



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



**ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA**

**Curso Académico:**



# **AGRADECIMIENTOS**

En primer quisiera dar las gracias a mi tutor Javier Soriano Olivares, que me ha guiado y ayudado a lo largo de toda la elaboración y ha hecho que sea posible el proyecto.

También me gustaría agradecer a la empresa "EMIVASA", que ha sido la que me ha suministrado la información necesaria y me ha ofertado el proyecto.

# RESUMEN

El trabajo de final de grado que se expone a continuación trata del modelado matemático del sector hidráulico Ciutat Jardí-Ayora de la Ciudad de Valencia. Dicho modelo matemático permitirá a la empresa EMIVASA tener un mejor conocimiento del funcionamiento de la red, lo que permitirá establecer medidas de mejora.

Para calibrar el modelo se partirá de información aportada por la empresa de presiones, caudales de entrada al sector, y, a través de ellos se intentará ajustar el modelo al máximo observando si los caudales de entrada del modelo coinciden con los reales. Para ello se planteará cuatro escenarios donde la variable que se irá modificando es la demanda base principalmente.

Una vez obtenido un modelo con el menor error posible, se asignará como definitivo y a partir de ahí se realizará un estudio de la red que podremos extraer del programa Epanet. Dicho estudio comprenderá el análisis de velocidades del agua, de pérdidas hidráulicas y de presiones. Servirá para observar si se dan ciertas anomalías no deseadas, y en base a esto sugerir un cambio. Si todo funciona correctamente, servirá para comprobarlo.

También se simulará casos extraordinarios en la red, tales como existencia de incendio en un punto o rotura de una tubería (o cierre).

Finalmente se propondrá medidas de mejora de la red de abastecimiento, que supondrán un avance en cuanto a salud y a control como más tarde se verá.

# RESUM

El treball de final de grau que s'exposa a continuació tracta del modelatge matemàtic del sector hidràulic Ciutat Jardí-Ayora de la Ciutat de València. El dit model matemàtic permetrà a l'empresa EMIVASA tindre un millor coneixement del funcionament de la xarxa, la qual cosa permetrà establir mesures de millora.

Per a calibrar el model es partirà d'informació aportada per l'empresa de pressions, cabals d'entrada al sector, i, a través d'ells s'intentarà ajustar el model al màxim observant si els cabals d'entrada del model coincidixen amb els reals. Per a això es plantejarà quatre escenaris on la variable que s'anirà modificant és la demanda base principalment.

Una vegada obtingut un model amb el menor error possible, s'assignarà com definitiu i a partir d'ací es realitzarà un estudi de la xarxa que podrem extraure del programa Epanet. El dit estudi comprendrà l'anàlisi de velocitats de l'aigua, de pèrdues hidràuliques i de pressions. Servirà per a observar si es donen certes anomalies no desitjades, i basant-se en açò suggerir un canvi. Si tot funciona correctament, servirà per a comprovar-ho.

També se simularà casos extraordinaris en la xarxa, com ara existència d'incendi en un punt o ruptura d'una canonada (o tancament) . Finalment es proposarà mesures de millora de la xarxa d'abastiment, que suposaran un avanç quant a salut i a control com més tard es veurà

# **ABSTRACT**

The end-of-grade work presented below is about the mathematical modeling of the Ciutat Jardí-Ayora hydraulic sector in the City of Valencia. This mathematical model will allow the company EMIVASA to have a better knowledge of the operation of the network, which will allow to establish improvement measures.

In order to calibrate the model it will be based on information provided by the company of pressures, inflows to the sector, and, through them, we will try to adjust the model to the maximum, observing if the input flows of the model coincide with the real ones. For this, four stages will be proposed where the variable that will be modified is the demand mainly based.

Once obtained a model with the lowest possible error, will be assigned as definitive and from there will be a study of the network that we can extract from the Epanet program. This study will include the analysis of water velocities, hydraulic losses and pressures. It will serve to observe if certain undesirable anomalies occur, and on the basis of this suggest a change. If everything is working properly, it will be checked.

It will also simulate extraordinary cases in the network, such as the existence of a fire at a point or a rupture of a pipe (or closure).

Finally, measures will be proposed to improve the supply network, which will be a step forward in health and control, as will be seen later.

# ÍNDICE DEL TRABAJO

## ○ **MEMORIA**

1. INTRODUCCIÓN
2. SECTOR CIUTAT JARDÍ-AYORA
3. ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO
4. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED
5. PROPUESTAS DE MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED
6. CONCLUSIONES
7. BIBLIOGRAFÍA

## ○ **ANEXOS**

ANEXO 1. CAUDALES EN LAS ENTRADAS

ANEXO 2. PRESIONES EN LAS ENTRADAS

ANEXO 3. LOCALIZACIÓN NUDOS Y TUBERÍAS

## ○ **PRESUPUESTO**

## ○ **PLANOS**

PLANO 1. DETALLES CONSTRUCTIVOS ZANJAS PARA CONDUCCIONES



# MEMORIA

Universitat Politècnica de València



## ***Índice de la memoria***

1	INTRODUCCIÓN.....	2
1.1	Objetivos.....	3
1.2	Estructura del trabajo.....	3
1.3	La empresa EMIVASA.....	3
1.4	La red de suministro de agua de la Ciudad de Valencia .....	5
1.4.1	Procedencia del agua .....	5
1.4.2	Características del suministro de la Ciudad de Valencia .....	7
1.4.3	Sectores en la ciudad .....	9
2	SECTOR CIUTAT JARDÍ AYORA.....	10
2.1	Localización y características del terreno.....	10
2.2	Características demográficas.....	12
2.3	Características generales de la red de suministro.....	14
2.3.1	Entradas al sector.....	14
2.3.2	Materiales de la red de tuberías.....	17
2.3.3	Diámetros de las tuberías .....	19
2.3.4	Elementos que intervienen en la sectorización.....	20
2.4	Análisis de la demanda de agua en el sector.....	22
2.4.1	Volumen en función del mes .....	22
2.4.2	Volumen en función del día de la semana.....	25
2.4.3	Caudal horario en función del día de la semana .....	26
2.4.4	Volumen circulante por las distintas entradas .....	27
2.5	Análisis de las presiones de entrada al sector.....	29
3	ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO .....	31
3.1	Introducción.....	31
3.2	Modelo de partida de la red en Epanet.....	32
3.3	Edición de las propiedades de los nudos.....	32
3.3.1	Cota de los puntos de consumo.....	32
3.4	Modelación de las entradas al sector.....	34
3.5	Edición de las propiedades de las tuberías .....	36
3.5.1	Rugosidad de las tuberías .....	36
3.6	Carga hidráulica del modelo.....	39
3.6.1	Demandas base.....	39
3.6.2	Patrones temporales de consumo .....	39
3.7	Calibración del modelo en distintos escenarios planteados.....	42
3.7.1	Escenario 1 .....	42
3.7.2	Escenario 2 .....	47



3.7.3	Escenario 3 .....	50
3.7.4	Escenario 4 .....	53
3.8	Comparación de procedimientos para la estimación de pérdidas.....	56
4	ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED .....	58
4.1	Presiones en los puntos de consumo .....	58
4.1.1	Máxima presión .....	58
4.1.2	Mínima presión .....	59
4.2	Velocidad del agua.....	60
4.3	Pendiente hidráulica.....	62
4.4	Rotura de tuberías .....	63
4.5	Respuesta ante incendio .....	63
5	PROPUESTAS DE MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED .....	64
5.1	Cierre de la entrada al sector Bellvis/Maderas .....	64
5.2	Renovación de tuberías de fibrocemento por tuberías de polietileno .....	66
5.2.1	Ejecución de la obra de sustitución de tuberías .....	67
6	CONCLUSIONES.....	69
▪	BIBLIOGRAFÍA.....	70

## ***Índice de figuras***

<i>Figura 1. Localización ETAP Manises (Google Earth)</i> .....	5
Figura 2. ETAP Manises .....	6
Figura 3. Localización ETAP Picassent .....	6
Figura 4. ETAP Picassent.....	7
Figura 5 Volumen inyectado a Valencia en un día típico en función de la hora.....	8
Figura 6.Sectores en la ciudad .....	9
Figura 7 Localización del sector Ciutat Jardí Ayora (Google Maps, 2017) .....	10
Figura 8. Localización Ciutat Jardí (Google Earth).....	11
Figura 9. Mapa de cotas .....	12
Figura 10. Imagen del sector (Google Earth) .....	14
Figura 11. Estación de sectorización Blasco Ibáñez 116 (GIS, 2017).....	15
Figura 12. Estación de sectorización Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés (GIS).....	15
Figura 13 Estación de sectorización Islas Canarias 72 (GIS).....	16
Figura 14 Estación de sectorización Francisco de Bellvis cruce con Maderas (GIS) .....	16
Figura 15 Aplicación GIS .....	17
Figura 16 Tubería de fibrocemento.....	18
Figura 17 Contador en una instalación .....	20
Figura 18. Filito de agua .....	20
Figura 19. Datalogger multilog.....	21
Figura 20. Manómetro .....	22
Figura 21. Volumen inyectado al sector en función del mes.....	24
Figura 22. Histograma del volumen inyectado en función del día de las semana.....	25
Figura 23. Caudal en función del día de la semana.....	26
Figura 24. Caudal inyectado por las distintas entradas .....	28
Figura 25. Presiones en las entradas.....	30
Figura 26. Red inicial en Epanet .....	31
Figura 27. Extracción cotas de Google Earth.....	33
Figura 28 Cotas en Epanet.....	33



Figura 29. Depósito Epanet .....	34
Figura 30 Embalse Epanet .....	34
Figura 31. Alturas piezométricas en las entradas .....	35
Figura 32. Conexión del embalse a la red. ....	36
Figura 33. Diámetros de las tuberías.....	38
Figura 34. Patrón de consumo .....	40
Figura 35. Patrón de consumo en Epanet .....	41
Figura 36. Obtención número de nudos en la red .....	43
Figura 37. Asignación demanda base.....	44
Figura 38.Comparación caudales modelo real vs simulación e1 (Islas Canarias) .....	44
Figura 39.Comparación caudales modelo real vs simulación e1 (Blasco/Estellés).....	45
Figura 40.Comparación caudales de entrada modelo real vs simulación e1 (Blasco 116).....	45
Figura 41.Comparación caudales de entrada modelo real vs simulación e1.....	45
Figura 42. Tubería de ejemplo .....	47
Figura 43.Comparación caudales modelo real vs simulación e2 (Islas Canarias) .....	48
Figura 44.Comparación caudales modelo real vs simulación e2(Blasco/Estellés).....	48
Figura 45.Comparación caudales modelo real vs simulación e2(Blasco 116) .....	49
Figura 46.Comparación caudales de modelo real vs simulación e2. (Bellvis/Maderas).....	49
Figura 47.Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Islas Canarias) .....	51
Figura 48.Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Blasco/Estellés).....	51
Figura 49.Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Blasco 116) .....	52
Figura 50.Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Bellvis/Maderas).....	52
Figura 51. División de la red en 4 zonas. ....	53
Figura 52.Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Islas Canarias) .....	54
Figura 53.Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Blasco/Estellés).....	54
Figura 54.Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Blasco 116) .....	54
Figura 55.Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Bellvis/Maderas).....	55
Figura 56. Comparación Hazen-Williamas/Darcy-Weisbach (Islas Canarias) .....	56



Figura 57. Comparación Hazen-Williamas/Darcy-Weisbach (Blasco/Estellés).....	56
<i>Figura 58. Comparación Hazen-Williamas/Darcy-Weisbach (Blasco 116).....</i>	<i>57</i>
Figura 59. Comparación Hazen-Williamas/Darcy-Weisbach (Bellvis/Maderas).....	57
Figura 60. Zona de máxima presión en Epanet.....	58
Figura 61. Punto de máxima presión en Epanet.....	59
Figura 62. Zona de mínima presión en Epanet.....	59
Figura 63. Punto de mínima presión en Epanet.....	60
<i>Figura 64. Velocidad del agua en la red.....</i>	<i>61</i>
Figura 65. Pérdida de carga de las tuberías en el modelo.....	62
Figura 66. Respuesta de la red ante incendios.....	63
Figura 67. Comparación modelo vs modelo anula entrada Bellvis (Islas Canarias).....	64
Figura 68. Comparación modelo vs modelo anula entrada Bellvis (Blasco/Estellés).....	64
Figura 69. Comparación modelo vs modelo anula entrada Bellvis (Blasco 116).....	65

## **Índice de tablas**

<i>Tabla 1. Población de los barrios que comprenden el sector .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2. Superficie de los barrios que comprenden el sector .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 3. Densidad de los barrios que comprenden el sector .....</i>	<i>13</i>
<i>Tabla 4. Tabla de materiales de tuberías.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 5. Diámetros de las tuberías.....</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 6. Caudales y volúmenes en función del mes del año .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 7. Valores característicos de caudales en función del mes .....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 8. Volumen en función del día de la semana.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 9. Valores característicos del volumen inyectado diario .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 10. Valores característicos de caudal en función del día de la semana .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 11. Volumen por las distintas entradas en un día .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 12 Caudal inyectado por las distintas entradas .....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 13. Valores característicos de presiones en las entradas.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 14. Valores característicos de altura piezométrica en las entradas.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 15. Rugosidades de los materiales .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 16. Error en el modelo 1 .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 17. Error en el modelo 2. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 18. Error en el modelo 3 .....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 19. Error en el modelo 4 .....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 20. Velocidad del agua en la red .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 21. Tuberías de fibrocemento.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 22. Tuberías de polietileno a instalar.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 23. Resumen presupuesto. ....</i>	<i>67</i>



## 1 INTRODUCCIÓN

Es irrefutable el hecho de que, durante todo el transcurso de la historia de la humanidad, el agua ha sido un bien tan necesario como el aire mismo. Durante siglos y siglos, el ser humano ha buscado la manera de abastecerse y saciar su sed. En la época en la que el hombre cazaba y recolectaba el agua provenía de ríos. Cuando no se dispone de manantiales, es necesario aprovechar los recursos subterráneos mediante la excavación de pozos.

Fue hace unos pocos miles de años cuando se empezaron a desarrollar los primeros sistemas de transporte y distribución mediante canales fabricados por ejemplo de árboles huecos de palmera o troncos de bambú y más tarde de cerámica, madera y metal.

Los Romanos fueron los mejores arquitectos en construcciones de distribución de aguas. Construyeron presas para almacenar y retener el agua y la transportaban mediante los famosos acueductos que a día de hoy siguen existiendo.

Después de la caída del Imperio Romano, los acueductos dejaron de utilizarse y hubo poco desarrollo en el sistema de tratamiento de aguas, lo que dio lugar a enfermedades mortales.

El primer sistema de agua potable fue construido en Pasley (Escocia) en el 1804 aproximadamente. A partir de ahí se crearon más plantas como la famosa de París en 1806 y así sucesivamente hasta el día de hoy.

Es más que intuitivo que existe una necesidad de crear una red de distribución que permita a los ciudadanos abastecerse de agua potable para poder llevar una vida normal y cómoda, sin tener que acudir a un pozo para beber un vaso de agua. El objetivo de la construcción de dicha instalación es pues, que nos llegue agua al grifo en unas condiciones adecuadas.

Dicha construcción requiere de un estudio detallado previo, para conseguir las necesidades hídricas que se requieren con el mayor aprovechamiento posible de los recursos. Por todo esto es necesaria la existencia de empresas de gran tamaño que dirijan la gestión del y que se encarguen de un correcto abastecimiento a través de personal especializado en cada área.



## 1.1 Objetivos

El proyecto tiene como fin realizar la modelización matemática del sector “Ciutat Jardí Ayora”. Dicha tarea consiste en obtener un modelo en el que, mediante datos proporcionados de la red y diversas iteraciones, las variables hidráulicas se ajusten lo máximo posible a la realidad.

El diseño de este modelo hará posible el conocimiento hidráulico de cualquier punto en la red de una manera aproximada. Asimismo, se podrá saber de antemano que pasaría si se modificaran o añadieran ciertos elementos de la red (tubería, válvulas reductoras, válvulas limitadoras de caudal...) y servirá para proponer algún cambio en la red que conlleve una mejora.

Este modelo podrá usarlo la empresa en cualquier momento para analizar comportamientos y proponer cambios que optimicen el funcionamiento.

## 1.2 Estructura del trabajo

El trabajo expuesto comenzará presentando la demografía y la localización de nuestro sector en concreto. Continuará mostrando las características de la red de tuberías de dicho sector (materiales, longitud, diámetro...etc.). Más tarde se presentará la herramienta EPANET y la introducción de nuestros datos. Después se llevará a cabo el planteamiento de diversos posibles escenarios que reflejen en la medida de lo posible el comportamiento real de nuestra red y por último se hará un análisis y se extraerá unas conclusiones a partir de las cuales se proponga unas posibles soluciones con su respectivo presupuesto.

## 1.3 La empresa EMIVASA

La red de distribución de agua potable en Valencia está a cargo de EMIVASA, una empresa mixta creada por “Aguas de Valencia” y el Ayuntamiento de Valencia.

El 80% del capital aportado proviene de Aguas de Valencia y el 20% restante del Ayuntamiento. La empresa se encarga del abastecimiento de agua potable en la ciudad de Valencia y en diversos municipios de la Comunidad Valenciana. Además, se encarga de la depuración de aguas residuales. Para ello cuenta con diversos mecanismos que aseguran unos niveles legales de partículas para poder ser enviada de vuelta a la naturaleza.

En este aspecto Aguas de Valencia gestiona 357 plantas depuradoras repartidas por toda España que atiende a casi 3 millones de personas habiendo tratado en el último año 260 hm<sup>3</sup> aproximadamente, una cantidad que llama la atención de cualquiera. (Aguas de Valencia, 2017)



La empresa está dividida en varios departamentos, entre los cuales se halla el departamento de ingeniería técnica, el departamento de informática, el departamento de explotación... En el departamento de explotación la tarea es mejorar el rendimiento de la red, para así conseguir una maximización de beneficios y evitar una pérdida de agua innecesaria. Lo que se busca es que el volumen facturado sea igual al volumen inyectado al sector, pero esto nunca es así debido a varias causas no deseadas:

- Fraudes: implica que el defraudador está recibiendo suministro sin que conste en ningún contador y sin pagar, obviamente.
- Fugas: presencia de puntos en la red con pérdidas de agua al exterior de la tubería debidas a deterioros de éstas. Este el punto en el que más se centra la empresa y es tarea localizarlas e intentar mejorar el rendimiento y así los beneficios. Dentro de este apartado, nos encontramos con dos tipos de fugas:
  - Fugas visibles: son las que (valga la redundancia) se ven directamente, sin ningún tipo de estudio. Éstas se detectan casi instantáneamente. Un ejemplo sería una gotera en una casa. En este caso el abonado contacta con la empresa y soluciona el problema en cuestión de horas.
  - Fugas no visibles: éstas son las más difíciles de encontrar y para la que hay un equipo rastrea la ciudad mediante instrumentos de detección (correladores y sondas) periódicamente en busca de ellas.

Como se indicaba anteriormente, cuando el volumen facturado dista del producido, va a ser debido a estas causas comentadas. Con el fin tener más localizado dónde se da esta diferencia en concreto, es decir dónde se produce una pérdida de rendimiento con un margen de error menor se ha procedido durante los últimos años a dividir la zona suministrada en sectores. Dichos sectores se crean al cerrar válvulas de “sectorización” que cortan el paso de agua en las tuberías que las contienen. Por otra parte, estarán las tuberías de entrada al sector, las únicas a través de las cuales entrará el agua a dicho sector. Puede haber una o varias y a dichas entradas se les conoce con el nombre de “estaciones de entrada al sector”. De esta forma, mediante la instalación de contadores en dichas entradas se puede contabilizar el caudal suministrado a ese sector en concreto y ver por lo tanto en qué sectores existe menor rendimiento, ofreciéndonos así, una pista para saber dónde es más probable que existan fugas o incluso fraudes.

## 1.4 La red de suministro de agua de la Ciudad de Valencia

### 1.4.1 Procedencia del agua

El agua proveniente de los ríos y acuíferos es tratada en las ETAP (estación de tratamiento de agua potable) de Manises principalmente (“La Presa”) y de Picassent. A través de tuberías de “aducción” (tuberías de hasta 1200 mm de diámetro aproximadamente) se transporta el agua hasta diversos lugares, entre ellos la ciudad de Valencia. Una vez dentro de la ciudad, las tuberías arteriales (tuberías de hasta 600 mm de diámetro) son las que transportan la mayor cantidad de agua finalizando en las tuberías de distribución (tuberías entre 50 y 450 mm aproximadamente). A continuación, se muestran unas imágenes sobre las ETAPS.

### ETAP MANISES

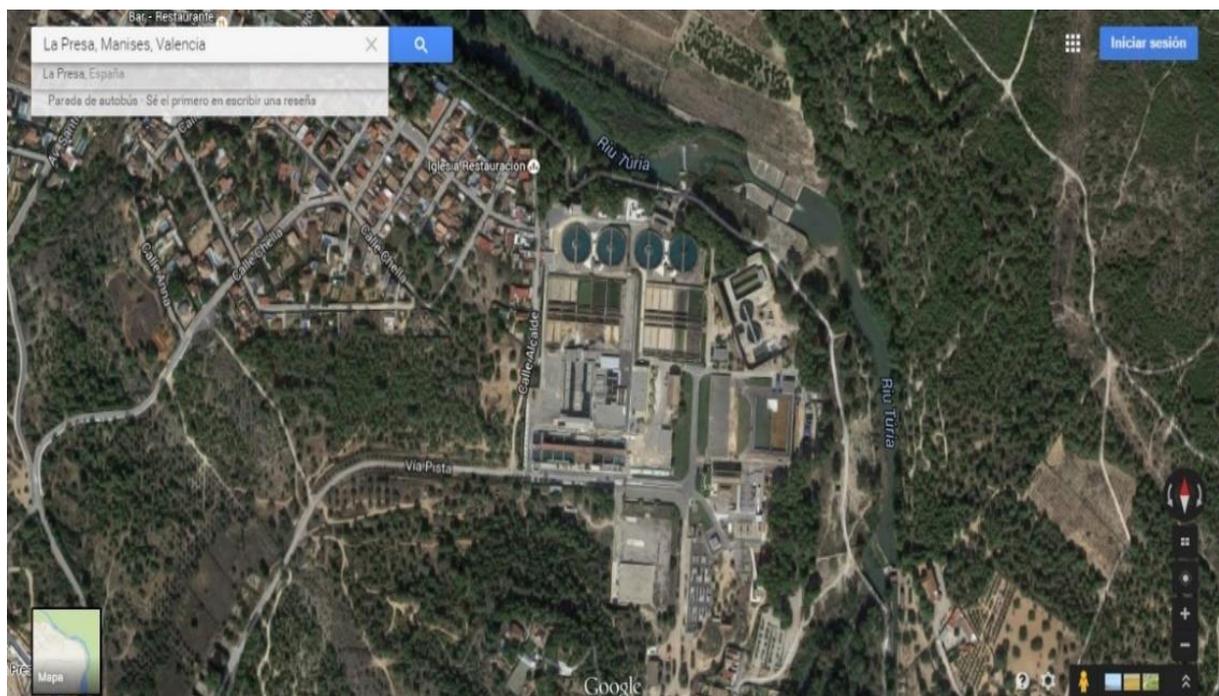


Figura 1. Localización ETAP Manises (Google Earth)



Figura 2. ETAP Manises

## ETAP PICASSENT

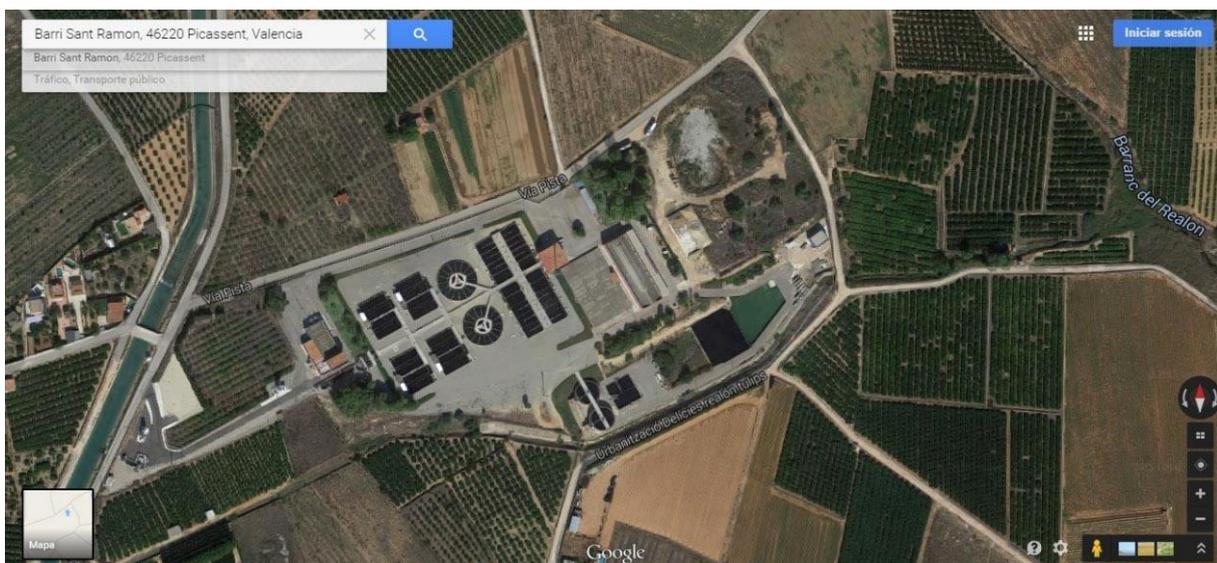


Figura 3. Localización ETAP Picassent



Figura 4. ETAP Picassent

#### 1.4.2 Características del suministro de la Ciudad de Valencia

La ciudad de Valencia cuenta una población 790.201 habitantes (Oficina de Estadística, Valencia, 2016) y si se cuenta el área metropolitana alcanza los 1.550.885 de habitantes. Estas cifras la convierten en la tercera ciudad más grande de España con Madrid y Barcelona por delante, por lo que la red de distribución de agua es de esperar que sea de grandes dimensiones y compleja.

Según datos proporcionados por la empresa, la ciudad de Valencia cuenta con 431.169 contadores de abonados (EMIVASA, 2017), lo que nos da cierta idea del número de residentes por vivienda, esto es, 1,83 hab/vivienda aproximadamente.

Valencia dispone de 7 contadores que miden el caudal que entra y 9 que miden el que sale, consiguiendo a través de un simple balance el caudal inyectado en un día, que de media es de 145.000 m<sup>3</sup>/día, una cifra que impresiona a cualquiera. Con este dato es fácil hacerse una idea de cuánto consume de media un habitante, esto es, 183,49 l/hab·día. A continuación, se

puede observar una gráfica donde se representa el caudal inyectado un día cualquiera a Valencia en  $m^3/h$ .

