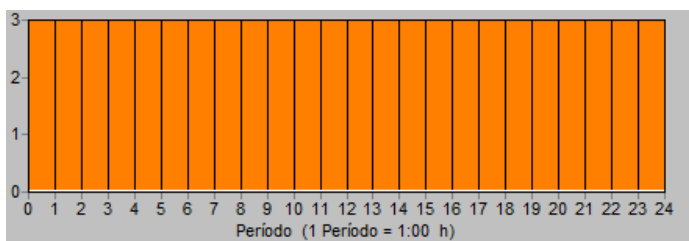


Figura 3-34. Modulación máximo consumo en Polígono Camí la Mar

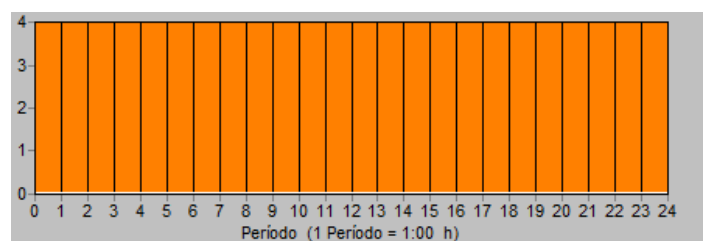


Figura 3-35. Modulación máximo consumo en Polígono Parc Sagunt

### 3.7 Calibración de caudales y presiones – 2 agosto de 2013

Tras incluir las curvas de modulación nos encontramos en condiciones de hacer correr el modelo y comprobar los resultados que arroja con la realidad.

En la carga inicial (que es en el capítulo en el que nos encontramos) sólo se ha estudiado el día 2 de agosto de 2013. El día 25 de noviembre de 2013 está estudiado pero en el Capítulo 4 “Carga definitiva del modelo hidráulico”.

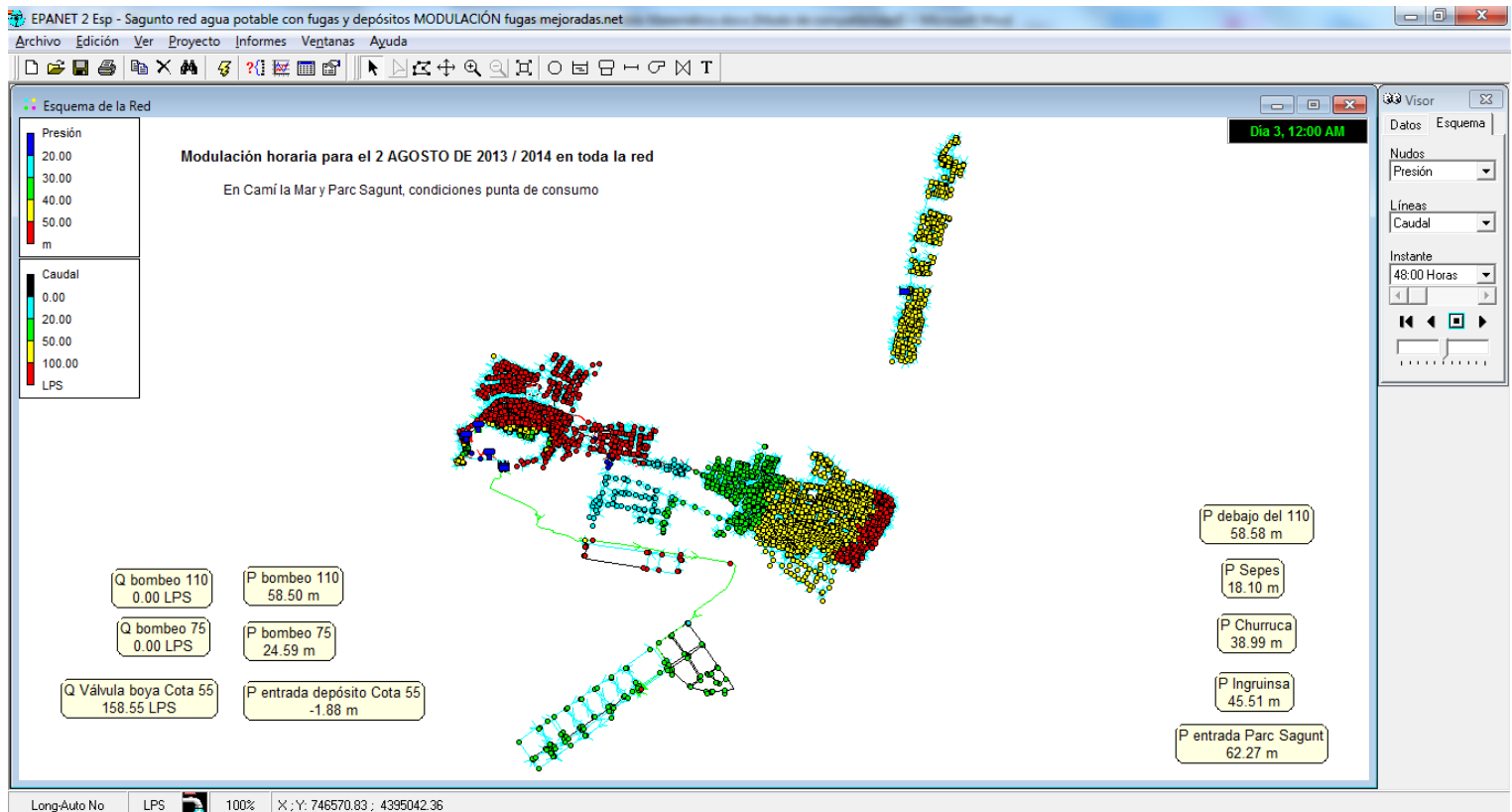


Figura 3-36. Modelo hidráulico 2 de agosto de 2013 - Fugas constantes proporcionales a la longitud de tubería incidente

Como se ve en la captura de pantalla de Epanet, los nodos son círculos lo que significa que son nodos de demanda y no emisores (cosa que cambiará en el modelo hidráulico definitivo incluido en el capítulo siguiente).

Previo a una comprobación numérica se tuvo la oportunidad de conversar con el personal de la explotación en Sagunto y se corroboró la bondad del modelo en cuanto a presiones porque son muy parecidas a la realidad.

Los puntos de control son los indicados en la Memoria en el capítulo “Descripción de la red”, correspondientes a la gestión de Aguas de Sagunto.

### 3.7.1 Caudales

Si la metodología se lleva a cabo correctamente los caudales inyectados en Epanet tienen que coincidir con los caudales inyectados en la realidad en los puntos de control. Esa era una de las premisas que se siguieron para asignar las fugas y determinar las curvas de modulación del consumo registrado.

Como se ve en las gráficas ambos caudales coinciden exactamente. Es por ello por lo que no se distingue más que una gráfica, porque la otra está detrás.

#### ➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

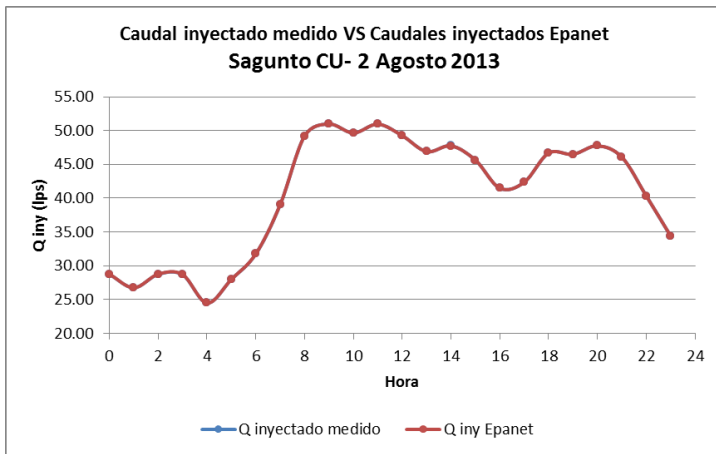


Figura 3-37. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet Sagunto Centro Urbano - 2 agosto de 2013

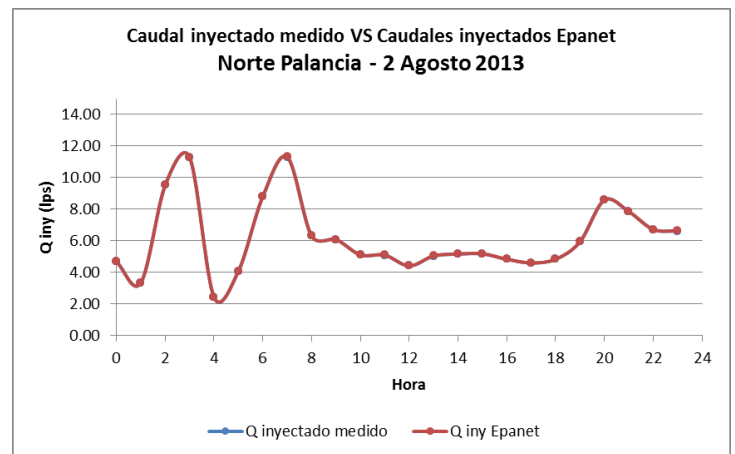


Figura 3-38. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet Norte Palancia - 2 agosto de 2013

#### ➤ Red del Puerto de Sagunto (incluido Ingruinsa)

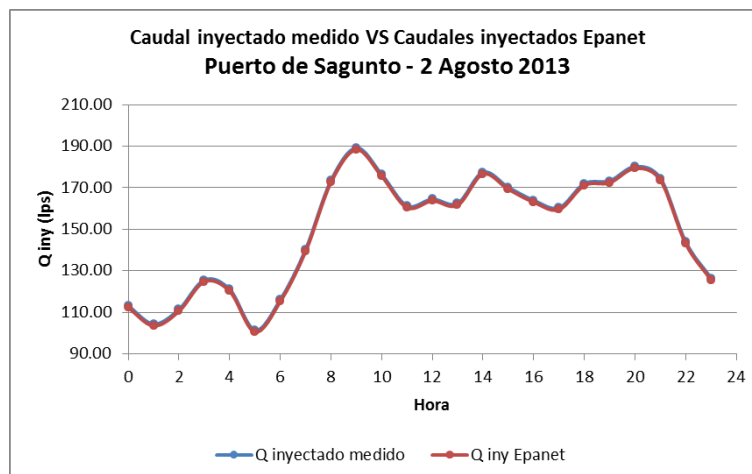


Figura 3-39. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet Puerto de Sagunto - 2 agosto de 2013

**NOTA:** Para este modelo inicial no se ha incluido la curva de modulación del Polígono Ingruinsa, cosa que sí se ha hecho para el modelo definitivo.

➤ Red de L'Almardà

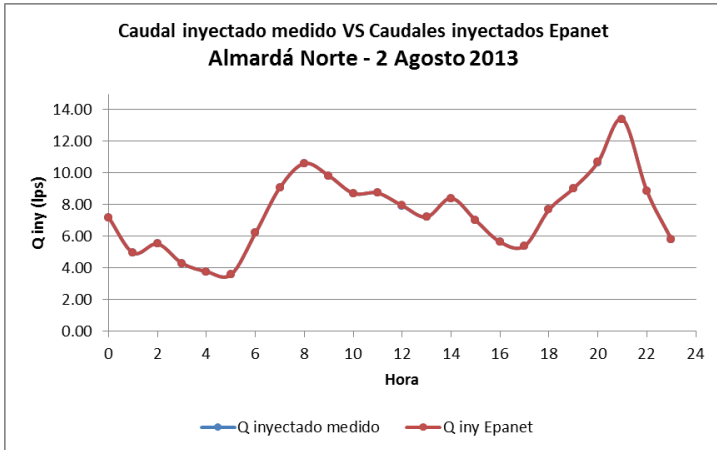


Figura 3-40. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet L'Almardà Norte - 2 agosto de 2013

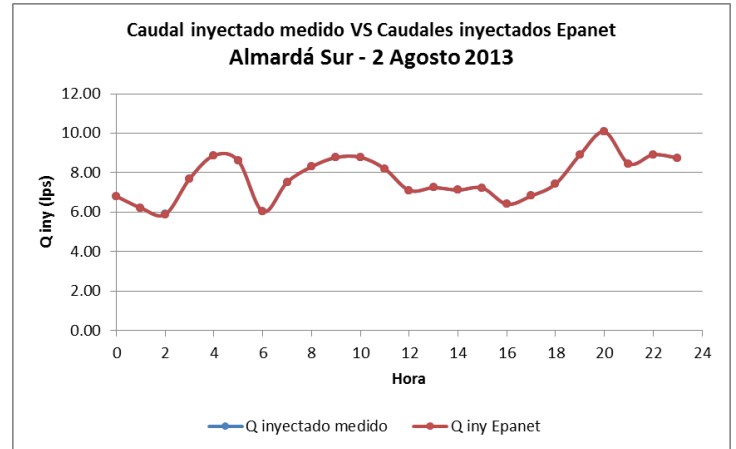


Figura 3-41. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet L'Almardà Sur - 2 agosto de 2013

**NOTA:** Como se ha indicado en repetidas ocasiones, no existen datos de caudales instantáneos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt y por eso no hay datos de comprobación/calibración.

### 3.7.2 Presiones

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

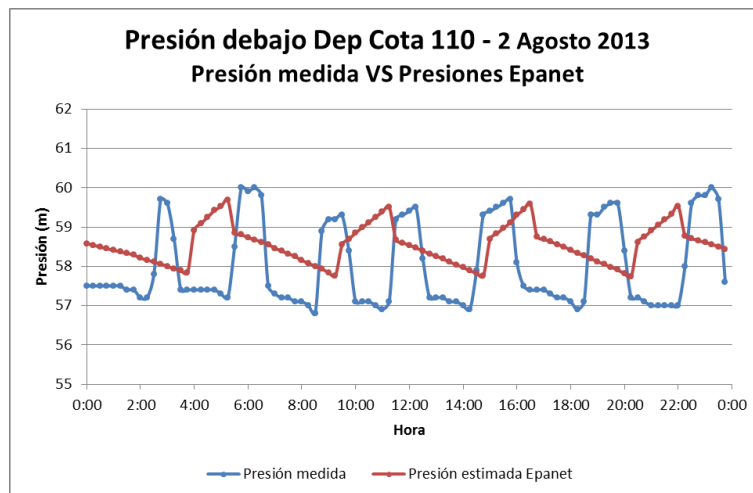


Figura 3-42. Presión medida VS Presión Epanet Debajo del Depósito Cota 110 - 2 agosto de 2013

Los escalones de presión que se ven en la gráfica anterior se producen cuando se llena o se vacía el Depósito Cota 110. La presión medida en la realidad y la presión estimada en Epanet no coinciden exactamente porque reproducir al detalle el funcionamiento es muy complicado, especialmente porque el arranque o paro depende de un operador siendo por tanto una decisión humana.

