

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

CONFECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

| | | |
|------|---|----|
| 1. | Datos iniciales. Información cartográfica..... | 3 |
| 2. | Importación desde ArcView..... | 6 |
| 2.1 | Conectividad | 7 |
| 3. | Asignación de cotas a los nudos | 7 |
| 3.1 | Datos disponibles y problemas encontrados | 8 |
| 3.2 | Creación de la superficie de interpolación | 10 |
| 3.3 | Esquema de red | 12 |
| 4. | Asignación de consumos en los nudos..... | 14 |
| 4.1 | Datos disponibles | 14 |
| 4.2 | Asignación de los consumos: Demand Allocation | 16 |
| 4.3 | Mejoras implementadas en la asignación de demandas | 17 |
| 5. | Exportación a Epanet..... | 23 |
| 5.1 | Creación del modelo 2013. | 24 |
| 6. | Régimen Permanente | 24 |
| 7. | Régimen en Periodo Extendido..... | 28 |
| 8. | Caudal no Facturado. Fugas..... | 29 |
| 8.1 | Cómo Asignar el Caudal Fugado | 30 |
| 8.2 | Cálculo caudal fugado con ITAFugas | 31 |
| 8.3 | Inserción del modelo de Sant Carles de la Ràpita en ITAFugas | 32 |
| 8.4 | Archivo de Epanet con Emisores | 34 |
| 9. | Calibración del modelo. Comparativas con Datos Reales de 2013..... | 35 |
| 9.1 | Modelo Día Promedio 2013 | 35 |
| 9.2 | Modelo Día de Máximo Consumo 2013 | 38 |
| 10. | Configuración del modelo matemático en 2014 | 41 |
| 10.1 | Día promedio 2014 | 41 |
| 10.2 | Resumen de valores promedio de Dataloggers en 2014 | 44 |
| 10.3 | Situación Día de Máximo Consumo 2014 | 48 |
| 11. | Justificación de los cambios de configuración de la red: ahorro de agua. | 52 |
| 11.1 | Comparación de los modelos Día Máximo Consumo 2013 y 2014 | 52 |
| 11.2 | Comparativa Caudales 2013 y 2014 Periodo Extendido | 53 |
| 11.3 | Gráficos Comparativos De Caudalímetros Civil, Espanyol, Poble 2013-2014 | 54 |
| 12. | Conclusiones..... | 55 |

1. DATOS INICIALES. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA.

Para el estudio de modelación de la red, inicialmente se dispuso de los planos facilitados por el POUM (elaborado por el arquitecto Estanislau Roca) y por el GIS aportado por Aguas de Valencia:

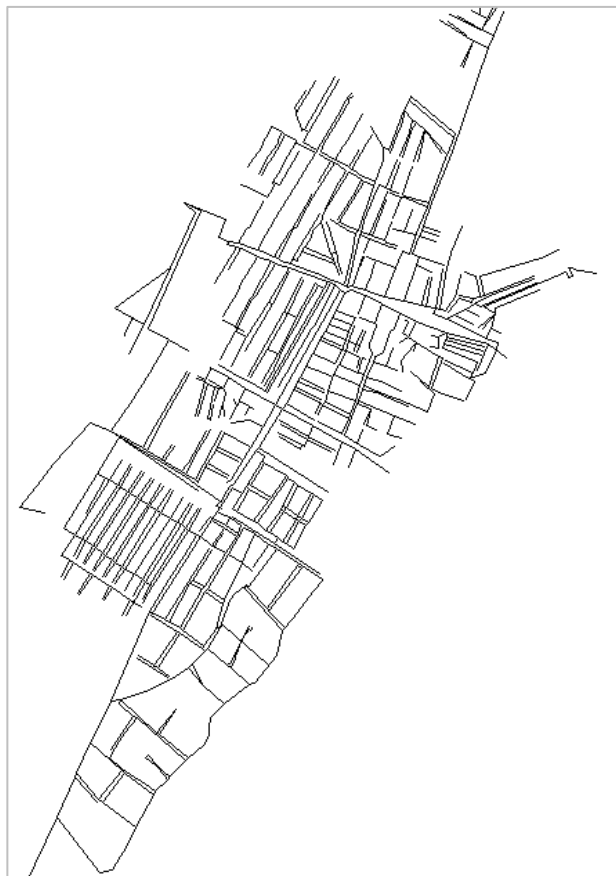


Ilustración 1 Plano Pseudo Gis Aguas de Valencia. Última actualización aproximada: 1999

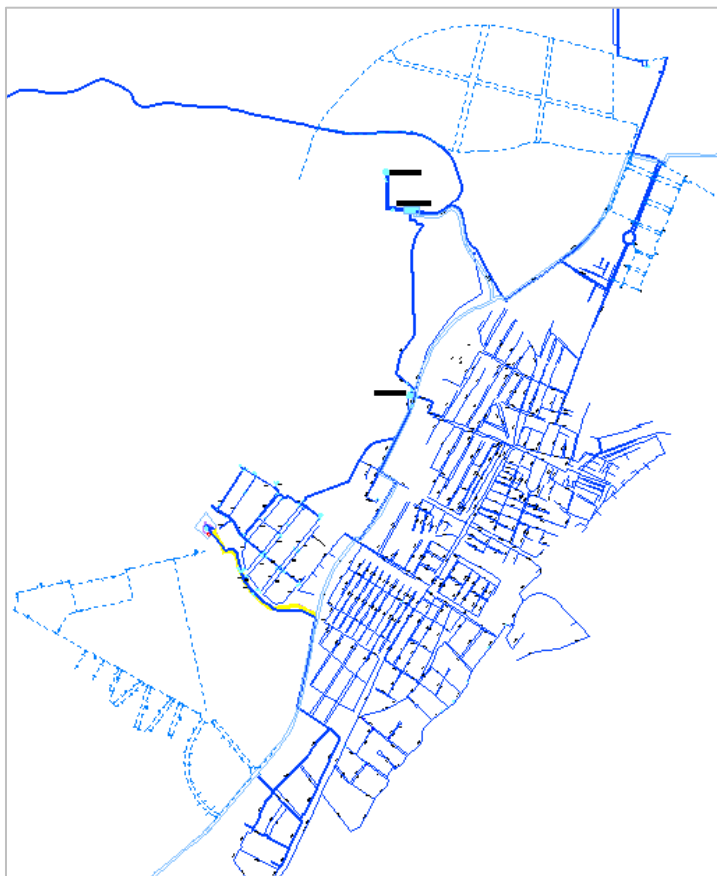


Ilustración 1A Plano POUM Sant Carles de la Ràpita de suministro de Agua. Actualización de 2012. Contempla ampliaciones presentes y futuras (líneas discontinuas) que a día de hoy pretenden ejecutarse.

Dichos planos tienen definidas las tuberías de la red con su diámetro y material y coinciden en su esquema, es decir, no existen contradicciones entre ellos y en principio parecen fiables.

Sin embargo, al presentarse “in situ” en la población y visitar con los técnicos y operarios las instalaciones actuales de la red, se hizo necesaria la recopilación de nueva información acerca del estado y topología de la misma, al comprobar que los planos antes mencionados no se ajustaban a la realidad actual de la red.

Esta observación se hace patente en el momento de introducir ciertas modificaciones de las obras practicadas durante un periodo de tiempo aproximado de treinta años atrás, que no estaban contempladas en ninguno de estos esquemas en formato digital. Al realizar la comparación entre los documentos facilitados por la empresa gestora, con los planos efectuados en papel por los operarios (consultar Anexo I), encontramos que existen diferencias insalvables.

Mientras que los planos digitales muestran una red en malla casi en su totalidad, la red real aparece mixta, con importantes ramificaciones.

Una vez ubicada la posición de los planos en el esquema general, se reformará toda la red desde el Gis de Aguas de valencia.

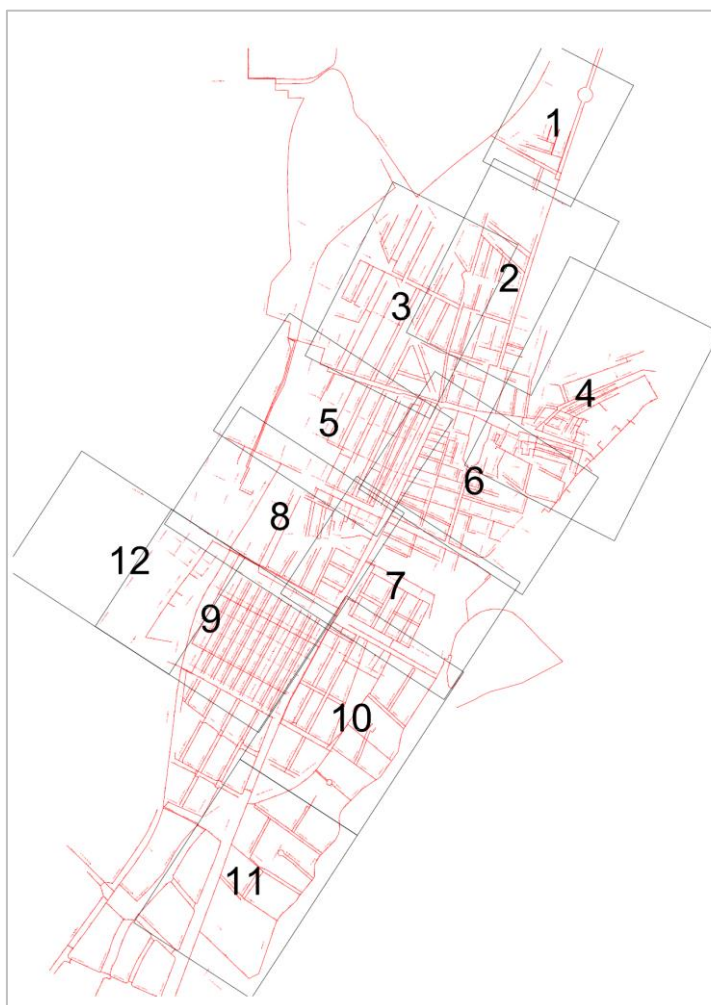


Ilustración 1B Relación de la ubicación de los planos hechos a mano por los operarios (Anexo I)

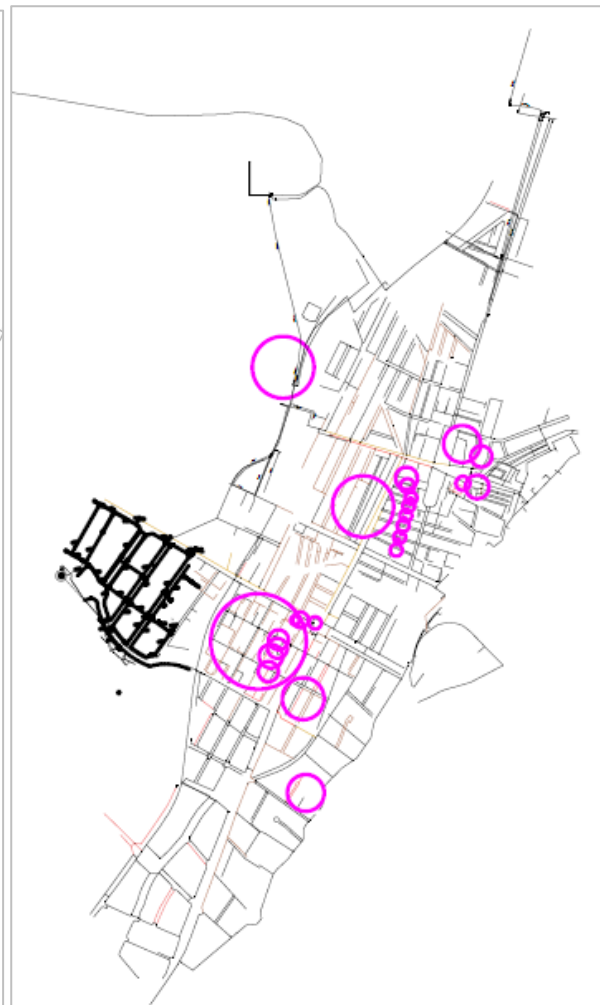


Ilustración 1C Rodeadas por un círculo magenta, las zonas de más densidad de reparaciones y cambios de tuberías

Realizada la comparación de los nuevos documentos con los antiguos, se añadirán las actuaciones efectuadas de sustitución de tuberías y las previstas a corto plazo. Además, se agregarán nuevos barrios surgidos por el crecimiento de la población y no representados en los planos iniciales.

Una vez actualizado todo el documento en AutoCAD, pasaremos a clasificar la información. Esta se realizará por capas en función del diámetro y material de las diferentes tuberías.

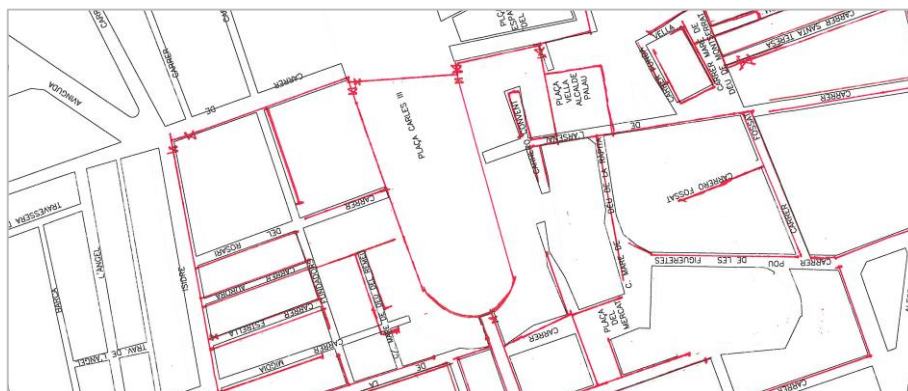


Ilustración 1D Detalle del casco urbano realizado a mano por los Operarios

En la figura siguiente se aprecia el resultado final de la clasificación, donde cada color corresponde a tuberías con diámetro y material diferentes.

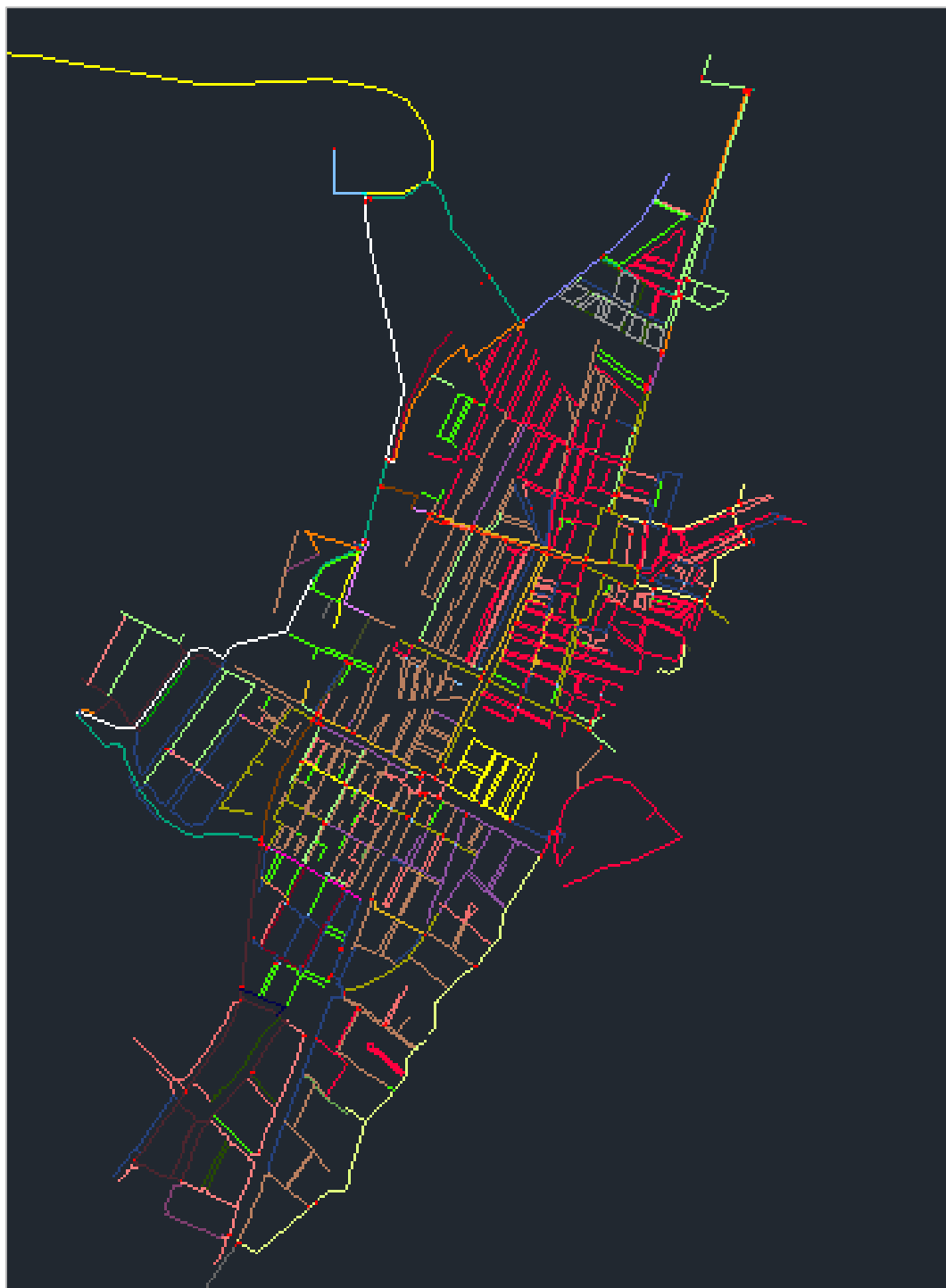


Ilustración 1D Clasificación de tuberías por capas en Diámetro y material

Una vez realizado y verificado este trabajo en AutoCAD, procederemos a importar esta red a un SIG (Sistema de Información Geográfica). De este modo es posible clasificar y añadir nuevas características de la red, como creación de nudos de consumo, asignación de cotas a los mismos, estado de las tuberías, nombres de material, ubicaciones y demás referencias a los elementos que vayamos creando en la red.

La aplicación SIG utilizada será ArcView, ya que es el programa usado por Aguas de Valencia y permite la exportación de archivos a Epanet.

2. IMPORTACIÓN DESDE ARCVIEW

Para poder operar sobre nuestra red de Cad y una vez transformado el archivo de AutoCAD a formato DFX, activaremos en ArcView la extensión de Gis Red y de Cad Reader.

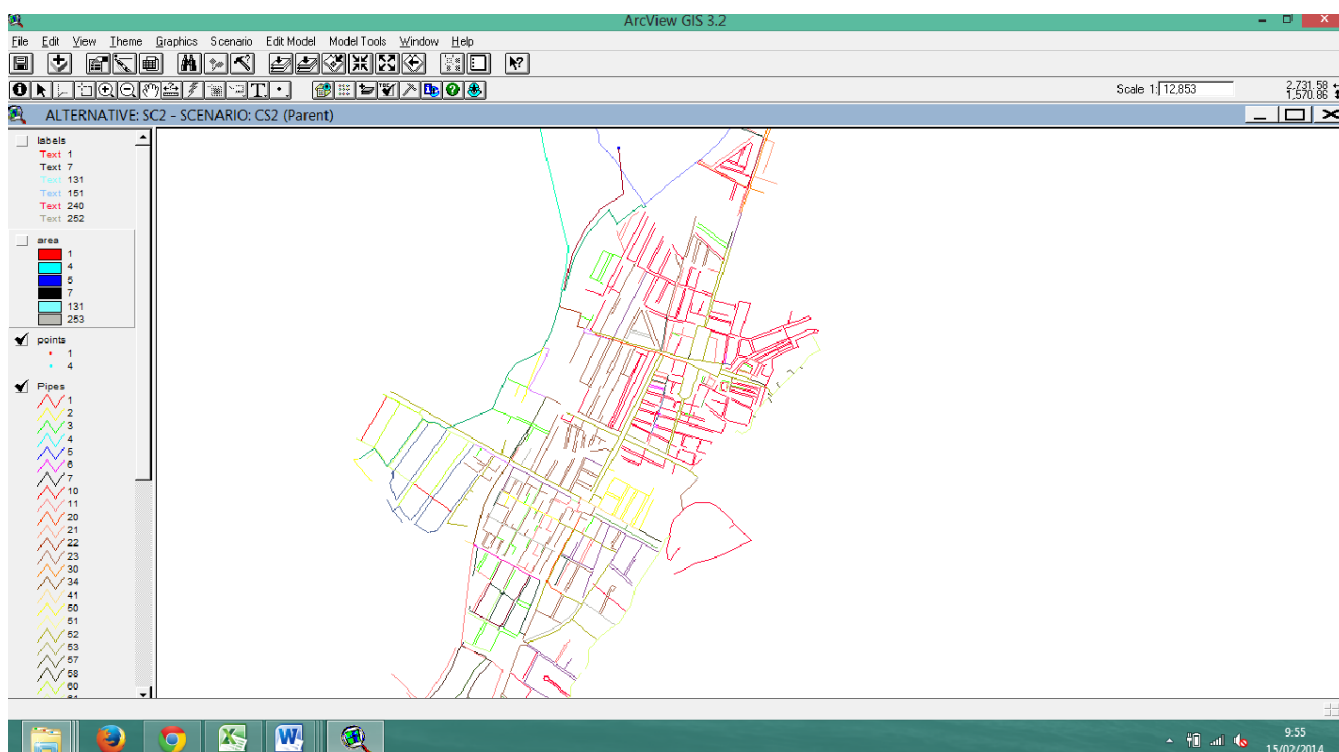


Ilustración 2 Red de AutoCAD recién importada a ArcView

Fijaremos las propiedades de las capas de AutoCAD e importaremos la capa de “tuberías”, de modo que se generarán líneas y nudos automáticamente. De esta forma podremos estudiar la conectividad de la red, editar y/o eliminar nuevos nudos o líneas.

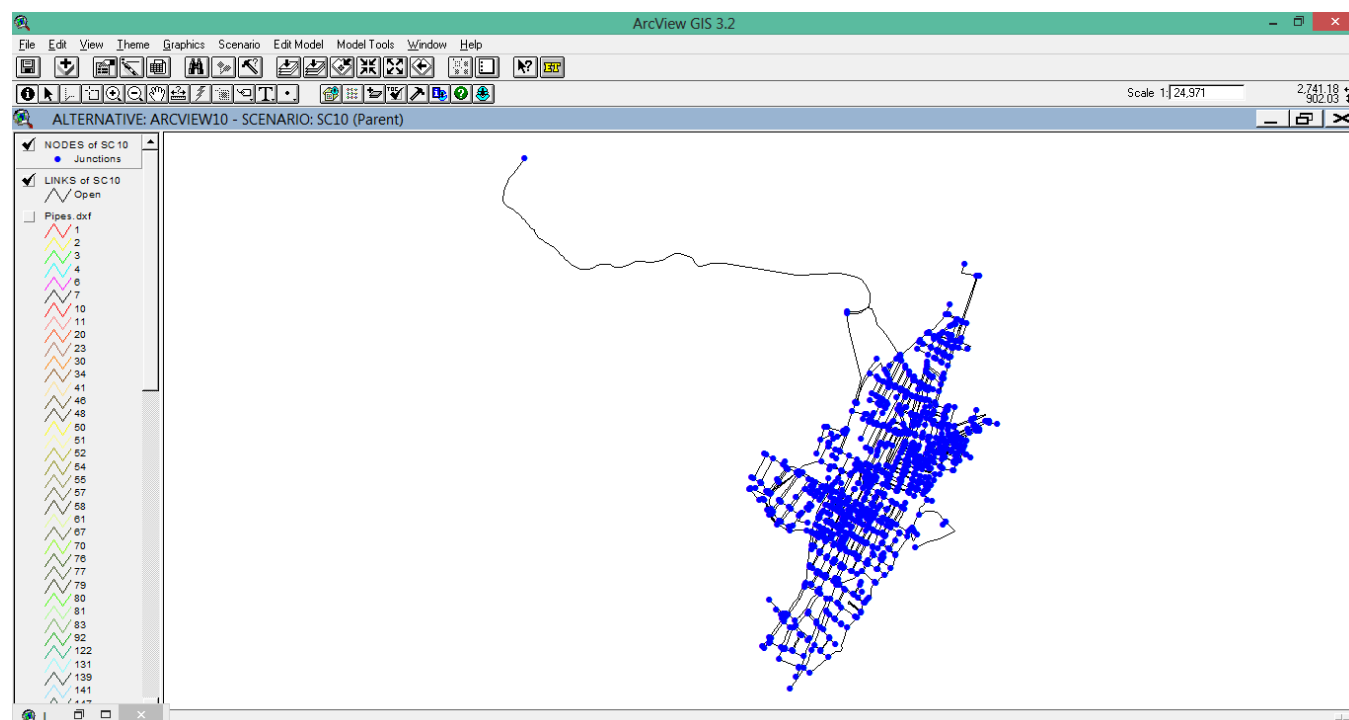


Ilustración 2A Red en ArcView con nudos y líneas creados

2.1 Conectividad

La herramienta de “Model Tools” – Connectivity nos permitirá comprobar el estado de conectividad de la red, que será total cuando la imagen de la red presentada por la aplicación sea de idéntico color. En ese momento se puede considerar que el modelo teórico se encuentra perfectamente conectado.

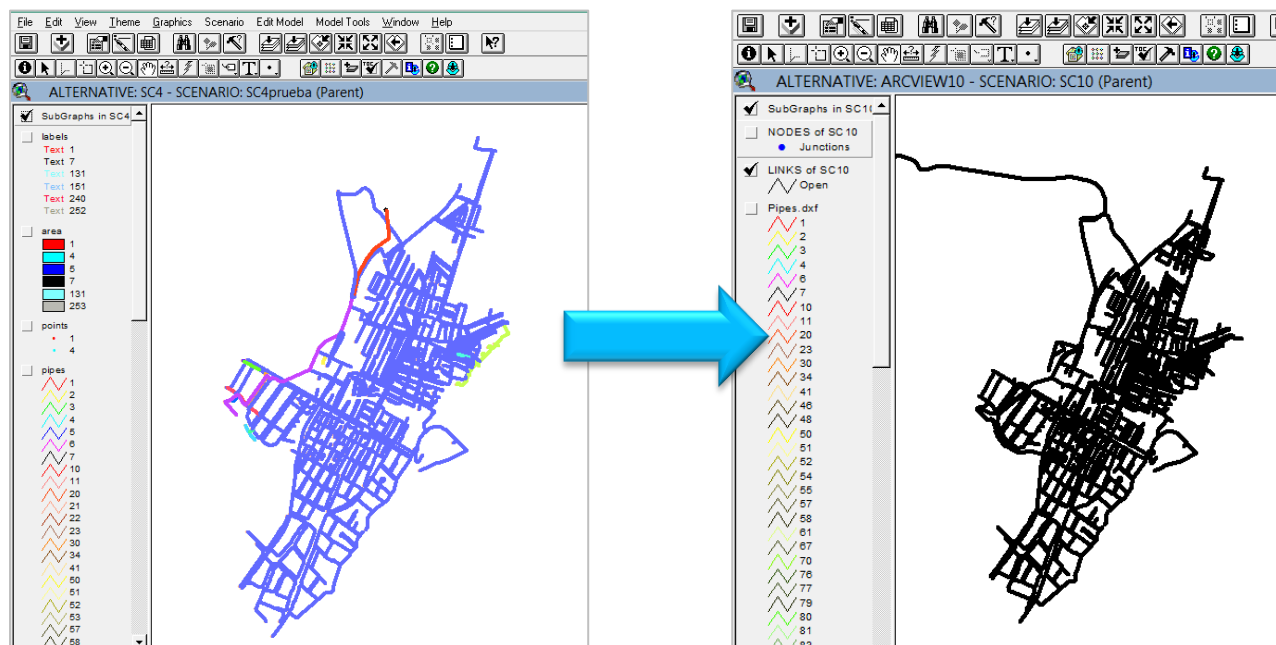


Ilustración 2.1 Estudio de Conectividad en los nudos de Sant carles

Cabe resaltar que un gráfico monocromático no implica en absoluto que la red esté correctamente conectada, sino que se trata de un paso previo de comprobación. Para verificar la conectividad completa de la red se requiere de un cuidadoso trabajo de observación y conocimiento de la forma de trabajo del sistema.

