

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 <i>Aplicaciones del modelo.....</i>	<i>3</i>
1.2 <i>Programas informáticos utilizados.....</i>	<i>4</i>
2. PREPARACIÓN DEL ESQUELETO DE LA RED	5
2.1 <i>Recopilación de información.....</i>	<i>5</i>
2.2 <i>Esqueletización de la red: De CAD a GISRed</i>	<i>6</i>
2.3 <i>Comprobación de la conectividad.....</i>	<i>11</i>
2.4 <i>Interpolación de cotas.....</i>	<i>13</i>
2.5 <i>Ortofoto</i>	<i>16</i>
2.6 <i>Tuberías sin servicio y válvulas cerradas</i>	<i>17</i>
2.7 <i>Comprobación final de errores y conectividad</i>	<i>18</i>
3. CARGA INICIAL DEL MODELO HIDRÁULICO	19
3.1 <i>Introducción.....</i>	<i>19</i>
3.2 <i>Asignación de consumos registrados.....</i>	<i>19</i>
3.3 <i>Primer análisis en Epanet.....</i>	<i>24</i>
3.4 <i>Asignación inicial de consumos no registrados – Método de las fugas constantes dependientes de la longitud de tubería incidente en cada nodo.....</i>	<i>25</i>
3.5 <i>Introducción de elementos hidráulicos y controles en Epanet.....</i>	<i>30</i>
3.6 <i>Curvas de modulación horaria del consumo registrado.....</i>	<i>33</i>
3.7 <i>Calibración de caudales y presiones – 2 agosto de 2013.....</i>	<i>35</i>
4. CARGA DEFINITIVA DEL MODELO HIDRÁULICO	39
4.1 <i>Asignación definitiva de consumos no registrados – Método de las fugas dependientes de la presión y de la longitud de tubería incidente en cada nodo.....</i>	<i>39</i>
4.2 <i>Calibración de caudales y presiones - 2 agosto de 2013.....</i>	<i>40</i>
4.3 <i>Calibración de caudales y presiones – 25 de noviembre de 2013.....</i>	<i>44</i>
5. CONCLUSIONES.....	47
6. REFERENCIAS.....	49

1. INTRODUCCIÓN

En este documento, que forma parte del Análisis del Abastecimiento de Agua Potable de Sagunto, se desarrolla cómo se ha realizado el modelo matemático de detalle de la red de agua potable de Sagunto.

Como se indicó en la Memoria, lo que se busca al elaborar estudio es establecer una serie de medidas e inversiones que mejoren, por una parte, la calidad del servicio y por otra, aumenten la eficiencia energética e hidráulica del sistema. El modelo matemático se crea para ayudar a encontrar estas soluciones.

Resaltar que este modelo matemático es de detalle, ya que incluye la mayor cantidad de información posible respecto al esqueleto de la red y a la carga hidráulica del modelo. No es posible llegar hasta el nivel de las acometidas ya que Aguas de Valencia aún no las tiene recogidas en su sistema de información geográfica.

Destacar también que el análisis que se realiza es dinámico durante las 24 horas de los días seleccionados. Esto permite estudiar cómo se realiza la regulación de los depósitos y bombas, variaciones de consumo y presiones, funcionamiento de las distintas válvulas reductoras de presión en función de la programación existente...

1.1 Aplicaciones del modelo

Las utilidades y aplicaciones de este modelo son varias, destacando:

- Conocimiento exhaustivo de cómo funciona la red
- Determinación de problemas singulares que pasan desapercibidos durante la explotación
- Puede servir de entrenamiento a los operadores antes situaciones anómalas
- Es una herramienta muy útil en el proceso de diseño de redes nuevas
- Análisis de la situación actual del sistema con datos en todos los puntos de la red, desde el punto de vista hidráulico y de la calidad
- Análisis de la situación para condiciones de emergencia
- Permite realizar cambios en la explotación de la red sin ningún tipo de riesgo real
- Permite establecer la mejor sectorización posible
- Permite establecer el mejor sistema de explotación de la red para mejorar la eficiencia hidráulica y energética

Todas estas aplicaciones constituyen una ventaja sustancial en la gestión del sistema, siempre y cuando el modelo esté bien construido y sea fidedigno.

1.2 Programas informáticos utilizados

Antes de comenzar a explicar cómo se ha realizado el modelo es preceptivo indicar qué programas y aplicaciones informáticas han sido utilizados.

Según la estructuración de cómo se ha creado el modelo matemático se tiene:

- **Preparación del esqueleto de la red:** AutoCAD (Autodesk), Extensión GISRed de Arcview (ESRI), ArcGis (ESRI), Microsoft Excel y Base de datos de Open Office.
- **Carga inicial del modelo hidráulico:** Hasta asignación de consumos registrados GISRED. Posteriormente Microsoft Excel, Base de datos Open Office, Microsoft Access y Epanet.
- **Carga definitiva del modelo hidráulico:** Microsoft Excel, Base de datos Open Office, Microsoft Access y Epanet.

Además de estos programas, para realizar el resto del trabajo se han utilizado otros programas como Microsoft Word, Adobe Photoshop y Presto.

De todas las herramientas y programas informáticos citados cabe destacar la extensión GISRed versión 2.0 para Arcview 3.2, desarrollada por Hugo J Bartolín Ayala y Fernando Martínez Alzamora, del Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente de la Universidad Politécnica de Valencia.

Esta extensión permite crear un modelo hidráulico de una red de abastecimiento a partir de la información vectorial existente, cargar consumos y finalmente pueda ser exportada a Epanet

También ha resultado muy útil el manual de esta extensión desarrollado por los mismos autores. (*Bartolín, H.J. y Martínez Alzamora, F. 2006*).

La versión de Epanet utilizada es Epanet V2.0, traducida al castellano por Fernando Martínez Alzamora con la financiación de Aguas de Valencia. Uno de los aspectos positivos de esta versión es que es totalmente compatible con GISRed.

Aunque la asignación de fugas también podría haberse hecho con GISRed se ha preferido realizar una asignación no automática con Microsoft Excel para que ésta sea más correcta. Esto será explicado en este documento.

Además de las referencias incluidas en este documento cabe destacar el libro “Análisis y diseño de redes de distribución de agua” (*Iglesias, P.L. y Martínez Solano, F.J. (2012)*), que ha sido muy útil a la hora de configurar la red en Epanet y todo el fundamento teórico indicado por D. Jorge García-Serra.

2. PREPARACIÓN DEL ESQUELETO DE LA RED

2.1 Recopilación de información

La información de partida de esta red de abastecimiento de agua potable ha sido proporcionada tanto en papel como en formato digital CAD por Aguas de Sagunto y Aguas de Valencia.

➤ **Información contenida en las capas CAD**

REDES DE AGUA

- Red de agua potable general
- Red de agua potable Parc Sagunt
- Red proyectada
- Red de riego
- Red de incendios
 - Inguinsa
 - Parc Sagunt
- Red de agua industrial
 - Camí la Mar
 - Inguinsa (y riego)
 - Parc Sagunt
- Red privada Almardà
- Red traída potable Parc Sagunt
- Red abandonada

ELEMENTOS DE LA RED

- Válvulas → Hay información sobre si están cerradas, en funcionamiento, reductoras...
- Ventosas
- Desagües
- Hidrantes

A efectos prácticos, para este modelo sólo se ha tenido en cuenta la red de agua potable y las redes de traída desde la ETAP hasta las distintas redes hidráulicas.

Existe información en CAD sobre materiales y diámetros, pero no está categorizada y no permite hacer consultas en base de datos. No se dispone de un sistema de información geográfica y ha tenido que crearse personalmente a partir de todos estos datos, mediante la extensión GISRed de Arcview. Es un paso previo y necesario para poder obtener finalmente el modelo matemático de la red en Epanet.

2.2.1 Adecuación de la información CAD

Habrá que clasificar por diámetros y materiales todas las tuberías de la red de abastecimiento. Esto se hace mediante la generación de capas con nombre de diámetros y tuberías.



De todas formas, en GISRED habrá que comprobar la conectividad de la red mediante una herramienta específica ya que al pasar la información a ese programa mucho de lo conectado en CAD será inconexo.

Las tuberías que no se conocen con precisión las agrupamos en una capa llamada “desconocidas” para que puedan ser editadas después en GISRed cuando se conozcan sus características.

2.2.2 Importación de la información a GISRed

GISRed es una extensión desarrollada conjuntamente por la UPV y Aguas de Valencia para Arcview. Permite editar, preparar y modelizar una red procedente de distintos formatos (entre ellos CAD). Por último permite exportar la red a Epanet para que el modelo pueda ser ejecutado.

➤ Creación del proyecto en GISRed

Lo primero que hay que hacer es cargar las extensiones GISRed v 2.0 y CadReader. Lo siguiente es crear un proyecto en GISRed. Lo guardamos en c:\ para que la ruta sea más corta y no haya problemas. La secuencia de comando es GISRed → New:

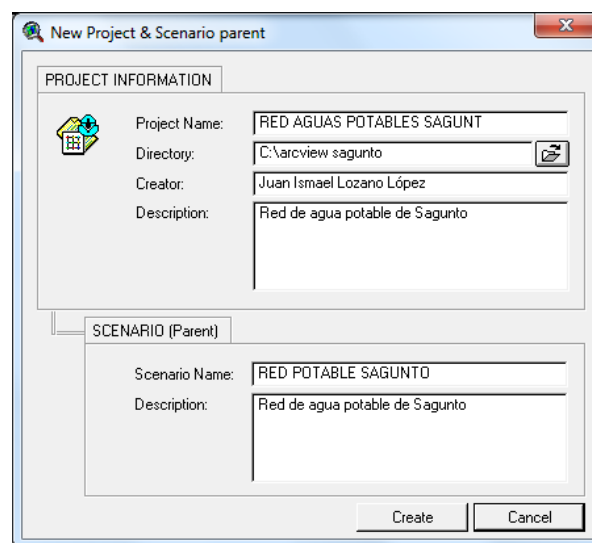


Figura 2-2. Creación del nuevo proyecto de GISRed

El siguiente paso consiste en añadir el archivo CAD que hemos editado. La vista queda así:

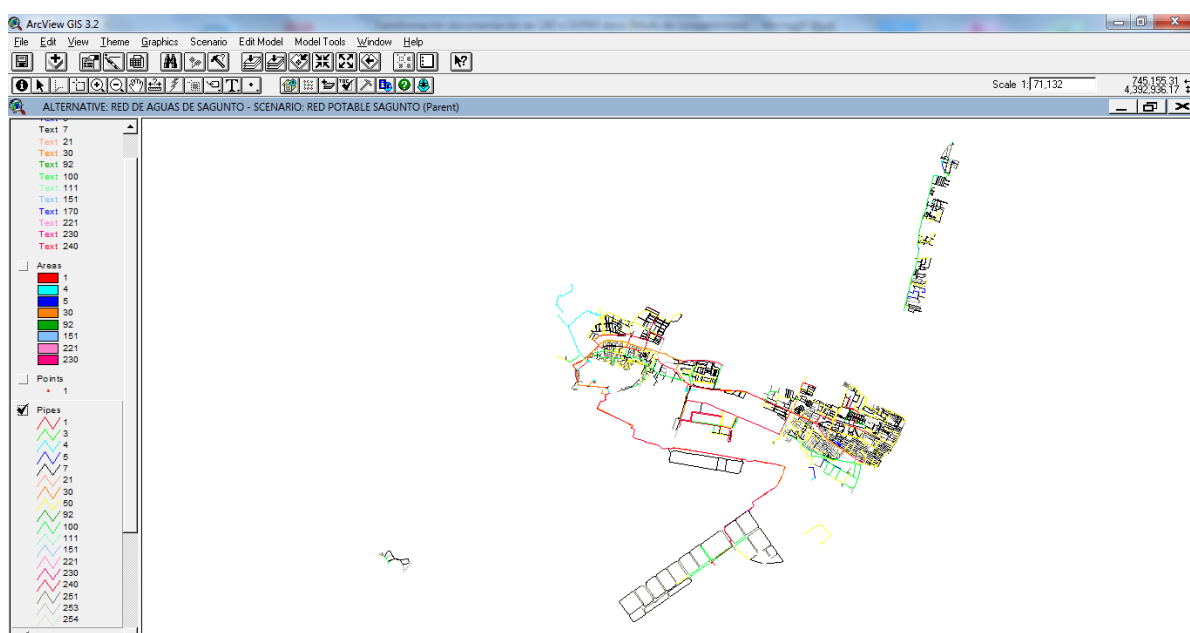


Figura 2-3. Vista de GISRed tras añadir el archivo CAD

➤ Importación de la red de agua potable

Teniendo seleccionada la capa “LINKS OF RED POTABLE” (con sólo las capas deseadas), se inicia la importación mediante “Import Network” → Cad Layer:

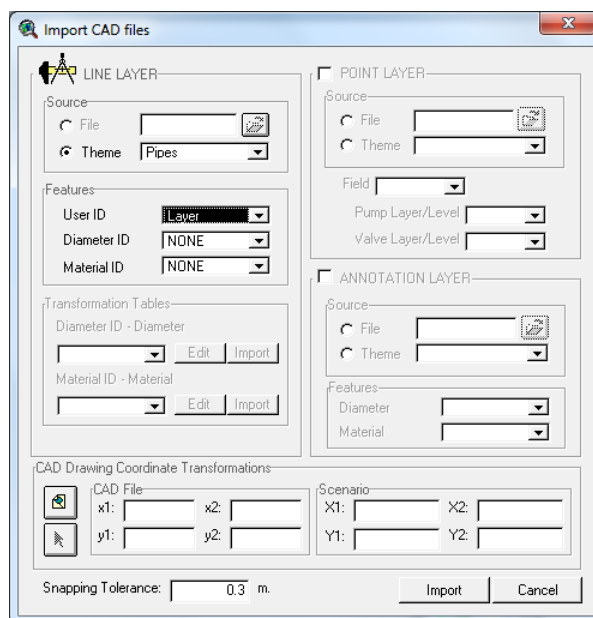


Figura 2-4. Ventana de importación desde CAD

El aspecto de la red tras ser importada a formato GISRed es el siguiente:

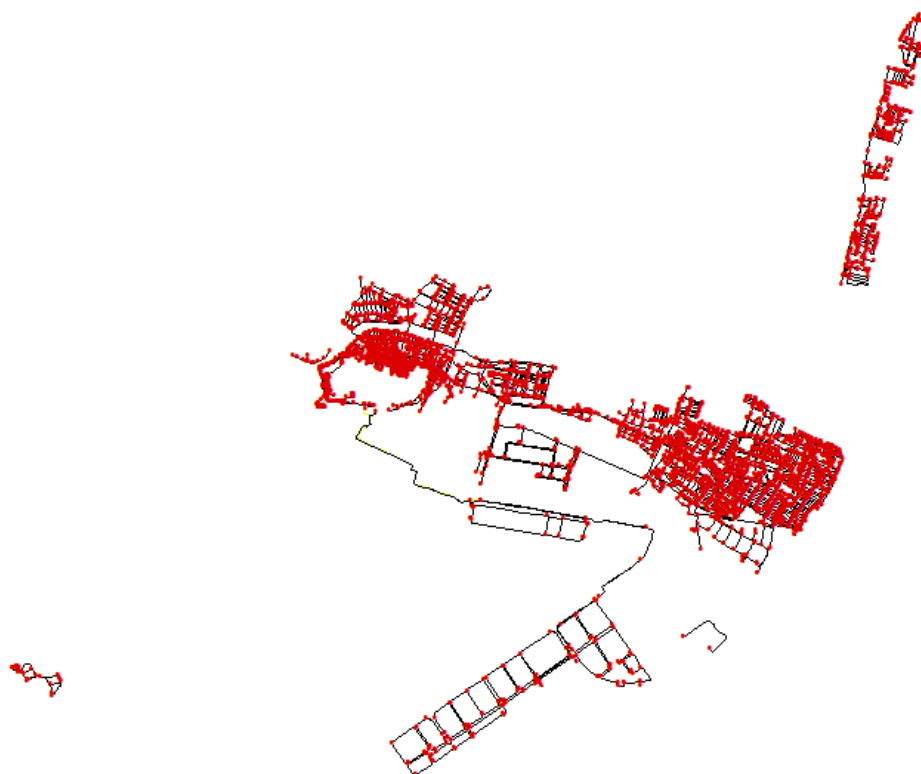


Figura 2-5. Red importada en GISRed

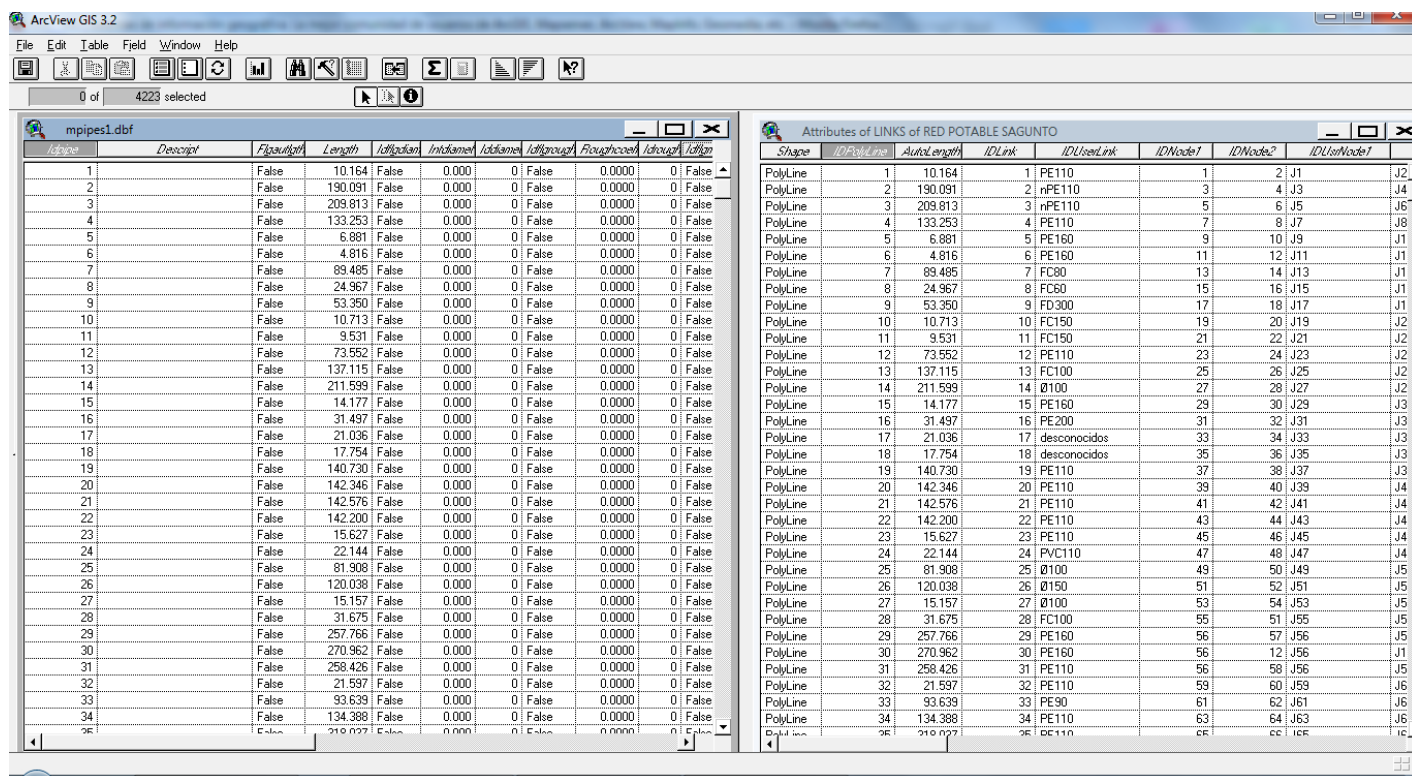
2.2.3 Asignación de materiales y diámetros a las tuberías

Se han agrupado en diferentes capas de CAD las tuberías por diámetros y materiales. Ahora hay que asignar esas capas que están en la tabla “Attributes of LINKS of RED POTABLE SAGUNTO” a la red recientemente importada. Para ello hay que ir a “Tables” y añadir a “mpipes1” la tabla “Attributes of LINKS of RED POTABLE SAGUNTO” mediante la herramienta “Join”.

Como se puede comprobar, existen el mismo número de tuberías en las dos tablas y además están en el mismo orden. Es muy sencillo asociar una tabla a la otra.

Para asociarla procedemos de la siguiente manera:

1. Ponemos en paralelo las dos tablas. A la izquierda “mpipes1” y a la derecha “Attributes of LINKS of RED POTABLE SAGUNTO”.
2. Seleccionamos la cabecera de la columna “Idpipe” (mpipes1) que será la llave de la asociación.
3. Seleccionamos la cabecera de la columna IDPolyline (Attributes...), que será la otra llave de la asociación.
4. Dejamos resaltada en primer lugar la tabla “mpipes1”.
5. Pinchamos en el botón “Join”.