➤ Red del Puerto de Sagunto

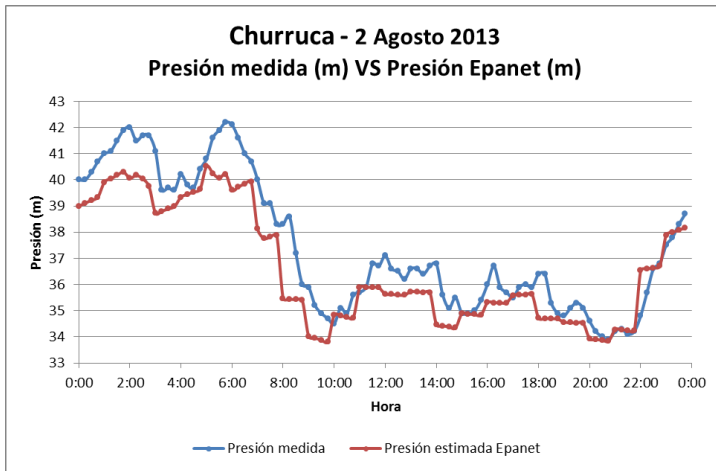


Figura 3-43. Presión medida VS Presión Epanet  
Urbanización Churruca - 2 de agosto de 2013

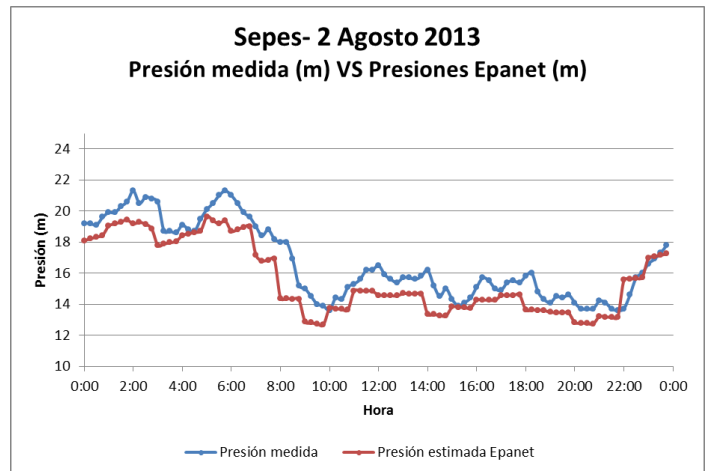


Figura 3-44. Presión medida VS Presión Epanet  
Polígono Sepes - 2 de agosto de 2013

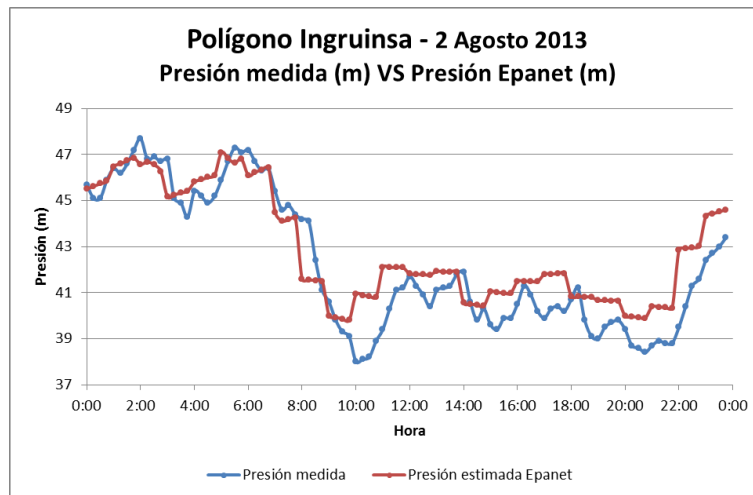


Figura 3-45. Presión medida VS Presión  
Polígono Ingruinsa - 2 de agosto de 2013

La coincidencia entre lo calculado por Epanet y lo medido en la realidad es buena, incluso cuando las condiciones de consumo varían. En los puntos en los que se dispone de medidores de presión el error máximo es menor a 2mca y habitualmente inferior a 0.5mca o coincidente.

Esto implica que la red está relativamente bien calibrada e inicialmente hace válida la hipótesis de que la rugosidad absoluta sea de 0.1mm en toda la red. De todas maneras hay que ser conscientes de que el modelo podría ser mejorable aunque para realizar el análisis y tomar decisiones la exactitud del mismo es más que suficiente.

**NOTA:** No se ha incluido el registro de presiones a la entrada de L'Almardà porque ese no es un resultado del problema sino un dato por lo que comentábamos. En cuanto a Parc Sagunt, aunque no hay un registro de datos (porque el sistema de explotación ha entrado a funcionar en 2014) sí que se ha comprobado que las presiones son similares a las que marca el modelo.

## 4. CARGA DEFINITIVA DEL MODELO HIDRÁULICO

Respecto a carga definitiva del modelo hidráulico nos referimos a la asignación final de las fugas por un método un poco más complejo que el visto en el capítulo previo y que lo completa.

Se ha comprobado que el modelo anterior funciona correctamente y ajusta los valores de caudales y presiones. Con esta nueva carga el caudal fugado depende de las presiones además de las longitudes de tubería incidentes. Además del modelo para el 2 de agosto de 2013 se incluye el del 25 de noviembre de 2013 y la modulación para el Polígono Ingruinsa.

### 4.1 Asignación definitiva de consumos no registrados – Método de las fugas dependientes de la presión y de la longitud de tubería incidente en cada nodo

Aparte de que para dentro de un sector las fugas en cada nudo sean proporcionales a la longitud de tubería incidente se incluye que dependan de las presiones, según la siguiente expresión:

$$Q_{f_i} = \frac{L_i}{L_T} \cdot K_T \cdot (P_{media_i})^{b_i}$$

Realizando el sumatorio se tiene la siguiente expresión para todo el caudal de fuga de ese sector:

$$Q_{f_{total}} = \sum Q_{f_i} = \sum \frac{L_i}{L_T} \cdot K_T \cdot (P_{media_i})^{b_i}$$

Donde:

$i$  = *Nodo considerado*

$L_i$  = *Longitud total de tubería incidente en cada nudo*

$L_T$  = *Longitud total de tuberías en el sector considerado*

$$Q_{f_{total}} = \text{Caudal de fugas total en el sector considerado} = \frac{V_{iny} - V_{reg}}{\text{tiempo}}$$

$P_{media_i}$  = *Presión media en el nodo (averiguada previamente con el modelo inicial)*

$b_i$  = *Exponente emisor (depende del material) = 1.1 (en este caso se opta por un valor medio)*

$K_T$  = *ES LA INCÓGNITA → SE AVERIGUA POR SOLVER*

$$K_i = \frac{L_i}{L_T} \cdot K_T \rightarrow \text{ES EL COEFICIENTE EMISOR QUE SE METE EN EPANET PARA CADA NODO}$$

*Este fundamento teórico está basado en la presentación "Including leakage in network models: an application to calibrate leak-valves with Epanet" de los profesores Ricardo Cobacho, Javier Soriano y Enrique Cabrera y 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)).*



Una vez calculado el coeficiente emisor para cada nudo hay que incluirlo en Epanet a través del archivo \*.inp en la zona [EMITTERS]. Por ejemplo para los nodos J1, J2 y J3:

```
[EMITTERS]
;ID Nudo_Caudal Coeficiente
J1 1.6835E-05
J2 1.10146E-06
J3 0
```

Figura 4-1. Coeficiente emisor para los nodos J1, J2 y J3

**NOTA:** Hay que desactivar de nuestro modelo las fugas constantes que estaban incluidas como demandas porque si no estaremos duplicando las fugas. Para ello hay que establecer que la curva de modulación de las fugas (que antes era 1) sea 0.