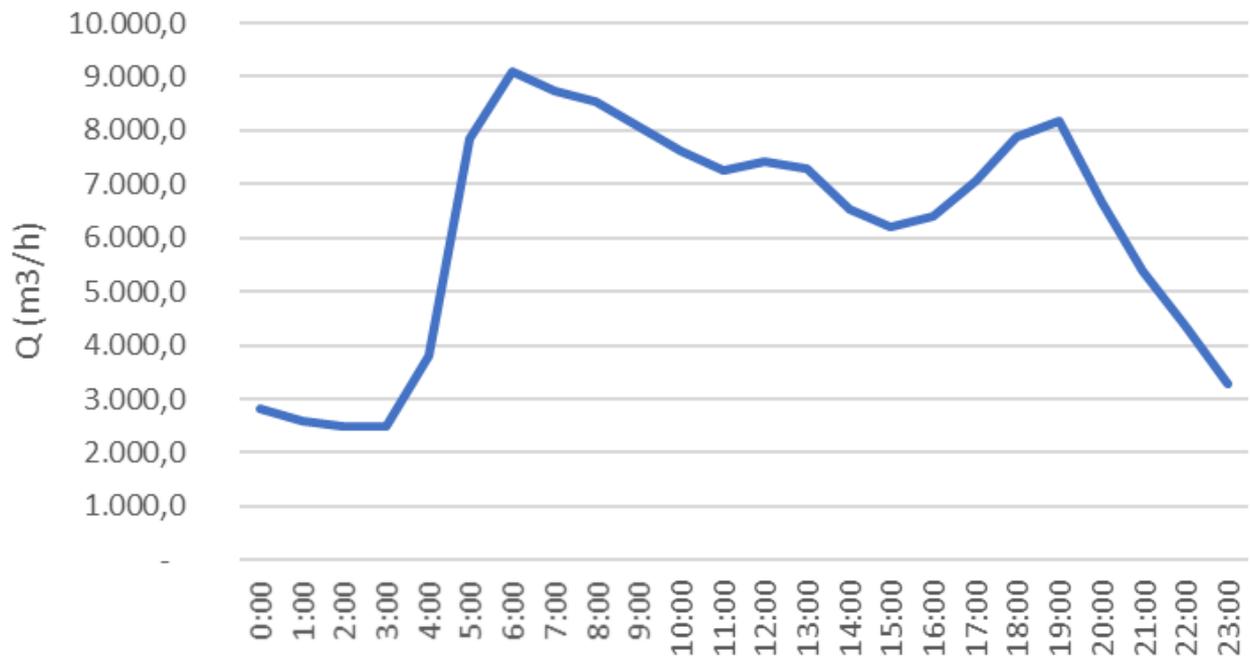


Figura 5 Volumen inyectado a Valencia en un día típico en función de la hora



## 2 SECTOR CIUTAT JARDÍ AYORA

### 2.1 Localización y características del terreno

La zona en torno a la cual va a rodar el proyecto es el sector Ciutat Jardí Ayora. Dicho sector comprende los barrios de Aiora, Albors, l'Amistat, l'Illa Perduda y Ciutat Jardí. Aiora y Albors pertenecen al distrito de Camins al Grau, mientras que l'Amistat, l'Illa Perduda y Ciutat Jardí, pertenecen al distrito de Algirós. El sector limita por el norte con Blasco Ibáñez, por el sur con Islas Canarias, por el oeste con Cardenal Benlloch y por el este con Serrería, quedando nuestro sector como la imagen representa:



Figura 7 Localización del sector Ciutat Jardí Ayora (Google Maps, 2017)

La superficie que abarca este sector es bastante homogénea y carece de grandes desniveles, lo que es un punto positivo desde el punto de vista de la simplicidad hidráulica. Con 9 m aproximadamente al oeste del sector se van reduciendo lenta y progresivamente las cotas del terreno conforme se va acercando hacia el mar hasta llegar a los 3 m aproximadamente que se pueden encontrar al este (serrería).



Figura 8. Localización Ciutat Jardí (Google Earth)

La siguiente imagen muestra un mapa de cotas, en el que se puede observar con bastante claridad cómo está distribuido el terreno.

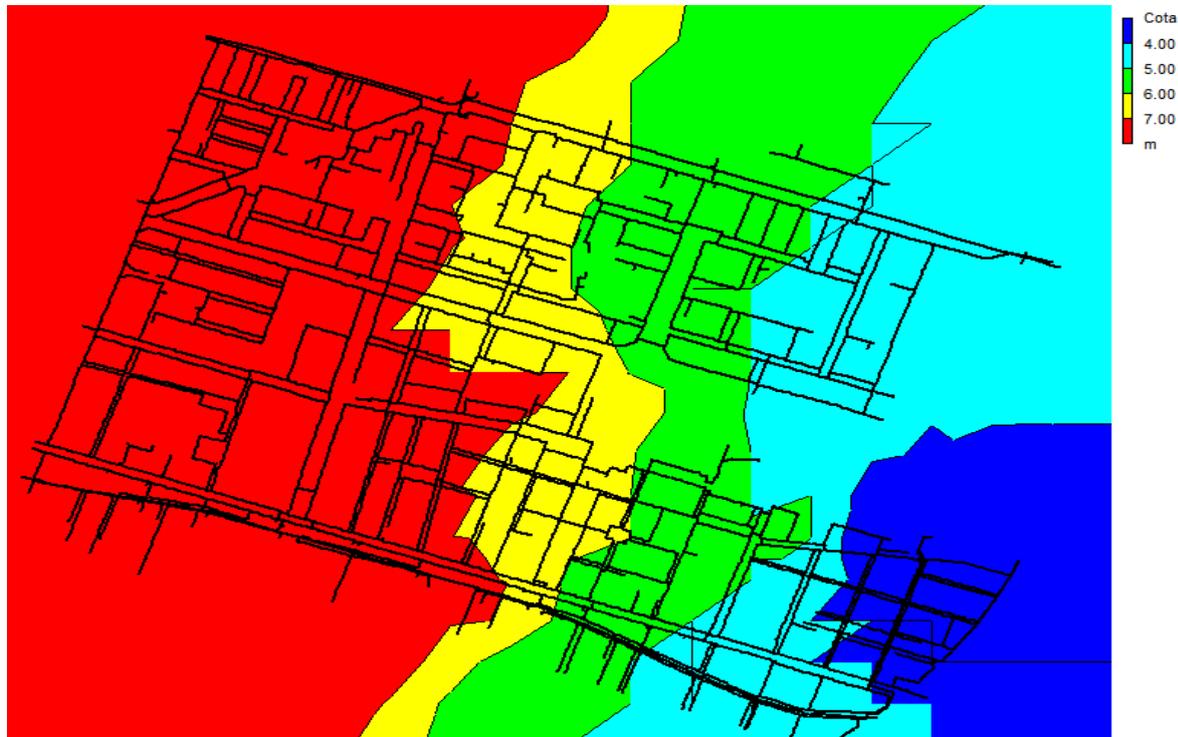


Figura 9. Mapa de cotas

## 2.2 Características demográficas

Ciutat Jardí contaba con 61.710 habitantes en 2016 como se puede mostrar en la tabla proporcionada por la oficina de Estadística.

Tabla 1. Población de los barrios que comprenden el sector

<b>Barrio</b>	<b>Número de habitantes</b>
Aiora	25.079
Albors	8.671
Amistat	7.252
l'Illa Perduda	8.759
Ciutat Jardí	11.949
<b>TOTAL</b>	<b>61.710</b>



La siguiente tabla muestra el área que comprende cada barrio:

Tabla 2. Superficie de los barrios que comprenden el sector

<b>Barrio</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
Aiora	651.000
Albors	256.000
Amistat	207.000
l'illa perduda	232.000
Ciutat Jardí	364.000
<b>TOTAL</b>	<b>1.710.000</b>

(Oficina de Estadística, Valencia, 2016)

La siguiente tabla muestra la densidad de población en los barrios del sector:

Tabla 3. Densidad de los barrios que comprenden el sector

<b>Barrio</b>	<b>Densidad (hab/km<sup>2</sup>)</b>
Aiora	38523,80
Albors	33871,09
Amistat	35033,81
l'illa perduda	37754,31
Ciutat Jardí	32826,92
<b>TOTAL</b>	<b>35601,99</b>

## 2.3 Características generales de la red de suministro

### 2.3.1 Entradas al sector

Las estaciones de sectorización son las protagonistas en dicha tarea. El agua solamente tiene acceso por dichas entradas. En ellas se contabiliza el volumen inyectado a través de contadores y se efectúa la medición de presión. Por otra parte, también se procede a una tarea de filtración para eliminar cualquier tipo de partícula en suspensión no deseada. Como se verá más tarde, hay ciertas entradas que tienen más importancia en cuanto a la cantidad de caudal que inyectan se refiere. A continuación, se muestran en la siguiente imagen a través de un círculo azul:

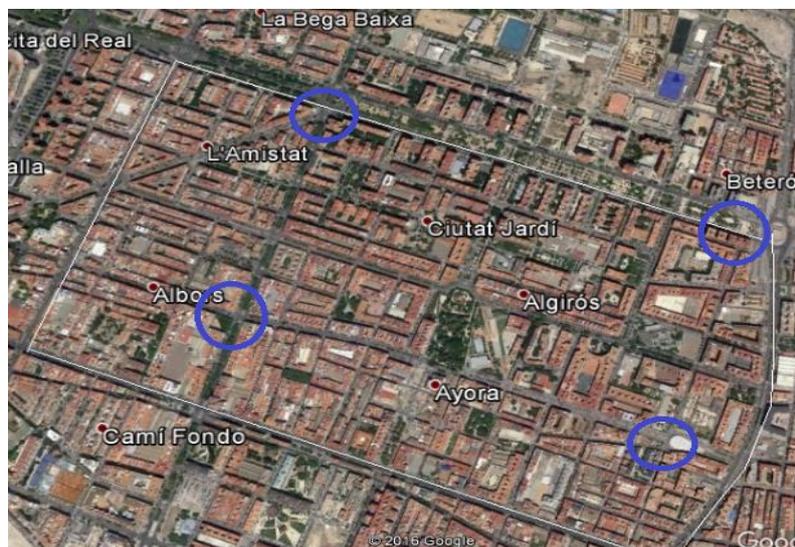


Figura 10. Imagen del sector (Google Earth)

A continuación, se muestran unas imágenes extraídas de la aplicación “GIS” donde se ha ampliado hasta ver la estación en concreto. En ella se encuentran los elementos característicos de una estación que más tarde se explicarán.

#### *BLASCO IBÁÑEZ 116 DN 250*

La conducción por la que proviene el agua tiene un diámetro de 250 mm. Está hecha de fibrocemento.



Figura 11. Estación de sectorización Blasco Ibáñez 116 (GIS, 2017)

### BLASCO IBÁÑEZ CRUCE CON MANUELA ESTELLÉS DN 250

Cuenta con un diámetro de 250 mm. Está hecha de fibrocemento.

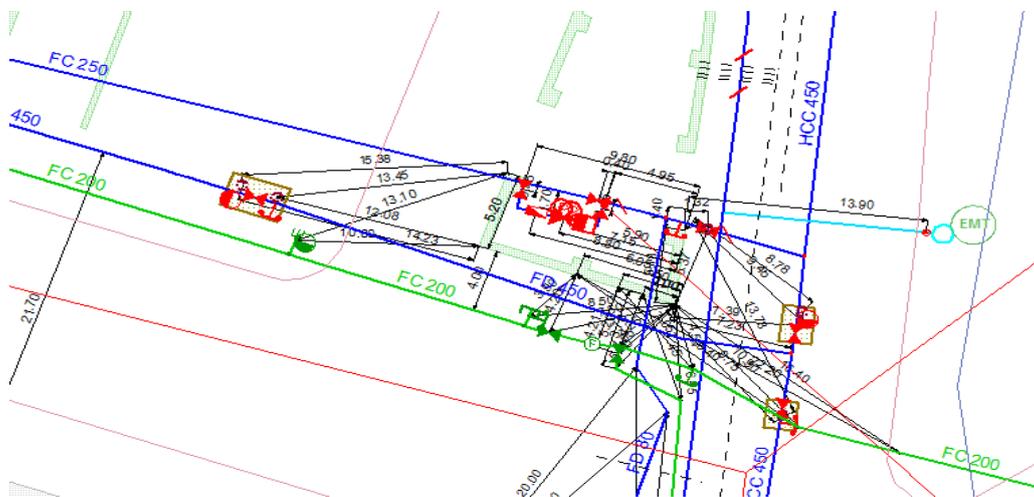


Figura 12. Estación de sectorización Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés (GIS)

### ISLAS CANARIAS, 72 DN 300

Cuenta con un diámetro de 300 mm. El material del que está hecha es fundición dúctil.

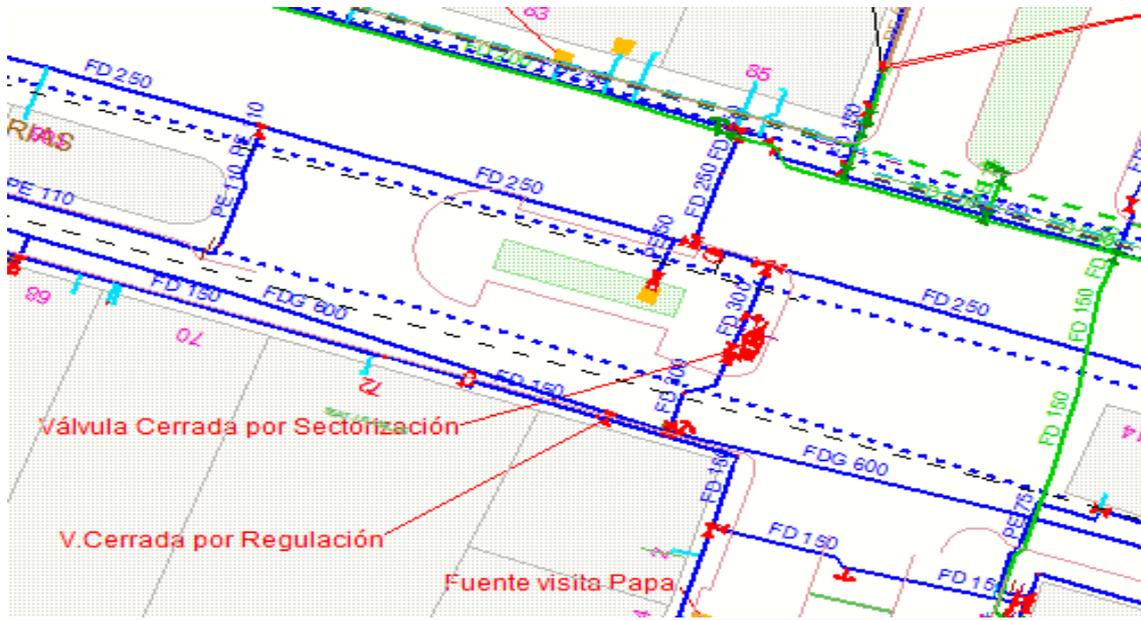


Figura 13 Estación de sectorización Islas Canarias 72 (GIS)

### FRANCISCO DE BELLVIS CRUCE CON MADERAS DN 250

Cuenta con un diámetro de 250 mm. EL material es fundición dúctil.

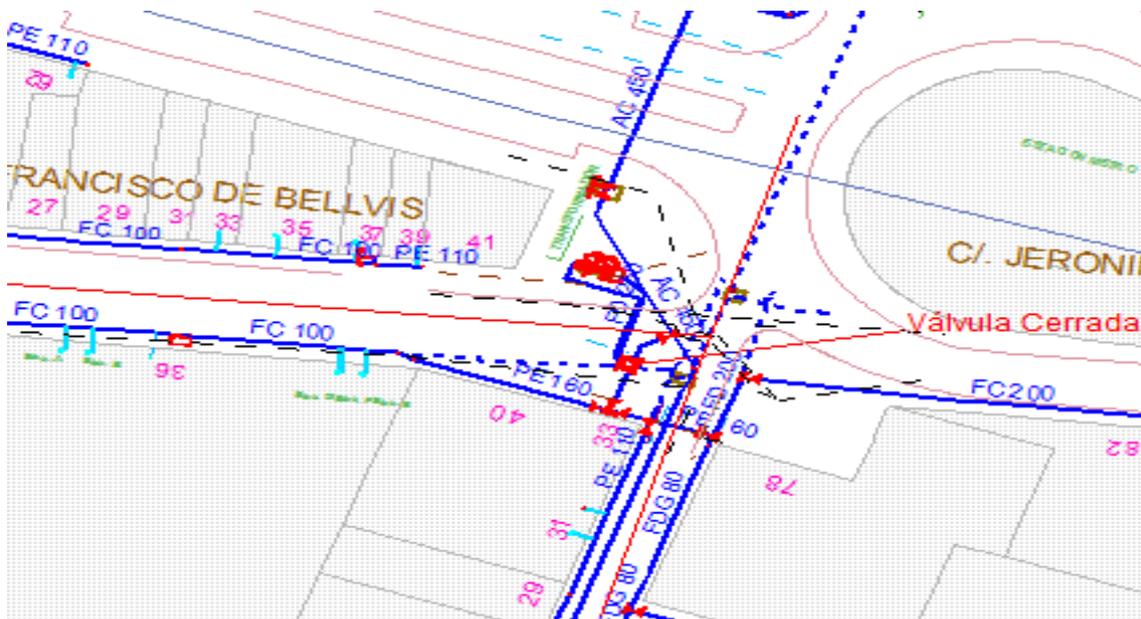
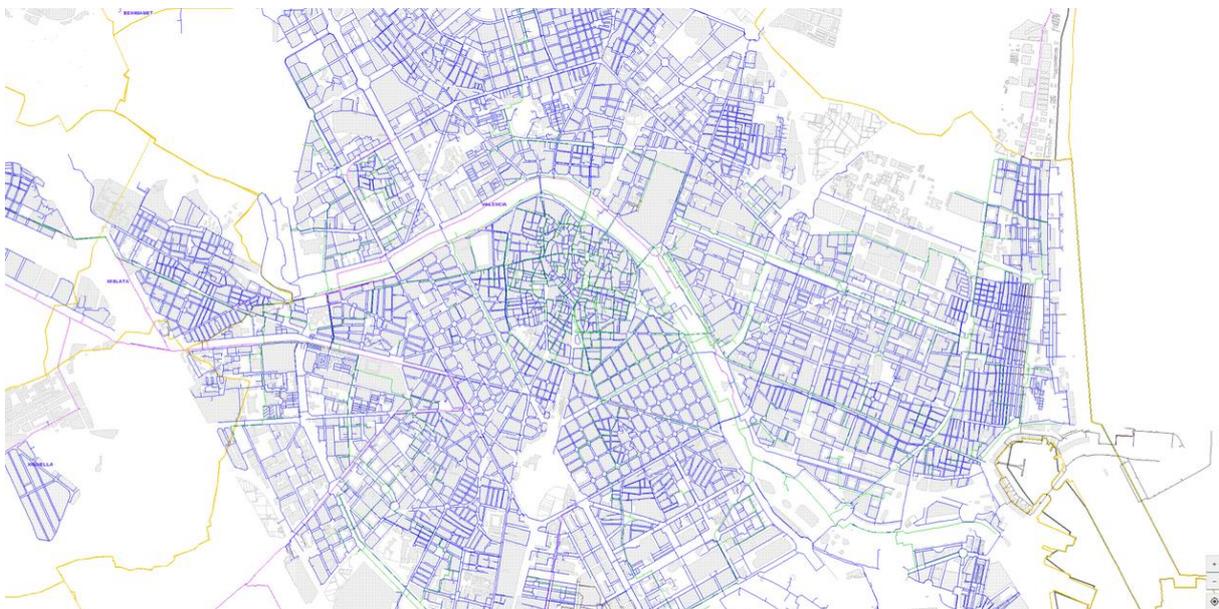


Figura 14 Estación de sectorización Francisco de Bellvis cruce con Maderas (GIS)

### 2.3.2 *Materiales de la red de tuberías*

Para conocer los materiales de las tuberías se ha utilizado la aplicación “GIS” (Sistema de información geográfica) con la que trabaja la empresa. En esta aplicación aparece la red de tuberías con todos sus elementos ubicados correctamente mediante sus coordenadas geodésicas. Se puede hacer “click” en un elemento o tubería para ver sus propiedades.



*Figura 15 Aplicación GIS*

Así es cómo se han conocido los materiales de los que están hechas las tuberías. Así pues, para introducirlo en Epanet se ha visto en la aplicación el material de la tubería seleccionada y se ha transcrito a Epanet mediante la etiqueta. Una a una, han sido asignadas de tal forma que las tuberías de la red ya están clasificadas por materiales.

Una vez asignados los materiales a las tuberías de nuestra red, se ha generado un archivo de texto exportado de Epanet donde aparece toda la información de nuestra red. En este archivo aparece la posición de los nudos, las longitudes de las tuberías, los diámetros, los materiales... A través de un archivo en Excel donde se ha copiado la información de los materiales y las longitudes de dichas tuberías se ha trabajado y se ha conseguido obtener qué longitud se dispone de cada material, quedando así clasificadas las tuberías por material y longitud. Como ahora se observará, los materiales mayoritarios de tuberías de este sector son fibrocemento y fundición gris.

En la tabla siguiente se muestra las longitudes en kilómetros para cada material, y el respectivo porcentaje de longitud que supone cada material:

Tabla 4. Tabla de materiales de tuberías

<b>Material</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Acero	0,08	0,15
Fibrocemento	20,79	39,24
Fundición gris	18,26	34,47
Fundición DÚCTIL		
	(<5 AÑOS)	1,51 2,85
	(5-20 AÑOS)	4,76 8,99
	(20-40 AÑOS)	1,64 3,10
Polietileno	6,93	0,11
<b>TOTAL</b>	<b>53,9</b>	

El fibrocemento es muy común en tuberías dadas sus características de alta impermeabilización y dada su larga duración, pero pueden traer problemas serios de salud debido a la presencia de amianto, un material que si se depende puede suponer un alto riesgo para la salud. Mientras las tuberías estén en buen estado no existe problema alguno. El problema vendrá cuando haya que cambiar la tubería debido a su mal estado y haya que cortarla, porque de esta forma es cuando se produce dicho desprendimiento.



Figura 16 Tubería de fibrocemento



La fundición gris es una aleación ferrosa formada por un 2% de carbono, 1% de silicio y manganeso, fósforo y azufre. Tiene buena resistencia al desgaste y bajo coste, pero posee una baja ductilidad que le causa deformaciones permanentes antes de alcanzar su tensión de rotura.

Las tuberías de fundición dúctil se fabrican añadiendo magnesio a las de fundición gris que hace que el grafito se forme esferas en vez de láminas. De esta forma se crea un material de alta resistencia y maleabilidad anulando su anterior fragilidad. Son capaces de resistir altas presiones y cargas externas y de soportar grandes cambios de temperatura.

### 2.3.3 Diámetros de las tuberías

Los diámetros de las tuberías son un factor importante a la hora de modelizar correctamente la red. Se ha realizado un estudio de los diámetros pertenecientes a las tuberías del sector.

En la siguiente tabla se muestra qué longitud hay de cada diámetro. Tal como se observa en la siguiente tabla, el diámetro predominante en el sector está comprendido entre 50 y 100 mm, totalizando aproximadamente 30 km de tubería (53.8 %).

Tabla 5. Diámetros de las tuberías

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (km)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
50-100	29,42	53,82
100-150	11,52	22,98
150-200	1,69	3,09
200-300	7,68	14,05
450	2,04	3,70
600	1,6	2,90
<b>TOTAL</b>	<b>53,9</b>	

La red cuenta con diámetros desde 50 mm el más pequeño hasta 600 mm el más grande, un abanico que influirá tanto en las velocidades del agua como en las presiones. Las tuberías de 600 mm serán las que discurran por grandes avenidas y las tuberías de 50 mm serán las tuberías próximas a cada edificio, a priori.

### 2.3.4 Elementos que intervienen en la sectorización

#### *Válvulas de sectorización*

Cierran el paso del agua por aquellas tuberías de entrada al sector en las que no hay dispositivos de medición para contabilizar el volumen inyectado de agua.

#### *Unidad de medición de caudales*

Contabilizan el volumen de agua que pasa por ellos. En cada entrada se coloca uno para saber el volumen que se introduce por dicha entrada y así saber también el total.



*Figura 17 Contador en una instalación*

#### *Unidad de filtración*

Estos elementos permiten retener partículas en suspensión e impiden que acabe en las instalaciones de los usuarios.



*Figura 18. Filto de agua*

### *Válvula hidráulica reductora de presión*

Fija una presión máxima aguas debajo de la válvula. En caso de que la presión aguas arriba sea mayor que la presión de consigna (presión fijada), la válvula actúa proporcionando dicha presión de consigna.

### *Datalogger*

Dispositivos de medición que ofrecen datos de caudal y presión cada quince minutos. Estos datos son enviados a la empresa y así se tiene conocimiento de dichas variables.



*Figura 19. Datalogger multilog*

### *Manómetro*

Dispositivo de medición que informa de la presión en un determinado instante.



Figura 20. Manómetro

## 2.4 Análisis de la demanda de agua en el sector

Hay ciertos parámetros de la red de los cuales se van a extraer ciertas conclusiones sobre el funcionamiento de ésta. Para realizar un modelo, se podría recoger la información de cada día del año y realizar un estudio en cada día. Esto, como es fácil de suponer, conllevaría un tiempo excesivo e innecesario. Por lo tanto, se llevará a cabo el estudio centrándose en un día, el cual se determinará según ciertas conclusiones que se extraerán a continuación.

La empresa EMIVASA a través de una aplicación recoge los datos proporcionados por los multiloggs de caudal y presión de las 4 estaciones de entrada al sector. A partir de la información de estas 4 entradas se genera un solo archivo en el que figura la información del sector total (efectuando la suma de las 4).

### 2.4.1 Volumen en función del mes

Se dispone de los caudales medios inyectados al sector cada 15 minutos, desde mayo de 2016 hasta febrero de 2017. Con esta información se pretende analizar la dependencia del mes con el volumen consumido por dicho sector.



Tabla 6. Caudales y volúmenes en función del mes del año

	<b>Qmed (l/s)</b>	<b>Volumen inyectado (m3/mes)</b>
Mayo	95,40	247.267
Junio	100,19	259.683
Julio	90,53	234.652
Agosto	76,43	198.095
Septiembre	96,32	249.660
Octubre	94,56	245.110
Noviembre	96,04	248.944
Diciembre	102,23	264.985
Enero	101,02	261.840
Febrero	99,32	257.437

Tabla 7. Valores característicos de caudales en función del mes

<b>Media (m3)</b>	<b>Máx (m3)</b>	<b>Mín (m3)</b>	<b>Desviación típica(m3)</b>
<b>246.767</b>	264.985,28	198.094,93	19.355,22

Como se puede apreciar en la siguiente figura, el mes con menor volumen inyectado al sector es agosto junto con julio y septiembre. Tiene sentido, pues indica que en verano los barrios abarcados por el sector están menos habitados. La conclusión lógica es que los habitantes se marchan de vacaciones a cualquier otro lado y por lo tanto dejan de consumir agua.

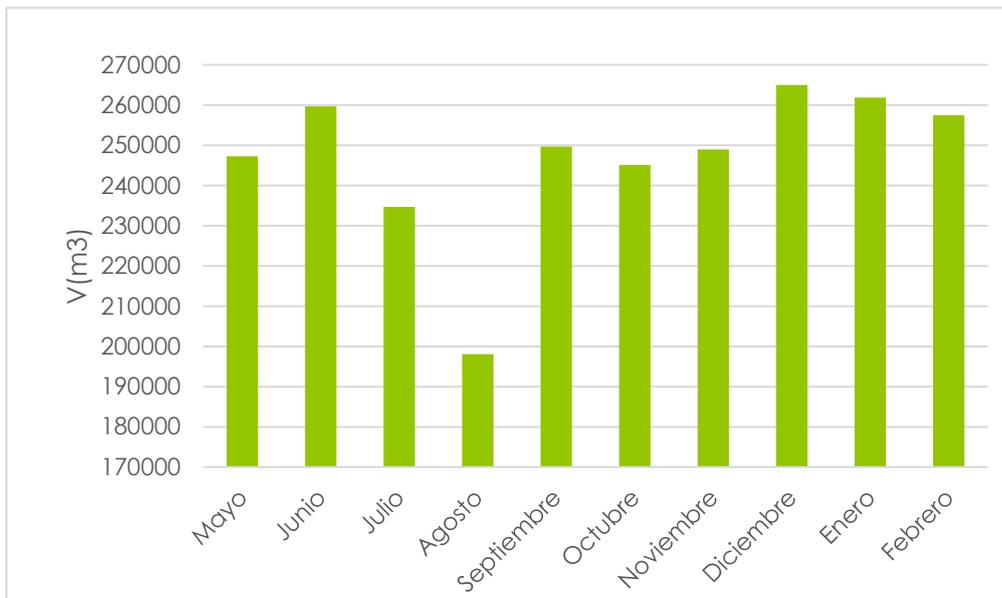


Figura 21. Volumen inyectado al sector en función del mes

Por otra parte, el mes con mayor volumen inyectado al sector es diciembre. Esto puede ser debido a la presencia de varias fiestas a lo largo del mes y al consumo dedicado a calefacción.

El resto de meses de los que se tiene información oscilan en los 240.000 y 260.000 m<sup>3</sup> en el mes. Se observa que las diferencias no son exageradas, ya que se dan unas condiciones parecidas durante ese periodo, no dándose así en los meses de verano.

### 2.4.2 Volumen en función del día de la semana

El día en el que el sector consume más agua es el miércoles para esta semana. Con un volumen de 9145,62 m<sup>3</sup> lo que supone un 2,83% más que la media y un 6,35% más que el mínimo. Si la población del sector es de 61.710 habitantes, se puede establecer un consumo medio de  $\frac{9015}{61710}=0,146$  m<sup>3</sup>/persona, es de decir 146 l/persona·día, un dato que es interesante conocer.