IDpipe	Descripción	Fixoutlet	Length	IntDiam	IntDiam2	IntDiam3	Roughness	Roughness2	Roughness3
1		False	10.164	False	0.000	0	False	0.0000	0
2		False	190.091	False	0.000	0	False	0.0000	0
3		False	209.813	False	0.000	0	False	0.0000	0
4		False	133.253	False	0.000	0	False	0.0000	0
5		False	6.881	False	0.000	0	False	0.0000	0
6		False	4.816	False	0.000	0	False	0.0000	0
7		False	89.485	False	0.000	0	False	0.0000	0
8		False	24.967	False	0.000	0	False	0.0000	0
9		False	53.350	False	0.000	0	False	0.0000	0
10		False	10.713	False	0.000	0	False	0.0000	0
11		False	9.531	False	0.000	0	False	0.0000	0
12		False	73.552	False	0.000	0	False	0.0000	0
13		False	137.115	False	0.000	0	False	0.0000	0
14		False	211.599	False	0.000	0	False	0.0000	0
15		False	14.177	False	0.000	0	False	0.0000	0
16		False	31.497	False	0.000	0	False	0.0000	0
17		False	21.036	False	0.000	0	False	0.0000	0
18		False	17.754	False	0.000	0	False	0.0000	0
19		False	140.730	False	0.000	0	False	0.0000	0
20		False	142.346	False	0.000	0	False	0.0000	0
21		False	142.576	False	0.000	0	False	0.0000	0
22		False	142.200	False	0.000	0	False	0.0000	0
23		False	15.627	False	0.000	0	False	0.0000	0
24		False	22.144	False	0.000	0	False	0.0000	0
25		False	81.908	False	0.000	0	False	0.0000	0
26		False	120.038	False	0.000	0	False	0.0000	0
27		False	15.157	False	0.000	0	False	0.0000	0
28		False	31.675	False	0.000	0	False	0.0000	0
29		False	257.766	False	0.000	0	False	0.0000	0
30		False	270.962	False	0.000	0	False	0.0000	0
31		False	258.426	False	0.000	0	False	0.0000	0
32		False	21.597	False	0.000	0	False	0.0000	0
33		False	93.639	False	0.000	0	False	0.0000	0
34		False	134.388	False	0.000	0	False	0.0000	0
35		False	219.027	False	0.000	0	False	0.0000	0

Shape	IDPolyline	AutoLength	IDLink	IDUserLink	IDNode1	IDNode2	IDUserNode1	IDUserNode2
PolyLine	1	10.164	1	PE110	1	2	J1	J2
PolyLine	2	190.091	2	rPE110	3	4	J3	J4
PolyLine	3	209.813	3	rPE110	5	6	J5	J6
PolyLine	4	133.253	4	PE110	7	8	J7	J8
PolyLine	5	6.881	5	PE160	9	10	J9	J1
PolyLine	6	4.816	6	PE160	11	12	J11	J1
PolyLine	7	89.485	7	FC80	13	14	J13	J1
PolyLine	8	24.967	8	FC60	15	16	J15	J1
PolyLine	9	53.350	9	FD300	17	18	J17	J1
PolyLine	10	10.713	10	FC150	19	20	J19	J2
PolyLine	11	9.531	11	FC150	21	22	J21	J2
PolyLine	12	73.552	12	PE110	23	24	J23	J2
PolyLine	13	137.115	13	FC100	25	26	J25	J2
PolyLine	14	211.599	14	Ø100	27	28	J27	J2
PolyLine	15	14.177	15	PE160	29	30	J29	J3
PolyLine	16	31.497	16	PE200	31	32	J31	J3
PolyLine	17	21.036	17	desconocidos	33	34	J33	J3
PolyLine	18	17.754	18	desconocidos	35	36	J35	J3
PolyLine	19	140.730	19	PE110	37	38	J37	J3
PolyLine	20	142.346	20	PE110	39	40	J39	J4
PolyLine	21	142.576	21	PE110	41	42	J41	J4
PolyLine	22	142.200	22	PE110	43	44	J43	J4
PolyLine	23	15.627	23	PE110	45	46	J45	J4
PolyLine	24	22.144	24	PVC110	47	48	J47	J4
PolyLine	25	81.908	25	Ø100	49	50	J49	J5
PolyLine	26	120.038	26	Ø150	51	52	J51	J5
PolyLine	27	15.157	27	Ø100	53	54	J53	J5
PolyLine	28	31.675	28	FC100	55	56	J55	J5
PolyLine	29	257.766	29	PE160	57	58	J57	J5
PolyLine	30	270.962	30	PE160	59	60	J59	J6
PolyLine	31	258.426	31	PE110	61	62	J61	J6
PolyLine	32	21.597	32	PE110	63	64	J63	J6
PolyLine	33	93.639	33	PE90	65	66	J65	J6
PolyLine	34	134.388	34	PE110	67	68	J67	J6
PolyLine	35	219.027	35	PE110	69	70	J69	J6

Figura 2-6. Aspecto de las dos tablas antes de hacer la unión

Después de hacer esto las dos tablas se han unido en “mpipes1”. La asociación está hecha. Lo único restante es asignar los diámetros a la columna de “IntDiam” y materiales a “Mat”.

A la hora de asignar los diámetros tendremos que adaptar los diámetros nominales que tenemos a los diámetros interiores, que es lo que interesa hidráulicamente. En el caso de materiales no plásticos el diámetro nominal y el interior coincidirán mientras que para los plásticos habrá que asignarlo, ya que el diámetro indicado es el externo.

Para la asignación es necesario iniciar la edición mediante Tables → Start Editing. Vamos seleccionando las diferentes capas que hemos realizado y con la calculadora se le asigna el diámetro y el material a esa selección. Procediendo de esta manera vamos rellenando las características de todas las tuberías. Una ilustración de esto es la siguiente:

Idpipe	Descript	Length	Intdiamet	Iddiamet	Roughcoeff	Losscoeff	Mat	Age	Bulkcoeff	Wallcoeff	Newrough	Autolength	IDLink	IDUsedLink	IDNode1	IDNode2	IDUsedNode1
5		6.881	141.000	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	6.881	5	PE160	9	10	J9
6		4.816	141.000	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	4.816	6	PE160	11	12	J11
7		89.485	80.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	89.485	7	FC80	13	14	J13
8		24.967	60.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	24.967	8	FC60	15	16	J15
9		53.350	300.000	0	0.0000	0.000	Fundición	0	0.000	0.000	0.0000	53.350	9	FD300	17	18	J17
10		10.713	150.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	10.713	10	FC150	19	20	J19
11		9.531	150.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	9.531	11	FC150	21	22	J21
12		73.552	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	73.552	12	PE110	23	24	J23
13		137.115	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	137.115	13	desconocidos	25	26	J25
14		211.599	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	211.599	14	Ø100	27	28	J27
15		14.177	141.000	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	14.177	15	PE160	29	30	J29
16		31.497	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	31.497	16	PE200	31	32	J31
17		21.036	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	21.036	17	desconocidos	33	34	J33
18		17.754	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	17.754	18	desconocidos	35	36	J35
19		140.730	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	140.730	19	PE110	37	38	J37
20		142.346	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	142.346	20	PE110	39	40	J39
21		142.576	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	142.576	21	PE110	41	42	J41
22		142.200	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	142.200	22	PE110	43	44	J43
23		15.627	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	15.627	23	PE110	45	46	J45
24		22.144	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	22.144	24	PVC110	47	48	J47
25		81.908	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	81.908	25	Ø100	49	50	J49
26		120.038	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	120.038	26	Ø150	51	52	J51
27		15.157	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	15.157	27	Ø100	53	54	J53
28		31.675	100.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	31.675	28	FC100	55	56	J55
29		257.766	141.000	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	257.766	29	PE160	57	58	J57
30		270.962	141.000	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	270.962	30	PE160	59	60	J59
31		258.426	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	258.426	31	PE110	61	62	J61
32		21.597	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	21.597	32	PE110	63	64	J63
33		93.639	0.000	0	0.0000	0.000		0	0.000	0.000	0.0000	93.639	33	PE90	65	66	J65
34		134.388	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	134.388	34	PE110	67	68	J67
35		318.037	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	318.037	35	PE110	69	70	J69
36		350.105	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	350.105	36	PE110	71	72	J71
37		127.332	141.000	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	127.332	37	PE160	73	74	J73
38		104.007	141.000	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	104.007	38	PE160	75	76	J75
39		233.759	96.800	0	0.0000	0.000	Poliétileno	0	0.000	0.000	0.0000	233.759	39	PE110	77	78	J77
40		9.106	100.000	0	0.0000	0.000	Fibrocemento	0	0.000	0.000	0.0000	9.106	40	FC100	79	80	J79

Figura 2-7. Asignación de materiales y diámetros en "mpipes1"

Para comprobar que esto que hemos hecho está bien y los materiales y diámetros han sido bien asignados podemos ir a la vista de GISRed e ir comprobando aleatoriamente diversas tuberías. De esta forma podemos ver si coinciden las leyendas con la información de Arcview.

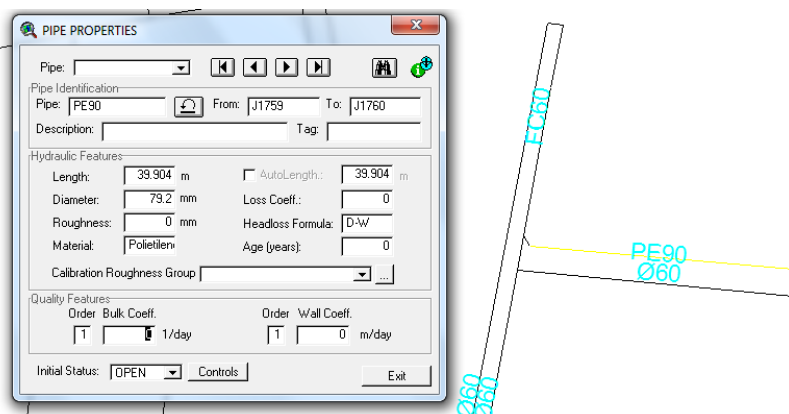


Figura 2-8. Propiedades de una tubería

2.3 Comprobación de la conectividad

Tras haber realizado todos los pasos previos es obligatorio comprobar la conectividad de todos los nodos de la red ya que desafortunadamente muchos de ellos quedan desconectados. Aunque se haya sido muy sistemático en CAD, GISRed separa uniones que están bien hechas.

Como paso previo a la comprobación de la conectividad de todos los nodos de la red se puede analizar la conectividad general de todo el sistema mediante la herramienta Model Tools → Connectivity:

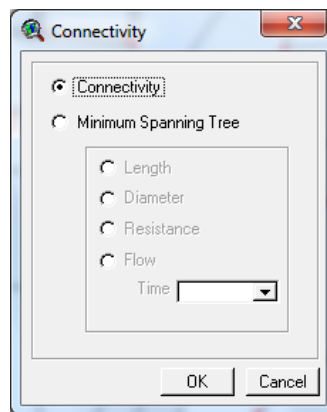


Figura 2-9. Comprobación de la conectividad del modelo

En la siguiente captura de pantalla se ve la red con diferentes colores. Si todos los puntos son alimentados desde un mismo punto y forman una malla única, el color debe ser el mismo para todas las tuberías. Como no lo es indica que la red es inconexa. De todas formas, aunque tuviera todo el mismo color eso no supone que todos los nodos están bien conectados ya que el agua podría llegar por otro camino alternativo.

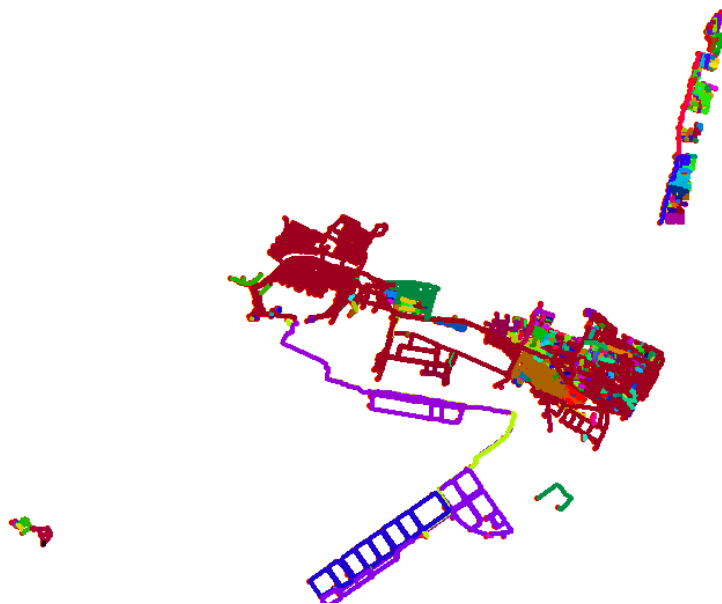


Figura 2-10. Conectividad inicial de la red

2.3.1 Edición de las conexiones

Para comprobar y editar las conexiones tenemos que utilizar la herramienta “Editings Tools”. Se pueden editar nodos o líneas (“NODES of RED POTABLE SAGUNTO” O “LINKS of RED POTABLE SAGUNTO”).

Lo más usual es editar nodos. Para ello seleccionamos la capa “NODES of RED POTABLE SAGUNTO” y le damos a “Editings Tools”. El menú es el siguiente:

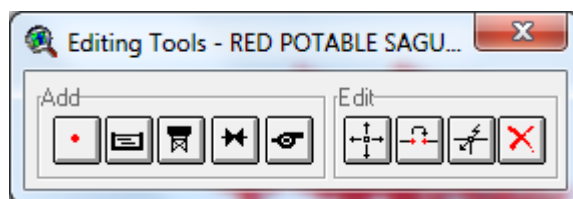


Figura 2-11. Herramientas de edición de las conexiones

Mediante esas herramientas podemos ver si un nodo está bien conectado y si no lo está, añadir otro y conectar tuberías. También se pueden eliminar, crear embalses, depósitos, válvulas, bombas...

En la siguiente captura de pantalla que surge tras aplicar la herramienta “connectivity” se observan dos zonas que no están bien conectadas al resto de la red. Con los comandos explicados en esta hoja la conectividad arreglaría quedando todo del mismo color.

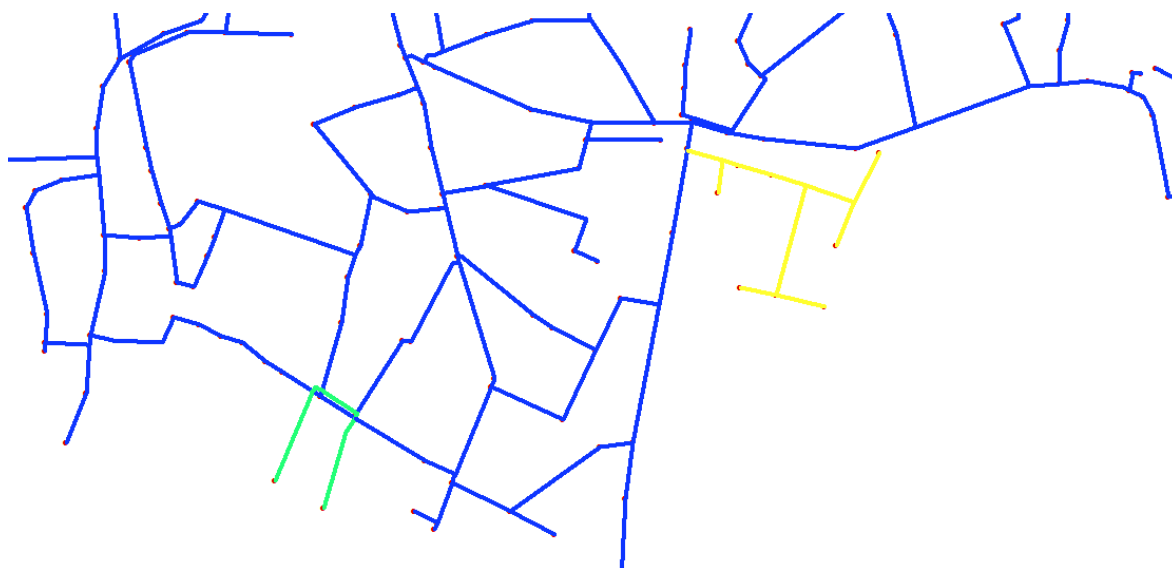


Figura 2-12. Zonas no conectadas a la red que deben ser conectadas

2.4 Interpolación de cotas

Uno de los pasos más importantes y que suele estar menos depurado en la elaboración de un modelo matemático de una red de agua potable es la interpolación de cotas en los nudos.

Existen multitud fuentes de información de dónde poder sacar estos datos así como diferentes métodos de interpolación con distintos programas. En este caso se ha optado por sacar la información del MDT-05 del Instituto Geográfico Nacional (IGN), que da información extremadamente precisa de la superficie del terreno. El máximo error que puede llegar a introducir es de 20cm. No incluye las elevaciones de los edificios, árboles, líneas aéreas...



Figura 2-13. Página del Instituto Geográfico Nacional con la descarga de esta información

Debido a que Sagunto cae justo entre la intersección de tres hojas topográficas, hay que descargar las hojas 668,669 y 696:



Figura 2-14. Hojas guía del IGN

2.4.1 Creación del GRID de cotas para la zona de trabajo

Como se ha venido comentando, el programa utilizado para crear el esqueleto de la red, asignar cotas y demandas es GISRed Arcview. Para realizar la interpolación de Cotas es necesario disponer de un GRID o Raster que tenga datos de cota en cada punto de la zona de estudio.

Para realizar una manipulación previa de estos datos y creación del GRID se ha utilizado ArcGIS. La razón es porque es más moderno, más fácil de utilizar y más fiable.

Comentar brevemente que el sistema de referencia que utiliza Aguas de Valencia es ETRS 1950 zona 30 mientras que las del Instituto Geográfico Nacional son ETRS 1989 zona 30. Por ello es necesaria una transformación de coordenadas.

Después de esto, hay que recortar la zona de trabajo ya que no tiene sentido tener un raster que abarque una extensión más amplia. Finalmente se unen los tres rasters correspondientes a cada una de las hojas topográficas.

Siguiendo todos estos pasos se consigue obtener el GRID, que utilizaremos en GISRed. Para hacernos una idea de las cotas podemos generar un Mapa de sombras como el siguiente:

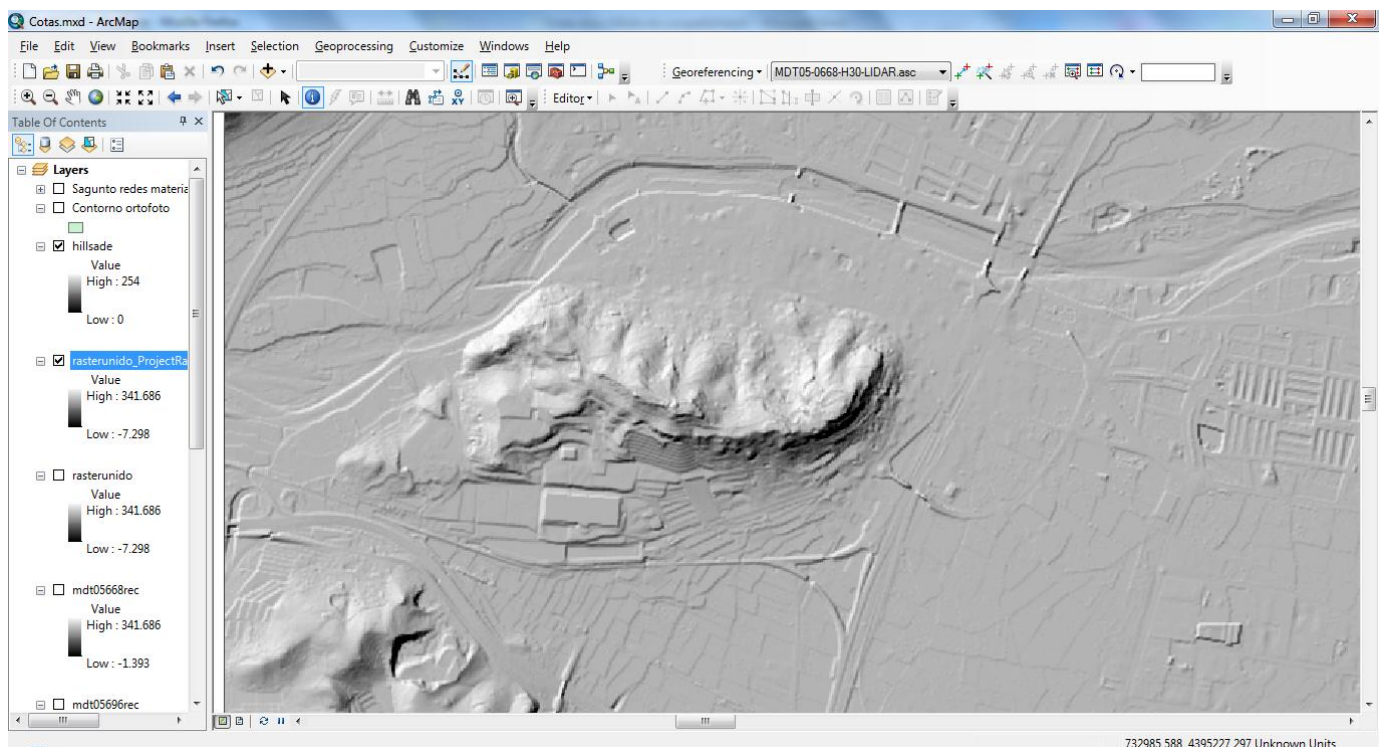


Figura 2-15. Hillshade de Sagunto Centro Urbano y Castillo de Sagunto

2.4.2 Interpolación de Cotas en GISRed

Tras la elaboración del GRID de cotas en ArcGis, se prosigue con la interpolación en GISRed. Para ello, se abre el proyecto y se añade el tema GRID. La vista es la siguiente:

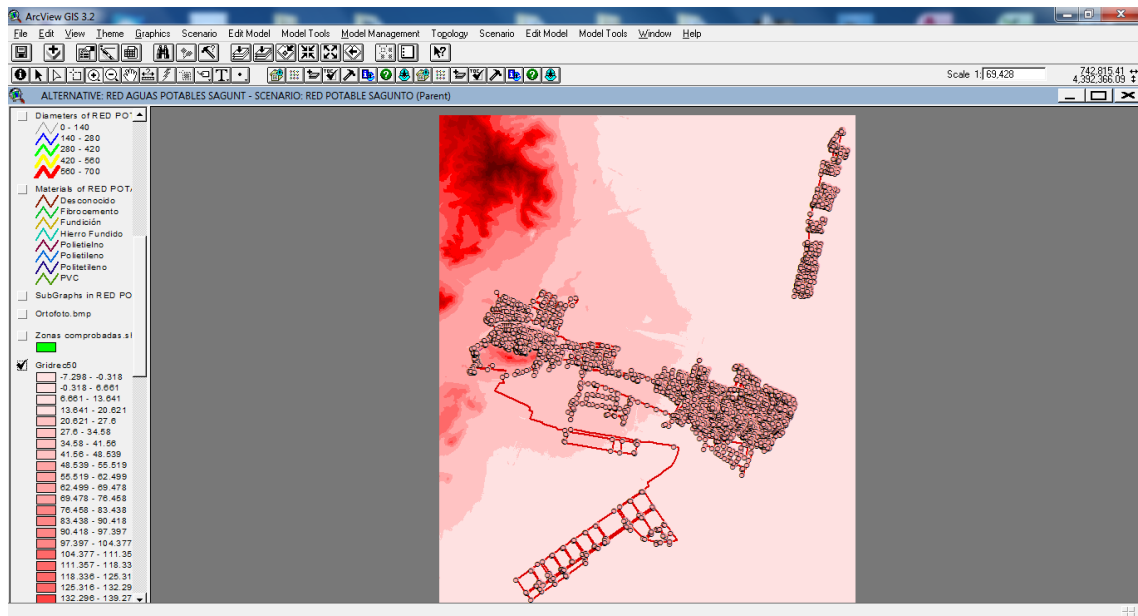


Figura 2-16. Red de abastecimiento de agua potable de Sagunto y GRID de Cotas

Tras comprobar que todo está correctamente, se puede proceder a la interpolación mediante el menú Model tools → Elevation interpolation:

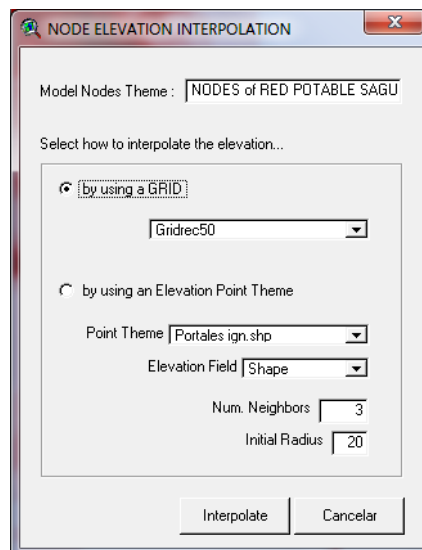


Figura 2-17. Ventana de interpolación de Cotas

De esta manera todos los nodos de la red tienen asociada una cota con una precisión muy alta, que será la utilizada por Epanet para hacer los cálculos hidráulicos.

2.5 Ortofoto

Una fuente de información fundamental a la hora de elaborar un modelo matemático es disponer de una ortofoto actual con la que contrastar la realidad con el modelo. Con ella se pueden distinguir zonas habitadas, parcelas en uso, nuevas urbanizaciones e incluso se puede comprobar si las tuberías procedentes de los ficheros CAD están ubicadas correctamente.

La fuente de información de la Ortofoto es la misma que para la de las cotas, el Instituto Geográfico Nacional IGN, en su página de descargas antes comentada. Indicar que se han tenido que descargar las hojas 696 y 698.

La manipulación de la Ortofoto descargada se ha realizado en ArcGis, siendo necesario un recorte previo, un cambio de sistema de coordenadas (igual que para las cotas), una unión de las dos partes correspondientes a las dos hojas cartográficas y por último la exportación a formato *.bmp georreferenciado.

La imagen final tiene una resolución muy buena, que permite estudiar en detalle la superficie de Sagunto, pese a que la definición ha sido reducida para que pueda ser manipulada con más facilidad.

Para finalizar, indicar que esta foto se puede importar al proyecto GISRed y cuando se haya creado, al fichero de Epanet, ya que se encuentra en el mismo sistema de referencia que la red.

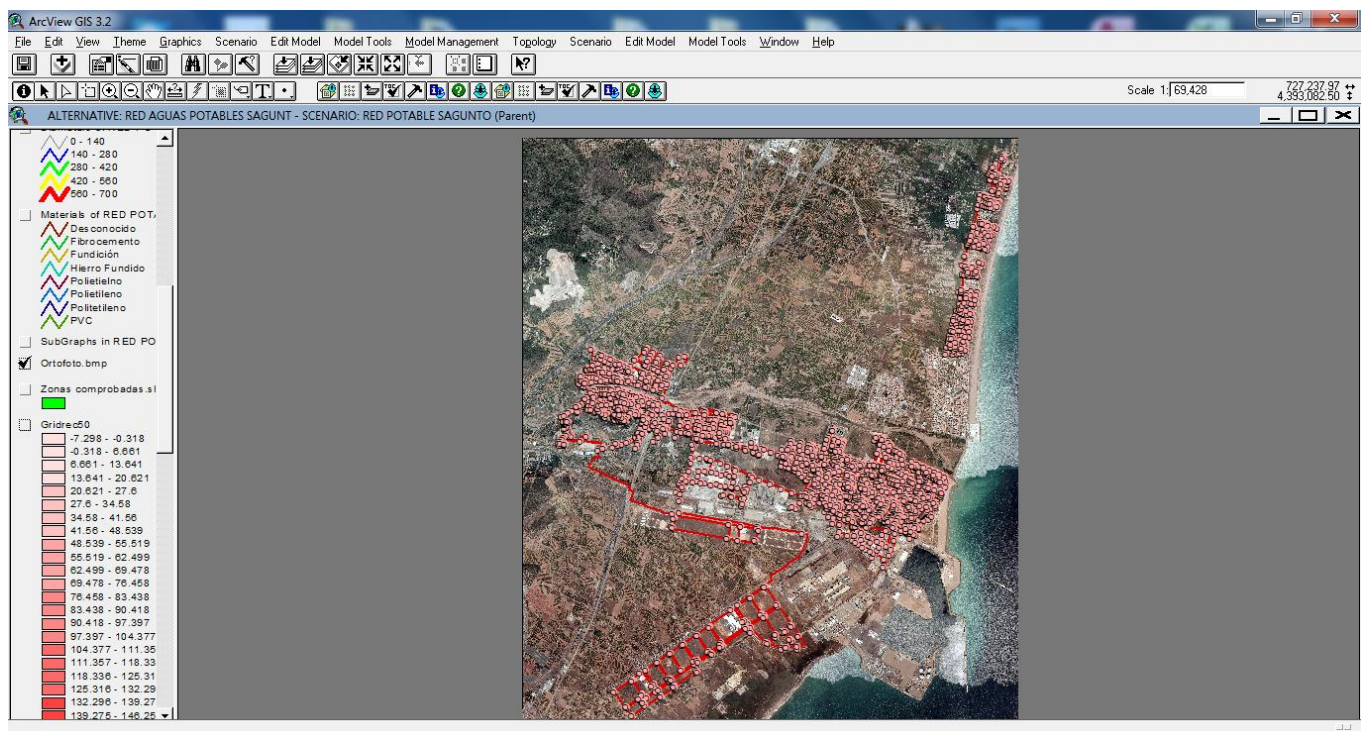


Figura 2-18. Vista en GISRed de la red y la Ortofoto de Máxima actualidad

2.6 Tuberías sin servicio y válvulas cerradas

Otro paso muy importante a la hora de que el modelo funcione lo mejor posible y pareciéndose a la realidad es saber dónde se encuentran las válvulas de seccionamiento cerradas y tuberías que no están servicio. Este proceso será desarrollado tanto en la fase de diseño de GISRed, como posteriormente en Epanet.

Lo primero que hay que hacer es cerrar las conexiones principales que no están conectadas (y que están incluidas en el esquema principal). Éste es el caso de la tubería Ø300 que conecta el Depósito Cota 110 con el Depósito Sepes, o las tuberías también de Ø300 que conectan Norte de Palancia con la red de Sagunto Centro Ciudad y la mencionada tubería Ø300.

Lo siguiente es comparar las tuberías y válvulas cortadas en el AutoCAD original, con la red en GISRed, para conexiones secundarias:

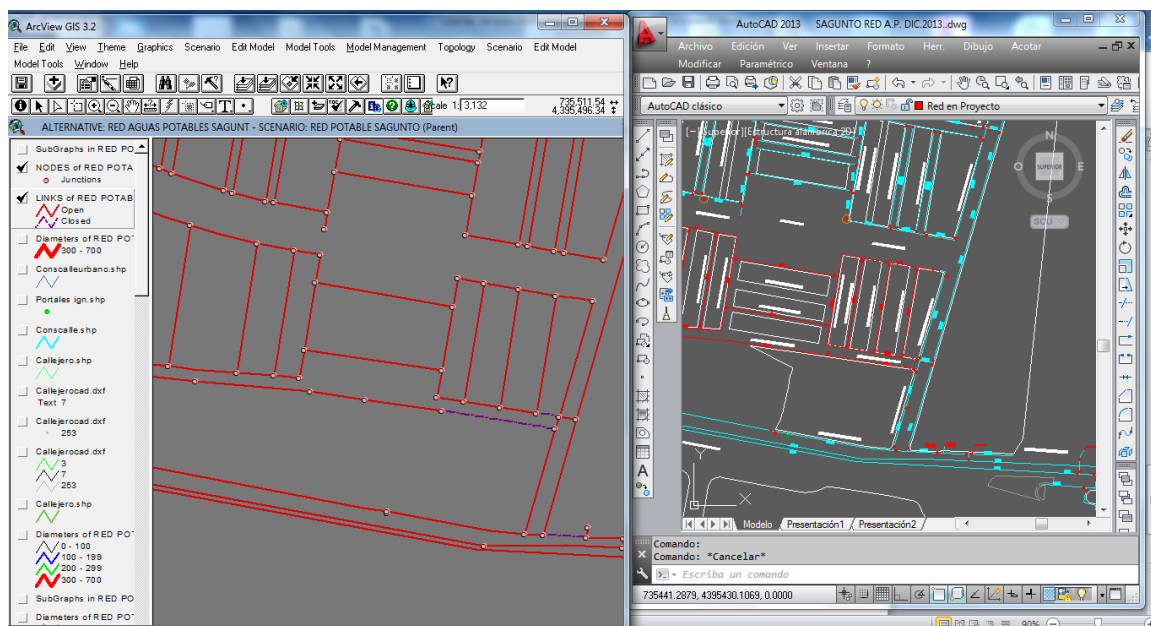


Figura 2-19. Desconexión de conducciones por las que no circula el agua

Para poder modificar el estado de la tubería (open/closed) es necesario editar las propiedades hidráulicas de éstas. Es muy importante que posteriormente no se asigne demanda a nudos que se encuentren en tuberías cerradas.

Es preceptivo indicar que durante la realización del modelo las condiciones de funcionamiento de la red han variado numerosas veces, en especial en el Polígono Industrial Parc Sagunt. La configuración del modelo matemático incluye la versión final del sistema de explotación.

2.7 Comprobación final de errores y conectividad

Antes de cargar los consumos registrados y exportar a Epanet es indispensable hacer una comprobación final de las tuberías y nodos del sistema.

Lo primero es comprobar la conectividad, que como hemos indicado en repetidas ocasiones es un objetivo primordial. En la siguiente captura de pantalla podemos observar que toda la red es conexas, distinguiendo las cuatro redes hidráulicas independientes:

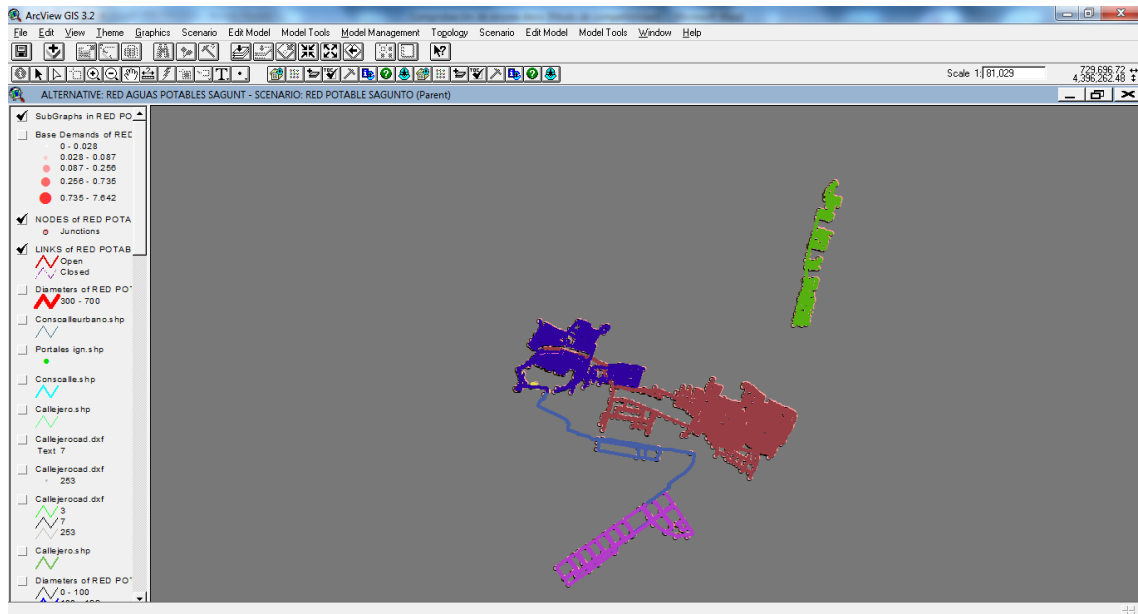


Figura 2-20. Conectividad correcta de la red

Lo siguiente es comprobar los errores en las líneas y nudos. Para ello vamos al menú: Edit Model → Data verification → Links and node verification options, y marcamos todas las opciones. Tras un proceso de depuración de los distintos errores se consigue que no haya errores:

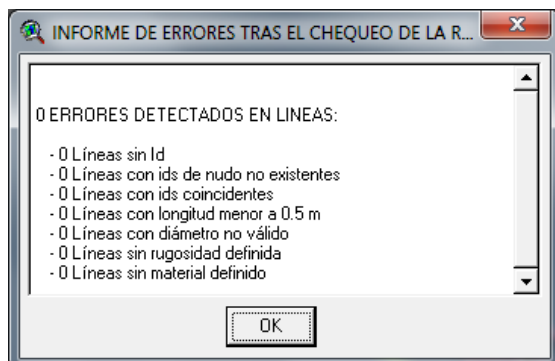


Figura 2-21. Informe de errores en las líneas

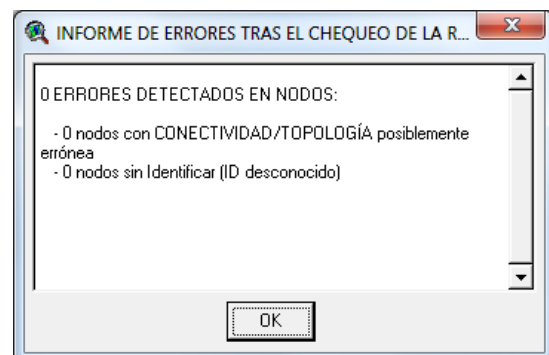


Figura 2-22. Informe de errores en los nodos

3. CARGA INICIAL DEL MODELO HIDRÁULICO

3.1 Introducción

Después de haber creado el esqueleto de la red hay que proceder a realizar la carga hidráulica del modelo consistente en asignar los consumos registrados, caudales fugados, curvas de modulación y distintos elementos hidráulicos para que el modelo en Epanet funcione.

Esta carga del modelo se va a dividir en dos apartados:

- **Carga inicial del modelo:** Incluye la asignación de consumos registrados, fugas constantes ponderadas por longitud de incidencia, curvas de modulación e introducción de elementos hidráulicos. Se desarrollará durante el Capítulo 3 de este documento.
- **Carga definitiva del modelo:** Modifica a la anterior en la asignación definitiva de los consumos no facturados o fugas al incluir emisores que además de tener en cuenta las longitudes de incidencia hacen depender las fugas de las presiones. Se desarrollará en el Capítulo 4 de este documento.

3.2 Asignación de consumos registrados

3.2.1 Asignación por número de policía

Lo ideal para incorporar los datos de demanda de los usuarios sería disponer de la ubicación de las acometidas para poder hacer una asignación a los nodos de consumo por proximidad. Existe la posibilidad de utilizar los números de policía como acometidas, cruzando la información procedente del catastro con la de facturación. El problema es que no existe relación para todos los consumos debido a que el catastro es del año 2007 y por ello no se ha empleado este método.

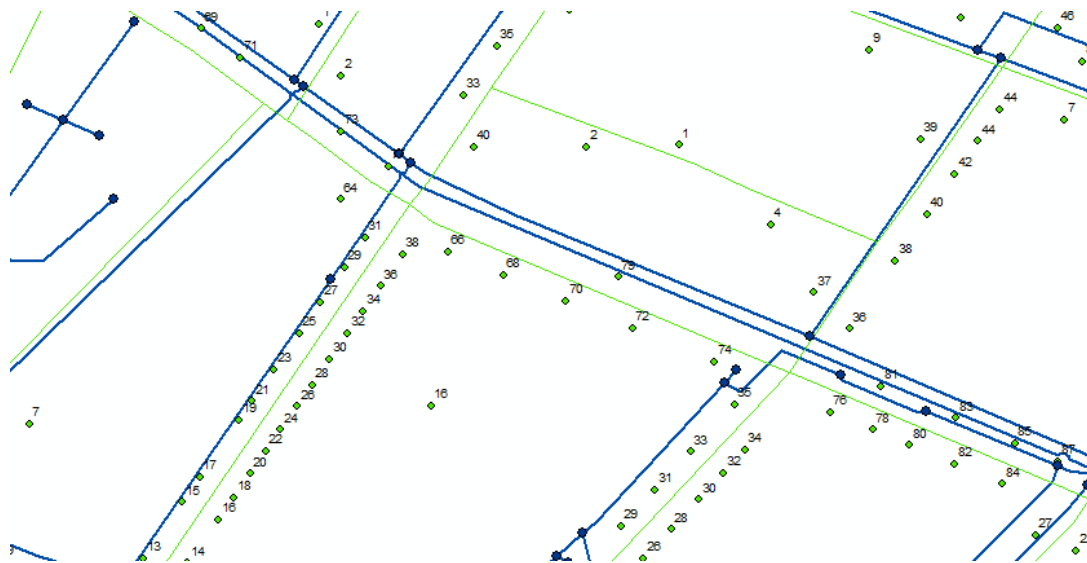


Figura 3-1. Detalle de la red, números de policía y nodos de consumo

3.2.2 Asignación por calle

Otra forma más práctica aunque algo menos precisa es la de asignar a cada calle un consumo total y que GISRed asigne automáticamente caudales a los nodos más próximos. Para llevar a cabo esta asignación es necesario disponer por un lado del callejero y por otro de la facturación por calle en Excel, existiendo una correspondencia directa e inequívoca.

➤ Creación del callejero de consumos

Se ha aprovechado parte de un callejero existente de un modelo matemático anterior aunque ha sido necesaria una revisión total y creación de nuevas calles en zonas que no habían sido incluidas.



Figura 3-2. Callejero en CAD (color negro) y Callejero creado (color rojo) para la asignación de los consumos

Es muy importante que las líneas del callejero que posteriormente incorporarán la información de consumos facturados pasen cerca de los nodos de consumo para que la asignación automática que realizará GISRed se haga bien.