## 4.2 Calibración de caudales y presiones - 2 agosto de 2013

La captura de pantalla del modelo para el día 2 de agosto de 2013 es la siguiente:

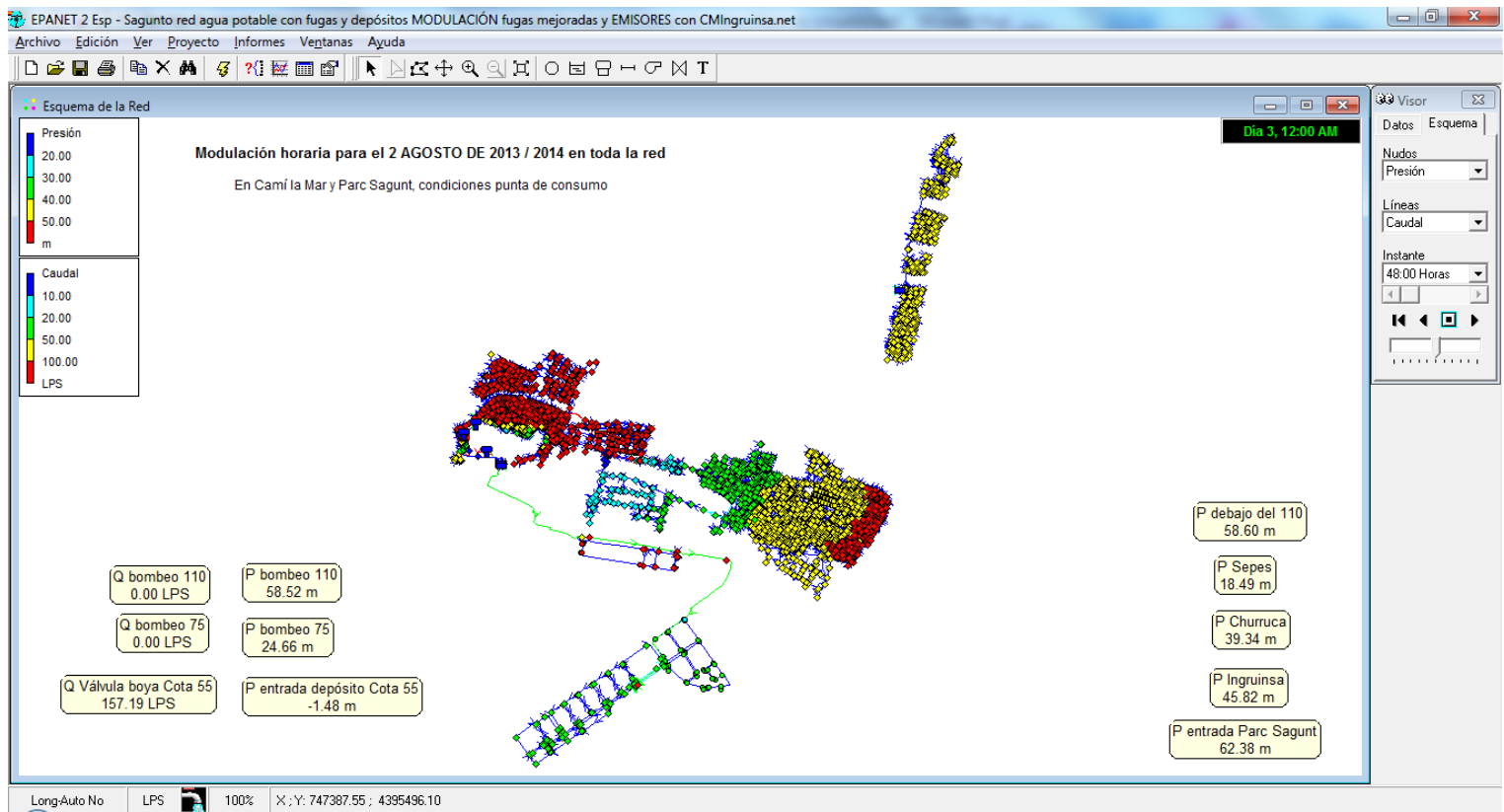


Figura 4-2. Modelo hidráulico 2 de agosto de 2013 - Distribución de fugas con emisores dependientes de la presión de la longitud de tubería incidente en cada nudo

Como se ve al comparar esta captura de pantalla con la del modelo inicial, la distribución de presiones por toda la red es idéntica.

También se pueden distinguir los emisores que son los nodos con forma de rombo. Los nodos que tienen forma de círculo son aquellos que no tienen consumo asignado y que no tienen coeficiente emisor asociado.

### 4.2.1 Caudales

Con este modelo los caudales inyectados por Epanet también se ajustan mucho a los inyectados en la realidad, aunque en algunos casos se pueden diferenciar unas mínimas diferencias. Esto es debido a que en este modelo las fugas ya no son constantes y las curvas de modulación del caudal registrado siguen siendo las mismas que se calcularon en la carga inicial del modelo.

➤ **Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia**

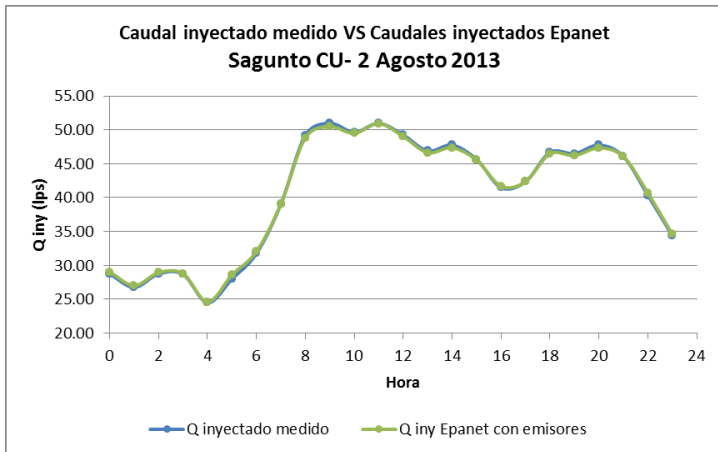


Figura 4-3. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Sagunto Centro Urbano - 2 agosto de 2013

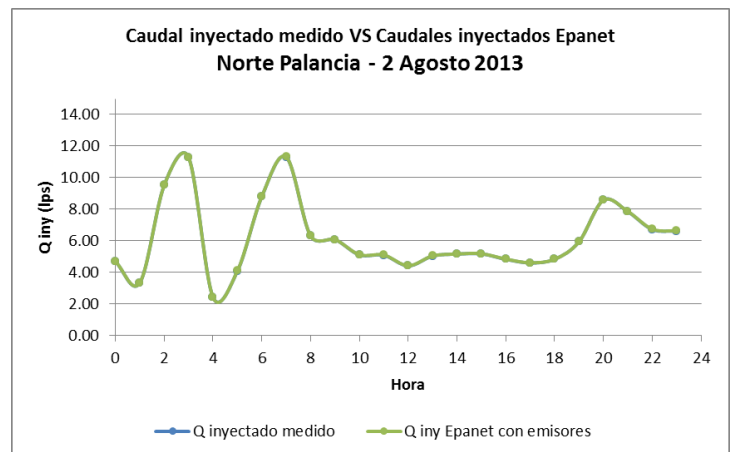


Figura 4-4. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Norte Palancia - 2 agosto de 2013

➤ **Red del Puerto de Sagunto**

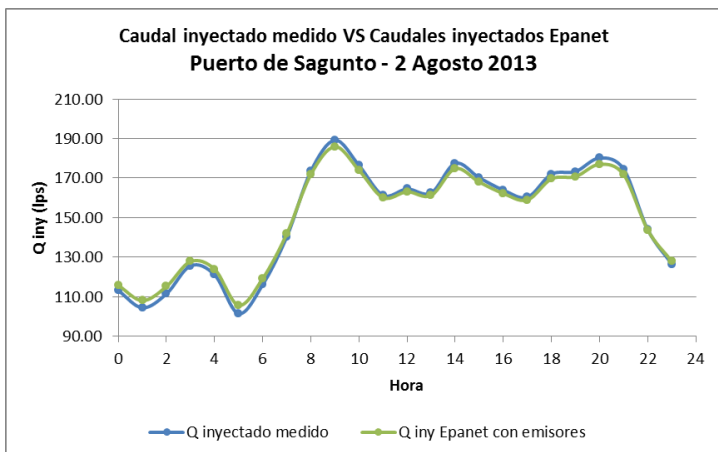


Figura 4-5. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Puerto de Sagunto (incluido Inguinsa) - 2 agosto de 2013