Tabla 8. Volumen en función del día de la semana

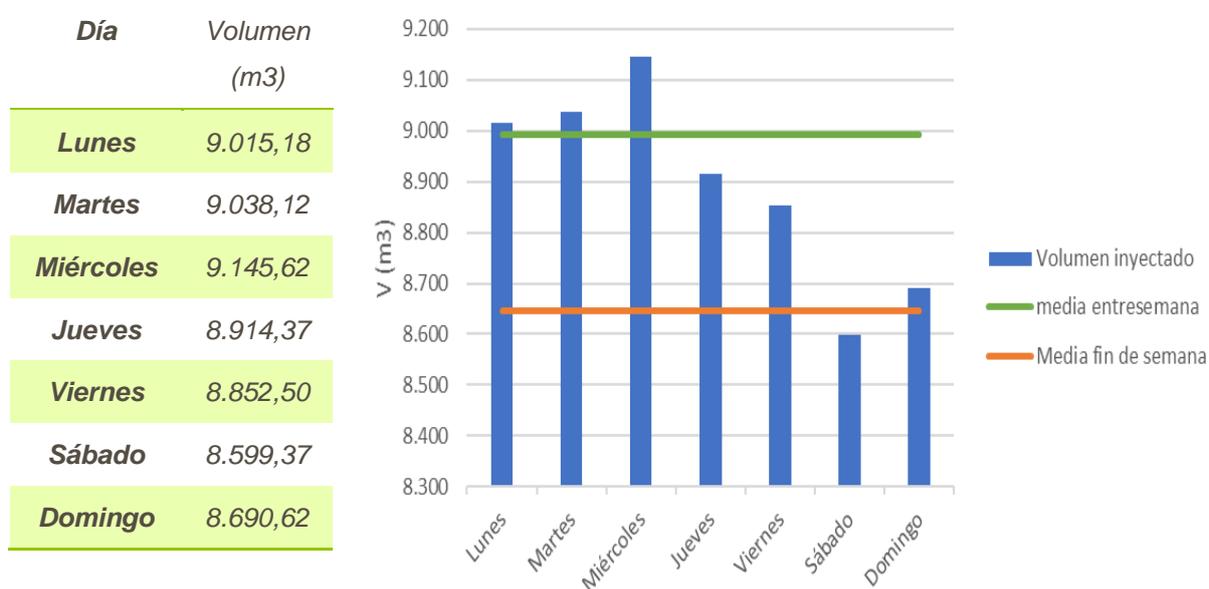


Figura 22. Histograma del volumen inyectado en función del día de las semana

Como se puede apreciar en el histograma, el volumen medio inyectado el fin de semana es apreciablemente inferior al volumen inyectado entresemana. Mientras que entresemana se aporta de media 8993,16 m<sup>3</sup>/día el fin de semana se aporta 8644,99 m<sup>3</sup>/día, como se muestra a continuación

:

Tabla 9. Valores característicos del volumen inyectado diario

	Media (m3)	Máx (m3)	Mín (m3)	Desviación (m3)
Diario	8893,66	9145,62	8599,37	195,37
Fin de semana	8644,99	8.599,37	8.599,37	64,52
Entresemana	8993,16	9.145,62	8.852,50	113,73

### 2.4.3 Caudal horario en función del día de la semana

Con el fin de escoger un día de partida, del que utilizar sus datos se va a representar a continuación una gráfica donde se enfrentan caudal Q (l/s) y hora del día para cada día de la semana.



Figura 23. Caudal en función del día de la semana

A la vista de los resultados, observamos que los caudales entre semana son bastante similares hora a hora. En el fin de semana sí que se aprecia una diferencia notable. Así pues, el consumo máximo entre semana se produce alrededor de las 8:30 y en el fin de semana lo encontramos a las 10:30 el sábado y a las 11:30 el domingo.

En base a esto, escogeremos un día cualquiera de entresemana, que es más representativo, pues es el patrón de consumo que más se va a dar a lo largo del tiempo en la red. Atendiendo a esto, se ha escogido el día 12 de diciembre, lunes, por ser éste un día entresemana y un día laboral normal y corriente.

Tabla 10. Valores característicos de caudal en función del día de la semana

	Media (l/s)	Máximo (l/s)	Máximo (hora)	Mínimo (l/s)	Mínimo (hora)	Desviación (l/s)
<b>Lunes</b>	104,34	154,17	8:30	39,58	4:30	38,60
<b>Martes</b>	104,61	152,78	8:45	36,11	4:00	39,54
<b>Miércoles</b>	105,85	163,19	8:30	36,80	3:30	39,74
<b>Jueves</b>	103,18	158,33	8:30	38,19	4:45	37,47
<b>Viernes</b>	102,46	150,69	8:45	39,58	3:30	36,39
<b>Sábado</b>	99,53	166,67	10:30	40,27	5:15	39,89
<b>Domingo</b>	100,59	184,03	11:30	38,88	5:00	42,59

#### 2.4.4 Volumen circulante por las distintas entradas

Con el fin de hacerse una idea acerca de la importancia de cada entrada, esto es, cuán volumen trasiega cada una, se ve ahora, a partir de los datos proporcionados a la empresa, los volúmenes inyectados de cada entrada.

Tabla 11. Volumen por las distintas entradas en un día

Entrada	Volumen (m3)
<b>Islas canarias</b>	4804,99
<b>Blasco/Estellés</b>	2790
<b>Blasco 116</b>	1030,72
<b>Jerónimo</b>	399,99
<b>TOTAL</b>	9025,70

En el sector, un día cualquiera de entresemana inyecta un volumen de 9025,70 m<sup>3</sup>. Sabiendo que el sector tiene 61.710 habitantes, a cada persona le corresponde un consumo medio de  $\frac{9025,70}{61710} = 0,146 \text{ m}^3/\text{persona} \cdot \text{día}$ , es decir 146 l/s por persona, cifra inferior a los 183 l/s que se consume de media en la Ciudad de Valencia, lo que nos expresa que el sector consume menos que la media valenciana.

La entrada que más volumen aporta es la de Islas canarias con una diferencia más que notable. Dicha entrada aporta más de la mitad del volumen total inyectado al sector, por lo que, para modelizar la red, interesa que esta entrada esté ajustada a la realidad lo máximo posible. Las otras entradas también, por supuesto, pero teniendo en cuenta la magnitud, ésta entrada es la más importante y protagonista.

A continuación, se representa la evolución de caudales medios hora a hora durante un día:

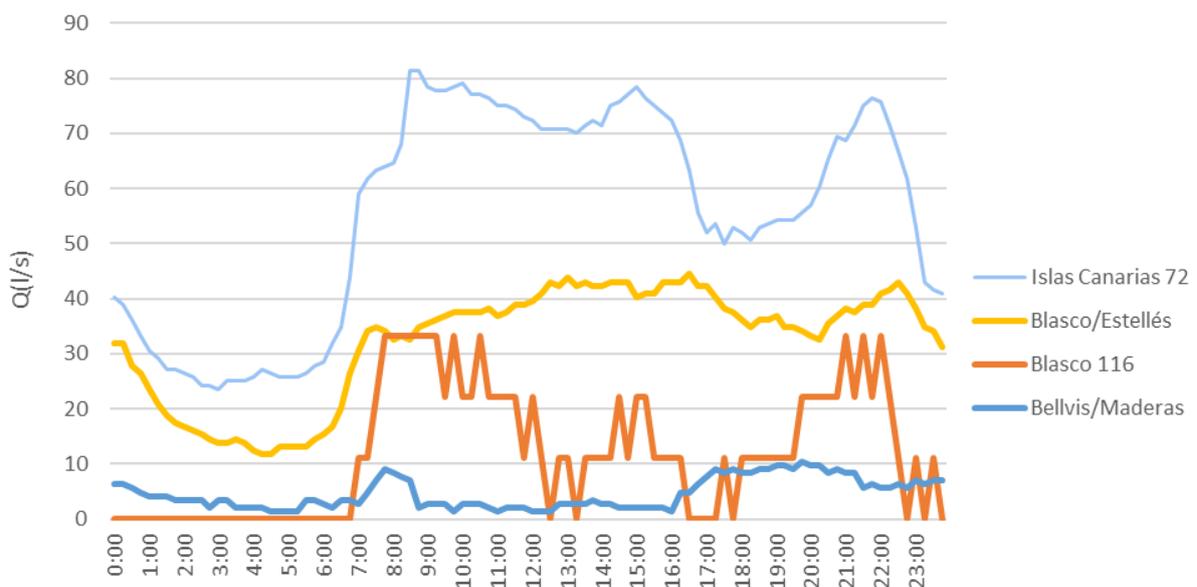


Figura 24. Caudal inyectado por las distintas entradas

A través de la gráfica mostrada se hace ver el papel que tiene cada entrada y variabilidad de consumo según la hora, esto es, la curva de modulación de cada entrada. Islas Canarias y Blasco/Estellés aportan las 24 horas del día más de un 84% del caudal total, mientras que Bellvis/Maderas tan sólo aporta un 4,6 % quedando un 11,4% aproximadamente para la entrada Blasco 116 que actúa intermitentemente en las horas en las que se necesita más caudal.

Tabla 12 Caudal inyectado por las distintas entradas

<i>Entrada</i>	<i>Media(l/s)</i>
<b><i>Islas Canarias</i></b>	55,61
<b><i>Blasco Ibáñez 116</i></b>	11,80
<b><i>Blasco Ibáñez/Estellés</i></b>	32,29
<b><i>Bellvis/Maderas</i></b>	4,62

## 2.5 Análisis de las presiones de entrada al sector

La presión en los puntos de entrada al sector es un parámetro fundamental, ya que, dependiendo de ésta, el correcto funcionamiento de la red será posible o no. Se necesita una presión en las estaciones, tal que todos los usuarios dispongan en su propiedad unos valores adecuados. No es admisible pues, proponer aumentar la presión en la entrada deliberadamente, pues esto generaría unas probabilidades de rotura de las tuberías arriesgadas además de un exceso de velocidad del agua en los grifos. Por otra parte, tampoco es admisible disponer de una baja presión, ya que esto conllevaría bajas presiones en las acometidas, lo que supondría que ciertos pisos carecerían de suficiente presión o incluso la ausencia de agua. Dicho, lo anterior la relevancia del papel que juega la presión queda más que demostrado y será reflejado en el modelo como merece. La empresa, ha proporcionado los valores de presión para cada punto por el que se introduce agua al sector cada 15 minutos.

Se ha convertido estas presiones cada 15 minutos en presiones cada hora, simplemente promediando las presiones a lo largo de una hora, quedando la siguiente curva:

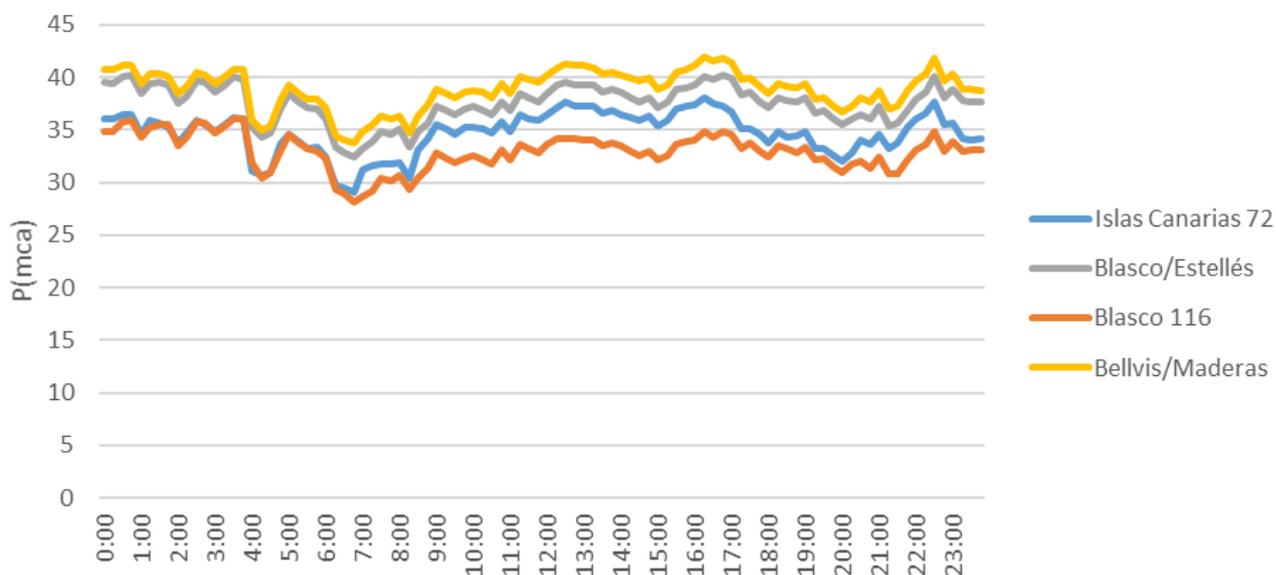


Figura 25. Presiones en las entradas

Con el fin de conocer los valores característicos exactos de las presiones en las distintas entradas se ha creado la siguiente tabla :

Tabla 13. Valores característicos de presiones en las entradas.

	Pmed (mca)	Pmáx (mca)	Pmín (mca)	Desviación (mca)
<b>Islas Canarias</b>	34,7	37,8	29,2	2,0
<b>Blasco/Estellés</b>	37,5	40,2	32,4	1,8
<b>Blasco 116</b>	32,9	36,1	28,1	1,7
<b>Bellvis/Maderas</b>	38,9	41,9	33,8	1,9

Las presiones de entrada máxima (41,9 mca) y mínima (29,2 mca) entran dentro del rango de presiones adecuado. De esta forma se evitan riesgos de rotura o deterioro de las tuberías por una parte y de insuficiencia de caudal por otra.

### 3 ELABORACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

#### 3.1 Introducción

El desarrollo del modelo matemático se va a llevar a cabo mediante el programa Epanet. Epanet es un programa informático que simula en periodo extendido el comportamiento hidráulico en redes de distribución a presión. Determina el caudal que circula por cada una de las tuberías y la presión en cada uno de los nudos de la red a partir de unos datos de partida. También es posible conocer la calidad del agua, pero en este trabajo no se abordará dicho tema. (Rossman)

La tarea inicial es obtener en el programa, la red dibujada con todos sus elementos bien posicionados geográficamente. Para ello a través de la aplicación GIS, se exporta a AutoCAD un archivo .dxf en el que se disponen de varias capas (tuberías, nombres de calles...) y con este archivo y la herramienta EpaCad se convierte a un formato manejable con Epanet. La empresa ha facilitado directamente la red dibujada directamente en Epanet, con las longitudes y de las tuberías y la posición de sus nudos (Figura 26).

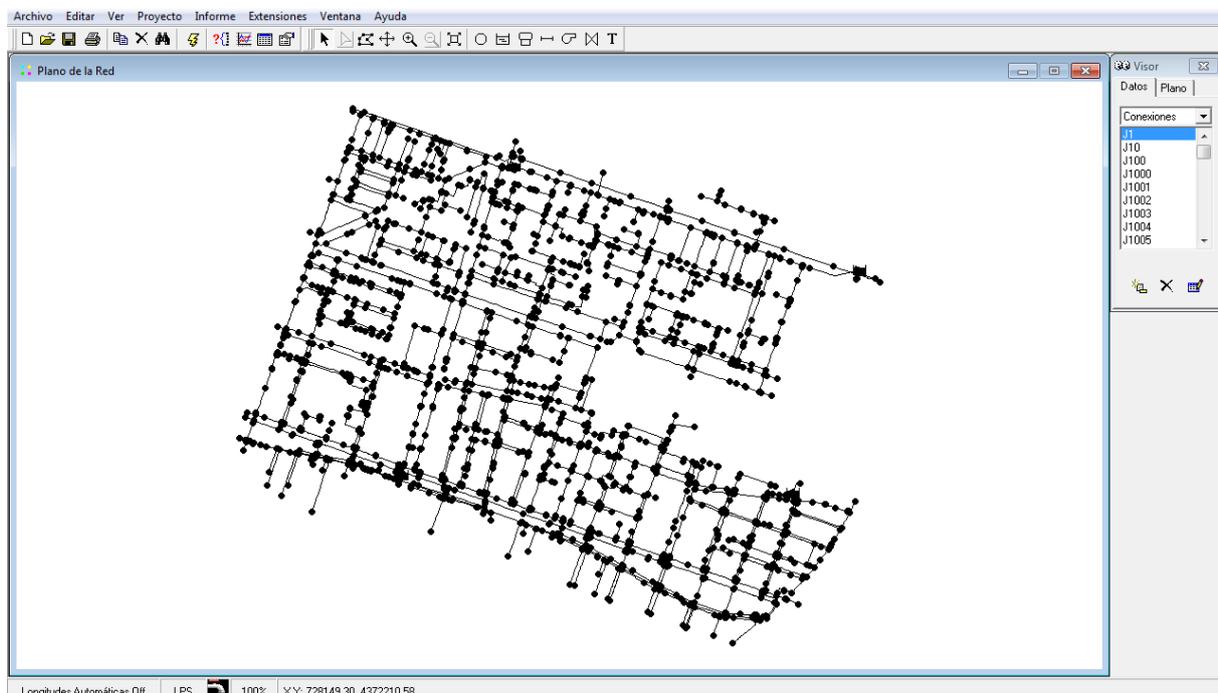


Figura 26. Red inicial en Epanet

### 3.2 Modelo de partida de la red en Epanet

Ahora ya se dispone de la red dibujada en Epanet, y ya se puede empezar a trabajar. Se ha comprobado que los diámetros y longitudes coinciden con los mostrados en GIS. Hay ciertas variables de la instalación que serán la base del modelo y no variarán a lo largo de los distintos escenarios. Éstas son, las cotas y los coeficientes de rugosidad.

### 3.3 Edición de las propiedades de los nudos

#### 3.3.1 Cota de los puntos de consumo

La energía hidráulica de un fluido en un punto de la red va a depender entre otras variables (velocidad y presión) de la altura o cota de dicho punto. Así pues, cuanto más altura tenga de más energía dispondrá según la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{V^2 \rho}{2} + P + \rho g z = cte$$

Donde:

- V es la velocidad del fluido en el punto de análisis.
- $\rho$  es la densidad del fluido (agua en nuestro caso).
- P es la presión del fluido en el punto de análisis.
- g es la aceleración de la gravedad.
- z es la cota, o altura geométrica respecto de un sistema de referencia (en nuestro caso el nivel del mar).

Por lo antes comentado, es más que predecible que dicho parámetro se necesita conocer para poder modelizar correctamente la red.

#### *Obtención de cotas a partir de Google Earth*

El documento de partida en GIS no cuenta con las elevaciones de los nudos, por ello, a partir de la herramienta "Google Earth" se han obtenido de manera aproximada las cotas de nuestro sector. Esto se ha hecho colocándose en cada punto del mapa y observando que elevación presenta.

En el caso de la figura se observa 6 m, por ejemplo.



Figura 27. Extracción cotas de Google Earth

#### Introducción de cotas en Epanet

A la vez que se recoge la información de cotas en Google Earth, se va introduciendo en Epanet. La introducción de las cotas se ha hecho seleccionando un grupo de nudos y asignándoles su cota respectiva. De esta forma, queda asignada la variable geométrica que faltaba.



Figura 28 Cotas en Epanet

### 3.4 Modelación de las entradas al sector

En Epanet para que pueda funcionar un modelo, obligatoriamente va a tener que haber una fuente de donde provenga el agua. Hay dos tipos de fuentes:

-Depósito: fuente con capacidad de almacenamiento limitada en el cual el volumen de agua almacenada varía con el tiempo.



*Figura 29. Depósito Epanet*

-Embalse: fuente externa de capacidad ilimitada en el que su altura no se ve afectada por lo que pueda ocurrir en la red. No obstante, se puede asociarle una curva de modulación para su altura.



*Figura 30 Embalse Epanet*

En el sector no se dispone de fuentes físicas como tal en las entradas, pues obviamente no se encuentran depósitos ni lagos en mitad de la ciudad, pero de alguna forma se ha de plasmar en Epanet dichas entradas, lo que se ha hecho a través de embalses.

La característica más importante de un embalse es la altura piezométrica. La altura piezométrica de un fluido no es más que la energía hidráulica que posee debido a su altura y presión sin contar con el factor velocidad:

$$h_p = h + p;$$

Donde:

- $h_p$ = altura piezométrica;

- $h$ =cota respecto del nivel del mar;

- $p$ = presión en el punto de estudio

Las alturas piezométricas de las entradas quedarán de la siguiente forma;

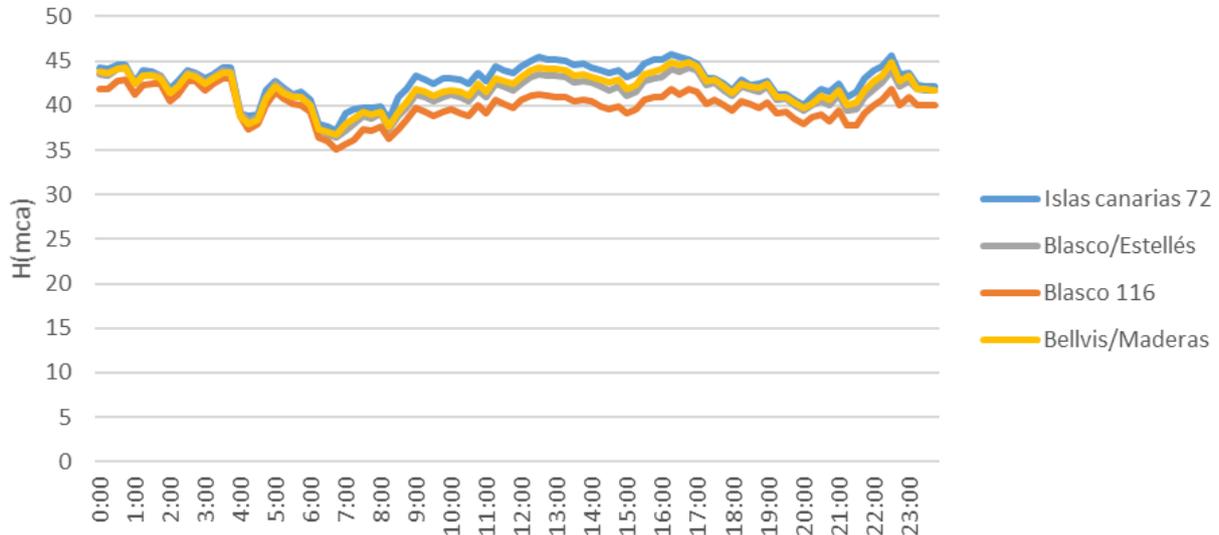


Figura 31. Alturas piezométricas en las entradas

La energía de la que dispone el fluido en las entradas oscila entre 36 y 42,7 mca aproximadamente. Se puede observar que en la entrada que más energía tiene el fluido es en la de Islas Canarias, que coincide con la que aporta un mayor caudal. Tiene sentido, pues cuanto más energía posee un fluido más capacidad de trasegar caudal tiene.

Tabla 14. Valores característicos de altura piezométrica en las entradas

	Hmed	Hmáx	Hmín	Desviación
<b>Islas Canarias</b>	42,69	45,80	37,20	1,96
<b>Blasco/Estellés</b>	41,52	44,20	36,40	1,84
<b>Blasco 116</b>	40,94	44,10	36,10	1,74
<b>Bellvis/Maderas</b>	41,90	44,90	36,80	1,90

Como se observa, las alturas tienen menor diferencia entre las entradas que las presiones. Esto es lógico pues al final, lo que realmente importa es la energía del fluido, esto es, metros de cota más metros de presión. En las cuatro tiene que ser relativamente parecida, porque en caso contrario, si una tuviera 30 mca, por ejemplo, no tendría ningún papel, esto es, no aportaría ningún caudal porque las otras tienen más energía.

Para agregar a nuestra red los embalses simplemente, por el nudo por el que entra agua al sector en la realidad, se agrega una tubería de longitud despreciable que una un embalse a dicho nudo. Hay que hacer notar un importante detalle. Se ha agregado una válvula de retención, para que sólo circule caudal en un sentido. Esto se ha hecho debido a que, según los datos de la empresa, por dichas tuberías sólo entra caudal y no sale, por lo que se ha decidido introducir dichas válvulas.

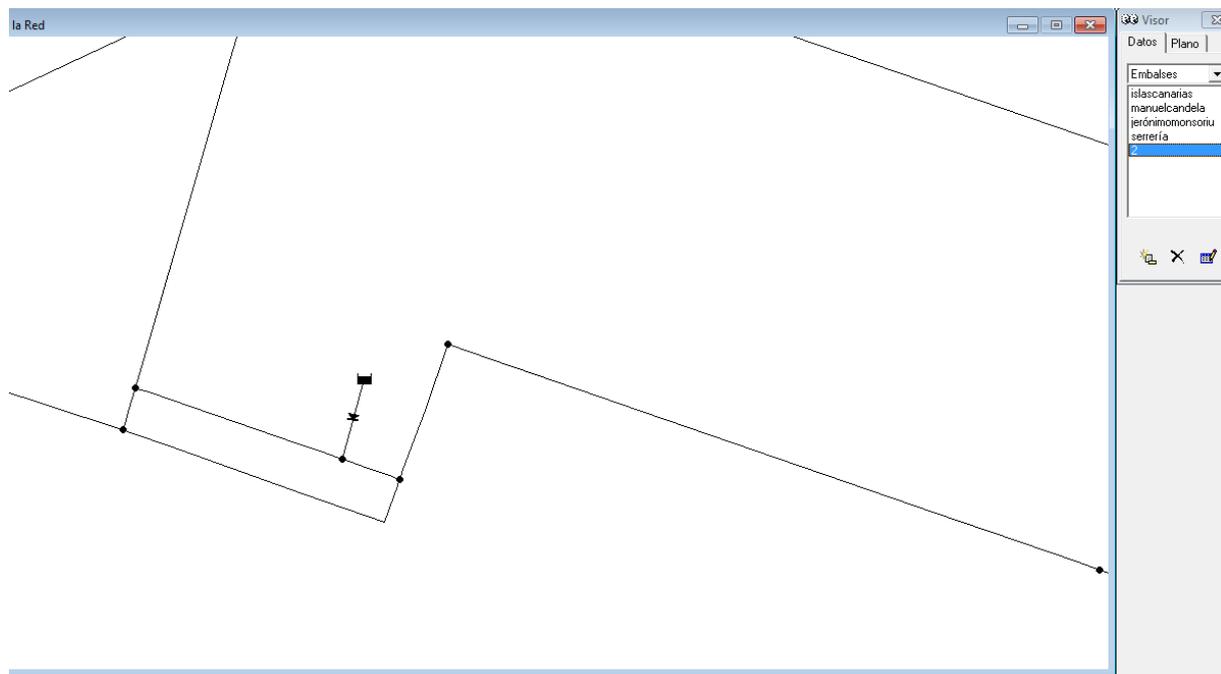


Figura 32. Conexión del embalse a la red.

### 3.5 Edición de las propiedades de las tuberías

#### 3.5.1 Rugosidad de las tuberías

La rugosidad es un parámetro que afecta a las tuberías para el cálculo hidráulico, pues dependiendo de ésta, el caudal trasegado será mayor o menor en base a la fórmula para el cálculo de pérdidas de carga según Hazen Williams. (Wikipedia, 2017)

$$Q=0,2785*C*D_i^{2,63} *S^{0,54}$$

Donde:

- $C$ =coeficiente que depende de la rugosidad del tubo

- $D_i$ =diámetro interior de la tubería
- $S$ =Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto (m/m)

A partir de la aplicación GIS, se ha observado en el mapa el material y la edad de cada tubería clicando en cada una de ellas. En Epanet se ha ido cambiando la etiqueta de cada tubería en “propiedades”. Después mediante el editor de propiedades de un grupo de elementos, se ha seleccionado todo y se ha ido asignando las rugosidades según la siguiente tabla:

Tabla 15. Rugosidades de los materiales

MATERIAL	COEFICIENTE HAZEN-WILLIAMS (C)
Fibro cemento	135
Polietileno	150
Hormigón	130
Fundición gris (40 años)	70
Fundición dúctil	
(<5 AÑOS)	120
(5-20)	110
(20-40)	95
Acero	132
Plomo	136

A la vista de la tabla, se observa que la fundición gris es aquella que va a generar unas pérdidas mayores. Poco a poco se han ido instalando tuberías de otros materiales con menor factor de fricción que optimizan la circulación de agua por la red.

Tal como se comprobará más adelante, los resultados obtenidos con la ecuación propuesta por Hazen Williams para la estimación de las pérdidas de carga, son similares a los que se obtendrían con Darcy Weisbach, para una rugosidad de 0.1 mm (valor comúnmente utilizado para la simulación de redes de suministro de agua a presión).

Diámetros de las tuberías

Como se ha comentado anteriormente, el modelo de trabajo en EPANET ya cuenta con los diámetros de las diferentes tuberías de la red. En cualquier caso, se han revisado que todos los valores son adecuados.