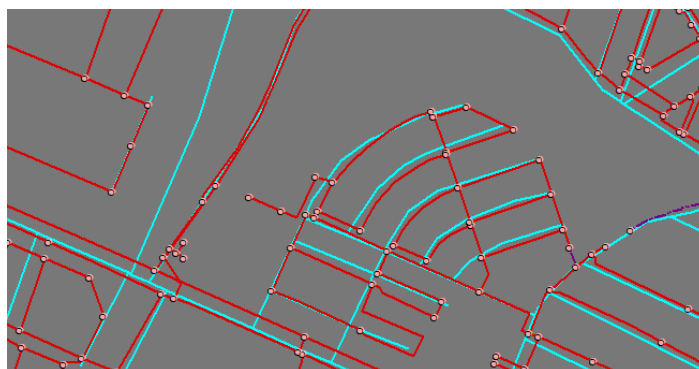


Figura 3-3. Conducciones (rojo), Nodos del sistema (rosa) y Callejero con datos de consumo (azul)

Para que el callejero tenga incorporada la información de consumos facturados es necesario establecer la conexión con la hoja Excel que almacena estos datos. Esto se realiza mediante la herramienta “join” ya explicada, siendo la clave de la asociación “IDStreet”. Todo se almacenará en una nueva capa a la que llamaremos conscale.shp:

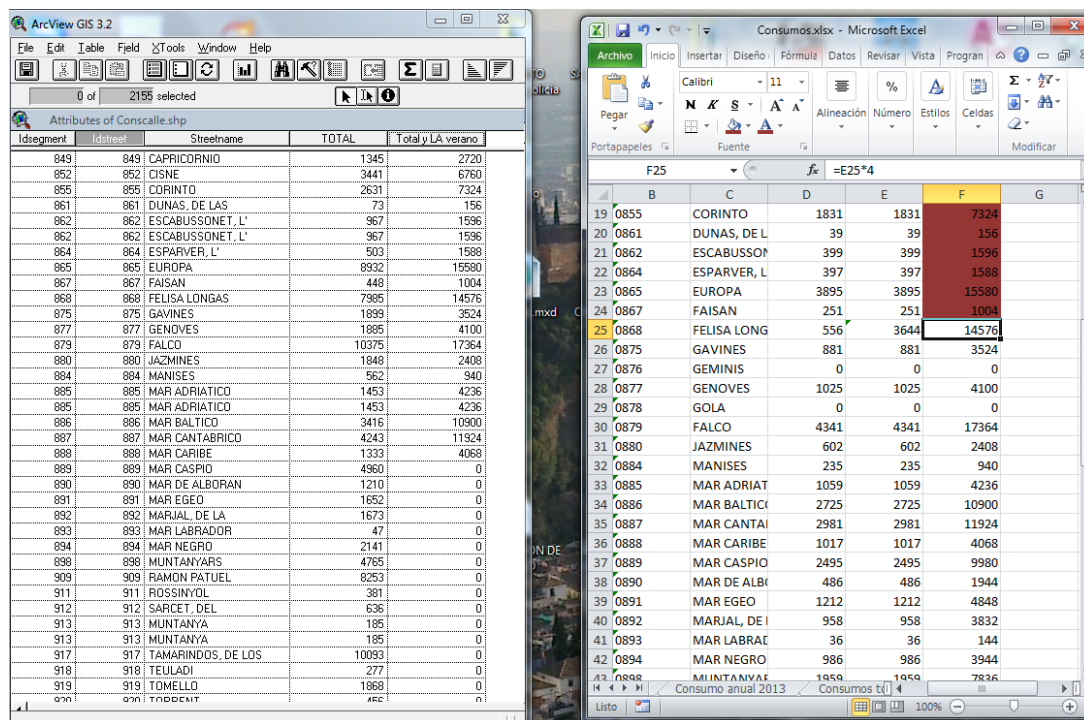


Figura 3-4. Tabla de Información del Callejero (izquierda) y Tabla de Consumos por Calle (derecha)

➤ **Volumen de agua registrado a considerar para el cálculo del caudal medio**

Cuando se cargan las demandas el caudal que se asigne a cada nodo tiene que ser representativo del consumo y acercarse lo máximo al funcionamiento real en condiciones de demanda.

En el caso de zonas con poca estacionalidad, el volumen de agua facturada a considerar es el anual, pero para zonas con consumo muy estacional, hay que considerar el periodo con mayor consumo. Esto es lo que ocurre en L'Almardà, que concentra la demanda de agua en el trimestre veraniego.

Tabla 3-1. Caudales registrados considerados para establecer las demandas del modelo

2013	Red Sagunto CU + NP		Red Puerto		Red Camí la Mar/Parc	Red Almardà (Verano)	
	Sagunto Centro Urbano	Norte Palancia	Puerto de Sagunto	Ingruinsa	Camí la Mar y Parc Sagunt	Almardà Norte	Almardà Sur
Q registrado medio (lps)	25.14	5.33	83.91	6.25	7.99	4.87	5.16

$$Q_{\text{medio facturado}} = 138.65 \text{ lps}$$

➤ Nodos de No Consumo – Nodos de Consumo

Antes de realizar cualquier asignación de demandas hay que distinguir qué nodos de la red no tendrán asignado consumo de agua. Los criterios adoptados son los siguientes:

- Nodos que se encuentren en tuberías de diámetro mayor a 300mm fuera de los polígonos industriales
- Nodos en conexiones con los depósitos
- Nodos en conexiones con los bombeos
- Nodos en zonas no construidas y sin riego (observado en la Ortofoto)
- Nodos en tuberías cortadas o sin servicio

Teniendo localizados estos nodos es sencillo seleccionar los restantes, obteniendo los nodos que sí que tendrán un consumo asignado.

En la captura de pantalla de la derecha se observan en amarillo los nodos que finalmente tienen asignados consumos facturados.

Como se puede apreciar, hay grandes zonas que no tienen consumo, destacando gran parte de los Polígonos industriales Parc Sagunt y Camí la Mar, además de las tuberías de diámetros mayores.

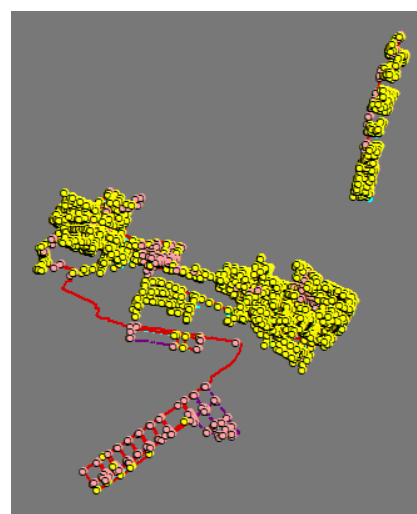


Figura 3-5. Nodos de consumo

➤ Grandes consumidores

El principal inconveniente de este método reside en que en puntos dispersos y grandes consumidores la asignación puede llegar a ser menos precisa. Para solucionar lo anterior hay que distinguir dónde se encuentran los grandes consumidores y los consumos dispersos, asignando manualmente estas demandas

Los grandes consumidores considerados de forma individual son:

Tabla 3-2. Grandes consumidores asignados individualmente

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

➤ Asignación del resto de consumidores

Aprovechando todo lo explicado previamente, es momento de cargar las demandas restantes. Para ello se seleccionan los nodos de consumo y se sigue la siguiente secuencia de comandos: Model Tools → Demand allocation → Spatial allocation (by points, lines or polygons):

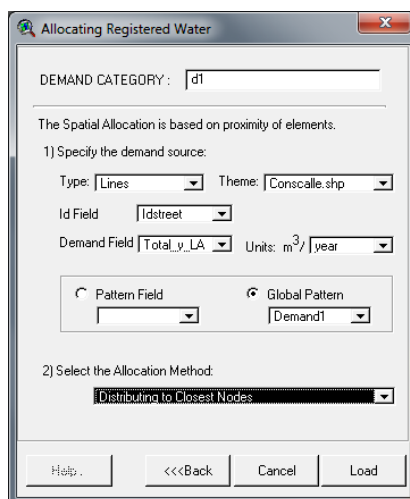


Figura 3-6. Herramienta de asignación de consumos registrados

Previo a esto se ha tenido que generar una curva de modulación cualquiera y que se ha llamado “Demand1” en el editor de patrones.

➤ No asignación de volumen de fugas

Las fugas se incluirán fuera de GISRed modificando el archivo *.inp de Epanet por lo que hay que indicarle al programa que no asigne ningún caudal en este apartado. Esto se hace en Model Tools → Unaccounted for water, asignado un porcentaje de fugas muy cercano a 0%.

➤ Estadísticas del consumo asignado

Para comprobar que la asignación de consumos se ha llevado a cabo de forma satisfactoria, se puede recurrir a analizar estadísticamente la información de los consumos asignados al modelo mediante Model Tools → Demand Statistics.

En este momento se está en disposición de exportar a Epanet (Export to Epanet).

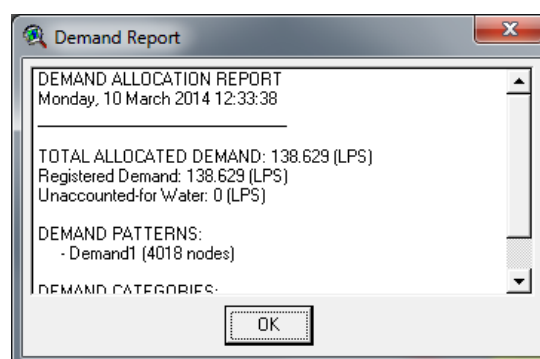


Figura 3-7. Estadísticas del consumo asignado

3.3 Primer análisis en Epanet

Tras la exportación de GISRed a Epanet hay que comprobar que la red funciona correctamente y que el flujo sigue el camino esperado, siendo esto algo crítico para el buen funcionamiento del modelo.

Se procederá a situar embalses con la misma altura piezométrica que los depósitos de cabecera y se lleva a cabo un análisis en régimen estacionario estableciendo una curva de modulación constante e igual a uno para las demandas.

En caso de no querer analizar la red de alta de la ETAP y cuál es la evolución temporal de los depósitos, es aconsejable incluir embalses en lugar de depósitos, lo que resultaría suficiente para la modelación.

De igual forma se separan las distintas redes para poder depurar los errores más fácilmente, aunque a posteriori todas las redes estarán incluidas en el mismo archivo para mayor comodidad.

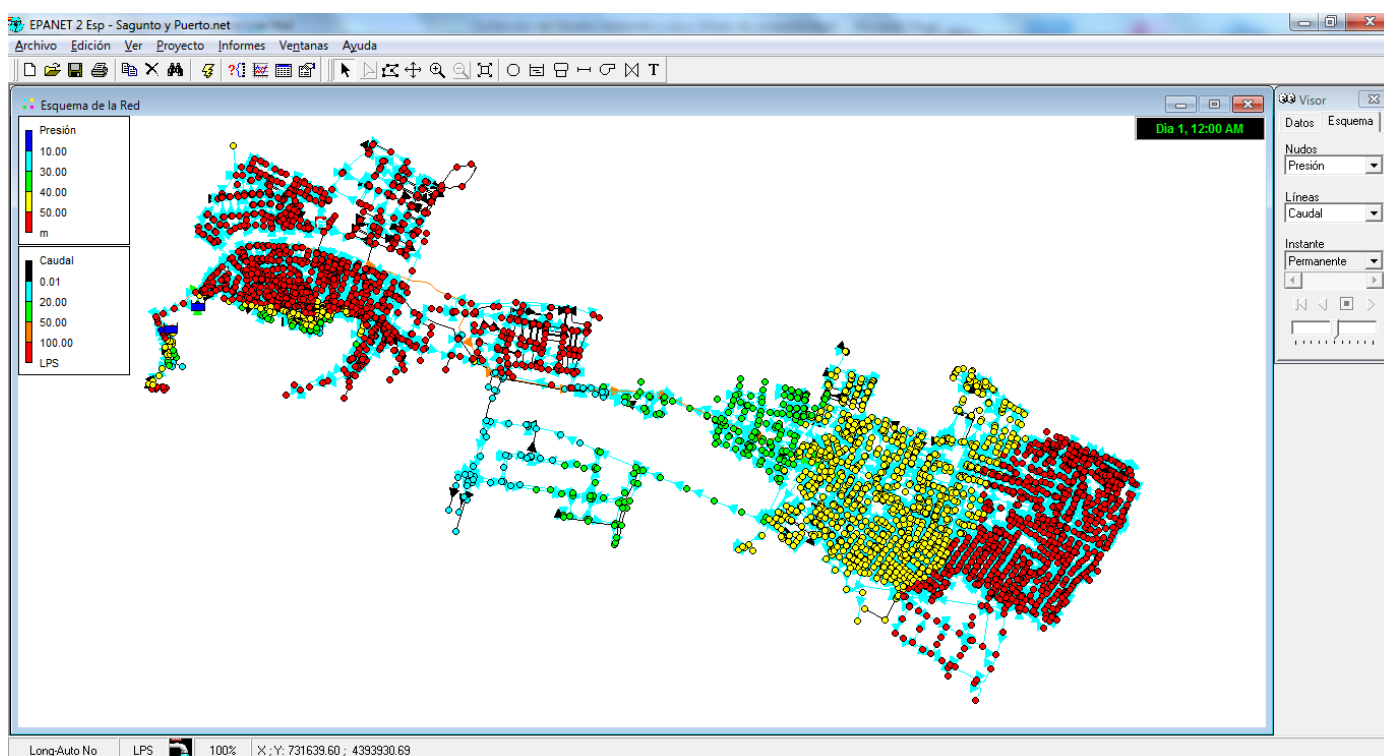


Figura 3-8. Primer análisis en Epanet de las redes de Sagunto Centro Urbano/Norte Palancia y Puerto de Sagunto

En la figura 3-8 se observan las redes hidráulicas de Sagunto y del Puerto de Sagunto. Se comprueba que el funcionamiento general es correcto, apreciándose que las presiones mostradas en el modelo dan unos resultados de presión mayores que en los datos de presión obtenidos por la empresa para las comparativas. Este resultado es lógico, pues todavía no se han incluido las fugas en el modelo y por tanto las pérdidas de carga resultarían menores, al haber caudales circulantes inferiores a los reales.

3.4 Asignación inicial de consumos no registrados – Método de las fugas constantes dependientes de la longitud de tubería incidente en cada nodo

Uno de los puntos más controvertidos y con diferentes teorías sobre su implementación es la asignación de las fugas.

Un error recurrente a la hora de asignar las fugas es incrementar la demanda hasta que el caudal inyectado del modelo coincida con el caudal registrado de inyección del abastecimiento.

En términos absolutos esto es cierto, sin embargo, al hacerlo de este modo el caudal de fugas seguirá la curva de modulación del consumo, situación que no se ajusta a la realidad. No es correcto que las fugas sean proporcionales al consumo ya que se obtendría un caudal mayor del real (*Iglesias, P.L. y Martínez Solano, F.J. (2012)*).

El volumen incontrolado se corresponde con la diferencia entre volúmenes inyectados y volúmenes registrados. A su vez, el volumen incontrolado se divide entre incontrolado consumido e incontrolado fugado. Esto lo podemos ver en Figura 3-9:

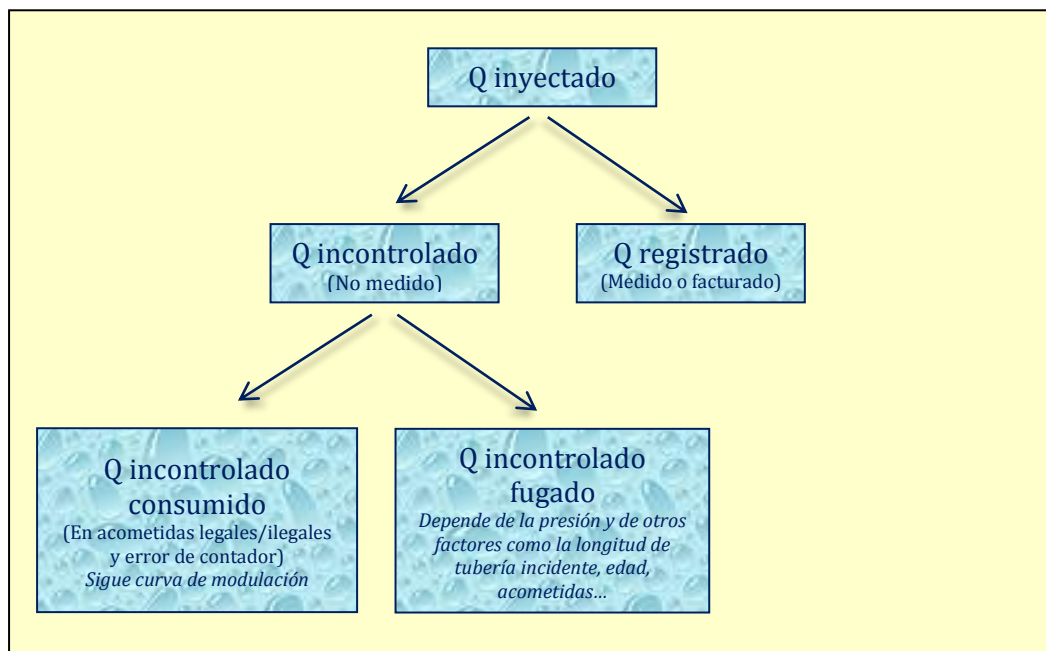


Figura 3-9. Balance hídrico

A efectos prácticos se ha considerado la hipótesis de que todo ese volumen incontrolado se corresponde con el volumen fugado. Se plantean dos formas de asignar las fugas:

- **Caudal de fugas constante:** A cada nodo se le asigna unas fugas proporcionales a las longitudes de tuberías que le llegan. Se calcula multiplicando esas longitudes por un caudal unitario de fuga por metro. Es lo que se va a hacer en la carga inicial que nos ocupa.
- **Caudal de fugas dependiente de la presión:** Incorporando emisores. Lo que se hará en la carga definitiva del modelo hidráulico, aprovechando el método anterior.

➤ Caudales de fuga constantes por macrosector

Debido a la macrosectorización existente se disponen datos de caudales de fuga y rendimientos volumétricos en diferentes zonas. Son los siguientes:

Tabla 3-3. Rendimientos y caudales de fuga medios en los macrosectores

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

➤ Longitud de tuberías incidentes a cada nodo

Se trata de calcular para cada nodo la longitud total de tubería que tiene influencia sobre él. Se considera que esa longitud es la mitad de la longitud de cada tubería que llega a este nodo. La otra mitad será asignada al otro nodo extremo.

Esto se ve más claro con un ejemplo. Escogemos el nodo J1, al que le llegan tres tuberías:

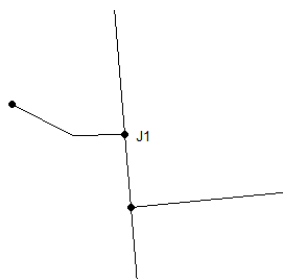


Figura 3-10. Tuberías incidentes en el Nodo J1

Es lógico pensar que el caudal fugado será proporcional a la suma de las semisumas de las longitudes de las tuberías que le llegan, en este caso:

$$L_{\text{proporcional al caudal fugado}} = \frac{6.159}{2} + \frac{139.026}{2} + \frac{10.164}{2} = 77.6745m$$

Para todos los nudos a los que se les asigne fugas se deberá hacer lo mismo. Como esto manualmente es imposible, hay que recurrir a Excel para solucionarlo.

➤ **Asignación de fugas constantes en Excel**

El caudal de fuga para cada nodo se corresponde con la siguiente expresión:

$$Q_{f_i} = \frac{L_i}{L_T} \cdot Q_{f_{total}}$$

Donde:

i = Nodo considerado

L_i = Longitud total de tubería incidente en cada nudo

L_T = Longitud total de tuberías en el sector considerado

Q_{f_{total}} = Caudal de fugas total en el sector considerado

Este fundamento teórico está basado en el Capítulo “Modelación matemática de redes” del curso “Evaluación y Control de Pérdidas de Agua”, escrito por Jorge García-Serra y Vicente García Carrasco (Cabrera, E. et al (2001)).

Esta asignación de fugas hay que hacerla de forma individualizada para cada uno de los macrosectores hidráulicos considerados:

- **Sagunto Centro Urbano**
- **Norte Palancia**
- **Puerto de Sagunto (excluido Inguinsa)**
- **Polígono Inguinsa**
- **Camí la Mar y Parc Sagunt**
- **L'Almardà Norte**
- **L'Almardà Sur**

De esta forma se obtendrá un caudal de fuga para cada nudo en cada uno de estos macrosectores componentes de la red.

Todos los nodos que no se encuentren en tuberías cerradas bien sea por válvulas de seccionamiento o porque no estén en servicio tendrán asignado un caudal fugado.

Como se verá en el siguiente capítulo, esta primera carga hidráulica servirá de base para la carga definitiva en la que las fugas se harán dependientes de la presión.

Dividiendo el volumen fugado (m^3) entre la longitud total de tuberías abiertas en cada macrosector podemos obtener el caudal unitario de fugas. Multiplicando este valor por la longitud incidente en cada nudo tendremos el caudal fugado en cada nudo.