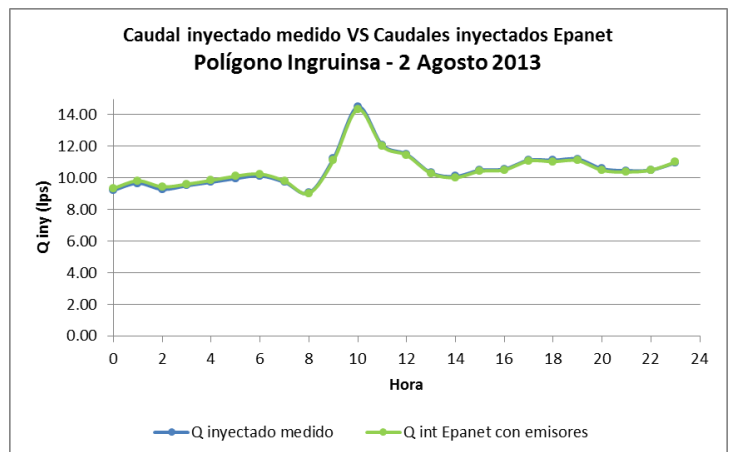


Figura 4-6. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Polígono Inguinsa - 2 agosto de 2013

**NOTA:** En este modelo sí se incluye la modulación del Polígono Inguinsa, por lo que si comparamos los caudales medidos con los estimados por Epanet.

➤ Red de L'Almardà

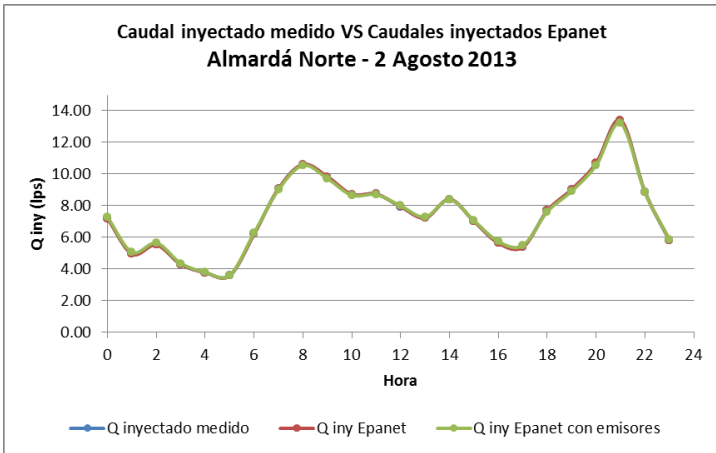


Figura 4-7. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores L'Almardà Norte - 2 agosto de 2013

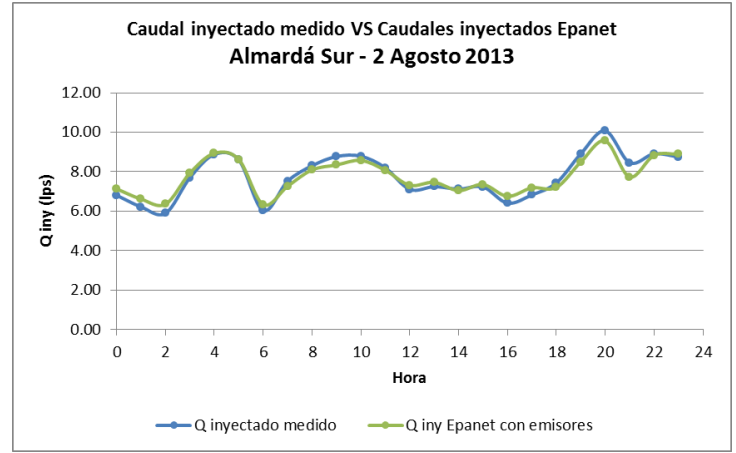


Figura 4-8. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores L'Almardà Sur - 2 agosto de 2013

**NOTA:** Como se ha indicado en repetidas ocasiones, no existen datos de caudales instantáneos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt y por eso no hay datos de comprobación/calibración.

4.2.2 Presiones

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

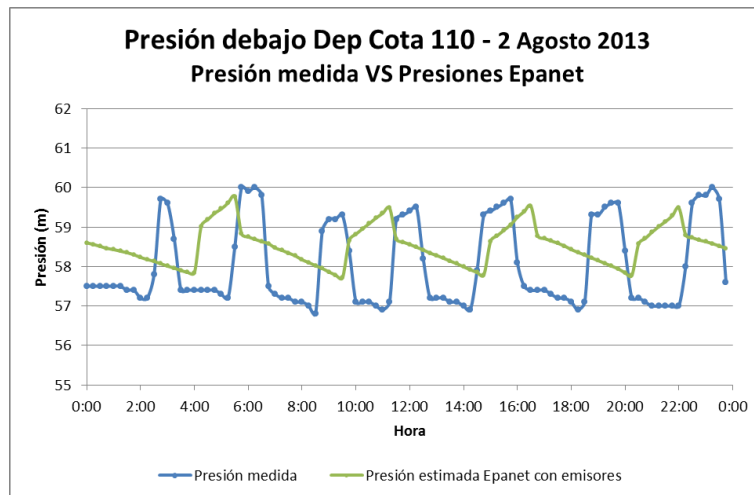


Figura 4-9. Presión medida VS Presión Epanet emisores Debajo del Depósito Cota 110 - 2 agosto de 2013

En este caso se puede comentar exactamente lo mismo que para el modelo inicial visto en el capítulo anterior. Es muy complicado ajustar el comportamiento de los depósitos, pero en general las presiones en ese punto están muy cercanas a la realidad.

➤ Red del Puerto de Sagunto

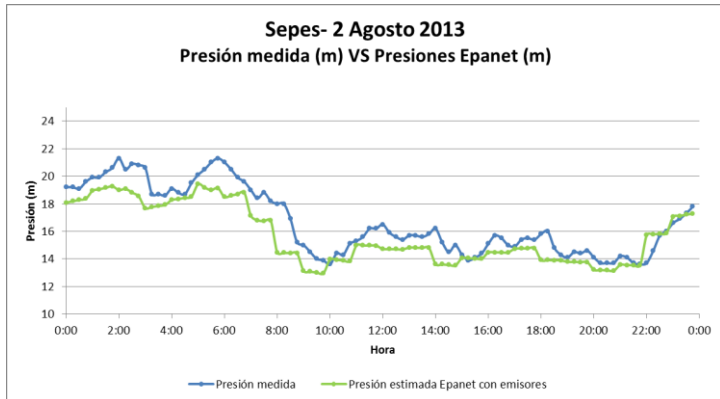


Figura 4-10. Presión medida VS Presión Epanet emisores  
Polígono Sepes - 2 de agosto de 2013

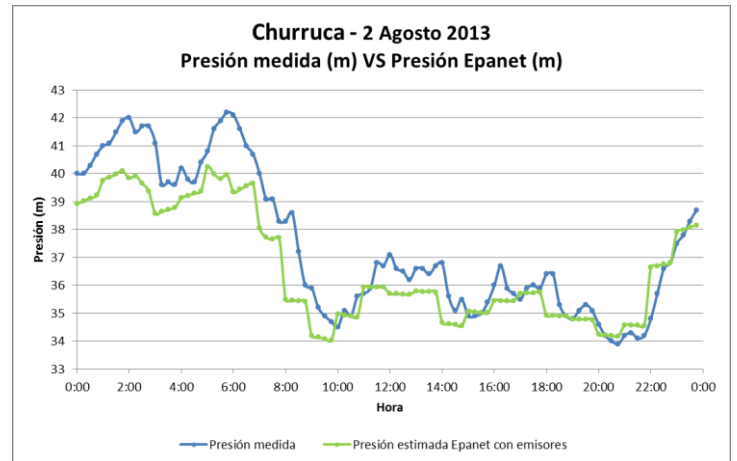


Figura 4-11. Presión medida VS Presión Epanet emisores  
Urbanización Churruca - 2 de agosto de 2013