En la imagen que se presenta a continuación se puede observar qué distribución de diámetros tiene la red:



Figura 33. Diámetros de las tuberías

Se puede observar como las tuberías más grandes recorren las grandes avenidas de Blasco Ibáñez y la Avenida del Puerto, habiendo también de grandes diámetros repartidas bastante uniformemente por medio de las dos avenidas. El resto son tuberías de menor diámetro que discurren por calles de no tan gran tamaño.

### 3.6 Carga hidráulica del modelo

Ya se tienen todos los datos básicos necesarios comunes a los diversos escenarios que se plantearán más adelante, para poder empezar a trabajar en Epanet. A los datos introducidos en el punto 5 (cotas y rugosidades) hay que añadirle ahora el patrón de consumo global y la manera demanda base de cada nudo.

#### 3.6.1 Demandas base

La demanda base es el caudal que se necesita en cierto nudo a cierta hora. Para aumentar la precisión del modelo se podría observar en cada acometida qué caudal circula horariamente a través de la lectura de los contadores de los abonados. Lamentablemente, de esta información no se dispone ya que sólo se tiene información horaria de 500 abonados, cifra muy pequeña comparada con los aproximadamente 30.000 abonados que hay en el sector. Por lo tanto, lo que se pretende es de alguna forma, estimar esa demanda a partir de ciertas suposiciones y ver cuál de ellas ajusta más el modelo a la realidad.

Como más tarde se verá, se plantearán 4 escenarios distintos en los que la demanda base será estimada de diferentes formas.

#### 3.6.2 Patrones temporales de consumo

Como se ha visto anteriormente en la Figura 24Figura 28 el caudal total inyectado al sector va cambiando a lo largo del día. Es de notable importancia tener en cuenta este hecho, pues el caudal por una tubería o la presión (variable de máxima importancia debido a que puede afectar al estado y deterioro de las tuberías) van a ser distintas según la hora en la que se mire. Por lo tanto, de alguna forma se ha de reflejar esta variable (el tiempo) en nuestro modelo.

Para modelizar en Epanet el transcurso del tiempo durante un periodo determinado se asigna un patrón de consumo en el cual se refleja las distintas demandas hora a hora. Para determinar dicho patrón compararemos dos procedimientos distintos. En ambos procedimientos se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$CHi = \frac{Qi}{Qmed}$$

*Procedimiento 1. A través de los registros de los contadores de los abonados.*

Se dispone de la lectura de los caudales horariamente de 500 abonados, a partir de los cuales se puede extraer un patrón de consumo haciendo uso de la fórmula antes vista donde:

- $CH_i$  es el coeficiente horario de la hora “i”.
- $Q_i$  es la suma de los caudales de los 500 abonados en la hora “i”.
- $Q_{med}$  es el caudal medio obtenido haciendo el promedio de la suma de los caudales de los 500 abonados hora a hora.

*Procedimiento 2. A través de los registros de los contadores del sector.*

Como se dispone de los caudales trasegados por las distintas entradas, y por lo tanto del sector entero, se procede a calcular el patrón de consumo a partir de dichos datos y utilizando la fórmula antes vista donde:

- $CH_i$  es el coeficiente horario de la hora i.
- $Q_i$  es el caudal inyectado al sector en la hora i.
- $Q_{med}$  es el caudal medio inyectado al sector

El resultado es el siguiente:

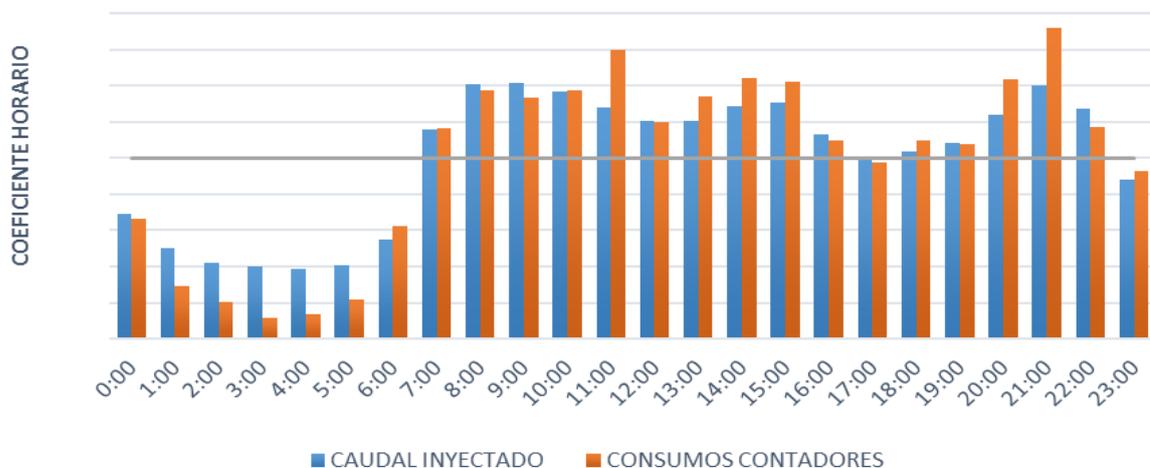


Figura 34. Patrón de consumo

Como puede observarse, los factores de modulación de las dos series anteriores son muy similares en las horas diurnas, mientras que durante las horas nocturnas los factores correspondientes al caudal inyectado son mayores. Esto es debido principalmente a que un porcentaje considerable de dicho caudal se debe a pérdidas en la red y por tanto no está registrado en los contadores de los usuarios. Como las pérdidas no registradas hay que tenerlas en cuenta en el modelo, pues al fin y al cabo no deja de ser agua que circula por la red y que ejerce presión en las tuberías, se opta por escoger el procedimiento 2.

### *Patrón de consumo en Epanet*

En Epanet se dispone de la opción de crear patrones. Dicha opción se encuentra dentro del visor-patrones-agregar patrón. De esta forma con los coeficientes obtenidos anteriormente, podremos representarlo en Epanet a través de la curva de modulación horaria. En la imagen siguiente se muestra, cómo se ha hecho.

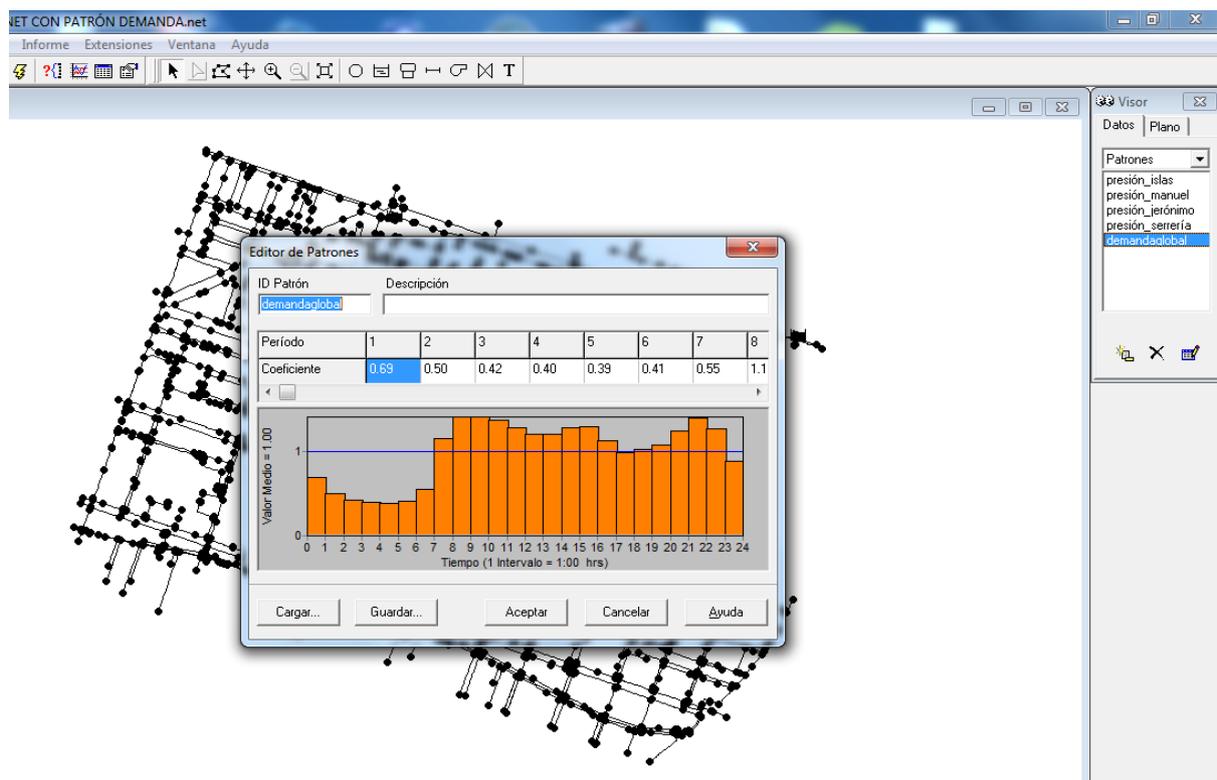


Figura 35. Patrón de consumo en Epanet

Ahora nuestro modelo ya tiene en cuenta que a cada hora existen unos caudales circulando por las entradas distintos, lo cual es de real importancia.

### 3.7 Calibración del modelo en distintos escenarios planteados

Una vez ya se ha introducido en Epanet los datos que serán la base de nuestro modelo se procede a plantear distintos escenarios. Se van a crear distintos escenarios en Epanet, cada uno de los cuales dispondrá de una distinción respecto a los demás. La variable que irá siendo modificada, será la demanda de los usuarios. El hecho de que una parte del sector demande más caudal, adquiere importancia, ya que la heterogeneidad de las demandas provocará también una distribución heterogénea de presiones.

La manera de dar por válido un escenario será mediante la comparación de los caudales de entrada al sector en el modelo con los caudales de entrada reales. Dicho esto, el objetivo es acercar lo máximo la curva de caudal de cada entrada a la curva real.

#### 3.7.1 Escenario 1

En el primer escenario se va a suponer que la demanda base de cada nudo es igual en todos. Esto en la realidad no es así, pues habrá zonas donde haya más densidad de población (edificios más altos) o simplemente, mayor consumo. Por lo que, En Epanet se ha seleccionado toda la red y para todos los nudos se ha asignado un caudal que viene dado mediante la siguiente fórmula:

- $Q_{nudo} = Q_{iny}/N$

Donde:

- $Q_{nudo}$  es el caudal que hay que asignar a cada nudo en (l/s)
- $Q_{iny}$  es el caudal total que entra al sector en (l/s)
- N es número total de nudos existentes en la red

En nuestra red se puede conocer fácilmente el número de nudos existentes que hay, simplemente haciendo uso de la herramienta "consulta". Se consulta el número de nudos con cota menor que 10000 por ejemplo (ahí estarán incluidos todos los nudos obviamente ya que

ningún nudo supera los 10 m apenas) y con eso se obtiene el número de nudos total en nuestra red.

Epanet encuentra 2367 nudos de los cuales hay que descontar los embalses (4), luego hay 2364. De esta forma ya se puede calcular el caudal a asignar a cada nudo.

$$Q_{nudo} = \frac{104,34}{2363} = 0,044137 \text{ (l/s)}$$

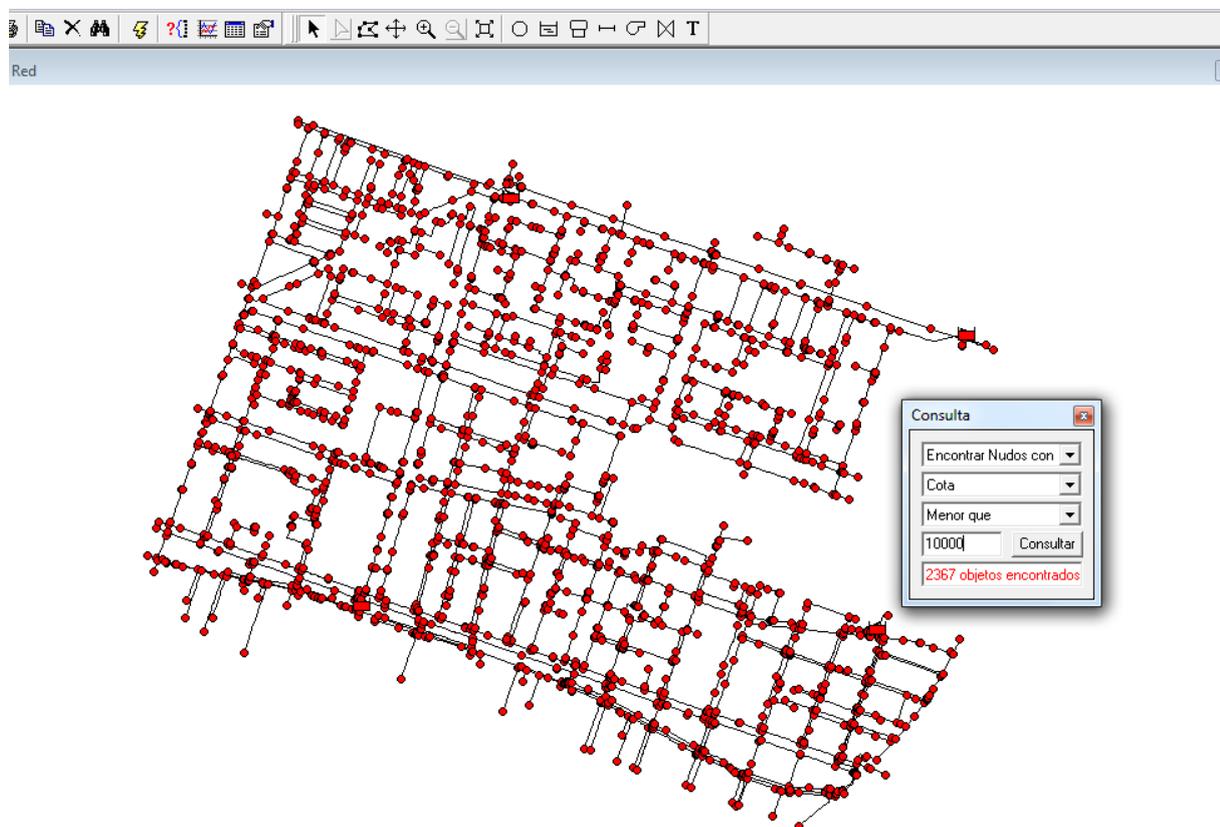


Figura 36. Obtención número de nudos en la red

Una vez obtenidas las demandas base que le corresponden a cada nudo en este escenario planteado, simplemente hay que asignárselas. Cabe decir, que el escenario planteado, es el más sencillo y directo y que no se espera grandes resultados, pero nos servirá para conocer mejor la red y comprobar que funciona correctamente.

A través de la herramienta edición de nudos, seleccionando todo el sector, se modifica fácil y directamente las demandas de todos los nudos sin tener que ir asignándoselo uno a uno. En la imagen de la página siguiente se muestra el proceso seguido para dicha asignación.

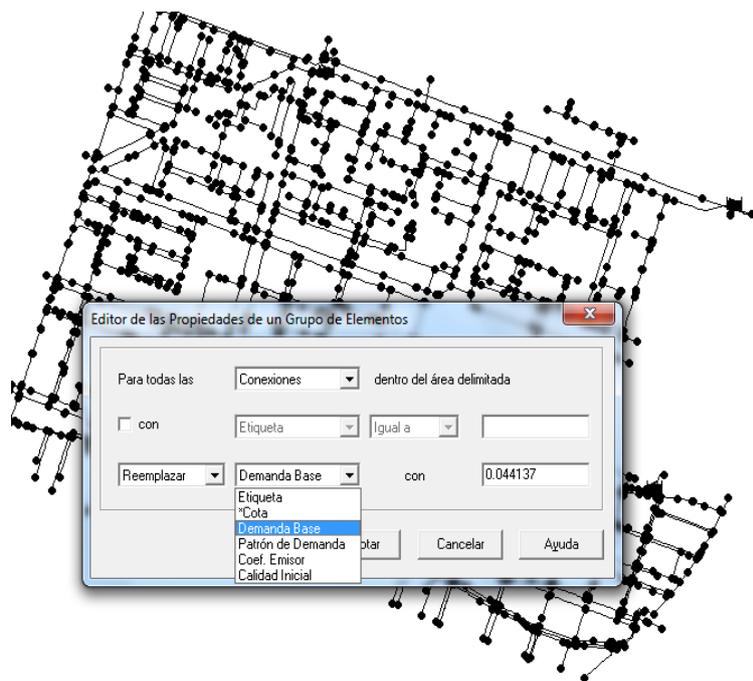


Figura 37. Asignación demanda base

Una vez asignado las demandas a cada nodo procedemos a calcular el modelo hidráulico, obteniéndose los resultados presentados a continuación.

Islas canarias 72

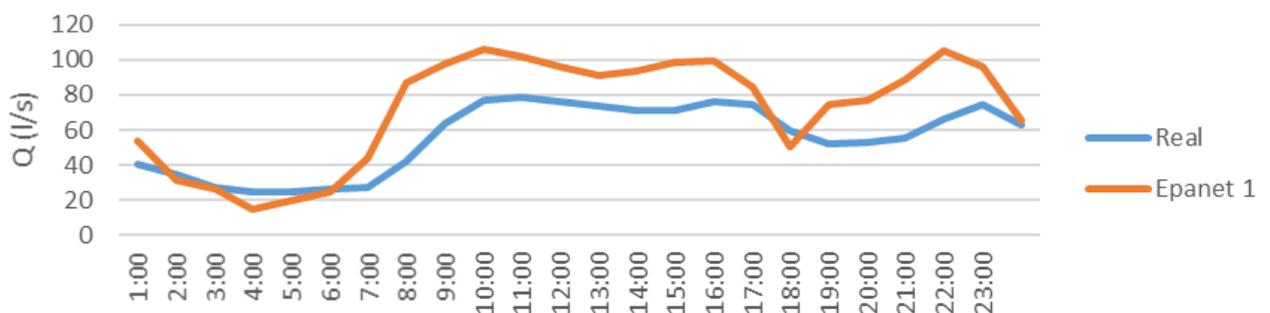


Figura 38. Comparación caudales modelo real vs simulación e1 (Islas Canarias)

Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés

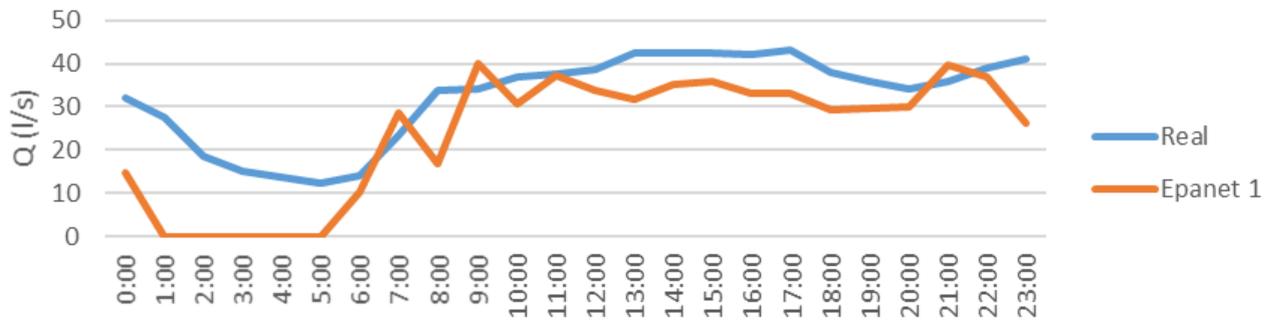


Figura 39. Comparación caudales modelo real vs simulación e1 (Blasco/Estellés)

Blasco Ibáñez 116

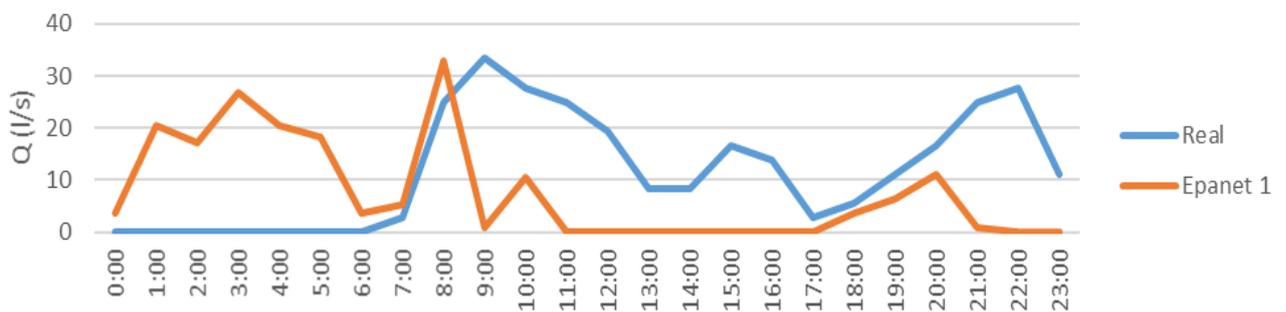


Figura 40. Comparación caudales de entrada modelo real vs simulación e1 (Blasco 116)

Bellvis cruce con Maderas

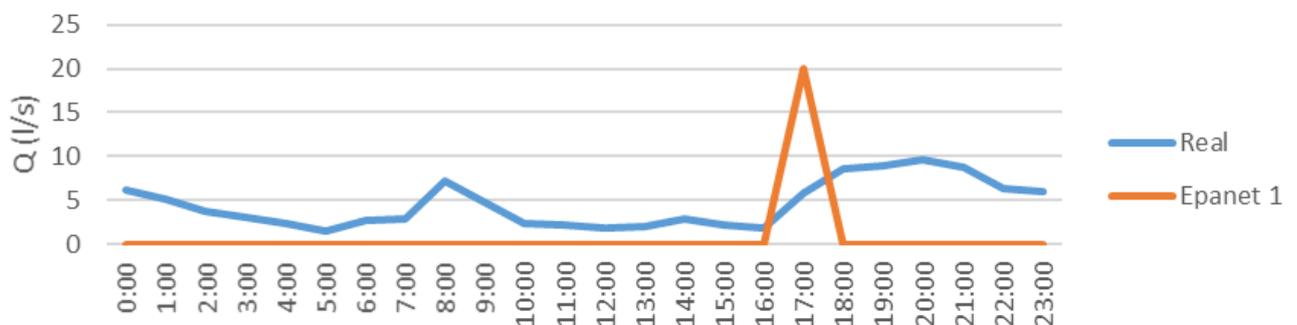


Figura 41. Comparación caudales de entrada modelo real vs simulación e1

Para comprobar la validez de cada escenario, es necesario conocer numéricamente el porcentaje de error que existe entre el modelo Epanet y el real. Para ello, se hará uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Error entrada}(h) = \frac{Q_{\text{epanet}}(h) - Q_{\text{real}}(h)}{Q_{\text{real}}(h)} * 100$$

Donde:

- Error entrada (h): error en tanto por cien producido a la hora "h" para la entrada que se desee.
- $Q_{\text{epanet}}(h)$ : caudal en (l/s) inyectado en Epanet por la entrada que se desee a la hora (h).
- $Q_{\text{real}}(h)$ : caudal inyectado en la realidad por la entrada que se desee a la hora "h".

Si se hace el promedio de los errores de cada entrada se tiene el error medio de cada entrada, y con esto se puede calcular el error total del sector a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Error modelo} = \frac{\sum Q_i * \text{Error entrada } i}{Q_{\text{real total}}} * 100$$

Donde:

- Error modelo: es el error que existe entre el modelo en Epanet y la realidad.
- $Q_i$ : es el caudal medio inyectado por la entrada "i". En total hay 4 entradas.
- Error entrada i: es el error calculad previamente de la entrada "i".
- $Q_{\text{real total}}$ : es el caudal total real inyectado al sector. En nuestro caso 104,34 l/s.

Con las fórmulas descritas se irá calculando el error para cada escenario. Aquél que presente un error menor será el elegido como válido. A continuación, se calcula el error para el escenario 1, obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 16. Error en el modelo 1

Entrada	Error(%)
Islas Canarias	34,1
Blasco/Estellés	37,95
Blasco 116	489,32
Bellvis/Maderas	105,80
<b>TOTAL</b>	<b>91</b>

Como se puede observar, las diferencias entre los caudales inyectados por cada entrada son notorias del modelo en EPANET respecto del real. Como antes se ha comentado, esto puede ser debido a la distribución heterogénea de demandas de cada nudo de la red o a otros factores.

Para intentar mejorar el resultado se procede a plantear nuevos escenarios.

### 3.7.2 Escenario 2

El siguiente escenario que se va a mostrar, en vez de repartir equitativamente la demanda base entre todos los nudos de la red, reparte ésta según la longitud de la tubería conectada a cada nudo. La red dispone de 53 km de tubería, y para el día de estudio inyecta un caudal medio de 104,34 l/s. Por lo tanto en este escenario se ha supuesto que a cada metro de tubería le corresponde un caudal medio de  $\frac{104,34 \text{ l/s}}{53000} = 0,0019 \frac{\text{l}}{\text{s}\cdot\text{m}}$ . Entonces, una vez obtenido este caudal, a través de una tabla de Excel, se ha obtenido la demanda base que le corresponde a cada nudo simplemente dividiendo el caudal que le corresponde a la tubería entre los dos nodos extremos de dicha tubería.



Figura 42. Tubería de ejemplo

Por ejemplo, para la tubería mostrada de 1000 m le correspondería un caudal de  $Q = 0,0019 \frac{l}{s \cdot m} \cdot 1000 = 1,9 \frac{l}{s}$ . Por lo tanto siguiendo el método a cada nudo le corresponde una demanda base de  $\frac{1,9}{2}$  l/s, creando así una correlación entre la longitud de tubería y el caudal de los nudos extremos de dicha tubería.