3. ASIGNACIÓN DE COTAS A LOS NUDOS

Situados en este punto se dispone de un modelo de la red hidráulica en Arc View, pero tras la importación los nudos del modelo todavía no tienen ninguna cota asignada. Debido al gran volumen de nudos que configura el modelo de la red se ha automatizado el proceso de asignación de cotas.

Con los datos disponibles se ha generado una superficie de interpolación empleando el método de las distancias inversas implementado en la extensión Spatial Analyst de ArcView. Con este sistema es posible asignar un valor de cota a cada uno de los nudos de la red modelizada.

El proceso de interpolación se realiza básicamente en dos operaciones:

- En primer lugar se genera la superficie de interpolación mediante la extensión de ArcView denominada Spatial Analyst que permite trabajar con temas GRID.

- La segunda operación es dependiente de la extensión GisRed y consiste en asignar un valor de cota interpolado a partir de la superficie generada anteriormente a cada uno de los nudos del sistema.

3.1 Datos disponibles y problemas encontrados

Para la asignación de cotas se dispone de un plano en AutoCAD con curvas de nivel y algunos puntos concretos. Este trabajo topográfico se realizó para llevar a cabo el estudio de la red de saneamiento de Sant Carles, donde cada uno de los puntos seleccionados corresponde a un pozo de registro.

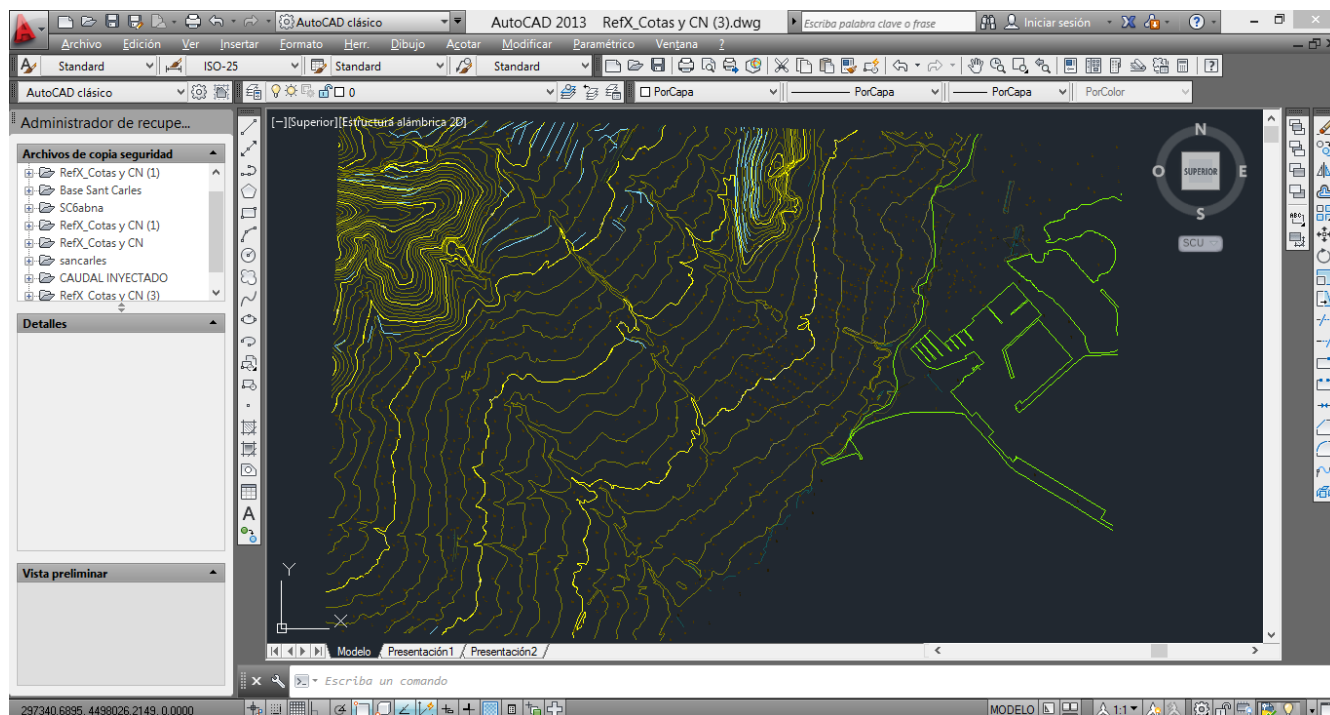


Ilustración 3 Curvas de nivel realizadas para el proyecto de saneamiento de Sant Carles de la Ràpita

El problema se verá cuando se compruebe que las referencias usadas son distintas a las del archivo con el que se trabaja en ArcView, por tanto puede insertarse como tal. Se debe seguir el siguiente proceso:

1. Comprobar si existe coincidencia entre el mapa de curvas de nivel y el de la red de saneamiento. Realizada la verificación se pudo establecer que no existe dicha coincidencia. Las coordenadas están desplazadas unos 11 metros sobre el eje X y 15 metros aproximadamente sobre el eje Y.

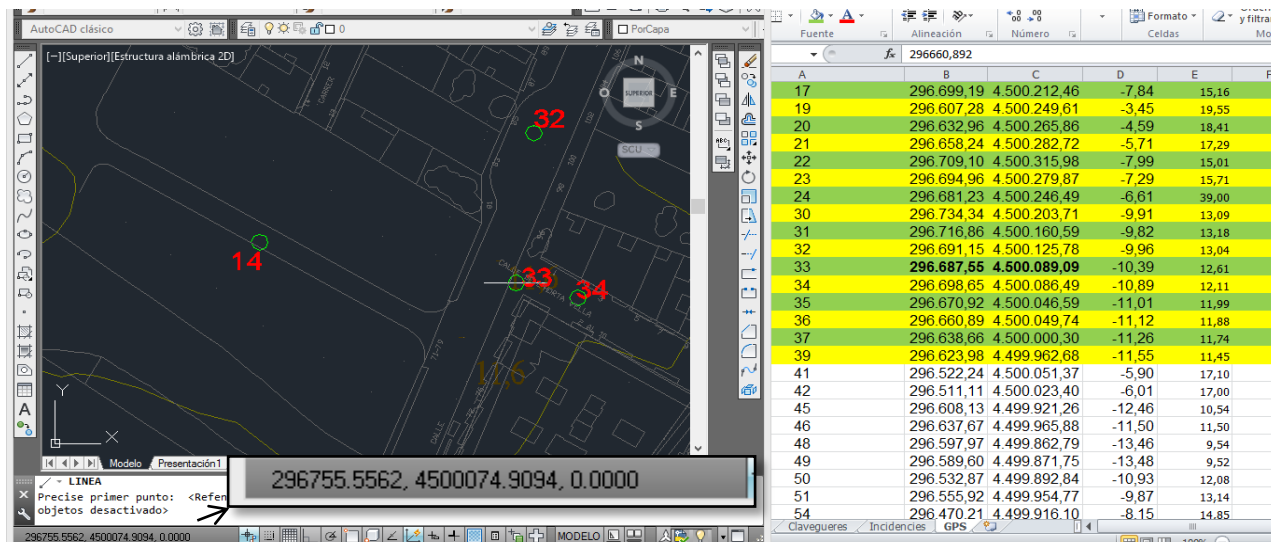


Ilustración 3A Se observa como las coordenadas de los pozos sobre papel (en Excel) no coinciden con las que indica AutoCAD, que es el fichero que usaremos para crear el modelo.

Esta conclusión se puede ratificar tomando un pozo cualquiera y comprobando sus coordenadas en su archivo de AutoCAD, tal como muestra la Ilustración 2.3A. Se propone como solución solapar un archivo sobre el otro hasta hacer coincidir las coordenadas.

- Comprobar si existe coincidencia entre las coordenadas del archivo de curvas de nivel y las del archivo de trabajo en ArcView. Se verifica que dicha coincidencia no existe debido a que el archivo ArcView posee un sistema propio de coordenadas. Este problema se agudiza al confirmar que no están tan solo desplazadas, sino que además están giradas con respecto a los ejes.

Para resolver esta situación utilizaremos en AutoCAD el comando “ALIGN” que permitirá ajustar las coordenadas de manera fidedigna. El correcto funcionamiento del comando exige tomar un mínimo de tres puntos sobre los que traspasar la zona de trabajo.

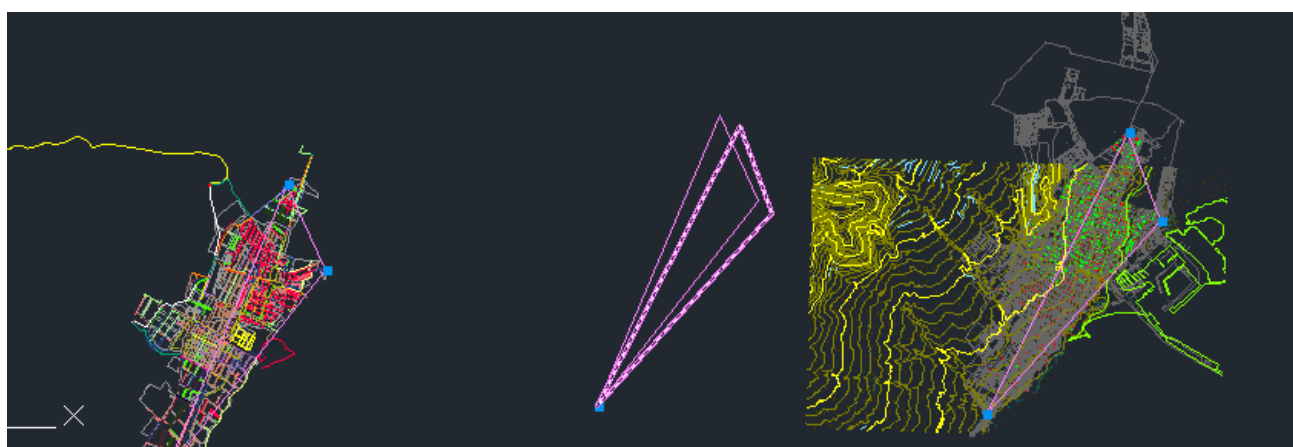


Ilustración 3B Metodología para la alineación de coordenadas en AutoCAD

Una vez finalizado el proceso de traspaso de coordenadas se podrán importar las curvas de nivel y sus puntos al archivo en ARC View como un Nuevo Tema.

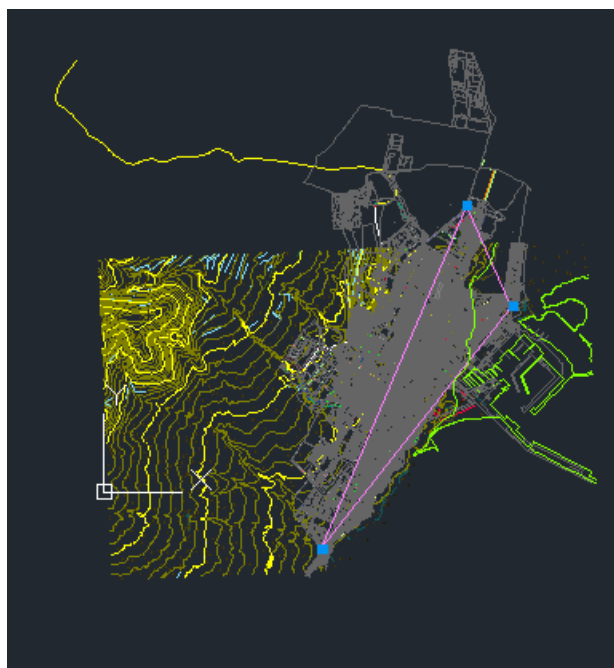


Ilustración 3C Red en coordenadas correctas

3.2 Creación de la superficie de interpolación

Las cotas de los nudos son requeridas para representar el proyecto mediante un simulador de redes de distribución de agua. Aquellas más determinantes corresponden a los depósitos y embalses, pero del mismo modo es importante como las cotas influyen en la determinación de presiones en los puntos de la red, que constituye un valor fundamental desde el punto de vista práctico y para la calibración del modelo. Una indeterminación de cotas condicionaría el resultado final de la simulación y la validez del modelo, por esto se hace necesario disponer de una base de datos y planos actualizados. En el proceso de calibrado del modelo se estudiarán las propiedades de cota por ser un parámetro determinante en el funcionamiento del mismo.

La mayoría de programas con Sistema de Información Geográfica pueden crear superficies de interpolación tipo GRID a partir de líneas o puntos de referencia y GISRed interpolará las cotas en los nudos del modelo a partir de un tema de puntos dispersos utilizando un algoritmo propio basado en el método de las Distancias Inversas Ponderadas (IDW). Para ello cargaremos el archivo de AutoCAD y crearemos un tema GRID, en cuyo caso hay que cargar previamente la extensión Spatial Analyst.

Procedimiento:

- Carga de la extensión Spatial Analyst. Se abre un nuevo documento en View, donde se añadirá el tema de Cad bien referenciado
- En la barra de menú seleccionamos la opción Surface - Interpolation GRID, y en el cuadro de diálogos se aceptan los valores por defecto. En segundo cuadro elegir Z value como "Elevation".

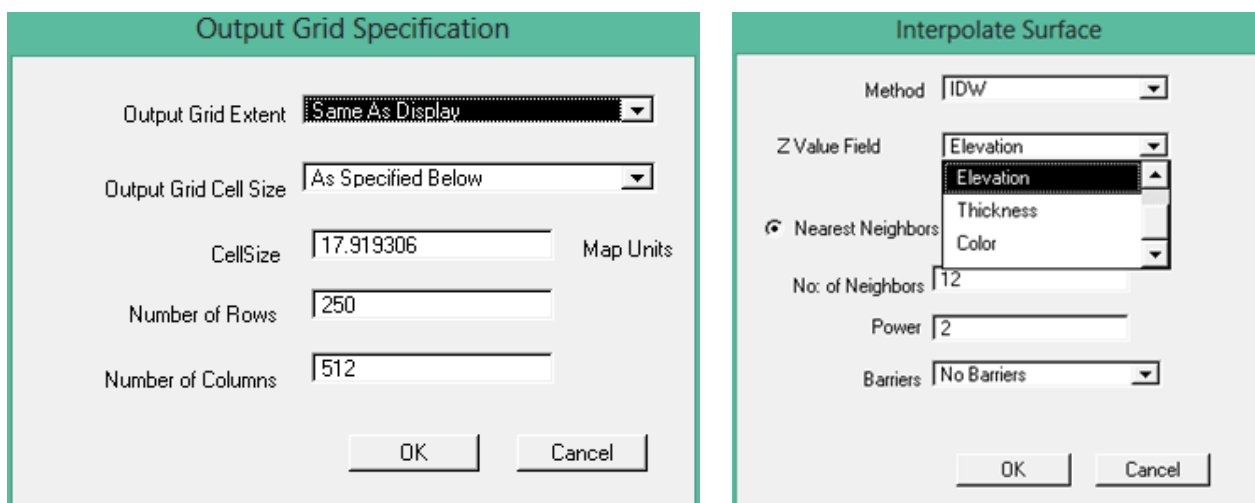


Ilustración 3.2 Cuadros de dialogo para la creación de la superficie de interpolación

- Se observa que al copiar ese tema al escenario, quedará superficie por cubrir. Se debe convertir en Shape ese tema, denominándolo "Merge"(Ilustración 3.2A)

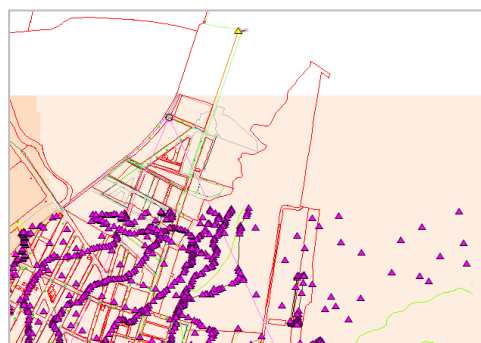


Ilustración 3.2A Superficie no cubierta por las curvas de nivel

A partir de este punto se procederá a añadir las cotas de los nodos manualmente, poniendo como cota en estos nudos información facilitada por el ING (Instituto Geográfico Nacional), que ofrece un su página web un visor de cotas con una precision mínima de 5 metros.

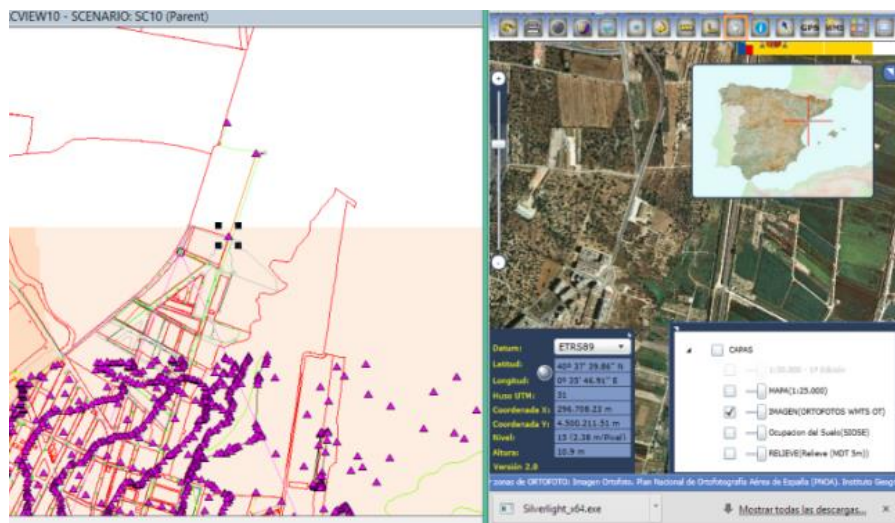


Ilustración 3.2B Adición manual de cotas no disponibles.

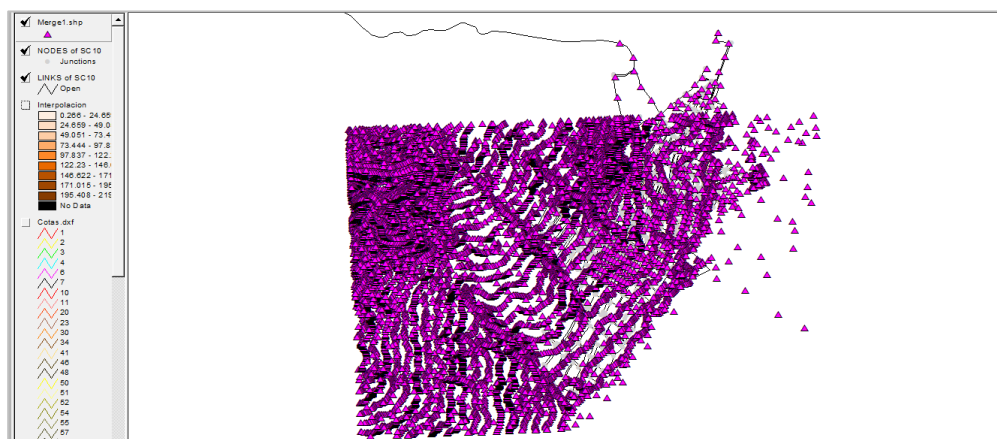


Ilustración 3.2C Superficie a interpolar completa.

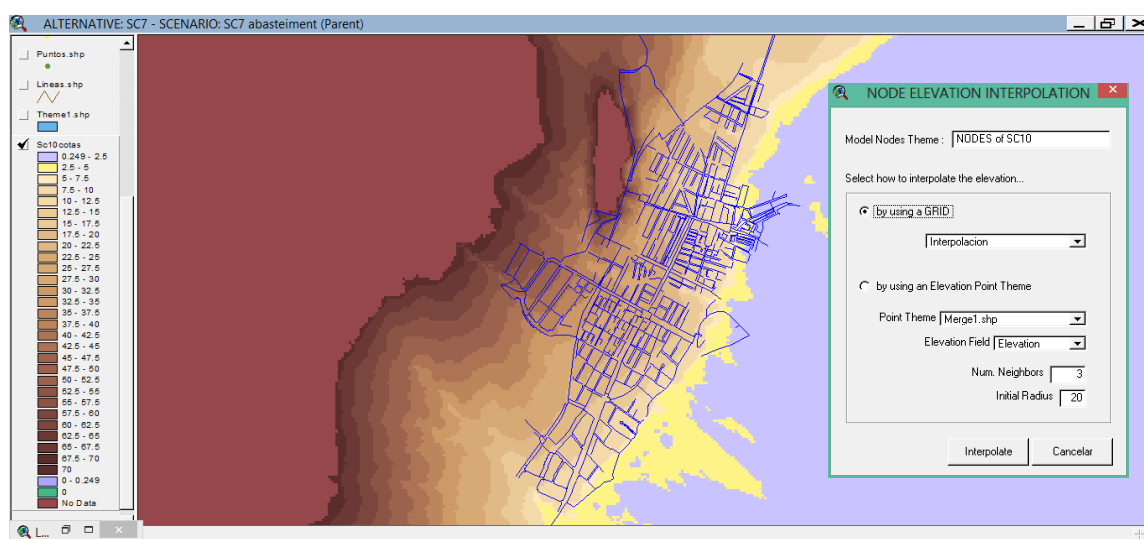


Ilustración 3.2D Superficie de interpolación creada

Finalmente podremos crear una superficie de interpolación que asignará a los nudos su cota. teniendo en cuenta que las cotas asignadas con una interpolación y no valores exactos, lo que implica que en el futuro habrá que revisar si los puntos críticos tienen aproximaciones erróneas.

3.3 Esquema de red

Se adjuntan unas imágenes desde ArcView donde se puede apreciar la distribución de los nudos y la red arterial, gracias a la base de datos creada.

Red Arterial sobre Ortofoto de Sant Carles de la Ràpita (resaltados Diàmetros > DN 150):

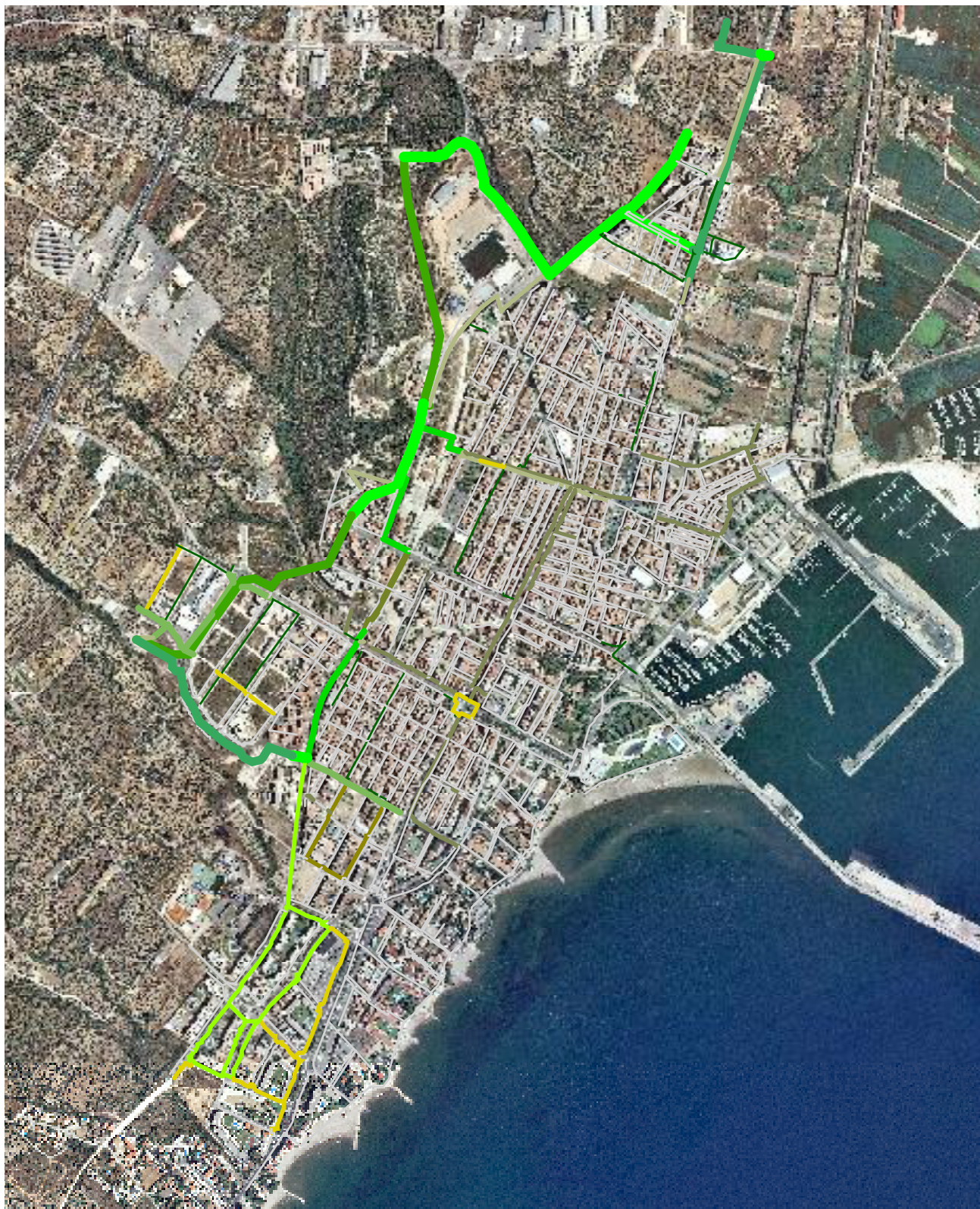


Ilustración 3.3 Red de abastecimiento sobre ortofoto

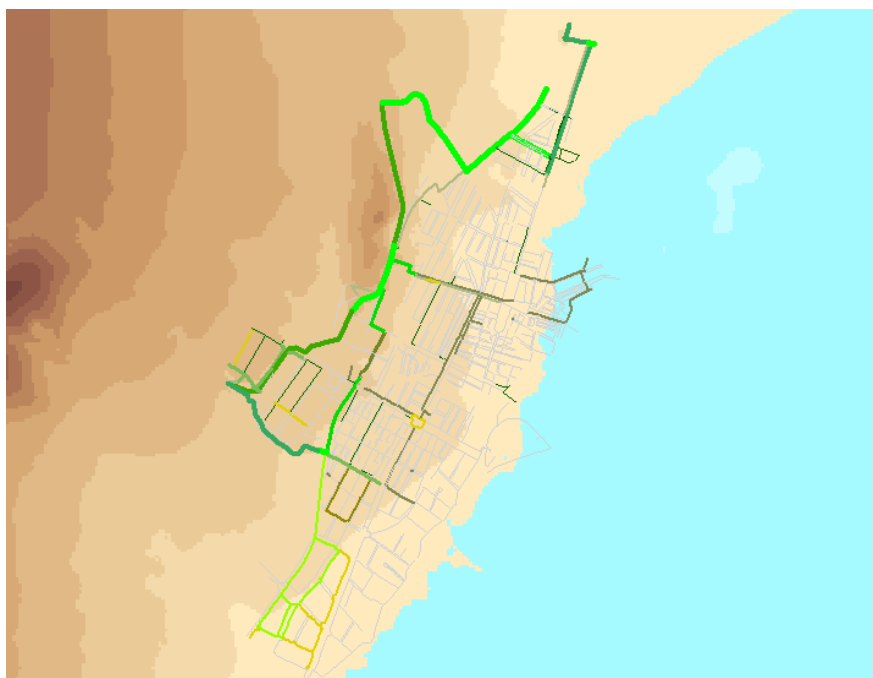


Ilustración 3.3A Red Arterial sobre Mapa de Cotas Interpolado (obsérvense los escalones de elevación)

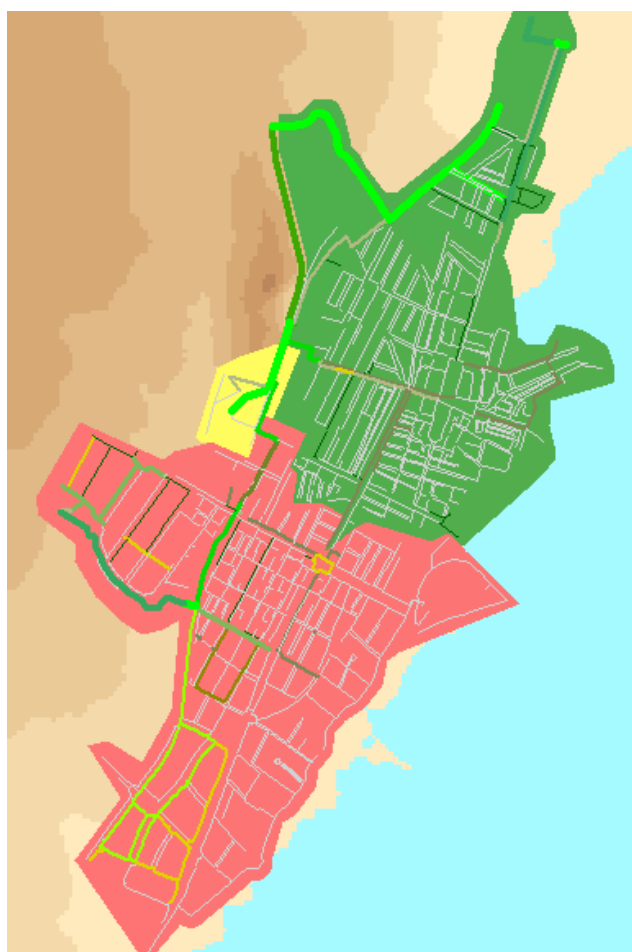


Ilustración 3.3B Red Arterial sobre sectorización 2013

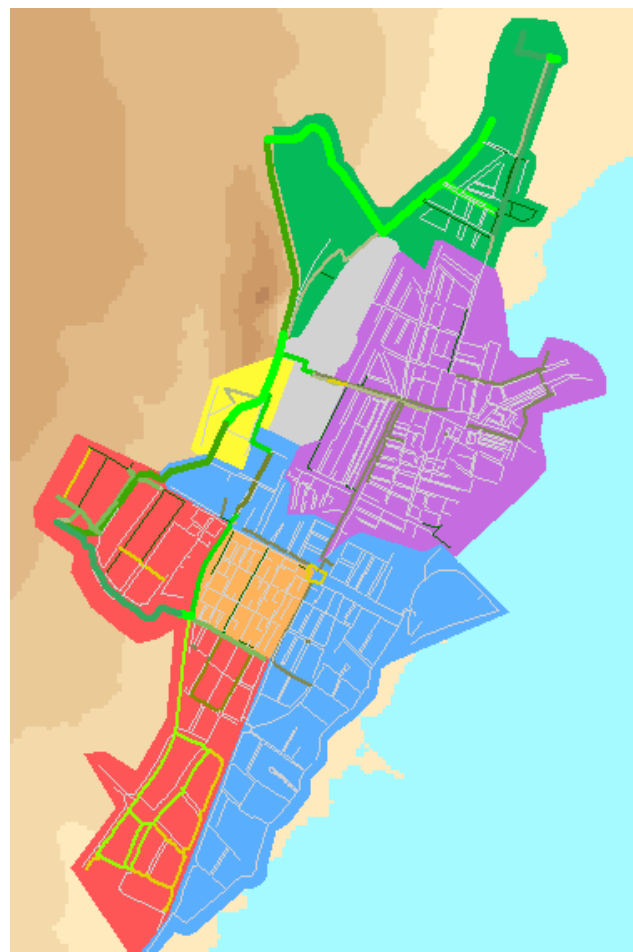


Ilustración 3.3C Red Arterial sobre sectorización 2014:

4. ASIGNACIÓN DE CONSUMOS EN LOS NUDOS

Para efectuar la asignación de consumos en los nudos existen diversas herramientas y procedimientos. En este caso se realizará de manera automática, partiendo de ficheros o tablas externas de consumos registrados.