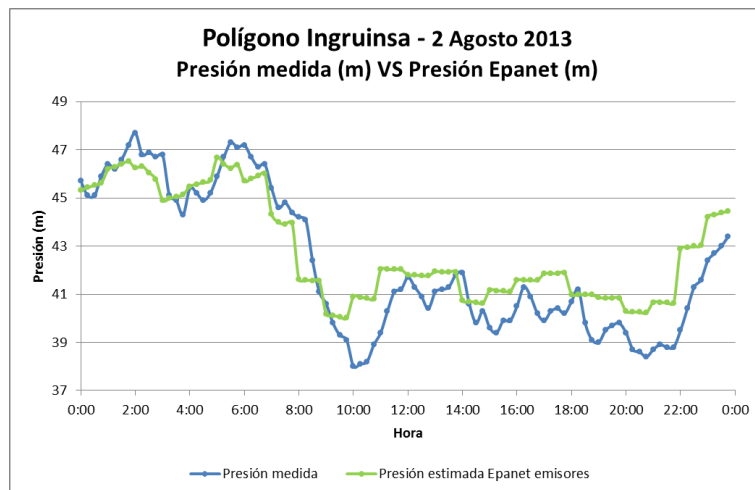


Figura 4-12. Presión medida VS Presión Epanet emisores  
Polígono Ingruinsa - 2 de agosto de 2013

Con este nuevo modelo en el que las fugas dependen de la presión la coincidencia entre lo estimado por Epanet y lo medido en la realidad es buena incluso cuando las condiciones de consumo varían.

Esto implica que la red está relativamente bien calibrada. En cualquier caso hay que ser conscientes de que el modelo podría ser mejorable aunque como se ha comentado para realizar el análisis y tomar decisiones la exactitud del mismo es más que suficiente.

Prácticamente los resultados son idénticos a los del modelo inicial, pero con la ventaja de poder determinar el nuevo volumen de agua fugada si las presiones varían lo que puede ayudar a la hora de seleccionar la posibles mejoras del sistema.

### 4.3 Calibración de caudales y presiones – 25 de noviembre de 2013

En las siguientes hojas están expuestas las gráficas de comparación y calibración de caudales y presiones para el día 25 de noviembre de 2013 que en rasgos generales es bastante distinto al 2 de agosto. Como se comprobará, la coincidencia también es alta, lo que supone que para cualquier día que se estime el modelo funcionará correctamente:

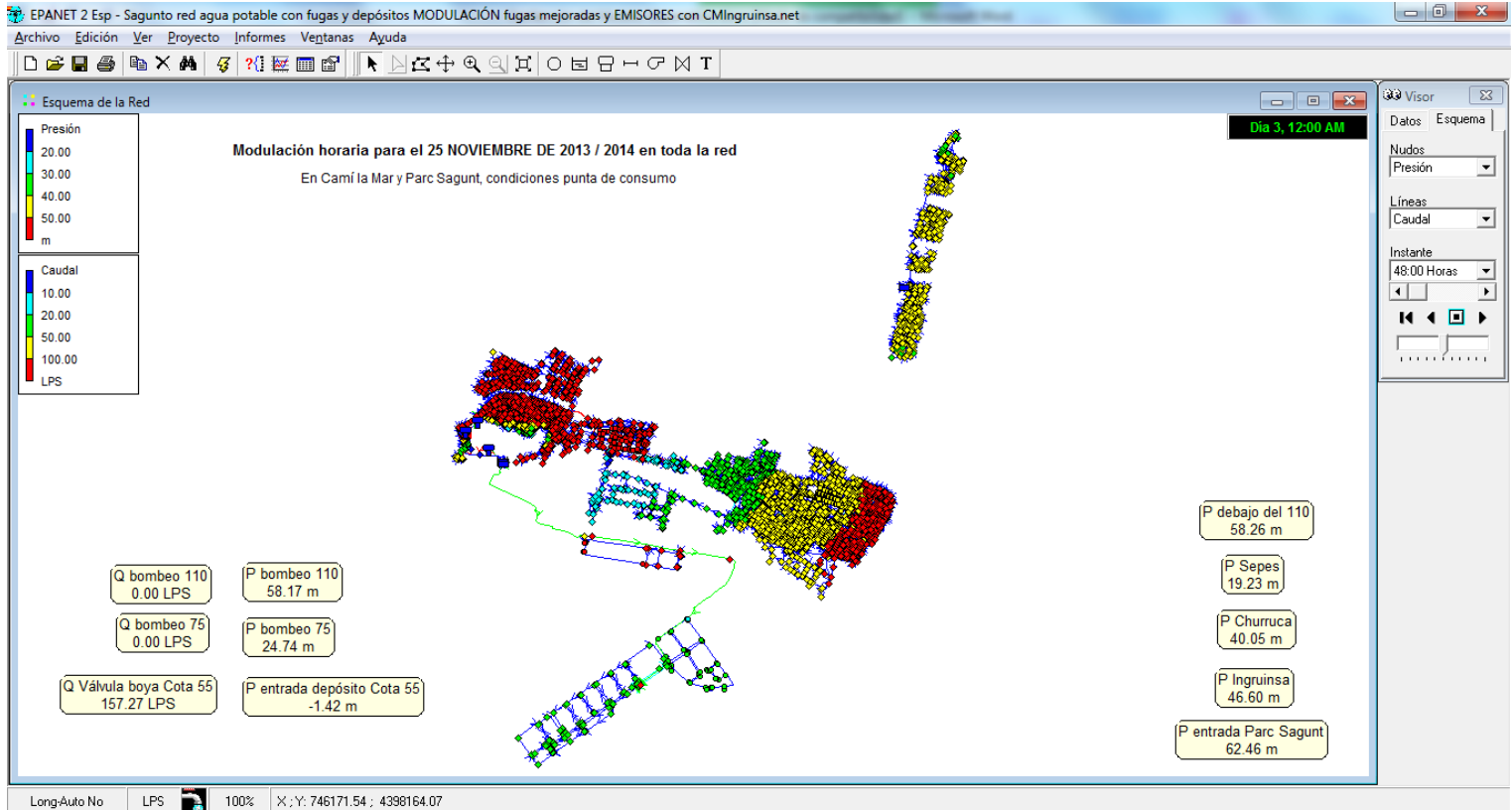


Figura 4-13. Modelo hidráulico 25 de noviembre de 2013 - Distribución de fugas con emisores dependientes de la presión de la longitud de tubería incidente en cada nodo

#### 4.3.1 Caudales

##### ➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

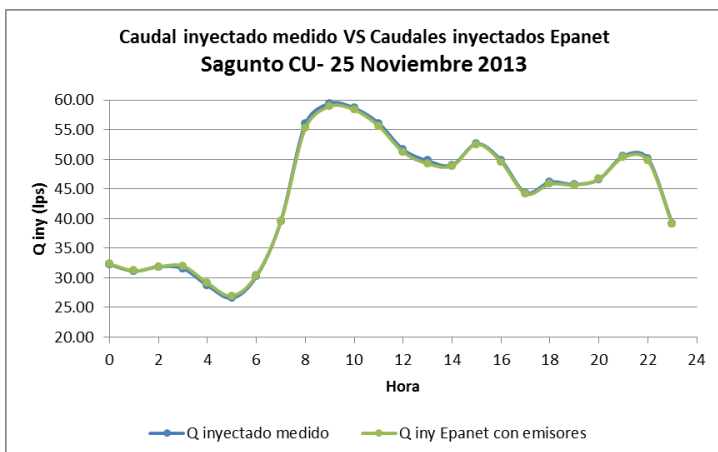


Figura 4-14. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Sagunto Centro Urbano – 25 noviembre de 2013