Introduciendo los datos en EPANET se obtiene un modelo en el que las tuberías de entrada de cada estación de sectorización trasiegan los siguientes caudales:

Islas Canarias 72 (2)

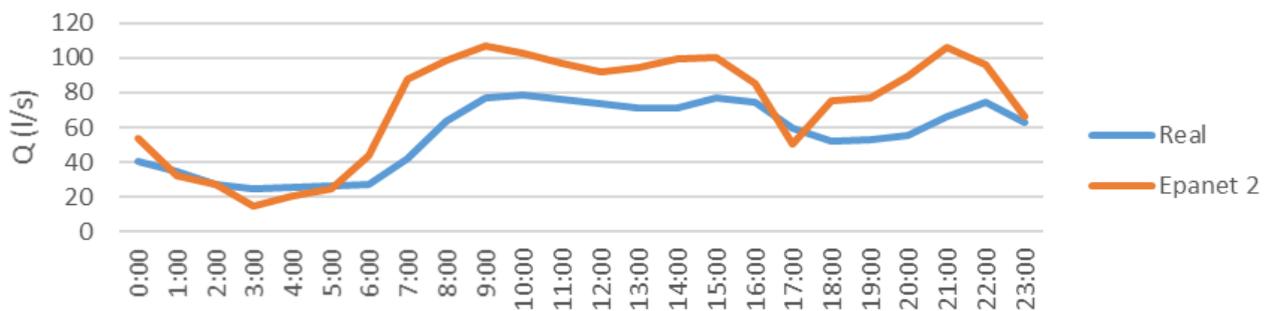


Figura 43. Comparación caudales modelo real vs simulación e2 (Islas Canarias)

Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés (2)

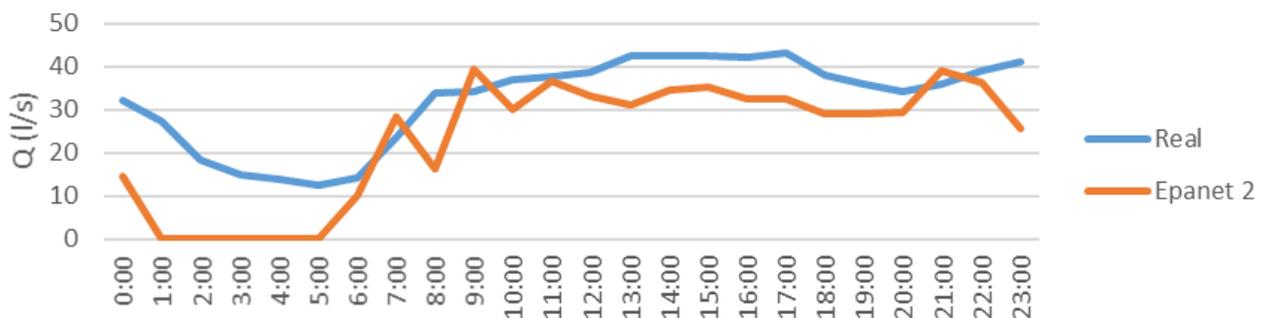


Figura 44. Comparación caudales modelo real vs simulación e2 (Blasco/Estellés)

Blasco Ibáñez 116 (2)

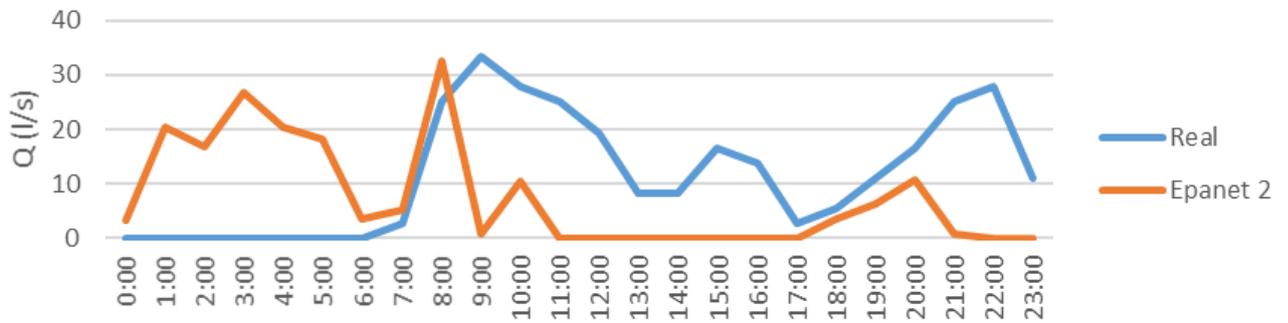


Figura 45. Comparación caudales modelo real vs simulación e2 (Blasco 116)

Bellvis/Maderas

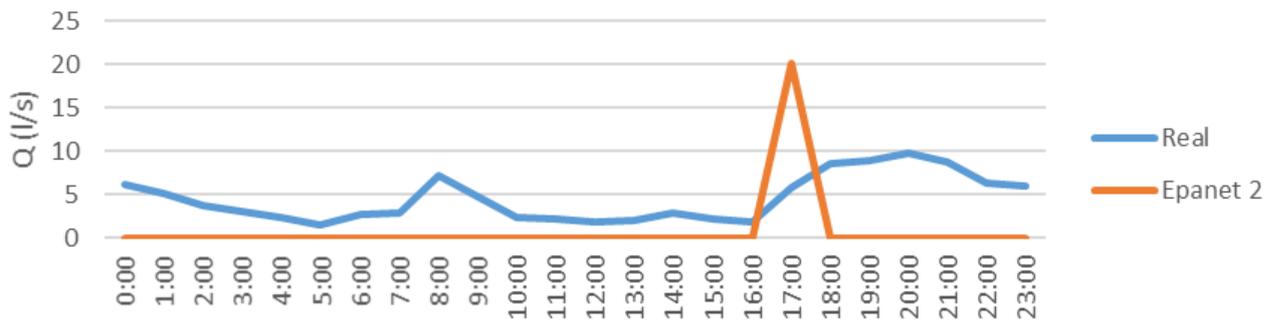


Figura 46. Comparación caudales de modelo real vs simulación e2. (Bellvis/Maderas)



Se calcula el error tal como muestra la siguiente tabla:

Tabla 17. Error en el modelo 2.

Entrada	Error(%)
Islas Canarias	34,76
Blasco/Estellés	38,65
Blasco 116	484,89
Bellvis/Maderas	105,89
<b>TOTAL</b>	<b>91,12</b>

Este segundo escenario, muestra que las diferencias respecto al primero (repartir equitativamente entre los nudos el caudal inyectado) son inapreciables. Se sigue con un error entorno al 90%, que es más que elevado. La conclusión que se extrae pues, es que la longitud de tubería, está mínimamente relacionada con las demandas de sus nodos conectados. Se sigue sin ver un resultado aproximado, por lo que se va a plantear un nuevo escenario.

### 3.7.3 Escenario 3

Observando el escenario 1 y 2 se puede apreciar claramente que hasta las 6:00, el caudal por la entrada de Blasco 116 es nulo en la realidad mientras que en Epanet se introduce un caudal considerable. Por otra parte, en la entrada Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés ocurre todo lo contrario. En la realidad existe un caudal que en Epanet no se refleja.

Es bien sabido, además de comprobado en Epanet, que, al aumentar la presión en una entrada, dicha entrada toma un papel más representativo si se habla de caudal. A la vista del análisis recién comentado, y tras diversas iteraciones se ha comprobado que al bajar la presión de la entrada de Blasco 116 durante esas horas (0:00-6:00) se han acercado durante ese periodo las gráficas en ambas entradas (Blasco 116 y Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés), sobre todo en Blasco 116, pues coinciden en su nulidad. Esto se ha hecho a través de la curva de modulación de presiones del embalse que tiene como entrada. Se ha bajado el coeficiente para conseguir el efecto deseado. Puede pensarse que hacer estos cambios, no es del todo correcto, pero si se piensa, realmente se está modificando la presión unas décimas de mca, cantidad admisible si se tiene en cuenta la posible existencia de un error de lectura.

Dicho esto, y partiendo de los cambios realizados en la curva de modulación de presiones como mejora al escenario en el que se repartía la demanda de cada nudo según la longitud de las tuberías colindantes, se ha modificado la variable longitud, por volumen de tubería, que es realmente más representativo si es un caudal lo que se quiere obtener. Lógico es, ya que el caudal de una tubería de mayor longitud que otra no tiene por qué ser mayor si el diámetro de la segunda es mayor.

La solución obtenida se muestra a continuación:

Islas Canarias (3)

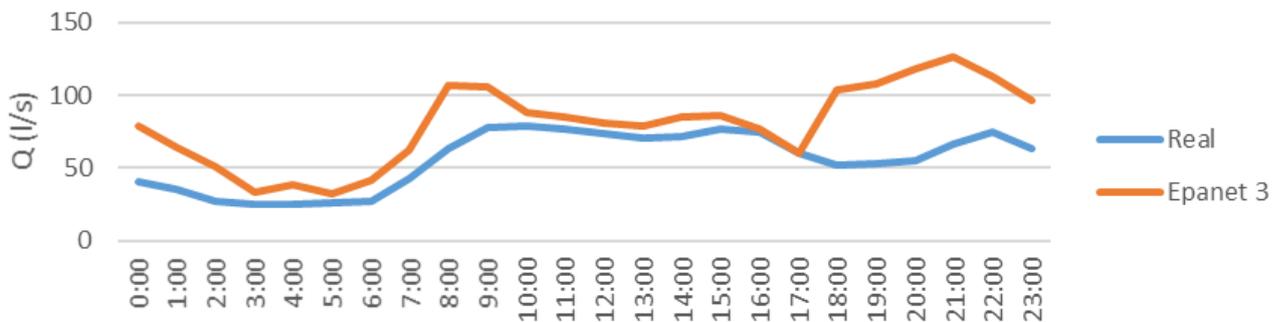


Figura 47. Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Islas Canarias)

Blasco Ibáñez cruce con Manuel Estellés(3)

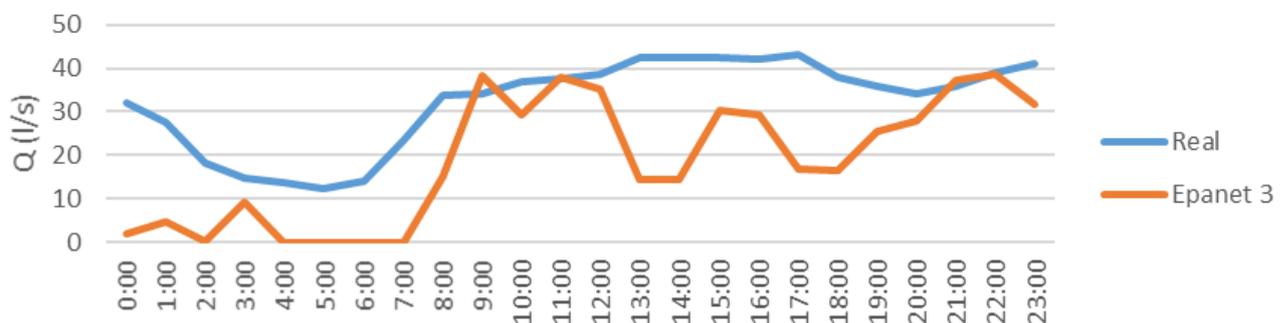


Figura 48. Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Blasco/Estellés)

Blasco Ibáñez 116

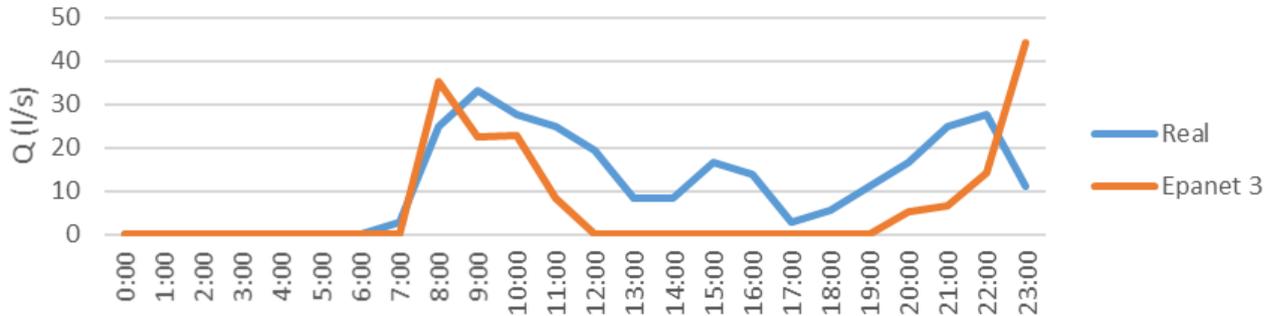


Figura 49. Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Blasco 116)

Bellvis cruce con Maderas

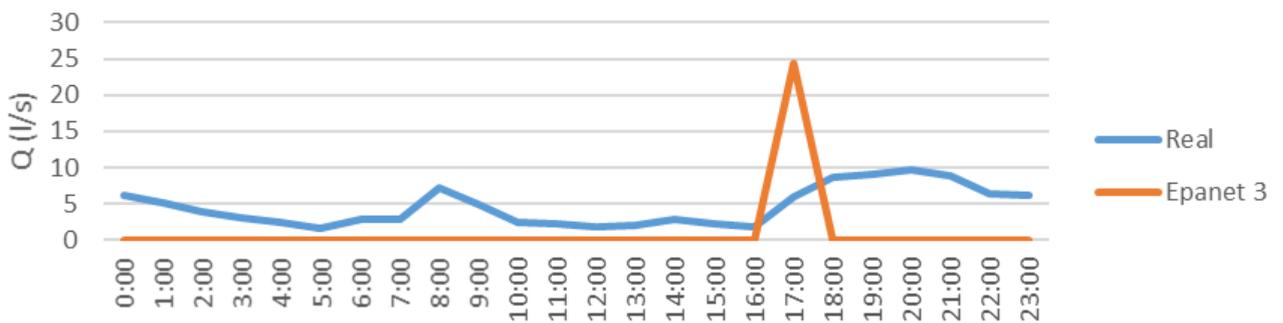


Figura 50. Comparación caudales modelo real vs simulación e3(Bellvis/Maderas)

Tabla 18. Error en el modelo 3

Entrada	Error (%)
Islas Canarias	48,64
Blasco/Estellés	49,75
Blasco 116	60,28
Bellvis/Maderas	108,82
<b>TOTAL</b>	<b>53,02</b>

La introducción de los cambios antes descritos ha hecho lograr una mejora muy apreciable. Se ha conseguido pasar de un 91% de error a un 50%. Por lo tanto, ha habido una mejora del 40% gracias a la modificación de las presiones a determinadas horas y de la nueva demanda base de los nudos atendiendo al diámetro de tuberías. No obstante, se desea cometer un error menor ya que un 50% de error no es un buen resultado.

#### 3.7.4 Escenario 4

Si el escenario 3 era una mejora del escenario 2, éste lo es del escenario 1. El caudal inyectado por una entrada va a depender básicamente de dos variables. Por una parte, de la presión que exista en dicha entrada y por otra, la demanda base en sus proximidades. Así pues, cuanto más demanda haya a su alrededor más caudal inyectará.

Por lo tanto, lo que se ha planteado en este escenario es dividir el sector en 4 zonas (una por cada entrada/embalse) para así, en vez de distribuir heterogéneamente la demanda base, distribuirla en función de la zona. A continuación, se muestra la división que se ha realizado.



Figura 51. División de la red en 4 zonas.

Cada zona tiene un consumo distinto en función del número de abonados (que dependerá de la densidad de edificios y de la altura de éstos) y del consumo de éstos. Por lo que se ha hallado el consumo total de cada zona y con el número de nudos se ha obtenido el caudal medio de cada nodo de su respectiva zona. De esta forma tenemos mejor repartida la demanda de cada nodo.

Introduciendo los datos en EPANET, se obtienen los siguientes resultados:

Islas canarias (4)

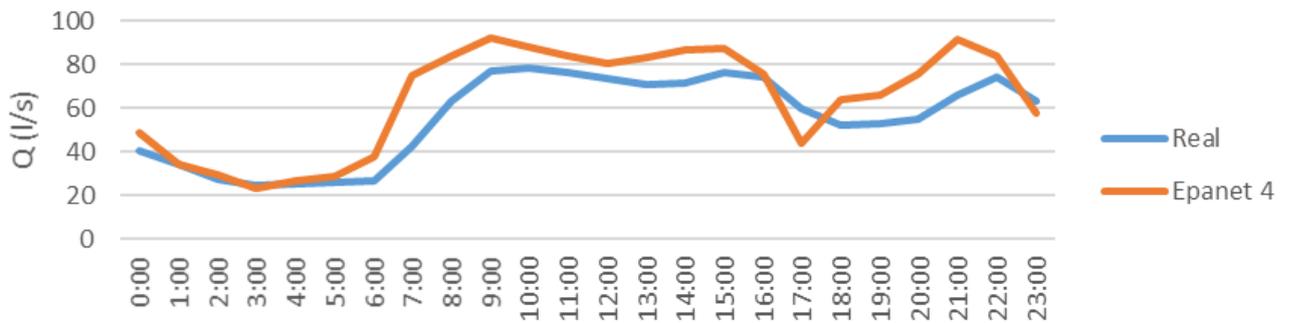


Figura 52. Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Islas Canarias)

Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés (4)

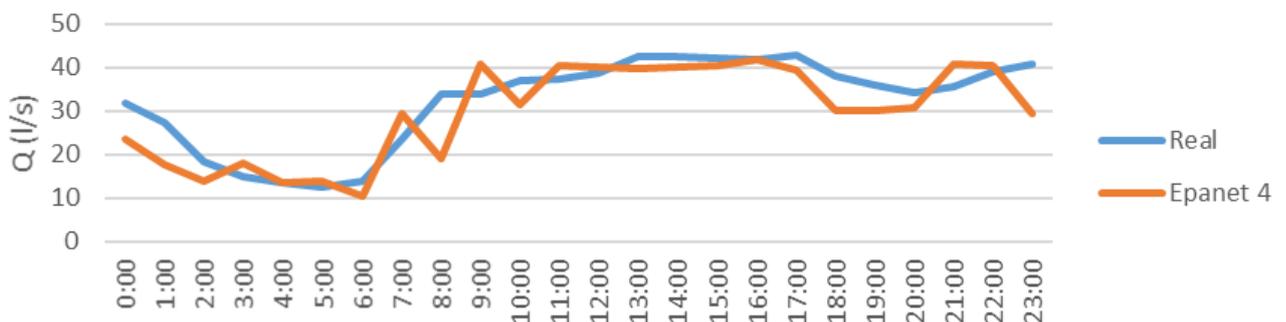


Figura 53. Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Blasco/Estellés)

Blasco Ibáñez 116 (4)

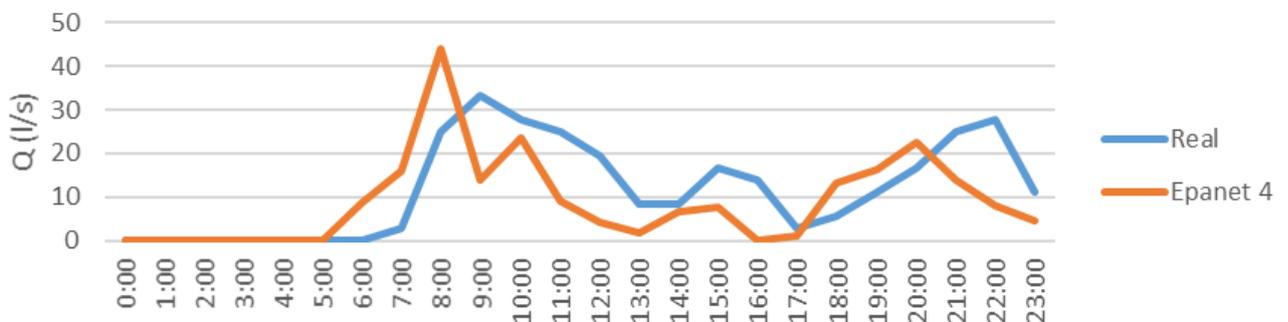


Figura 54. Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Blasco 116)

Bellvis cruce con Maderas (4)

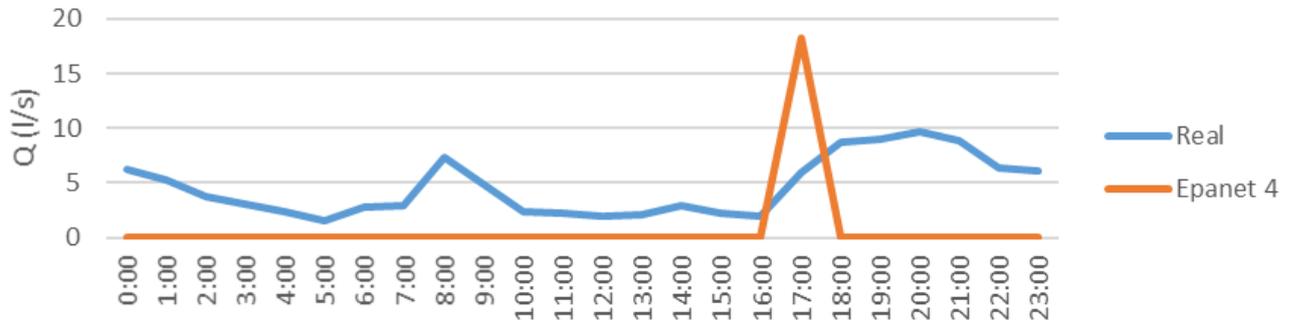


Figura 55. Comparación caudales modelo real vs simulación e4(Bellvis/Maderas)

Aquí ya se observa una similitud de las gráficas más apreciable. Veámoslo a través del cálculo del error nuevamente.

Tabla 19. Error en el modelo 4

Entrada	Error (%)
Islas Canarias	20,04
Blasco/Estellés	15,76
Blasco 116	61,10
Bellvis/Maderas	-
<b>TOTAL</b>	<b>27,10</b>

Con la modificación de las demandas y de la curva de modulación de la entrada Blasco 116 se ha obtenido un error del 27 % un valor que dista indudablemente del 91% que se obtenía al principio. Como se puede observar las entradas con mayor error son Blasco 116 y Bellvis/Maderas que a su vez son las que menos caudal inyectan, por lo que, por cada unidad de error, aportan menos error global. Por lo tanto, se va a escoger este escenario, como definitivo.

Se podría afinar un poco más el resultado, pero la dificultad y la cantidad de tiempo que conllevaría descartan dicha opción. El hecho de que haya 4 entradas aumenta exponencialmente la cantidad de variables de las que depende el modelo otorgándole de esta manera una gran complejidad.

### 3.8 Comparación de procedimientos para la estimación de pérdidas

En Epanet es posible estimar las pérdidas de carga a partir la ecuación de Hazen-Williams o de Darcy-Weisbach. Para la ecuación de Darcy-Weisbach es usual trabajar con un coeficiente de rugosidad 0,1 mm. No obstante, en el modelo se han utilizado los coeficientes de Hazen-Williams para los diferentes materiales indicados en la Tabla 15. A continuación, se realiza una comparación de los resultados de simulación a partir de los dos procedimientos. Como se comentó anteriormente, el cambio que supone escoger una ecuación u otra para la estimación de las pérdidas de carga en tuberías no es significativo.

#### Entrada Islas Canarias

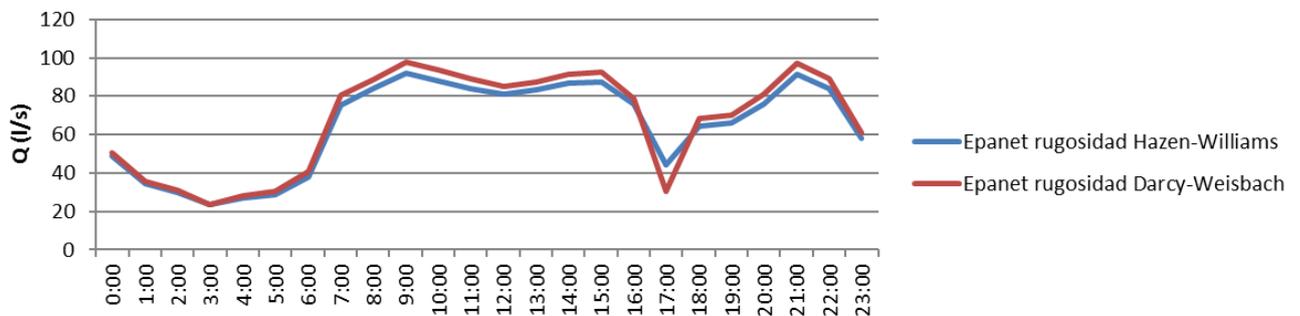


Figura 56. Comparación Hazen-Williamas/Darcy-Weisbach (Islas Canarias)

#### Entrada Blasco Ibáñez cruce con Manuela Estellés

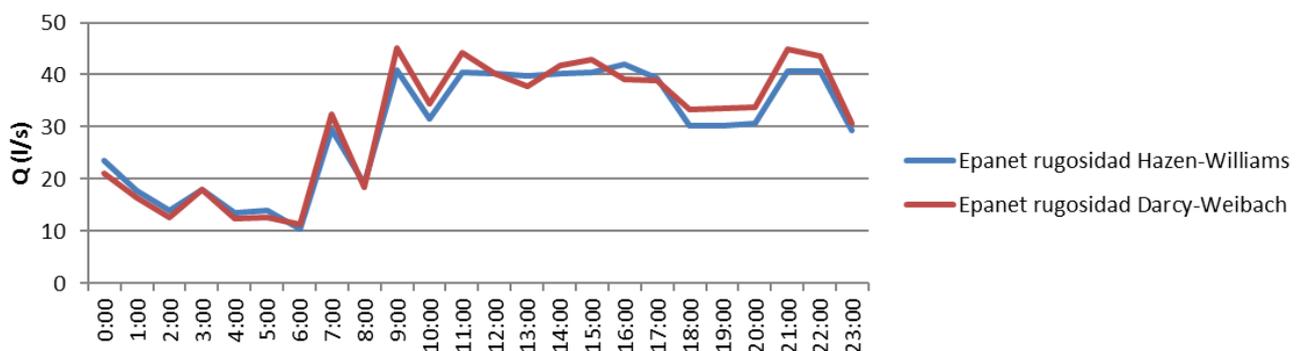


Figura 57. Comparación Hazen-Williamas/Darcy-Weisbach (Blasco/Estellés)

Entrada Blasco Ibáñez 116

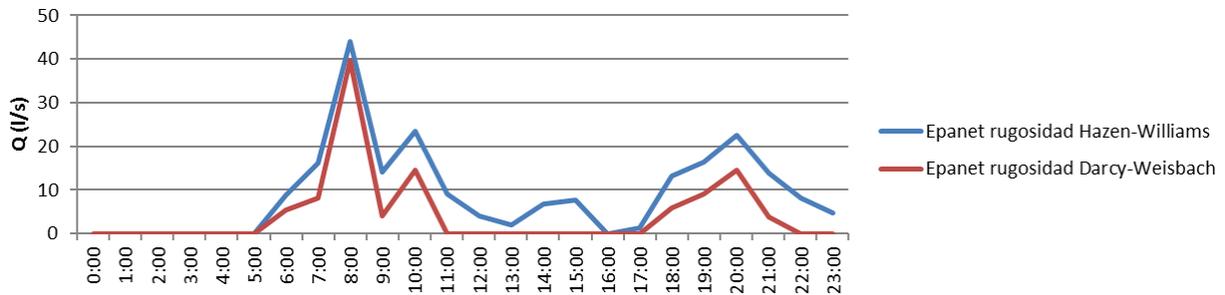


Figura 58. Comparación Hazen-Williams/Darcy-Weisbach (Blasco 116)

Entrada Bellvis cruce con Maderas

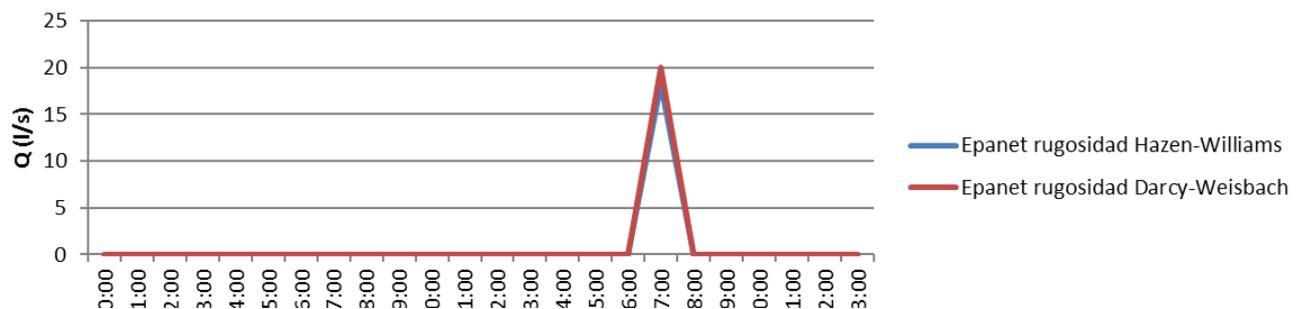


Figura 59. Comparación Hazen-Williams/Darcy-Weisbach (Bellvis/Maderas)

Como se observa, es bastante similar el funcionamiento escogiendo una opción u otra. Con todo esto se ha elegido mantener el modelo con las rugosidades de Hazen-Williams, dada la reducida diferencia entre ambos procedimientos.

## 4 ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED

Con el fin de comprobar que la red de distribución de agua funciona correctamente y de ver qué posibles cambios podrían sugerirse, se va a realizar un estudio de varios parámetros: presión, velocidad del agua y pendiente hidráulica.

### 4.1 Presiones en los puntos de consumo

Una presión muy baja en los nudos impide que el agua llegue a los usuarios adecuadamente, esto es, con poca velocidad o directamente sin suministro. Una presión elevada propicia riesgo de deterioro de las tuberías e incomodidad a la hora de consumir el agua. Por lo tanto, lo que se quiere, es unos niveles de presión adecuados, que ni sobrepasen ni se queden cortos. Lo que se va a hacer es observar la mínima y la máxima presión que se da en la red y observar que estos valores son adecuados.

#### 4.1.1 *Máxima presión*

A través de Epanet visualizamos la presión en los nudos para cada hora:

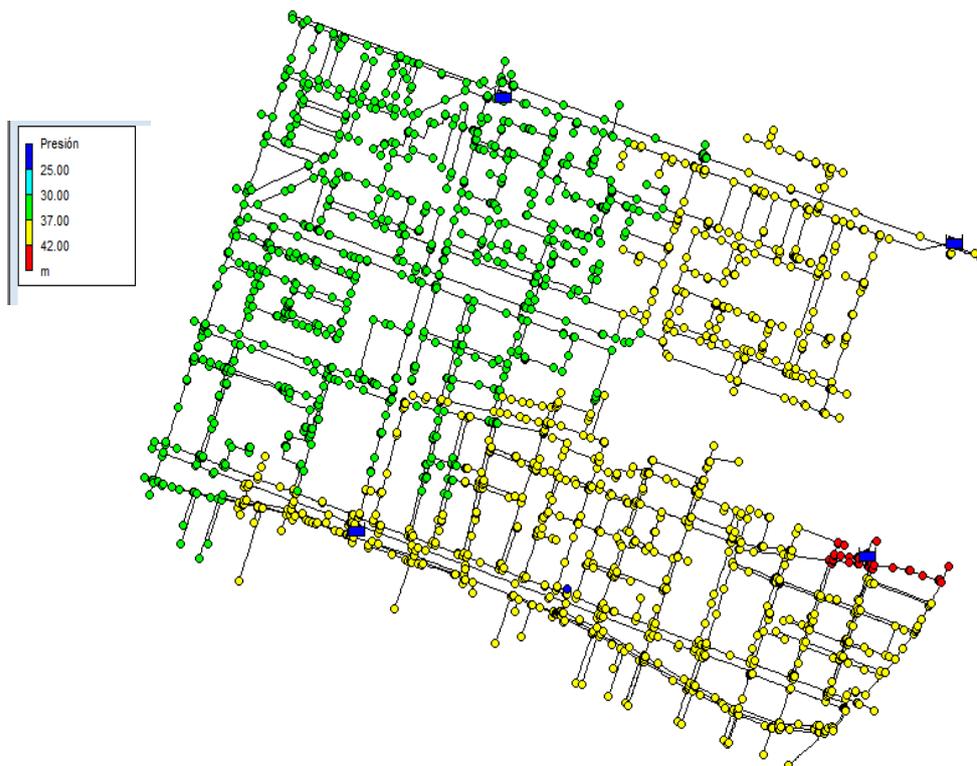


Figura 60. Zona de máxima presión en Epanet

Las máximas presiones en la red se dan a las 16:00 en la zona sureste del sector. Esto tiene sentido, pues es la zona con menor cota, por lo que la energía está en forma de cota en los puntos más altos de la red se transforma en energía de presión.