4.1 Datos disponibles

Consumos registrados

La información referida a los consumos se obtendrá a través de la facturación realizada por calles y presentada en una tabla Excel. La lectura de los consumos se practica de forma trimestral, expresada en metros cúbicos, y abarca el periodo de un año. El resultado de la suma de estos consumos será el utilizado para asignar la demanda por metro cúbico al año a cada calle. Dicha tabla se agrega a ArcView para trabajar con ella y hacer las modificaciones pertinentes.

A partir de aquí se puede crear un “callejero”, esto es, un gráfico de líneas superpuestas sobre nuestra red en el que cada línea creada tiene asignado su consumo correspondiente.

Callejero

En nuestro caso, este callejero si bien no hubo que crearlo desde un principio, si fue necesario modificarlo, debido a que contenían líneas cuyo consumo era cero y por tanto no aportaban información de valor. Igualmente fue necesaria su ampliación para incluir líneas de calles nuevas que tenían consumos asignados.

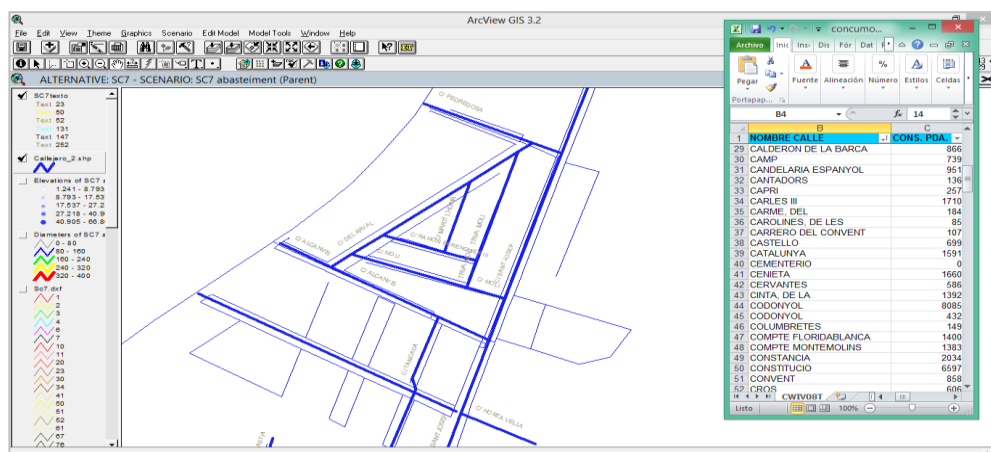


Ilustración 4.1 Ejemplo de tramo de callejero modificado de una zona nueva de la población

En la Ilustración 4.1 se puede observar como la línea del callejero pasa aproximadamente por el centro de la calle, de este modo asignará la demanda a las tuberías más cercanas. Hay que procurar crear líneas que capten toda la zona del consumo para que éste se reparta equitativamente, dado el sistema de asignación.

Cada vez que se crea o modifica un línea nueva, se debe ir a la tabla creada del callejero y cambiar el nombre, de modo que coincida con la calle de la tabla Excel que se nos ha proporcionado, o bien que su ID coincida con la ID de la tabla Excel añadida de los consumos

En la Ilustración 4.1A observamos como la tabla Excel añadida, llamada “consumos.dbf”, contiene una calle con consumo no registrada en nuestro callejero y que habrá que crear.

Ilustración 4.1A Tablas de consumos agregadas al fichero ArcView



15

4.2 Asignación de los consumos: Demand Allocation

Se puede asignar consumo a los nudos de formas diversas. En este caso aplicaremos el siguiente procedimiento:

1. Primero se creará un patrón de demanda neutro, para poder modificarlo más adelante en Epanet:

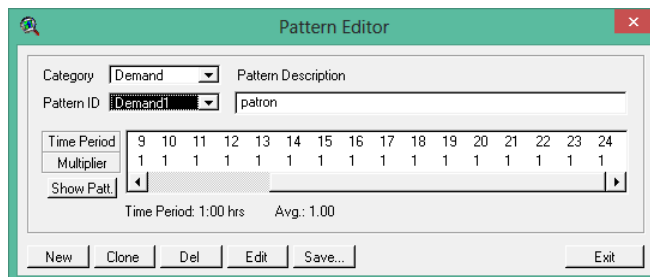


Ilustración 4.2 Patrón de demanda neutro

2. En “Model Tools” (herramientas del modelo) se selecciona “Demand Allocation” (asignación o distribución de demandas) y se escoge realizar esta distribución por elementos espaciales:

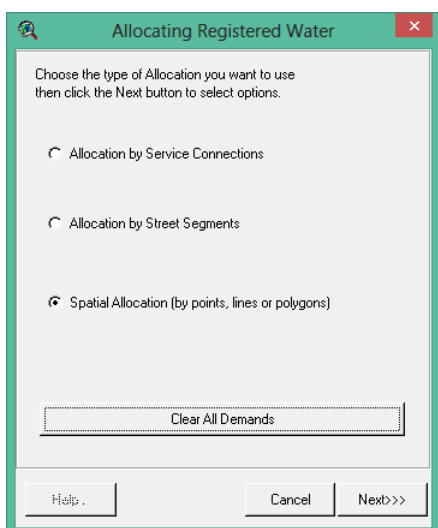


Ilustración 4.2A Cuadro de diálogo y tipo de distribución

Continuamos y rellenamos los siguientes campos:

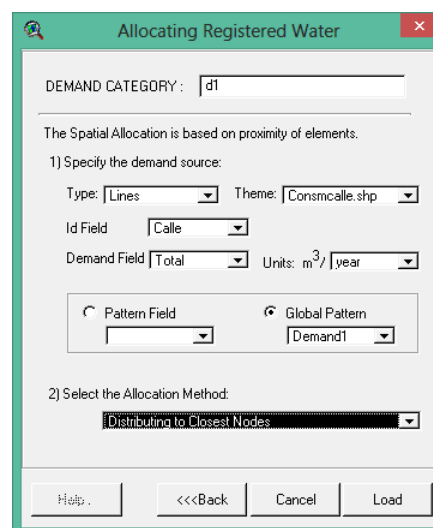


Ilustración 4.2B Cuadro de dialogo con las características elegidas

Elijiendo distribuir el consumo a los nudos más cercanos, por proximidad de línea. Se tendrá que asignar un nombre a esta demanda (Demand1)

Para comprobar que la distribución se ha realizado correctamente, usaremos la herramienta en Model Tools- Demand Statistics.

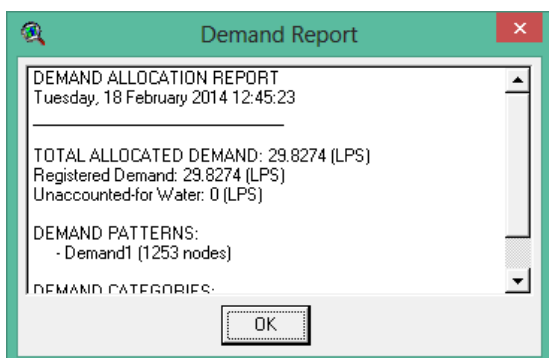


Ilustración 4.2C Cuadro de diálogo con la demanda registrada

Este número en LPS debe coincidir con el consumo anual facturado pasado a LPS que nos han facilitado en la Tabla excel de consumos. Pueden surgir datos incoherentes si se han dejado seleccionados por error algunos nudos específicos a la hora de asignar las demandas.

Ahora es posible exportar a Epanet la red.

Para ello se debe fijar cierta cantidad de pérdidas o de agua no registrada, de otro modo no creará el archivo. Se utiliza Model-Tools- Unaccounted-for water, donde veremos el cuadro de la Ilustración 4.2D:

Debido a que en este modelo las pérdidas de agua no registrada (fugas, fallos de contador etc.) se van a asignar a los nudos del modelo dependientes de la presión y no proporcionales a su consumo en el modelo de Epanet, fijaremos unas pérdidas de agua no registrada despreciables para crear el fichero (como el que aparece la ilustración mencionada, se asignan unas pérdidas de 0, 000000001% sobre el caudal total)

Ilustración 4.2D Cuadro de Asignación de consumos no registrados

4.3 Mejoras implementadas en la asignación de demandas

Para crear una asignación de demandas más realista, se seleccionarán los nudos de los que se sabe que no existe consumo y los excluirémos del conjunto de nudos a los que se asigna caudal.

En el ejemplo de la Ilustración 4.3 se aprecia una zona con nodos de intersección de tubería y zonas sin construir que no tendrán demandas.

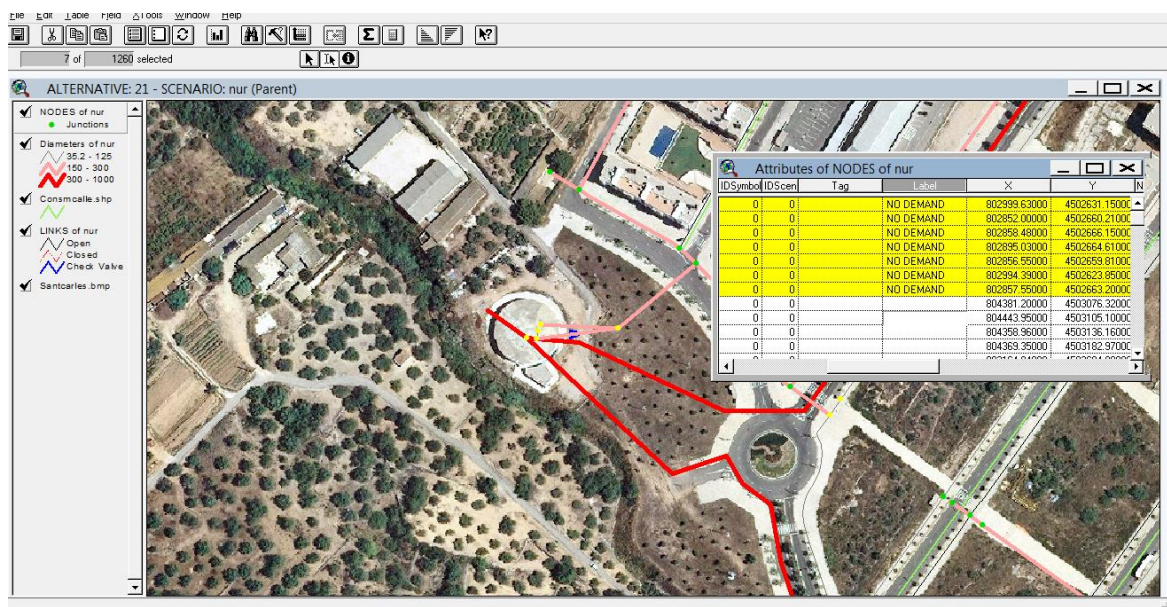


Ilustración 4.3 Nodos de intersección de tubería sin construcciones

A su vez , también se crearán nuevos nodos en zonas donde se prevea que puede haber más demandas, para su mejor repartición. Mediante la ortofoto podemos observar algunos errores sobre la planta, como tuberías que no van a ninguna parte construida. Se puede corregir con editing tools:

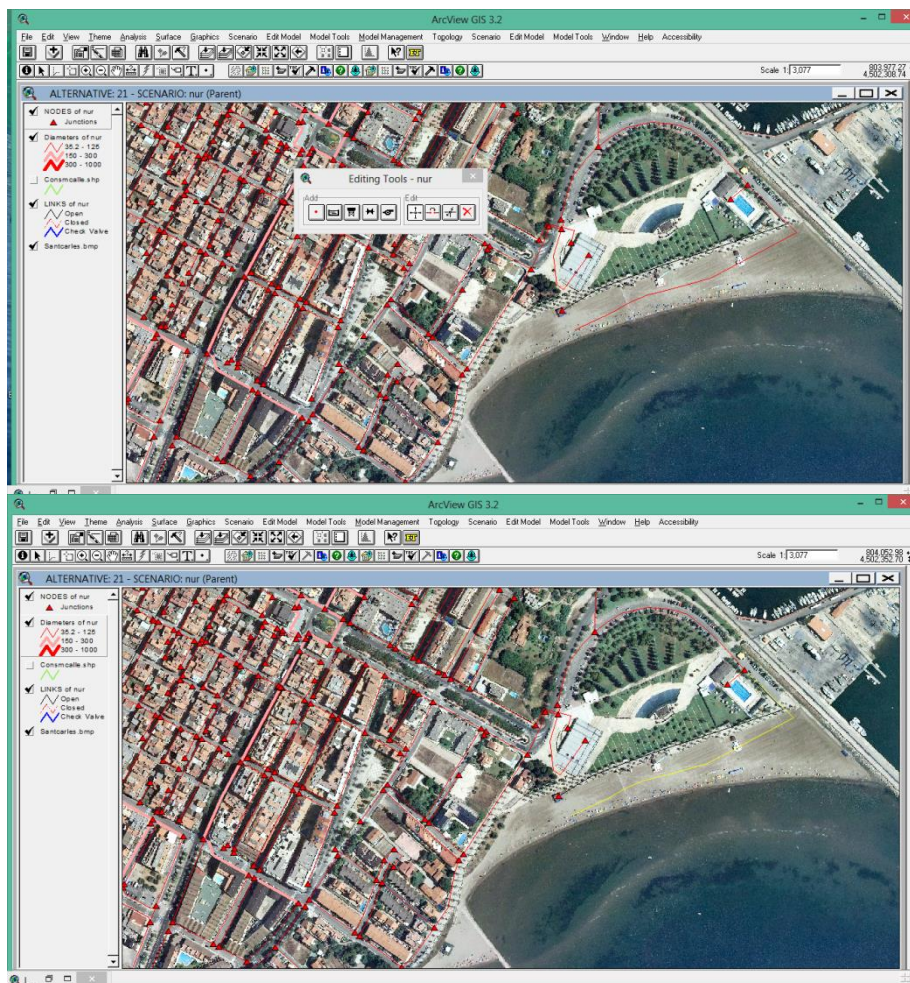


Ilustración 4.3A Agregado de nodos y correcciones del trazado de las conducciones

De este modo, quedarían tan sólo los nudos con consumo seleccionados:

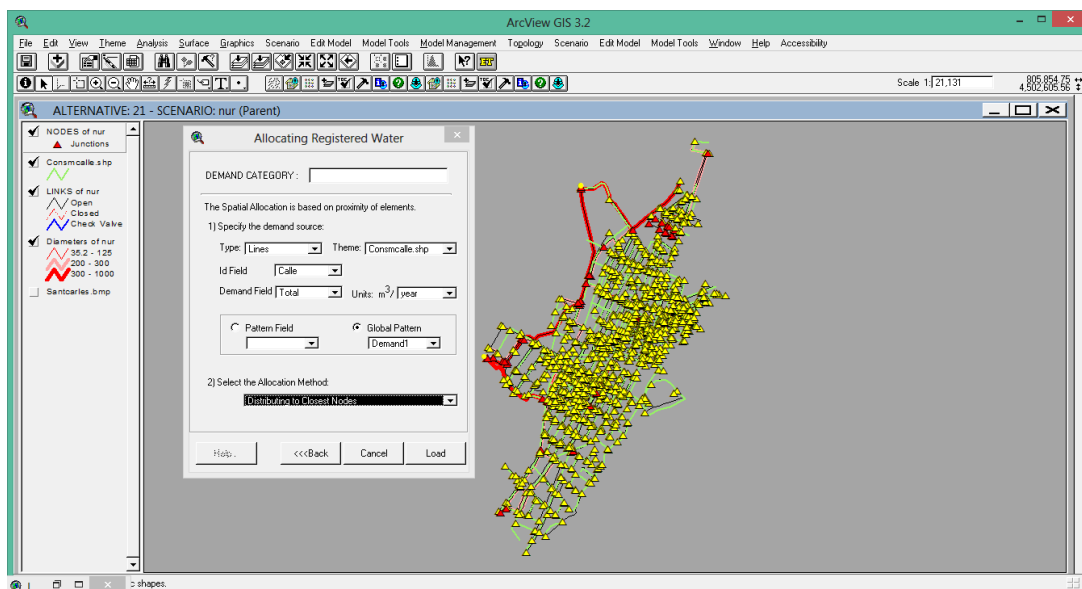


Ilustración 4.3B Nudos de consumo seleccionados

Antes de proceder a la asignación de demandas, sería aconsejable, si se dispone de datos, ver la facturación por usuario, pues podemos encontrar grandes consumidores que modifiquen de modo importante esta asignación por calles. Dado que desde la empresa gestora se ha facilitado la facturación, no sólo por calle, sino también la facturación anual por abonado, resulta sencillo conocer la existencia de éstos.

En nuestro caso el ejemplo más claro sería el consumo del puerto de Sant Carles de la Ràpita, los colegios, jardines, hoteles, centros de la tercera edad y deportivos, y contadores de urbanizaciones o edificios de importancia. En la tabla 4.3 se muestra el resumen de los grandes consumidores de 2013:

Tabla 4.3 Resumen Grandes Consumidores. Sant Carles de la Ràpita

| CALLE | NÚMERO | m ³ AÑO | LPS | CONS CALLE TOTAL m ³ | DIFERENCIA m ³ | % SOBRE CONSCALLE | ARCVIEW CONS- CALLE | TIPO DE DEMANDA |
|--------------------|--------|--------------------|------|------------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|---------------------|
| SANT FRANCESC | 0052 | 41753 | 1.32 | 47444 | 5691 | 0.89 | 3423 | Puerto |
| SANT FRANCESC | 0052 | 2268 | 0.07 | 47444 | 45176 | 0.05 | | |
| PARE CASTRO | 0003 | 19010 | 0.60 | 20630 | 1620 | 0.92 | 1620 | Hotel La Ràpita |
| MARITIM | 0010 | 17580 | 0.56 | 37500 | 19920 | 0.47 | 15903 | Comercial |
| MARITIM | 0020 | 4017 | 0.13 | 37500 | 33483 | 0.11 | | Hotel Miami Bar |
| ESPORTS, DELS | 0027 | 8895 | 0.28 | 19897 | 11002 | 0.45 | 11002 | Geriàtrico |
| PAÏSOS CATALANS | 0024 | 6711 | 0.21 | 22162 | 15451 | 0.30 | 9955 | Geriàtrico |
| PAÏSOS CATALANS | 0016X | 5496 | 0.17 | 22162 | 16666 | 0.25 | | Urbanización |
| ARENYS | 0001 | 6662 | 0.21 | 9048 | 2386 | 0.74 | 2386 | Urbanización |
| CONSTITUCIO | 0000 | 6193 | 0.20 | 29474 | 23281 | 0.21 | 19044 | Puerto |
| CONSTITUCIO | 0001 | 4237 | 0.13 | 29474 | 25237 | 0.14 | | Restaurant-Edificio |
| FAR | 0015B | 5275 | 0.17 | 9767 | 4492 | 0.54 | 4492 | Urbanización |
| CODONYOL | 0002 | 5083 | 0.16 | 40476 | 35393 | 0.13 | 35393 | Edificios |
| MENDEZ NUNYEZ | 0019 | 3769 | 0.12 | 15153 | 11384 | 0.25 | 11384 | Colegio |
| SANT ISIDRE | 0222B | 3660 | 0.12 | 76547 | 72887 | 0.05 | 64415 | Urbanización |
| SANT ISIDRE | 0232 | 3615 | 0.11 | 76547 | 72932 | 0.05 | | |
| SANT ISIDRE | 0228 | 4857 | 0.15 | 76547 | 71690 | 0.06 | | |
| DR. TORNE | 43 | 3072 | 0.10 | 13930 | 10858 | 0.22 | 7799 | Campo de fútbol |
| DR. TORNE | 0041 | 3059 | 0.10 | 13930 | 10871 | 0.22 | | Instituto |
| ORDRE DE MALTA | 0077 | 2941 | 0.09 | 16260 | 13319 | 0.18 | 13319 | Edificios |
| DELICIES | 9999 | 4498 | 0.14 | 15737 | 11239 | 0.29 | 11239 | POLIDEPORTIVO |
| TOTAL GRANDES CONS | | 162651 | | | | | | |

Estas demandas no se asignarán a través ArcView, se determinarán directamente desde Epanet de forma manual,. Para ello descontaremos en la tabla de ArcView, en la pestaña CONSCALLE, los metros cúbicos consumidos por estos usuarios. Este valor es el que aparece en la tabla 4.3 en la columna “ARCVIEW CONSCALLE”.

Es también recomendable añadir los nudos, según el número de portal , a los que en el futuro les asignaremos su demandaa específica. Como herramienta para su localización hemos descargado desde el catastro la capa de situación de portales de Sant Carles de la ràpita y sus viales y se han refenciado a coordenadas UTM 50.

En la Ilustración 4.3C ponemos como ejemplo el consumo de “Maritim 10”

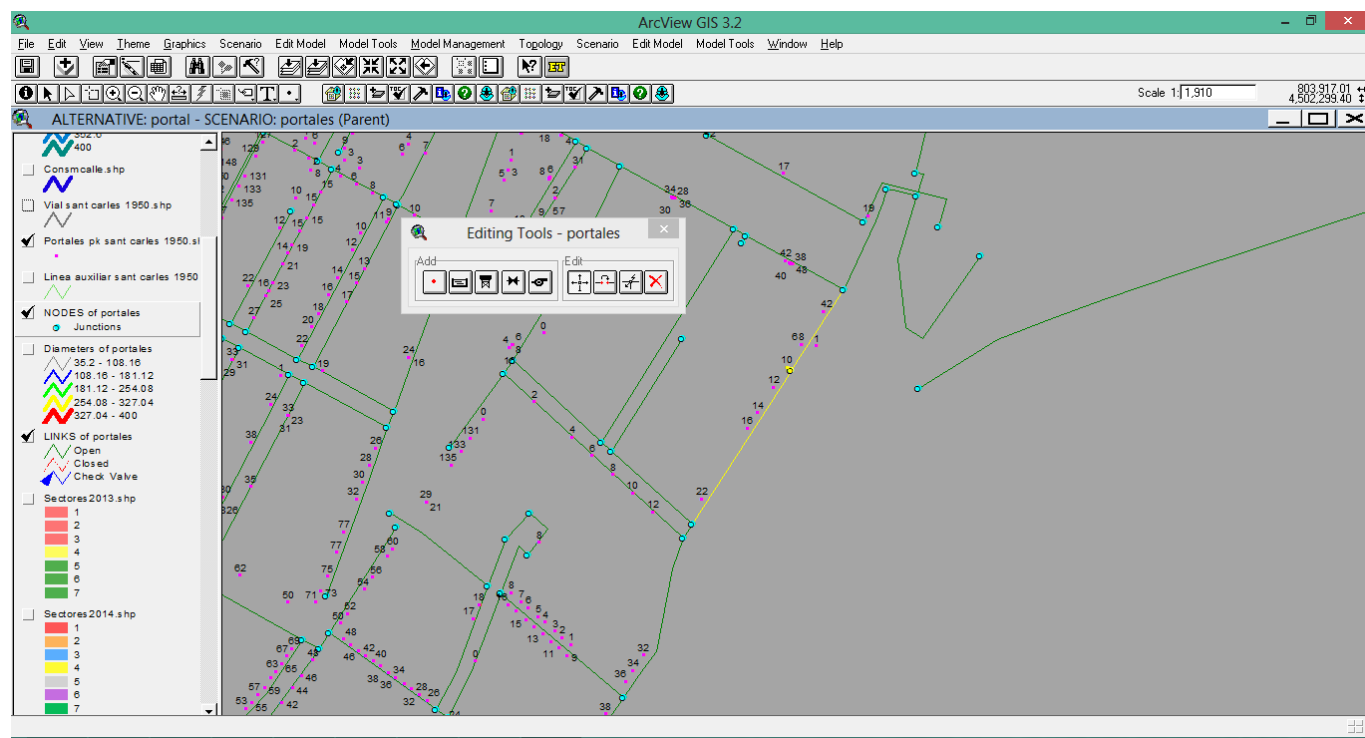


Ilustración 4.3C Ejemplo de asignación de nodos para asignación de demanda por usuario específico

Estos nodos serán seleccionados de la tabla, junto a los de “NO DEMANDA” y posteriormente se invertirá la selección. Para ello se utilizará un identificativo en la columna de “Label”, lo que facilitará de forma notable el proceso de selección.

| Shape | IDPoint | IDNode | IDTypeComp | IDComp | IDSymbol | IDScale | Tag | Label | X | Y | NodeType | Connected |
|-------|---------|--------|------------|--------|----------|---------|-----|------------------|---------------|---------------|----------|-----------|
| Point | 400 | 400 | June | 400 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 803400.18000 | 4502658.84000 | 0 | |
| Point | 399 | 399 | June | 399 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 804070.74000 | 4503610.56000 | 0 | |
| Point | 399 | 399 | June | 399 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 803506.93000 | 4503604.69000 | 0 | |
| Point | 397 | 397 | June | 397 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 804068.18000 | 4503663.87000 | 0 | |
| Point | 383 | 383 | June | 383 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 803977.05000 | 4503695.90000 | 0 | |
| Point | 369 | 369 | June | 369 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 803392.13000 | 4502663.37000 | 0 | |
| Point | 367 | 367 | June | 367 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 804058.84000 | 4503705.49000 | 0 | |
| Point | 349 | 349 | June | 349 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 803571.08000 | 4503233.34000 | 0 | |
| Point | 348 | 348 | June | 348 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 803956.06000 | 4503636.65000 | 0 | |
| Point | 322 | 322 | June | 322 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 804087.67000 | 4503682.12000 | 0 | |
| Point | 312 | 312 | June | 312 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 804044.15000 | 4503701.69000 | 0 | |
| Point | 291 | 291 | June | 291 | 0 | 0 | | NO DEMANDA | 803274.44000 | 4502380.57000 | 0 | |
| Point | 1295 | 1295 | June | 1295 | 0 | 0 | | DEMAND PCAT16 | 803259.53071 | 4501910.66247 | 98 | |
| Point | 1294 | 1294 | June | 1294 | 0 | 0 | | DEMAND PCAT 24 | 803204.44116 | 4501827.22895 | 98 | |
| Point | 794 | 794 | June | 794 | 0 | 0 | | DEM SNT FRAN 52 | 804303.87000 | 4502887.79000 | 0 | |
| Point | 1290 | 1290 | June | 1290 | 0 | 0 | | DEM PAIRE CAST 3 | 803727.28479 | 4502476.97330 | 98 | |
| Point | 949 | 949 | June | 949 | 0 | 0 | | DEM DR MALTA 73 | 803646.85000 | 4502183.03000 | 0 | |
| Point | 1300 | 1300 | June | 1297 | 0 | 0 | | DEM MEN NUNY 19 | 804284.53157 | 4503107.76653 | 98 | |
| Point | 1296 | 1296 | June | 1293 | 0 | 0 | | DEM MARITIM 20 | 803846.59671 | 4502240.85324 | 98 | |
| Point | 1292 | 1292 | June | 1289 | 0 | 0 | | DEM MARITIM 10 | 803982.94125 | 4502297.23786 | 98 | |
| Point | 710 | 710 | June | 710 | 0 | 0 | | DEM FAR 156 | 803243.62000 | 4501626.99000 | 0 | |
| Point | 713 | 713 | June | 713 | 0 | 0 | | DEM FAR 158 | 803298.71000 | 4501759.48000 | 0 | |
| Point | 1297 | 1297 | June | 1294 | 0 | 0 | | DEM ESPORTS 27 | 803745.95328 | 4503463.39852 | 98 | |
| Point | 1298 | 1298 | June | 1296 | 0 | 0 | | DEM DR TORNE 41 | 803642.27215 | 4503441.44911 | 98 | |
| Point | 584 | 584 | June | 584 | 0 | 0 | | DEM DELICES399 | 803962.15000 | 4501916.50000 | 0 | |
| Point | 350 | 350 | June | 350 | 0 | 0 | | DEM D TORNE 43 | 803704.72000 | 4503532.00000 | 0 | |
| Point | 956 | 956 | June | 956 | 0 | 0 | | DEM CONST 0 | 804074.25000 | 4502577.15000 | 0 | |
| Point | 955 | 955 | June | 955 | 0 | 0 | | DEM CONST 1 | 804015.38000 | 4502622.80000 | 0 | |
| Point | 1298 | 1298 | June | 1295 | 0 | 0 | | DEM CODONY 2 | 803208.12000 | 4502005.45000 | 98 | |
| Point | 630 | 630 | June | 630 | 0 | 0 | | DEM ARENY 1 | 803883.06000 | 4503167.62000 | 0 | |
| Point | 977 | 977 | June | 977 | 0 | 0 | | D S I 228 22 32 | 8039124.84000 | 4501321.88000 | 0 | |
| Point | 93 | 93 | June | 93 | 0 | 0 | | | 803632.55000 | 4502303.05000 | 0 | |

Ilustración 4.3D Identificativos para los nudos a deseleccionar

De este modo se obtendrá la selección a la que le asignaremos la demanda posteriormente en Epanet y los nuevos consumos desde arcview. Los nodos desseleccionados son los siguientes:

- Nudos en zonas sin construcción.
- Nudos en tuberías de gran diametro.
- Nudos de uniones sin demandas.
- Nudos sin demandas asinadas pues se determinaran manualemte desde Epanet(GRANDES CONSUMIDORES).