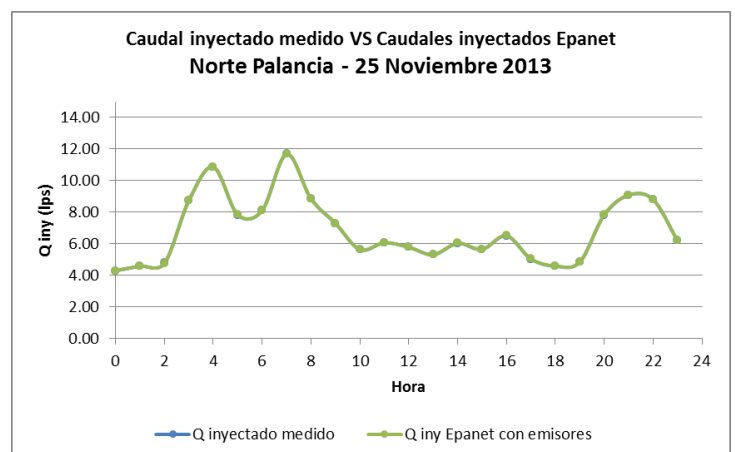


Figura 4-15. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Norte Palancia - 25 noviembre de 2013

➤ Red del Puerto de Sagunto

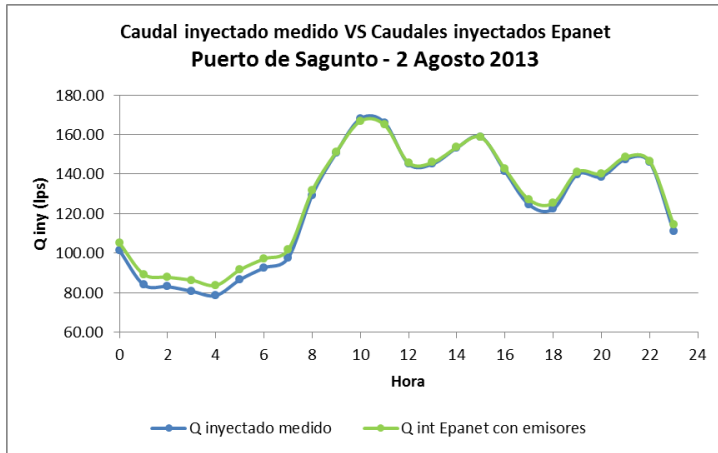


Figura 4-16. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Puerto de Sagunto (incluido Inguinsa) - 25 noviembre de 2013

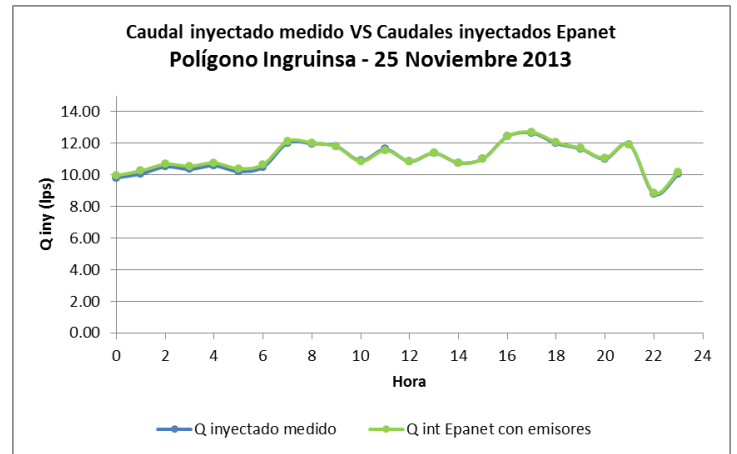


Figura 4-17. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Polígono Inguinsa - 25 noviembre de 2013

**NOTA:** En este modelo sí se incluye la modulación del Polígono Inguinsa, por lo que si comparamos los caudales medidos con los estimados por Epanet.

➤ Red de L'Almardà

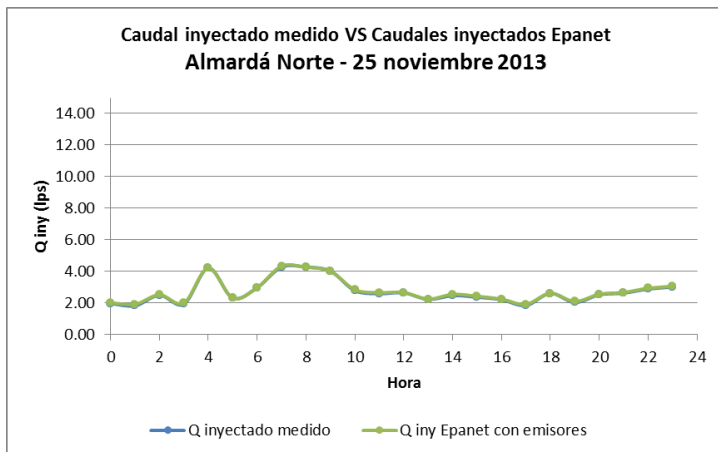


Figura 4-18. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores L'Almardà Norte - 25 noviembre de 2013

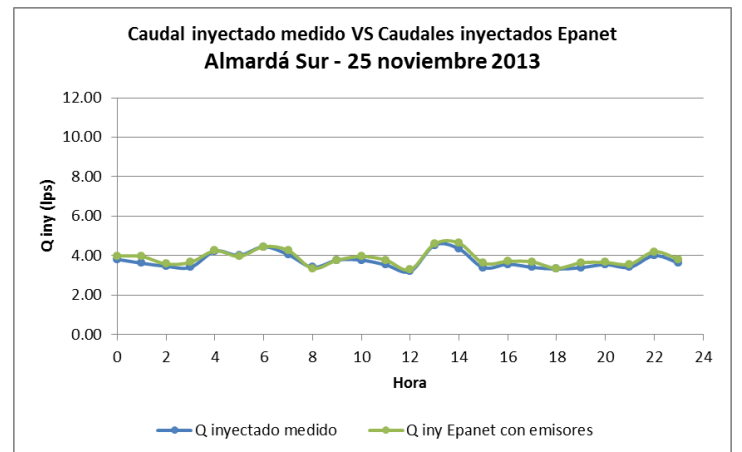


Figura 4-19. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores L'Almardà Sur - 25 noviembre de 2013

**NOTA:** Como se ha indicado en repetidas ocasiones, no existen datos de caudales instantáneos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt y por eso no hay datos de comprobación/calibración aunque se ha corroborado in situ que los resultados arrojados por el modelo son correctos.

### 4.3.2 Presiones

➤ **Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia**

La gráfica es muy parecida a la del día 2 de agosto porque ese punto se encuentra debajo del Depósito Cota 55 y lo que refleja son las oscilaciones de éste y del funcionamiento de las bombas de la ETAP.