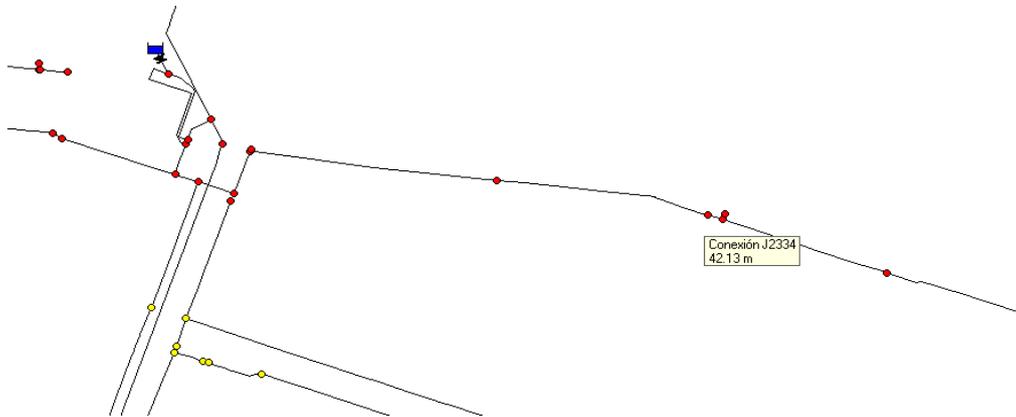


Figura 61. Punto de máxima presión en Epanet

El punto de máxima presión alcanza los 42,13 mca en la calle Francisco de Bellvis. Este valor, es aceptable para la red. No supone ningún peligro ni ninguna posible incomodidad, por lo que, respecto a altas presiones, la red no tiene ningún problema.

#### 4.1.2 Mínima presión

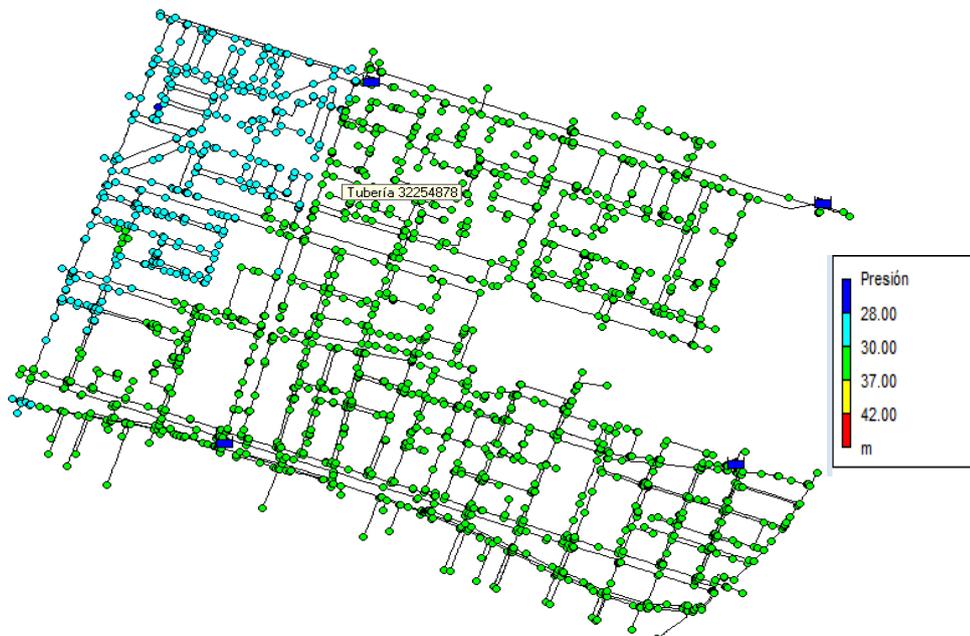


Figura 62. Zona de mínima presión en Epanet

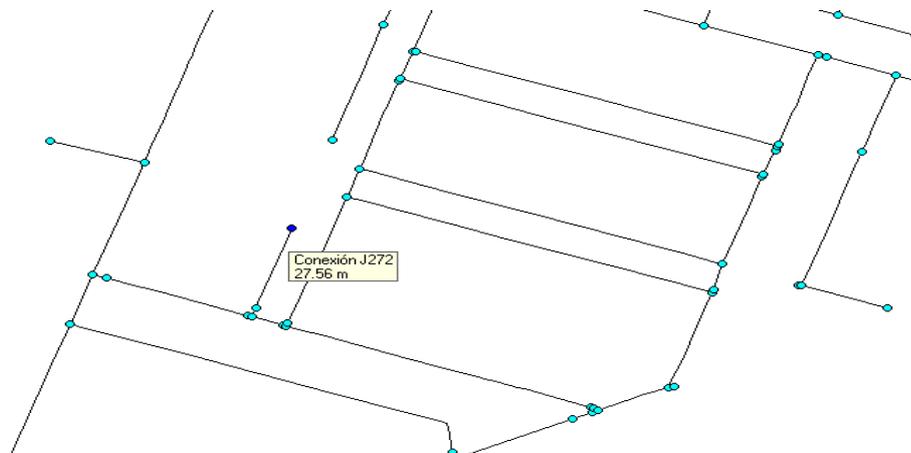


Figura 63. Punto de mínima presión en Epanet

El nudo con menos presión se encuentra en la calle Albuxech, con un valor de 27,56 mca. Este valor no supone ningún inconveniente por lo que la red tampoco tiene problemas de bajas presiones. Así pues, se concluye que la red se encuentra entre unos valores normales de presión, por lo que no será necesaria la instalación de ninguna válvula hidráulica reductora de presión.

## 4.2 Velocidad del agua

La velocidad es un parámetro importante a la hora de hacer el análisis de la red, pues debe estar comprendida entre ciertos valores, para que sea aceptable. Una velocidad muy elevada conlleva mayores pérdidas según la ecuación de Darcy-Weisbach o Hazen-Williams.

Por otra parte, una velocidad demasiado baja acarrea problemas de calidad del agua, ya que se favorece la deposición de carbonato cálcico, lo cual se ha de evitar. Se analiza en Epanet, la velocidad del agua obtenida es la siguiente.

Tabla 20. Velocidad del agua en la red

<b>Velocidad</b>	<b>(m/s)</b>
<b>Máxima</b>	1,410
<b>Mínima</b>	0,003
<b>Media</b>	0,112

Tal como se observa en la tabla, la velocidad media es reducida. Esto es común en redes de distribución de agua tipo mallado cuando se realiza la asignación de la demanda de forma uniformemente distribuida por toda la red, en lugar de en los nudos reales de consumo tal como en el funcionamiento normal sucede.

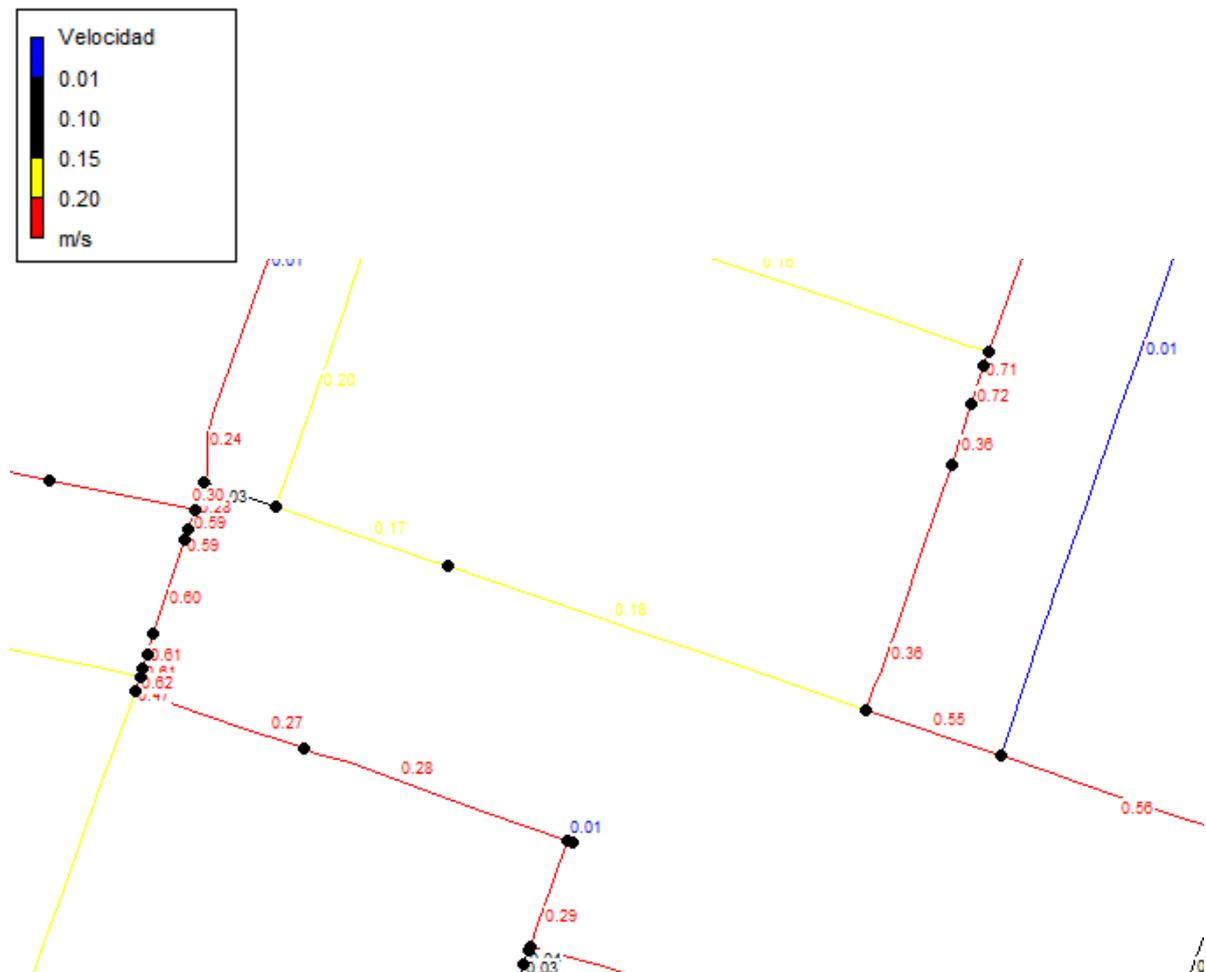


Figura 64. Velocidad del agua en la red

### 4.3 Pendiente hidráulica

La pendiente hidráulica es una variable que informa de las pérdidas de la red. Indica cuánta altura en mca se pierde por kilómetro de agua. Es decir, si, por ejemplo, se tiene para una tubería de 1 km unas pérdidas de 1mca/km significa que al principio de la tubería el agua disponía de 1 mca más que al final, pues lo ha perdido debido al rozamiento del fluido con las paredes.

Epanet dispone la opción de analizar dicho factor también. Así pues, se ha extraído la tabla de pérdidas para cada tubería obteniéndose una pendiente hidráulica media de **0,79 mca/km**. Este valor es más que aceptable, ya que se considera tolerable hasta unos 5 mca/km, por lo que la red respecto a pérdidas de carga no tiene ningún problema.

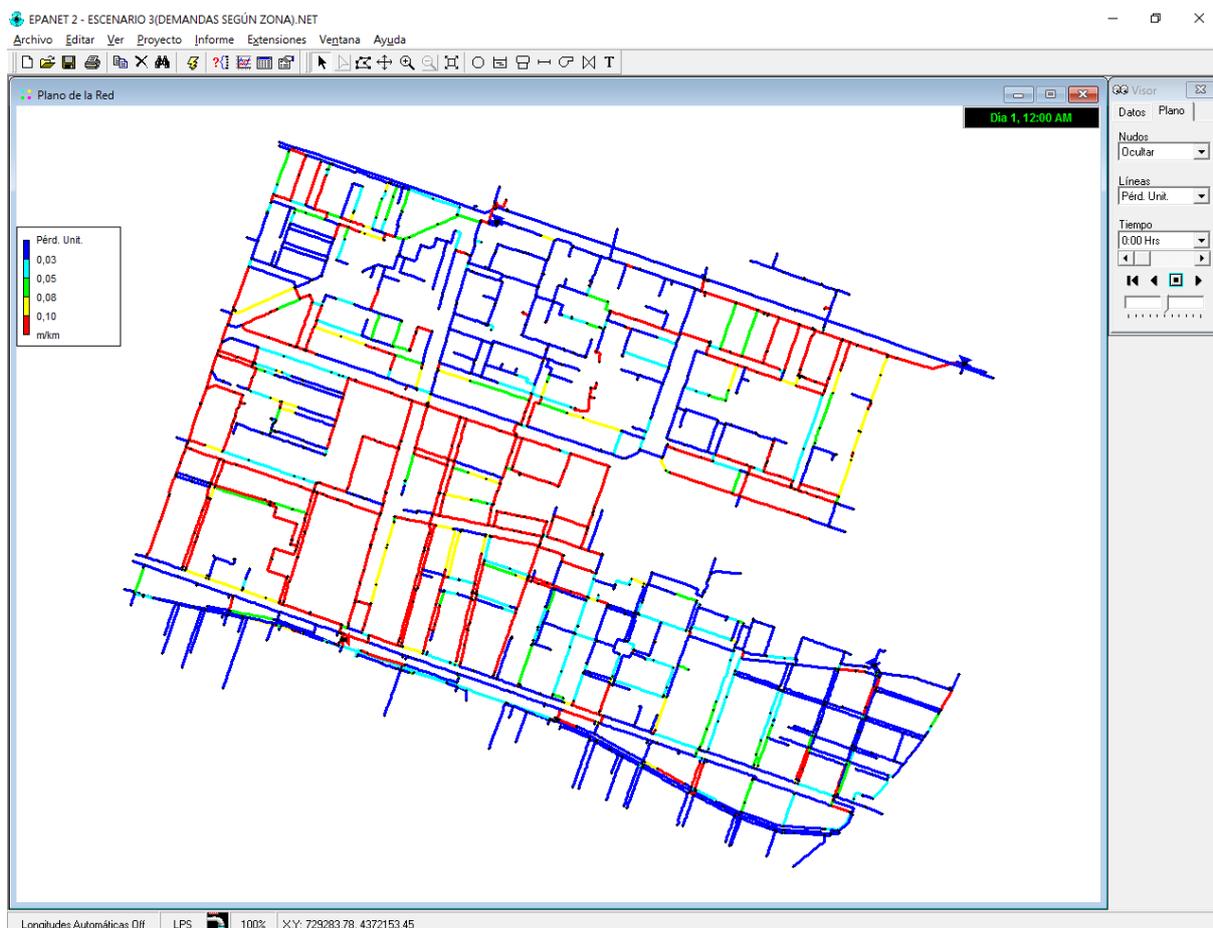


Figura 65. Pérdida de carga de las tuberías en el modelo

#### 4.4 Rotura de tuberías

Se han analizado varias maniobras de cierre que coincidirían con un cierre programado o una rotura de una tubería y se ha visto que la red funciona sin problema. Para ello, simplemente se ha modificado el estado de las tuberías en la edición de propiedades, escogiendo la opción de estado inicial “cerrado” Esto es un punto importante a favor ya que se logra una seguridad de la red que permite la posibilidad de cerrar tuberías o su rotura sin afectar a priori al resto de nudos.

#### 4.5 Respuesta ante incendio

Para simular la existencia de un incendio, se asigna a dos nudos consecutivos una demanda base de 2000 l/min, esto es 33 l/s. La presión no puede ser inferior a 10 mca. Se ha modificado pues la demanda de dos nudos consecutivos terminales (por ser más propensos a tener fallos frente incendios) y el resultado obtenido ha sido el siguiente:

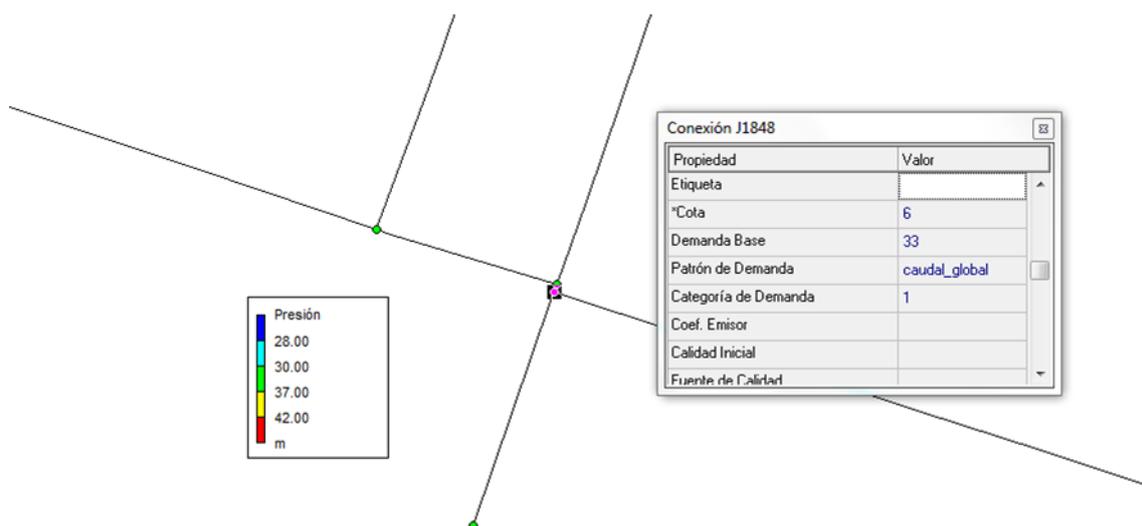


Figura 66. Respuesta de la red ante incendios

Como se ve, la red responde perfectamente para este caso. No tenemos ningún problema de presiones bajas para esa demanda base, por lo que se puede afirmar que para esos dos nudos terminales la respuesta ante incendios es positiva. En algún otro punto de la red, puede que si que haya problemas. Habría que observarlo para cada nudo de la red empleando el procedimiento expuesto. Como no dispone del tiempo requerido, simplemente se ha mostrada el procedimiento y un caso particular.

## 5 PROPUESTAS DE MEJORA DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED

### 5.1 Cierre de la entrada al sector Bellvis/Maderas

Se ha visto que la entrada de Bellvis/Maderas no aporta apenas caudal en la realidad, siendo aún menor el caudal aportado en Epanet. Como se ve sólo inyecta caudal entre las 16:00 y las 18:00, dato que lleva a pensar que tal vez no sea necesaria la presencia de dicha entrada. Por lo tanto, lo que se ha hecho es eliminar en el modelo ese embalse que simulaba la entrada y ver cómo responde al calcular el nuevo modelo. El nuevo modelo funciona correctamente sin ningún tipo de anomalía, por lo que se propone como mejora, anular la entrada, ya que, con las otras 3 entradas restantes, es más que suficiente.

#### Entrada Islas Canarias

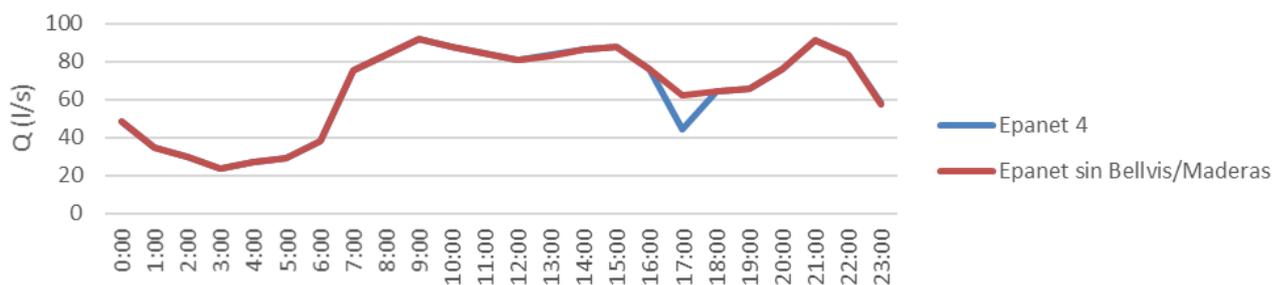


Figura 67. Comparación modelo vs modelo anula entrada Bellvis (Islas Canarias)

#### Entrada Blasco/Estellés

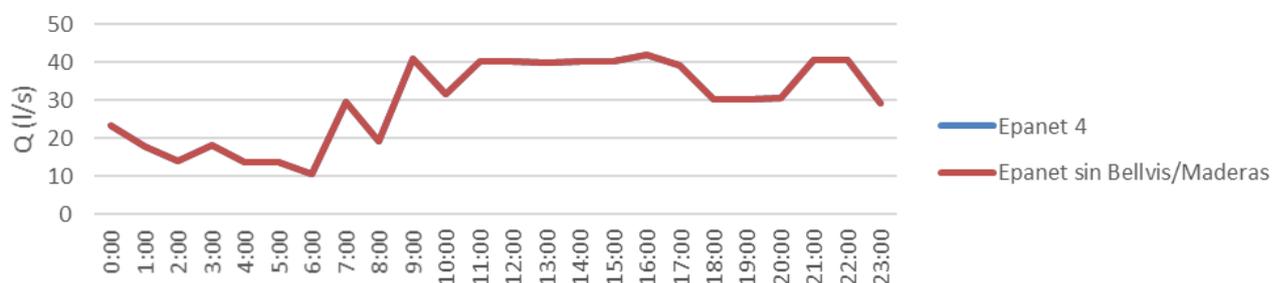


Figura 68. Comparación modelo vs modelo anula entrada Bellvis (Blasco/Estellés)

Entrada Blasco Ibáñez 116

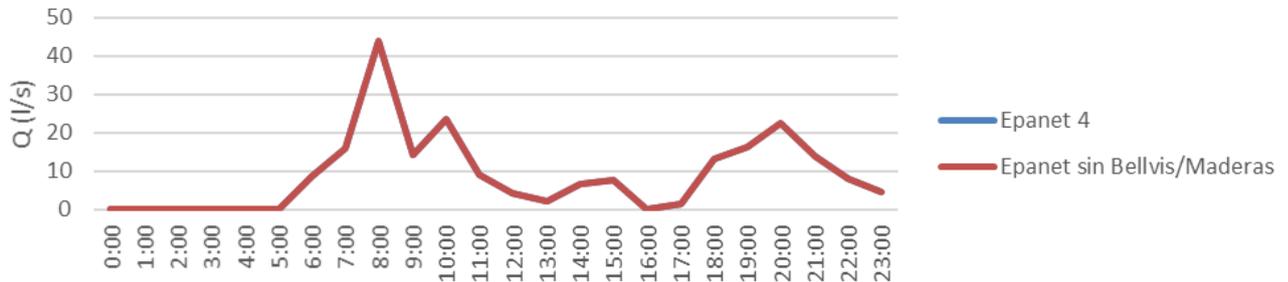


Figura 69. Comparación modelo vs modelo anula entrada Bellvis (Blasco 116)

Se observa en las gráficas comparativas, que no varía en absoluto el caudal aportado por las entradas restantes si se elimina la entrada de Bellvis/Maderas. El único periodo en el que varía, es de 16:00 a 18:00, en el que se aprecia que el modelo con las 4 entradas varía respecto del modelo de 3 entradas, para la entrada de Islas Canarias. Esto significa que, que dicha entrada es la que aportaría en ese periodo de tiempo, el caudal inyectado por la entrada Bellvis/Maderas. Por lo que el caudal inyectado al sector sigue siendo el mismo y por lo tanto es más que factible la realización de dicha maniobra (cerrar la dicha entrada).

El motivo por el que es más ventajoso realizar el cierre de una de las entradas es simplemente la mayor facilidad de controlar el agua teniendo que medir sólo el volumen leído por tres contadores que por cuatro.

Asimismo, la entrada que se propone cerrar podría abrirse en caso de emergencia, como puede ser la rotura de una de las tuberías de entrada o de una importante del sector. También podría abrirse dicha entrada en caso de que el caudal demandado por el sector en general fuera notablemente más elevado, en cuyo caso haría falta el caudal aportado por la entrada Bellvis y un aumento de presión en la entrada para hacerla funcionar con un mayor caudal de lo normal.



## 5.2 Renovación de tuberías de fibrocemento por tuberías de polietileno

Independientemente de lo que se ha visto, como se comentó anteriormente, las tuberías de fibrocemento pueden resultar nocivas para la salud, por lo que no es conveniente su existencia en la red. Su peligro procede de la presencia de amianto (OMS, 1985). Por lo tanto, se va a proponer un proyecto a largo plazo para cambiar estas tuberías por tuberías de polietileno PE 100.

Se ha realizado el estudio de las longitudes de cada diámetro existente. Se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 21. Tuberías de fibrocemento

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
60	26,89	0,13
80	2018,56	9,71
100	9801,61	47,16
125	45,75	0,22
150	5292,87	25,47
200	326,70	1,57
250	3271,82	15,74
<b>TOTAL</b>	<b>20784,20</b>	

Así pues, las tuberías con diámetros de hasta 100 mm se han sustituido por tubos de PE 100 de 110 mm para evitar pérdidas y problemas de caudal. Las tuberías de diámetros superiores a 100 mm se han sustituido por aquellas de PE con diámetro igual o inmediatamente superior, quedando por lo tanto el siguiente reparto:

Tabla 22. Tuberías de polietileno a instalar

<b>Diámetro de FC (mm)</b>	<b>Diámetro de PE (mm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
60-100	110	11847,06	57
125	125	45,75	0,22
150	160	5292,87	25,47
200	200	326,70	1,57
250	250	3271,82	15,74
<b>TOTAL</b>		<b>20784,20</b>	

Analizando las tareas a realizar, se establece un presupuesto, como se ve más adelante, el cual estima unos costes de 2.587.689.09 €. En dicho precio van incluidas todas las unidades de obra necesarias para la ejecución del proyecto.

Tabla 23. Resumen presupuesto.

## RESUMEN PRESUPUESTO

### CAPÍTULOS

CAP 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	617,290.79 €
CAP 2 MATERIAL Y EJECUCIÓN .....	1,162,132.18 €
CAP 3 GESTIÓN DE RESIDUOS .....	17,708.14 €

### 5.2.1 Ejecución de la obra de sustitución de tuberías

En este apartado se explicará los procedimientos necesarios para una ejecución adecuada del proyecto planteado. La ejecución se programa que acabe en de Junio de 2021, con una duración estimada por lo tanto de 4 años. Se irán sustituyendo las tuberías progresivamente, asignándole a cada año una zona determinada.

#### Excavación de zanjas

Con la señalización y vallado previo correspondiente se procederá a excavar una zanja de 60 cm que de ancho (anchura suficiente para instalar y retirar todas las tuberías de la red) a lo largo de todo el recorrido de las tuberías a sustituir mediante retroexcavadora de oruga de 150 cv con martillo rompedor . Deben quedar alineadas en planta y con la rasante uniforme, de acuerdo con lo indicado en el proyecto. Entre la apertura de la zanja, el montaje de la tubería y el posterior relleno parcial deberá transcurrir el menor tiempo posible. (CEDEX, 2006)



### Retirada de tuberías de fibrocemento

El personal especializado extraerá las tuberías de fibrocemento mediante los procesos requeridos. Es importante que se realice con las medidas de seguridad y el protocolo adecuado ya que en caso contrario se pone en peligro la salud de las personas debido a la presencia de amianto en la tubería.