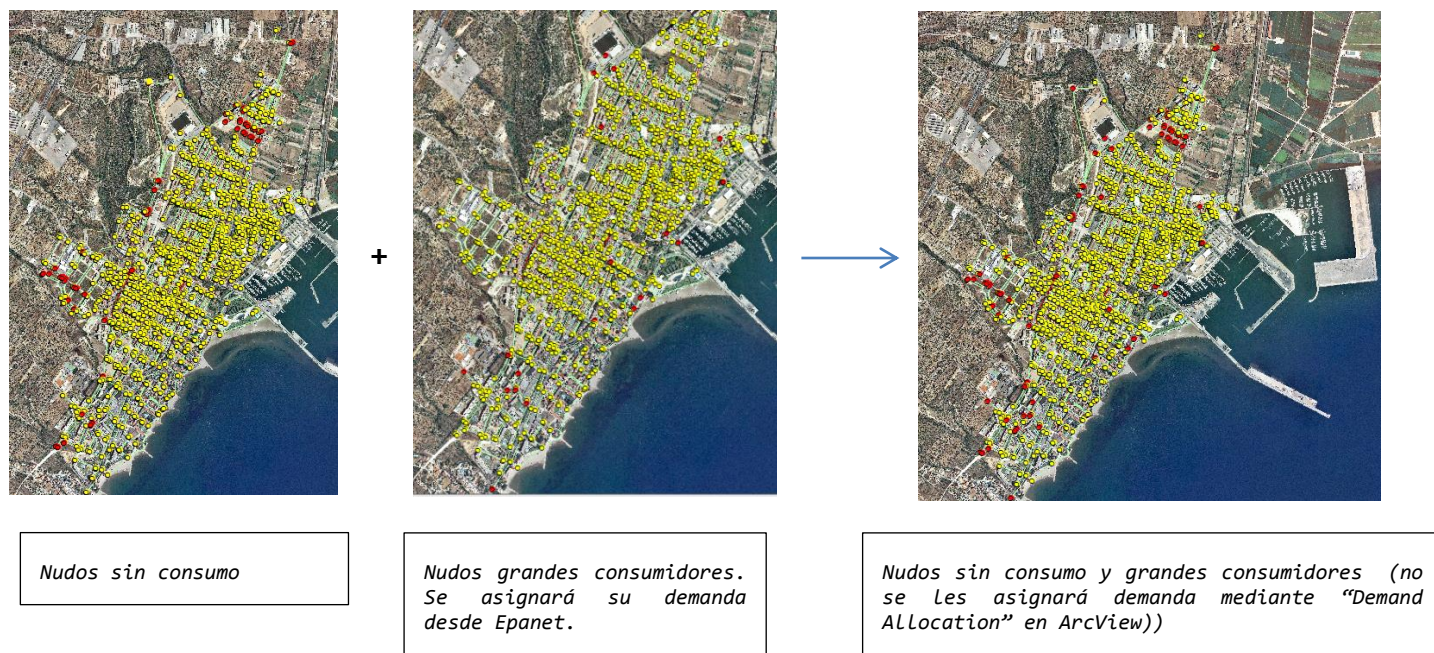


Ilustración 4.3E Vista del conjunto de nodos seleccionados

Tabla 4.3 1facturación anual LPS sin grandes consumidores

Realizada la selección de los nodos convenientes, procederemos de nuevo a asignar las demandas en "demand allocation" según se ha expuesto anteriormente. Obviamente, al observar las estadísticas, el conjunto de la demanda en LPS será menor que el valor anterior, pues se han deducido los m^3 correspondientes a los grandes consumidores. El valor coincidirá con la diferencia extraída de las tablas de excel.

Una vez asegurada la correcta distribución del nuevo consumo, se exportará de nuevo a Epanet, y se procederá a asignar el caudal en LPS a cada nodo de los grandes consumidores.

| | |
|--|---------|
| total facturado m^3 | 939,508 |
| facturación grandes consumidores m^3 | 162,651 |
| diferencia m^3 | 776,857 |
| diferencia LPS | 24.6 |

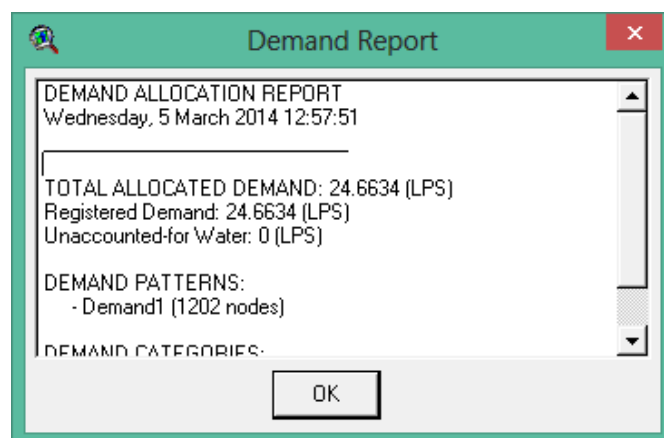


Ilustración 4.3F Cuadro de diálogo con la demanda registrada

5. EXPORTACIÓN A EPANET

Cuando exportamos a Epanet desde ArcView obtenemos un modelo incompleto, tal como se observa en la Ilustración 5:

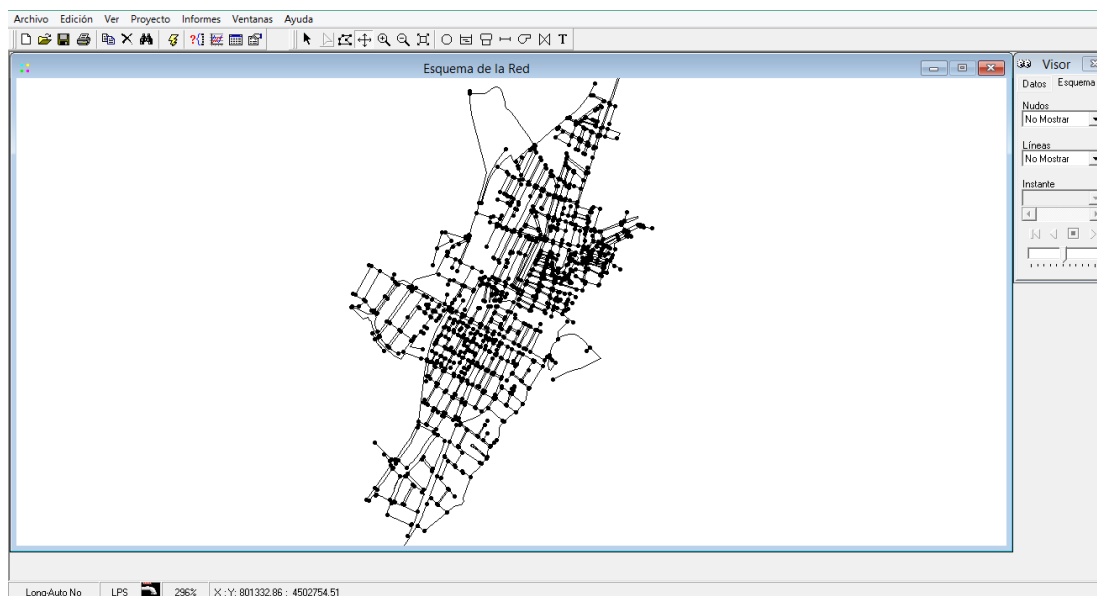


Ilustración 5 Archivo de Epanet exportado desde ArcView

En la imagen no aparecen embalses, depósitos, válvulas, o bombas.

Existe la opción de añadir estos elementos en el propio Arcview, pero al exportar los ficheros presentan problemas de incompatibilidades con la aplicación Epanet, por lo que es conveniente agregarlos manualmente desde el mismo Epanet. Para ello incorporaremos todos los datos descritos en el apartado “Características de la Red de Distribución”. De forma paralela se completará, en los nudos correspondientes, las demandas de los grandes consumidores, que no se han cargado de forma automática. En el ejemplo de la Ilustración 5A añadimos el consumo de Marítim 10, junto a la playa.

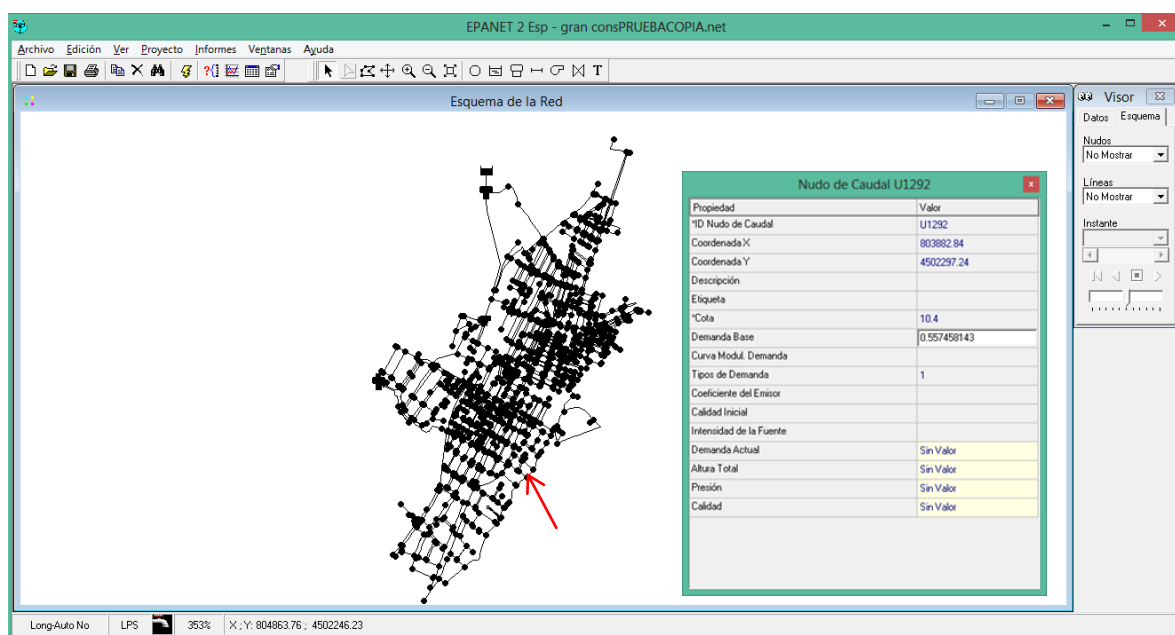


Ilustración 5A Archivo de Epanet con elemento agregados

Una vez realizada la incorporación de la totalidad de los datos, obtendremos un modelo capaz de ofrecer resultados o una simulación válida. Se deberá tener en cuenta que:

- No hay una configuración de la red definida (valvulas de corte o tuberías cerradas-abiertas. Dirección de circulación del agua).
- El modelo trabaja en régimen permanente (no hay un intervalo de cálculo hidráulico, ni se han añadido curvas de modulación de la demanda según la hora del día)
- Tan sólo se ha estimado el caudal facturado. No se ha considerado el caudal real que circula por la red (caudal inyectado a red. Fugas.)

Desarrollaremos punto por punto cada uno de los apartados anteriores para obtener el modelo deseado.

5.1 Creación del modelo 2013.

Tal como se ha descrito anteriormente, concretamente en el apartado 3.1.1 “Configuración de la red” el abastecimiento experimentó cambios de importancia en el transcurso del último año. A consecuencia de estos cambios cabe deducir que la red debe trabajar de un modo distinto en 2013 con respecto a 2014. Existiendo tales diferencias, es conveniente elaborar dos modelos distintos, uno de la red operando en cada escenario.

Como partimos de datos de facturación e inyección de caudal de 2013 lo más lógico es inclinarse por calibrar la red con la configuración 2013, trabajar sobre ese modelo y posteriormente extrapolar la red a la configuración de 2014

6. RÉGIMEN PERMANENTE

Según se ha expuesto anteriormente, una vez construida la red correspondiente al año 2013 tendremos un modelo en régimen permanente, donde no existe dinamismo, la situación no varía en el tiempo y no se consideran las fugas de caudal. Este modelo permitirá conocer de forma aproximada las presiones, caudales medios y facilitará la depuración de posibles errores que puedan aflorar al iniciar la simulación.

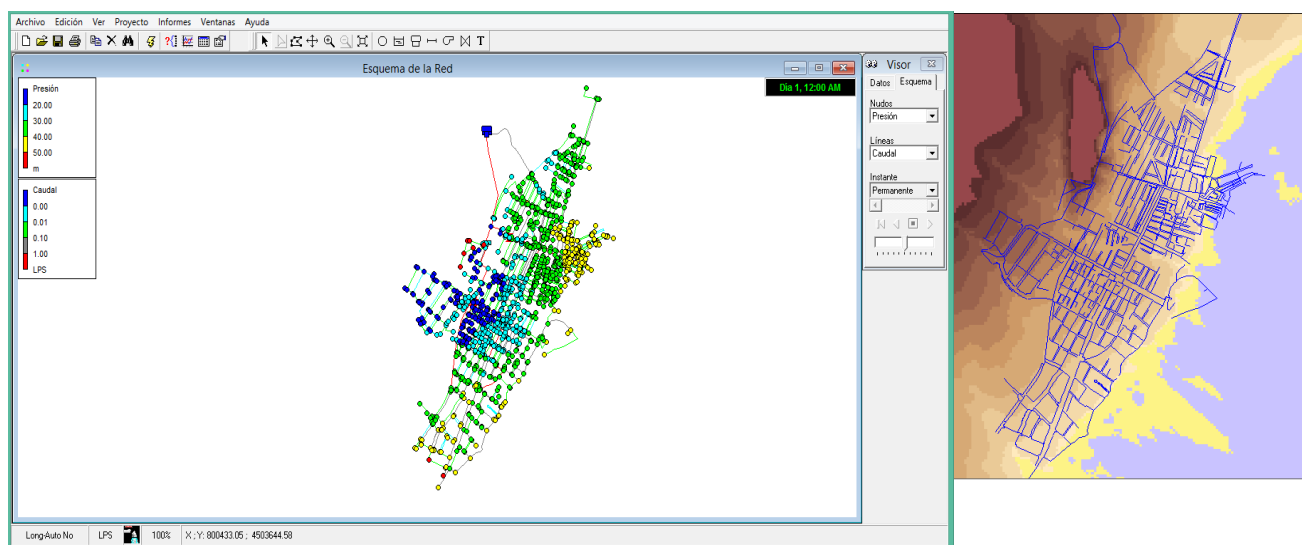
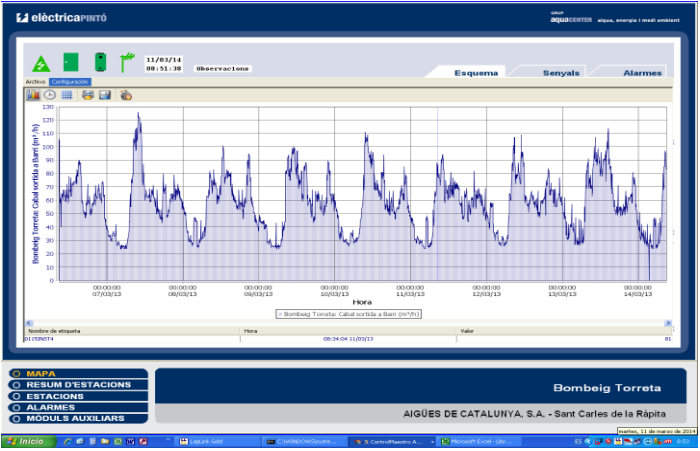
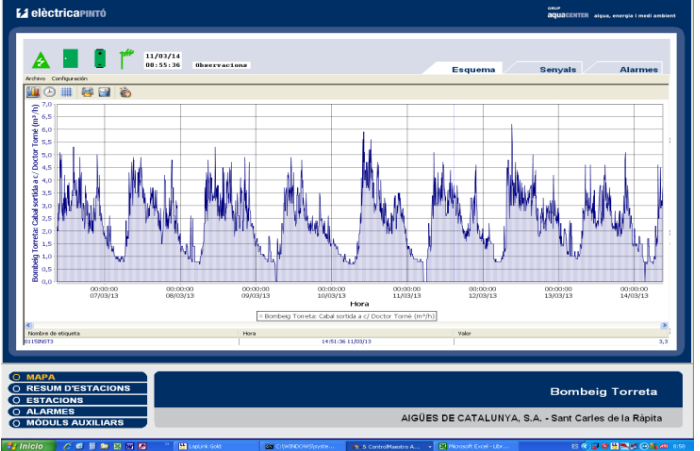
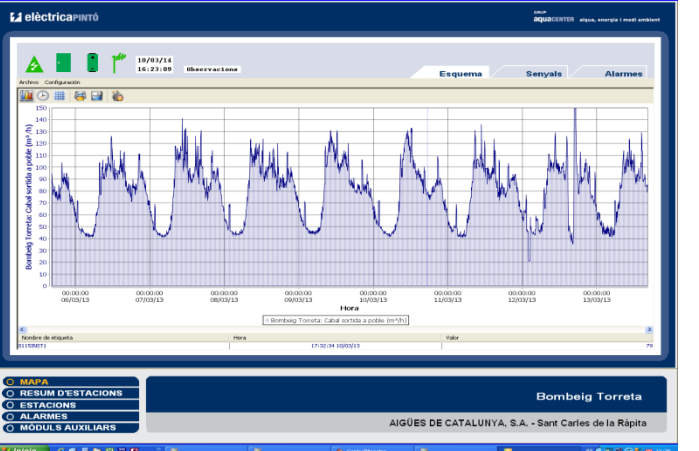
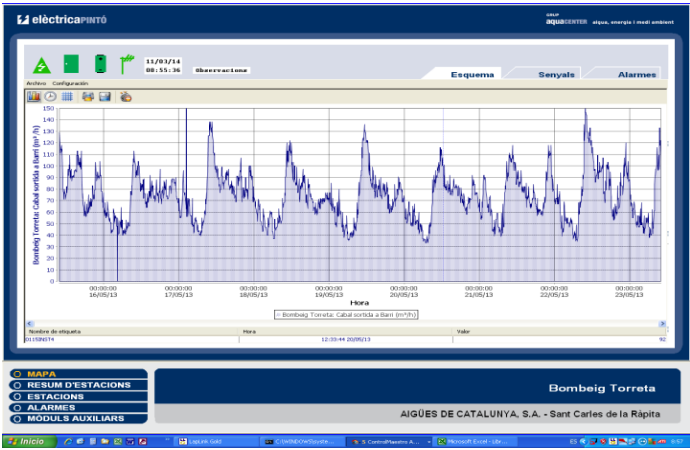
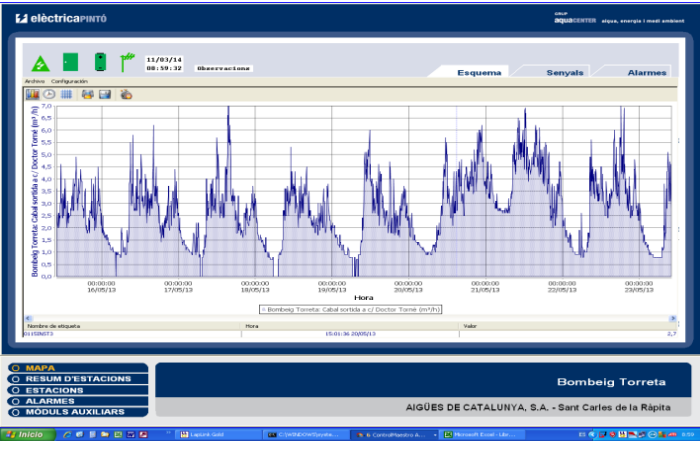
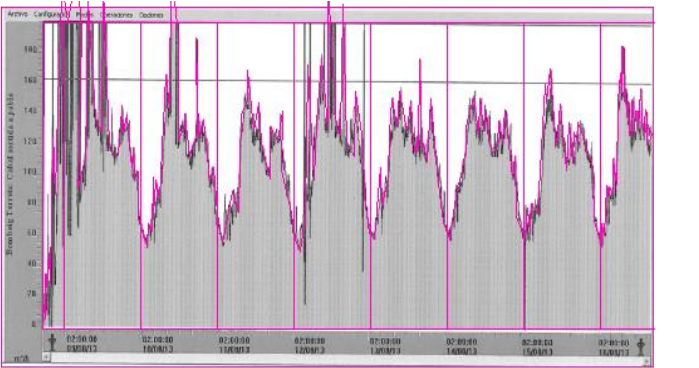
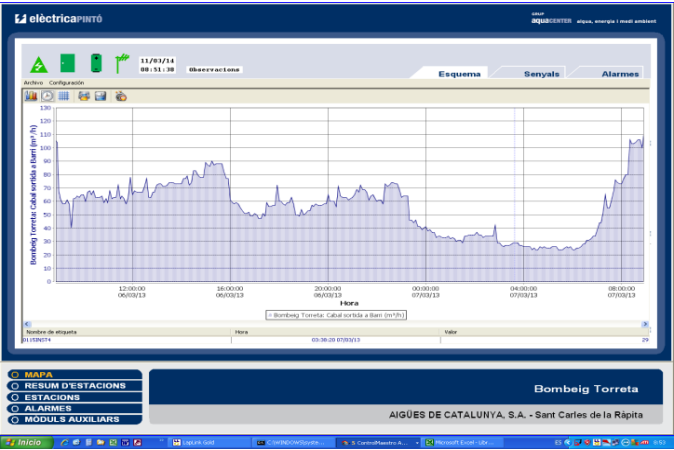
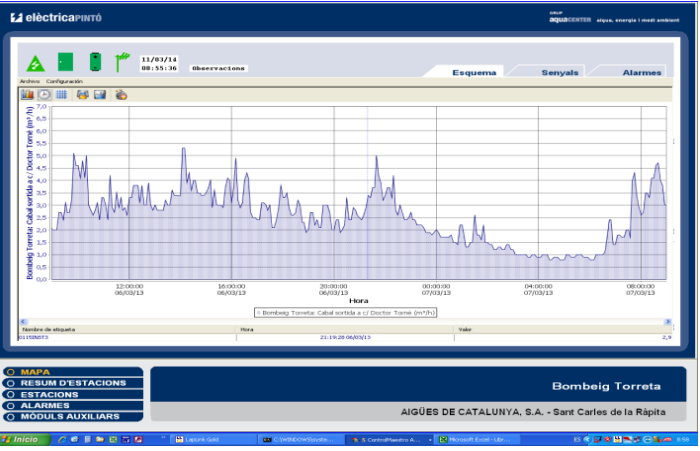



Ilustración 6 Modelo simulando en régimen estacionario

Comprobada la eficacia del modelo en régimen permanente, existe la posibilidad de pasar a régimen en periodo extendido, sin embargo obtendremos prácticamente los mismos resultados, pues tal como se indicaba en el capítulo anterior, “*Asignación de Los consumos: Demand Allocation*” se asignó a todos los nodos una curva de modulación igual a 1 y durante todo el periodo la demanda era constante.