Tabla 3-4. Caudal unitario de fugas en Sagunto Centro Urbano

Volumen fugas (m^3)	616965
Q total fugas (lps)	19.56384
Q unitario fugas (lps/m)	0.000423414

Realizando este proceso para todos los macrosectores se obtiene una tabla con los caudales fugados para cada nudo:

Nodo	Sagunto	NP	Puerto Sagunto	Parc Sagunt - Camí La Mar	Almardá Norte	Almardá sur	Q fuga lps
J1	0	0.0015825	0	0	0	0	0.0015825
J2	0	0.00010354	0	0	0	0	0.00010354
J3	0	0	0	0	0	0	0
J6	0	0	0	0	0	0	0
J8	0	0	0	0	0.002526486	0	0.00252649
J13	0	0	0.029029448	0	0	0	0.02902945
J16	0.00538181	0	0	0	0	0	0.00538181
J17	0	0	0.01736255	0	0	0	0.01736255
J18	0	0	0.034649543	0	0	0	0.03464954
J23	0.03128057	0	0	0	0	0	0.03128057
J24	0.06815359	0	0	0	0	0	0.06815359
J25	0.02301489	0	0	0	0	0	0.02301489
J27	0.05470468	0	0	0	0	0	0.05470468
J28	0.07843408	0	0	0	0	0	0.07843408
J31	0.06096423	0	0	0	0	0	0.06096423
J32	0.06383688	0	0	0	0	0	0.06383688
J38	0	0.00325696	0	0	0	0	0.00325696
J40	0	0.00212422	0	0	0	0	0.00212422
J42	0	0.00230426	0	0	0	0	0.00230426
J43	0	0.00211254	0	0	0	0	0.00211254
J44	0	0.00211224	0	0	0	0	0.00211224
J45	0.01210435	0	0	0	0	0	0.01210435
J46	0.00687138	0.00276751	0	0	0	0	0.00963889

Figura 3-11. Hoja de cálculo de caudales de fuga constantes para cada nudo del modelo

➤ Inclusión de los caudales fugados en Epanet

Para que Epanet tenga incluidos estos nuevos caudales (que no son otra cosa que demandas constantes) habrá que incluir esta tabla en el archivo *.inp. Lo primero que hay que hacer es agregar una nueva curva de modulación constante e igual a 1 para las 24 horas del día. En la captura de pantalla de la derecha podemos observarla.

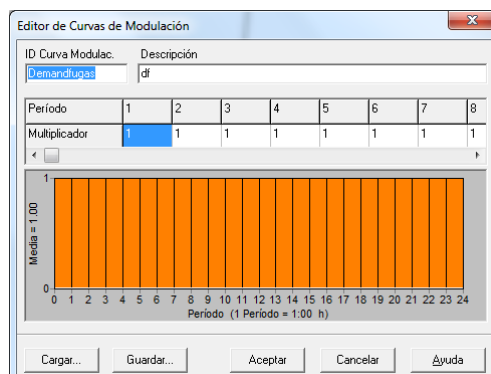


Figura 3-12. Curva de modulación constante para caudales fugados

Posteriormente se agregan las fugas en la zona [DEMANDS] del archivo *.inp, junto con las demandas procedentes de la facturación. De esta forma habrá dos demandas para cada nodo:

[DEMANDS]		Demanda Base	Curva Modulac.	Tipo Demanda
; ID Nudo				
J1		0.030242	CMNortePalancia	; Registrada
J1		0.0015825	Demandfugas	; df
J2		0.030242	CMNortePalancia	; Registrada
J2		0.000103538	Demandfugas	; df
J3		0		; Registrada
J3		0	Demandfugas	; df

Figura 3-13. Caudales de fuga y demandas registradas para los nodos J1, J2 y J3

En la anterior captura de pantalla se observa lo que se acaba de comentar. También se ve que las demandas del consumo registrado tienen propia curva de modulación (dependiente de cada sector y que se ha explicado en la Memoria) y las fugas la suya.

El nodo J3 no tiene asignado fugas ni demandas ya que se encuentra en una tubería fuera de servicio.

Dentro de Epanet se pueden consultar las propiedades de cualquier nodo, por ejemplo J1. En la ventana de la izquierda se puede ver entre otras cosas que existen dos tipos de demanda. Si queremos más información sobre esto, se entra dentro de ese menú y se comprueba que lo que se introdujo en el archivo *.inp es lo que está cargado.

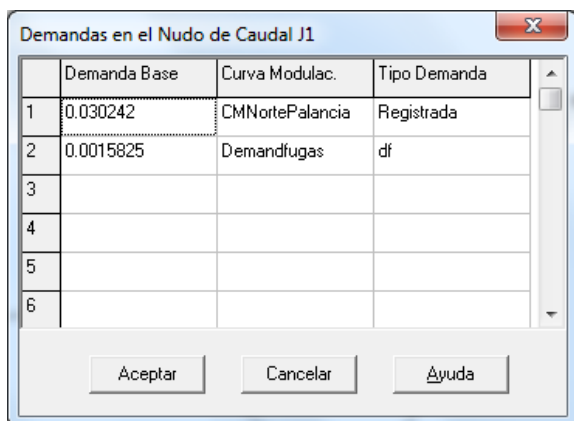


Figura 3-14. Demandas asignadas a J1

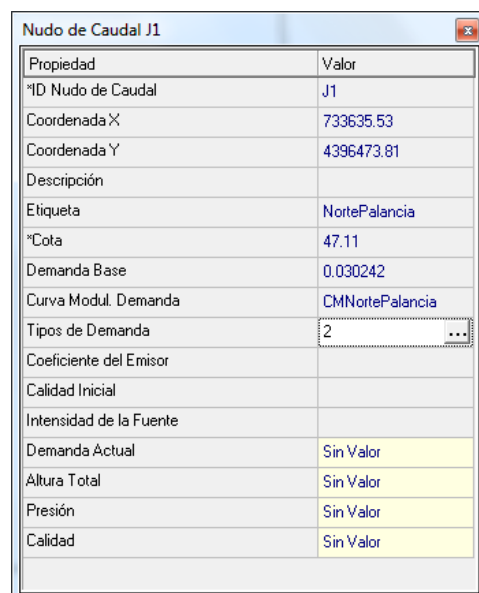


Figura 3-15. Propiedades de J1 - Se aprecia la existencia de dos tipos de demanda

3.5 Introducción de elementos hidráulicos y controles en Epanet

La red se encuentra con una carga hidráulica correcta y se ha comprobado que en rasgos generales funciona bien. Es por ello por lo que se pueden incluir diversos elementos hidráulicos que existen en la realidad y que mejorarán el modelo matemático. Son los grupos de bombeo, depósitos y válvulas reductoras de presión.

Todos estos elementos han sido explicados en la Memoria en el capítulo “Descripción y Funcionamiento de la Red”. Si existe cualquier duda o se requiere más información consúltese.

➤ Estaciones de bombeo en la ETAP

Sólo se modelizan las impulsiones a Depósito Cota 110 y Depósito Cota 75 ya que la impulsión a Depósito Ponera I se sale del ámbito de estudio de este trabajo.

Debido a que no existe información fiable sobre las curvas de las bombas se ha optado por modelar mediante embalses que mantienen una altura piezométrica casi constante cuando las bombas están funcionando. De los datos reales de la ETAP se tiene que cuando las bombas están funcionando:

$$\frac{P}{\gamma} \text{ a la salida de Impulsión a 110} \approx 69.5 \text{ mca} ; Q_{110} \approx 550 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\frac{P}{\gamma} \text{ a la salida de Impulsión a 75} \approx 25.5 \text{ mca} ; Q_{75} \approx 1150 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los controles de arranque y paro se realizan sobre las tuberías que salen de los embalses. También se incluyen válvulas de retención para evitar el flujo de retorno cuando el sistema de bombeo está parado.

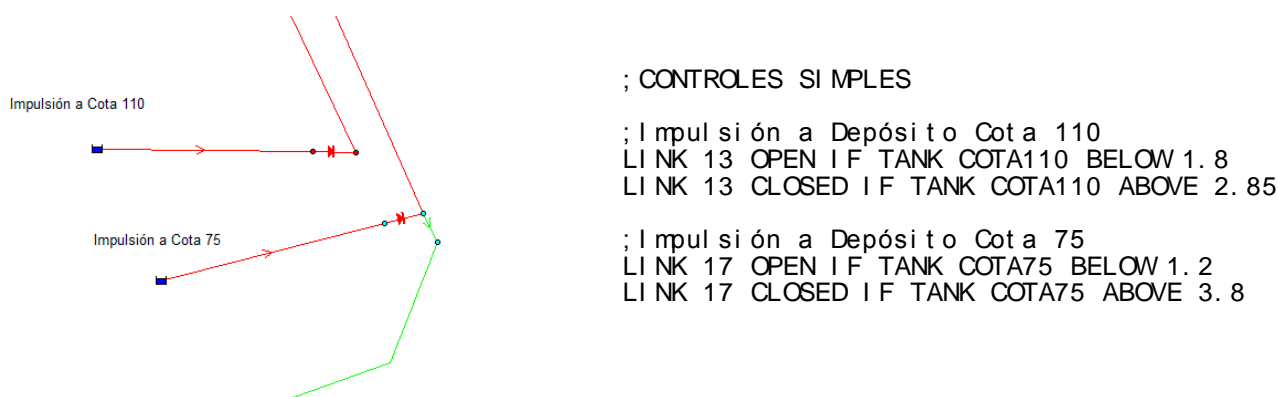


Figura 3-16. Impulsiones de la ETAP modelizadas

➤ Depósito Cota 75

Es un depósito de compensación por lo que el agua entra y sale por la misma conducción. Le llega agua cuando la impulsión correspondiente está activada.

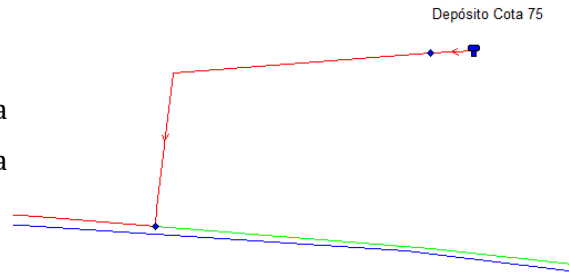


Figura 3-17. Depósito Cota 75

➤ Depósito Cota 55

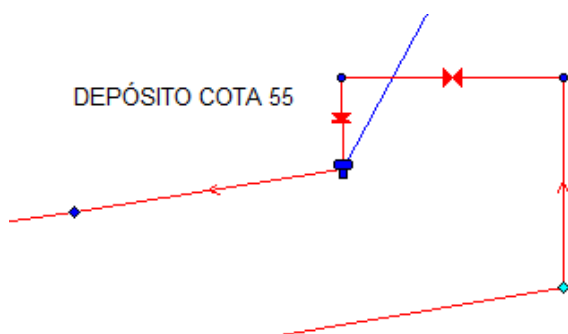
Es un depósito de rotura de carga en el que el agua entra a presión atmosférica y sale por otra conducción por gravedad.

Para simular correctamente el funcionamiento se ha tenido que recurrir a incluir una válvula de sostenedora de presión que hace las veces de válvula de boya con una consigna de 0mca. También se ha colocado una válvula de retención.

Se ha ajustado el coeficiente de pérdidas menores para que el caudal entrante a este depósito sea el mismo que en la realidad. Este caudal se ha obtenido al estudiar la variación de nivel del depósito realizando una cubicación, sabiendo el caudal saliente.

$$Q_{\text{entrada a Cota 55}_i} = Q_{\text{puerto } i-1} + S \cdot \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta t}$$

$$Q_{\text{entrada a Cota 55}} \approx 160 \text{ lps}$$



; CONTROLES SIMPLES

; Llenado Depósito Cota 55

LINK 30 CLOSED IF TANK COTA55 ABOVE 3.5

LINK 30 OPEN IF TANK COTA55 BELOW 2.8

Figura 3-18. Depósito Cota 55

➤ Depósito Cota 110

Es un depósito de compensación por lo que el agua entra y sale por la misma conducción. Le llega agua cuando la impulsión correspondiente está activada.

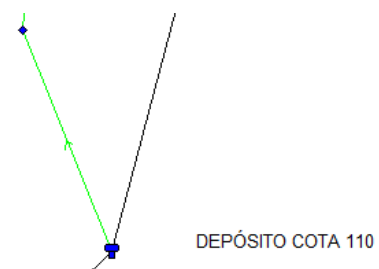


Figura 3-19. Depósito Cota 110

➤ Estación de bombeo y Depósito Sepes

No se han incluido en el modelo debido a que tras consultar los datos de presiones y caudales estas instalaciones no entran en funcionamiento nunca. Tal y como está configurado el sistema, la presión de consigna fijada para que se arranquen las bombas nunca se alcanza. Sólo funcionan cuando manualmente se activan para que no se agarroten.

Si fuese necesario, incluir tanto el depósito como la estación de bombeo no tiene ningún problema porque sus características están recogidas en la Memoria. Lo que sí es problemático es reproducir el funcionamiento del variador. Epanet no puede representar bombas de velocidad variable y cómo se activan y paran. Habría que recurrir a programación o alguna solución con embalses.

➤ Estación de bombeo y Depósito Parc Sagunt

No se ha incluido directamente debido a la complicación de modelar las bombas de velocidad variable. Lo que se ha hecho es simular el comportamiento que tiene de mantener una presión de 31mca por la noche mediante controles en la VRP.

➤ Válvula reductora de presión de Parc Sagunt

Por el día reduce la presión a 35mca mientras que por la noche está cerrada. En el modelo, en vez de poner una consigna nocturna de 0mca se asigna una de 31mca para modelar las BVV.

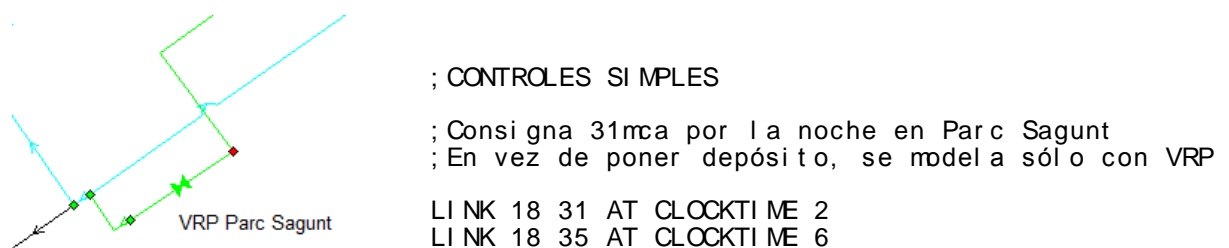


Figura 3-20. Válvula reductora de presión en Parc Sagunt

➤ Válvula reductora de presión en L'Almardà

Se encuentra tarada a una presión de 35mca pero muchas veces en verano se está totalmente abierta, de forma que la presión a la entrada de esta zona depende también de lo que ocurre aguas arriba. Para modelar esta situación se ha incluido una curva de modulación de altura del embalse que establece las condiciones de contorno de presión en ese punto.

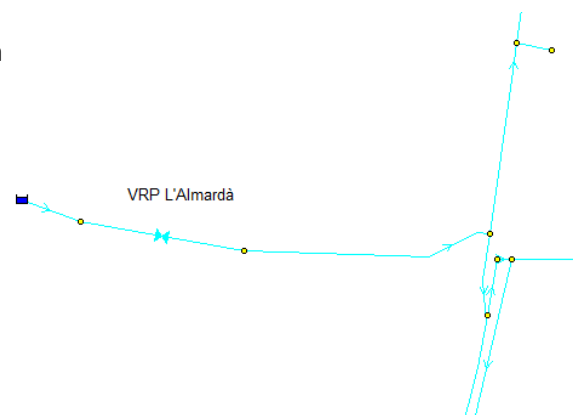


Figura 3-21. Válvula reductora de presión en L'Almardà

3.6 Curvas de modulación horaria del consumo registrado

Se generan en Excel tal y como se ha descrito en el documento de la Memoria en el capítulo “Modulación de la demanda”. Si existe cualquier duda o se requiere más información consúltese.

En este punto sólo se van a colocar las gráficas de las curvas en la forma en que están implementadas en Epanet para los días y los macrosectores estudiados.

Recordemos que se los días de estudio son el 2 de agosto de 2013 (viernes) y el 25 de noviembre de 2013 (lunes). Tanto Camí la Mar como Parc Sagunt tienen curvas de modulación distintas porque no se dispone de datos de caudales instantáneos como se tienen para las otras zonas.

➤ 2 de agosto de 2013

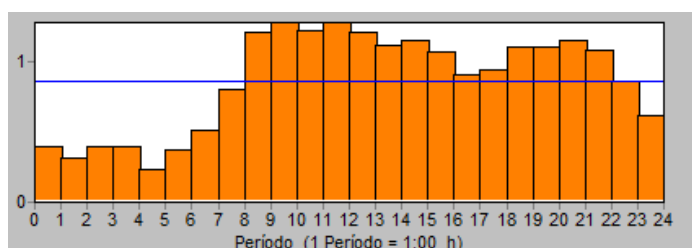


Figura 3-22. Curva Modulación Sagunto Centro Urbano

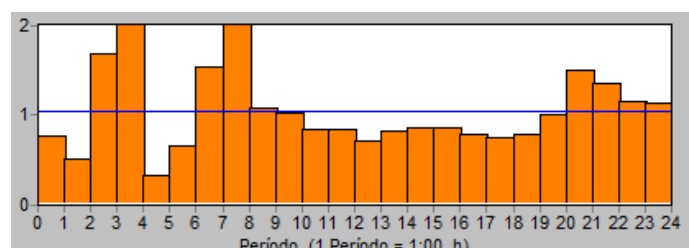


Figura 3-23. Curva Modulación Norte Palancia

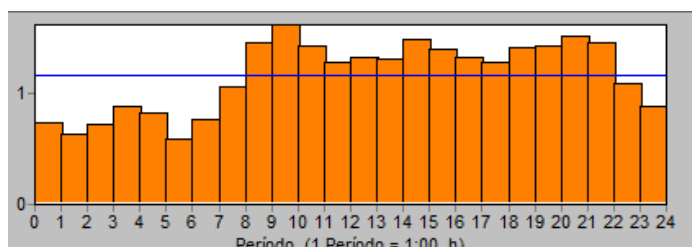


Figura 3-24. Curva Modulación Puerto de Sagunto (excluido Inguinsa)

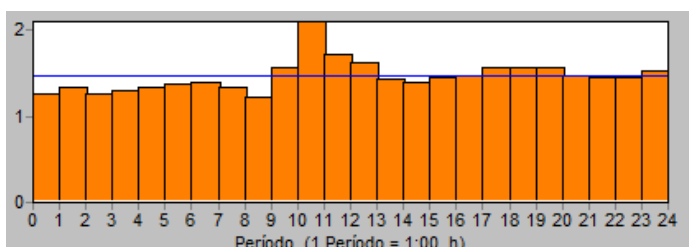


Figura 3-25. Curva Modulación Polígono Inguinsa

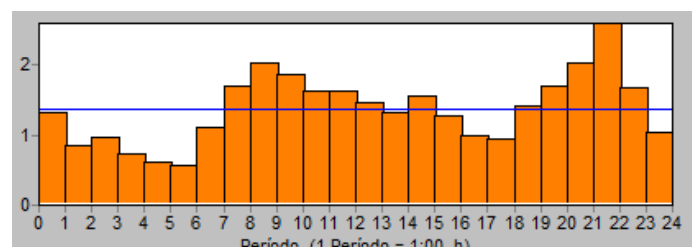


Figura 3-26. Curva Modulación Almardà Norte

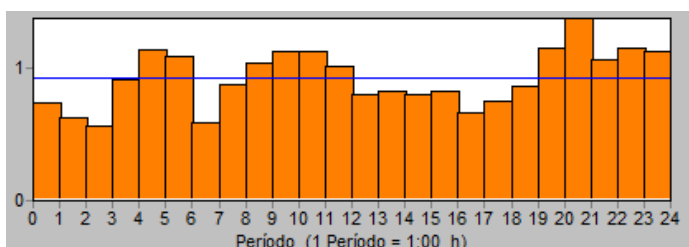


Figura 3-27. Curva Modulación Almardà Sur

➤ 25 de noviembre de 2013

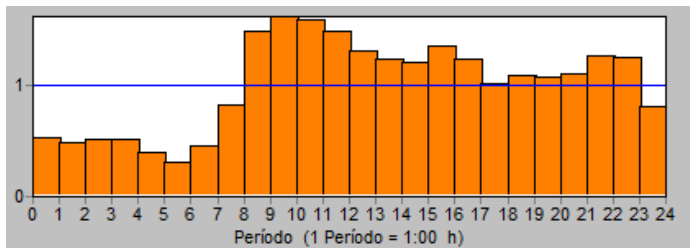


Figura 3-28. Curva Modulación Sagunto Centro Urbano

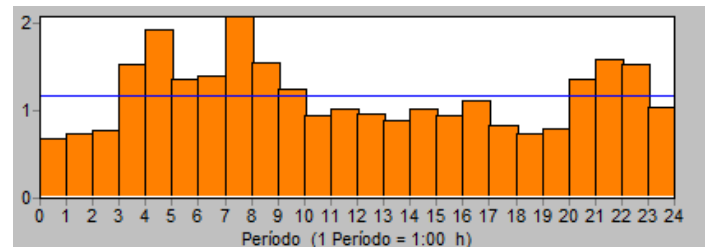


Figura 3-29. Curva Modulación Norte Palancia

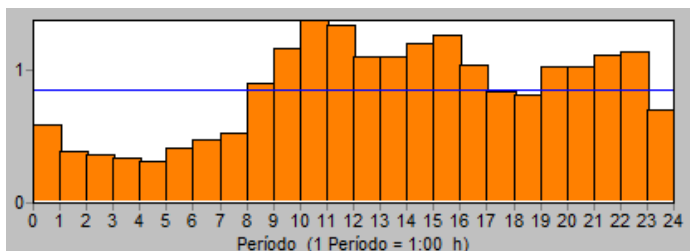


Figura 3-30. Curva Modulación Puerto de Sagunto (excluido Inguinsa)