### Instalación de tuberías de PE 100 PN 10

Oficiales de fontanería y construcción y peones de construcción llevarán a cabo el proceso de montaje de tuberías de polietileno en cada zona. Si se necesita la sustitución de ciertas válvulas se añadirá conforme la necesidad que se vaya observando.

### Relleno del terreno y colocación de asfalto

Se realizará el tapado del terreno con zahorras procedentes de machaqueo. Para ello se utilizará una retroexcavadora de neumáticos de potencia 130 cv además de un rodillo vibratorio de 4 tm. Se recompondrá el pavimento mediante aglomerado fonoabsorbente de 10 cm de espesor para lo que habrá que efectuar riego de imprimación y de adherencia.

### Gestión de residuos.

Un camión se encargará de cargar los residuos generados en el proceso, transportarlos y depositarlos en un vertedero.



## 6 CONCLUSIONES

Con el proyecto mostrado se ha hecho un análisis del sector y se ha conseguido la obtención de un modelo matemático, el cual servirá al personal de la empresa para poder tener una visión más analítica y clara del sector estudiado. Con él se podrá comprobar si determinadas maniobras o accidentes perturbarán el correcto funcionamiento de la red. No sólo eso, sino que se podrá ir realizando diversas modificaciones con previa visualización y comprobación en el modelo matemático, que conlleven una mejoría para el sector.

El modelo se ha intentado calibrar al máximo, pero se ha visto que la presencia de 4 entradas sector y el gran tamaño de la red dificultan en gran medida dicha calibración. No obstante, tras las diversas iteraciones realizadas, se ha logrado mejorar notablemente, el error cometido en el primer escenario. Se ha conseguido pasar de un 90% de error en la comparación del caudal de las entradas del modelo real respecto al modelo en Epanet, a un 27 % aproximadamente.

Se ha observado que la red funciona correctamente, sin ningún problema de presiones ni de falta de caudal, ni excesivas pérdidas de carga, a través del modelo, mostrando dichas variables y comprobando que entran dentro del rango de valores adecuados.

También se ha visto que la idea de cerrar la entrada Bellvis/Maderas es una posible medida de mejora ya que dicha entrada no es necesaria para abastecer al sector y su cierre supone tener que controlar menos entradas y por lo tanto mayor facilidad y menor tiempo. Asimismo, se simulado la red contra incendios en determinados puntos, así como la posible rotura o cierre de varias tuberías y se ha visto que también responde correctamente, lo que da a entender que la red es muy robusta actualmente.

Por último, se ha visto el coste de un posible futuro proyecto de sustitución de tuberías de fibrocemento por tuberías de polietileno que podría llevarse a cabo para evitar posibles problemas de salud, el cual ha sido programado para acabarlo en Junio de 2017 con una duración de 4 años.



## ▪ BIBLIOGRAFÍA

- *Aguas de Valencia*. (2017). Obtenido de <https://www.aguasdevalencia.es/page/46>
- BOP. (2004). *Reglamento de Servicio de Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Valencia*.
- CEDEX. (2006). Obtenido de Guía técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión:  
<file:///E:/03a%20Gu%C3%ADa%20T%C3%A9cnica%20Abastecimiento%20-%20CEDEX.pdf>
- EMIVASA. (2017). <https://www.emivasa.es>.
- GIS. (2017). Sistema de Información geográfica. Comunidad Valenciana.
- *Google Maps*. (2017). Obtenido de <https://www.google.es/maps/@39.4675168,-0.3453881,16z>
- *Oficina de Estadística, Valencia*. (2016). Obtenido de <http://www.valencia.es/estadistica>
- OMS. (1985). *Guía para la calidad del Agua Potable*. Washington D.C. (US).
- Rossman, L. (s.f.). *Manual de Epanet 2.0*. Obtenido de [http://epanet.info/wp-content/uploads/2012/10/EPANET\\_Manual\\_Usuario.pdf](http://epanet.info/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf)
- White, F. M. (1979). *Mecánica de Fluidos*. McGraw-Hill.1979.
- Wikipedia. (29 de Abril de 2017). *Fórmula de pérdidas de carga de Hazen Williams*. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula\\_de\\_Hazen-Williams](https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_de_Hazen-Williams)





# ANEXOS

Universitat Politècnica de València





# ÍNDICE DE ANEXOS

## ANEXO 1. CAUDALES DE ENTRADA

---

- A. VALENCIA
- B. ESTACIÓN ISLAS CANARIAS
- C. ESTACIÓN BLASCO IBÁÑEZ CRUCE CON MANUELA ESTELLÉS
- D. ESTACIÓN BLASCO IBÁÑEZ 116
- E. ESTACIÓN BELLVIS CRUCE CON MADERAS

## ANEXO 2. PRESIONES EN LAS ENTRADAS

---

- A. ESTACIÓN ISLAS CANARIAS
- B. ESTACIÓN BLASCO IBÁÑEZ CRUCE CON MANUELA ESTELLÉS
- C. ESTACIÓN BLASCO IBÁÑEZ 116
- D. ESTACIÓN BELLVIS CRUCE CON MADERAS

## ANEXO 3. INFORMACIÓN DE LA RED EN EPANET

---

- A. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS
- B. LOCALIZACIÓN NUDOS Y TUBERÍAS



## ANEXO 1. CAUDALES DE ENTRADA

En este anexo se exponen los caudales inyectados a Valencia en un día, y los caudales aportados por las entradas al sector. Esta información ha sido proporcionada por la empresa EMIVASA.

### A. VALENCIA

Fecha y hora	Caudal (m <sup>3</sup> /h)
01/03/2017 0:00	2.830,3
01/03/2017 1:00	2.587,5
01/03/2017 2:00	2.481,4
01/03/2017 3:00	2.493,0
01/03/2017 4:00	3.795,0
01/03/2017 5:00	7.845,3
01/03/2017 6:00	9.088,2
01/03/2017 7:00	8.740,3
01/03/2017 8:00	8.539,0
01/03/2017 9:00	8.076,6
01/03/2017 10:00	7.609,9
01/03/2017 11:00	7.247,7
01/03/2017 12:00	7.415,5
01/03/2017 13:00	7.302,1
01/03/2017 14:00	6.523,4
01/03/2017 15:00	6.208,8
01/03/2017 16:00	6.397,1
01/03/2017 17:00	7.044,6
01/03/2017 18:00	7.870,3
01/03/2017 19:00	8.163,1
01/03/2017 20:00	6.671,0
01/03/2017 21:00	5.379,5
01/03/2017 22:00	4.360,2
01/03/2017 23:00	3.288,6

Se dispone de los caudales inyectados a Valencia gracias a la lectura de los contadores instalados en las entradas a la ciudad. Se ha cogido un día cualquiera, pero se dispone de todos los días del mes de Marzo.



## B. ESTACIÓN ISLAS CANARIAS

Fecha	Hora	caudal (l/s)	Fecha	Hora	caudal (l/s)
12/12/2016	0:00:00	40,28	12/12/2016	12:00:00	72,22
12/12/2016	0:15:00	38,89	12/12/2016	12:15:00	70,83
12/12/2016	0:30:00	36,11	12/12/2016	12:30:00	70,83
12/12/2016	0:45:00	33,33	12/12/2016	12:45:00	70,83
12/12/2016	1:00:00	30,56	12/12/2016	13:00:00	70,83
12/12/2016	1:15:00	29,17	12/12/2016	13:15:00	70,14
12/12/2016	1:30:00	27,08	12/12/2016	13:30:00	71,53
12/12/2016	1:45:00	27,08	12/12/2016	13:45:00	72,22
12/12/2016	2:00:00	26,39	12/12/2016	14:00:00	71,53
12/12/2016	2:15:00	25,69	12/12/2016	14:15:00	75,00
12/12/2016	2:30:00	24,31	12/12/2016	14:30:00	75,69
12/12/2016	2:45:00	24,31	12/12/2016	14:45:00	77,08
12/12/2016	3:00:00	23,61	12/12/2016	15:00:00	78,47
12/12/2016	3:15:00	25,00	12/12/2016	15:15:00	76,39
12/12/2016	3:30:00	25,00	12/12/2016	15:30:00	75,00
12/12/2016	3:45:00	25,00	12/12/2016	15:45:00	73,61
12/12/2016	4:00:00	25,69	12/12/2016	16:00:00	72,22
12/12/2016	4:15:00	27,08	12/12/2016	16:15:00	68,75
12/12/2016	4:30:00	26,39	12/12/2016	16:30:00	63,19
12/12/2016	4:45:00	25,69	12/12/2016	16:45:00	55,56
12/12/2016	5:00:00	25,69	12/12/2016	17:00:00	52,08
12/12/2016	5:15:00	25,69	12/12/2016	17:15:00	53,47
12/12/2016	5:30:00	26,39	12/12/2016	17:30:00	50,00
12/12/2016	5:45:00	27,78	12/12/2016	17:45:00	52,78
12/12/2016	6:00:00	28,47	12/12/2016	18:00:00	52,08
12/12/2016	6:15:00	31,94	12/12/2016	18:15:00	50,69
12/12/2016	6:30:00	34,72	12/12/2016	18:30:00	52,78
12/12/2016	6:45:00	43,75	12/12/2016	18:45:00	53,47
12/12/2016	7:00:00	59,03	12/12/2016	19:00:00	54,17
12/12/2016	7:15:00	61,81	12/12/2016	19:15:00	54,17
12/12/2016	7:30:00	63,19	12/12/2016	19:30:00	54,17
12/12/2016	7:45:00	63,89	12/12/2016	19:45:00	55,56
12/12/2016	8:00:00	64,58	12/12/2016	20:00:00	56,94
12/12/2016	8:15:00	68,06	12/12/2016	20:15:00	60,42
12/12/2016	8:30:00	81,25	12/12/2016	20:30:00	65,28
12/12/2016	8:45:00	81,25	12/12/2016	20:45:00	69,44
12/12/2016	9:00:00	78,47	12/12/2016	21:00:00	68,75
12/12/2016	9:15:00	77,78	12/12/2016	21:15:00	71,53
12/12/2016	9:30:00	77,78	12/12/2016	21:30:00	75,00
12/12/2016	9:45:00	78,47	12/12/2016	21:45:00	76,39
12/12/2016	10:00:00	79,17	12/12/2016	22:00:00	75,69
12/12/2016	10:15:00	77,08	12/12/2016	22:15:00	71,53
12/12/2016	10:30:00	77,08	12/12/2016	22:30:00	66,67
12/12/2016	10:45:00	76,39	12/12/2016	22:45:00	61,81
12/12/2016	11:00:00	75,00	12/12/2016	23:00:00	52,78
12/12/2016	11:15:00	75,00	12/12/2016	23:15:00	43,06
12/12/2016	11:30:00	74,31	12/12/2016	23:30:00	41,67
12/12/2016	11:45:00	72,92	12/12/2016	23:45:00	40,97



### C. ESTACIÓN BLASO IBÁÑEZ CRUCE CON MANUELA ESTELLÉS

Fecha	Hora	Q (l/s)	Fecha	Hora	Q (l/s)
12/12/2016	0:00:00	31,944	12/12/2016	12:00:00	39,583
12/12/2016	0:15:00	31,944	12/12/2016	12:15:00	40,972
12/12/2016	0:30:00	27,778	12/12/2016	12:30:00	43,056
12/12/2016	0:45:00	26,389	12/12/2016	12:45:00	42,361
12/12/2016	1:00:00	23,611	12/12/2016	13:00:00	43,75
12/12/2016	1:15:00	20,833	12/12/2016	13:15:00	42,361
12/12/2016	1:30:00	18,75	12/12/2016	13:30:00	43,056
12/12/2016	1:45:00	17,361	12/12/2016	13:45:00	42,361
12/12/2016	2:00:00	16,667	12/12/2016	14:00:00	42,361
12/12/2016	2:15:00	15,972	12/12/2016	14:15:00	43,056
12/12/2016	2:30:00	15,278	12/12/2016	14:30:00	43,056
12/12/2016	2:45:00	14,583	12/12/2016	14:45:00	43,056
12/12/2016	3:00:00	13,889	12/12/2016	15:00:00	40,278
12/12/2016	3:15:00	13,889	12/12/2016	15:15:00	40,972
12/12/2016	3:30:00	14,583	12/12/2016	15:30:00	40,972
12/12/2016	3:45:00	13,889	12/12/2016	15:45:00	43,056
12/12/2016	4:00:00	12,5	12/12/2016	16:00:00	43,056
12/12/2016	4:15:00	11,806	12/12/2016	16:15:00	43,056
12/12/2016	4:30:00	11,806	12/12/2016	16:30:00	44,444
12/12/2016	4:45:00	13,194	12/12/2016	16:45:00	42,361
12/12/2016	5:00:00	13,194	12/12/2016	17:00:00	42,361
12/12/2016	5:15:00	13,194	12/12/2016	17:15:00	40,278
12/12/2016	5:30:00	13,194	12/12/2016	17:30:00	38,194
12/12/2016	5:45:00	14,583	12/12/2016	17:45:00	37,5
12/12/2016	6:00:00	15,278	12/12/2016	18:00:00	36,111
12/12/2016	6:15:00	16,667	12/12/2016	18:15:00	34,722
12/12/2016	6:30:00	20,139	12/12/2016	18:30:00	36,111
12/12/2016	6:45:00	26,389	12/12/2016	18:45:00	36,111
12/12/2016	7:00:00	30,556	12/12/2016	19:00:00	36,806
12/12/2016	7:15:00	34,028	12/12/2016	19:15:00	34,722
12/12/2016	7:30:00	34,722	12/12/2016	19:30:00	34,722
12/12/2016	7:45:00	34,028	12/12/2016	19:45:00	34,028
12/12/2016	8:00:00	32,639	12/12/2016	20:00:00	33,333
12/12/2016	8:15:00	33,333	12/12/2016	20:15:00	32,639
12/12/2016	8:30:00	32,639	12/12/2016	20:30:00	35,417
12/12/2016	8:45:00	34,722	12/12/2016	20:45:00	36,806
12/12/2016	9:00:00	35,417	12/12/2016	21:00:00	38,194
12/12/2016	9:15:00	36,111	12/12/2016	21:15:00	37,5
12/12/2016	9:30:00	36,806	12/12/2016	21:30:00	38,889
12/12/2016	9:45:00	37,5	12/12/2016	21:45:00	38,889
12/12/2016	10:00:00	37,5	12/12/2016	22:00:00	40,972
12/12/2016	10:15:00	37,5	12/12/2016	22:15:00	41,667
12/12/2016	10:30:00	37,5	12/12/2016	22:30:00	43,056
12/12/2016	10:45:00	38,194	12/12/2016	22:45:00	40,972
12/12/2016	11:00:00	36,806	12/12/2016	23:00:00	38,194
12/12/2016	11:15:00	37,5	12/12/2016	23:15:00	34,722
12/12/2016	11:30:00	38,889	12/12/2016	23:30:00	34,028



## D. BLASCO IBÁÑEZ 116

12/12/2016	0:00:00	0	12/12/2016	12:00:00	22,222
12/12/2016	0:15:00	0	12/12/2016	12:15:00	11,111
12/12/2016	0:30:00	0	12/12/2016	12:30:00	0
12/12/2016	0:45:00	0	12/12/2016	12:45:00	11,111
12/12/2016	1:00:00	0	12/12/2016	13:00:00	11,111
12/12/2016	1:15:00	0	12/12/2016	13:15:00	0
12/12/2016	1:30:00	0	12/12/2016	13:30:00	11,111
12/12/2016	1:45:00	0	12/12/2016	13:45:00	11,111
12/12/2016	2:00:00	0	12/12/2016	14:00:00	11,111
12/12/2016	2:15:00	0	12/12/2016	14:15:00	11,111
12/12/2016	2:30:00	0	12/12/2016	14:30:00	22,222
12/12/2016	2:45:00	0	12/12/2016	14:45:00	11,111
12/12/2016	3:00:00	0	12/12/2016	15:00:00	22,222
12/12/2016	3:15:00	0	12/12/2016	15:15:00	22,222
12/12/2016	3:30:00	0	12/12/2016	15:30:00	11,111
12/12/2016	3:45:00	0	12/12/2016	15:45:00	11,111
12/12/2016	4:00:00	0	12/12/2016	16:00:00	11,111
12/12/2016	4:15:00	0	12/12/2016	16:15:00	11,111
12/12/2016	4:30:00	0	12/12/2016	16:30:00	0
12/12/2016	4:45:00	0	12/12/2016	16:45:00	0
12/12/2016	5:00:00	0	12/12/2016	17:00:00	0
12/12/2016	5:15:00	0	12/12/2016	17:15:00	0
12/12/2016	5:30:00	0	12/12/2016	17:30:00	11,111
12/12/2016	5:45:00	0	12/12/2016	17:45:00	0
12/12/2016	6:00:00	0	12/12/2016	18:00:00	11,111
12/12/2016	6:15:00	0	12/12/2016	18:15:00	11,111
12/12/2016	6:30:00	0	12/12/2016	18:30:00	11,111
12/12/2016	6:45:00	0	12/12/2016	18:45:00	11,111
12/12/2016	7:00:00	11,111	12/12/2016	19:00:00	11,111
12/12/2016	7:15:00	11,111	12/12/2016	19:15:00	11,111
12/12/2016	7:30:00	22,222	12/12/2016	19:30:00	11,111
12/12/2016	7:45:00	33,333	12/12/2016	19:45:00	22,222
12/12/2016	8:00:00	33,333	12/12/2016	20:00:00	22,222
12/12/2016	8:15:00	33,333	12/12/2016	20:15:00	22,222
12/12/2016	8:30:00	33,333	12/12/2016	20:30:00	22,222
12/12/2016	8:45:00	33,333	12/12/2016	20:45:00	22,222
12/12/2016	9:00:00	33,333	12/12/2016	21:00:00	33,333
12/12/2016	9:15:00	33,333	12/12/2016	21:15:00	22,222
12/12/2016	9:30:00	22,222	12/12/2016	21:30:00	33,333
12/12/2016	9:45:00	33,333	12/12/2016	21:45:00	22,222
12/12/2016	10:00:00	22,222	12/12/2016	22:00:00	33,333
12/12/2016	10:15:00	22,222	12/12/2016	22:15:00	22,222
12/12/2016	10:30:00	33,333	12/12/2016	22:30:00	11,111
12/12/2016	10:45:00	22,222	12/12/2016	22:45:00	0
12/12/2016	11:00:00	22,222	12/12/2016	23:00:00	11,111
12/12/2016	11:15:00	22,222	12/12/2016	23:15:00	0
12/12/2016	11:30:00	22,222	12/12/2016	23:30:00	11,111
12/12/2016	11:45:00	11,111	12/12/2016	23:45:00	0



## E. ESTACIÓN BELLVIS CRUCE CON MADERAS

Fecha	Hora	Q (l/s)	Fecha	Hora	Q (l/s)
12/12/2016	0:00:00	6,25	12/12/2016	12:00:00	1,389
12/12/2016	0:15:00	6,25	12/12/2016	12:15:00	1,389
12/12/2016	0:30:00	5,556	12/12/2016	12:30:00	1,389
12/12/2016	0:45:00	4,861	12/12/2016	12:45:00	2,778
12/12/2016	1:00:00	4,167	12/12/2016	13:00:00	2,778
12/12/2016	1:15:00	4,167	12/12/2016	13:15:00	2,778
12/12/2016	1:30:00	4,167	12/12/2016	13:30:00	2,778
12/12/2016	1:45:00	3,472	12/12/2016	13:45:00	3,472
12/12/2016	2:00:00	3,472	12/12/2016	14:00:00	2,778
12/12/2016	2:15:00	3,472	12/12/2016	14:15:00	2,778
12/12/2016	2:30:00	3,472	12/12/2016	14:30:00	2,083
12/12/2016	2:45:00	2,083	12/12/2016	14:45:00	2,083
12/12/2016	3:00:00	3,472	12/12/2016	15:00:00	2,083
12/12/2016	3:15:00	3,472	12/12/2016	15:15:00	2,083
12/12/2016	3:30:00	2,083	12/12/2016	15:30:00	2,083
12/12/2016	3:45:00	2,083	12/12/2016	15:45:00	2,083
12/12/2016	4:00:00	2,083	12/12/2016	16:00:00	1,389
12/12/2016	4:15:00	2,083	12/12/2016	16:15:00	4,861
12/12/2016	4:30:00	1,389	12/12/2016	16:30:00	4,861
12/12/2016	4:45:00	1,389	12/12/2016	16:45:00	6,25
12/12/2016	5:00:00	1,389	12/12/2016	17:00:00	7,639
12/12/2016	5:15:00	1,389	12/12/2016	17:15:00	9,028
12/12/2016	5:30:00	3,472	12/12/2016	17:30:00	8,333
12/12/2016	5:45:00	3,472	12/12/2016	17:45:00	9,028
12/12/2016	6:00:00	2,778	12/12/2016	18:00:00	8,333
12/12/2016	6:15:00	2,083	12/12/2016	18:15:00	8,333
12/12/2016	6:30:00	3,472	12/12/2016	18:30:00	9,028
12/12/2016	6:45:00	3,472	12/12/2016	18:45:00	9,028
12/12/2016	7:00:00	2,778	12/12/2016	19:00:00	9,722
12/12/2016	7:15:00	4,861	12/12/2016	19:15:00	9,722
12/12/2016	7:30:00	6,944	12/12/2016	19:30:00	9,028
12/12/2016	7:45:00	9,028	12/12/2016	19:45:00	10,417
12/12/2016	8:00:00	8,333	12/12/2016	20:00:00	9,722
12/12/2016	8:15:00	7,639	12/12/2016	20:15:00	9,722
12/12/2016	8:30:00	6,944	12/12/2016	20:30:00	8,333
12/12/2016	8:45:00	2,083	12/12/2016	20:45:00	9,028
12/12/2016	9:00:00	2,778	12/12/2016	21:00:00	8,333
12/12/2016	9:15:00	2,778	12/12/2016	21:15:00	8,333
12/12/2016	9:30:00	2,778	12/12/2016	21:30:00	5,556
12/12/2016	9:45:00	1,389	12/12/2016	21:45:00	6,25
12/12/2016	10:00:00	2,778	12/12/2016	22:00:00	5,556
12/12/2016	10:15:00	2,778	12/12/2016	22:15:00	5,556
12/12/2016	10:30:00	2,778	12/12/2016	22:30:00	6,25
12/12/2016	10:45:00	2,083	12/12/2016	22:45:00	5,556
12/12/2016	11:00:00	1,389	12/12/2016	23:00:00	6,944
12/12/2016	11:15:00	2,083	12/12/2016	23:15:00	6,25
12/12/2016	11:30:00	2,083	12/12/2016	23:30:00	6,944
12/12/2016	11:45:00	2,083	12/12/2016	23:45:00	6,944



## ANEXO 2. PRESIONES EN LAS ENTRADAS

A continuación, se muestra las presiones leídas por los Datalogger en las entradas.

### A. ESTACIÓN ISLAS CANARIAS

Fecha	Hora	P(mca)	Fecha	Hora	P(mca)
12/12/2016	0:00:00	36,2	12/12/2016	12:00:00	36,4
12/12/2016	0:15:00	36,1	12/12/2016	12:15:00	37
12/12/2016	0:30:00	36,5	12/12/2016	12:30:00	37,4
12/12/2016	0:45:00	36,5	12/12/2016	12:45:00	37,2
12/12/2016	1:00:00	34,6	12/12/2016	13:00:00	37,2
12/12/2016	1:15:00	36	12/12/2016	13:15:00	37
12/12/2016	1:30:00	35,8	12/12/2016	13:30:00	36,5
12/12/2016	1:45:00	35,3	12/12/2016	13:45:00	36,7
12/12/2016	2:00:00	33,9	12/12/2016	14:00:00	36,3
12/12/2016	2:15:00	34,8	12/12/2016	14:15:00	36
12/12/2016	2:30:00	36	12/12/2016	14:30:00	35,7
12/12/2016	2:45:00	35,6	12/12/2016	14:45:00	36
12/12/2016	3:00:00	35	12/12/2016	15:00:00	35,2
12/12/2016	3:15:00	35,5	12/12/2016	15:15:00	35,7
12/12/2016	3:30:00	36,3	12/12/2016	15:30:00	36,7
12/12/2016	3:45:00	36,2	12/12/2016	15:45:00	37,1
12/12/2016	4:00:00	31,2	12/12/2016	16:00:00	37,2
12/12/2016	4:15:00	30,8	12/12/2016	16:15:00	37,8
12/12/2016	4:30:00	31	12/12/2016	16:30:00	37,4
12/12/2016	4:45:00	33,7	12/12/2016	16:45:00	37,2
12/12/2016	5:00:00	34,7	12/12/2016	17:00:00	36,7
12/12/2016	5:15:00	34	12/12/2016	17:15:00	35
12/12/2016	5:30:00	33,3	12/12/2016	17:30:00	35,1
12/12/2016	5:45:00	33,5	12/12/2016	17:45:00	34,5
12/12/2016	6:00:00	32,6	12/12/2016	18:00:00	33,7
12/12/2016	6:15:00	29,9	12/12/2016	18:15:00	34,9
12/12/2016	6:30:00	29,6	12/12/2016	18:30:00	34,3
12/12/2016	6:45:00	29,2	12/12/2016	18:45:00	34,4
12/12/2016	7:00:00	31,2	12/12/2016	19:00:00	34,8
12/12/2016	7:15:00	31,6	12/12/2016	19:15:00	33,2
12/12/2016	7:30:00	31,8	12/12/2016	19:30:00	33,2
12/12/2016	7:45:00	31,7	12/12/2016	19:45:00	32,6
12/12/2016	8:00:00	31,9	12/12/2016	20:00:00	32
12/12/2016	8:15:00	30,4	12/12/2016	20:15:00	32,9
12/12/2016	8:30:00	32,9	12/12/2016	20:30:00	33,9
12/12/2016	8:45:00	33,9	12/12/2016	20:45:00	33,5
12/12/2016	9:00:00	35,4	12/12/2016	21:00:00	34,5
12/12/2016	9:15:00	34,9	12/12/2016	21:15:00	33
12/12/2016	9:30:00	34,5	12/12/2016	21:30:00	33,6
12/12/2016	9:45:00	35,1	12/12/2016	21:45:00	35,1
12/12/2016	10:00:00	35	12/12/2016	22:00:00	35,9
12/12/2016	10:15:00	34,9	12/12/2016	22:15:00	36,4
12/12/2016	10:30:00	34,5	12/12/2016	22:30:00	37,6
12/12/2016	10:45:00	35,6	12/12/2016	22:45:00	35,5
12/12/2016	11:00:00	34,7	12/12/2016	23:00:00	35,7
12/12/2016	11:15:00	36,4	12/12/2016	23:15:00	34,3
12/12/2016	11:30:00	36	12/12/2016	23:30:00	34,1
12/12/2016	11:45:00	35,7	12/12/2016	23:45:00	34,1