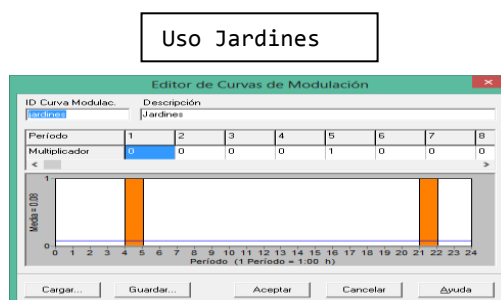
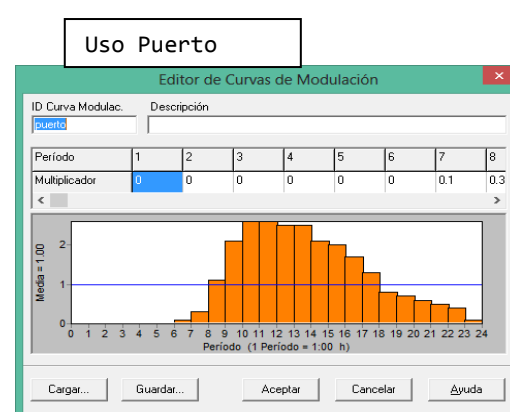
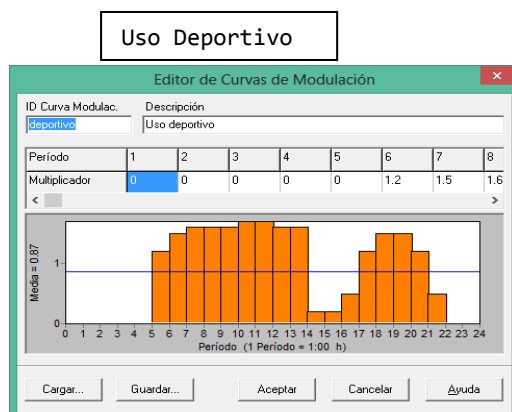
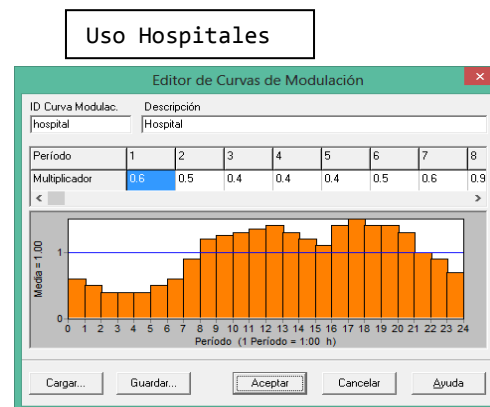
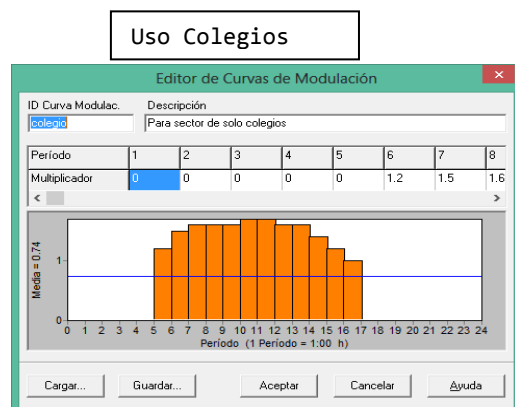
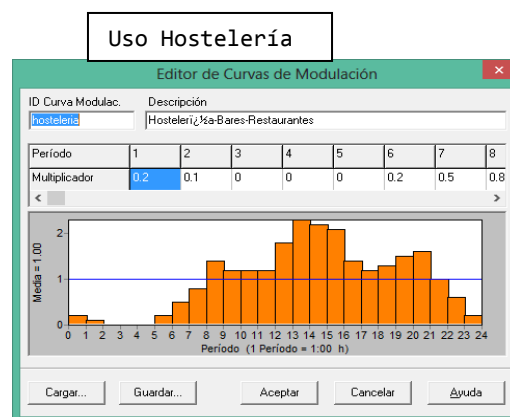
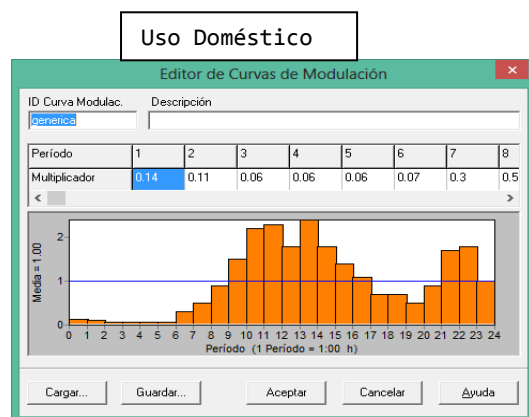
Los datos procedentes de *datalogger* al no estar referidos a la totalidad de los días del año, ni considerar los intervalos horarios, no son de utilidad para la construcción de una curva de modulación de la demanda. Por este motivo nos hemos servido de datos analógicos de caudal inyectado recogidos en la tabla nº 6.

Tabla 6 Registros De Caudales Inyectados A Red

| | | |
|---|---|--|
| <div>Sector Espanyol</div> | <div>Sector Civil</div> | <div>Sector Poble</div> |
| <div>Semana 3/2013</div>  | <div>Semana 3/2013</div>  | <div>Semana 3/2013</div>  |
| <div>Semana 5/2013</div>  | <div>Semana 5/2013</div>  | <div>Semana 5/2013</div>  |
| <div>Día 6/3/2013</div>  | <div>Día 6/3/2013</div>  | <div>Día 5/3/2013</div>  |

Los gráficos mostrados en la tabla 6 no son datos de facturación y en consecuencia no son datos de la demanda, son de caudal inyectado y llevarían incluidos en el gráfico el volumen del caudal de fugas. Por comparación de gráficos se aprecia que la forma de la curva es semejante a una curva de modulación de demanda doméstica, así que aplicaremos este tipo de curva a la totalidad de los nudos de la red con una demanda base. Excluiremos aquellos nudos que pertenezcan a los grandes consumidores y les aplicaremos su propia curva de modulación de la demanda. A continuación exponemos diferentes Tipos de curva de modulación de la demanda a incluir en el modelo de Epanet:

Tabla 6A Curvas de modulación de la demanda integradas en el modelo según tipo de consumidor



7. RÉGIMEN EN PERIODO EXTENDIDO.

Una vez incluidas las curvas anteriormente expuestas, obtendremos la información referida al rendimiento de la red en función de la hora del día. Como ejemplo mostramos dos momentos puntuales referidos a demandas mínima y máxima correspondientes a las 3:00, hora de menor demanda y las 13.00 hora de mayor demanda. Los modelos expuestos no tienen asignadas fugas.

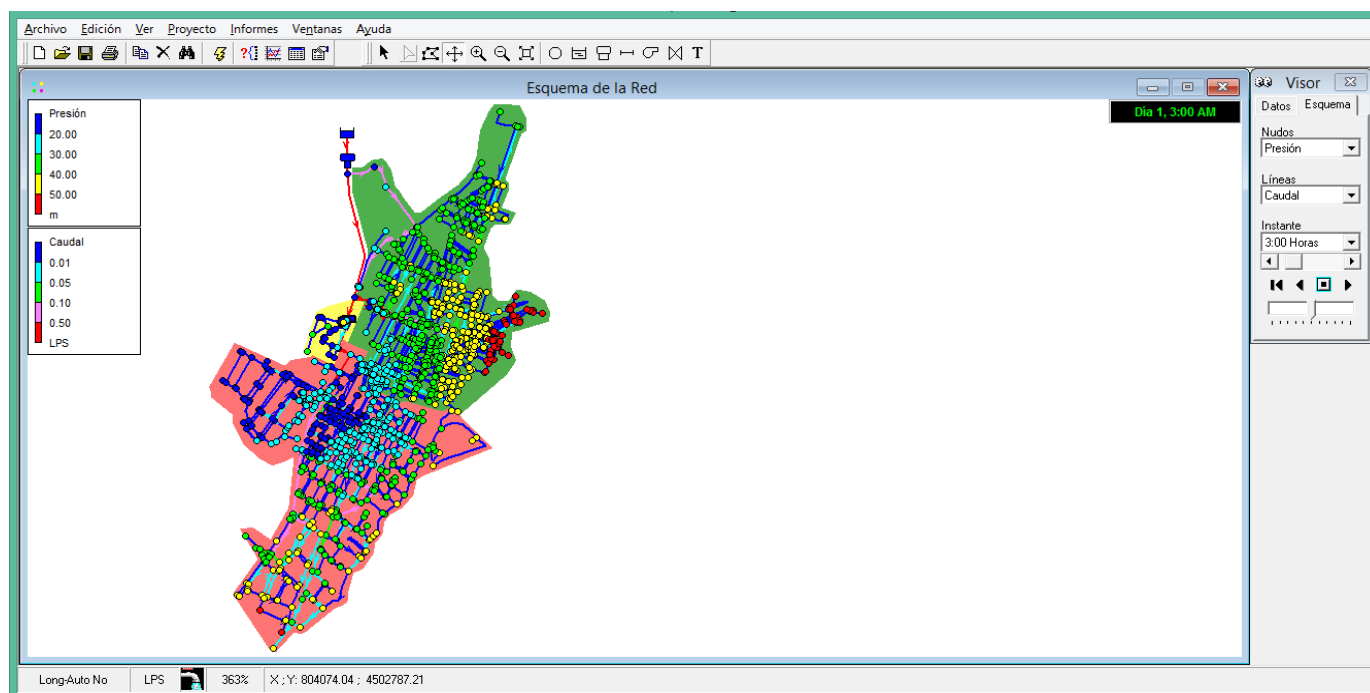


Ilustración 7 Simulación a las 03:00. Podemos ver como se generan sobrepresiones en la zona baja a cotas menores de 15m, de 40 mca hasta 55 mca. En la parte alta tenemos unas presiones bajas.

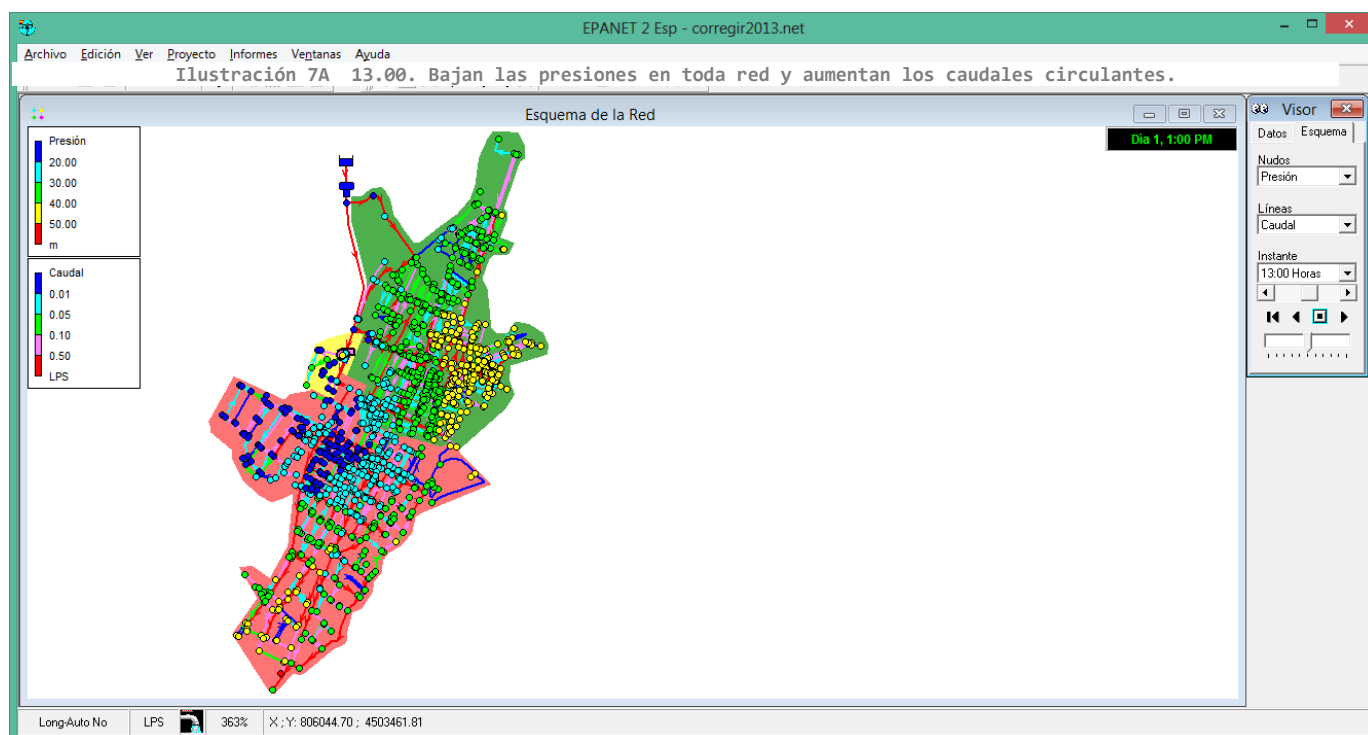


Ilustración 7A 13.00. Bajan las presiones en toda red y aumentan los caudales circulantes.

8. CAUDAL NO FACTURADO. FUGAS.

En el modelo ideal que se ha considerado hasta este momento tan sólo se considera el caudal facturado de la red. Esta situación no es realista, pues se disponen de mediciones de caudal registrado (solo los datos de demandas) que no coinciden con el caudal inyectado total.

Para la mejor comprensión de este concepto se adjunta un esquema desarrollado por el ITA (Instituto Tecnológico del Agua) de la Universitat Politècnica de Valencia.

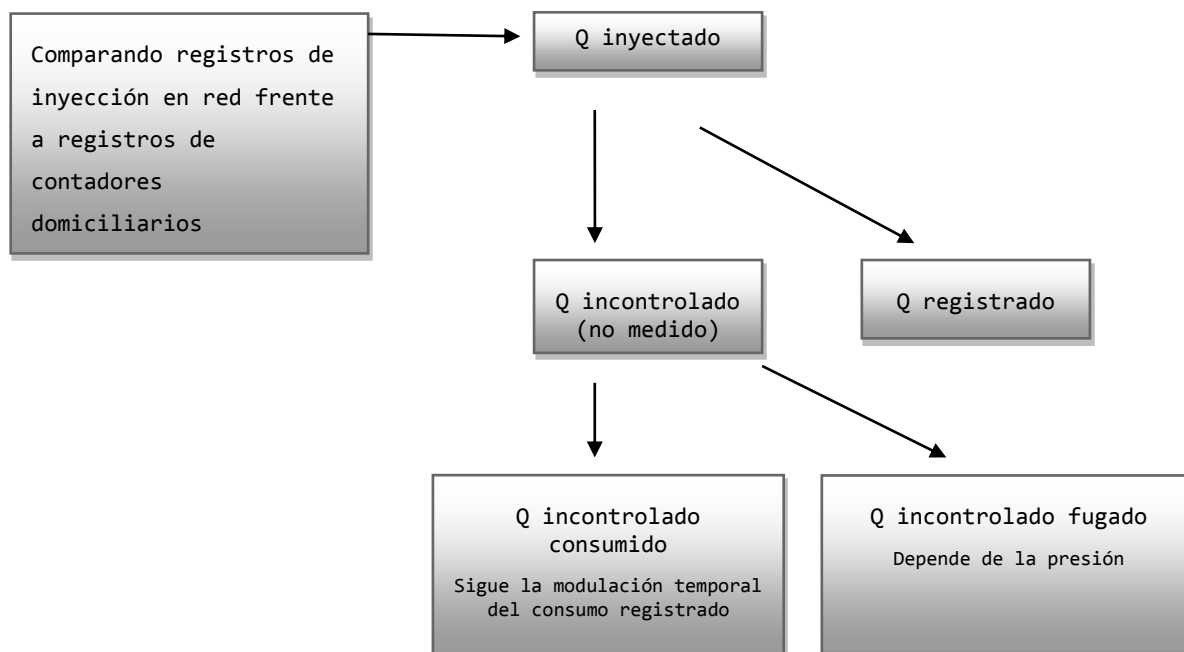


Ilustración 8 Esquema ITA. Caudales dependientes de presión

Seguidamente procederemos a definir brevemente algunos conceptos del balance hídrico referidos a los tipos de caudal que se presentan en el esquema y que utilizaremos posteriormente en la creación del modelo.

-Caudal inyectado: Caudal inyectado a red. Este dato será proporcionado por los contadores situados a la entrada de cada sector, lectura de frecuencia diaria.

-Caudal Registrado o Facturado Q_r : Vendrá dado por la tabla de facturación de consumos. Este dato es el que se tiene actualmente circulando por nuestro modelo (de la facturación por calles y grandes consumidores).

-Caudal Incontrolado Q_i : es el caudal obtenido por la diferencia entre el Caudal Inyectado y el Caudal Registrado o Facturado. Éste, a su vez puede descomponerse en dos partes:

-Caudal incontrolado consumido: Se origina por errores de medición por subcontaje o sobrecontaje de contadores, ausencia de contadores, tomas de aguas ilegales u otros.

-Caudal Fugado: Aquel caudal no consumido y perdido por la red debido a fugas (grietas en tuberías o acometidas etc.).

8.1 Cómo Asignar el Caudal Fugado

Atendiendo a las opiniones de la mayoría de autores (P. J, Iglesias, J. Solano Modelación De Redes (2012) pasamos a relacionar los diferentes métodos existentes para el tratamiento de fugas en los modelos:

- *No considerar las fugas Q_i . Este caso se refiere a un modelo ideal, utilizado para conocer el funcionamiento de la red en ausencia de fugas (modelo utilizado en este momento). No cumple la condición de que el caudal inyectado sea el medido realmente.*
- *Usar el factor de demanda y aplicarle un factor multiplicador. Va en contra de lo que se sabe de las fugas: que son mayores cuanto mayor es la presión, es decir, horas nocturnas.*
- *Tratar las fugas Q_i como un caudal constante a partir de un rendimiento de red. Es sencillo de implementar y es válido cuando no se sabe el origen del Q_i . Para redes con muchos nudos es laborioso pues implica crear una categoría de consumo para cada nudo.*
- *Aplicar el caudal fugado a partir de los metros de tubería correspondientes a cada nudo. Igual que en el caso anterior, creando un patrón constante y distribuyéndolo en proporción a los metros de tubería de red.*
- *Utilizar emisores a la atmósfera como forma de representar las fugas en los nudos (depende así el caudal fugado de la presión en cada nudo). Es el más realista en el caso de que se asimile Q_i a fugas. Se puede llegar a una buena solución independientemente del número de nudos en la red.*

En el caso de Sant Carles vamos a utilizar el último método mencionado, por su mayor exactitud, así como por disponer de ITAFugas, una herramienta desarrollada por el grupo ITA de la UPV que genera automáticamente el fichero de red con un emisor para cada nudo. Al mismo tiempo, el programa permite asignar una parte del Q_i (Caudal incontrolado) a Q_i fugado y otra parte a Q_i por errores de medición y otros.

8.2 Cálculo caudal fugado con ITAFugas

ITAFugas es una herramienta desarrollada por el Instituto Tecnológico del Agua de la UPV, que a partir de datos proporcionados por un fichero de Epanet y una vez conocido el caudal incontrolado, creará un nuevo fichero con un emisor asignado a cada uno de los grupos

El procedimiento para calibrar las válvulas de fugas o emisores es el siguiente:

- Las pérdidas totales de la red están relacionados con la presión media de la red por un solo K_T y una ecuación potencial:

$$Q_{if} = K_T (P_{prom})^N$$

Siendo:

P_{prom} : Presión promedio de la red

K_T : Coeficiente emisor. Aparecerá en cada uno de los nodos definidos para modelar las fugas del sistema.

N : Exponente de fuga o coeficiente emisor (varía entre 0.5 y 2.5 dependiendo de las características del orificio y del material de la tubería. Usaremos 1,1 como coeficiente emisor global)

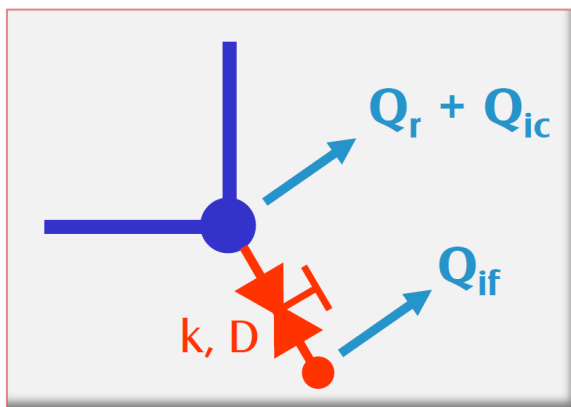


Ilustración 8.2 Esquema de emisor en ITAFugas

- K_T se distribuye entre los nodos según la longitud de la tubería:

- Cada nodo recibe una "longitud ponderada", L_j (proporción en tanto por uno).

- K_T se distribuye entre las válvulas de los nodos (emisores) por dicho L_j , de modo que:

$$K_j = K_T \cdot L_j$$

- Es necesario un proceso iterativo para adaptar la cantidad de fugas en el modelo a la red real.

8.3 Inserción del modelo de Sant Carles de la Ràpita en ITAFugas

Como se ha expuesto anteriormente, nos basaremos en un modelo de Epanet con la configuración correspondiente al año 2013, considerando la sectorización y los elementos que le corresponden. De este modo el programa localizará las fugas según la presión de ese sistema y las hipótesis previas planteadas. De acuerdo con los datos disponibles, insertaremos los datos requeridos por el programa:

El más determinante será el caudal incontrolado, el cual extraemos de la diferencia existente entre los datos de caudal inyectado y caudal facturado.

La diferencia de caudal se expresa:

$$Q_{\text{inyectado}} - Q_{\text{facturado}} = Q_{\text{incontrolado}}$$

Que en metros cúbicos por año y mes se traduce en: (datos extraídos de tablas de Inyección y facturación)

$$\begin{aligned} 1.479.926 \text{ m}^3/\text{año} - 939.508 \text{ m}^3/\text{año} &= 540.118 \text{ m}^3/\text{año} \\ 121613 \text{ m}^3/\text{mes} - 77296.62 \text{ m}^3/\text{mes} &= 44316.47 \text{ m}^3/\text{mes} \end{aligned}$$

En función de la naturaleza de los datos disponibles fijaremos los datos que nos pida el programa:

$$Q_{\text{incontrolado}} = 44316.47 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Del total del caudal incontrolado, supondremos una distribución del caudal fugado y caudal incontrolado consumido como sigue. Para determinar con mayor exactitud el valor de cada uno de los componentes del caudal incontrolado, se requeriría por ejemplo de la modulación del caudal inyectado a la red, de manera que se pudiese hacer un barrido de todas las distribuciones posibles con el objetivo de encontrar aquella que más se ajustase a la realidad (Almandoz J, 2004), como no se dispone de este dato, se asume una primera distribución:

$$\begin{aligned} - 95\% Q_{\text{fugado}} &= 42100.64 \text{ m}^3/\text{mes} \\ - 5\% Q_{\text{error medicion y otros}} &= 22182 \text{ m}^3/\text{mes} \end{aligned}$$

Elegiremos una presión promedio para la red y escogeremos como exponente del emisor el valor de 1,1. Este valor es el más usado por consultoras y estudios de ingenierías como valor genérico. Como se ha indicado anteriormente, el valor del exponente del emisor N depende de las características del orificio de la fuga (Teoría FAVAD, Garzón, 2006): Para una mayor explicación de lo expuesto agregamos los siguientes puntos orientativos:

- Áreas fijas o más rígidas (orificios en paredes de tubos de fibrocemento, fundiciones dúctiles y similares) tendrían exponente igual a 0.
- Áreas que pueden variar a lo largo de un eje (típicamente fugas en juntas, accesorios) tendrán exponente igual a 1,5.
- Áreas que pueden variar a lo largo de dos ejes, más elásticas (grietas en tuberías de plástico) tendrán exponente igual a 2,5.

Una vez incorporados los datos solicitados, el programa iterará hasta proporcionar una solución posible.

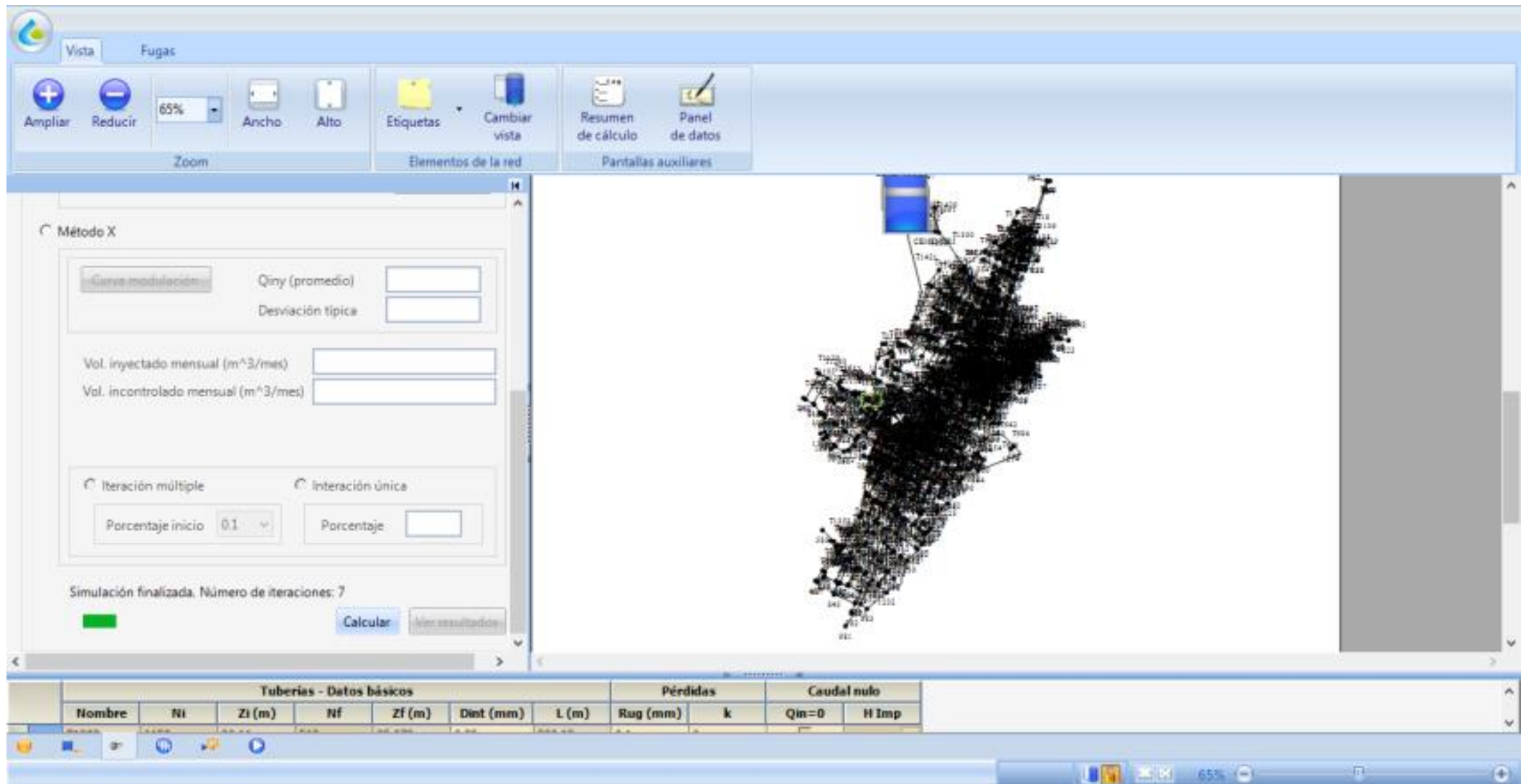


Ilustración 8.3 Imagen del modelo cargado en ITAFugas. Se generará una carpeta con el archivo de Epanet y los emisores cargados.

8.4 Archivo de Epanet con Emisores

En la ilustración 8.4 que sigue a continuación se refleja cómo queda un archivo de Epanet una vez se han cargado las fugas. Seleccionando un punto cualquiera, vemos en la celda del emisor el valor que le ha asignado ITAFugas mediante su iteración:

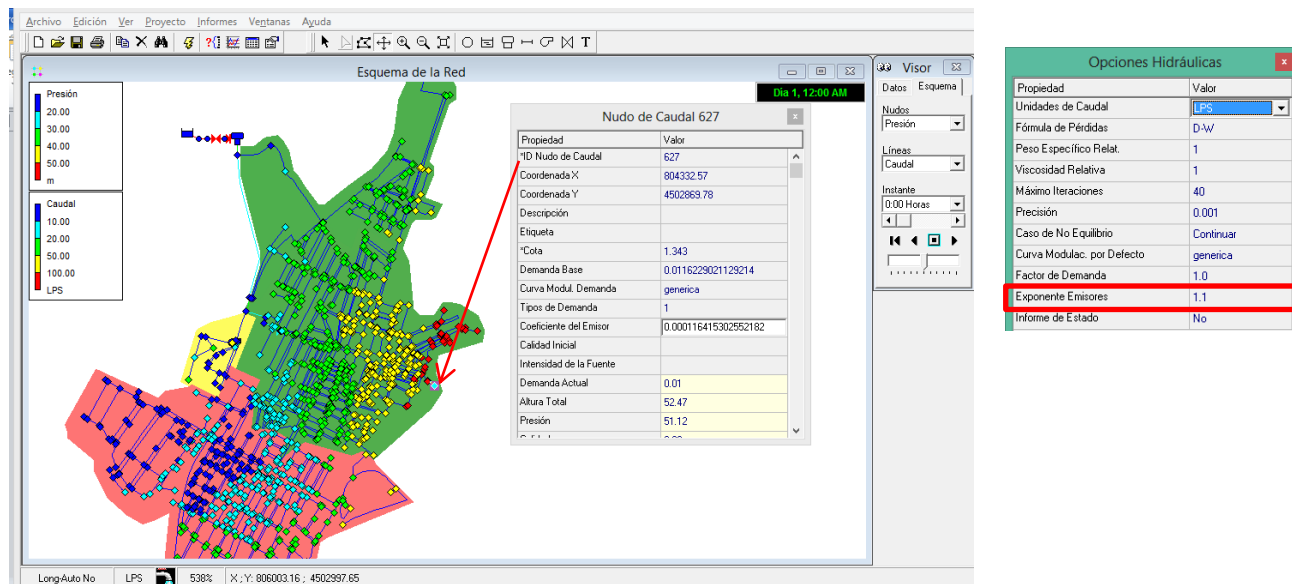


Ilustración 8.4 Modelo con emisores a las 00:00 Horas

Observemos que la forma en que se distribuyen las presiones es semejante al modelo sin carga de fugas, si bien estas se han distribuido más uniformemente debido al aumento del caudal circulante en la red.