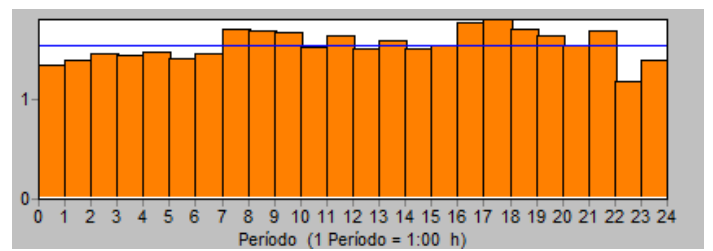


Figura 3-31. Curva Modulación Polígono Inguinsa

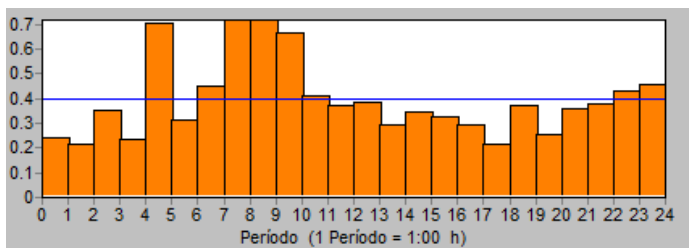


Figura 3-32. Curva Modulación Almadà Norte

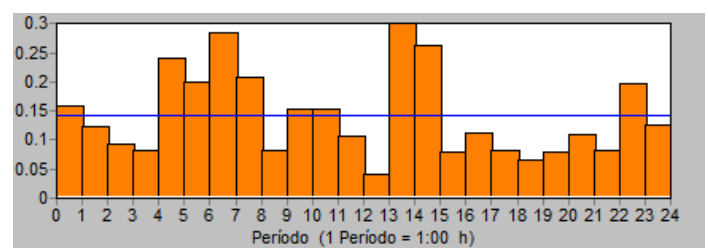


Figura 3-33. Curva Modulación Almadà Sur

➤ Camí la Mar y Parc Sagunt

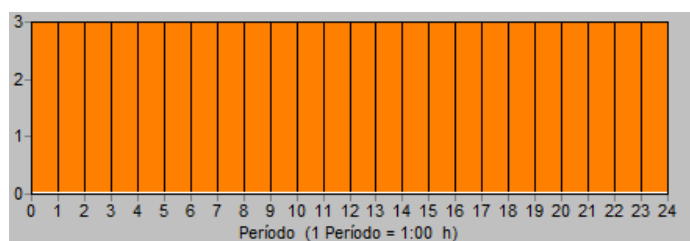


Figura 3-34. Modulación máximo consumo en Polígono Camí la Mar

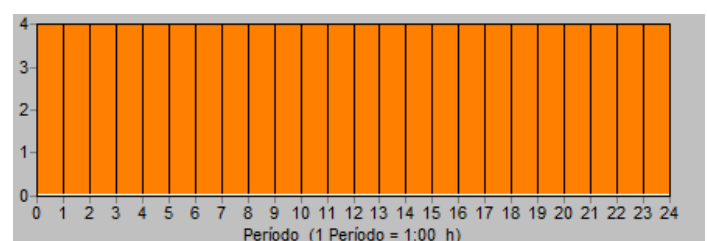


Figura 3-35. Modulación máximo consumo en Polígono Parc Sagunt

3.7 Calibración de caudales y presiones – 2 agosto de 2013

Tras incluir las curvas de modulación nos encontramos en condiciones de hacer correr el modelo y comprobar los resultados que arroja con la realidad.

En la carga inicial (que es en el capítulo en el que nos encontramos) sólo se ha estudiado el día 2 de agosto de 2013. El día 25 de noviembre de 2013 está estudiado pero en el Capítulo 4 “Carga definitiva del modelo hidráulico”.

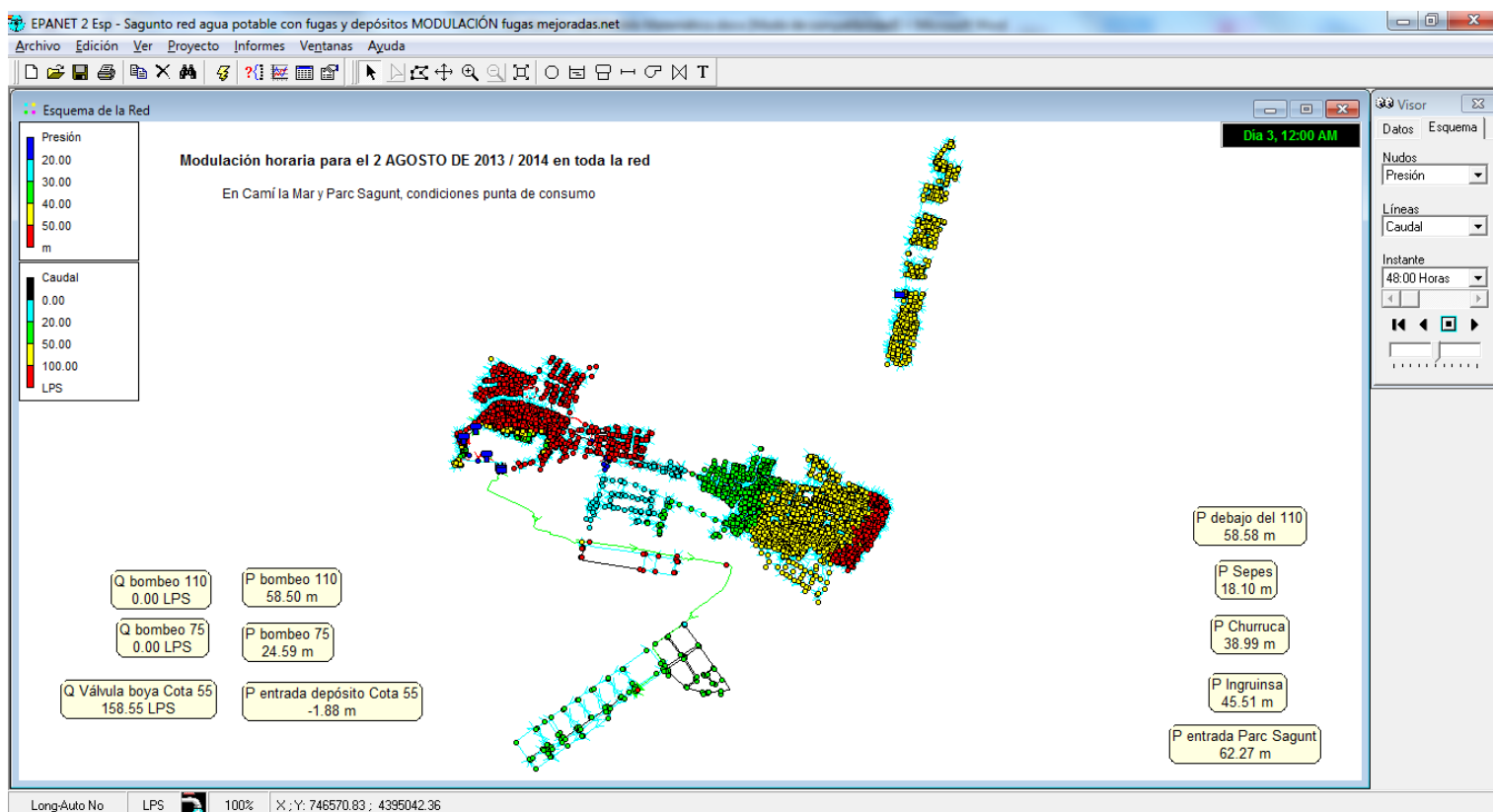


Figura 3-36. Modelo hidráulico 2 de agosto de 2013 - Fugas constantes proporcionales a la longitud de tubería incidente

Como se ve en la captura de pantalla de Epanet, los nodos son círculos lo que significa que son nodos de demanda y no emisores (cosa que cambiará en el modelo hidráulico definitivo incluido en el capítulo siguiente).

Previo a una comprobación numérica se tuvo la oportunidad de conversar con el personal de la explotación en Sagunto y se corroboró la bondad del modelo en cuanto a presiones porque son muy parecidas a la realidad.

Los puntos de control son los indicados en la Memoria en el capítulo “Descripción de la red”, correspondientes a la gestión de Aguas de Sagunto.

3.7.1 Caudales

Si la metodología se lleva a cabo correctamente los caudales inyectados en Epanet tienen que coincidir con los caudales inyectados en la realidad en los puntos de control. Esa era una de las premisas que se siguieron para asignar las fugas y determinar las curvas de modulación del consumo registrado.

Como se ve en las gráficas ambos caudales coinciden exactamente. Es por ello por lo que no se distingue más que una gráfica, porque la otra está detrás.

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

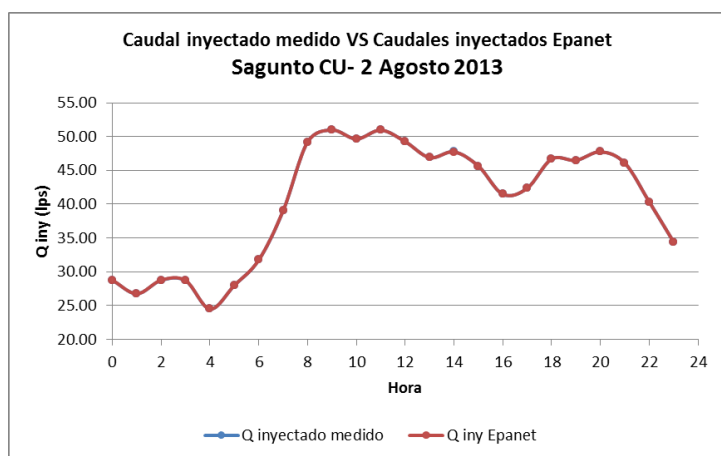


Figura 3-37. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet Sagunto Centro Urbano - 2 agosto de 2013

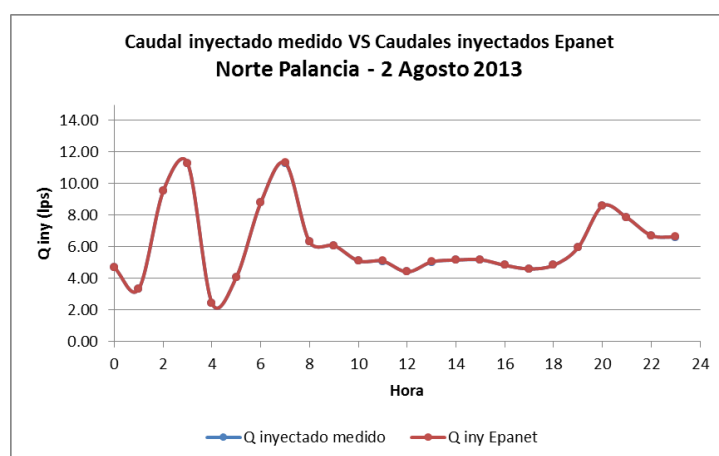


Figura 3-38. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet Norte Palancia - 2 agosto de 2013

➤ Red del Puerto de Sagunto (incluido Inguinsa)

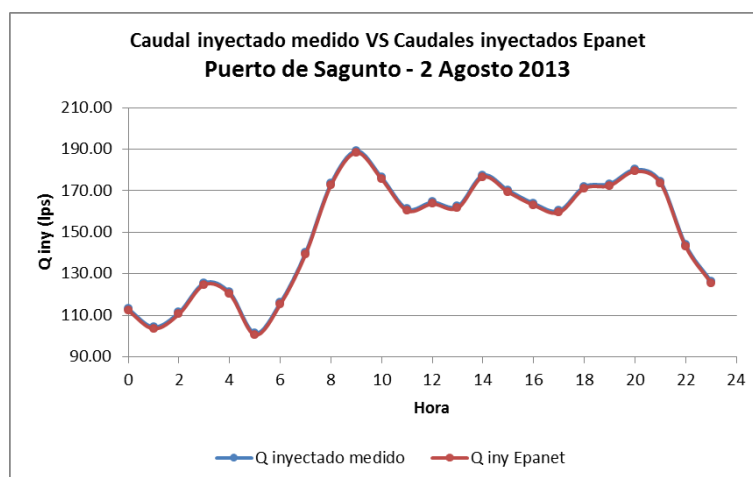


Figura 3-39. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet Puerto de Sagunto - 2 agosto de 2013

NOTA: Para este modelo inicial no se ha incluido la curva de modulación del Polígono Inguinsa, cosa que sí se ha hecho para el modelo definitivo.

➤ Red de L'Almardà

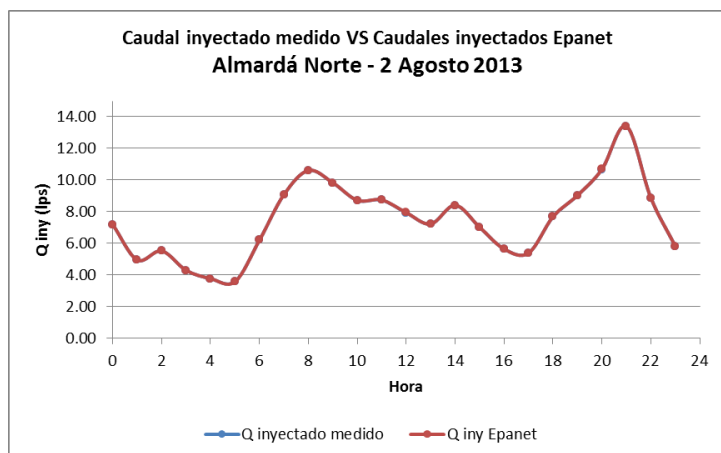


Figura 3-40. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet
L'Almardà Norte - 2 agosto de 2013

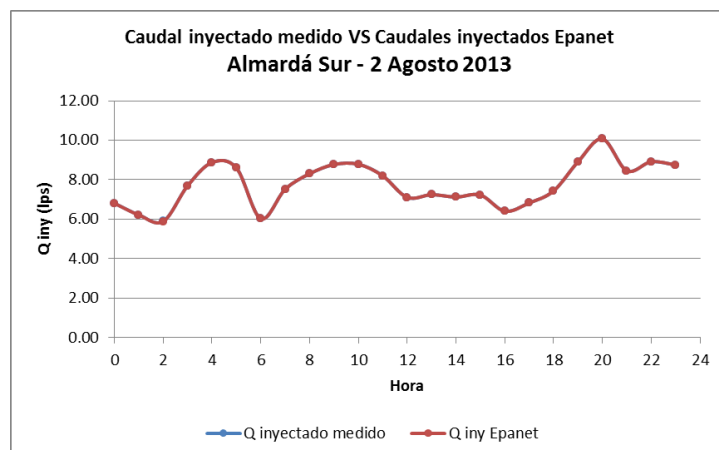


Figura 3-41. Caudal inyectado medido VS Caudal inyectado Epanet
L'Almardà Sur - 2 agosto de 2013

NOTA: Como se ha indicado en repetidas ocasiones, no existen datos de caudales instantáneos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt y por eso no hay datos de comprobación/calibración.

3.7.2 Presiones

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

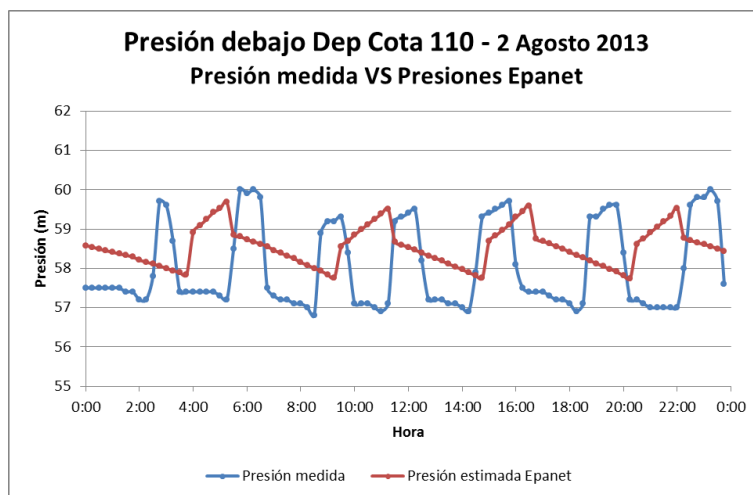


Figura 3-42. Presión medida VS Presión Epanet Debajo del Depósito Cota 110 - 2 agosto de 2013

Los escalones de presión que se ven en la gráfica anterior se producen cuando se llena o se vacía el Depósito Cota 110. La presión medida en la realidad y la presión estimada en Epanet no coinciden exactamente porque reproducir al detalle el funcionamiento es muy complicado, especialmente porque el arranque o paro depende de un operador siendo por tanto una decisión humana.

➤ Red del Puerto de Sagunto

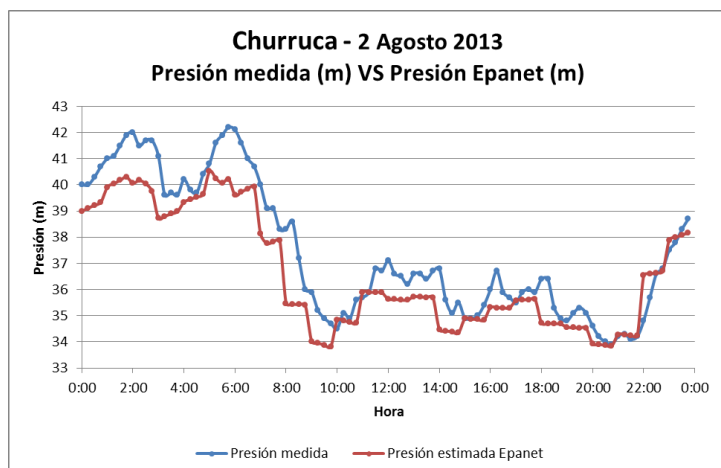


Figura 3-43. Presión medida VS Presión Epanet
Urbanización Churruca - 2 de agosto de 2013

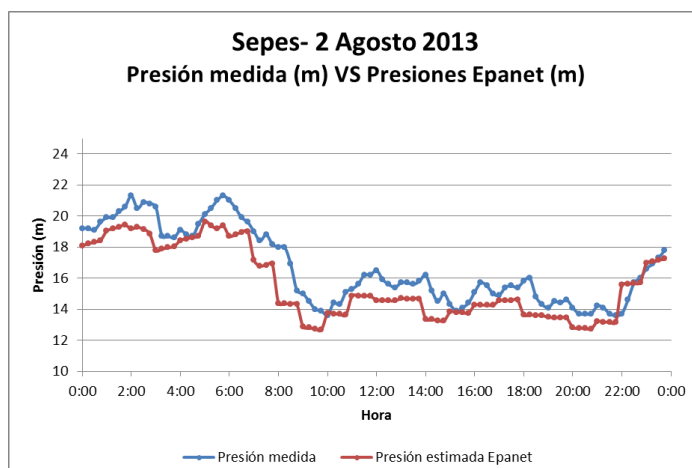


Figura 3-44. Presión medida VS Presión Epanet
Polígono Sepes - 2 de agosto de 2013

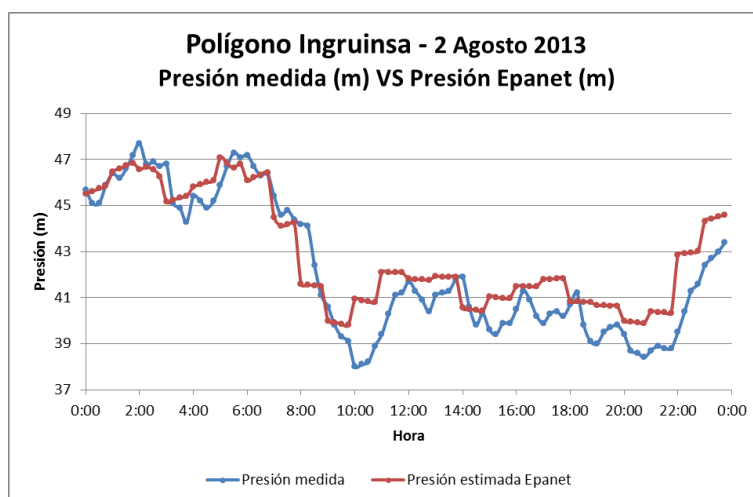


Figura 3-45. Presión medida VS Presión
Polígono Inguinsa - 2 de agosto de 2013

La coincidencia entre lo calculado por Epanet y lo medido en la realidad es buena, incluso cuando las condiciones de consumo varían. En los puntos en los que se dispone de medidores de presión el error máximo es menor a 2mca y habitualmente inferior a 0.5mca o coincidente.