➤ **Red del Puerto de Sagunto**

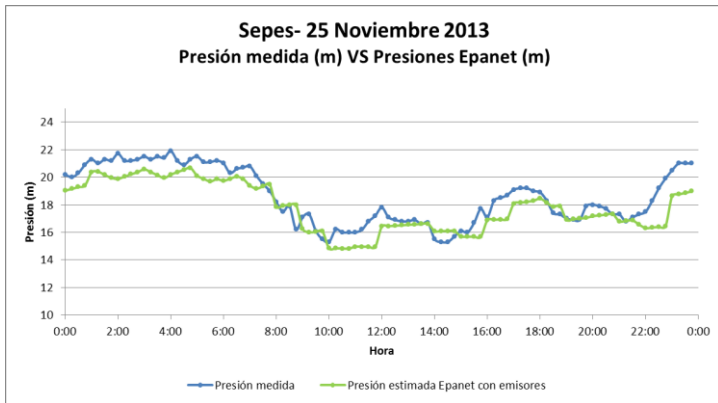


Figura 4-20. Presión medida VS Presión Epanet emisores Polígono Sepes – 25 noviembre de 2013

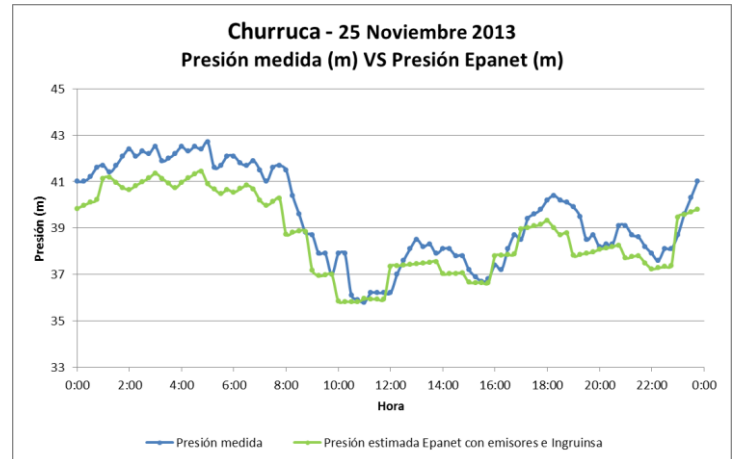


Figura 4-21. Presión medida VS Presión Epanet emisores Urbanización Churruca – 25 noviembre de 2013

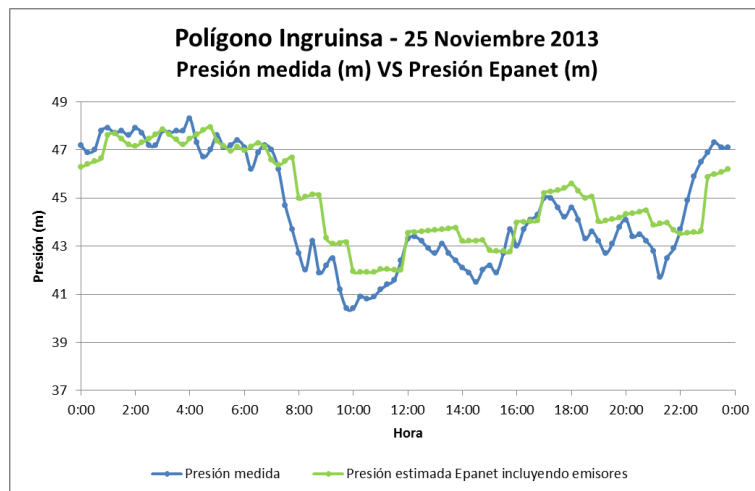


Figura 4-22. Presión medida VS Presión Epanet emisores Polígono Ingruinsa – 25 noviembre de 2013

Para el 25 de noviembre la coincidencia entre lo calculado por Epanet y lo medido en la realidad es algo mejor que para el 2 de agosto de 2013. En los puntos en los que se dispone de medidores de presión el error máximo es menor a 1.5mca y habitualmente inferior a 0.5mca o coincidente.

Esto supone que la red está bien calibrada. De todas maneras hay que ser conscientes de que el modelo podría ser mejorable aunque para realizar el análisis y tomar decisiones la exactitud del mismo es más que suficiente.

## 5. CONCLUSIONES

A lo largo de este documento se ha explicado cómo se ha generado el modelo matemático de la red de agua Potable de Sagunto y las particularidades del mismo. A modo de conclusiones se pueden indicar los siguientes puntos sobre éste:

- Incluye toda la red de agua potable destacando Sagunto Centro Urbano, Puerto de Sagunto, Norte Palancia, Polígonos Industriales y L'Almardà.
- Incluye la red de traída procedente de la ETAP y los depósitos de cabecera permitiendo un análisis de su funcionamiento.
- Los consumos registrados medios fueron asignados por calle siendo repartidos entre los nodos de consumo por proximidad.
- Las curvas de modulación son las del caudal registrado para cada uno de los macrosectores en los que se cuenta con registros de caudal.
- Existen dos modelos diferentes de los días 2 de agosto de 2013 y 25 de noviembre de 2013 en los que se reproducen distintas condiciones de consumo mediante las citadas curvas de modulación.
- En la primera carga hidráulica del modelo se consideraron las fugas constantes en cada uno de los macrosectores. El caudal fugado se repartió entre los nodos de forma proporcional a la longitud de tubería incidente.
- En la segunda carga hidráulica las fugas en cada nodo se hicieron dependientes de la presión aprovechando los resultados de la primera carga además de ser proporcionales a la longitud de tubería incidente. De esta manera el modelo es capaz de estimar la modificación del caudal inyectado si las condiciones de presión varían lo que será muy útil a la hora de estimar si la reducción de presiones es rentable para disminuir volúmenes fugados y aumentar el rendimiento volumétrico.

Como se ha puesto de manifiesto en los apartados correspondientes a la comprobación y calibración el funcionamiento del modelo es correcto aunque podría ser mejorado si se llevara a cabo una calibración más fina consistente en mejorar el reparto de caudales y posiblemente variar la rugosidad absoluta o diámetro interior de algunas conducciones. Para ello habría que contar con un mayor número de mediciones tanto de presión como de caudal, conocer la ubicación espacial de las acometidas y en general disponer de más tiempo de trabajo y recursos.

En cualquier caso el modelo presenta una exactitud más que suficiente para realizar el análisis de la red y tomar decisiones que mejoren el funcionamiento del sistema tal y como se indica en el Documento de la Memoria.





## 6. REFERENCIAS

### BIBLIOGRAFÍA

Bartolín, H.J. y Martínez Alzamora, F. (2006). *GISRed v2.0. Extensión de Arcview 3.2a para la confección y el mantenimiento actualizado de modelos de redes de distribución de agua a presión. Manual de usuario*. Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Cabrera, E., Espert, V., Arregui, F., García-Serra, J., García Carrasco, V. (2001). *Evaluación y control de pérdidas de agua en redes urbanas. Curso de fugas y modelación matemática de redes*. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Cabrera, E., Espert, V., García-Serra, J., Martínez, F., Andrés, M. y García, M. (1996). *Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Fuertes, V.S., García-Serra, J., Iglesias, P.L., López, G., Martínez, F.J. y Pérez, R. (2002). *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua*. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Grupo REDHISP (2013). *Curso de Hidráulica básica para operadores*. Grupo de Redes Hidráulicas y Sistemas a Presión. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Iglesias, P.L. y Martínez Solano, F.J. (2012). *Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante Epanet 2 vE*. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).

### NORMATIVAS

Ayuntamiento de Sagunto. Oficina técnica de urbanismo. *Plan General de Ordenación Urbana*. Sagunto (España).

Ministerio de Obras Públicas (1996). *Real Decreto 2177/1996 de 4 de octubre de 1996 (Derogado). Norma básica de la edificación NBE CPI 96. Condiciones de protección contra incendios en los edificios*. BOE de 29 de octubre de 2006.

Ministerio de Sanidad y Consumo (2003). *Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano*. BOE 21 de febrero de 2003.

### OTRAS REFERENCIAS

Presentación sobre ITA fugas: Cobacho, R., Arregui, F., Soriano, J. y Cabrera Jr, E. *Including leakage in network models: an application to calibrate leak-valves with Epanet*. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Apuntes del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).