Podemos distinguir los diferentes archivos por que la aplicación ITAFugas transforma los nodos reflejados en círculos en cuadrados que representan un nodo emisor.

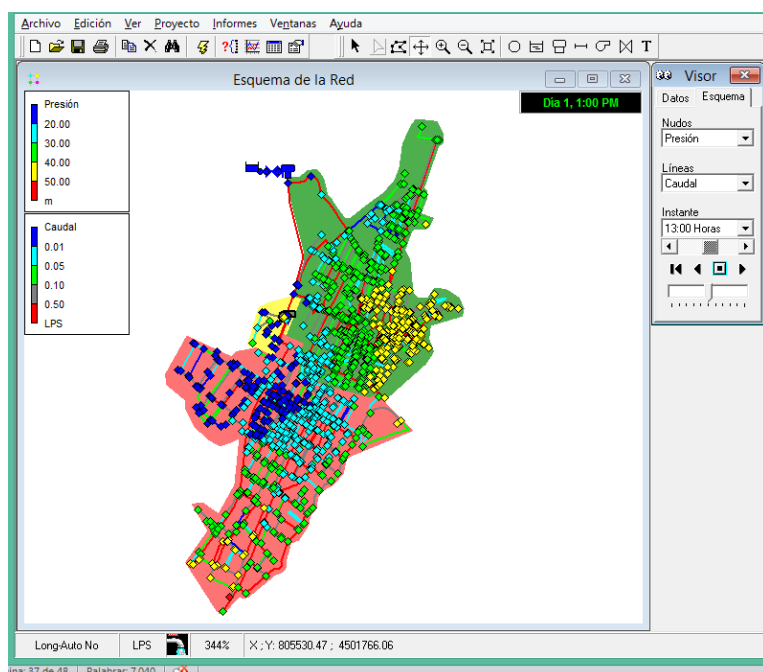


Ilustración 8.4A Modelo con emisores a las 13:00 Horas

Por otro lado se ha afianzado la solidez del modelo, al disponer que el depósito Cementiri descargue el agua por su parte superior (Epanet por defecto modela como si la tubería entrase por la parte inferior del depósito). Esto se ha conseguido mediante una válvula sostenedora tarada a presión atmosférica (cero). De este modo se podría modelar el llenado y vaciado del depósito Cementiri en caso de necesidad, mediante controles.

9. CALIBRACIÓN DEL MODELO. COMPARATIVAS CON DATOS REALES DE 2013

9.1 Modelo Día Promedio 2013

Una vez representada la red en Epanet debemos pasar a su calibración. Para ello dispondremos de los datos aportados por los gráficos analógicos de días de máximo y mínimo caudal registrados y caudales inyectados por tres sectores con datos de contador de lectura diaria.

Considerando que los datos corresponden al año 2013, deberemos pasar a calibrar la red referenciada a la configuración del año 2013 pues las características de la red eran distintas tal y como se ha mostrado en el Capítulo anterior.

A continuación se presenta un esquema de la situación de los puntos de registro de caudal (simbolizados como un punto de mira morado) que contabilizan el caudal de los sectores Poble, Espanyol y Civil, y una tabla-resumen de caudales inyectados que pasan por los contadores situados en la Configuración de 2013:

Registros de caudal



Ilustración 9.1 Ubicación de registros de caudal en 2013

De la Tabla 4.1 Volumen inyectado en 2013 de datos de diarios de contadores, adjuntamos Tabla-Resumen Caudales inyectados 2013.

Tabla 9.1 Caudales inyectados por sectores en 2013

| | Poble | Espanyol | Civil | |
|---------------------------|----------|----------|---------|-----------|
| TOTAL m ³ /año | 751060 | 705660 | 22906 | 1479626 |
| prom m ³ /día | 2057.70 | 1933.32 | 62.76 | 4053.77 |
| prom m ³ /mes | 62588.33 | 58805.00 | 1908.83 | 123302.17 |

Caudales

A través de la opción en Epanet - Tiempo -Estadísticas -Medias, podemos obtener los valores medios de todos los parámetros que nos ofrece eEpanet. Para facilitar la lectura de estos valores usaremos el editor de Rótulos en las líneas donde se encuentran los caudalímetros, tal y como se muestra en la imagen:

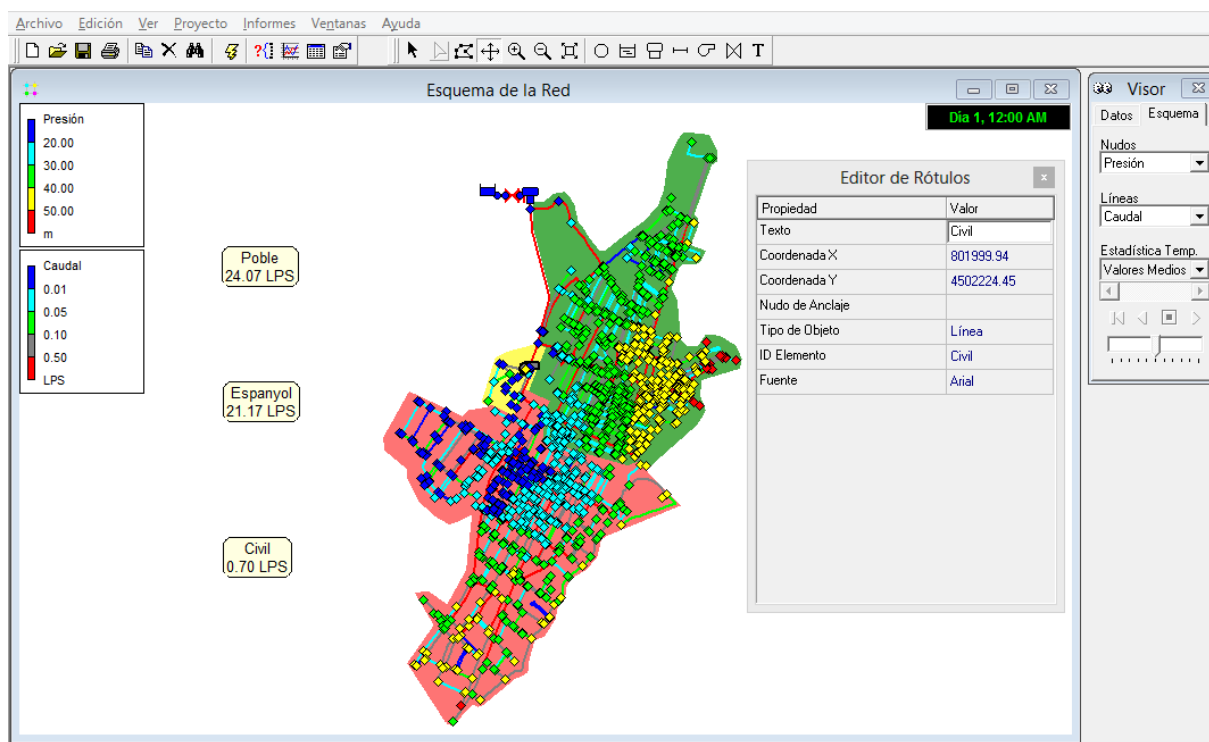


Ilustración 9.1A Modelo con etiquetas de caudal medio en la localización de contadores

Comparando los resultados medios del modelo con los resultados medios de esos mismos puntos en los contadores reales, podemos observar que no existen grandes diferencias y que los caudales circulan de manera muy semejante:

Tabla 9.1A Comparativa de datos de caudal

| | Poble | Espanyol | Civil |
|--|-------|----------|-------|
| prom LPS 2013 | 23.82 | 22.38 | 0.73 |
| corrección -5% ITAFugas | 23.38 | 21.97 | 0.72 |
| Resultado Epanet medio LPS 2013 | 24.1 | 21.27 | 0.7 |

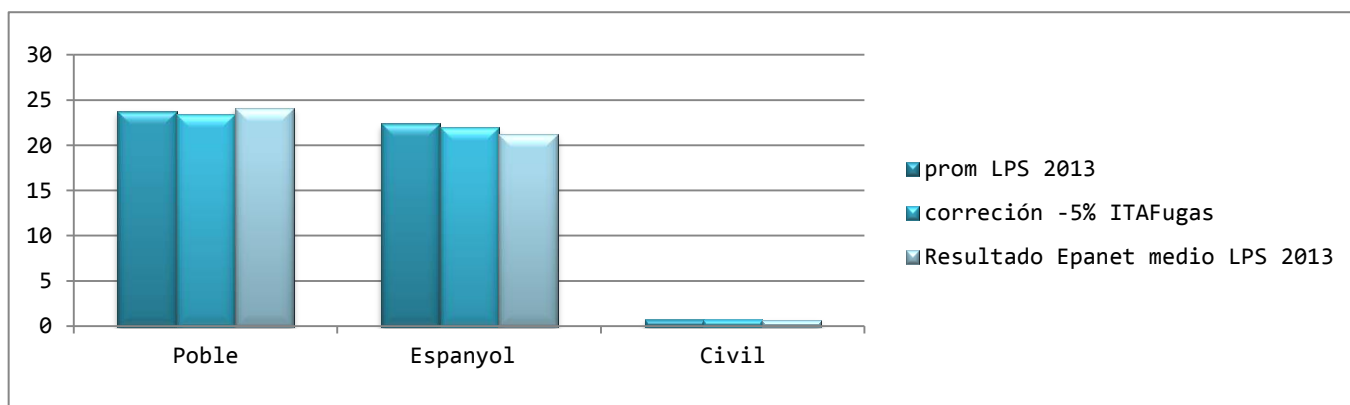


Figura 9.1 Comparativa de datos de caudal

Presiones

Igualmente compararemos la presión de entrada y salida de las válvulas reductoras:

| | | | | |
|----|---------------------------|-------|------------|------------|
| VR | Av. Catalunya (izquierda) | DN80 | Pe-2,4 atm | Ps-1,3 atm |
| VR | Av. Catalunya (derecha) | DN150 | Pe-2,4 atm | Ps-1,3 atm |
| VR | C/ Constància | DN150 | Pe-3,3 atm | Ps-2,2 atm |

Una vez se ha confirmado que el modelo funciona de forma general, procede a averiguar si es válido para las situaciones más críticas dadas en 2013.

9.2 Modelo Día de Máximo Consumo 2013

Para modelar la situación más desfavorable vamos a elegir el día de mayor consumo aplicando la siguiente fórmula: $K_p = K_{dmc} \times K_{hp}$, siendo: Tabla 5.9.2 Detalle del mes de mayor consumo Agosto m^3

- K_p = Coef. Punta
- K_{dmc} = Coef. Estacionalidad x Coef. Día mayor consumo
- K_{hp} = Coef horario punta. Este se calculará pues viene implícito en las curvas de modulación horaria.

Tabla 5.9.2 Detalle del mes de mayor consumo

Resumiendo, nuestro coeficiente punta será:

$$K_p = K_{dmc}$$

Procedimiento a seguir:

- *Coeficiente de estacionalidad: Tomaremos los datos del mes de mayor consumo y calculamos su promedio. El cociente o relación entre el promedio de agosto y el promedio anual nos da el coef. de estacionalidad.*
- *Coeficiente día de mayor consumo: Es el cociente o relación entre el día de mayor consumo de agosto y el consumo diario promedio de agosto.*
- *Coeficiente punta: el producto de ambos coeficientes*

Ya que disponemos de todos los datos por sectores, podemos aplicar a cada sector su propio coeficiente de día de Máximo consumo, en lugar de aplicar uno general, que sería más impreciso.

Nos hemos permitido una pequeña mayoración tomando el valor más alto del mes de Agosto del sector Civil, en lugar del valor del día de mayor consumo en toda la red general.

| Detalle del Mes mayor consumo Agosto m^3 | | | |
|--|-------------|------------|-----------|
| Poble | Espanyol | Civil | General |
| 2450 | 3000 | 74 | 5524 |
| 2290 | 2900 | 66 | 5256 |
| 2430 | 3060 | 74 | 5564 |
| 2450 | 2850 | 72 | 5372 |
| 2520 | 3100 | 82 | 5702 |
| 2600 | 3270 | 85 | 5955 |
| 2540 | 3050 | 75 | 5665 |
| 2480 | 3000 | 81 | 5561 |
| 2650 | 3060 | 73 | 5783 |
| 2530 | 3260 | 80 | 5870 |
| 2780 | 3270 | 84 | 6134 |
| 2460 | 3000 | 78 | 5538 |
| 2750 | 3260 | 88 | 6098 |
| 2690 | 3000 | 76 | 5766 |
| 2440 | 3390 | 63 | 5893 |
| 2310 | 3470 | 71 | 5851 |
| 3390 | 3490 | 70 | 6950 |
| 2780 | 3370 | 75 | 6225 |
| 2500 | 3130 | 69 | 5699 |
| 2600 | 3400 | 73 | 6073 |
| 2560 | 3160 | 63 | 5783 |
| 2620 | 3460 | 69 | 6149 |
| 2470 | 3070 | 59 | 5599 |
| 2490 | 3380 | 65 | 5935 |
| 2450 | 3190 | 71 | 5711 |
| 2310 | 3050 | 72 | 5432 |
| 2360 | 3140 | 66 | 5566 |
| 2200 | 2700 | 67 | 4967 |
| 2190 | 2800 | 53 | 5043 |
| 2330 | 2640 | 58 | 5028 |
| 2270 | 2850 | 60 | 5180 |
| 77890 | 96770 | 2212 | 176872 |
| 2512.58065 | 3121.612903 | 71.3548387 | 5705.5484 |
| 3390 | 3490 | 88 | 6968 |
| 1.34921042 | 1.118011781 | 1.23327306 | 1.2212674 |
| 2057.69863 | 1933.315068 | 62.7561644 | 4053.7699 |
| 1.22106348 | 1.614642618 | 1.13701721 | 1.4074673 |
| 1.65 | 1.81 | 1.40 | 1.72 |

| |
|-------------------|
| total mes |
| promedio agosto |
| Día punta |
| Dmc del mes |
| pr. Anual |
| C. estacionalidad |
| Kdmc |

Los coeficientes K_{dmc} , una vez aplicados los datos correspondientes, expresarán los siguientes valores:

$$K_{dmc_{Poble}} = 1.65$$

$$K_{dmc_{Espanyol}} = 1.81$$

$$K_{dmc_{Civil}} = 1.40$$

Para ilustrar como aplicar a cada sector su correspondiente coeficiente en el modelo, procederemos realizar un caso práctico, tomando como ejemplo el sector Civil. Procedimiento a seguir:

-Se determina la selección de la región dónde se pretende aplicar el K_{dmc} .

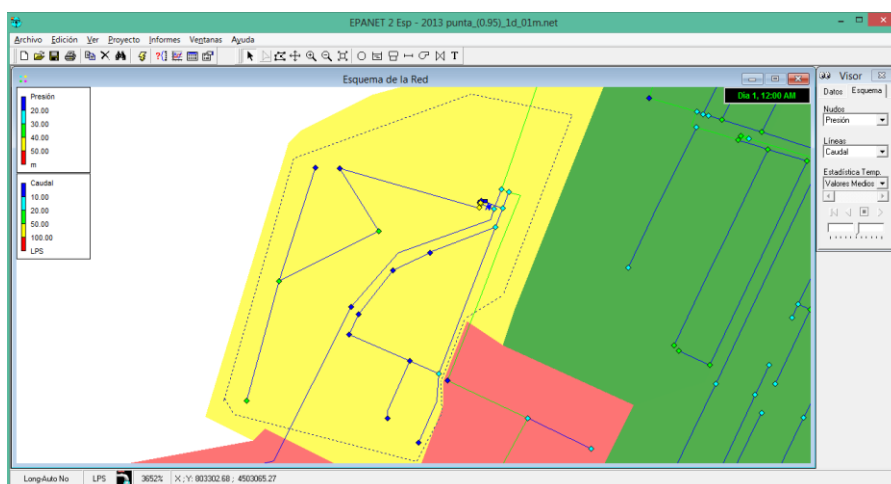


Ilustración 9.2 Grupo de nodos seleccionados

-En Editar- Editar grupo, en el cuadro de diálogo que aparece procederemos a multiplicar la demanda base de los Nodos de caudal tal y como se muestra:

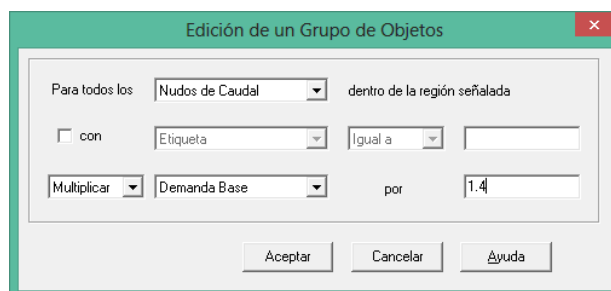


Ilustración 9.2A Cuadro de diálogo editor de elementos de la red

-Realizada la operación de aceptar, se mostrará un cuadro de diálogo donde se indicará la actualización de los nodos seleccionados. A posteriori, es posible comprobar en las propiedades del nudo cómo su demanda base ha mayorado correctamente.

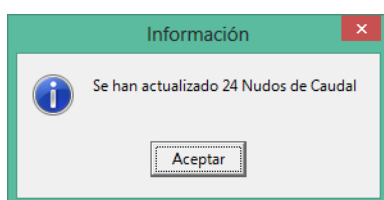


Ilustración 9.2B Cuadro de diálogo informativo

-Se procederá del mismo modo con el resto de sectores, aplicando a cada uno de ellos su Kdmc correspondiente. Si no fuera posible, por precisión, captar toda el sector en una sola región, éste se seleccionará por tramos, comprobando que no se duplica ni se omite ningún nudo en el proceso.



Ilustración 9.2C Repetición del proceso para el Sector Espanyol

-Comprobar que la suma total de demandas relacionadas en el archivo.inp coincida con la suma total de las mostradas en la tabla excel.

Una vez completado el procedimiento el modelo trabajará en el escenario de día de mayor consumo en 2013.

Nota: A partir de este punto los gráficos respresentados referentes al día de mayor consumo se colorearán en naranja, y los referentes al día promedio se colorearán en azul

A continuación procederemos a comparar los datos de máximo caudal de los contadores con los obtenidos en Epanet para este nuevo escenario:

Tabla 9.2 Comparativa de resultados para Día de Máximo Consumo

| Día Máximo Consumo | Poble | Espanyol | Civil |
|---------------------------------|-------|----------|-------|
| DMC LPS AGOSTO 2013 | 39.30 | 40.50 | 1.02 |
| resultado Epanet punta LPS 2013 | 33.35 | 32.42 | 0.92 |

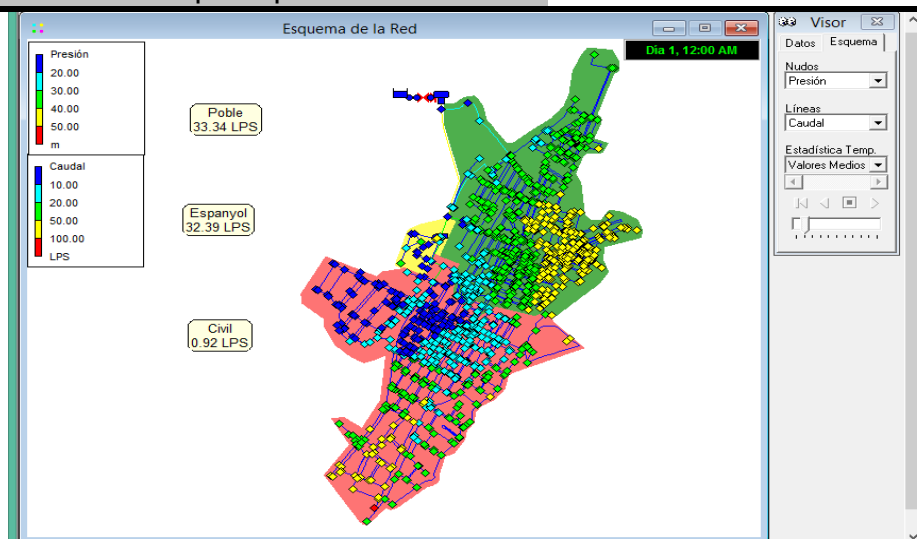


Ilustración 9.2D Valores de caudal medios para Día de Máximo Consumo

10. CONFIGURACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO EN 2014

10.1 Día promedio 2014

Para conocer la situación actual de la red tendremos que ejercer los cambios señalados sobre el modelo creado para el año 2013 (cuadro del apartado 3 “Configuración de la Red”), sustituyendo y añadiendo los elementos que procedan.

En los cuadros de la ilustración 10.1 se indican los nuevos puntos de registro:

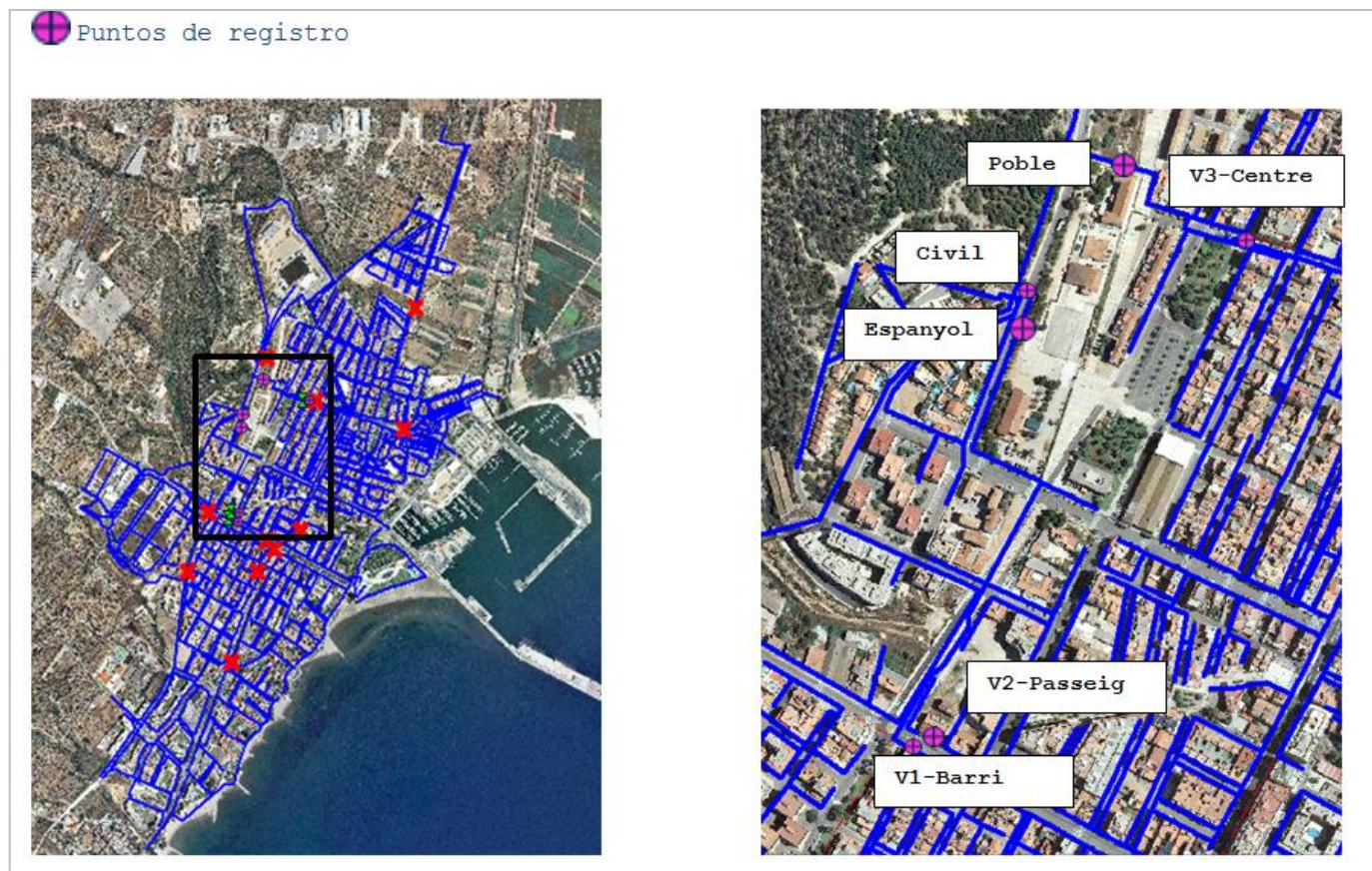


Ilustración 10.1 Nuevos puntos de registro en 2014

Una vez efectuados los cambios requeridos, para un régimen en periodo extendido (no se trata de escenario punta, sino de un día promedio del año 2014) la red quedará conformada del siguiente modo:

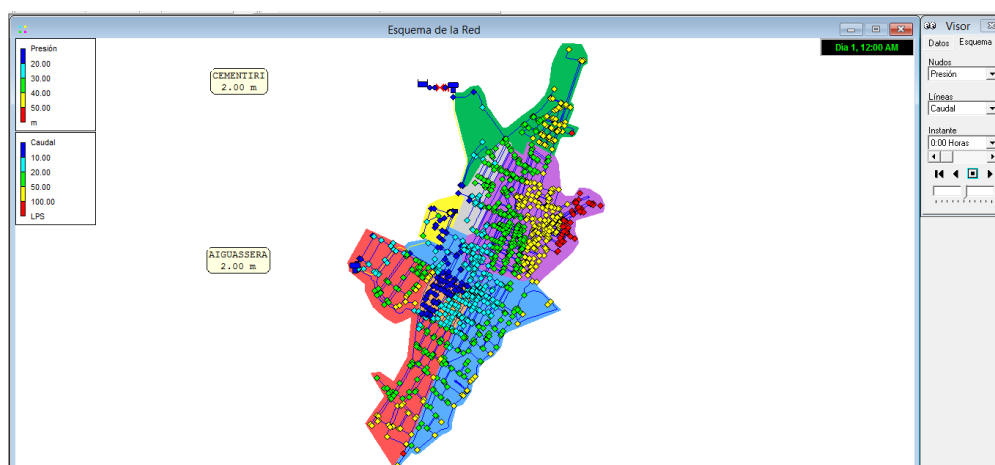


Ilustración 10.1.10.1A Nuevo escenario 2014

Se puede observar que se han delimitado los nuevos sectores creados en 2014, quedando igualmente reflejados los nuevos elementos incorporados.

Se han añadido rótulos para observar con mayor facilidad el nivel de los dos depósitos y su funcionamiento.

Situados en este punto es necesario proceder de nuevo a calibrar la red mediante datos correspondientes del año 2014 (caudales inyectados circulantes extraídos de capturas de pantalla de los datalogger). Para el año 2014 los puntos de registro son, además de los anteriores, los situados en la parte posterior de las válvulas reguladoras.

Estos nuevos sectores, son, en realidad *subsectores* de los anteriores, ya que los datos para cada uno de ellos se obtendrán mediante diferencias de datos de caudal, según se refleja en el siguiente esquema:

Sector Poble

-Subsector V3-Centre

-Subsector porta Nord (sin registro de caudal)

Sector Espanyol

-Subsector V1-Barri

-Subsector V2-Passeig

-Subsector Eixample (sin registro de caudal)

Sector Civil: Sin Subsectores.