## B. ESTACIÓN BLASCO IBÁÑEZ CRUCE CON MANUELA ESTELLÉS

Fecha	Hora	P(mca)	Fecha	Hora	P(mca)
12/12/2016	0:00:00	39,5	12/12/2016	12:00:00	38,5
12/12/2016	0:15:00	39,4	12/12/2016	12:15:00	39,2
12/12/2016	0:30:00	40,1	12/12/2016	12:30:00	39,5
12/12/2016	0:45:00	40,2	12/12/2016	12:45:00	39,3
12/12/2016	1:00:00	38,4	12/12/2016	13:00:00	39,3
12/12/2016	1:15:00	39,4	12/12/2016	13:15:00	39,2
12/12/2016	1:30:00	39,5	12/12/2016	13:30:00	38,6
12/12/2016	1:45:00	39,3	12/12/2016	13:45:00	38,8
12/12/2016	2:00:00	37,5	12/12/2016	14:00:00	38,6
12/12/2016	2:15:00	38,2	12/12/2016	14:15:00	38,1
12/12/2016	2:30:00	39,7	12/12/2016	14:30:00	37,7
12/12/2016	2:45:00	39,5	12/12/2016	14:45:00	38,1
12/12/2016	3:00:00	38,6	12/12/2016	15:00:00	37,1
12/12/2016	3:15:00	39,2	12/12/2016	15:15:00	37,6
12/12/2016	3:30:00	40	12/12/2016	15:30:00	38,8
12/12/2016	3:45:00	39,8	12/12/2016	15:45:00	39
12/12/2016	4:00:00	35,3	12/12/2016	16:00:00	39,2
12/12/2016	4:15:00	34,3	12/12/2016	16:15:00	40,1
12/12/2016	4:30:00	34,7	12/12/2016	16:30:00	39,8
12/12/2016	4:45:00	37	12/12/2016	16:45:00	40,2
12/12/2016	5:00:00	38,4	12/12/2016	17:00:00	39,9
12/12/2016	5:15:00	37,7	12/12/2016	17:15:00	38,3
12/12/2016	5:30:00	37,1	12/12/2016	17:30:00	38,6
12/12/2016	5:45:00	37	12/12/2016	17:45:00	37,7
12/12/2016	6:00:00	36,1	12/12/2016	18:00:00	37,1
12/12/2016	6:15:00	33,3	12/12/2016	18:15:00	38,1
12/12/2016	6:30:00	32,8	12/12/2016	18:30:00	37,8
12/12/2016	6:45:00	32,4	12/12/2016	18:45:00	37,6
12/12/2016	7:00:00	33,2	12/12/2016	19:00:00	38,1
12/12/2016	7:15:00	33,9	12/12/2016	19:15:00	36,6
12/12/2016	7:30:00	34,8	12/12/2016	19:30:00	36,8
12/12/2016	7:45:00	34,6	12/12/2016	19:45:00	36
12/12/2016	8:00:00	35,1	12/12/2016	20:00:00	35,5
12/12/2016	8:15:00	33,4	12/12/2016	20:15:00	36,1
12/12/2016	8:30:00	34,8	12/12/2016	20:30:00	36,5
12/12/2016	8:45:00	35,7	12/12/2016	20:45:00	36,1
12/12/2016	9:00:00	37,2	12/12/2016	21:00:00	37,2
12/12/2016	9:15:00	36,9	12/12/2016	21:15:00	35,4
12/12/2016	9:30:00	36,5	12/12/2016	21:30:00	35,6
12/12/2016	9:45:00	37	12/12/2016	21:45:00	36,9
12/12/2016	10:00:00	37,2	12/12/2016	22:00:00	37,9
12/12/2016	10:15:00	36,9	12/12/2016	22:15:00	38,6
12/12/2016	10:30:00	36,5	12/12/2016	22:30:00	40
12/12/2016	10:45:00	37,7	12/12/2016	22:45:00	38,1
12/12/2016	11:00:00	36,9	12/12/2016	23:00:00	38,8
12/12/2016	11:15:00	38,4	12/12/2016	23:15:00	37,8
12/12/2016	11:30:00	38,1	12/12/2016	23:30:00	37,7



### C. ESTACIÓN BLASCO IBÁÑEZ 116

Fecha	Hora	P (mca)	Fecha	Hora	P (mca)
12/12/2016	0:00:00	34,9	12/12/2016	12:00:00	33,6
12/12/2016	0:15:00	34,8	12/12/2016	12:15:00	34,1
12/12/2016	0:30:00	35,8	12/12/2016	12:30:00	34,2
12/12/2016	0:45:00	35,9	12/12/2016	12:45:00	34,1
12/12/2016	1:00:00	34,3	12/12/2016	13:00:00	34
12/12/2016	1:15:00	35,3	12/12/2016	13:15:00	34
12/12/2016	1:30:00	35,5	12/12/2016	13:30:00	33,5
12/12/2016	1:45:00	35,5	12/12/2016	13:45:00	33,7
12/12/2016	2:00:00	33,5	12/12/2016	14:00:00	33,5
12/12/2016	2:15:00	34,3	12/12/2016	14:15:00	32,9
12/12/2016	2:30:00	35,8	12/12/2016	14:30:00	32,6
12/12/2016	2:45:00	35,7	12/12/2016	14:45:00	32,9
12/12/2016	3:00:00	34,7	12/12/2016	15:00:00	32,1
12/12/2016	3:15:00	35,4	12/12/2016	15:15:00	32,6
12/12/2016	3:30:00	36,1	12/12/2016	15:30:00	33,6
12/12/2016	3:45:00	36	12/12/2016	15:45:00	33,9
12/12/2016	4:00:00	31,9	12/12/2016	16:00:00	34
12/12/2016	4:15:00	30,4	12/12/2016	16:15:00	34,9
12/12/2016	4:30:00	30,9	12/12/2016	16:30:00	34,3
12/12/2016	4:45:00	33	12/12/2016	16:45:00	34,8
12/12/2016	5:00:00	34,5	12/12/2016	17:00:00	34,6
12/12/2016	5:15:00	33,8	12/12/2016	17:15:00	33,2
12/12/2016	5:30:00	33,2	12/12/2016	17:30:00	33,7
12/12/2016	5:45:00	33	12/12/2016	17:45:00	33
12/12/2016	6:00:00	32,3	12/12/2016	18:00:00	32,4
12/12/2016	6:15:00	29,4	12/12/2016	18:15:00	33,5
12/12/2016	6:30:00	28,9	12/12/2016	18:30:00	33,2
12/12/2016	6:45:00	28,1	12/12/2016	18:45:00	32,8
12/12/2016	7:00:00	28,7	12/12/2016	19:00:00	33,4
12/12/2016	7:15:00	29,2	12/12/2016	19:15:00	32,1
12/12/2016	7:30:00	30,4	12/12/2016	19:30:00	32,3
12/12/2016	7:45:00	30,2	12/12/2016	19:45:00	31,5
12/12/2016	8:00:00	30,7	12/12/2016	20:00:00	31
12/12/2016	8:15:00	29,3	12/12/2016	20:15:00	31,7
12/12/2016	8:30:00	30,4	12/12/2016	20:30:00	32
12/12/2016	8:45:00	31,4	12/12/2016	20:45:00	31,3
12/12/2016	9:00:00	32,8	12/12/2016	21:00:00	32,4
12/12/2016	9:15:00	32,3	12/12/2016	21:15:00	30,8
12/12/2016	9:30:00	31,9	12/12/2016	21:30:00	30,8
12/12/2016	9:45:00	32,3	12/12/2016	21:45:00	32,1
12/12/2016	10:00:00	32,6	12/12/2016	22:00:00	33,1
12/12/2016	10:15:00	32,2	12/12/2016	22:15:00	33,6
12/12/2016	10:30:00	31,8	12/12/2016	22:30:00	34,8
12/12/2016	10:45:00	33,1	12/12/2016	22:45:00	33
12/12/2016	11:00:00	32,2	12/12/2016	23:00:00	33,9
12/12/2016	11:15:00	33,6	12/12/2016	23:15:00	33
12/12/2016	11:30:00	33,2	12/12/2016	23:30:00	33,1
12/12/2016	11:45:00	32,8	12/12/2016	23:45:00	33,1



## D. ESTACIÓN BELLVIS/MADERAS

Fecha	Hora	P (mca)	Fecha	Hora	P (mca)
12/12/2016	0:00:00	40,8	12/12/2016	12:00:00	40,2
12/12/2016	0:15:00	40,7	12/12/2016	12:15:00	40,9
12/12/2016	0:30:00	41,1	12/12/2016	12:30:00	41,3
12/12/2016	0:45:00	41,2	12/12/2016	12:45:00	41,1
12/12/2016	1:00:00	39,4	12/12/2016	13:00:00	41,1
12/12/2016	1:15:00	40,3	12/12/2016	13:15:00	40,9
12/12/2016	1:30:00	40,4	12/12/2016	13:30:00	40,4
12/12/2016	1:45:00	40	12/12/2016	13:45:00	40,5
12/12/2016	2:00:00	38,4	12/12/2016	14:00:00	40,2
12/12/2016	2:15:00	39,1	12/12/2016	14:15:00	39,9
12/12/2016	2:30:00	40,5	12/12/2016	14:30:00	39,6
12/12/2016	2:45:00	40,2	12/12/2016	14:45:00	39,9
12/12/2016	3:00:00	39,4	12/12/2016	15:00:00	38,9
12/12/2016	3:15:00	40	12/12/2016	15:15:00	39,3
12/12/2016	3:30:00	40,7	12/12/2016	15:30:00	40,5
12/12/2016	3:45:00	40,7	12/12/2016	15:45:00	40,8
12/12/2016	4:00:00	35,9	12/12/2016	16:00:00	41,1
12/12/2016	4:15:00	35	12/12/2016	16:15:00	41,9
12/12/2016	4:30:00	35,4	12/12/2016	16:30:00	41,6
12/12/2016	4:45:00	37,8	12/12/2016	16:45:00	41,8
12/12/2016	5:00:00	39,2	12/12/2016	17:00:00	41,4
12/12/2016	5:15:00	38,4	12/12/2016	17:15:00	39,8
12/12/2016	5:30:00	37,9	12/12/2016	17:30:00	39,9
12/12/2016	5:45:00	37,9	12/12/2016	17:45:00	39,1
12/12/2016	6:00:00	37,1	12/12/2016	18:00:00	38,4
12/12/2016	6:15:00	34,4	12/12/2016	18:15:00	39,4
12/12/2016	6:30:00	34	12/12/2016	18:30:00	39,1
12/12/2016	6:45:00	33,8	12/12/2016	18:45:00	39
12/12/2016	7:00:00	34,9	12/12/2016	19:00:00	39,4
12/12/2016	7:15:00	35,5	12/12/2016	19:15:00	37,9
12/12/2016	7:30:00	36,3	12/12/2016	19:30:00	38
12/12/2016	7:45:00	36	12/12/2016	19:45:00	37,3
12/12/2016	8:00:00	36,3	12/12/2016	20:00:00	36,7
12/12/2016	8:15:00	34,7	12/12/2016	20:15:00	37,2
12/12/2016	8:30:00	36,3	12/12/2016	20:30:00	38,1
12/12/2016	8:45:00	37,4	12/12/2016	20:45:00	37,6
12/12/2016	9:00:00	38,9	12/12/2016	21:00:00	38,7
12/12/2016	9:15:00	38,5	12/12/2016	21:15:00	37
12/12/2016	9:30:00	38,1	12/12/2016	21:30:00	37,3
12/12/2016	9:45:00	38,6	12/12/2016	21:45:00	38,7
12/12/2016	10:00:00	38,7	12/12/2016	22:00:00	39,7
12/12/2016	10:15:00	38,6	12/12/2016	22:15:00	40,4
12/12/2016	10:30:00	38,1	12/12/2016	22:30:00	41,8
12/12/2016	10:45:00	39,4	12/12/2016	22:45:00	39,7
12/12/2016	11:00:00	38,5	12/12/2016	23:00:00	40,3
12/12/2016	11:15:00	40,1	12/12/2016	23:15:00	38,9
12/12/2016	11:30:00	39,8	12/12/2016	23:30:00	38,9
12/12/2016	11:45:00	39,5	12/12/2016	23:45:00	38,7



## ANEXO 2. INFORMACIÓN DE LA RED EN EPANET

### A. CARACTERÍSTICAS DE LAS TUBERÍAS

El archivo .inp procedente de Epanet se puede exportar a .txt donde aparece el conjunto de datos que forman la red. De esta forma se ha podido conocer qué longitudes hay de cada diámetro y material, entre otras cosas. Manejando un poco los datos en Excel, se puede llegar a la tabla mostrada, que sólo es una muy pequeña parte de todo el documento. En ella se muestra, la ID de la tubería, los nudos que conecta, la longitud, el diámetro y la rugosidad según Hazen-Williams.

ID	Node1	Node2	Length	Diameter		Roughness
5484837	J980	J963	9,475	40	POLIETILENO	150
5485055	J1104	J1106	1,3	32	POLIETILENO	150
5485079	J1001	J1005	3,019	32	POLIETILENO	150
5485245	J959	J962	3,964	40	POLIETILENO	150
5487171	J1006	J1022	33,798	250	FIBROCEMENTO	135
5487207	J1006	J1009	10,042	250	FIBROCEMENTO	135
5487271	J998	J1002	9,954	250	FIBROCEMENTO	135
5487277	J1002	J1006	2,935	250	FIBROCEMENTO	135
5491170	J1535	J1541	11,485	80	FUNDICIONDUCTIL30	95
5501543	J2119	J2133	38,456	150	FIBROCEMENTO	135
5501558	J2110	J2105	7,915	150	FIBROCEMENTO	135
5501587	J2110	J2111	2,5	150	FUNDICIONDUCTIL30	95
5501593	J2111	J2119	5,173	150	FIBROCEMENTO	135
5501599	J2150	J2157	4	150	FUNDICIONDUCTIL30	95
5505194	J1769	J1770	2,029	60	FUNDICION	70
5505383	J1770	J1855	64,023	50	POLIETILENO	150
15261257	J2133	J2118	16,656	25	POLIETILENO	150
15261270	J2133	J2150	28,362	150	FIBROCEMENTO	135
15294729	J1009	J1041	32,778	20	POLIETILENO	150
15404723	J926	J1013	53,75	450	FUNDICIONDUCTIL30	95
15404879	J926	J338	404,338	450	FUNDICIONDUCTIL30	95
15405080	J1043	J1013	22,816	450	FUNDICIONDUCTIL30	95
15405105	J1046	J1048	1,5	100	FUNDICIONDUCTIL30	95
15405135	J1043	J1044	1,5	100	FUNDICIONDUCTIL30	95
15405148	J1046	J1043	2	450	FUNDICION	70
15405173	J1044	J1045	1,379	100	FIBROCEMENTO	135
15405538	J1295	J1283	20,819	80	FIBROCEMENTO	135
15405627	J1367	J1415	21,231	250	FIBROCEMENTO	135



## B. LOCALIZACIÓN NUDOS Y TUBERÍAS

Como no se dispone de un plano en el que se muestre las tuberías que hay que cambiar, por no disponer del plano en AutoCad, la manera que se propone para localizarlas es mediante la siguiente tabla extraída de Epanet y manejada en Excel.

	ID	Node1	Node2	Node	X-Coord (1)	Y-Coord (1)
POLIETILENO	5484837	J980	J963	J1	727374,93	4371881,15
POLIETILENO	5485055	J1104	J1106	J2	727387,55	4371846,3
POLIETILENO	5485079	J1001	J1005	J3	727392,51	4371875,96
POLIETILENO	5485245	J959	J962	J4	727392,88	4371942,21
FIBROCEMENTO	5487171	J1006	J1022	J5	727394,45	4371875,47
FIBROCEMENTO	5487207	J1006	J1009	J6	727396,22	4371871,13
FIBROCEMENTO	5487271	J998	J1002	J7	727398,55	4371956,12
FIBROCEMENTO	5487277	J1002	J1006	J8	727407,24	4371871,98
FUNDICIONDUCTIL30	5491170	J1535	J1541	J9	727413,46	4371868,66
FIBROCEMENTO	5501543	J2119	J2133	J10	727415,29	4371865,18
FIBROCEMENTO	5501558	J2110	J2105	J11	727415,43	4371926,54
FUNDICIONDUCTIL30	5501587	J2110	J2111	J12	727415,97	4371867,93
FIBROCEMENTO	5501593	J2111	J2119	J13	727418,35	4371933,29
FUNDICIONDUCTIL30	5501599	J2150	J2157	J14	727421,42	4371949,08
FUNDICION	5505194	J1769	J1770	J15	727423,08	4371954,89
POLIETILENO	5505383	J1770	J1855	J16	727435,63	4371861,8
POLIETILENO	15261257	J2133	J2118	J17	727436,34	4371861,93
FIBROCEMENTO	15261270	J2133	J2150	J18	727436,53	4371862,71
POLIETILENO	15294729	J1009	J1041	J19	727436,9	4371861,51
FUNDICIONDUCTIL30	15404723	J926	J1013	J20	727446,24	4371941,64
FUNDICIONDUCTIL30	15404879	J926	J338	J21	727448,87	4372026,04
FUNDICIONDUCTIL30	15405080	J1043	J1013	J22	727449,92	4372025,72
FUNDICIONDUCTIL30	15405105	J1046	J1048	J23	727451,81	4371858,09
FUNDICIONDUCTIL30	15405135	J1043	J1044	J24	727455,9	4371743,21
FUNDICION	15405148	J1046	J1043	J25	727460,13	4371783,56
FIBROCEMENTO	15405173	J1044	J1045	J26	727468,95	4372080,65
FIBROCEMENTO	15405538	J1295	J1283	J27	727469,46	4372082,13
FIBROCEMENTO	15405627	J1367	J1415	J28	727470,48	4372084,78
FUNDICIONDUCTIL30	15405738	J1169	J1090	J29	727482,66	4372122,31
FIBROCEMENTO	15405750	J1079	J1090	J30	727483,17	4372123,87
FIBROCEMENTO	15406117	J1377	J1415	J31	727483,38	4371850,93
FIBROCEMENTO	15406238	J1368	J1360	J32	727483,86	4372123,53
FIBROCEMENTO	15406390	J1480	J1487	J33	727484,08	4372124,25
FUNDICIONDUCTIL30	15406467	J1507	J1457	J34	727484,41	4371850,7
FIBROCEMENTO	15406480	J1487	J1507	J35	727484,54	4372123,32
FIBROCEMENTO	15406835	J1448	J1457	J36	727484,49	4372206,17



Así teniendo dicha tabla, basta observar las tuberías que son de fibrocemento y detectar los nudos que conecta. Una vez obtenidos se acude a la columna de coordenadas de los nudos, donde ya se podrá ver la localización exacta de la tubería a cambiar.



# PRESUPUESTO

Universitat Politècnica de València





**RESUMEN PRESUPUESTO**

CAPÍTULOS

CAP 1 MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	617,290.79 €
CAP 2 MATERIAL Y EJECUCIÓN .....	1,162,132.18 €
CAP 3 GESTIÓN DE RESIDUOS .....	17,708.14 €

**TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM) 1,797,131.11 €**

13% GASTOS GENERALES 233627.0448 €

6% BENEFICIO INDUSTRIAL 107827.8668 €

**PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC) 2,138,586.03 €**

21% I.V.A. 449103.0653 €

**PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN 2,587,689.09 €**



Código	Tipo	Ud	Resumen	Cantidad	Precio	Importe
<b>CAP1</b>	<b>capítulo</b>		<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>			<b>617.290,79</b>
<b>AMME.3ccbca</b>	<b>Partida</b>	<b>m3</b>	<b>EXCAVACIÓN DE ZANJA URBANA</b>	<b>12470,5218</b>	<b>26,57</b>	<b>331341,7642</b>
			Excavación de zanja urbana mediante retroexcavadora con martillo rompedor en tránsito-duro con un ancho de 60 cm incluida la demolición del pavimento de asfalto y la retirada de material y sin incluir la carga y transporte			
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario de construcción	0,215	13,11	2,82
MMME.2fd	Maquinaria	h	Retro de orugas 150 cv 1,4 m3	0,215	87	18,71
MMME-8a	Maquinaria	h	Suplemento por martillo picador	0,215	20	4,3
%			Costes directos complementarios	0,02	25,83	0,52
DDDV.1ab		m3	Demol firme mezcla bituminosa mmec	0,008	27,7	0,21
			<b>Total partida.....</b>	<b>12470,5218</b>	<b>26,57</b>	<b>331341,7642</b>
<b>DA21450</b>		<b>m3</b>	<b>TAPADO ZANJAS CON ZAHORRAS</b>	<b>12.470,52</b>	<b>22,93</b>	<b>225.949,02</b>
			Tapado y compactado de zanja con aportación de zahorras limpias, procedentes de machaqueo, extendidas en capas de 25 cm. De espesor máximo, compactadas al 95% del proctor modificado			
MTPP1034_A	Material	Tn	Zahorra artificial 0/80	1,5000	6,92	10,38
MMM044	Maquinaria	h	Retro neumático 130 Cv 1 m3	0,0599	65,28	3,91



			Retroexcavadora de neumáticos de potencia 130 cv, capacidad de la cuchara retroexcavadora estándar 1 m3			
MMM054	Maquinaria	h	Rodillo vibratorio autpro 4 Tm	0,0300	55,41	1,66
MO023	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción	0,4168	14,63	6,10
%M.AUX		%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,2205	4,00	0,88
<b>Total partida.....</b>				<b>12.470,52</b>	<b>22,93</b>	<b>225.949,02</b>
					<b>TOTAL (€)</b>	<b>617.290,79</b>

<b>C02</b>	<b>capítulo</b>	<b>MATERIAL Y EJECUCIÓN</b>			<b>1.162.132,18</b>
------------	-----------------	-----------------------------	--	--	---------------------

<b>GGFF.2a</b>	<b>Partida</b>	<b>m</b>	<b>Ret tubo FC diám &lt;200mm</b>	<b>17512,381</b>	<b>6,56</b>	<b>114881,2194</b>
			Desmontaje manual de canalización enterrada de tubos de fibrocemento de hasta 200 mm de diámetro realizada con medios mecánicos y personal autorizado, incluida la retirada de escombros, la carga, y el transporte y el canón del vertedero de los residuos generados			
MOOA.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción	0,105	15,77	1,66
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción	0,21	13,11	2,75
MMME.1baa	Maquinaria	h	Retro de neum c/palafrtl 0,34 m3	0,04	50,44	2,02
%			Costes directos complementarios	0,02	6,43	0,13
<b>Total partida.....</b>				<b>17512,381</b>	<b>6,56</b>	<b>114881,2194</b>

<b>GGFF.2b</b>	<b>Partida</b>	<b>m</b>	<b>Ret tubo FC 200&lt;diám &lt;700</b>	<b>3271,822</b>	<b>30,43</b>	<b>99561,54346</b>
			Desmontaje manual de canalización enterrada de tubos de fibrocemento de entre 200 mm y 700 mm de diámetro realizada con medios mecánicos y personal autorizado, incluida la retirada de escombros, la carga, y el transporte y el canón del vertedero de los residuos generados			
MOOA.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción	0,35	15,77	
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario construcción	0,7	13,11	
MMME.1baa	Maquinaria	h	Retro de neum c/palafrtl 0,34 m3	0,3	50,44	
%			Costes directos complementarios	0,02	29,83	



			<b>Total partida.....</b>	<b>3271,822</b>	<b>30,43</b>	<b>99561,54346</b>
<b>EIFN.5dba</b>	<b>m</b>		<b>tubo de PE 100 110mm 10 atm</b>	<b>11847,059</b>	<b>12,75</b>	<b>151050,00</b>
			Suministro e instalación en zanja de tubo de polietileno de alta densidad pe negro con banda azul para abastecimiento de agua potable de 110 mm de diámetro nominal y 10 atmósferas de presión de trabajo, con marcado aenor y conforme a la une 1452, sin incluir la excavación ni rellenos de zanja			
MOOF.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanería	0,187	16,58	3,09
MOOA.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción	0,187	15,77	2,94
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario de construcción	0,187	13,11	2,45
PUAC.8dba	Material	m	Tubo de PE 100 110mm 10 atm	1,05	3,81	4
%M-aux		%	Costes complementarios	0,02	12,5	0,25
			<b>Total partida.....</b>	<b>11847,059</b>	<b>12,75</b>	<b>151050,00</b>
<b>EIFN.5eba</b>	<b>m</b>		<b>Tubo de PE 100 125 mm 10 atm</b>	<b>45,75</b>	<b>15,75</b>	<b>720,5625</b>
			Suministro e instalación en zanja de tubo de polietileno de alta densidad pe negro con banda azul para abastecimiento de agua potable de 125 mm de diámetro nominal y 10 atmósferas de presión de trabajo, con marcado aenor y conforme a la une 1452, sin incluir la excavación ni rellenos de zanja			
MOOF.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanería	0,226	16,58	3,75
MOOA.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción	0,226	15,77	3,57
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario de construcción	0,226	13,11	2,97
PUAC.8eba	Material	m	Tubo de PE 100 125 mm 10 atm	1,05	4,92	5,17
%			costes directos complementarios	0,02	15,44	0,31
			<b>Total partida.....</b>	<b>45,75</b>	<b>15,75</b>	<b>720,5625</b>
<b>EIFN.5gba</b>	<b>m</b>		<b>Tubo de PE 100 160 mm 10 atm</b>	<b>5292,87</b>	<b>24,4</b>	<b>129146,028</b>



			Suministro e instalación en zanja de tubo de polietileno de alta densidad pe negro con banda azul para abastecimiento de agua potable de 150 mm de diámetro nominal y 10 atmósferas de presión de trabajo, con marcado aenor y conforme a la une 1452, sin incluir la excavación ni rellenos de zanja			
MOOF.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanería	0,319	16,58	5,29
MOOA.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción	0,319	15,77	5,04
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario de construcción	0,319	13,11	4,19
PUAC.8eba	Material	m	Tubo de PE 100 125 mm 10 atm	1,05	7,9	8,3
MMMt.9a	Maquinaria	h	Cmn grúa p/descarga tb H	0,02	56,02	1,12
%			costes directos complementarios	0,02	23,92	0,48
			<b>Total partida.....</b>	<b>5292,87</b>	<b>24,4</b>	<b>129146,028</b>
<b>EIFN.5iba</b>		<b>m</b>	<b>Tubo de PE 100 200 mm 10 atm</b>	<b>326,7</b>	<b>34,03</b>	<b>11117,601</b>
			Suministro e instalación en zanja de tubo de polietileno de alta densidad pe negro con banda azul para abastecimiento de agua potable de 200 mm de diámetro nominal y 10 atmósferas de presión de trabajo, con marcado aenor y conforme a la une 1452, sin incluir la excavación ni rellenos de zanja			
MOOF.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanería	0,425	16,58	7,05
MOOA.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción	0,425	15,77	6,71
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario de construcción	0,425	13,11	5,58
PUAC.8eba	Material	m	Tubo de PE 100 200 mm 10 atm	1,05	12,3	12,92
MMMt.9a	Maquinaria	h	Cmn grúa p/descarga tb H	0,02	56,02	1,12
%			costes directos complementarios	0,02	33,36	0,67
			<b>Total partida.....</b>	<b>326,7</b>	<b>34,03</b>	<b>11117,601</b>
<b>EIFN.5kba</b>		<b>m</b>	<b>Tubo de PE 100 250 mm 10 atm</b>	<b>3271,82</b>	<b>47,63</b>	<b>155836,7866</b>



			Suministro e instalación en zanja de tubo de polietileno de alta densidad pe negro con banda azul para abastecimiento de agua potable de 250 mm de diámetro nominal y 10 atmósferas de presión de trabajo, con marcado aenor y conforme a la une 1452, sin incluir la excavación ni rellenos de zanja			
MOOF.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª fontanería	0,558	16,58	9,25
MOOA.8a	Mano de obra	h	Oficial 1ª construcción	0,558	15,77	8,8
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario de construcción	0,558	13,11	7,32
PUAC.8eba	Material	m	Tubo de PE 100 200 mm 10 atm	1,05	19,25	20,21
MMMt.9a	Maquinaria	h	Cmn grúa p/descarga tb H	0,02	56,02	1,12
%			costes directos complementarios	0,02	46,7	0,93
			<b>Total partida.....</b>	<b>3271,82</b>	<b>47,63</b>	<b>155836,7866</b>

<b>DA11130</b>		<b>m2</b>	<b>RECOMP. PAVTº AGLOM. ASF. 10 FONO.</b>	<b>12.470,52</b>	<b>40,08</b>	<b>499.818,44</b>
			Recomposición de pavimento con aglomerado fonoabsorbente de 10 cm de espesor			
MTPP1010B	Mano de obra	m2	Riego de imprimación	1,0000	0,41	0,41
MTPP1011B	Mano de obra	m2	Riego de adherencia	1,0000	0,22	0,22
MTPP1008B	Material	m2	Mezcla bitum. caliente s-12, árido calizo, betún asf. 6 cm.	1,0000	24,14	24,14
MTPP1009B	Material	m2	M.bitum. caliente sma-11, árido porfidico, fonoabsorbente 3 cm.	1,0000	13,77	13,77
%M.AUX		%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,3854	4,00	1,54
			<b>Total partida.....</b>	<b>12.470,52</b>	<b>40,08</b>	<b>499.818,44</b>

<b>C03</b>	<b>capítulo</b>	<b>GESTIÓN DE RESIUDOS</b>	<b>17708,12</b>
<b>GGCR.1ab</b>	<b>m3</b>	<b>12470,5218</b>	<b>1,42 17708,14</b>



			Carga mecánica de residuos de construcción y demolición mezclados sobre camión (incluido el tiempo de espera de éste), incluso la carga			
MOOA12a	Mano de obra	h	Peón ordinario de construcción	0,025	13,11	0,33
MMMR.1bb	Maquinaria	h	Pala cgrga de neum 102 cv 1,7 m3	0,015	44,61	0,67
MMMT.5aaa	Maquinaria	h	cmn de transp 10t 8m3 2 ejes	0,015	25,71	0,39
%			Costes directos complementarios	1,39		0,03
			<b>Total</b>			
			<b>partida.....</b>	<b>12470,5218</b>	<b>1,42</b>	<b>17708,14096</b>





# PLANOS

Universitat Politècnica de València





NOTA: debido a motivos de confidencialidad, no se ha podido obtener el plano de la red de tubería en AutoCad, el cual se hubiera usado para mostrar aquellas tuberías que necesitan sustitución según la propuesta que se ha proyectado.