Esto implica que la red está relativamente bien calibrada e inicialmente hace válida la hipótesis de que la rugosidad absoluta sea de 0.1mm en toda la red. De todas maneras hay que ser conscientes de que el modelo podría ser mejorable aunque para realizar el análisis y tomar decisiones la exactitud del mismo es más que suficiente.

NOTA: No se ha incluido el registro de presiones a la entrada de L'Almardà porque ese no es un resultado del problema sino un dato por lo que comentábamos. En cuanto a Parc Sagunt, aunque no hay un registro de datos (porque el sistema de explotación ha entrado a funcionar en 2014) sí que se ha comprobado que las presiones son similares a las que marca el modelo.

4. CARGA DEFINITIVA DEL MODELO HIDRÁULICO

Respecto a carga definitiva del modelo hidráulico nos referimos a la asignación final de las fugas por un método un poco más complejo que el visto en el capítulo previo y que lo completa.

Se ha comprobado que el modelo anterior funciona correctamente y ajusta los valores de caudales y presiones. Con esta nueva carga el caudal fugado depende de las presiones además de las longitudes de tubería incidentes. Además del modelo para el 2 de agosto de 2013 se incluye el del 25 de noviembre de 2013 y la modulación para el Polígono Inguinsa.

4.1 Asignación definitiva de consumos no registrados – Método de las fugas dependientes de la presión y de la longitud de tubería incidente en cada nodo

Aparte de que para dentro de un sector las fugas en cada nudo sean proporcionales a la longitud de tubería incidente se incluye que dependan de las presiones, según la siguiente expresión:

$$Q_{f_i} = \frac{L_i}{L_T} \cdot K_T \cdot (P_{media_i})^{b_i}$$

Realizando el sumatorio se tiene la siguiente expresión para todo el caudal de fuga de ese sector:

$$Q_{f_{total}} = \sum Q_{f_i} = \sum \frac{L_i}{L_T} \cdot K_T \cdot (P_{media_i})^{b_i}$$

Donde:

i = Nodo considerado

L_i = Longitud total de tubería incidente en cada nudo

L_T = Longitud total de tuberías en el sector considerado

$$Q_{f_{total}} = \text{Caudal de fugas total en el sector considerado} = \frac{V_{iny} - V_{reg}}{\text{tiempo}}$$

P_{media_i} = Presión media en el nodo (averiguada previamente con el modelo inicial)

b_i = Exponente emisor (depende del material) = 1.1 (en este caso se opta por un valor medio)

K_T = ES LA INCÓGNITA → SE AVERIGUA POR SOLVER

$$K_i = \frac{L_i}{L_T} \cdot K_T \rightarrow \text{ES EL COEFICIENTE EMISOR QUE SE METE EN EPANET PARA CADA NODO}$$

Este fundamento teórico está basado en la presentación "Including leakage in network models: an application to calibrate leak-valves with Epanet" de los profesores Ricardo Cobacho, Javier Soriano y Enrique Cabrera y en el Capítulo "Modelación matemática de redes" del curso "Evaluación y Control de Pérdidas de Agua escrito por Jorge García-Serra y Vicente García Carrasco (Cabrera, E. et al (2001)).

Una vez calculado el coeficiente emisor para cada nudo hay que incluirlo en Epanet a través del archivo *.inp en la zona [EMITTERS]. Por ejemplo para los nodos J1, J2 y J3:

```
[EMITTERS]
;ID Nudo_Caudal Coeficiente
J1 1.6835E-05
J2 1.10146E-06
J3 0
```

Figura 4-1. Coeficiente emisor para los nodos J1, J2 y J3

NOTA: Hay que desactivar de nuestro modelo las fugas constantes que estaban incluidas como demandas porque si no estaremos duplicando las fugas. Para ello hay que establecer que la curva de modulación de las fugas (que antes era 1) sea 0.

4.2 Calibración de caudales y presiones - 2 agosto de 2013

La captura de pantalla del modelo para el día 2 de agosto de 2013 es la siguiente:

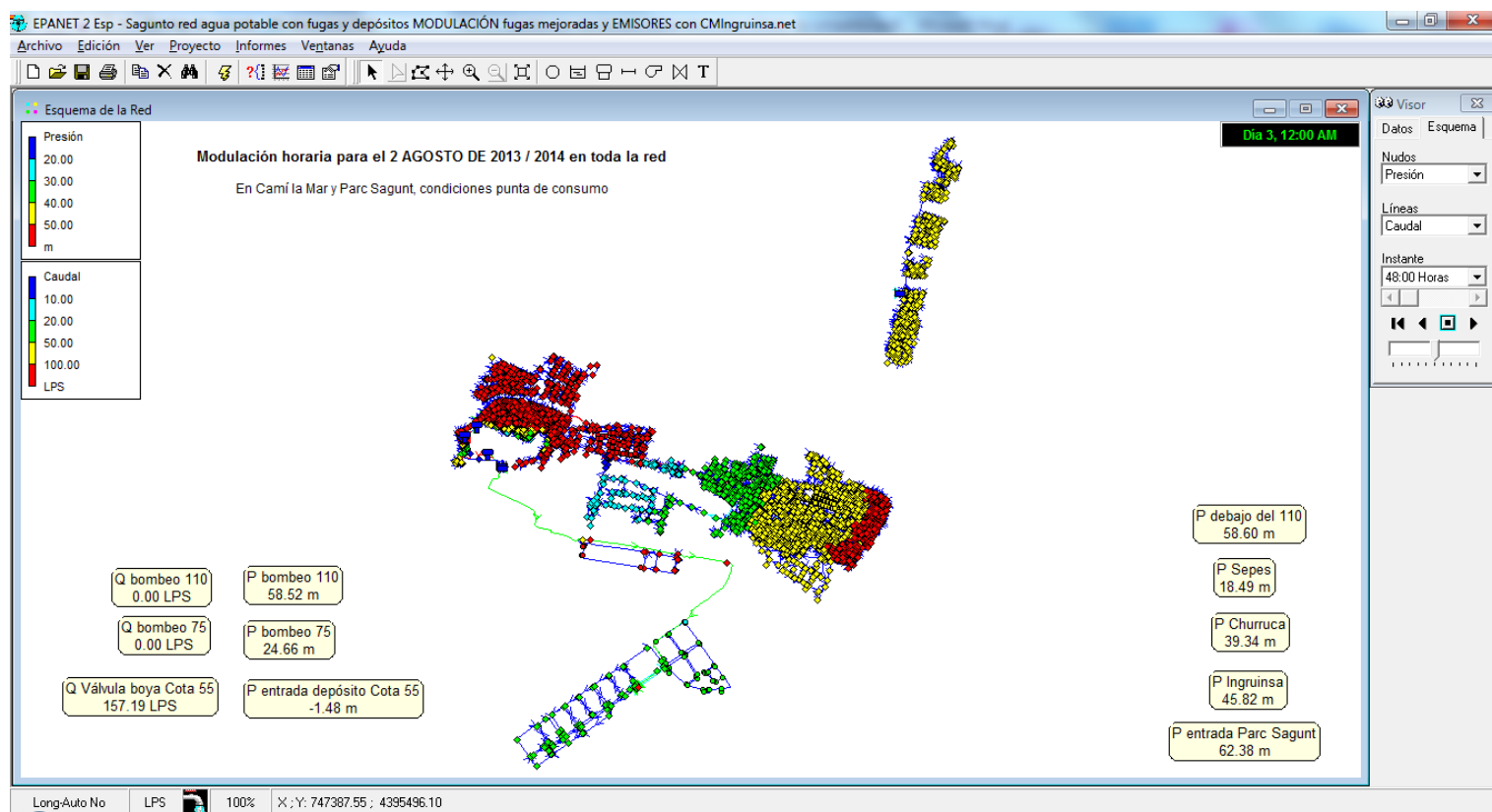


Figura 4-2. Modelo hidráulico 2 de agosto de 2013 - Distribución de fugas con emisores dependientes de la presión de la longitud de tubería incidente en cada nudo

Como se ve al comparar esta captura de pantalla con la del modelo inicial, la distribución de presiones por toda la red es idéntica.

También se pueden distinguir los emisores que son los nodos con forma de rombo. Los nodos que tienen forma de círculo son aquellos que no tienen consumo asignado y que no tienen coeficiente emisor asociado.

4.2.1 Caudales

Con este modelo los caudales inyectados por Epanet también se ajustan mucho a los inyectados en la realidad, aunque en algunos casos se pueden diferenciar unas mínimas diferencias. Esto es debido a que en este modelo las fugas ya no son constantes y las curvas de modulación del caudal registrado siguen siendo las mismas que se calcularon en la carga inicial del modelo.

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

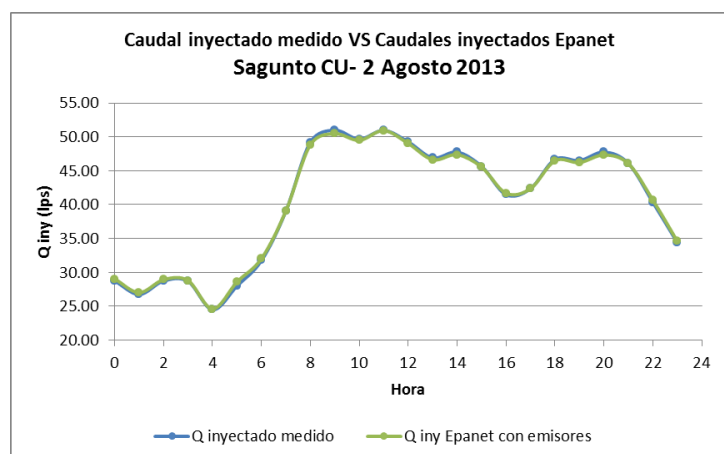


Figura 4-3. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Sagunto Centro Urbano - 2 agosto de 2013

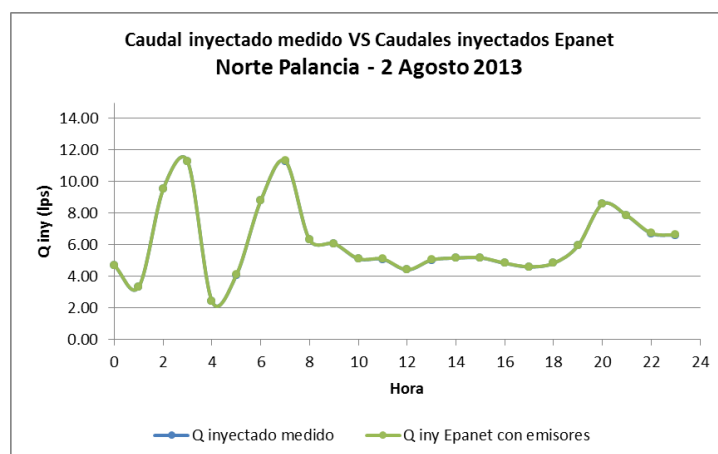


Figura 4-4. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Norte Palancia - 2 agosto de 2013

➤ Red del Puerto de Sagunto

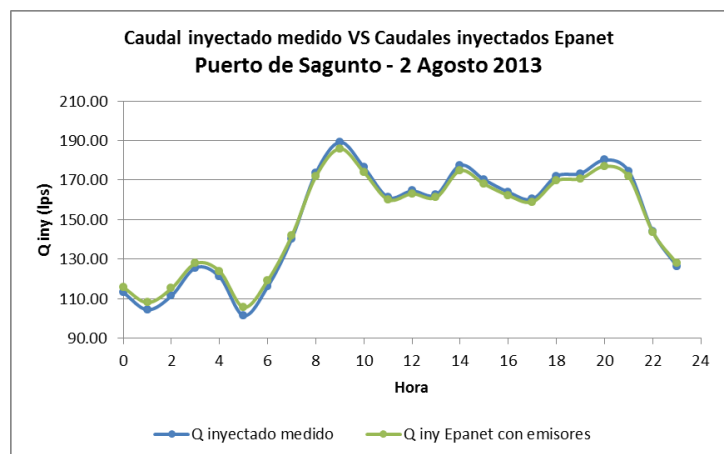


Figura 4-5. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Puerto de Sagunto (incluido Inguinsa) - 2 agosto de 2013

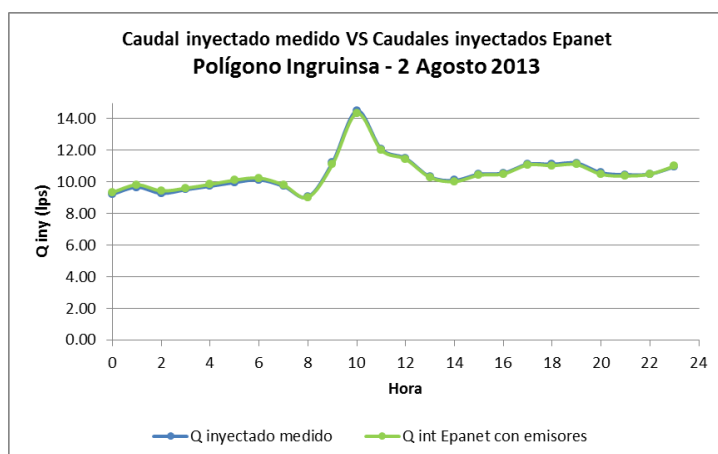


Figura 4-6. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Polígono Inguinsa - 2 agosto de 2013

NOTA: En este modelo sí se incluye la modulación del Polígono Inguinsa, por lo que si comparamos los caudales medidos con los estimados por Epanet.

➤ Red de L'Almardà

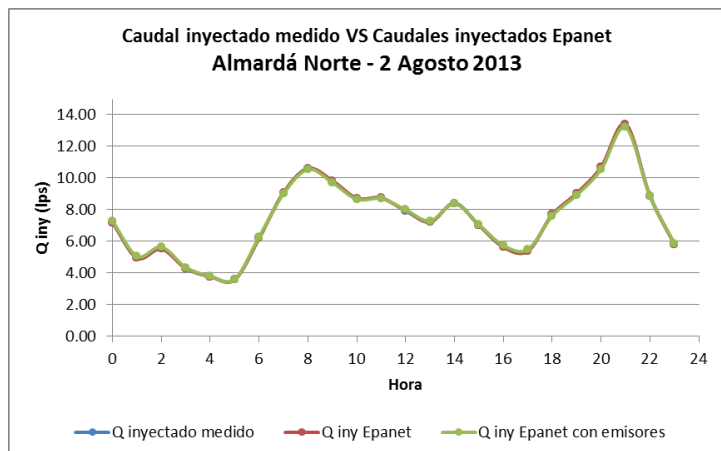


Figura 4-7. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores
L'Almardà Norte - 2 agosto de 2013

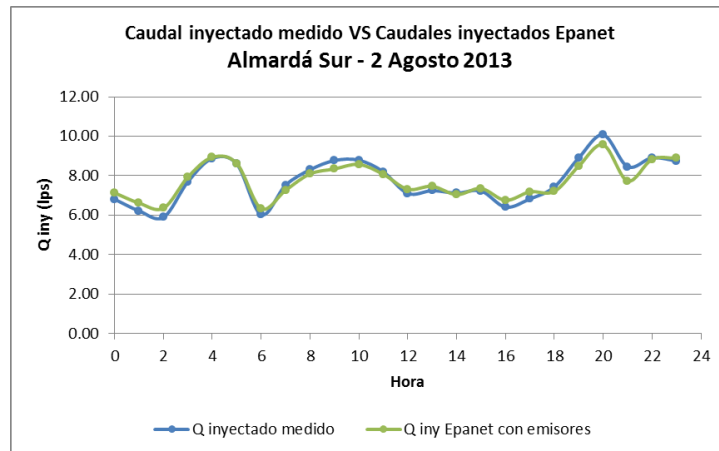


Figura 4-8. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores
L'Almardà Sur - 2 agosto de 2013

NOTA: Como se ha indicado en repetidas ocasiones, no existen datos de caudales instantáneos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt y por eso no hay datos de comprobación/calibración.

4.2.2 Presiones

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

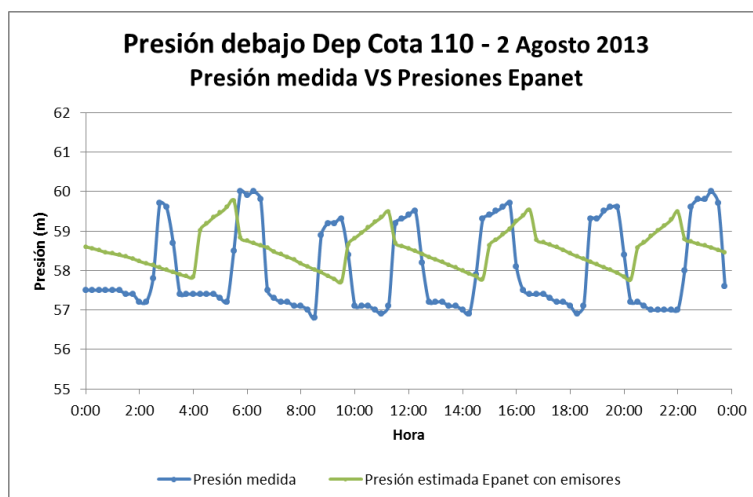


Figura 4-9. Presión medida VS Presión Epanet emisores
Debajo del Depósito Cota 110 - 2 agosto de 2013

En este caso se puede comentar exactamente lo mismo que para el modelo inicial visto en el capítulo anterior. Es muy complicado ajustar el comportamiento de los depósitos, pero en general las presiones en ese punto están muy cercanas a la realidad.

➤ Red del Puerto de Sagunto

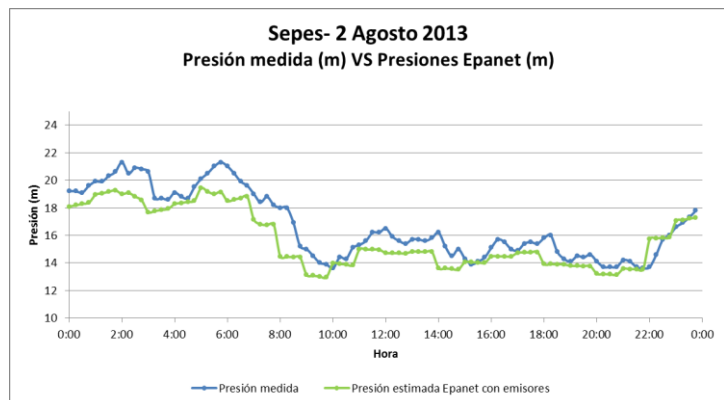


Figura 4-10. Presión medida VS Presión Epanet emisores
Polígono Sepes - 2 de agosto de 2013

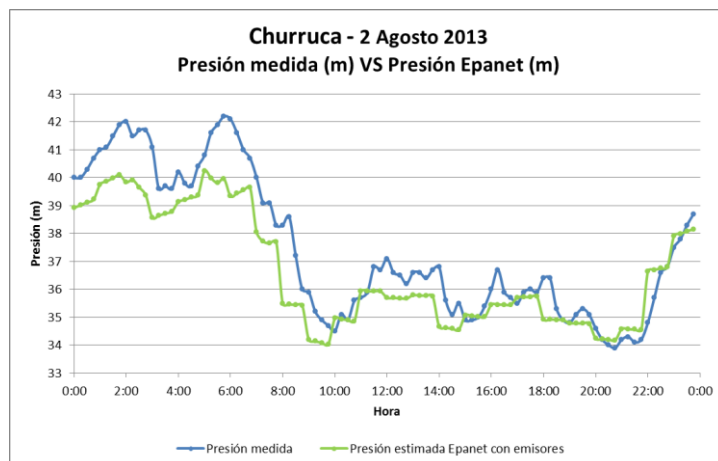


Figura 4-11. Presión medida VS Presión Epanet emisores
Urbanización Churruca - 2 de agosto de 2013

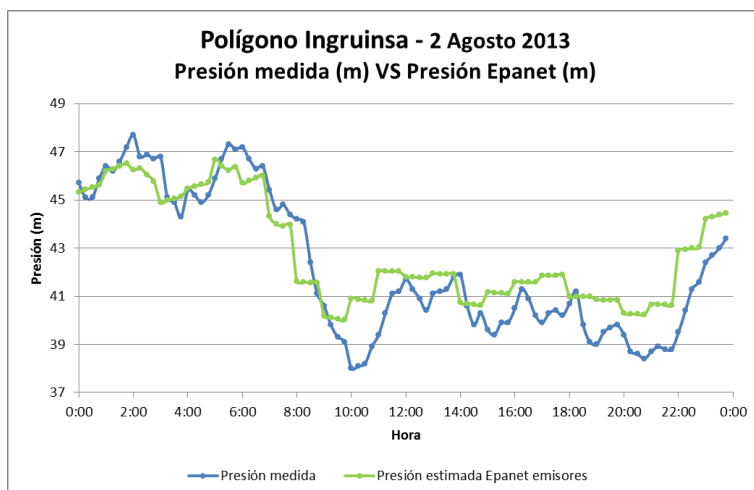


Figura 4-12. Presión medida VS Presión Epanet emisores
Polígono Inguinsa - 2 de agosto de 2013

Con este nuevo modelo en el que las fugas dependen de la presión la coincidencia entre lo estimado por Epanet y lo medido en la realidad es buena incluso cuando las condiciones de consumo varían.