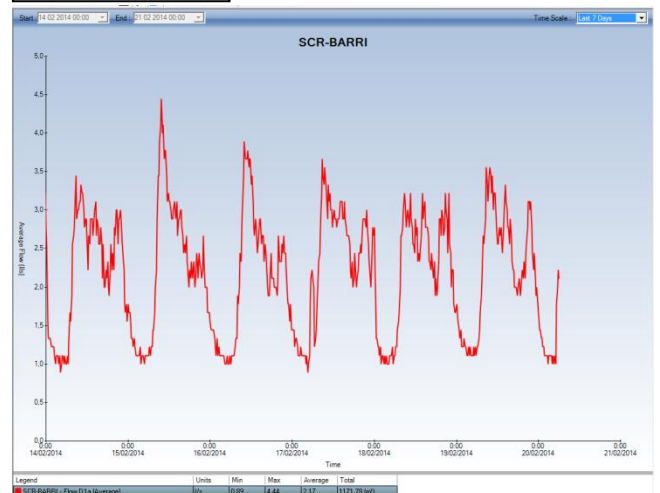
Datos de registro febrero 2014

Tabla 10.1 Datos disponibles de caudal inyectado facilitados en 2014

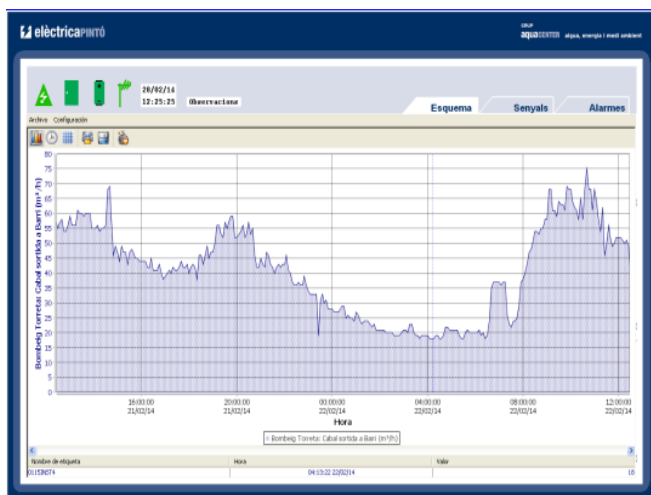
Poble



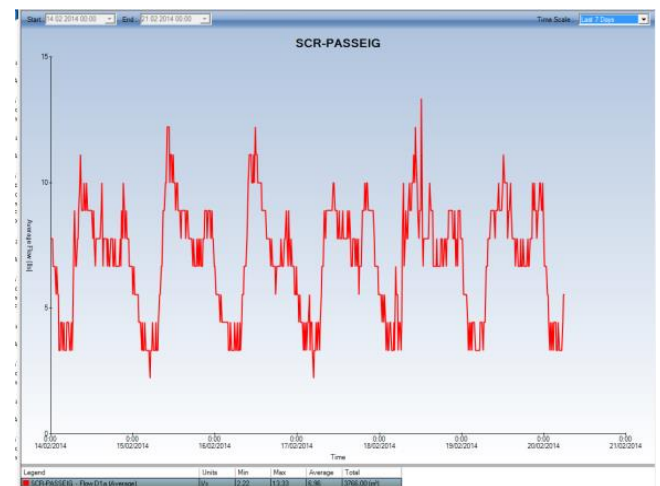
V1-Barri



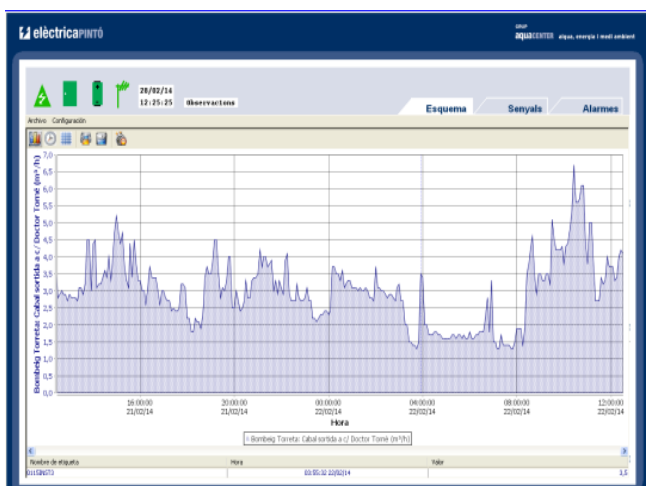
Espanyol



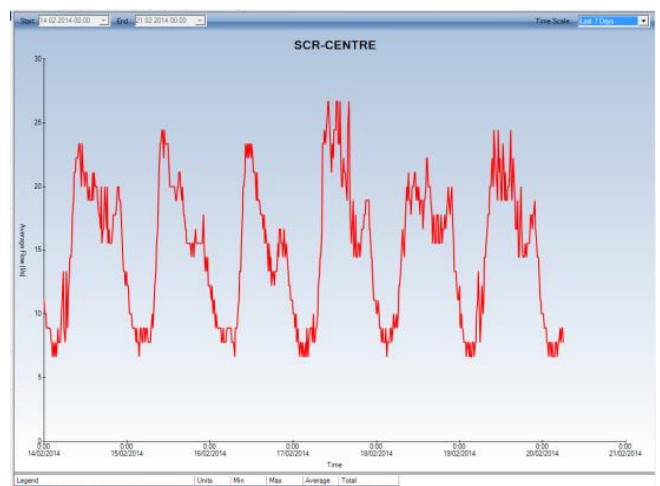
V2-Passeig



Civil



V3-Centre



10.2 Resumen de valores promedio de Dataloggers en 2014

A partir de los gráficos expuestos en la página anterior (Tabla 10.1), crearemos la siguiente tabla, donde se han incluido los datos que estaban expresados en m³/h a LPS. Compararemos estos datos con los obtenidos en Epanet:

Tabla 10.2 Valores obtenidos de las imágenes del datalogger

| Datos Datalogger Febrero LPS | Qmin | Qmedio | Qmax |
|------------------------------|------|--------|-------|
| Poble | 8.33 | 18.06 | 27.78 |
| Espanyol | 5.56 | 10.28 | 16.67 |
| Civil | 0.36 | 0.69 | 1.25 |
| V1-Barri | 0.89 | 2.17 | 4.44 |
| V2-Passeig | 2.22 | 6.69 | 13.33 |
| V3-Centre | 6.67 | 14.86 | 26.67 |

Resultados de Simulaciones en Epanet Día Promedio

A continuación se mostrarán los valores para un día promedio del año 2014 en el modelo de Epanet en periodo extendido:

- Estadísticas Mínimas

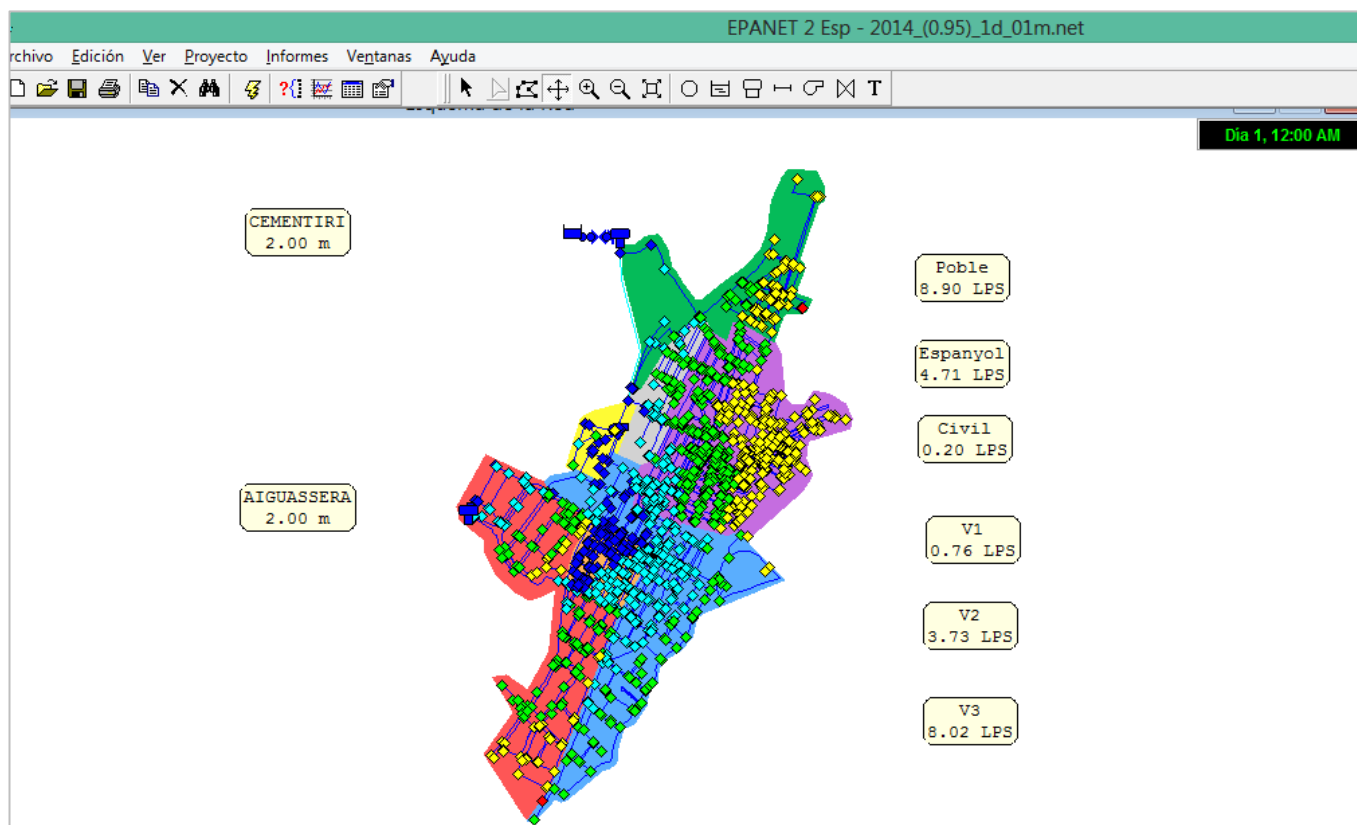


Ilustración 10.10.2 etiquetas de valores para Estadísticas Mínimas 2014

- Estadísticas Medias

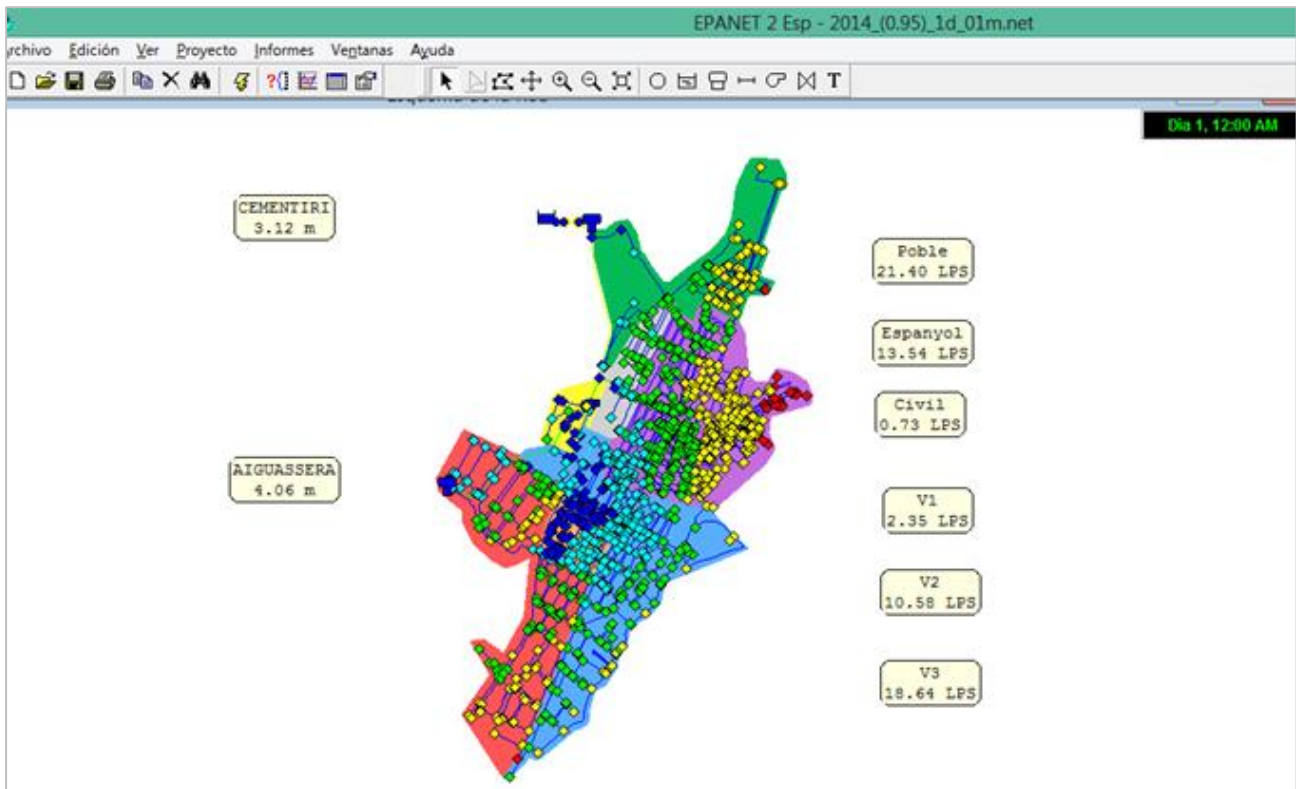


Ilustración 10.2A etiquetas de valores para Estadísticas Medias 2014

- Estadísticas máximas

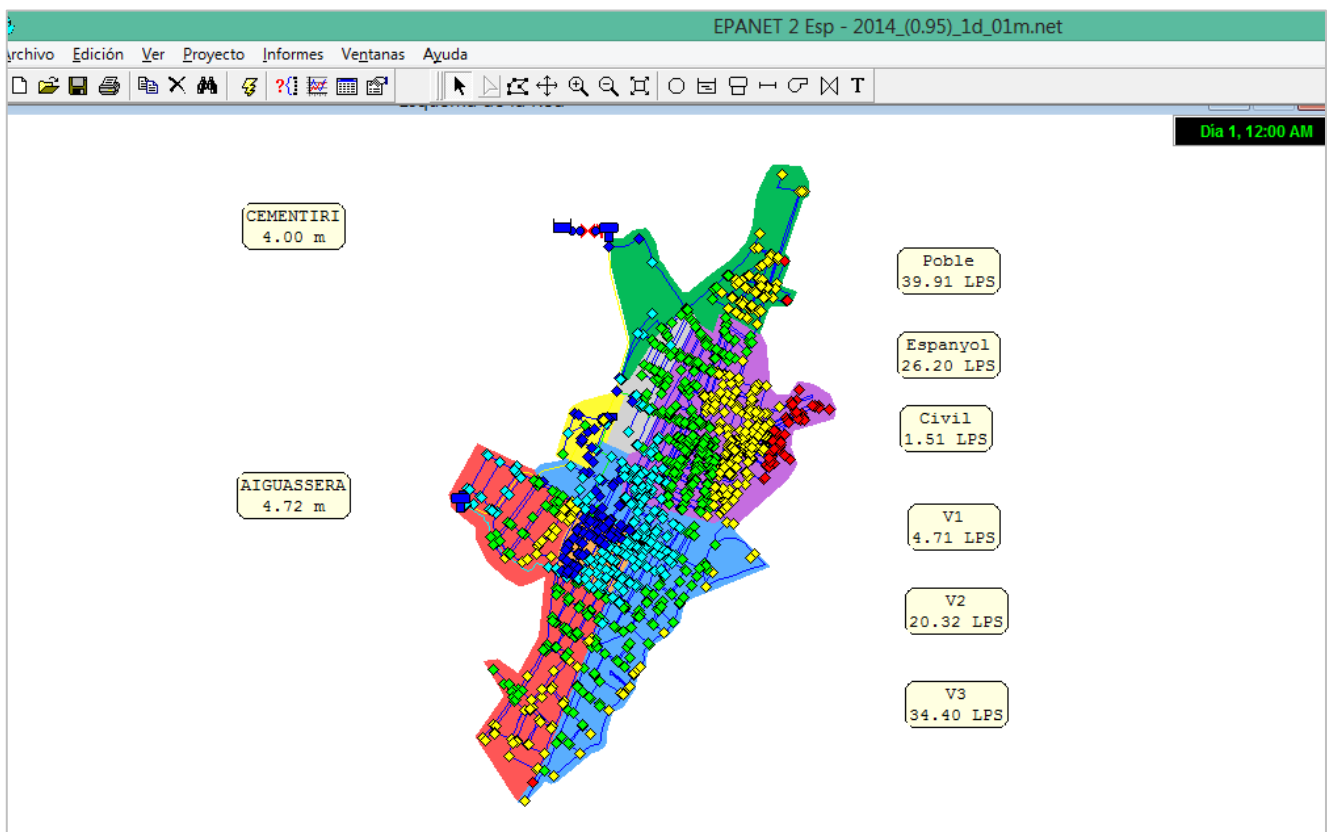


Ilustración 10.2B Etiquetas de valores para estadísticas máximas 2014

Comparativa de Datos Dataloggers con Datos de simulación de Epanet

Procederemos a crear una tabla que permita comparar valores facilitados por los Dataloggers y valores simulados recogidos en las etiquetas de las ilustraciones 10.2, 10.2A, y 10.2:

Tabla 10.2A Resumen de datos Epanet y Dataloggers. Estos son los datos preliminares de las simulaciones. Teniendo en cuenta que se trata del mes de febrero, a los caudales se les aplicará un COEFICIENTE ESTACIONAL DE MINORACIÓN, pues el mes de febrero es el de menor consumo del año, También sustraemos de los datos de contadores en 5 % del Caudal NO Registrado

| Comparativa Datos Febrero LPS | Qmin | Qmedio | Qmax |
|-------------------------------|------|--------|-------|
| Poble | 8.33 | 18.06 | 30.56 |
| Epanet-Poble | 8.90 | 21.40 | 39.91 |
| Espanyol | 5.56 | 10.28 | 18.06 |
| Epanet-Espanyol | 4.71 | 13.54 | 26.20 |
| Civil | 0.36 | 0.69 | 1.25 |
| Epanet- Civil | 0.2 | 0.73 | 1.51 |
| V1-Barri | 0.89 | 2.17 | 4.44 |
| Epanet-V1-Barri | 0.76 | 2.35 | 4.71 |
| V2-Passeig | 2.22 | 6.69 | 13.33 |
| Epanet-V2-Passeig | 3.73 | 10.58 | 20.32 |
| V3-Centre | 6.67 | 14.86 | 26.67 |
| Epanet-V3-Centre | 8.02 | 18.64 | 34.4 |

Ya que disponemos de los datos de Caudal Inyectado de Febrero en 2014, aplicaremos el coeficiente general para toda la red a cada sector. De este modo es posible comparar sector por sector para cada una de las estadísticas.

Es necesario tener en cuenta que los valores medios serán los más importantes a considerar, puesto que en Epanet la simulación de las curvas de Modulación o demanda se calculan cada hora. Los Dataloggers tiene un registro de caudal de intervalo menor, por tanto los valores máximo y mínimos pueden oscilar de manera más o menos acusada. A los caudales de los Dataloggers se les ha aplicado la reducción del 5% por errores de medición insertado en ITAFugas.

A los nudos de demanda se les aplicará un coeficiente de estacionalidad, obtenido del cociente entre el caudal inyectado promedio diario de Febrero y el caudal inyectado promedio anual. Calculado así el coeficiente de estacionalidad muestra un valor aproximado de 0,78.Tabla10.2B comparativa resultados obtenidos en Epanet minorados con resultados datalogger

Tabla5.10.2B comparativa resultados obtenidos en Epanet minorados con resultados datalogger

| Comparativa Datos Febrero LPS | Qmin | Qmedio | Qmax |
|-------------------------------|------|--------|-------|
| Poble | 8.06 | 17.47 | 29.56 |
| Epanet minorado 78% | 6.94 | 16.69 | 31.13 |
| Espanyol | 5.38 | 9.94 | 17.47 |
| Epanet minorado 78% | 3.67 | 10.56 | 20.44 |
| Civil | 0.35 | 0.67 | 1.21 |
| Epanet minorado 78% | 0.16 | 0.57 | 1.18 |
| V1-Barri | 0.86 | 2.10 | 4.30 |
| Epanet minorado 78% | 0.59 | 1.83 | 3.67 |
| V2-Passeig | 2.15 | 6.47 | 12.90 |
| Epanet minorado 78% | 2.91 | 8.25 | 15.85 |
| V3-Centre | 6.45 | 14.38 | 25.80 |
| Epanet minorado 78% | 6.26 | 14.54 | 26.83 |

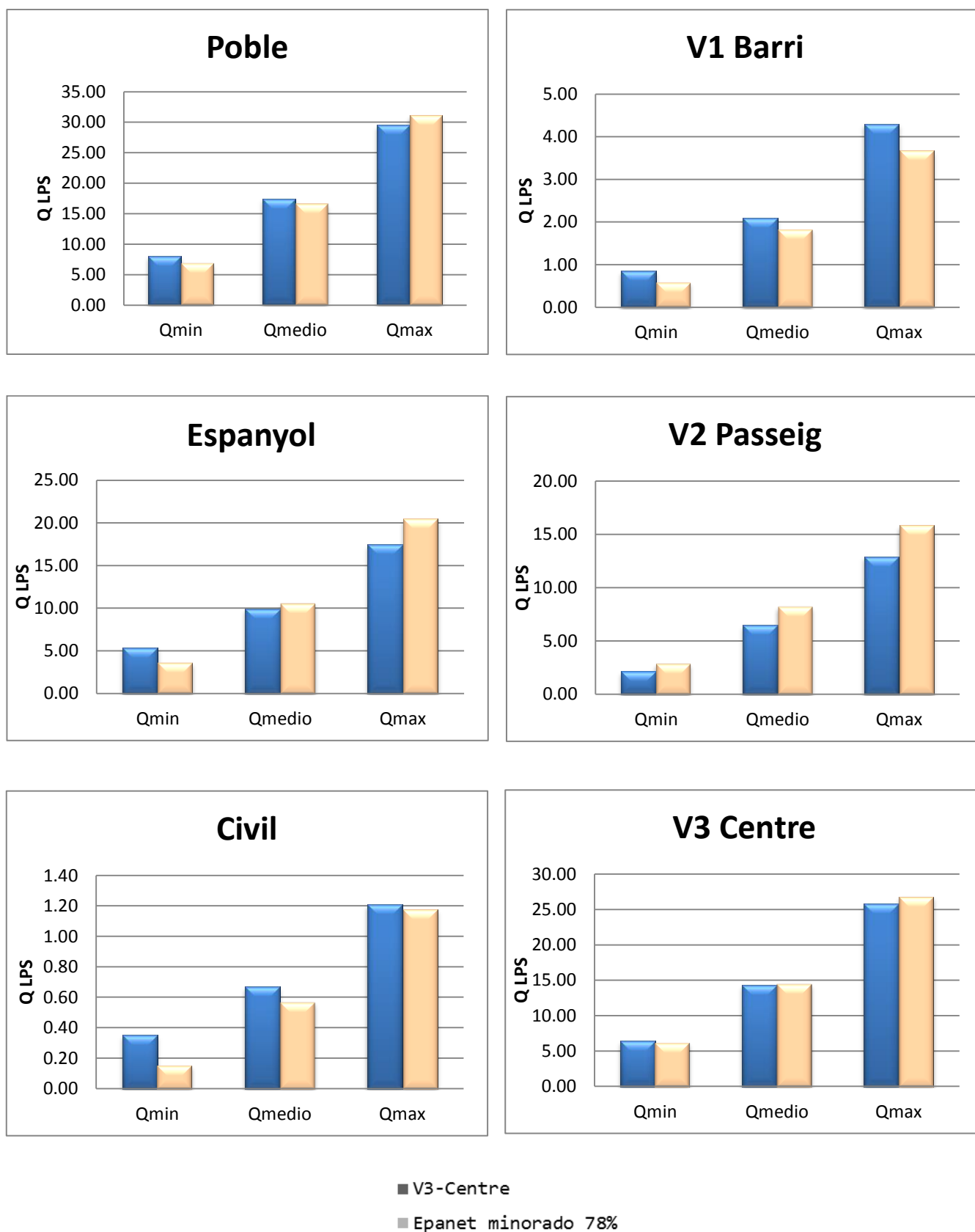


Figura 10.2.1 Gráficas comparativas con resultados de Epanet minorados

Conclusión: Una observación comparada de los gráficos determina que los caudales se ajustan al modelo, lo que demuestra la validez del mismo para las diferentes configuraciones planteadas.

10.3 Situación Día de Máximo Consumo 2014

Para este caso, para ver cómo funciona la red, se deberán tomar como referencia los datos utilizados en el año 2013, pues todavía no se disponen de datos en el periodo de máximo consumo con la nueva configuración.

Por tanto procederemos a aplicar los coeficientes de estacional y día de máximo consumo del mismo modo y con la misma distribución que se ha considerado en el apartado “9.2 Situación Día de Máximo Consumo 2013”

En primer lugar, obtendremos los resultados tan sólo aplicando los coeficientes punta de la tabla del apartado comentado:

$$K_{dmc_{Poble}} = 1.65$$

$$K_{dmc_{Espanyol}} = 1.81$$

$$K_{dmc_{Civil}} = 1.40$$

A continuación procederemos a calcular las estadísticas para caudales Mínimos, Medios y Máximos:

Estadísticas Mínimas

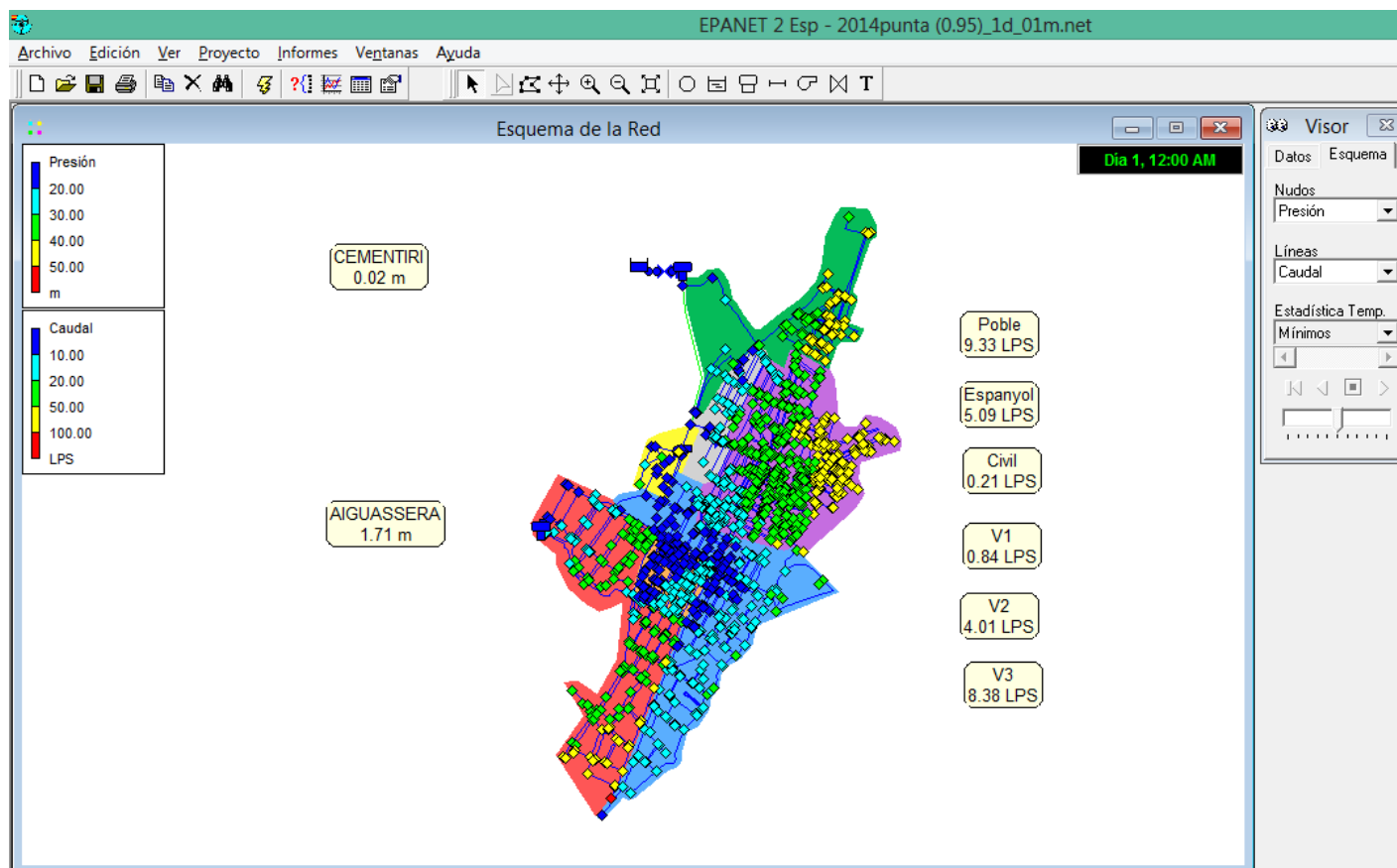


Ilustración 10.3 Etiquetas de valores para Estadísticas Mínimas Día Máximo Consumo 2014

Estadísticas Medias

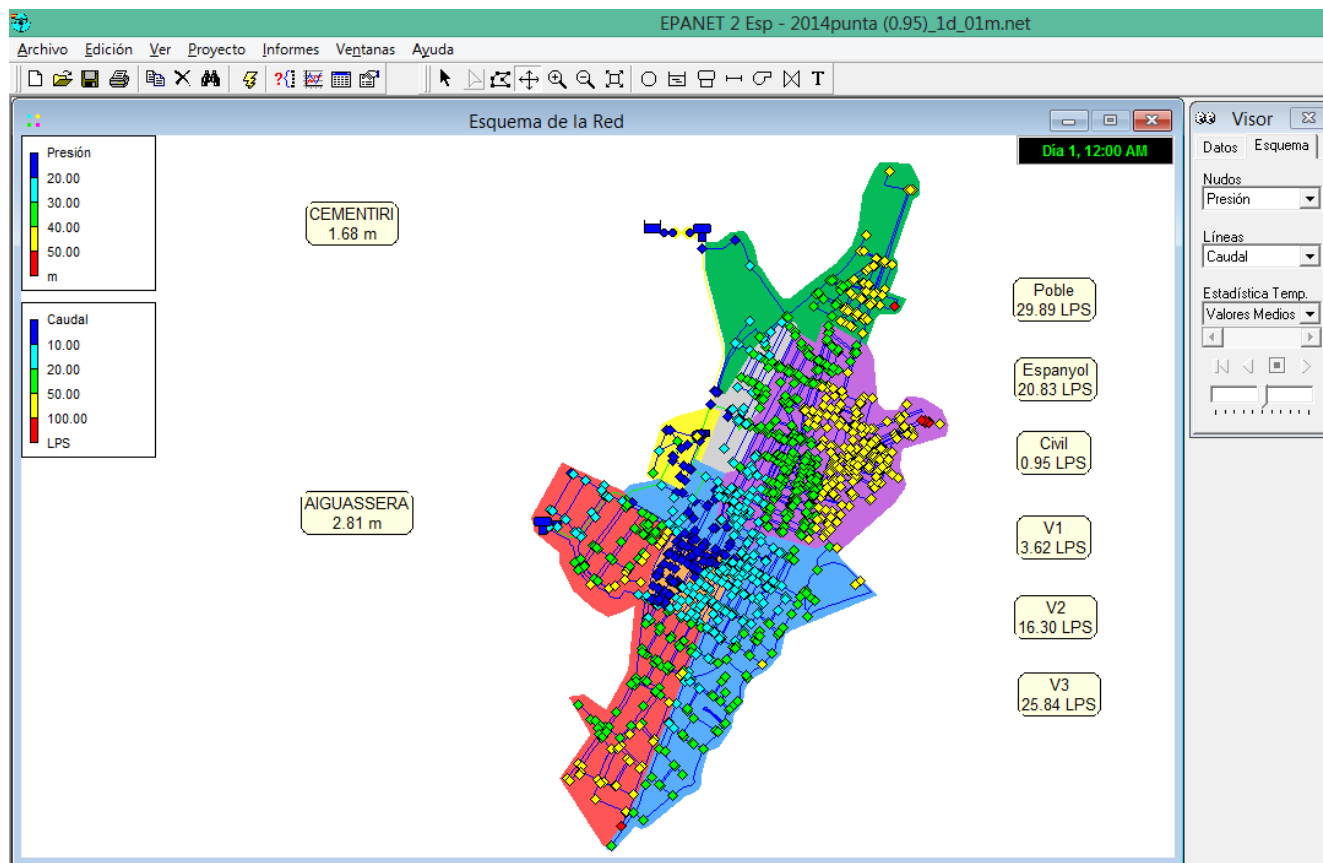


Ilustración 10.3 A Etiquetas de valores para Estadísticas Medias Día Máximo Consumo 2014

Estadísticas Máximas

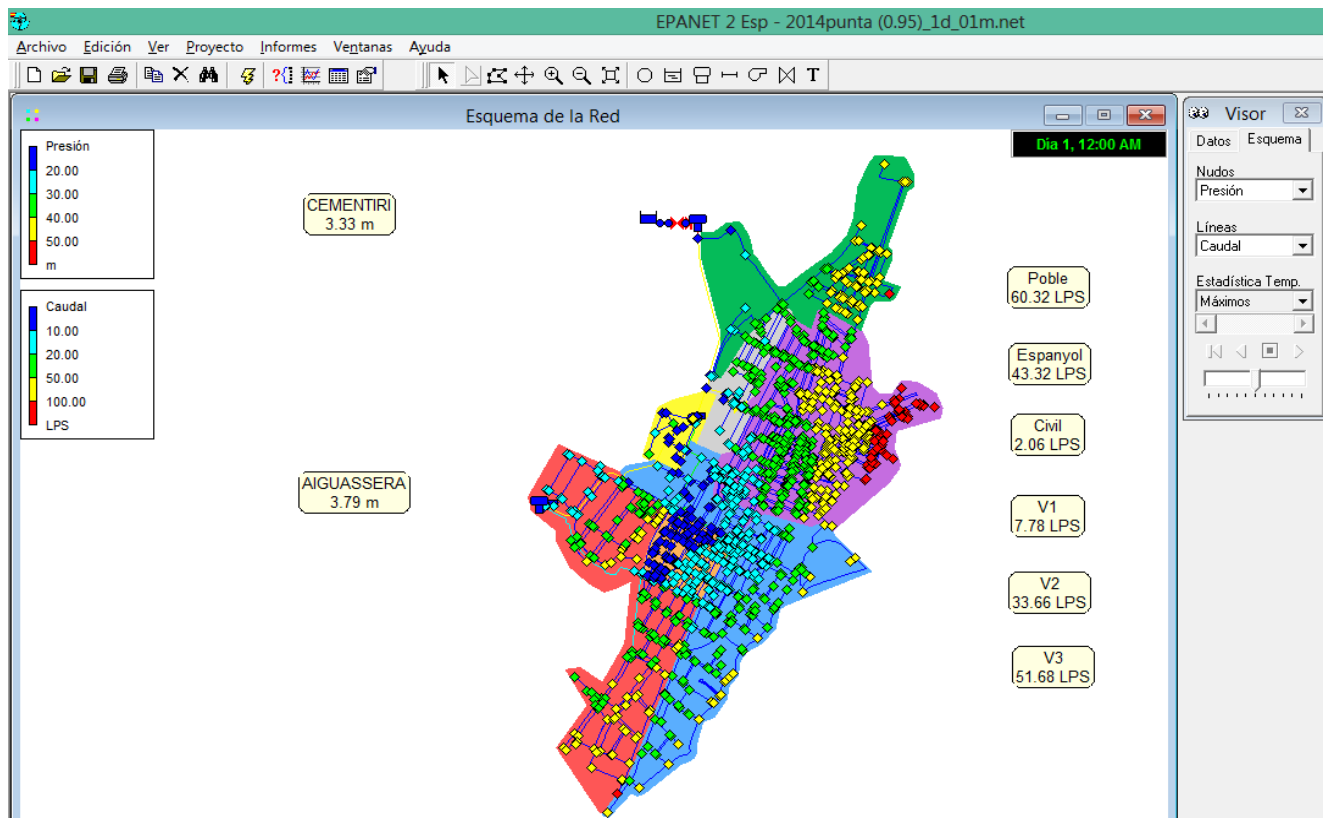


Ilustración 10.3 B Etiquetas de valores para Estadísticas Medias Día Máximo Consumo 2014

Para comprobar el ajuste de datos, tomaremos los referidos a la última semana de marzo de los Datalogger. Con estos datos crearemos unas tablas comparativas de caudales mínimos, medios y máximos, según el procedimiento seguido en el apartado anterior.

V1

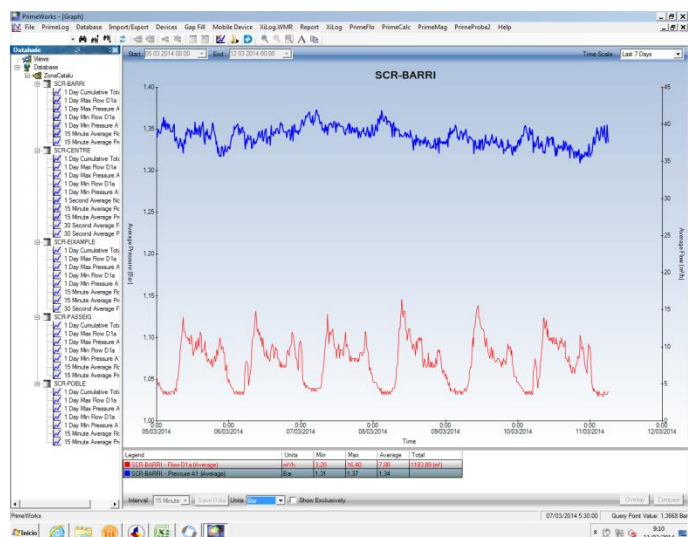


Ilustración 10.3C Datalogger correspondiente a Marzo V1

V2

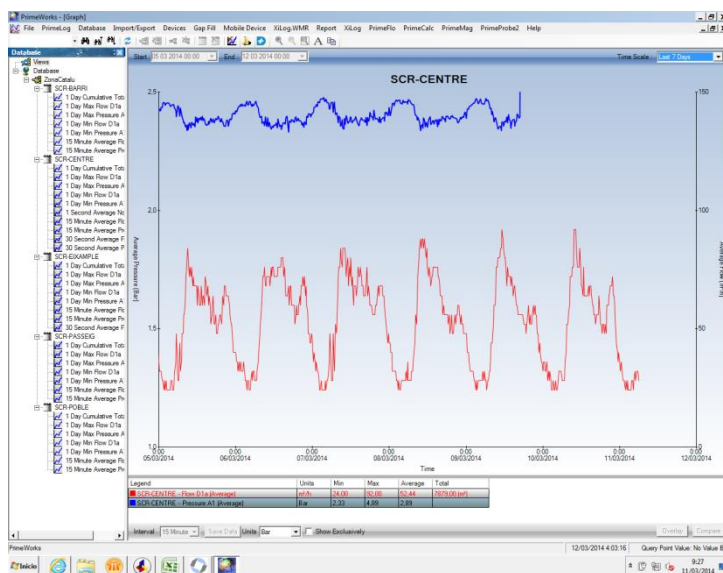


Ilustración 10.3D Datalogger correspondiente a Marzo V2

V3

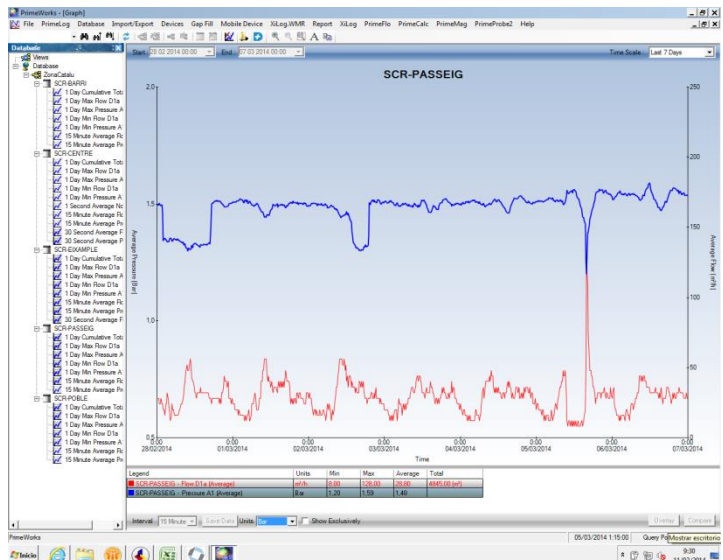


Ilustración 10.3E Datalogger correspondiente a Marzo V3

Tablas Comparativas

Tabla 10.3 Datos extraídos de Dataloggers y ajustes propuestos

| | V1- Barri | V2- Passeig | V3- Centre |
|---------------------------------|--------------|----------------|---------------|
| Prom Marzo 2014 LPS | 2.19 | 8 | 14.57 |
| Coef Prom Marzo/Prom Annual LPS | 0.95 | 0.90 | 0.78 |
| Ajuste Mes Medio 2014 LPS | 2.31 | 8.86 | 18.60 |
| Resultado Epanet Medio LPS 2014 | 2.35 | 10.59 | 18.65 |

La tabla 2.10A Se obtiene incorporando los datos medios de caudal contenidos en las imágenes del datalogger:

- Se pasa de m^3/h a LPS
- Se observa el percentil de consumo de Marzo con respecto al resto del año
- Se ajusta a un día promedio
- Se aplica el coeficiente punta correspondiente a su sector.

Tabla 10-3A Datos extraídos de Dataloggers y ajustes propuestos

| | | | |
|--|------|-------|-------|
| Coef Pto Registro | 1.81 | 1.81 | 1.61 |
| Periodo Punta Esperado 2014 Lps | 4.17 | 15.99 | 29.94 |
| Resultado Epanet Punta LPS 2014(Resultados Medios) | 3.62 | 16.3 | 25.84 |

Según el gráfico comparativo, cabe esperar que el modelo funcione bien para el periodo punta de 2014, pues los caudales esperados son muy semejantes.

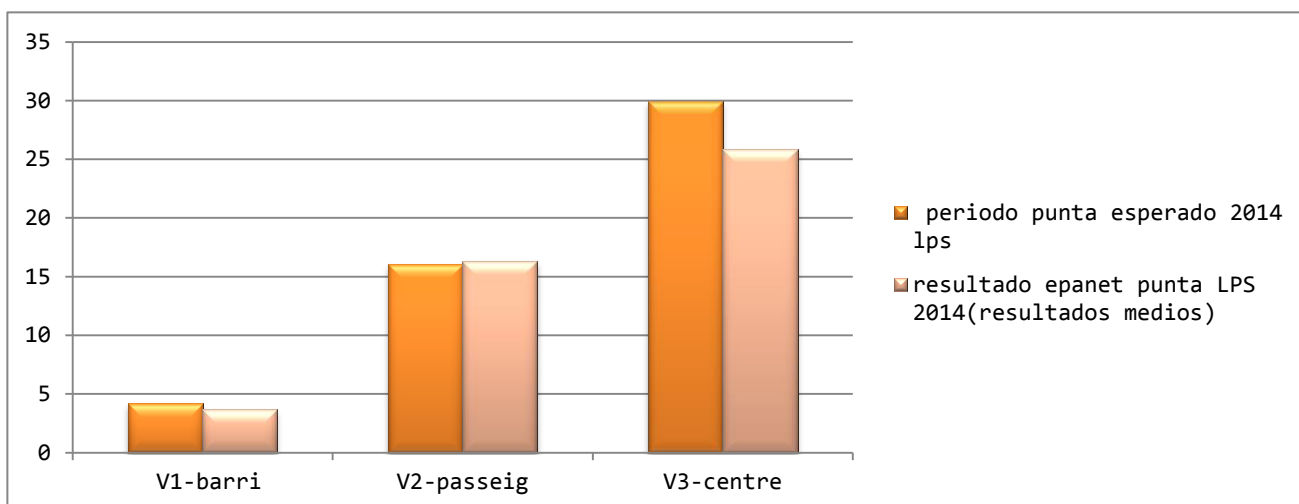


Figura 10.3 Gráfico comparativo de datos entre los Dataloggers y Epanet

11. JUSTIFICACIÓN DE LOS CAMBIOS DE CONFIGURACIÓN DE LA RED: AHORRO DE AGUA.

11.1 Comparación de los modelos Día Máximo Consumo 2013 y 2014

Modelo 2013 Día Máximo Consumo

00:00

Podemos ver como se generan sobrepresiones en la zona baja a cotas menores de 15m, de 40 mca hasta 55 mca.

En la parte alta tenemos unas presiones muy bajas incluso en horas de bajo consumo(en algunos puntos por debajo de 4 m.c.a.)

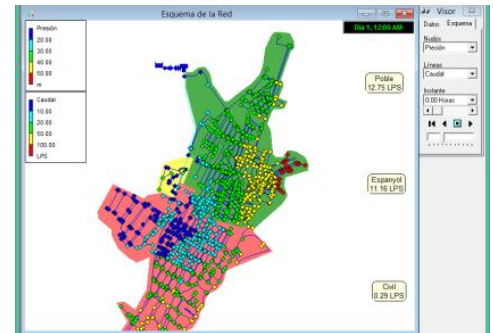


Ilustración 11.1 Máximo Consumo 2013 00:00 horas

13:00

Las presiones caen de manera significativa en todas las zonas de cota alta y en la red en general. Gran consumo de agua.

Siguen habiendo sobrepresiones en las zonas de cota baja.

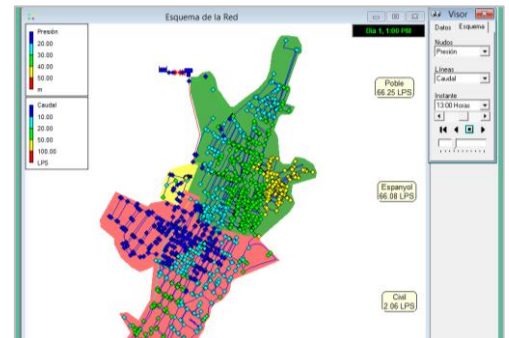


Ilustración 11.1A Máximo Consumo 2013 13:00 horas

00:00

Siguen generándose sobrepresiones en sector Poble-Barri y también aumenta en el sector Porta Nord.

En general han subido las presiones en la parte sur del gracias a la compensación del nuevo depósito. Sin problemas de presiones bajas.

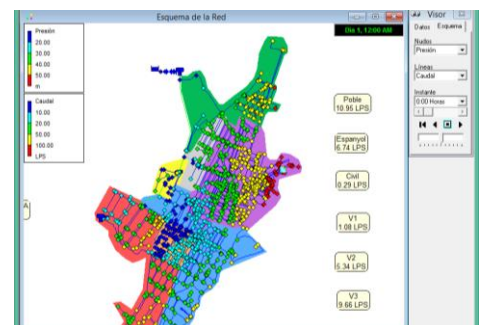


Ilustración 11.1B Máximo Consumo 2014 00:00 horas

13:00

Bajan las presiones en general en toda red debido al aumento del consumo de agua, pero NO aparecen problemas de bajas presiones que puedan afectar al suministro, y aumentan los caudales circulantes. Se moderan las sobrepresiones.

Se solucionan los problemas de baja Presión en zonas de alta cota gracias a la incorporación del depósito y el bombeo Aiguassera.

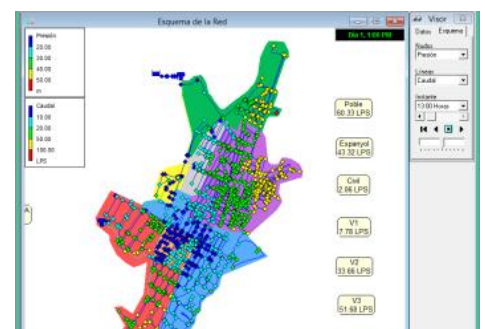


Ilustración 11.1B Máximo Consumo 2014 13:00 horas

Analizando ambos modelos es posible apreciar que la garantía de suministro se ha visto mejorada en varias zonas, pues se alcanzan presiones adecuadas en las zonas de cotas altas de la red.

11.2 Comparativa Caudales 2013 y 2014 Periodo Extendido

Se muestran las gráficas de la tabla 11.1 donde se refleja el caudal inyectado a red durante un periodo de 24 h para cada uno de los escenarios descritos con anterioridad. A tener en cuenta que las leyes de control para el llenado del depósito CEMENTIRI son iguales tanto para el Promedio en 2013 como en 2014, pero distintas para el escenario de Máximo Consumo:

Tabla 11.2 Comparativas del caudal consumido en 2013 y 2014

| Situación Día promedio | | | |
|-----------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| 2013 Día Promedio 24 h | | 2014 Día Promedio 24h | |
| m^3 consumidos: 4147.308 | | m^3 consumidos: 4298.94 | |
| 2013 Semanal | | 2013 Semanal | |
| m^3 consumidos: 28537.92 | | m^3 consumidos: 29350.368 | |
| Situación Día de Máximo Consumo | | | |
| 2013 Máximo Consumo 24h | | 2014 Maximo Consumo 24 h | |
| m^3 consumidos: 5983.344 | | m^3 consumidos: 5442.408 | |
| 2013 semana Máximo consumo semana | | 2014 semana máximo consumo semana | |
| m^3 consumidos: 41342.976 | | m^3 consumidos: 41246.568 | |

Al realizar la comparación entre los caudales medios de cada modelo, se hace patente que las modificaciones implantadas por la empresa gestora han dado como resultado una disminución en el consumo muy notable en el periodo de gran consumo, sin embargo a nivel promedio, dado que la presión suministrada es mayor, genera un consumo ligeramente por encima al de la configuración anterior.

Habrían de estudiarse nuevos datos de consumo de facturación y caudal inyectado para asegurar la mejora del rendimiento global en la red.

11.3 Gráficos Comparativos De Caudalímetros Civil, Espanyol, Poble 2013-2014

Los datos de los gráficos han sido tomados exclusivamente de los registros de caudalímetros para los sectores Civil, Espanyol y Poble.

De su observación podemos establecer que en 2014 existe una tendencia a la baja del consumo de agua. Especialmente destacaremos el cambio de caudal a la baja en el sector "Espanyol".

Sin embargo, el descenso del consumo no es tan acusado si comparamos datos de inyección desde el CAT. El decremento en este sector es debido a la puesta en marcha del nuevo depósito pues no todo el caudal que suministraba en 2013 a ese sector sigue el mismo recorrido en 2014.

En la situación actual, el agua se almacena en el depósito Aiguassera y distribuye caudal por una tubería FD300.

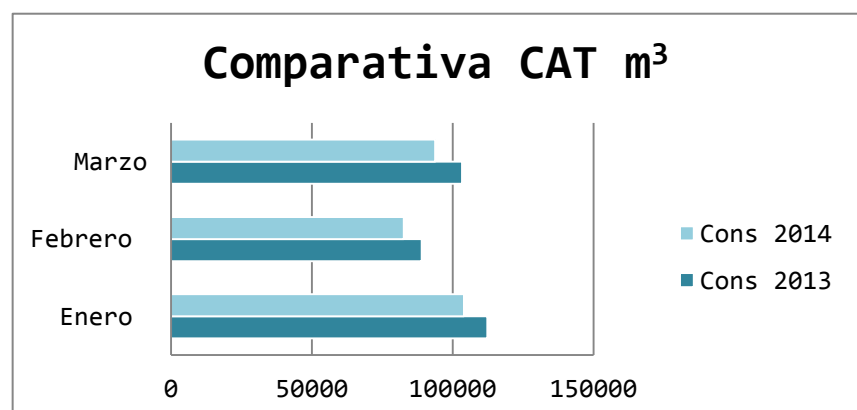
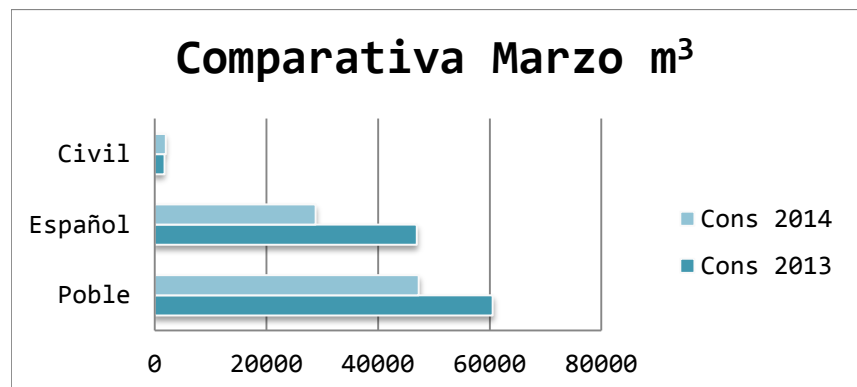
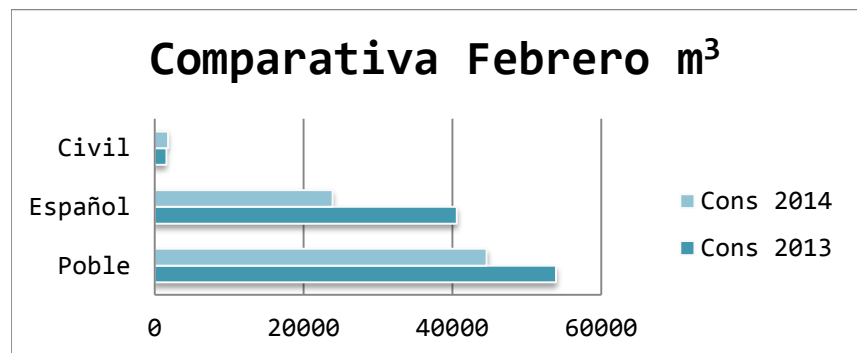
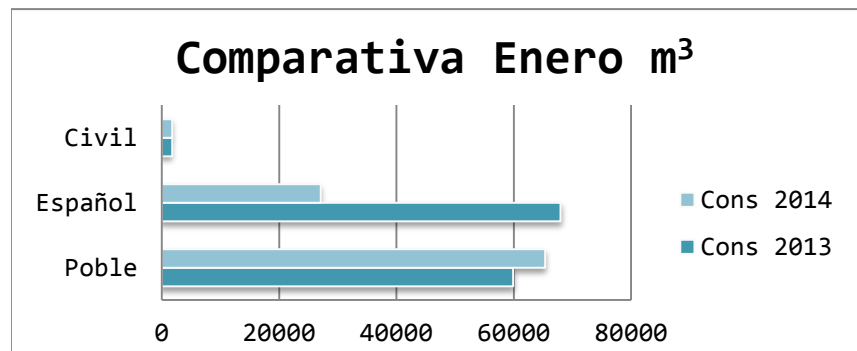


Figura 11.3 Gráficos comparativos

12. CONCLUSIONES

La creación de los modelos requiere de un conocimiento muy exhaustivo de las características de la red. En el caso de la confección del modelo de Sant Carles, un rasgo destacado ha sido la introducción gradual de las modificaciones durante el periodo 2013-2014. Asimismo, otra característica a destacar es que utiliza emisores a la atmósfera como forma de representar las fugas en los nudos (las fugas dependen de la presión en cada nudo)

El modelo funcionará verazmente o no a partir de la calidad de los datos por una parte, y por otra de la manera en que estos se insertan en el modelo. En nuestro caso, la calibración se ha realizado con los datos de inyección y facturación de 2013, creando un modelo con la configuración de ese año. Posteriormente se ha modificado el modelo con la nueva configuración creada en 2014, calibrado con algunos datos recientes de ese mismo año.

En este sentido, dados los últimos cambios realizados en el abastecimiento, se recomendaría cargar de nuevo el modelo reinsertando los datos de caudal de inyección y consumo del próximo periodo de facturación (2014). Aprovechando la creación de los nuevos sectores con telegestión sería interesante hacerlo de forma individual para cada uno de ellos.

Sin duda es más sencillo obtener los datos de caudal inyectado por sector que de caudal facturado, puesto que los datos del primero son recogidos por los datalogger o bien por lectura diaria. Sin embargo, a nivel de datos de facturación, la distribución del consumo por calles proporcionalmente a los nudos según su cercanía, es demasiado general (en una misma calle puede existir gran diversidad de consumo y que un nudo esté más cercano no implica que éste tenga una demanda de consumo mayor), por lo que podría deformar la realidad de la distribución del consumo.

Dados los recursos de las grandes empresas gestoras de abastecimientos, sería aconsejable crear nuevas bases de datos donde existan nudos o puntos de la red donde se asigne el consumo de las acometida o abonados cercanos al mismo.

Este sistema definiría más ajustadamente la realidad del sistema. Por otro lado, aunque el sistema clásico cree modelos que reproduzcan el funcionamiento de la red, si se crean sectores para gestionar y controlar mejor las fugas o anomalías, sería lógico crear ese modelo de manera que reproduzca lo más fielmente posible lo que pasa en el sistema, si es que se puede hacer.