Esto implica que la red está relativamente bien calibrada. En cualquier caso hay que ser conscientes de que el modelo podría ser mejorable aunque como se ha comentado para realizar el análisis y tomar decisiones la exactitud del mismo es más que suficiente.

Prácticamente los resultados son idénticos a los del modelo inicial, pero con la ventaja de poder determinar el nuevo volumen de agua fugada si las presiones varían lo que puede ayudar a la hora de seleccionar las posibles mejoras del sistema.

4.3 Calibración de caudales y presiones – 25 de noviembre de 2013

En las siguientes hojas están expuestas las gráficas de comparación y calibración de caudales y presiones para el día 25 de noviembre de 2013 que en rasgos generales es bastante distinto al 2 de agosto. Como se comprobará, la coincidencia también es alta, lo que supone que para cualquier día que se estime el modelo funcionará correctamente:

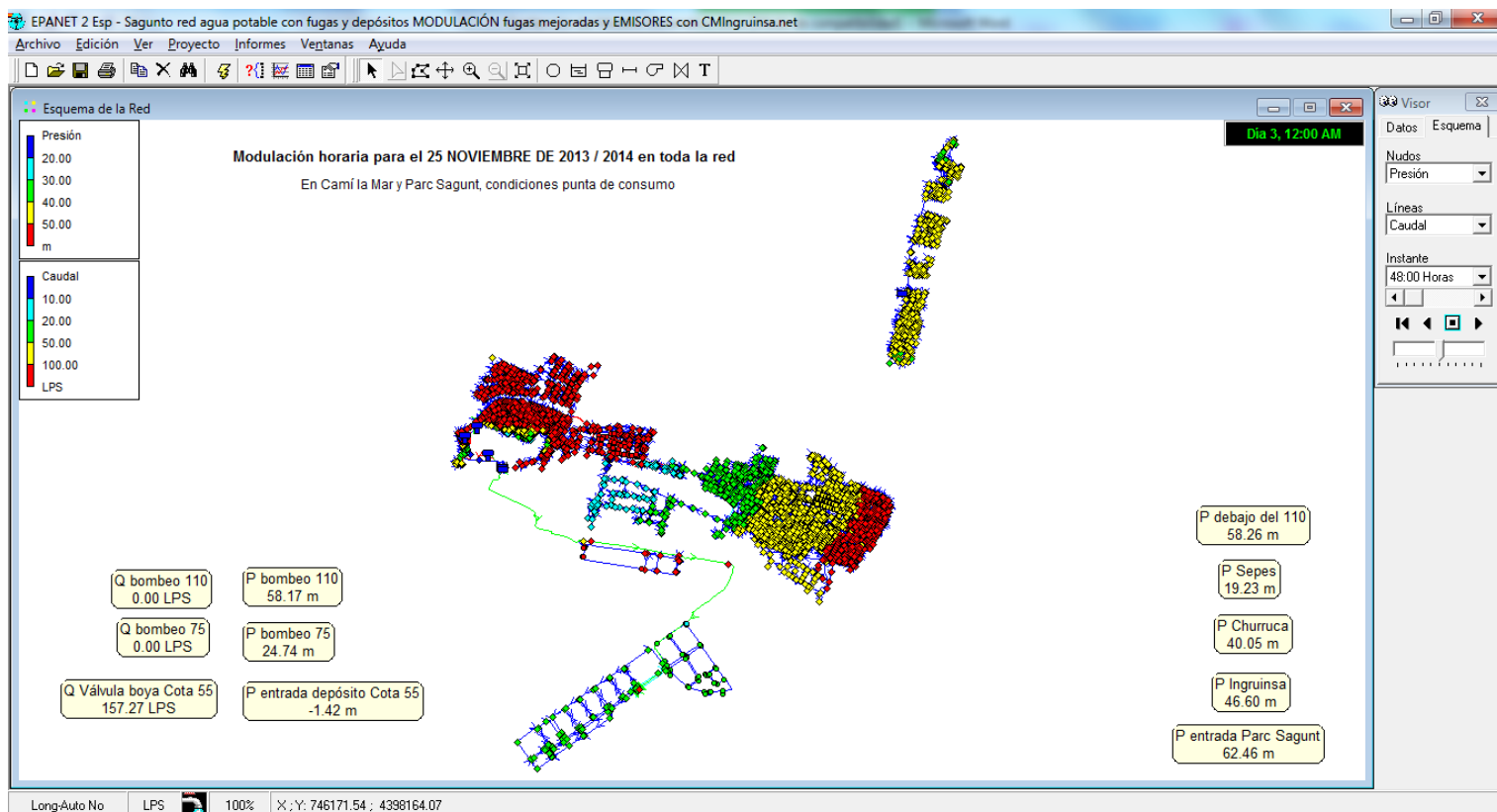


Figura 4-13. Modelo hidráulico 25 de noviembre de 2013 - Distribución de fugas con emisores dependientes de la presión de la longitud de tubería incidente en cada nodo

4.3.1 Caudales

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

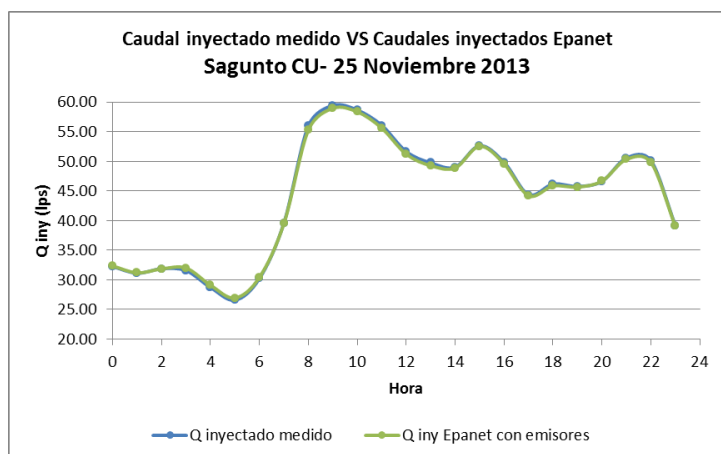


Figura 4-14. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Sagunto Centro Urbano – 25 noviembre de 2013

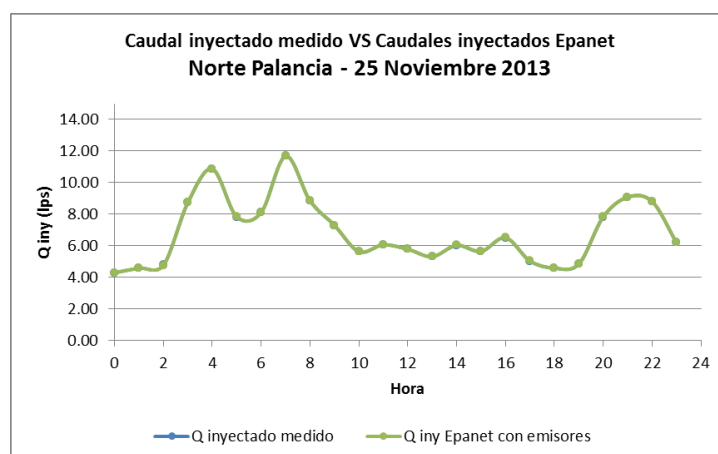


Figura 4-15. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Norte Palancia - 25 noviembre de 2013

➤ Red del Puerto de Sagunto

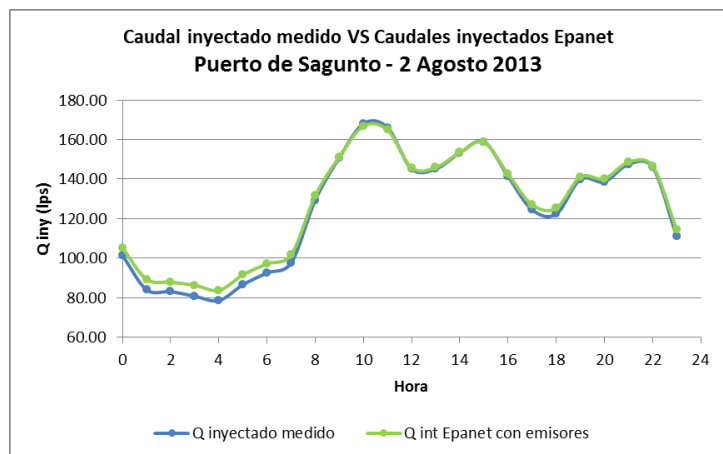


Figura 4-16. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Puerto de Sagunto (incluido Inguinsa) - 25 noviembre de 2013

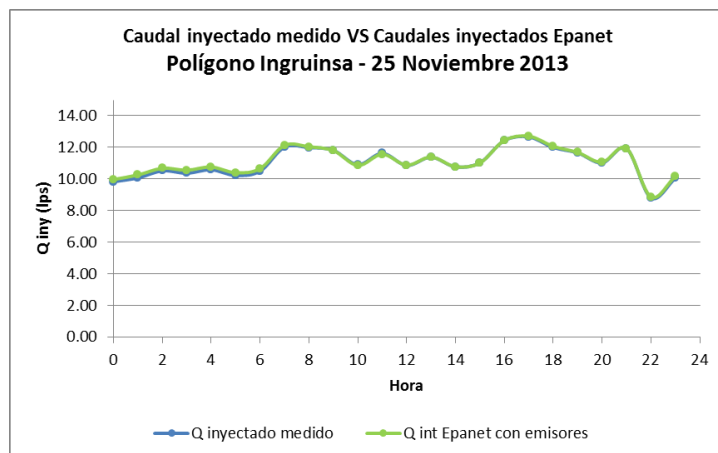


Figura 4-17. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores Polígono Inguinsa - 25 noviembre de 2013

NOTA: En este modelo sí se incluye la modulación del Polígono Inguinsa, por lo que si comparamos los caudales medidos con los estimados por Epanet.

➤ Red de L'Almardà

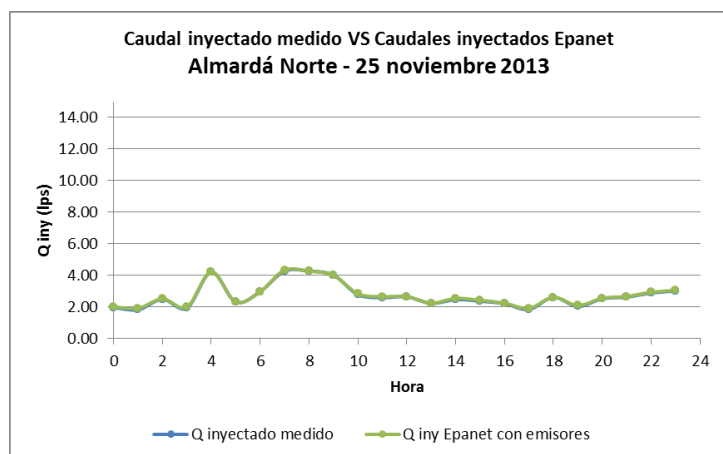


Figura 4-18. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores L'Almardà Norte - 25 noviembre de 2013

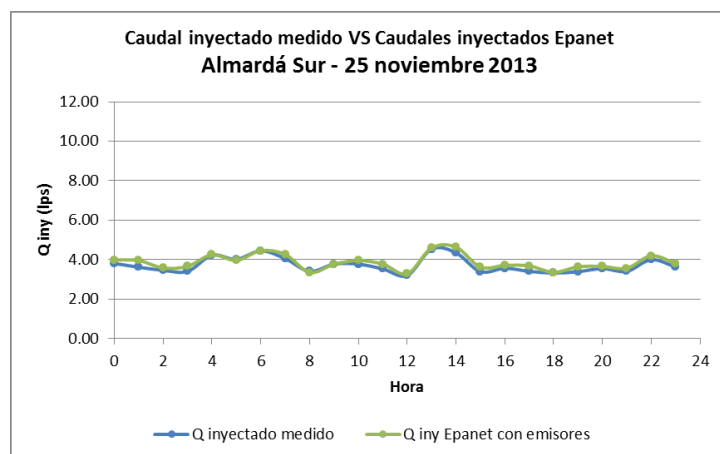


Figura 4-19. Caudal inyectado VS Caudal inyectado Epanet emisores L'Almardà Sur - 25 noviembre de 2013

NOTA: Como se ha indicado en repetidas ocasiones, no existen datos de caudales instantáneos para la red de Camí la Mar y Parc Sagunt y por eso no hay datos de comprobación/calibración aunque se ha corroborado in situ que los resultados arrojados por el modelo son correctos.

4.3.2 Presiones

➤ Red de Sagunto Centro Urbano y Norte Palancia

La gráfica es muy parecida a la del día 2 de agosto porque ese punto se encuentra debajo del Depósito Cota 55 y lo que refleja son las oscilaciones de éste y del funcionamiento de las bombas de la ETAP.

➤ Red del Puerto de Sagunto

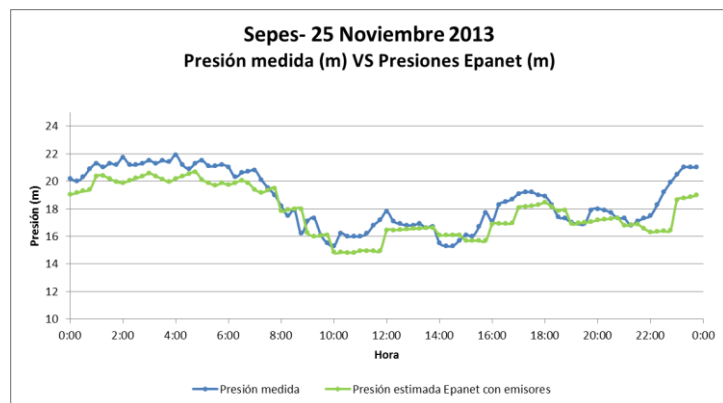


Figura 4-20. Presión medida VS Presión Epanet emisores
Polígono Sepes – 25 noviembre de 2013

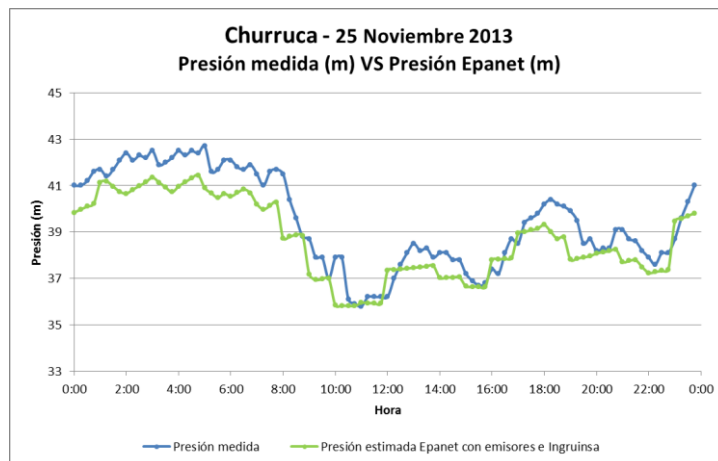


Figura 4-21. Presión medida VS Presión Epanet emisores
Urbanización Churruca – 25 noviembre de 2013

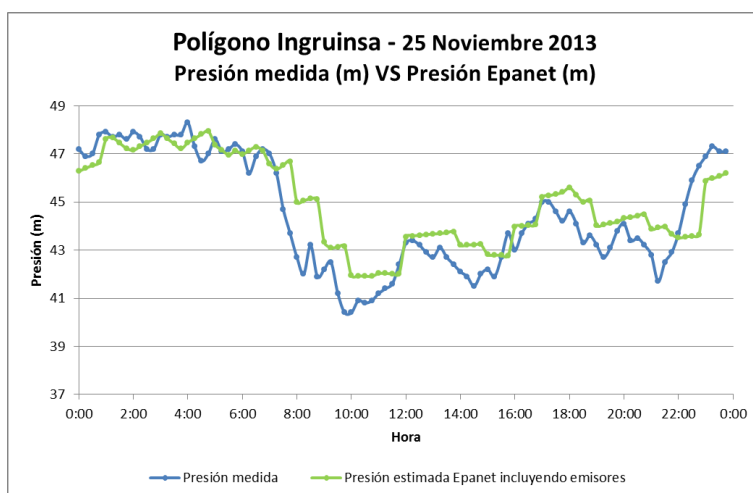


Figura 4-22. Presión medida VS Presión Epanet emisores
Polígono Inguinsa – 25 noviembre de 2013

Para el 25 de noviembre la coincidencia entre lo calculado por Epanet y lo medido en la realidad es algo mejor que para el 2 de agosto de 2013. En los puntos en los que se dispone de medidores de presión el error máximo es menor a 1.5mca y habitualmente inferior a 0.5mca o coincidente.

Esto supone que la red está bien calibrada. De todas maneras hay que ser conscientes de que el modelo podría ser mejorable aunque para realizar el análisis y tomar decisiones la exactitud del mismo es más que suficiente.

5. CONCLUSIONES

A lo largo de este documento se ha explicado cómo se ha generado el modelo matemático de la red de agua Potable de Sagunto y las particularidades del mismo. A modo de conclusiones se pueden indicar los siguientes puntos sobre éste:

- Incluye toda la red de agua potable destacando Sagunto Centro Urbano, Puerto de Sagunto, Norte Palancia, Polígonos Industriales y L'Almardà.
- Incluye la red de traída procedente de la ETAP y los depósitos de cabecera permitiendo un análisis de su funcionamiento.
- Los consumos registrados medios fueron asignados por calle siendo repartidos entre los nodos de consumo por proximidad.
- Las curvas de modulación son las del caudal registrado para cada uno de los macrosectores en los que se cuenta con registros de caudal.
- Existen dos modelos diferentes de los días 2 de agosto de 2013 y 25 de noviembre de 2013 en los que se reproducen distintas condiciones de consumo mediante las citadas curvas de modulación.
- En la primera carga hidráulica del modelo se consideraron las fugas constantes en cada uno de los macrosectores. El caudal fugado se repartió entre los nodos de forma proporcional a la longitud de tubería incidente.
- En la segunda carga hidráulica las fugas en cada nodo se hicieron dependientes de la presión aprovechando los resultados de la primera carga además de ser proporcionales a la longitud de tubería incidente. De esta manera el modelo es capaz de estimar la modificación del caudal inyectado si las condiciones de presión varían lo que será muy útil a la hora de estimar si la reducción de presiones es rentable para disminuir volúmenes fugados y aumentar el rendimiento volumétrico.

Como se ha puesto de manifiesto en los apartados correspondientes a la comprobación y calibración el funcionamiento del modelo es correcto aunque podría ser mejorado si se llevara a cabo una calibración más fina consistente en mejorar el reparto de caudales y posiblemente variar la rugosidad absoluta o diámetro interior de algunas conducciones. Para ello habría que contar con un mayor número de mediciones tanto de presión como de caudal, conocer la ubicación espacial de las acometidas y en general disponer de más tiempo de trabajo y recursos.

En cualquier caso el modelo presenta una exactitud más que suficiente para realizar el análisis de la red y tomar decisiones que mejoren el funcionamiento del sistema tal y como se indica en el Documento de la Memoria.

6. REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

Bartolín, H.J. y Martínez Alzamora, F. (2006). *GISRed v2.0. Extensión de Arcview 3.2a para la confección y el mantenimiento actualizado de modelos de redes de distribución de agua a presión. Manual de usuario*. Instituto de Ingeniería del Agua y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Cabrera, E., Espert, V., Arregui, F., García-Serra, J., García Carrasco, V. (2001). *Evaluación y control de pérdidas de agua en redes urbanas. Curso de fugas y modelación matemática de redes*. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Cabrera, E., Espert, V., García-Serra, J., Martínez, F., Andrés, M. y García, M. (1996). *Ingeniería hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Fuertes, V.S., García-Serra, J., Iglesias, P.L., López, G., Martínez, F.J. y Pérez, R. (2002). *Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua*. Ed. Grupo Mecánica de Fluidos. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Grupo REDHISP (2013). *Curso de Hidráulica básica para operadores*. Grupo de Redes Hidráulicas y Sistemas a Presión. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Iglesias, P.L. y Martínez Solano, F.J. (2012). *Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante Epanet 2 vE*. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).

NORMATIVAS

Ayuntamiento de Sagunto. Oficina técnica de urbanismo. *Plan General de Ordenación Urbana*. Sagunto (España).

Ministerio de Obras Públicas (1996). *Real Decreto 2177/1996 de 4 de octubre de 1996 (Derogado). Norma básica de la edificación NBE CPI 96. Condiciones de protección contra incendios en los edificios. BOE de 29 de octubre de 2006*.

Ministerio de Sanidad y Consumo (2003). *Real Decreto 140/2003 de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE 21 de febrero de 2003*.

OTRAS REFERENCIAS

Presentación sobre ITA fugas: Cobacho, R., Arregui, F., Soriano, J. y Cabrera Jr, E. *Including leakage in network models: an application to calibrate leak-valves with Epanet*. Instituto Tecnológico del Agua. Universidad Politécnica de Valencia (España).

Apuntes del Máster de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medioambiente. Universidad Politécnica de Valencia (España).